

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

Тезисы докладов научно-технической  
конференции студентов и аспирантов (апрель 2003 года)

Минск 2003

УДК 621.311

В сборнике представлены тезисы докладов по проблемам автоматизации энергетических систем, повышения эффективности электрических сетей и систем энергоснабжения, рационального использования энергетических ресурсов.

Редакционная коллегия:

С.М. Силюк, В.А. Анищенко, Н.Б. Карницкий, В.Н. Нагорнов,  
И.В. Новаш, В.А. Седнин, И.И. Сергей, В.А. Федин

Ответственный за выпуск П.И. Климкович

© Белорусский национальный  
технический университет, 2003

## СЕКЦИЯ 1. Электрические системы

УДК 621.311.017

### УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ПО КОМПЛЕКСУ DELTA РАСЧЕТА И АНАЛИЗА РЕЖИМОВ И ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6-20 КВ

*Ю.П. Сойко*

Научный руководитель О.А. ЖЕРКО

Основные программы, предназначенные для решения энергетических задач, были в свое время разработаны для операционной системы DOS. Подавляющее большинство всех современных персональных компьютеров оснащены более прогрессивными операционными системами WINDOWS.

В настоящее время, испытывается дефицит программного обеспечения для нужд энергетики, созданных для работы в среде WINDOWS. В некоторой степени восполнить этот пробел позволяет программный комплекс DELTA, разработанный на кафедре «Электрические системы» Белорусского национального технического университета.

Комплекс программ DELTA предназначен для расчета и анализа режимов и потерь электроэнергии в электрических сетях 6–20 кВ.

Для приобретения студентами определенных знаний для корректной работы с программами комплекса DELTA разработано учебное пособие, которое представляет собой описания компонентов программного комплекса DELTA, инструкции и рекомендации по работе с программами.

Для выполнения курсовых проектов по дисциплине «Автоматизация электрических сетей», основанных на производстве расчетов режимов и потерь электроэнергии с применением комплекса DELTA, разработаны варианты заданий. Всего разработано 50 схем распределительных линий, которые скомпонованы в 5 типовых подстанций. Информация о типах и положениях коммутационных аппаратов этих сетей содержится в специально разработанных таблицах. Режимные параметры по каждой РЛ в целом за год и за каждый месяц года также приведены в табличном виде. Значения режимных параметров моделируются с использованием генератора случайных чисел, что позволяет автоматически создавать бесконечное множество вариантов.

Программы комплекса DELTA написаны на алгоритмическом языке Borland C++ Builder 5.0 и объединены в единую сервисную оболочку, которая функционирует в операционных средах Windows.

## ЭКОНОМИЧЕСКИ ОБОСНОВАННЫЕ УРОВНИ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

*В.В. Макаревич*

Научный руководитель М.И. ФУРСАНОВ, к.т.н., доцент

Выполнены вариантные расчёты и анализ зависимостей стоимости трансформации электрической энергии  $C_{T_i}$  трансформаторами 100, 160 и 250 кВ·А в сети 10 кВ в функции коэффициентов их загрузки  $k_{C_i}^m$  посредством моделирования значений нагрузок трансформаторов в диапазоне 0–400 кВ·А с шагом 0,01. Исследования проводились путём анализа значений суммарных стоимостей (вариант 1) и стоимостей (вариант 2), вычисляемых для каждого трансформатора в отдельности, по формуле вида:

$$C_{T_i} = \frac{p_T \cdot K_T + \Delta P_0 \cdot T \cdot \beta_0}{k_{C_i}^m} + \frac{\Delta P_{кз} \cdot \tau_T \cdot \beta_{нт} \cdot k_{C_i}^m}{100},$$

где  $p_T$  – суммарный коэффициент отчислений от стоимости трансформатора  $K_T$ ;  $p_L$  – суммарный коэффициент отчислений от стоимости линии  $K_L$ ;  $\Delta P_0$  – потери мощности холостого хода;  $T$  – расчётный период;  $\Delta P_{кз}$  – потери короткого замыкания;  $\tau_T$  – время потерь;  $\beta_0$ ,  $\beta_{нт}$  – стоимости 1 кВт·ч соответственно потерь электроэнергии холостого хода и нагрузочных;

Минимальные значения стоимостей определяют экономически обоснованные значения загрузок трансформаторов (табл. 1) и оптимальные уровни потерь в сетях.

**Таблица 1. Оптимальные загрузки трансформаторов**

$S_{ном}$	Вариант 1		Вариант 2	
	Минимум $C_T$	Загрузка	Минимум $C_T$	Загрузка
кВ·А	у.е./кВт·ч	%	у.е./кВт·ч	%
100	2,885	132	11,889	132
160	3,633	143		143
250	5,371	133		133

Результаты расчётов в обоих случаях совпадают, что доказывает возможность решения данной задачи без рассмотрения всей сети, а только для выбранных в ней трансформаторов (недогруженных или перегруженных).

## ОПЫТ РАСЧЁТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЭНЕРГОСИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕЛЕМЕТРИИ

*А.А. Золотой*

**Научный руководитель М.И. ФУРСАНОВ, к.т.н., доцент**

Совместно со специалистами НПФ «Диполь» авторами разработана и внедрена в опытно-промышленную эксплуатацию в Столбцовских электрических сетях РУП «Минскэнерго» автоматизированная система (АС) управления электрическими сетями напряжением 35 кВ и выше.

АС отличается от традиционных оперативно-измерительных комплексов (ОИК) возможностью выполнения и анализа расчетов электрических режимов и решением различных технологических задач с использованием реальных телеметрических данных.

Структурная схема АС показана на рисунке 1.

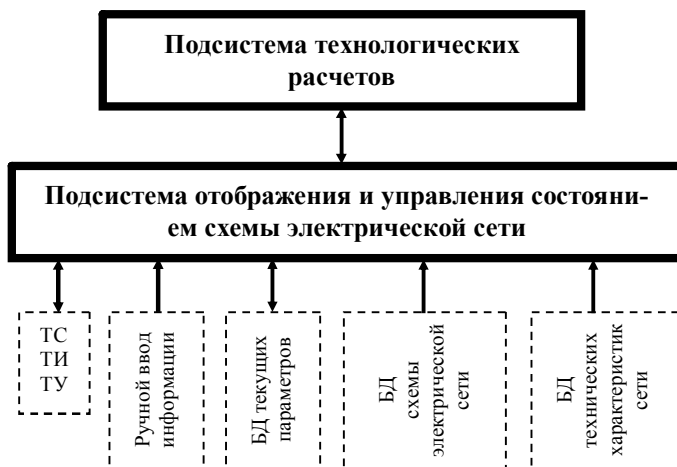


Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы управления электрическими сетями 35 кВ и выше

Разработанная автоматизированная система позволяет выполнять оперативные расчеты режимов и потерь в реальном времени по данным телеметрии и непрерывно осуществлять диагностику состояния схемы электрической сети. В режиме имитации предусмотрен расчет оптимальной схемы запитки потребителей в ремонтных режимах.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНЫХ МОЩНОСТЕЙ В ЗАМКНУТЫХ СЕТЯХ

*А.Г. Шестак*

**Научный руководитель Е.В. МЫШКОВЕЦ**

Современные электрические сети имеют естественное потокораспределение: потоки мощности распределяются по параллельным ветвям соответственно комплексным величинам сопротивлений линий, образующих эти пути.

Экономичным называется потокораспределение, соответствующее минимуму потерь активной мощности в сети. Экономичное потокораспределение совпадает с естественным, возникающим в расчетной схеме после исключения из нее реактивных сопротивлений. При экономичном потокораспределении мощности по ветвям распределяются только в соответствии с активными сопротивлениями.

При естественном потокораспределении оптимизация режима энергосистемы производится в двух направлениях. Оптимизируется распределение активных мощностей между станциями по условию минимума суммарного расхода топлива в энергосистеме. Корректируется реактивная мощность линий по условию минимума потерь в сети с учетом ограничений оборудования, установленного диспетчером профиля напряжения и условий устойчивости. При этом потоки активной мощности не меняются или меняются незначительно.

Неблагоприятное потокораспределение в развитых высоковольтных сетях связано с неоднородностью сетей – различием индуктивной добротности  $ID = X/R$  для линий различных напряжений. Для линий 110 кВ диапазон  $ID = 1,37-3,34$ ; 220 кВ – 3,58–7,0; 500 кВ – 10,3–14,8. Минимальные потери в сети и соответствующее оптимальное распределение потоков активной мощности были бы при условии равенства индуктивных добротностей всех линий, образующих замкнутые контуры. Следовательно, для оптимизации потокораспределения в развитых сетях транзитные потоки в линиях нижних слоев необходимо снизить в несколько раз.

Оптимизация естественного распределения потоков мощности в замкнутых сетях может быть достигнута следующими путями:

- продольным и продольно-поперечным регулированием;
- включением в контуры установок продольной компенсации;
- размещением части контуров замкнутой сети;
- применением вставок постоянного тока (ВПТ);
- использованием управляемых линий электропередачи;
- использование гибких электропередач.

## **EDITBD – ПРОГРАММА РЕДЕКТИРОВАНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6-20 КВ**

*Ю.П. Сойко*

**Научный руководитель О.А. ЖЕРКО**

Все программные средства, в том числе и программы, предназначенные для решения энергетических задач, разработанные для операционной системы DOS, используют текстовые файлы в качестве накопителей необходимых для расчетов данных.

подавляющее большинство всех современных персональных компьютеров оснащены более прогрессивными операционными системами WINDOWS. В настоящее время, испытывается дефицит программного обеспечения для нужд энергетики, созданных для работы в среде WINDOWS. В некоторой степени восполнить этот пробел позволяет программный комплекс DELTA, разработанный на кафедре «Электрические системы» Белорусского национального технического университета.

Комплекс программ DELTA предназначен для расчета и анализа режимов и потерь электроэнергии в электрических сетях 6–20 кВ. Программы, разработанные для работы в среде WINDOWS, требуют более совершенных и организованных терминалов для накопления и хранения данных. Комплекс DELTA основан на использовании баз данных.

Программа EditBD является частью программного комплекса DELTA и предназначена для работы с базами данных (БД) в формате PARADOX, в которых содержатся сведения об электрических сетях 6–20 кВ. Посредством программы EditBD можно создавать новые, а также редактировать уже созданные базы данных.

С помощью программы EditBD в базу данных, необходимую для работы комплекса DELTA, можно вносить топологическую информацию о линейных и трансформаторных ветвях схемы электрической сети, режимную информацию, как по всей сети, так и по отдельным ее участкам (секциям, распределительным линиям, распределительным и трансформаторным пунктам).

Одной из особенностей программы EditBD является возможность установления связи между компьютером и системами телемеханики реальных электрических сетей с целью оперативного обновления режимной информации.

В помощь для изучения программы EditBD разработано учебное пособие, в котором описаны все ее компоненты, а также даны инструкции и рекомендации по работе с программой.

УДК 621.311.017

## **МНОГОЦЕЛЕВАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ РАЗЛИЧНОГО КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ**

*Р.А. Макаренко*

**Научный руководитель А.А. ВОЛКОВ**

Рассмотрена задача многоцелевой оптимизации воздушных линий электропередачи различного конструктивного исполнения. В сравнительном анализе участвовали следующие типы линий электропередач: традиционная, с глубоким расщеплением фаз, компактная одноцепная коаксиальная четырехсегментовая и компактная одноцепная сеточная шестиугольная. Определены параметры и технические характеристики электропередач нетрадиционного исполнения.

Проведен анализ широкого круга локальных критериев, характеризующих технико-экономический и экологический фактор воздушных линий. Составлена рациональная совокупность локальных критериев и дано обоснование данного выбора. В качестве локальных критериев были рассмотрены: капитальные вложения, годовые эксплуатационные расходы, недоотпуск электроэнергии, напряженность электрического поля, площадь отчуждения.

Выполнены расчёты значений локальных критериев, входящих в состав выбранной рациональной совокупности для каждой из рассматриваемых линий электропередачи.

С помощью математических методов решения многокритериальных задач в условиях неопределенности были проанализированы результаты расчетов локальных критериев и выбран оптимальный вариант исполнения воздушной линии электропередач для принятых условиях – линия электропередачи с глубоким расщеплением фаз.

УДК 621.311.017

## **РАСЧЁТ НЕБАЛАНСОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ**

*В.В. Макаревич, Л.П. Пашкович*

**Научный руководитель М.И. ФУРСАНОВ, к.т.н., доцент**

В общей структуре потерь электрической энергии техническая составляющая во многих случаях значительно меньше "коммерческой". Это требует более качественного определения технических потерь с обязательной оценкой погрешностей расчёта и совершенствования системы учёта электрической энергии, что в конечном итоге способст-



вует выявлению и устранению недопустимых небалансов потоков электроэнергии.

Фактический небаланс  $\Delta_{\phi}$  (в процентах) электрической энергии в распределительных сетях определяется по формуле:

$$\Delta_{\phi} = \frac{W_p - \Delta W_{\Sigma} - W_{\phi n}}{W_p} \cdot 100\% ,$$

где  $W_p$  – отпуск электроэнергии в сеть с шин 6–20 кВ;  $\Delta W_{\Sigma}$  – суммарные потери электрической энергии в сети;  $W_{\phi n}$  – фактический полезный отпуск электроэнергии с шин 0,38 кВ по данным точек учёта.

Допустимый небаланс  $\Delta_d$  (в процентах) электрической энергии на шинах 0,38 кВ распределительной линии вычисляется по формуле:

$$\Delta_d = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^m \delta_{ni}^2 \cdot d_{ni}^2 + \sum_{j=1}^n \delta_{oj}^2 \cdot d_{oj}^2} ,$$

где  $m$  и  $n$  – общее число измерительных комплексов учёта электроэнергии (' $i$ ' – отпуск в сеть, ' $j$ ' – отпуск с шин 0,38 кВ);  $\delta$  – относительная погрешность измерения;  $d$  – доля электроэнергии, пропущенной через комплекс.

Количество неучтённой электроэнергии определяется в виде разности между фактическим  $\Delta_{\phi}$  и допустимым  $\Delta_d$  небалансами.

#### Литература

1. Инструкция по организации учёта электрической энергии Минтопэнерго Республики Беларусь 1-е издание, Минск, 1996.

УДК 621.316.35

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОМПАКТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

*А.В. Агеев*

Научный руководитель А.М. ЗОРИЧ

Компактные линии электропередач сегментной конструкции – это новое направление в практике передачи электроэнергии и развития электроэнергетических систем.

В такой линии электропередачи (рис. 1) провода фазы  $A$ , образуют контур внутренней окружности, а провода фазы  $B$  и  $C$  – контур внешней окружности.

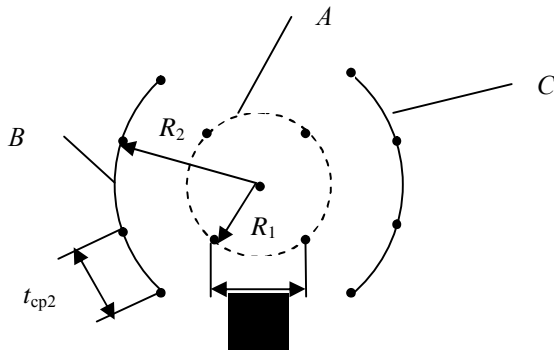


Рис. 1. Конструктивное исполнение

Основными параметрами, определяющими натуральную мощность данной линии электропередачи являются: количество проводов фаз  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и их сечения, радиусы расщепления внутренней  $R_1$  и внешних  $R_2$  фаз, шаг расщепления внутренней и внешних  $t_{cp2}$  фаз, а также  $U_{ном}$  линии электропередачи.

При проведении простых экономических расчетов можно вычислить, что линии электропередачи сегментной конструкции будет стоить дороже линии традиционного исполнения. Напряженность электрического поля под линией сегментной конструкции на высоте 1,8 м над уровнем земли меньше нормируемой (5 кВ/м).

#### Литература

1. В.Т. Федин, Н.Д. Головач, Г.И. Селиверстов, М.С. Чернецкий. Электропередачи переменного тока повышенной мощности. – Мн.: Наука и техника, 1993.

УДК 621.311.017

## ГРАФИЧЕСКИЕ БАЛАНСОВЫЕ МОДЕЛИ РАЗОМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА ПЭВМ

*А.В. Рожков*

Научный руководитель А.А. ЗОЛОТОЙ

Алгоритмизированы основные аналитические соотношения по расчету режимов, индивидуальных эквивалентных сопротивлений, потерь мощности и электроэнергии в разомкнутых электрических сетях 6–20 кВ. Разработаны и реализованы алгоритм и программа на ЭВМ для построения и анализа динамических структурно-балансовых моде-

лей распределительных электрических сетей энергосистем и диаграмм потерь с учётом модификации режимных данных. Данные модели представляют собой компьютерные графические аналоги схем сетей по отдельной распределительной линии, питающей подстанции и обслуживаемому району сети в целом, и позволяют выявлять очаги коммерческих потерь электроэнергии в сетях 6–20 кВ.

В основу алгоритма программы положено графическое отображение результатов расчёта, полученных по комплексу программ БНГУ «DELTA», в виде структурно-балансовых моделей распределительной электрической сети 6–20 кВ. В случае модификации исходной информации, осуществляемой прямо на модели, выполняется динамическое переопределение параметров балансовой модели. При расчёте потерь в сетях используется следующее аналитическое выражение:

$$\Delta W_{н.л.i} = \frac{W_{pi}^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_i)}{U_{ср.э.i}^2 T} K_{\varphi i}^2 r_{э.л.i}, \quad (1)$$

где  $\Delta W_{н.л.i}$  – нагрузочные потери электроэнергии на участках  $i$ -й распределительной линии (системных и абонентских);  $W_{pi}$  – отпуск электроэнергии в схему  $i$ -й распределительной линии;  $\operatorname{tg} \varphi_i$  – коэффициент мощности  $i$ -й распределительной линии;  $U_{ср.э.i}$  – среднее эксплуатационное напряжение на питающих шинах;  $T$  – расчётный период;  $K_{\varphi i}^2$  – квадрат коэффициента формы графика нагрузки;  $r_{э.л.i}$  – эквивалентное по потерям сопротивление сети линии.

УДК 621.3

## **УЧЁТ НЕЛИНЕЙНОСТИ КРИВОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ РАСЧЁТЕ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ**

*А.Л. Кабаков*

**Научный руководитель М.А. КОРОТКЕВИЧ, д.т.н., профессор**

Расчёт коммутационных перенапряжений без учёта нелинейности кривой намагничивания трансформатора приводит к преувеличенным их значениям. При отключении ненагруженных трансформаторов кривую намагничивания можно аппроксимировать полиномом с нечётными степенями [1]:

$$i_{\mu} = a_1 \Psi_{\mu} + a_3 \Psi_{\mu}^3 + \dots + a_n \Psi_{\mu}^n; \quad (1)$$

где  $i_{\mu}$  – ток намагничивания трансформатора;  $a_1 \dots a_n$  – коэффициенты аппроксимации;  $\Psi_{\mu}$  – основное потокосцепление. Причём наибольшее значение  $n$  для высоковольтных силовых трансформаторов и автотрансформаторов лежит в пределах от 5 до 13.

Из (1) следует, что эквивалентная по энергии индуктивность трансформатора с учётом насыщения стали равна:

$$L_{\mu\sigma} = \frac{2L_{\mu}}{n+1}, \quad (2)$$

где  $L_{\mu}$  – индуктивность шунта намагничивания, найденная по номинальным параметрам:

$$L_{\mu} = \frac{U_{ном}^2}{i_{xx}^* \omega S_{ном}} = \frac{\Psi_{ном}}{I_{\mu ном}}, \quad (3)$$

где  $i_{xx}^*$  – ток холостого хода в относительных единицах;  $U_{ном}$ ,  $S_{ном}$  – номинальное напряжение и трёхфазная мощность трансформатора;  $\omega$  – угловая частота.

Проведенные расчёты перенапряжений при отключениях трансформаторов напряжением 10 кВ выявили, что учёт нелинейности может снижать максимальную кратность перенапряжений на 40 % и, следовательно, её влиянием при расчёте коммутационных перенапряжений нельзя пренебречь. Полученные максимальные кратности, не превышающие в большинстве случаев 4, вообще говоря, не представляют большой опасности для изоляции трансформатора 10 кВ. Однако, частое повторение таких перенапряжений оказывается нежелательным из-за кумулятивного эффекта, характерного для внутренней изоляции.

#### Литература

1. Коммутационные перенапряжения в энергосистемах: Учеб. пособие / Костенко М.В., Богатенков И.М., Михайлов Ф.Х. ЛГТУ. Л., 1990, 101 с.

УДК 621.311.1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ ДО МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ПРИ ОДНОФАЗНОМ ЗАМКЯНИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

*Д.В. Кублицкий*

Научный руководитель **Е.В. КАЛЕНТИОНОК**, к.т.н., доцент

Для определения расстояния до места повреждения при однофазном замыкании на землю с питающей подстанции предлагаем сле-

дующий метод: к поврежденной линии подключают специальный генератор синусоидального напряжения и проводят минимум два измерения его режимных параметров ( $U_G$ ,  $I_G$ ,  $f_G$ ,  $\varphi_G$ ) на повышенной частоте.

Расстояние до места повреждения  $l_x$  в этом случае можно определить по формуле.

$$l_x = \frac{\begin{vmatrix} I_{p1} & -U_1\omega_1 & 0 & 0 \\ I_{a1} & 0 & U_1\omega_1^2 & U_1 \\ I_{p2} & -U_2\omega_2 & 0 & 0 \\ I_{a2} & 0 & U_2\omega_2^2 & U_2 \end{vmatrix}}{L_0 \cdot \begin{vmatrix} I_{p1} & -U_1\omega_1 & 0 & I_{a1}\omega_1 \\ I_{a1} & 0 & U_1\omega_1^2 & -I_{p1}\omega_1 \\ I_{p2} & -U_2\omega_2 & 0 & I_{a2}\omega_2 \\ I_{a2} & 0 & U_2\omega_2^2 & -I_{p2}\omega_2 \end{vmatrix}},$$

где  $I_{a1}$ ,  $I_{a2}$  и  $I_{p1}$ ,  $I_{p2}$  – соответственно активные и реактивные составляющие тока генератора по двум измерениям,  $U_1$ ,  $U_2$  – напряжения на выводах генератора,  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  – угловые частоты, на которых проводят измерение режимных параметров генератора,  $L_0$  – удельная индуктивность рассматриваемой линии.

#### Литература

1. Калентионюк Е.В., Лукьяненко М.Ю. Определение расстояния до места однофазного замыкания на землю в воздушных распределительных сетях // Энергетика (Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ). – 2001. – № 6. – С. 10–16.

УДК 621.311.017

## DELTAGRAPHIC – РЕДАКТОР СХЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

*И.П. Богославчик,*

**Научный руководитель О.А. ЖЕРКО**

Разработан графический редактор схем электрических сетей Delta-Graphic, основная визуальная концепция которого представлена на рис. 1.

Редактирование схем электрических сетей выполняется путем выбора интересующего объекта на панели инструментов (позиция 1 на рис. 1) и перетаскивания манипулятором мышью на редактируемое поле

(позиция 3 на рис. 1). В настоящий момент графические объекты жестко определены и планируется создание редактора графических элементов.

DeltaGraphic поддерживает графическое представление таких элементов схемы, как шина, линейная ветвь, трансформатор, автотрансформатор, трёхобмоточный трансформатор, выключатель, генератор, синхронный компенсатор, а также позволяет наносить на схему текстовую информацию.

Работа с графическим аналогом электрической схемы облегчается широкими возможностями редактирования уже созданного чертежа, такими как нанесение номеров начал и концов участков сети (позиция 2 на рис. 1), изменение положения уже нарисованных элементов, в том числе линейных участков и шин, а также объединение элементов в группы и их совместное редактирование.

Необходимо добавить, что каждому элементу схемы соответствует всплывающее меню, с помощью которого можно, например, изменять цвет элемента.

Редактор DeltaGraphic написан на алгоритмическом языке C++ Builder 6.0, а набираемая схема может быть любого размера и содержать любое количество элементов.

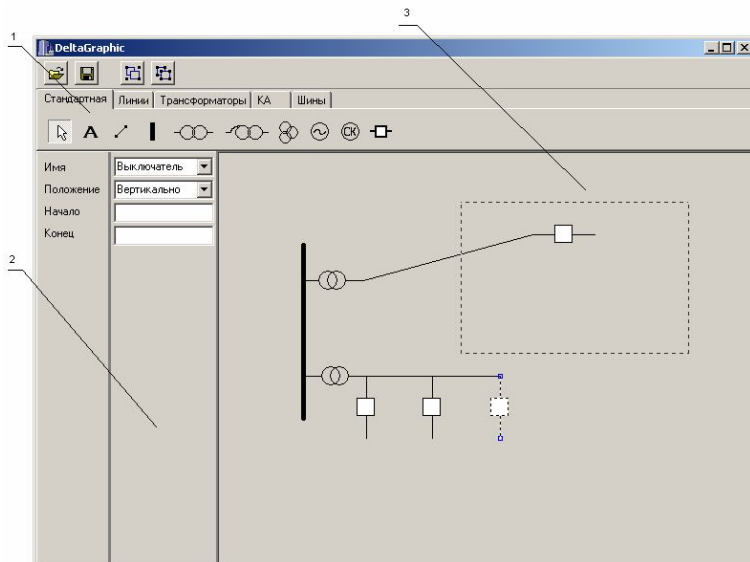


Рис. 1. Основной вид графического редактора DeltaGraphic

## СЕКЦИЯ 2. Электрические станции

УДК 621.316.925

### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ АВАРИЙНЫХ СОБЫТИЙ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

*А.В. Рождественский*

Основная цель эксплуатации электрических систем заключается в обеспечении бесперебойной подачи потребителям требуемого количества качественной электроэнергии при наименьших затратах материальных, трудовых и денежных ресурсов. При расследовании аварийного отключения на ЛЭП чрезвычайно важно точную временную картину происходящих переходных процессов, а также последовательность действий релейной защиты и автоматики (РЗА) для выявления возможных неверных действий последних. Кроме того, для более скорого восстановления работы поврежденной линии необходимо как можно более точное определение места повреждения (ОМП).

Для записи непосредственно аварийных параметров (значений токов, напряжений, частоты) поврежденной ЛЭП, а также последовательности действия РЗА, применяются так называемые регистраторы аварийных событий (РАС).

Регистратор аварийных событий конструктивно представляет собой микро-ЭВМ, подключаемую через преобразователи тока и напряжения (блоки нормализации сигнала) к цепям защит линии, параметры которой необходимо контролировать. Далее аналоговые сигналы преобразуются в цифровую форму аналого-цифровым преобразователем (АЦП). Ввод дискретных сигналов РЗА осуществляется посредством блоков гальванической развязки.

Для более точного определения места повреждения ЛЭП требуются величины токов и напряжений переходного процесса линий, имеющих с взаимоиндукцию поврежденной линией.

При работе регистраторов в составе локальной сети необходима постоянная синхронизация времени между всеми регистраторами и устройствами верхнего уровня АСУ ТП. Данная синхронизация позволяет в последствии синхронизировать записанные регистраторами осциллограммы аварийных режимов линий.

Применение регистраторов аварийных событий совместно с программами определения места повреждения линий позволяет существенно сократить эксплуатационные расходы в электросетях, а также повысить надежность электроснабжения, и, тем самым, сократить расходы, связанные с недоотпуском электроэнергии потребителю.

## УЧЕТ ВЫТЕСНЕНИЯ ТОКОВ РОТОРА АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЭС ПРИ РАСЧЕТАХ ГРУППОВОГО САМОЗАПУСКА

*Р.Ф. Миначев*

**Научный руководитель В.И. НОВАШ, д.т.н., профессор**

В вычислительных системах для оперативных расчетов самозапуска непосредственно на ТЭС [1] предусматривается индивидуальный учет вытеснения токов ротора путем задания для каждого двигателя зависимостей активного сопротивления и реактивного сопротивления рассеяния контуров ротора от скольжения функциями  $K_r(s)$ ,  $K_x(s)$ . В настоящей работе рассматривается возможность выполнения расчетов группового самозапуска с использованием для учета вытеснения токов ротора обобщенных (усредненных) зависимостей  $K_r(s)$ ,  $K_x(s)$ , одинаковых для всех электродвигателей, участвующих в самозапуске.

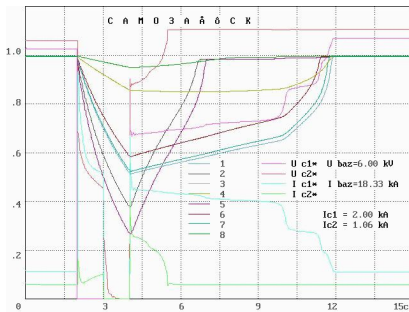


Рисунок 1

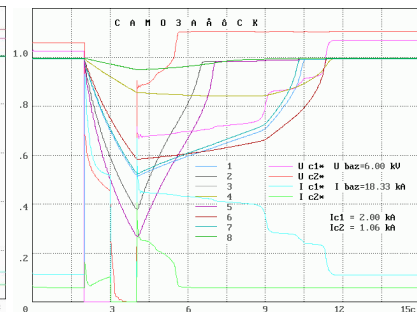


Рисунок 2

Обобщенные зависимости получены на базе имеющихся в справочной литературе ОРГРЭС индивидуальных зависимостей методом наименьших квадратов с учетом частот их использования. На рисунках 1 и 2 приведены результаты расчета самозапуска группы из 10 электродвигателей с использованием индивидуальных и обобщенных зависимостей, различающиеся по длительности процессов не более 10–20 %.

### Литература

1. Новаш В.И., Глинский Е.В. Вычислительные системы для расчетов самозапуска электродвигателей собственных нужд персоналом электрических станций. *Мат. межд. 52-й НТК БГПА "Тех. ВУЗы – республике"*. В семи частях, часть 1, Минск, 1997. – с. 4.



## **ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ОПН ДЛЯ СЕТЕЙ И ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 10–35 КВ**

*С.М. Малиновский, Е.А. Малышко*

**Научный руководитель С.П. РЖЕВСКАЯ, к.т.н., доцент**

Широкому распространению нелинейных ограничителей напряжения (ОПН) способствуют их преимущества перед вентильными разрядниками, основным из которых являются:

- более высокий уровень защиты (меньшее остаточное напряжение) и, благодаря этому, более широкий диапазон защиты;
- отсутствие сопровождающего тока после разряда;
- более простая конструкция;
- меньшие размеры и вес;
- отсутствие износа искрового промежутка.

Из-за отсутствия внешнего промежутка не существует и напряжения пробоя этого промежутка. Именно поэтому на ОПН воздействуют все виды напряжения: рабочее, коммутационное и атмосферное.

При выборе ОПН рассчитывается напряжение при длительной нагрузке. Оно должно быть равным либо большим, чем напряжение, могущее возникать в сети и воздействовать на ОПН длительное время.

Рассчитывается, достигается ли надежная защита трансформатора выбранным типом ОПН, принимая во внимание расстояние ОПН-трансформатор. Поскольку с возрастающим расстоянием между ОПН и оборудованием действие защиты уменьшается, следует в каждом конкретном случае проверять расположение ОПН, максимально приближая к объекту защиты.

Следующим параметром, по которому выбирается ОПН является остающееся напряжение – это амплитудное значение на выводах ОПН во время прохождения разрядного или коммутационного тока с амплитудой  $i$ . Основной характеристикой при выборе ОПН является характеристика «напряжение-время», показывающая максимальный промежуток времени, в течение которого к ОПН сможет быть приложено напряжение промышленной частоты, превышающее наибольшее длительнодопустимое рабочее напряжение, не вызывая повреждений или термической неустойчивости в режиме рабочих испытаний.

Выбор характеристик ОПН для каждого конкретного применения всегда является компромиссом между уровнем защиты оборудования и безопасностью эксплуатации ограничителя. Оптимальность выбора типа защитного аппарата зависит от полноты и достоверности данных о реальных параметрах воздействий на ограничитель.

## АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВОЗДУШНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

*И.А. Богусевич, Н.А. Акулик*

Научный руководитель В.Н. МАЗУРКЕВИЧ, к.т.н., доцент

Автоматический воздушный выключатель (АВ) – это электрический одноступенчатый аппарат, предназначенный для автоматического размыкания электрических цепей при воздействии на него редко возникающих в цепи ненормальных условий, а также нечастой коммутации тех же цепей при нормальных условиях.

АВ можно разделить на универсальные, установочные и специальные. Основные элементы, принципы устройства которых влияют на быстродействие АВ: 1) механизм отключения; 2) устройство магнитного дутья; 3) камера дугогашения.

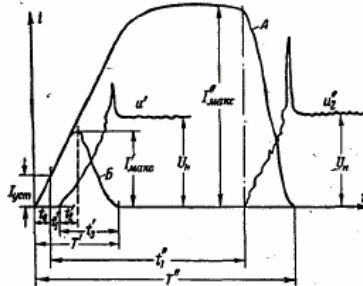


Рис. 1. Осциллограмма процесса отключения тока короткого замыкания: А – небыстродействующим АВ; Б – быстродействующим АВ.

Далее рассматриваются различные конструкции механизмов отключения и время их действия, процесс гашения дуги постоянного тока. Самыми простыми способами гашения дуги являются её растягивание и сообщение ей большой скорости движения с помощью магнитного дутья. Далее в работе приводятся закономерности, которым подчинена дуга при её угасании в дугогасительных устройствах различной конструкции.

### Литература

1. Л.И. Мишустина. Воздушные автоматические установочные выключатели серии АЗ100. М.-Л., «Госэнергоатомиздат», 1961.
2. А.И. Голубев. Быстродействующие автоматические выключатели. М.-Л., «Энергия», 1964.
3. Г.В. Могилевский. Полупроводниковые аппараты защиты, М. «Энергия», 1960.

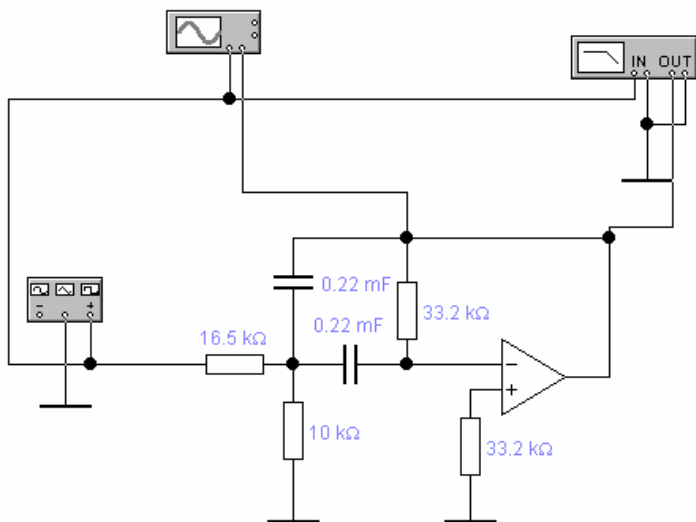
## ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЛЕКТИВНОГО АКТИВНОГО ФИЛЬТРА ОРГАНА ТОКА НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

*Н.Н. Гетман, А.Н. Крац, А.М. Молочко, И.В. Шуппо*

Научный руководитель В.Ю. РУМЯНЦЕВ, к.т.н., доцент

Активные фильтры широко используются в устройствах релейной защиты, выполненных на микроэлектронной элементной базе. Наиболее приемлемыми для использования в реле защиты оказались фильтры второго порядка, собранные по схеме с многоконтурной отрицательной обратной связью.

В работе рассматривается селективный активный фильтр, входящий в состав органа тока нулевой последовательности шкафа ШДЭ 2802. Исследовалось влияние нестабильности компонентов фильтра на вид его амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) средствами программы Electronics Workbench (см. рисунок).



АЧХ фильтра выбрано таким, что расчетное значение коэффициента передачи при номинальном значении частоты входного сигнала равно 1. Как показали проведенные исследования на схемотехнической модели, вследствие допустимого отклонения значений характеристик элементов фильтра от своих номиналов, фактическое значение коэффициента передачи может находиться в диапазоне от 0,85 до 1,15.

## РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ГИБКИХ ШИН ОРУ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ СПУСКОВ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ АППАРАТАМ

*Е.Г. Пономаренко*

Научный руководитель И.И. СЕРГЕЙ, д.т.н., доцент

Электродинамические воздействия больших токов короткого замыкания (КЗ) являются ключевыми факторами, влияющими на выбор токоведущих конструкций с гибкими шинами нужных геометрических размеров и механической прочности. В соответствии с рекомендациями СИГРЭ, МЭК, а также ГОСТ 30323-95 Беларуси для расчета электродинамической стойкости гибких шин с учетом конструктивных элементов рекомендуются численные методы расчета.

На кафедре «Электрические станции» БНТУ разработан конечно-разностный метод решения смешанной краевой задачи динамики гибких шин с учетом конструктивных элементов ОРУ. Краевые условия для уравнений движения проводов определяются упругой податливостью порталов, изолирующих колонок аппаратов. Уравнениями динамической совместимости проводов сборных шин и спусков являются уравнения движения ответвительного зажима под действием приложенных от них сил. Динамика гибких шин описывается приближенными уравнениями движения гибкой нити:

$$T \frac{\partial^2 \bar{R}}{\partial s_0^2} + \bar{F} = \rho \frac{\partial^2 \bar{R}}{\partial t^2},$$

где  $\bar{R}[x, y, z]$  – радиус-вектор мгновенного положения элемента провода;  $T$  – тяжеие провода;  $\rho$  – масса 1 м провода;  $\bar{F}$  – удельное электродинамическое усилие.

По разработанному алгоритму составлена компьютерная программа BUSEFM, результаты расчета по которой согласуются с опытными данными Бельгийской лаборатории LABORELEC (табл. 1).

**Таблица 1.**

Параметры провода	Западный			Восточный		
	Опыт	Расчет	Расхожд, %	Опыт	Расчет	Расхожд, %
$T_{\max}$ , кН	16,0	18,1	-13,3	16,0	16,2	-1,6
$y_{\max}$ , м	1,33	1,325	0,3	1,2	1,25	4,2

КП BUSEFM используется в проектной практике и в ходе дипломного проектирования.

## **ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ НА ЭЛЕМЕНТЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ПЛЯСКОЙ ПРОВОДОВ**

*П.И. Климкович*

Для пляски типичны колебания с большой длиной волны, большими амплитудами и тяжениями проводов, а также высокие динамические напряжения в элементах ВЛ. При пляске проводов наблюдаются сильные раскачивания поддерживающих гирлянд вдоль оси линии, что значительно увеличивает напряжения в проводах, зажимах, изоляторах и опорах. Нагрузки, длительно действующие на эти элементы, могут привести к усталостным разрушениям проволок в проводе вблизи поддерживающих зажимов. Воздействие пляски проводов накапливается в период срока службы элементов линии, вызывая потерю их механических свойств.

Для подавления и ограничения пляски чаще всего используются комбинированные гасители с маятниками. Маятники изменяют собственную частоту кручения относительно собственной частоты колебаний провода, при этом резонанс почти подавляется. Однако и сегодня нет общего решения комплексной проблемы предотвращения пляски проводов. В докладе излагаются математические модели и созданные на их основе компьютерные программы, пригодные для исследования пляски проводов в форме вычислительного эксперимента.

При математическом описании пляски проводов используется расчетная модель провода в виде абсолютно гибкой, упругой, сопротивляющейся кручению нити, динамика которой описывается дифференциальными уравнениями в частных производных второго порядка гиперболического типа. Поставлена смешанная краевая задача пляски проводов, включающая не только уравнение колебаний, но и краевые и начальные условия. С помощью краевых условия учитывается влияние расщепления фаз гасителей колебания различного типа, изолирующих и опорных конструкций по концам пролета. Аэродинамические силы и моменты определяются с помощью известных опытных аэродинамических характеристик. Расчеты по составленным компьютерным программам близки к опытным данным. Вычислительный эксперимент показал, что она пригодна для выбора такой комбинации размеров маятников и упруго-вязких свойств их демпферов, а также схем расстановки гасителей в пролете, при которых амплитуды пляски проводов будут минимальны.

## **ИСПЫТАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ПОВЫШЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА КАБЕЛЕЙ 6–35 кВ**

*Д.С. Коннов, Д.П. Кузнецик*

**Научный руководитель А.С. КРАСЬКО, к.т.н., доцент**

Испытание изоляции повышенным напряжением позволяет выявить дефекты изоляции, не обнаруженные другими методами. Применение для испытаний постоянного тока позволяет: во-первых, снизить мощность испытательной установки, так как мощность испытательной установки в этом случае определяется только током сквозной проводимости, во-вторых, уменьшается величина рассеиваемой в диэлектрике энергии, что уменьшает вероятность теплового пробоя и позволяет проверить запас прочности изоляции с точки зрения число электрического пробоя.

При выполнении испытаний на постоянном токе необходимо решить следующие технические вопросы: 1. Выбор мощности и схемы регулируемого источника постоянного тока. 2. Выбор методики измерения напряжения и токов утечки.

Высокое постоянное напряжение, с технической точки зрения, более целесообразно получить от установок переменного тока с помощью выпрямительного устройства.

В этом случае испытательная установка должна включать регулировочный автотрансформатор, повышающий автотрансформатор и высоковольтный выпрямитель.

Учитывая малое значение токов утечки по изоляции (50–1000 мкА) в качестве регулирующего устройства можно использовать автотрансформаторы типа РНО или им подобные.

Повышающий трансформатор должен обеспечить значения испытательного напряжения для кабелей 6–35 кВ в пределах 35–120 кВ. Для этих целей можно использовать измерительные трансформаторы напряжения типа НОМ-35 или НКФ-110-154.

Выпрямительное устройство целесообразно выполнять по однополупериодной схеме, а в качестве вентилей использовать высоковольтные электровакуумные диоды (ненотроны) или полупроводниковые высоковольтные диоды. В тех случаях когда выходное напряжение повышающего трансформатора не достаточно по величине можно использовать схемы умножения выпрямленного напряжения.

Измерение испытательного напряжения можно осуществлять как на стороне высокого напряжения, так и на стороне низкого напряжения в зависимости от наличия соответствующих приборов. Приборы

для измерения тока утечки должны обеспечить пределы измерения: 0–50–100 мкА, 0–250 мкА и 0–1000 мкА.

УДК 621.316.925

## **РАЗЛІК ТОКАЎ КАРОТКАГА ЗАМЫКАННЯ Ў СХЕМАХ АПЕРАТЫЎНАГА ПАСТАЯННАГА ТОКА СТАНЦЫЙ І ПАДСТАНЦЫЙ**

*В.А. Гаранін, О.Н. Дзямко, Т.Г. Жылко, Т.А. Крываішэй,  
О.В. Семерня, Д.В. Цярэньчэў*  
**Навуковы кіраўнік М.М. БОБКА, дацэнт**

У цяперашні час у Рэспубліцы Беларусь дзейнічае стандарт [1], які патрабуе, у адрозненне ад [2], выкарыстання новай metodyкі разліку токаў кароткага замыкання (КЗ). Новая metodyка ўлічвае наступныя акалічнасці:

1. спад у часе тока КЗ, які аддае аккумулятарная батарэя;
2. цеплавы спад тока КЗ, абумоўлены змяненнем супраціўлення кабеляў у выніку іх нагрэву токамі КЗ;
3. улік дугі ў месцы КЗ.

Алгарытм разліку тока КЗ з улікам азначаных вышэй фактараў патрабуе рашэння нелінейных алгебраічных раўнанняў і разлічаны на выкарыстанне сучасных вылічальных сродкаў.. Выкарыстанне новай metodyкі дазваляе атрымаць, у адрозненне ад metodyкі, выкладзенай у [2], найбольшае і найменшае разліковыя значэнні тока КЗ і змяненне яго ў часе. Гэта дазваляе больш дакладна выканаць выбар і праверку камутацыйнай здольнасці і селектыўнасці засцерагальных апаратаў. Пры выкананні работы распрацавана камп'ютарная праграма для разліку токаў КЗ у схемах аператыўнага пастаяннага тока электрычных станцый і падстанцый.

Праграма можа быць выкарыстана пры выкананні праектных і праверачных разлікаў камутацыйнай здольнасці і ўставак камутацыйных апаратаў у схемах пастаяннага аператыўнага тока. Выканання па праграме праверачныя разлікі токаў КЗ і камутацыйнай апаратуры ў існуючых схемах паказалі высокую эфектыўнасць прымянення распрацаванай праграмы.

### **Літаратура**

1. ГОСТ 29176-91. Короткие замыкания в электроустановках. Методика расчета в электроустановках постоянного тока. М.:Издательство стандартов, 1992.
2. МУ 34-7—035-83. Методические указания по расчету защит в системе постоянного тока тепловых электростанций и подстанций. М.: СПО "Союзтехэнерго", 1983.

## **ЦИФРОВЫЕ СИГНАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССОРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В УСТРОЙСТВАХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ**

*А.В. Рождественский*

**Научный руководитель Ф.А. РОМАНЮК, д.т.н., профессор**

В настоящее время широкое распространение получили цифровые сигнальные процессоры (ЦСП) – в английском написании DSP (Digital Signal Processor), которые при относительно невысокой стоимости обеспечивают достаточно высокое быстродействие для задач цифровой обработки сигналов.

Сравнительно невысокая цена, а также развитые средства разработки программного обеспечения позволяют легко внедрять подобные системы в устройства РЗА. Многие фирмы США и Европы предлагают свои ЦСП-системы, в которых используется от 1 до 8 ЦСП и от 128 кбайт до 256 Мбайт памяти для данных и программ. Наибольшее распространение получили ЦСП фирм Analog Devices, Texas Instruments, Motorola, NEC, AT&T.

К особенностям архитектуры ЦСП можно отнести наличие разделенных умножителя-аккумулятора, арифметико-логического устройства и устройства циклического сдвига. Несколько генераторов адресов памяти программ и данных позволяют генерировать адреса для одновременной выборки нескольких операндов.

В устройствах релейной защиты и автоматики с применением цифровых сигнальных процессоров могут быть реализованы цифровые фильтры, а также формирователи ортогональных составляющих (ФОС) токов и напряжений с большим количеством отсчетов, что обеспечивает широкую полосу задерживания АЧХ формирователя и позволяет упростить аналоговую часть устройств РЗА, и тем самым повысить характеристики устройства.

Оптимальным, с точки зрения отношения цена/производительность для задач обработки сигналов в устройствах РЗА являются 16-разрядные сигнальные процессоры с производительностью 20–50 MIPS – это процессоры таких семейств, как ADSP-218x фирмы Analog Devices, TMS320C200 фирмы Texas Instruments, а также DSP5660x фирмы Motorola.

Существуют образцы ЦСП (семейство DSP 5660x фирмы Motorola), сочетающие на одном кристалле два ядра: цифровой сигнальный процессор и микроконтроллер с RISC-архитектурой. Применение подобных процессоров позволяет реализовать часть алгоритмов работы устройства, связанную с большим объемом вычислений (ФОС, быстрое



преобразование Фурье, дистанционные органы) в ядре ЦСП, а часть алгоритмов, связанную с большим объемом логических операций, а также с получением информации о состоянии периферийных устройств и их управлении – в ядре микроконтроллера.

УДК 621.316.35

## ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ШИННОЙ КОНСТРУКЦИИ 10 КВ

*О.О. Городецкая, С.Н. Емельянов, А.С. Епихин*

Научный руководитель И.А. ПРИМА, к.т.н., доцент

Рассматривается случай параллельного расположения жестких проводников любого сечения в вершинах произвольного треугольника при произвольной полярной ориентации шин и сочлененных с ними изоляторами. Для вычисления токов короткого замыкания в любой момент времени рассматривается случай металлического замыкания. Учет ферромагнитных масс не производится. Распределенные электродинамические усилия (ЭДУ) на расчетную фазу определяются по принципу суперпозиции. Для перевода ЭДУ в связанную с шиной и изолятором местную систему координат формируется матрица направляющих косинусов. При вычислении максимальных значений напряжения в материале шины рассматривается случай косого изгиба балки с жестким закреплением концов:

$$\sigma_{расч. max} = \left| \frac{M_{y_1}}{W_{z_1}} \right| + \left| \frac{M_{z_1}}{W_{y_1}} \right|,$$

где  $M_{y_1}$ ,  $M_{z_1}$  – изгибающие моменты вокруг осей связанной с сечением шины местной системы координат;  $W_{y_1}$ ,  $W_{z_1}$  – моменты сопротивления сечения проводника.

Для вычисления максимальных ЭДУ в литературе приводятся значения углов включения только для частных случаев расположения шин, поэтому нахождение максимальных значений напряжения в материале шины и нагрузок на изоляторы осуществляется путем последовательного просчета для ряда углов включения с фиксацией максимальных параметров.

Разработанная методика и программа для ПЭВМ может быть использована в практике конструкторских работ по разработке сборных шин и ошинок, шинных мостов и токопроводов электроустановок с произвольным закреплением шин и изоляторов.

УДК 621.316.925.

## **КОМПЛЕКТНОЕ УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ЛИНИЙ СЕРИИ SPAC 801**

*С.А. Пашкевич, А.А. Щербенок, А.М. Леванович, А.Г. Маркевич*  
Научный руководитель А.А. ТИШЕЧКИН, к.т.н., доцент

Комплектные устройства защиты, управления и автоматики распределительных сетей серии SPAC 801 выполнены на микропроцессорной элементной базе и предназначены для защиты, управления и автоматики различных энергетических объектов напряжением 6-10 кВ: кабельной или воздушной линии, двигателей и трансформаторов собственных нужд, не требующих дифференциальной защиты.

Терминалы SPAC представляют собой набор блоков, конструктивно объединенных в кассете. В состав устройства входят следующие блоки: входных трансформаторов, питания, измерительный, управления, входных сигналов и выходных реле.

Для изучения функций и характеристик этих устройств имеются программные симуляторы, которые представляют собой математическую модель, полностью повторяющую внешний вид и основные функции устройства. Симулятор позволяет приобрести основные навыки работы с устройством, научиться выставлять уставки и положение ключей, проверять характеристики и приобрести навыки по техническому обслуживанию устройства. Таким образом, симуляторы являются и справочником и тренажером одновременно.

УДК 621.316.98:681.3

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ЗАЩИТНЫХ ЗОН СТЕРЖНЕВЫХ И ТРОСОВЫХ МОЛНИЕОТВОДОВ**

*С.В. Хортов, Д.А. Чернопятов, А.В. Штуро*  
Научный руководитель В.А. БУЛАТ к.т.н., доцент

Молниеотвод как средство защиты от прямых ударов молнии состоит из молниеприёмника, возвышающегося над защищаемым объектом, заземлителя и токоотвода, соединяющего молниеприёмник с заземлителем.

Зоной защиты принято называть пространство вокруг молниеотводов, попадание разрядов молнии в которое маловероятно. Зоны защиты молниеотводов определяются опытным путём на моделях. При этом принимается, что зоны защиты реальных молниеотводов геометрически подобны зонам, полученным в лаборатории на моделях.

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода представляет собой пространство вблизи молниеотвода, ограниченное поверхностью вращения в виде «шатра».

Такие объекты как открытые распределительные устройства подстанций, располагаются на достаточно большой территории и защищаются несколькими молниеотводами.

Разработанные алгоритмы программы могут использоваться для качественной оценки зоны защиты стержневых и тросовых молниеотводов, а также для выполнения лабораторных работ по курсу «Техника высоких напряжений».

### Литература

1. Степанчук К.Ф., Тиняков Н.А. Техника высоких напряжений. – Мн.: Выш. школа, 1982.
2. Правила устройства электроустановок. – М.: Атомиздат, 1985.
3. А.А. Дульзон, Ю.И. Кузнецов и др. Руководство к лабораторным работам по технике высоких напряжений. Томск 1975.

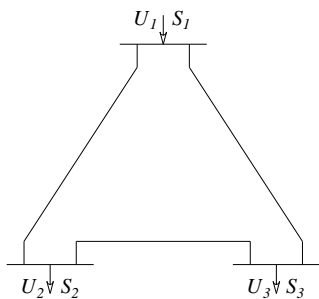
УДК 621.315

## ОБ АНАЛИТИЧЕСКОМ РЕШЕНИИ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ТРЕХУЗЛОВОЙ СЕТИ

*А.П. Томкевич*

**Научный руководитель О.А. ЯНУШКЕВИЧ**

Рассмотрим электрическую сеть, состоящую из трех линий электропередачи, образующих кольцо (треугольник). Два узла сети положим нагрузочными (потребители неизменной мощности), в третьем – источник бесконечной мощности. При моделировании будем использовать П-образную схему замещения линий электропередачи.



Данную физическую модель сети опишем нелинейной системой алгебраических уравнений, составленной в соответствии с методом узловых напряжений. Искомыми являются напряжения нагрузочных узлов ( $U_2$  и  $U_3$ ) и генерируемая мощность источника ( $S_1$ ). Остальные параметры режима ( $U_1$ ,  $S_2$  и  $S_3$ ) и параметры системы считаем известными.

Методом [1] сводим полную систему уравнений к виду:

$$\begin{cases} aU_3^4 + bU_3^3 + cU_3^2 + dU_3 + e = 0 \\ U_2 = f(U_3) \\ S_1 = h(U_2, U_3) \end{cases},$$

где  $a, b, c, d, e$  – комплексные коэффициенты, определяемые через параметры системы и известные параметры режима.

Первое уравнение системы решается по методу Феррари [2], который понижает порядок уравнения с получением двух квадратных и одного кубического уравнения. В свою очередь корни кубического уравнения находятся по формулам Кардано.

Результатами работы являются: 1. аналитическое решение задачи расчета установившегося режима схемы «теругольник»; 2. условия существования установившегося режима в исследуемой сети.

#### Литература

1. Томкевич А. П., Янушкевич О. А. О точном решении системы уравнений узловых напряжений в форме баланса мощности. Вестник БГПА. №1. 2002. С. 63–65.
2. Курош А. Г. Курс высшей алгебры – М.: Наука, 1968. – 431 с.

УДК 621.316.1.064.2

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

*А.А. Марченко, О.В. Микулич, А.Н. Парков*

**Научный руководитель К.Ф. СТЕПАНЧУК, д.т.н., профессор**

Линии 330, 500, 750 кВ – внушительные и своеобразно красивые сооружения. Глядя на них издали, испытываешь чувство гордости за огромные технические достижения современности. Однако когда подходишь к линии ближе, к этому чувству примешивается внутреннее беспокойство. Линия шумит и потрескивает, коронируя. Непосредственно под линией сверхвысокого напряжения акустический шум достигает 60–80 дБ. На некотором расстоянии от линии шум заметно ослабевает.

Какие предлагаются методы борьбы с шумом? Можно снижать напряженность на поверхности провода, предупреждая коронирование, но это ведет к новым и немалым вложениям средств в провода. Можно расширить зону ограничений. Разумное сочетание указанных методов помогает решить эту проблему.

Коронирующая линия интенсивно излучает электромагнитные волны в широком диапазоне частот от 1 кГц до 100 МГц и более. При этом в зоне линии нарушается работа приемников, телевизоров и вы-

сокочастотная связь. Радиопомехи сильно возрастают во время дождя туманов.

Линии электропередач проходят по полям и лесам, пересекают дороги и реки. Территории, расположенные под воздушными линиями и вблизи них, очень большие – десятки тысяч квадратных километров. Неужели вся эта земля будет потеряна для хозяйственной деятельности людей? Безусловно, нет! Ходить и работать под линиями все-таки необходимо. Пусть не очень долго и не везде – время и место можно сознательно ограничить, однако находиться под линиями приходится.

До середины 50–х годов вопрос этот почти не обсуждался. Подолгу работая или прогуливаясь под линиями на подстанциях напряжением 3–220 кВ, люди как будто не испытывали никаких неприятных ощущений. Шум от короны во время дождя сливался с окружающим звуковым фоном и особых протестов не порождал. Но вот построили линии и подстанции 500 кВ, и положение резко изменилось. Шум заметно усилился, кроме того, дежурные электрики и ремонтный персонал, которым подолгу приходилось находиться вблизи таких линий или на территории подстанций, начали жаловаться на усталость, ощущение беспокойства, головную боль. Было установлено, что причина этих явлений не только в шуме – влияет электромагнитное поле, и в работу срочно подключились физики и медики. Исследования и наблюдения, проведенные в 60–х и в начале 70–х годов, выявили следующее. Человек может без вреда для здоровья работать под линией при напряженностях электрического поля порядка 1–5 кВ/м. Более высокие напряженности, например 20 кВ/м, приводят к появлению и накоплению в организме физиологических нарушений и расстройств. В особенности страдает нервная система. Находиться систематически и подолгу в таких условиях, а тем более работать недопустимо. Кратковременное однократное или периодическое появление в зоне сравнительно высоких напряженностей возможно, но время пребывания должно быть ограничено: при напряженности 15 кВ/м допустимая продолжительность пребывания человека в электрическом поле составляет 1,5 ч, при напряженностях 20–25 кВ/м время сокращается до нескольких минут.

Следовательно, напряженность поля под воздушной линией надо нормировать: большинство специалистов решили, что в местах, где под линией возможно появление людей и животных, она не должна превышать 15 кВ/м. Это мнение было узаконено и стало «нормой».

Отметим еще одно интересное явление, с которым пришлось столкнуться под воздушными линиями и на подстанциях сверхвысокого напряжения. Под линией в области высокой напряженности емкость тела человека непрерывно перезаряжается с частотой 50 Гц. Если

обувь изолирующая, то прикосновение к заземленному объекту вызовет разряд этой емкости. Искра и ток могут быть не только неприятными, но даже опасными (при токах свыше 5–10 мА) для человека. Еще опаснее разряд емкости автобуса или автомашины на резиновом ходу через тело человека на землю. Представьте, что автобус остановился под действующей линией сверхвысокого напряжения, а вы пытаетесь в него войти. Возникнет крайне опасная ситуация. Несложные расчеты показывают, что ток, который пройдет через тело в момент (и после) прикосновения человека к ручке двери автобуса, может достигать критических величин. Нельзя автобусу останавливаться под линией, и тем более нельзя в это время входить в него и выходить из него!

А как быть с трактором, вспахивающим зябь, или с любой другой техникой в районе воздушных линий? Совершенно очевидно, что эту технику надо заземлять, а людей, которые на ней работают, обучить специальным мерам безопасности и обязательно оговорить время их пребывания под воздушными линиями или в районе их.

УДК 621.315

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*А.В. Комар*

**Научный руководитель А.П. ТОМКЕВИЧ**

Для эффективного управления электрическим режимом энергосистемы, желательным является расчет установившегося режима в реальном времени, что невозможно без непосредственного использования средств телемеханики и ЭВМ. Задача расчета установившегося режима может выступать как самостоятельный вопрос, а также как подзадача в более сложных расчетах (например, оптимизационных). В связи с этим актуально исследование путей совершенствования существующих и разработка новых методов расчета установившегося режима. Ключевой проблемой этого вопроса является получение алгоритма расчета, дающего гарантированное решение задачи в случае существования режима. К сожалению, используемые в настоящее время итерационные методы расчета не обладают указанным свойством.

Определяющую роль при выборе метода расчета режима играет принятая физическая модель сети (в практических расчетах – это нелинейная схема замещения с сосредоточенными параметрами). В результате получаем нелинейную систему алгебраических уравнений.

При использовании итерационных методов расчета значительное влияние оказывает форма записи уравнений системы. Эмпирически

показано, что метод Ньютона-Рафсона обладает наилучшей сходимостью для системы уравнений, записанной по методу узловых напряжений в форме баланса действительной и мнимой составляющих токов в декартовых координатах. Видимо, этот алгоритм реализован в программах Rastr и Mustang.

Интерес представляют градиентные методы решения систем нелинейных уравнений, базирующиеся на нахождении минимума гиперфункции. Предпринимаются попытки разработки электротехнических подходов для упрощения решения систем нелинейных уравнений – метод диакоптики, применяемый для расчета многоузловых (более 10000 узлов) энергосистем; метод эквивалентных преобразований (алгоритм Бухбергера), суть которого в сведении многоузловой схемы к схеме двух узлов и итерационного решения, получившегося нелинейного уравнения высокого порядка.

Альтернативой итерационным методам являются методы получения аналитического решения нелинейной системы уравнений, позволяющие также записать условия существования установившегося режима.

УДК 621.316.925

## **АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ СРАБАТЫВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ, УСТАНОВЛИВАЕМЫХ В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

*М.Н. Новиков, В.Л. Рашкевич, А.В. Яршевич*

**Научный руководитель Е.В. ГЛИНСКИЙ, доцент**

В настоящее время актуальной задачей по повышению надежности работы устройств релейной защиты, автоматики, сигнализации и управления является расчет токов короткого замыкания и проверка селективности действия защитных аппаратов, установленных в цепях постоянного тока электрических станций. В рамках решения этой задачи возникает необходимость определения времени срабатывания автоматических выключателей при известных величинах тока, протекающих по ним.

В цепях постоянного тока используются автоматические выключатели, имеющие различные технические и защитные характеристики. Для унификации описания используемых автоматических выключателей с различными техническими и защитными характеристиками, принята обобщенная время-токовая характеристика срабатывания автома-

тических выключателей. Она имеет три защитные зоны. Первая защитная зона имеет обратозависимую от тока характеристику времени срабатывания и обеспечивает действие автоматических выключателей в зоне токов перегрузки. Вторая защитная зона имеет независимую от тока характеристику времени срабатывания и обеспечивает селективность действия автоматических выключателей и других защитных аппаратов при коротких замыканиях. Третья защитная зона также имеет независимую от тока характеристику времени срабатывания и обеспечивает токоограничивающие функции автоматических выключателей при коротких замыканиях.

На основании обобщенной время-токовой характеристики срабатывания автоматических выключателей разработан алгоритм определения наибольшего и наименьшего времени срабатывания автоматических выключателей при известном значении тока. Время срабатывания автоматических выключателей определяется с учетом возможных разбросов времени срабатывания во всех трех зонах и возможных разбросов токов, ограничивающих защитные зоны.

УДК 621.316.35

## **ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТОВ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД, ВЫПОЛНЯЕМЫХ НА ТЭС**

*О.А. Гурьянчик, М.В. Сивко*

**Научный руководитель В.И. НОВАШ, д.т.н., профессор**

Кафедрой "Электрические станции" БГПА разрабатываются вычислительные системы для оперативных расчетов самозапуска электродвигателей собственных нужд (СН) на ПЭВМ силами инженерно-технического персонала производственных служб ТЭС [1]. Для оперативных расчетов на ТЭС требуется ускоренная подготовка информации, наглядное представление результатов, высокая скорость выполнения расчетов. В разработанных вычислительных системах эти требования удовлетворяются в наиболее полной степени.

Вычислительная система создается для конкретной ТЭС. В нее входят банк данных по СН ТЭС определенной ступени напряжения (3.15–6.3 кВ или 0.4 кВ), программы подготовки информации для расчета режимов самозапуска на заданной конкретной секции СН, программы расчета режимов самозапуска. Выполняются расчеты нормального режима, предшествовавшего самозапуску, режима трехфазного КЗ на шинах секции, режимов группового и индивидуального выбега после отключения основного источника питания, режима само-



запуска после восстановления питания от резервного трансформатора СН. Важнейшими информационными параметрами таких расчетов являются параметры электродвигателей и механизмов собственных нужд, параметры основного и резервного источников питания. Результаты расчета выдаются на экран дисплея в графическом виде в темпе расчета.

Особенностью разработанных алгоритмов и программ является учет предшествующей двигательной нагрузки на шинах резервного трансформатора СН, сопротивления связи между шинами резервируемой и резервной секций, а в вычислительной системе расчета самозапуска двигателей СН 0.4 кВ дополнительно учитываются сопротивления связей между групповыми сборками 0.4 кВ и основной системой шин, сопротивления питающих кабелей, первичных обмоток трансформаторов тока, переходных сопротивлений контактных соединений в цепях электродвигателей. В процессе расчета самозапуска конкретной секции СН 0,4 кВ предусмотрена возможность изменения сопротивлений контактных соединений в цепях электродвигателей без выхода из программы расчета режимов самозапуска.

#### **Литература**

1. Новаш В.И., Глинский Е.В. Вычислительные системы для расчета режимов самозапуска электродвигателей собственных нужд персоналом электрических станций. Мат. меж. 52-й НТК БГПА "Тех. ВУЗы – республике" в семи частях, ч. 1, Минск, 1997. – С. 4.

УДК 621.316.925

## **ИССЛЕДОВАНИЕ БРОСКОВ ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ СИЛОВЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

*В.О. Боровой, А.А. Пухарт*

**Научный руководитель Л.Н. СВИТА, к.т.н., доцент**

Броском намагничивающего тока (БНТ) называют переходный процесс, проявляющийся в резком увеличении тока намагничивания силового трансформатора при его включении под напряжением или при восстановлении напряжения после отключения внешнего КЗ. БНТ в сотни раз превышает величину установившегося тока холостого хода и воспринимается релейной защитой (РЗ) как ток внутреннего повреждения. Для предотвращения ложных отключений при БНТ в устройствах РЗ предусматриваются мероприятия, основанные на отличии формы кривой БНТ от токов нагрузки и внешних КЗ, что требует специального исследования.

Исследование БНТ наиболее удобно выполнять методом вычислительного эксперимента, заключающимся в математическом моделировании трансформатора и воспроизведении математической модели на ЭВМ с выдачей результатов расчета в виде осциллограмм, определением интегральных параметров и гармоническим анализом. В настоящей работе использовалась математическая модель трехфазного трехстержневого трансформатора, не содержащая индуктивностей рассеяния отдельных обмоток, которые однозначно не определены в различных коммутационных режимах. Исследовались однополярные и биполярные (периодические) БНТ. В результате исследования уточнены условия возникновения биполярных БНТ с одинаковыми амплитудами положительной и отрицательной полуволн, их гармонический состав, ориентировочные максимальные действующие значения для различных типов понижающих трансформаторов 6-10 кВ, 35 кВ, 110 кВ при включении на указанные напряжения без нагрузки. Результаты работы могут быть использованы при уточненной проверке отстроенности дифференциальной защиты трансформаторов от бросков тока намагничивания.

УДК 621.313.314

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ УТЕЧКИ ЧЕРЕЗ СУХОЕ ИЗОЛЯЦИОННОЕ ПОКРЫТИЕ ПРОВОДОВ ВЛП 10 КВ ПРИ КАСАНИИ ДЕРЕВЬЕВ И ДРУГИХ ЗАЗЕМЛЕННЫХ ПРЕДМЕТОВ**

*В.И. Щетко*

**Научный руководитель К.Ф. СТЕПАНЧУК, д.т.н., профессор**

Исследования, проведенные на макете ВЛП при схлестывании проводов и при попадании на них упавших деревьев и других заземленных предметов, показали, что в таком режиме ВЛП может работать длительное время [1, 2]. Однако при попадании на провода заземленных предметов за счет токов утечки через покрытие провода и заземленный предмет высокие потенциалы могут появиться на этом предмете и вокруг него, т. е. могут возникнуть напряжение прикосновения и шаговое напряжение, опасные для людей и животных. Поэтому с позиции ТБ очень важно оценить величины токов утечки через покрытие провода в сухом состоянии провода и под дождем. данная работа посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию этой задачи.

Проведен теоретический анализ и оценка возможных токов утечки при соприкосновении провода с заземленным предметом (деревом).

В результате теоретических расчетов и проведенных опытов по оценке токов утечки при соприкосновении заземленного предмета (дерева) с проводом доказано, что при качественном покрытии активная составляющая тока утечки через покрытие пренебрежимо мала и активное сопротивление в схеме замещения образца при расчетах можно не учитывать. Для сухой поверхности покрытия можно не учитывать и поверхностное сопротивление провода.

При сухой поверхности полиэтиленового покрытия ток утечки на заземленный предмет и сопротивление изоляции определяются емкостью системы электрод – провод и практически не зависят от длины образца. В работе доказано, что при сухой поверхности измеренные значения токов утечки и сопротивление изоляции в системе заземленный электрод – провод справедливы для реальных пролетов ВЛП. Ток утечки не превышает 1 мА, а полное сопротивление изоляции не менее 50 МОм при любой длине пролета.

При дожде активное сопротивление изоляции снижается на несколько порядков и ток утечки от провода на дерево может достигать опасных значений, инициируя опасные потенциалы, например на стволе упавшего на провод дерева.

#### **Литература**

1. Степанчук К.Ф., Климович Г.С., Красько А.С. Срок службы изоляции покрытых проводов ВЛП 10 кВ при касании веток деревьев и других заземленных предметов. // Энергетика... (Изв. высш. учебн. заведений энерг. объединений СНГ). – 2002. – №5. – С. 28–34.

2. Степанчук К.Ф., Климович Г.С., Красько А.С. Срок службы изоляции покрытых проводов ВЛП 10 кВ при схлестывании. // Энергетика... (Изв. высш. учебн. заведений энерг. объединений СНГ). – 2002. – №3. – С. 22–26.

УДК 621.316.35

## **ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛЯСКИ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП**

*А.П. Андрукевич, Е.А. Дерюгина, А.Н. Регино*  
**Научный руководитель П.И. КЛИМКОВИЧ**

В результате пляски происходят замыкания между проводами и между проводами и тросами, обрывы проводов, износ линейной арматуры и пр. Значительный ущерб от пляски проводов инициировал ее теоретические, экспериментальные и полевые исследования. Теоретическое изучение пляски существенно усложнено нелинейными зависимостями между аэродинамическими силами, движением и кручением проводов многопролетных участков воздушных ЛЭП. В 1933 году Ден-Гартог первым представил математическое описание механизма и

вывел условие пляски в виде неравенства, связывающего только аэродинамические характеристики асимметричного профиля,

$$\frac{\partial C_L}{\partial \theta_a} + C_D < 0,$$

где  $C_L$ ,  $C_D$  – безразмерные аэродинамические коэффициенты подъемной силы и лобового сопротивления провода;  $\theta_a$  – угол атаки.

Условие Ден-Гартога нашло подтверждение в экспериментах для весьма малых эксцентричных форм гололеда. Ден-Гартог рассматривал вертикальные колебания проводов без учета их закручивания и демпфирования, такие пляски проводов являются довольно редким событием. Более распространена пляска, при которой поступательные колебания проводов синхронизируются с крутильными колебаниями. Л.Д. Пустыльников и В.А. Шапцов предложили подход к исследованию устойчивости колебаний проводов при условии минимума упрощающих предположений. Авторы выполнили оценку условий аэродинамической неустойчивости колебаний проводов для конкретных воздушных ЛЭП. Для практических целей представляет большой интерес расчет критических скоростей ветра, произведенный А.И. Полевым. Он дополнил условие Ден-Гартога составляющей, учитывающей крутильные колебания проводов.

Физическим основам пляски посвящены работы Л.В. Яковлева, С.С. Ржевского, Э.С. Глебова. Линейная теория колебаний проводов при пляске развита профессором В.И. Ванько. Им разработано математическое описание пляски как неустойчивости положений равновесия модели при отличных от нуля скоростях ветра. В.И. Ванько последовательно проводит процедуру исследования устойчивости по Ляпунову для проводов, представленных абсолютно гибкой упруговязкой нитью, сопротивляющейся кручению. В результате получено условие пляски по Ляпунову

$$C_L \left( \frac{\partial C_L}{\partial \theta_a} + C_D \right) + C_L \left( C_L - \frac{\partial C_D}{\partial \theta_a} \right) < 0,$$

обобщающее условие Ден-Гартога.

Комплексный подход к исследованию пляски проводов используют японские исследователи. К. Гото и М. Ямаока, применяя принцип Лагранжа, получили нелинейные дифференциальные уравнения в частных производных для определения динамических характеристик пляски одиночных и расщепленных проводов. Их исследование производится методом конечных элементов с учетом влияния гасителей колебаний с упруговязкими элементами. Эффективность разработанного в

Японии численного метода расчета амплитуд пляски и максимальных тяжений доказана многочисленными примерами расчетов и их сравнением с опытными данными, а также результатами полевых наблюдений и подтверждается положительным опытом ограничения и подавления колебаний проводов.

По мнению профессора Лильена, метод конечных элементов слишком громоздкий, требует длительного счета. Им предложена сравнительно простая математическая модель пляски, использующая новую теорию эквивалентной крутильной жесткости расщепленной фазы, которая подтверждается литературными данными, экспериментальными и полномасштабными испытаниями в полевых условиях. К другим способам определения амплитуд пляски проводов относятся методы энергетического баланса и функционального анализа, которые не получили значительного распространения.

При исследовании эффективности устройств ограничения и подавления пляски используются численные методы. Однако по оценкам СИГРЭ, правильная интерпретация статистических данных наблюдений на действующих линиях представляется предпочтительным способом определения эффективности различных устройств гашения пляски. Наибольший объем полевых наблюдений выполнен в Канаде, США, Западной Европе, Японии, России и Казахстане.

Несмотря на выполненный большой комплекс исследований и положительный опыт применения различных типов гасителей по сведениям СИГРЭ, отсутствует общее решение проблемы создания единого метода для предотвращения пляски проводов. Поэтому в этой области требуются как теоретические, так и практические работы по применению устройств подавления пляски проводов воздушных ЛЭП.

УДК 621.315

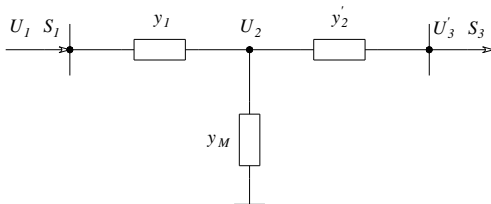
## **О РАСЧЕТЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ПОНИЖАЮЩЕГО СИЛОВОГО ТРЕХФАЗНОГО ДВУХОБМОТОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА**

*А.П. Томкевич*

**Научный руководитель В.И. НОВАШ, д.т.н., профессор**

В задачах расчета установившегося режима распределительных сетей двухобмоточные силовые трансформаторы обычно являются конечными элементами, к которым подключаются потребители, представляемые неизменной мощностью. В настоящее время используются упрощенные схемы замещения трансформатора, что, например, приводит к раздельному, приближенному расчету потерь энергии. Более

точные результаты можно получить, используя приведенную к стороне высшего напряжения Т-образную схему замещения.



Аналитическое решение задачи установившегося режима трансформатора позволяет упростить схему замещения рассчитываемой итерационным методом сети – сокра-

тить число узлов, задействованных в расчете. Математическая модель трансформатора для расчета установившегося режима, полученная в соответствии с методом узловых напряжений имеет вид

$$\begin{cases} \bar{y}_1 U_1 (\bar{U}_1 - \bar{U}_2) = S_1 \\ \bar{y}_1 (\bar{U}_1 - \bar{U}_2) + \bar{y}_2' (\bar{U}_3' - \bar{U}_2) = \bar{y}_M \bar{U}_2, \\ \bar{y}_1 U_3 (\bar{U}_3' - \bar{U}_2) = S_3 \end{cases}$$

где  $y_1, y_2', y_M$  – соответственно комплексные проводимости обмотки ВН, приведенной обмотки НН и ветви намагничивания;  $U_1, U_3'$  – напряжение ВН и приведенное напряжение НН;  $S_1, S_3$  – мощности источника и потребителя.

Искомыми являются  $S_1$  и  $U_3'$ . Остальные величины считаем известными. Из второго и третьего уравнений системы получено аналитическое выражение  $U_3' = f(S_3, U_1, y_1, y_2', y_M)$ , а из первого – соотношение  $S_1 = h(S_3, U_1, U_3, y_1, y_2', y_M)$ . Указанные зависимости позволяют «свернуть» трансформатор к узлу источника.

УДК 621.313.314

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

*А.В. Свистуленко*

**Научный руководитель К.Ф. СТЕПАНЧУК, д.т.н., профессор**

В настоящее время в республике значительное число электрооборудования выработало свой ресурс или приближается к этому пределу. Поэтому чрезвычайно важным является диагностика состояния на-

ружной и внутренней изоляции и других элементов высоковольтных аппаратов.

В условиях эксплуатации изоляция подвергается многократному воздействию внутренних и грозовых перенапряжений. Внутренние перенапряжения возникают при включениях и отключениях элементов электрической сети, коротких замыканиях и других изменениях схемы или параметров этой сети; грозовые перенапряжения возникают при ударах молнии в элементы электрической сети или вблизи них. Наряду с этим изоляция подвергается температурным и механическим воздействиям, приводящим к ухудшению ее электрических и механических свойств [2].

Эффективным методом выявления возможных повреждений является применение тепловизионной аппаратуры и термографических методов.

Материя непрерывно испускает и поглощает электромагнитное излучение. Процесс излучения связан с возбуждением молекул внутри вещества, в результате чего возникнут излучательные переходы электронов. Выделяющаяся энергия уносится фотонами электромагнитного поля.

Спектр излучения произвольно делят на области по признаку функциональных особенностей источников или приемников излучения. Инфракрасный диапазон волн расположен между видимым и радиодиапазоном и занимает область от 0,75 до 750 мкм. Широкое применение инфракрасного диапазона волн в современной науке и технике началось во второй половине XX века после создания эффективных инфракрасных приемников для области волн 2–14 мкм.

Применение ИК-излучения имеет и свои ограничения. Они обусловлены главным образом тем, что в отличие от радиоволн ИК-излучения претерпевают значительное затухание вследствие поглощения и рассеяния. Рассеяние ИК-излучения происходит на взвешенных в атмосфере частицах пыли, воды. Атмосферные газы (водяной пар и углекислый газ) поглощают ИК-излучения в некоторых областях спектра. Принцип работы приборов ИКТ основан на преобразовании инфракрасного излучения тел, к которому нечувствителен человеческий глаз, в видимое. Спектральный состав и интенсивность излучения любого предмета в ИК-области спектра определяются его температурой и излучательной способностью. Для обнаружения ИК-излучения в приборах ИКТ используются различные виды приемников: тепловые, фотоэлектрические и др. По своему построению и принципу действия большинство приборов ИКТ представляет собой оптико-электронные и оптико-механические устройства.

В энергетике получили применение тепловизоры, обеспечивающие возможность получения картины теплового поля исследуемого объекта и его температурного анализа.

Портативный компьютерный термограф «ИРТИС-200» разработан с учетом требований, предъявляемых к мобильной аппаратуре, используемой на предприятиях энергетики.

Термограф используется для проведения ИК-диагностики по всему циклу производства и распределения электроэнергии: от электростанций до подстанций и потребителей [1].

Методы ИК-диагностики широко используются в России и странах дальнего зарубежья и для диагностики все более выработавшего ресурс высоковольтного оборудования в Республике Беларусь их применение крайне необходимо и актуально, что требует тщательных и глубоких исследований с использованием всего накопленного опыта применительно к условиям Республики Беларусь.

#### Литература

1. Бажанов С.А. Инфракрасная диагностика электрооборудования распределительных устройств. М. НТФ "Энергопрогресс", "Энергетик", 2000. – 76 С.
2. Техника высоких напряжений. Под ред. М.В. Костенко Т38 Учебное пособие для вузов. М., "Высшая школа", 1973.

УДК 621.315/316

### УПРОЩЕННЫЙ РАСЧЕТ СБЛИЖЕНИЯ ПРОВОДОВ ПО ДОПУСТИМОМУ ИМПУЛЬСУ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ УСИЛИЙ

*Саммур Ваиль Махмуд*

**Научный руководитель И.И. СЕРГЕЙ, д.т.н., доцент**

В ПУЭ в качестве критерия недопустимого сближения проводов при коротком замыкании (КЗ) для всех классов напряжения и различной продолжительности КЗ приводится величина тока КЗ в 20 кА. С помощью численного метода и компьютерной программы получены результаты, показывающие, что опасное сближение проводов может наступить при меньшем токе, но большей продолжительности КЗ. Более общим критерием сближения проводов при КЗ является импульс электродинамических усилий (ЭДУ), который в интегральной форме учитывает основные характеристики режима КЗ:

$$S = \int_0^{t_k} F(t) dt, \quad (1)$$

где  $S$  – импульс ЭДУ;  $H_c$ ;  $t_k$  – продолжительность КЗ, с.



Представляя провода бесконечно тонкими параллельными нитями с неизменным расстоянием между ними ( $a$ ), получим приближенную формулу расчета импульса ЭДУ при двухфазном КЗ

$$S = 0,2I^2l \frac{(t_k + T_a)}{a}, \quad (2)$$

где  $I$  – ток двухфазного КЗ, кА.

Взаимосвязь сближения проводов и импульса ЭДУ устанавливается с помощью энергетического и интегрального принципов механики

$$0,75J \frac{S}{\rho l f_0} = \frac{2}{3} f_0 l \rho g (1 - \cos \alpha), \quad (3)$$

где  $J$  – момент инерции провода,  $\text{кгм}^2$ ;  $\rho$  – масса 1 метра,  $\text{кг/м}$ ;  $f_0$  – стрела провеса;  $\alpha$  – угол максимального отклонения провода.

Выразим  $\cos \alpha$  через допустимое отклонение провода и получим формулу для расчета  $S_{\text{дон}}$

$$S_{\text{дон}} = 3,3\rho l \sqrt{f_0 - \sqrt{f_0 - y_{\text{дон}}}}, \quad (4)$$

где  $y_{\text{дон}} = 0,5(a - a_{\text{мин дон}}) - r_p$ ;  $a_{\text{мин дон}}$  – наименьшее допустимое расстояние между фазами в момент их наибольшего сближения, м;  $r_p$  – радиус провода или радиус расщепления фазы.

Таким образом, упрощенный расчет сближения проводов при КЗ производится по условию

$$S_{\text{расч}} < S_{\text{дон}}, \quad (5)$$

где  $S_{\text{расч}}$  определяется по (2), а  $S_{\text{дон}}$  – по (4), который является простой комбинацией основных размеров, массы проводов и  $y_{\text{дон}}$ .

Достоверность расчетов сближения проводов по условию (5) подтверждена компьютерными расчетами по программе BUSEF.

УДК 621.311

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ**

*М.С. Сеньковец, Ю.В. Скурат*

**Научный руководитель С.М. СИЛЮК, к.т.н., доцент**

При оптимизации режимов и расчетах технико-экономических показателей электрических станций исходной информацией являются расходные характеристики отдельных блоков. Общепринятые методы получения энергетических характеристик оборудования предполагают

специальные испытания, связанные с большими затратами времени и средств, что делает невозможным их частичное проведение. Это приводит к несоответствию характеристик действительному состоянию оборудования и, в конечном счете, отражается на экономичности работы электрической станции.

При измерении состояния котлоагрегата и турбины будет измеряться и расходная характеристика блока. В условиях эксплуатации на одной КЭС состояние однотипных агрегатов неодинаково, а следовательно, неодинаковы и их характеристики. В зависимости от режимного состояния и величины нагрузки блоков расходная характеристика станций будет иметь различный вид.

Для расчета расходной характеристики блока использовался метод полного дифференциала функции многих переменных в приближенных вычислениях, позволяющий учитывать режимные параметры, соответствующие эксплуатационному состоянию.

В зависимости от режимного состояния и величины нагрузки расходные характеристики блоков имеют различный вид.

При покрытии суточного графика нагрузки, заданного станции энергосистемой, возможны три варианта распределения нагрузки между блоками станций: пропорциональное, произвольное и оптимальное.

Решение задачи по оптимальному распределению заданного графика нагрузки между блоками производилось на основе метода динамического программирования при условии, что расходные характеристики блоков  $B_i(N_i)$  известны.

Критерий оптимальности

$$\min \sum_{i=1}^n B_i(N_i) \quad (1)$$

при заданных ограничениях

$$\sum_{i=1}^n N_i = N_{cm}; \quad (2)$$

$$N_i^{\min} \leq N_i \leq N_i^{\max}. \quad (3)$$

Условие (2) соответствует балансу мощностей, а неравенства (3) отражает ограничения по условиям работы силового оборудования.

Минимум целевой функции определен по рекуррентному соотношению

$$h_k(N_{cm}) = \min[h_{k-1}(N_{cm} - N_k) + B_k(N_k)]; \quad (4)$$

По данному алгоритму была составлена программа расчета расходной характеристики станции. Предметная методика позволяет рассчитать расходные характеристики блочных электростанций в ходе экс-

платации по режимным параметрам блоков без проведения специальных испытаний и решить вопрос оптимальной загрузки блоков.

УДК 621.315/316

## НЕЯВНАЯ СХЕМА ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ПРОВОДОВ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

*М.С. Ломан, А.С. Тычина*

Научный руководитель И.И. СЕРГЕЙ, д.т.н., доцент

В результате электродинамического действия больших токов короткого замыкания (КЗ) происходит сближение и даже схлёстывание гибких проводов, сопровождаемых ударными нагрузками на опорные конструкции распределительных устройств (РУ) электростанций. Динамика проводов при КЗ, как движение упругой механической системы под действием распределённых электродинамических усилий, пульсирующих с частотами 50 и 100 Гц, описывается нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных. Их решение производится численным разностным методом. При использовании явной схемы численного решения задачи электродинамической стойкости гибких проводов с учётом конструктивных элементов и расщепления фаз возникает проблема обеспечения устойчивости вычислительного процесса.

В докладе излагается неявная схема численного решения уравнений движения проводов, обладающая большей устойчивостью решения при учёте конструктивных элементов РУ.

Полученная после замены производных в уравнении конечными разностями система алгебраических уравнений высокого порядка с трёхдиагональной матрицей решается алгебраической прогонкой (для  $j$ -го слоя сетки):

$$\bar{R}_i = \bar{a}_i + b_i \bar{R}_{i+1}; \quad i = n-1, n-2, \dots, 2;$$
$$a_i = \frac{ca_{i-1} + A_i}{d_i}; \quad b_i = \frac{c}{d_i}; \quad d_i = 1 + c(2 - b_{i-1}); \quad i = 2, 3, \dots, n-1,$$

где

$$c = \frac{T}{\rho} \left( \frac{\tau}{h} \right)^2; \quad A_i = 2\bar{R}_{j-1,i} - \bar{R}_{j-2,i} + \bar{P}^*_i \cdot \tau^2;$$

$\bar{R}_i$  – сеточные функции в узлах сетки;  $\tau$  и  $h$  – шаги интегрирования уравнений движения проводов по времени и длине провода;  $T$  – тяжесть провода;  $\rho$  – масса одного метра провода, кг/м;  $i$  – номер узла сет-

ки численного решения;  $n$  – число узлов сетки численного решения;  $\vec{P}_i^*$  – вектор суммарной нагрузки на единицу массы провода, Н/кг.

Проведённое сопоставление результатов расчёта по явной и неявной схеме с опытными данными подтвердило эффективность неявной схемы решения уравнения движения проводов (табл. 1)

**Таблица 1. Сопоставление опытных и расчётных величин максимальных тяжений и отклонений фаз при двухфазном КЗ:**  
 $I = 230$  м,  $a = 13$  м,  $b = 0,4$  м,  $T_0^A = 38$  кН,  $T_0^B = 44$  кН, 2хASTER-570,  
 $I = 54$  кА,  $t_k = 0,5$  с,  $T_a = 0,07$  с,  $\theta = 15$  °С

	Опыт	Явная схема	$\delta$ , %	Неявная схема	$\delta$ , %
Фаза А					
$T_{2\max}$ , кН	60	72,4	20,7	62,67	4,5
$T_{3\max}$ , кН	77	99,59	29,3	86,94	12,9
$y_{1\max}$ , М	5,0	5,42	8,4	5,677	13,5
$y_{2\max}$ , М	3,9	2,785	28,6	3,71	-4,9
Фаза В					
$T_{2\max}$ , кН	–	77,75	–	69,54	–
$T_{3\max}$ , кН	79	101,48	28,5	75,80	-3,2
$y_{1\max}$ , М	5,0	5,321	6,4	5,558	11,2
$y_{2\max}$ , М	4,0	3,32	-17,0	4,35	8,75

УДК 621.316.35

## СОВРЕМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА ОГРАНИЧЕНИЯ ПЛЯСКИ ПРОВОДОВ

*П.Н. Дикун, Д.П. Ильяшев*

**Научный руководитель П.И. КЛИМКОВИЧ**

До сегодняшнего дня было разработано много оригинальных решений по ограничению пляски проводов, но никаких однозначных решений по борьбе с этим явлением не было найдено. Идеальным решением был бы, новый тип многожильного провода с большим внутренним амортизационным соотношением, но, к сожалению, существующие провода имеют очень низкое амортизационное соотношение.

В настоящее время имеется три основных класса предложений по борьбе с пляской проводов.

Первый – на наличие пляски может влиять электрическая нагрузка передаваемая линией, так как увеличение температуры может в целом предотвратить обледенение. Но для того, чтобы иметь достаточный уровень температуры, требуется увеличение мощности передачи, что вызывает большие потери для энергосистемы.

Второй – увеличить запас прочности конструкции и видоизменить конфигурацию линии передач – увеличение изоляционного промежутка, с целью устранения опасных сближений проводов. Это дорого, однако это широко применяется, так как надежных методов подавления пляски проводов на данный момент не существует.

Третий – добавить механические устройства (гасители) на воздушные линии, активно воздействующие на процессы гололедообразования и пляски проводов.

Более детально в докладе рассмотрен третий класс, как для одиночного провода, так и для расщепленного.

В третий класс включены устройства ограничения пляски проводов: направленные на увеличение энергии потерь при колебаниях проводов; связанные с уменьшением активной энергии при пляске за счет изменения формы отложения в процессе гололедообразования; связанные с уменьшением активной энергии путем принудительного воздействия на линейные и крутильные движения провода.

Для расщепленных проводов используются распорки с вращающимися зажимами с которыми установлены эксцентричные грузы, как и на одиночных проводах. Широко используется комбинация различных способов подавления пляски проводов. В Бельгии коллективом ученых под руководством профессора Лильена разработан новый демпфер пляски расщепленных проводов типа TDD, сочетающий принципы расстройки маятниковой системой и демпфирования крутильных колебаний. TDD имеет динамическое действие способное избегать перемещения энергии от кручения к вертикальному движению. Ослабление скручивания с помощью ТДД увеличивает критическую скорость ветра при которой начинается пляска. Гаситель прошел успешные испытания в полевых условиях и рекомендован для применения.

### СЕКЦИЯ 3. Электроснабжение

УДК 621.316.35

#### ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Ю.С. Кисляк*

**Научный руководитель И.В. КОЛОСОВА**

Микроконтроллер (или однокристалльная микро-ЭВМ) – это интегральная микросхема, объединяющая в одном и том же корпусе микропроцессор, память и устройство ввода/вывода. Архитектура такого радиоэлемента и его набор команд оптимизированы, как правило, для применения в устройствах и системах автоматики и других областях, где не требуется большой вычислительной мощности, но важны габариты и стоимость. На сегодняшний день наиболее популярны микроконтроллеры семейства PIC16Fxx, простота и доступность этого радиоэлемента позволяет конкурировать с более дорогими и совершенными изделиями (буква F – обозначает что для хранения программы используется FLASH память, что позволяет довести количество перезаписи до 1000). Они легко программируются и способны обходиться без кварцевого резонатора, вместо которого используются керамические резонаторы или RC-цепи.

Эти радиоэлементы приспособлены для работы в системах с автономным питанием (что особенно ценно при построении схем КИПиА и других электронных блоков от которых зависит надежность работы системы в целом), в портативных или даже карманных устройствах.

В настоящее время на территории РБ микроконтроллеры применяются в системах автоматического учета, контроля и регулирования всевозможных параметров и процессов. В частности широко используются в приборах учета и контроля электроэнергии, воды, газа, тепла. Имея высокую производительность применяются в системах регулирования и отображения в удобном виде различных параметров в режиме реального времени.

Микроконтроллеры семейства PIC довольно успешно применяются уже несколько лет зарубежными производителями электронных устройств, что и обуславливает их популярность на нашем рынке, в частности их миниатюрность, простота в настройке и обслуживании. Разработка устройств на PIC микроконтроллерах позволит получить более технологичные и простые в эксплуатации устройства с доступной для наших потребителей ценой, качеством и гибкостью устройства.

УДК 621.311

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМАКСА

*А.В. Горош*

**Научный руководитель В.А. АНИЩЕНКО, д.т.н., профессор**

Наиболее распространенным семантическим методом контроля достоверности измерений переменных, характеризующих состояние энергетического оборудования, является метод предельных значений. Известны попытки оптимизации границ принятия решения о наличии недостоверных, т. е. произведенных с грубыми погрешностями измерений, на основе теории статистических решений с целью обоснованного сужения диапазона достоверных результатов измерений по сравнению с априорным диапазоном технологического рассеивания значений контролируемой переменной относительно среднего значения.

В качестве критерия оптимизации принимается минимум среднего риска принятия ошибочного решения, который зависит от априорной вероятности грубой погрешности измерения, вероятностей и стоимостей решений типа «ложная тревога» и «ложное спокойствие». Эффективность такого подхода зависит от правильного задания указанных вероятностей и стоимостей. Однако неопределенность и размытость понятий грубой погрешности и соответственно недостоверности измерения резко снижают практическую значимость оптимизации по критерию минимального среднего риска. В связи с этим предлагается определять оптимальную границу принятия решения по критерию минимакса, который не требует знания априорной вероятности грубой погрешности:

$$C_{cp} = (1-q)C_{лм}F_{лм} + qC_{лс}F_{лс} = \min \max, \quad 0 \leq q \leq 1,$$

где  $C_{cp}$  – средний риск принятия ошибочного решения,  $q$  – вероятность грубой погрешности,  $F_{лм}$  и  $F_{лс}$  – вероятности решений типа «ложная тревога» и «ложное спокойствие»,  $C_{лм}$  и  $C_{лс}$  – соответствующие стоимости последних решений.

Критерий минимакса позволяет определить границы принятия решения, при которых максимальное значение среднего риска будет минимальным при наиболее «неблагоприятной» вероятности грубой погрешности. Под недостоверным измерением при таком подходе понимается его результат, погрешность которого превышает погрешность замещения наиболее вероятным значением.

## **ЛОКАЛИЗАЦИЯ НЕДОСТОВЕРНЫХ ПОКАЗАНИЙ РЕЗЕРВИРОВАННЫХ ДАТЧИКОВ ИНФОРМАЦИИ**

*Ю.Л. Василевский*

**Научный руководитель В.А. АНИЩЕНКО, д.т.н., профессор**

Для повышения надёжности работы энергетического оборудования целесообразно в ряде случаев дублировать, а иногда – троировать измерения ответственных технологических переменных, что особенно актуально для атомных электростанций. Возникающая благодаря резервированию информационная избыточность даёт возможность организовать программно – логический контроль достоверности показаний датчиков информации.

Рассматриваемый алгоритм контроля предусматривает обнаружение наличия недостоверных результатов измерений с последующей их локализацией и определением наиболее вероятного значения контролируемой переменной.

Обнаружение недостоверных данных производится путём сравнения модулей попарных разностей синхронных показаний резервированных датчиков, а также модулей разностей показаний каждого из этих датчиков, произведённых в текущий и предшествующий моменты времени, с допустимыми небалансами. Последние назначаются в зависимости от классов точности датчиков и априорной информации о скоростях изменения контролируемых переменных в нормальных режимах работы.

Локализация недостоверных показаний датчиков производится на основе анализа присутствия датчиков в разностях, модули которых превышают допустимые небалансы. При этом должны учитываться знаки всех разностей и величины их отклонений от допустимых небалансов. Анализируя модули попарных разностей синхронных показаний датчиков, следует рассматривать всю систему неравенств в целом. Это позволяет избежать ошибочной локализации, когда коррекция предполагаемых недостоверных показаний приводит к появлению новых недопустимо больших разностей показаний, а также даёт возможность располагать подозреваемые в недостоверности показания по степени их вероятностей. Данная задача может быть решена методом линейного программирования.

После локализации недостоверных показаний приборов производится определение наиболее вероятного значения контролируемой переменной с учётом классов точности приборов, показания которых достоверны.



## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАСЧЁТАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАГНИТОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

*Ю.Л. Василевский*

**Научный руководитель В.Н. САЦУКЕВИЧ**

Электромагниты получили широкое распространение в различных областях промышленности. В настоящее время существуют электромагниты массой от нескольких десятков грамм до нескольких тонн.

Применение информационных технологий в расчётах электрических магнитов постоянного тока позволяет быстро и качественно производить необходимые расчёты с минимальными затратами интеллектуального труда и времени инженерного персонала и дает возможность инженерному персоналу сосредоточиться на решении более сложных задач.

Разработанная программа предназначена для расчёта электромагнитов постоянного тока броневого типа. Исходными данными для работы программы являются: напряжение питания, сила тяги электромагнита, его геометрические параметры, марка стали и обмоточного провода, а также величины воздушного и паразитного зазоров.

В результате работы программы производится выбор и расчёт обмотки электромагнита, определяется число витков и диаметр провода в зависимости от его марки и способа укладки, а также рассчитывается мощность, потребляемая этой обмоткой и температура её нагрева, делаются вывод о работоспособности электромагнита.

Программа позволяет производить расчёт магнитных цепей для наиболее широко используемых марок сталей, с учётом их аппроксимированных кривых намагничивания.

Компьютерная программа позволяет также протестировать обмотку, предложенную пользователем, определить температуру ее нагрева и допустимое время включения в сеть.

Программа разработана на языке программирования Delphi–5.5 для операционной системы Windows 98 и выше, имеет удобный графический интерфейс и оригинальный дизайн.

Разработанная программа позволяет, в случае если исходные данные заданы корректно, смоделировать работу электромагнита и продемонстрировать процесс притяжения якоря после подачи напряжения на его обмотку. Если расчёт магнитной цепи или обмотки не корректен, то появится сообщение о необходимости скорректировать исходные данные. Программа предназначена для сотрудников научно-исследовательских и проектных институтов, а также инженеров, занимающихся расчетами электромагнитов.

## КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

*Д.Л. Новик*

**Научный руководитель И.В. КОЛОСОВА**

Каждый электроприемник (ЭП) предназначен для работы при определенных параметрах электрической энергии, для этого должно быть обеспечено соответствующее ее качество. Показателями качества электроэнергии являются: отклонение, колебания, несинусоидальность напряжения, несимметрия трехфазной системы напряжения, отклонение частоты, электромагнитные переходные помехи.

Отклонения напряжения оказывают значительное влияние на работу электродвигателей. В случае снижения напряжения на зажимах двигателя уменьшается реактивная мощность намагничивания, при той же потребляемой мощности увеличивается ток двигателя, что вызывает перегрев изоляции. Повышенный износ изоляции приводит к сокращению срока службы двигателя.

Колебания напряжения приводят к увеличению суммарных активных потерь в сети. Колебания напряжения вызывают мигание ламп, что порождает неприятный психологический эффект у человека. Колебания напряжения нарушают нормальную работу и уменьшают срок службы электронной аппаратуры. При значительных колебаниях напряжения могут быть нарушены условия нормальной работы электродвигателей.

Несинусоидальность напряжения во вращающихся машинах приводит к появлению добавочных потерь в обмотках ротора, в цепях статора, а также в стали статора и ротора, а трансформаторах – увеличение потерь на гистерезис, вихревые токи и потерь в обмотках. При провалах напряжения большая часть современного электрооборудования и приборов отключается. А те ЭП, которые не отключаются – продолжают работать в ухудшающихся условиях и выходят из строя. Перенапряжения и импульсные напряжения сказываются в первую очередь на изоляции любых ЭП.

При несимметрии трехфазной системы напряжений существенно ухудшаются условия работы как самих ЭП, так и всех элементов сети, что ведет к снижению надежности работы электрооборудования и системы электроснабжения в целом. Отклонение частоты в электрической сети отрицательно влияет на срок службы оборудования, содержащего элементы со сталью, вследствие увеличения тока намагничивания и дополнительного нагрева стальных сердечников.

С ростом научно-технического прогресса острота проблемы повышения качества электрической энергии по-прежнему актуальна.

## **ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМА САПР ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

*А.Ю. Курсы*

**Научный руководитель И.В. КОЛОСОВА**

Современность характеризуется плотным оперированием большими потоками информации. Энергетика, как никогда, нуждается в мощной программной базе, как в сфере ремонта, эксплуатации, так и в сфере проектирования.

Целью данной работы стало построение математической модели каждой стадии проектирования систем электроснабжения и разработка алгоритма работы программы. Разработанные нами механизмы автоматизации проектирования позволяют принимать проектные решения и решать поставленные задачи без участия человека, но с возможностью вмешательства его в данный процесс. Огромную роль при этом играет разработанная база данных технологического оборудования и оборудования для его электроснабжения, а также полноценное использование мощного графического интерфейса предоставляемого операционной системой Windows. Созданная база данных основана на принципе реляционности, что позволяет добавлять новые или обновлять старые данные с максимальным удобством и скоростью. Построение проекта базируется на графическом макете проектируемого объекта, который представляет собой строительную конструкцию с размещением на ней электрической сети и технологического оборудования. Ограниченность макетного проектирования, существовавшая в программах работавших без возможностей графического интерфейса (GUI) или с псевдографическим интерфейсом, полностью исчезает. Тенденция всех новейших программных разработок сводится к макетному проектированию, поскольку оно является наиболее наглядным и универсальным, что касается пользования, именно по этой причине нами также выбран данный способ проектирования.

Алгоритм САПР построен таким образом, что все необходимые данные пользователь вводит по мере выполнения стадий проектирования, одновременно с этим программа производит расчет уже определенного проектировщиком этапа с выдачей результата в реальном времени. По окончании проекта программа создает табличное и графическое представление результатов расчета. Весь проект может быть сохранен и повторно загружен.

Таким образом, автоматизация проектирования системы электроснабжения в целом возможна.

## **МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОЕЗДАМИ МЕТРОПОЛИТЕНА**

*Ю.Л. Василевский, А.Л. Василевский*

**Научный руководитель И.И. ЛЕОНОВИЧ, д.т.н., профессор**

Электрифицированный транспорт нашёл широкое применение во многих странах мира. К его достоинствам стоит отнести экологическую чистоту, удобство в эксплуатации и обслуживании, высокую надёжность.

Суммарная мощность тяговых двигателей подвижного электрифицированного состава метрополитена состоящего из пяти вагонов типа 81.814 5М составляет 2280 кВт, на каждой линии в часы пик работают около 18 составов, следовательно, суммарное электропотребление представляет собой довольно внушительную цифру.

Правильное и экономное использование электрической энергии имеет исключительное значение. Экономия электрической энергии является важнейшей государственной задачей, что особенно актуально для нашей республики.

Электрифицированный транспорт является крупным потребителем электрической энергии, удельный вес которого в энергопотреблении страны возрастает с каждым годом.

Расход электроэнергии потребляемой поездами зависит от профиля дороги, массы пассажиров, а также от некоторых других факторов.

При городском мотор-вагонном движении значительная часть электрической энергии расходуется на преодоление сопротивления движению на перегонах, а так же на тормозные и пусковые потери.

Массу пассажиров подвижного можно косвенно определить по пусковым токам двигателей подвижного состава, при условии, что пусковой реостат в течение некоторого момента времени при пуске будет находиться в строго определенном положении. А, зная профиль трассы, можно дать чёткие рекомендации по наиболее экономичному способу ведения подвижного состава.

Применение компьютерных технологий позволит существенно упростить эту задачу и свести к минимуму потери электроэнергии, зависящие от профиля трассы.

При этом возможны два способа постановки задачи: первый – когда необходимо определить наиболее оптимальный график движения при условии что заданно время перегона между станциями, а второй – когда решающее значение имеет минимальный расход электроэнергии и время перегона выбирается в зависимости от этой величины.

## ПОВЫШЕНИЕ ТОКОГРАНИЧИВАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ РЕАКТОРОВ

*В.Г. Репин*

Научный руководитель В.М. ПРИМА, к.т.н., доцент

Для увеличения токоограничивающего действия управляемых реакторов стержневого типа могут использоваться компенсационные обмотки (характеристика 3).

В режиме КЗ поток создаваемый компенсационными обмотками размагничивает магнитопровод реактора и компенсирует поток созданный обмоткой управления. Это позволяет реактору значительно увеличивать реактивное сопротивление, по сравнению с нормальным режимом работы и эффективно ограничивать токи КЗ, снижая их величину до значений близких к номинальному току реактора.

Однако компенсационные обмотки реактора остаются включенными и в нормальном, продолжительном режиме работы, в котором их размагничивающее действие имеет отрицательный эффект.

Задачей данного исследования являлась оценка отрицательного воздействия компенсационных обмоток в нормальном режиме работы. В ходе эксперимента на опытном образце реактора было установлено, что для поддержания номинальных параметров, при включенных компенсационных обмотках, приходится увеличивать ток в цепи управления на 4–5 % по сравнению с поддержанием того же режима и отключенных компенсационных обмотках (характеристика 2).

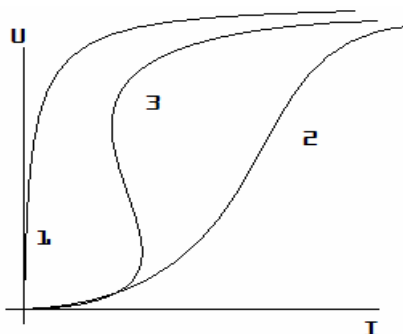


Рис. 1. Вольтамперные характеристики реактора: 1 – обмотки управления и компенсационные отключены; 2 – обмотка управления включена, компенсационные обмотки отключены; 3 – обмотки управления и компенсационные включены

## ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИИ НАГРУЗКИ НА СРОК СЛУЖБЫ ИЗОЛЯЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

*И.В. Дроздов*

Научный руководитель В.В. РОМАНОВ, к.т.н., доцент

Относительный срок службы изоляции трансформатора определяется по формуле

$$T_{*сл} = e^{-\alpha\Delta\tau}, \quad (1)$$

где  $\alpha = 0,1155 \text{ град}^{-1}$  – коэффициент, характеризующий шестиградусное правило;  $\Delta\tau$  – перегрев трансформатора из-за дополнительных потерь.

Несимметричная нагрузка приводит к появлению токов обратной последовательности, что вызывает дополнительные потери и дополнительный перегрев трансформатора.

Дополнительный перегрев изоляции трансформатора за счёт протекания через него токов обратной последовательности выражается в конечном виде формулой

$$\Delta\tau = P_{дооб} \left( \frac{1,8\theta}{P_k + P_x} + \frac{1,6\theta_{прев}}{P_k} \right), \quad (2)$$

где  $\theta$  – превышение температуры изоляции трансформатора над температурой окружающей среды, равное  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\theta_{прев}$  – превышение температуры наиболее нагретой точки обмотки над температурой масла в верхних слоях, равное  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Добавочные потери

$$P_{дооб} = \frac{P_k}{u_{к\%}} \varepsilon_2^2, \quad (3)$$

где  $P_k$  и  $u_{к\%}$  – соответственно потери и напряжение короткого замыкания трансформатора;  $\varepsilon_2$  – коэффициентом несимметрии напряжения по обратной последовательности, %.

Согласно ГОСТ 13109-97, нормально допустимое значение  $\varepsilon_2$  составляет  $\pm 2 \%$ , а предельно допустимое значение  $\varepsilon_2$  –  $\pm 4 \%$ .

Произведя расчёт по выражениям (1), (2) и (3) для нормально и предельно допустимых значений коэффициента несимметрии по обратной последовательности, можно определить, что относительные сроки службы изоляции равны 0,62 для  $\varepsilon_2 = 2 \%$  и 0,15 для  $\varepsilon_2 = 4 \%$  (при постоянном воздействии токов обратной последовательности), то

есть срок службы изоляции уменьшается соответственно в 1,61 и 6,67 раз.

УДК 621.311

## УПРАВЛЕНИЕ СОСТАВОМ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ С УЧЕТОМ КОММУТАЦИОННОГО РЕСУРСА СИЛОВЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

*А.Э. Красовский*

**Научный руководитель В.А. АНИЩЕНКО, д.т.н., профессор**

Учет коммутационного ресурса силовых выключателей накладывает ограничение при управлении составом многотрансформаторной подстанции.

Различают механический и электрический ресурс выключателя. Механический ресурс характеризует механическую стойкость привода выключателя. Электрический ресурс характеризует стойкость контактной системы разрушающему воздействию электрической дуги отключаемого тока. Механический и электрический ресурс указывается заводом-изготовителем в виде допустимого числа коммутаций.

При изменении состава работающих на подстанции трансформаторов происходит коммутация токов, не превышающих номинальные, поэтому износ силовых выключателей будет преимущественно механическим.

При условии, что ресурс выключателя должен быть полностью выработан не ранее окончания срока эксплуатации, можно определить допустимое число коммутаций за любой промежуток времени.

В общем виде алгоритм выбора состава трансформаторов по критерию минимума потерь активной энергии с учетом коммутационного ресурса силовых выключателей будет иметь вид:

$$\Delta W = \min;$$

$$n_{Q1}^T \leq N_{\text{доп.}Q1}^T; \dots; n_{QN}^T \leq N_{\text{доп.}QN}^T.$$

где  $n_{Q1}^T, \dots, n_{QN}^T$  – число коммутаций выключателей за время  $T$ ;  $N_{\text{доп.}Q1}^T, \dots, N_{\text{доп.}QN}^T$  – допустимое число коммутаций для выключателей за время  $T$ ;  $\Delta W$  – потери активной энергии.

При управлении составом трансформаторной подстанции с учетом коммутационного ресурса выключателей режимы работы подстанции в большинстве случаев будут сопровождаться некоторым перерасходом электрической энергии по сравнению с оптимальным режимом.

## **ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ СНИЖЕНИЮ**

*А.В. Машко, А.А. Сокольников*

**Научный руководитель Л.В. ПРОКОПЕНКО**

Величина потерь энергии в электрических сетях является одним из важнейших показателей, характеризующих эффективность функционирования сети.

Большая часть электрической энергии до потребления ее приемниками передается по сетям четырех-пяти номинальных напряжений. При этом потери энергии в сети каждого номинального напряжения (линия-трансформатор), как показывают расчеты, составляют 2–3 % и в целом при передаче энергии до потребителя – 10–12 %. Эта величина потерь обычно называется техническими потерями.

По экспертным оценкам величина технических потерь в электрических сетях должна и может составлять 4–5 %. Для снижения технических потерь должны широко применяться специальные мероприятия: регулирование режимов работы электрических сетей на основе применения оптимизационных методов, выбор числа работающих трансформаторов на подстанциях, применение регулируемых компенсирующих устройств, имеющих возможность выдачи и потребления реактивной мощности, широкое использование РПН трансформаторов, сокращение сроков ремонта оборудования сетей, выполнение ремонтных работ под напряжением.

Кроме технических потерь энергии в электрических сетях имеются так называемые коммерческие потери. Коммерческие потери обусловлены следующими величинами: погрешностями системы учета электроэнергии, хищением электроэнергии, неплатежами за потребленную энергию и т. п. Коммерческие потери по величине могут превышать технические потери.

Основные мероприятия по снижению коммерческих потерь следующие: совершенствование системы учета электроэнергии, например, замена старых однофазных счетчиков класса точности 2,5 на новые класса 2,0 повышает собираемость средств за электроэнергию на 10 %, внедрение периодической поверки счетчиков, трансформаторов тока и напряжения, замена индукционных счетчиков на электронные, внедрение автоматических систем учета электроэнергии на предприятиях, ужесточение ответственности за хищение энергии и неплатежи.



## ПУТИ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ГОРОДА

*А.А. Бацэка*

**Научный руководитель В.Б. КОЗЛОВСКАЯ, к.т.н., доцент**

В настоящее время в системах наружного освещения появились новые направления экономии электрической энергии:

- применение энергоэкономичных источников света (ИС);
- внедрение электронных пускорегулирующих устройств (ЭПРУ);
- обеспечение возможности снижения уровня освещенности после полудня при снижении плотности дорожного движения;
- внедрение системы автоматизированного контроля и управления освещением.

Лампы ДРЛ составляют более 50 % от общего количества ИС, используемых в системе наружного освещения городов.

**Таблица 1. Результаты замены ИС типа ДРЛ**

Назначение освещения	Применяемые ИС		Рекомендуемые ИС		Экономия ЭЭ в результате замены, %
	Тип ИС	Световая отдача, лм/Вт	Тип ИС	Световая отдача, лм/Вт	
Уличное и дорожное освещение, освещение туннелей	ДРЛ	32–60	НЛВД	100–150	55
Уличное и дорожное освещение в престижных районах	ДРЛ	32–60	МГЛ	60–100	31
Освещение шоссе, загородных автострад	ДРЛ	32–60	НЛНД	150–200	65

Экономия электрической энергии при замене электромагнитных пускорегулирующих аппаратов (ЭмПРА) на ЭПРУ в среднем составляет 18 %.

### Литература

1. Гжонковский Я. Возможности экономии электрической энергии на освещение в Польше // Светотехника. – 2002. – №2. – С. 14–17.

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*А.Л. Трушников*

**Научный руководитель В.Н. РАДКЕВИЧ, к.т.н., доцент**

В настоящее время актуальным вопросом энергетики является экономия энергоресурсов. В связи с этим необходимо искать пути уменьшения непродуктивного расхода электроэнергии. В работе предложен способ уменьшения потерь активной мощности в силовых трансформаторах общепромышленного назначения путём их оптимальной загрузки. Исследование зависимостей удельных потерь активной мощности от передаваемой мощности показали, что коэффициенты загрузки силовых трансформаторов типов ТМ, ТМЗ, ТСЗ, соответствующие минимуму удельных потерь, лежат в пределах 0,3-0,5 для разных типоразмеров. Поскольку общепризнанная методика выбора элементов схем электроснабжения опирается на условие минимума приведенных затрат, то в работе были рассчитаны и построены графические зависимости приведенных затрат от передаваемой мощности, как абсолютных, так и удельных (отнесенных к номинальной мощности). Из зависимостей следует, что наиболее выгодные коэффициенты загрузки, с точки зрения минимума приведенных затрат, лежат в достаточно широком диапазоне (0,29–0,8). В связи с этим при проектировании систем электроснабжения промышленных объектов полезно учитывать подобного рода зависимости при выборе силовых трансформаторов и выбирать для рассмотрения трансформаторы, выгодные с точки зрения минимума приведенных затрат. Таким образом, экономятся средства в основном за счёт снижения эксплуатационных затрат и при этом имеет место снижение расхода электроэнергии.

Следует также рассмотреть механизм замены силовых трансформаторов с целью повышения технико-экономических показателей на действующих предприятиях. Крупные предприятия имеют такую возможность, чего нельзя сказать о средних и малых предприятиях. Поэтому представляется полезным рассмотреть целесообразность создания централизованной организации, где будет оказываться помощь инженерным работникам предприятий в вопросах целесообразности перехода на другой типоразмер трансформатора, решаться вопросы доставки и обслуживания, которые могут стать основной помехой при реализации вышеуказанного способа экономии энергоресурсов.

## **ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В БЕЛАРУСИ**

*Ю.В. Макоско*

**Научный руководитель М.М. ОЛЕШКЕВИЧ, к.т.н., доцент**

Территория Беларуси характеризуется сравнительно невысоким ветроэнергетическим потенциалом. Среднегодовая скорость ветра составляет 2,8–4,4 м/с и лишь в ряде местностей, на высотах, достигает 5–6 м/с. Она зависит от высоты местности над уровнем моря ( $H$ ) и определяет величину коэффициента использования номинальной мощности  $K_n$  и годовую выработку электроэнергии. На высоте  $H = 200 - 300$  м, где  $V_{cp} = 4,3 - 5$  м/с и  $K_n = 13 - 17$  %, находится 4,2 тыс. км<sup>2</sup> территории республики (из 207,6 тыс. км<sup>2</sup>). На высоте  $H = 300 - 350$  м и более, где  $V_{cp} = 5 - 6$  м/с и  $K_n = 17 - 25$  %, находится 208 км<sup>2</sup> территории.

Для производства четверти потребляемой в стране электроэнергии (8,75 млрд. кВт·ч в год) ветроэнергетическими установками (ВЭУ) на территории с низким ветроэнергетическим потенциалом (4,3–5,0 м/с) при коэффициенте использования номинальной мощности 13 % и КПД. 28 % потребуется установить ВЭУ общей мощностью 7,7 млн. кВт, которые займут около 0,25 % территории страны и сэкономят 8,75 млн. т.у.т. импортного органического топлива. Однако, при существующих ценах на оборудование и тарифах условный срок окупаемости составит около 30 лет. Приемлемый срок окупаемости может быть получен при использовании ветрового потенциала 5-6 м/с, но суммарная мощность таких ВЭУ ограничивается пределами от 5 до 50 тыс. кВт с годовым производством электроэнергии 100 млн. кВт·ч. Применение стимулирующих тарифов, снижение капитальных затрат может снизить срок окупаемости ВЭУ до 3–4 лет.

### **Литература**

1. Олешкевич М.М. Перспективы ветроэнергетики в Беларуси // Энергетика – известия ВУЗов и ЭО СНГ. – 1999. № 1. – С. 12–18.

## **ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ЭНЕРГОРЕСУРСЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В БЕЛАРУСИ**

*Ю.В. Макоско, А.А. Баранникова*

**Научный руководитель М.М. ОЛЕШКЕВИЧ, к.т.н., доцент**

Актуальность проблемы обусловлена отсутствием в стране достаточного количества традиционных ресурсов, требованиями экономики, экологии и др. Из возобновляемых энергоресурсов в Беларуси практическое использование могут найти энергия ветра, солнца, биомассы и гидроэнергия рек.

Потенциал энергии органических отходов (биомассы) по различным оценкам составляет 2,25–4,5 млн. т.у.т. в год. Потенциал использования низкопотенциального тепла, вторичных энергоресурсов – 2,0–3,5 млн. т.у.т. в год. Потенциал энергии редуцируемого природного газа составляет около 0,25 млн. т.у.т. в год; энергии неиспользованного пара крупных котельных – около 0,32 млн. т.у.т. в год. Потенциал использования солнечной энергии (солнечных часов 1700–1800 в год) на горячее водоснабжение – 2,5–3,7 млн. т.у.т. в год, на производство электроэнергии – 3,7–5,7 млн. т.у.т. в год. Эффективное использование торфа, древесины, бытовых отходов и др. составит 1,23–4,6 млн. т.у.т. в год. Запасы торфа – 4,4 млрд. т., сейчас используется 6 %; прирост древесины – 25 млн. м<sup>3</sup> в год.

Физический энергетический потенциал этих ресурсов не ограничен, но его практическое использование ограничивается допустимой величиной отторгаемой территории и экономическими условиями – окупаемостью затрат. Используя менее 1 % территории страны, можно полностью покрыть потребность в электрической энергии за счет возобновляемых источников энергии.

Однако, объем, сроки и выгодность внедрения энергоустановок зависят от соотношения капитальных затрат и тарифов, времени работы и коэффициентов использования, размеров налогов и их стабильности.

### **Литература**

1. Олешкевич М.М. Перспективы ветроэнергетики в Беларуси // Энергетика – известия ВУЗов и ЭО СНГ. – 1999. № 1. – С. 12–18.

## СЕКЦИЯ 4. Тепловые электрические станции

УДК 662.613.5

### ОБРАЗОВАНИЕ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ ГОРЕНИИ ПОДГОТОВЛЕННЫХ ТОПЛИВОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

*Е.Н. Тишкова*

**Научный руководитель Л.А. ТАРАСЕВИЧ, к.т.н., доцент**

Образование оксидов азота при горении подготовленных смесей топлива с воздухом представляет интерес с тех соображений, что только при горении смеси известного можно проследить некоторые основные закономерности процесса.

Экспериментальное исследование с целью изучения закономерностей изменения концентрации оксида при изменении в широких пределах режимных факторов было проведено на стенде, оборудованном туннельной горелкой с принудительной подачей воздуха от вентилятора. В смесителе горелки обеспечивалось обычное для промышленных устройств качество смешения газа с воздухом. Туннельная горелка была выбрана в связи со сравнительно хорошей изученностью полей концентраций и температур и достаточной стабилизацией факела при изменении состава смеси и нагрузки в широких пределах.

Исследованы режимы в диапазонах изменения тепловых нагрузок  $q$  топочного объема, равных 10–60 МВт/м<sup>3</sup> с интервалом  $\Delta q = 1,16$  МВт/м<sup>3</sup>, и коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  от 1 до 1,6.

Анализ условий образования оксида азота при горении предварительно подготовленных гомогенных смесей позволил сделать следующие выводы.

1. Изменение коэффициента избытка воздуха от 1,2 до 1,05 снижает концентрацию оксида азота на 35–48 %.

2. Величина выхода оксидов азота зависит от подготовки топливовоздушной смеси, турбулентности и охлаждения пламени; в турбулентных диффузионных пламенах выход оксида азота меньше зависит от коэффициента расхода воздуха, чем в ламинарных или близких к ним.

3. Турбулентность и теплоотдача из зоны горения оказывают сильное влияние на выход оксидов азота; во всех случаях с увеличением турбулентности и размера горелки выход оксида азота увеличивается.

#### **Литература**

1. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. – Л.: Недра, 1988. – 312 с.

## ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

*С.Н. Шичко*

Научный руководитель Н.Б. КАРНИЦКИЙ, д.т.н., профессор

В связи со старением электростанций и крайне низкими темпами ввода новых мощностей, возрастает актуальность вопросов по поддержанию технического состояния электростанций. Сравнение технического состояния оборудования производилось с помощью кривых безразличия на основе методики описанной в [1] по данным отчетов инспекции по эксплуатации электростанций и сетей концерна «Белэнерго». В данном случае критерием оценки состояния оборудования служит соотношение двух факторов: повреждаемости  $\omega$  и времени отработанного с момента ввода в эксплуатацию, где  $\omega$  и  $\tau$  – безразмерные величины, характеризующие отношение повреждаемости или наработки оборудования данной станции к максимальному значению. В сравнительном анализе технического состояния приведены данные по десяти белорусским электростанциям.

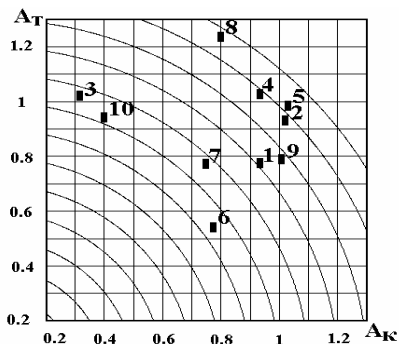


Рис. 1. Кривые безразличия

Данные по отказам оборудования взяты за период эксплуатации с 1997 по 2001 г.г. и представлены в виде среднего количества отказов за год на один условно работающий объект (котел или турбину), а за наработку оборудования принято количество часов отработанных с момента пуска агрегата в эксплуатацию по 1.01.2002. При этом каждой станции был присвоен условный номер от 1 до 10. Следующим шагом определены обобщенные показатели, характеризующие техническое состояние ТЭС в целом:  $A = \sqrt{\omega^2 + \tau^2}$ . Итоговые значения представлены на рис. 1, где по оси абсцисс даны показатели котельного оборудования, а по оси ординат – турбинного.

### Литература

1. Борушко А.П. Энергосистема: цель – качество. Мн.: «Вышэйшая школа», 1985. – 111 с.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ВОДЫ МЕТОДОМ ИОННОГО ОБМЕНА ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

*Е.Н. Тишкова*

**Научный руководитель В.А. ЧИЖ, к.т.н., доцент**

В мировой практике обработки воды методом ионного обмена с целью повышения эффективности данного процесса активно используется противоток. В технологии «Урсоге» применён прямой противоток: поток обрабатываемой воды проходит через фильтр сверху вниз, а регенерационный раствор – снизу вверх. Ионит представляет собой монодисперсную смолу. Принципиальное отличие состоит в том, что в фильтре практически отсутствует свободное пространство ( $\approx 10$  см). Верхняя коллекторно-распределительная система погружена в слой инерта, который обеспечивает свободный проход через него реагента, промывочной воды, измельченных частиц ионита и других загрязнений, но не пропускает частицы смолы нормального размера.

Первой операцией регенерации является уплотнение смолы. Затем снизу вверх подается регенерационный раствор, далее производится отмывка слоя ионита. Следующей операцией является свободное осаждение ионита, в результате чего происходит выделение мелких частиц смолы в верхний слой. Цикл регенерации завершается быстрой промывкой сверху вниз. Основными преимуществами технологии «Урсоге» по сравнению с прямотоком являются:

- низкое потребление реагентов и воды на собственные нужды;
- простота конструкции;
- низкие капитальные затраты на реконструкцию существующих ионитных фильтров с прямоточной регенерацией;
- высокое качество обессоленной воды;
- оптимальное использование всего объёма фильтра;
- самоочистка ионита без перегрузки в другую ёмкость от загрязнений и мелких частиц ионита, а также исключение уноса ионита из фильтра;
- существенное уменьшение стоков.

Проведенный оценочный расчет ВПУ по прямоточной технологии и по технологии «Урсоге» дал следующие результаты:

- снижение количества оборудования в три раза;
- снижение удельного расхода реагентов на 10 %;
- снижение расходов воды на собственные нужды в 4,5 раза;

- снижение себестоимости обессоленной воды на 25 %;
- снижение расхода ионитных материалов на 40 %.

УДК 621.181

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА В ГАЗОМАЗУТНЫХ КОТЛАХ**

*И.Г. Жихар*

**Научный руководитель Н.Б. КАРНИЦКИЙ, д.т.н., профессор**

Двухступенчатое сжигание является эффективным методом снижения выбросов оксидов азота. При этом одна зона выгорания топлива заменяется несколькими зонами, по возможности обособленными. В энергетике двухступенчатое сжигание топлива применяется в двух вариантах. Наиболее простой вариант двухступенчатого сжигания может быть реализован перераспределением дутьевого воздуха по ярусам горелок с подачей в нижний ярус горелок богатой топливной смеси, а в верхний ярус – смеси с избытком дутьевого воздуха или дополнительного воздуха (поярусное регулирование).

Другой вариант двухступенчатого сжигания может быть реализован в специальных горелочных устройствах, в которых осуществляется перераспределение потоков топлива и воздуха с образованием на первой стадии либо бедной топливно-воздушной смеси с последующим добавлением необходимого топлива, либо богатой топливно-воздушной смеси с подводом на второй стадии воздуха для дожигания продуктов неполного сгорания первичной зоны горения.

При организации двухступенчатого сжигания топлива с позонной подачей воздуха на первой ступени осуществляется процесс горения с коэффициентом избытка воздуха  $\alpha < 1$ , затем на некотором расстоянии от первой зоны горения подается остальное количество воздуха, необходимое для полного выгорания топлива.

Для практической реализации двухступенчатого сжигания мазута и газа разработана новая газомазутная горелка (а. с. СССР № 964350). Горелка установлена на котлах ГМ-50-14 и ДКВР-10-13.

Экономия газообразного и жидкого топлива может быть достигнута путем применения новых горелочных устройств двухступенчатого сжигания топлива. Испытания котлов с новыми горелками показали, что КПД котлов увеличивается в среднем на 1,5 % за счет уменьшения избытка воздуха и снижения температуры уходящих газов. Котлы эффективно и надежно работают в широком диапазоне изменения нагрузки. Использование новых горелок для двухступенчатого сжигания топлива позволило снизить концентрацию оксидов азота в уходящих



газах в 2 раза, а также снизить максимальные падающие тепловые потоки на экранные трубы на 31 %.

УДК 621.438

## **ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ ОТРАБОТАВШЕГО РАБОЧЕГО ТЕЛА**

*А.Н. Шкода*

**Научный руководитель Н.Б. КАРНИЦКИЙ, д.т.н., профессор**

Различают два способа перехода энергии – совершение работы и теплообмен. Превращение видов энергии может происходить только в первом случае, во втором же энергия переходит в неизменном виде – в виде теплоты и только при наличии разности температур и всегда к телам наиминимальшей в данной системе температуры.

Аналитическое выражение располагаемой работы имеет вид

$$e = \Delta u + T_0 \Delta s - p_0 v, \quad (1)$$

где  $\Delta u = u_0 - u$ ,  $\Delta s = s_0 - s$ ,  $\Delta v = v_0 - v$ , причем  $u_0 = u(p_0, T_0)$  – удельная внутренняя энергия в конце перехода, тогда как  $u = u(p, T)$  – энергия в начале, то есть в исходном состоянии; то же относится к энтропии  $s$  и удельному объему  $v$  вещества.

Изменение  $e$  равно

$$de = du - T_0 ds + p_0 dv. \quad (2)$$

Согласно первому закону термодинамики

$$T ds = du + p dv. \quad (3)$$

Соотношение (2) после исключения  $du$  преобразуется к виду

$$de = (T - T_0) ds + (p - p_0) dv. \quad (4)$$

Это соотношение показывает, что для получения механической работы нужна не только разность температур, но и разность давлений рабочего тела на входе в машину и выходе из нее.

Эксергетический метод расчета позволяет учесть потери лишь из-за необратимости процессов, в чем не всегда есть необходимость. Совершенно разные по конфигурации и эффективности теоретические, обратимые циклы тепловых машин и идеальный цикл Карно имеют одинаковый эксергетический КПД, равный 100 %. При использовании же теплоты для технологических нужд запас работоспособности теплоносителя – эксергия не имеет прямого значения.

Расчетным путем установлено, что возрастание суммарной энтропии нагреваемого и греющего тел при неравновесных процессах охла-

ждения – нагрева прямо пропорционально температуре  $T_1$  последнего. Таким образом, энтропия, позволяет судить об эффективности использования теплоты отработавшего тела при сравнительных расчетах. Очевидно, что оптимум соответствует условию:

$$\frac{Q}{T_2} - \frac{Q}{T_1} \rightarrow \min.$$

УДК 621.181

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОНТАКТНОГО ЭКОНОМАЙЗЕРА В СХЕМЕ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

*С.Ф. Веремейчик*

**Научный руководитель Л.А. ТАРАСЕВИЧ, к.т.н., доцент**

В современных экономических условиях важнейшей народнохозяйственной задачей является повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов. Правительство требует последовательно усилить режим экономии, превратить ресурсосбережение в решающий источник прироста энергопотребления в народном хозяйстве. Наиболее эффективный путь решения задачи экономии топлива на котельных установках – это более полное использование теплоты продуктов сгорания топлива.

Для подогрева сырой воды, подаваемой на химводоочистку и более глубокой утилизации теплоты уходящих газов после котла ГМ–50–14 ст. № 2 Жодинской ТЭЦ был установлен контактный экономайзер.

Проведенные сравнительные испытания работы котла с включенным контактным экономайзером и без него показали эффективность применения контактного экономайзера в схеме котельной установки. Анализ полученных экспериментальных и расчетных данных позволил сделать следующие выводы:

1. Котел с контактным экономайзером работает устойчиво во всем диапазоне нагрузок.

2. В среднем КПД котельной установки повысился на 1,68 % в диапазоне нагрузок от 35 т/ч до 50 т/ч.

3. Годовая экономия тепла, считая, что котел работает на номинальной нагрузке (50 т/ч) и числе часов работы в году 4300, составит порядка 330 000 м<sup>3</sup> газа.

4. Установка контактного экономайзера позволила снизить вредные выбросы оксидов азота в среднем на 22 % при нагрузках котла от 35 т/ч до 50 т/ч.

## КОМБИНИРОВАННАЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ЭТУ-1 И ЕЕ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

*Н.В. Пантелей*

**Научный руководитель И.Н. ВЕРБИЛО, к.т.н., доцент**

Большинство применяемых технологических процессов отличается достаточно низкой эффективностью, например, при производстве титана из руды, асфальтобетонной смеси и цемента эксергетический КПД не превышает, по данным В.Н. Романюка, соответственно, 2,5; 8,0 и 14,0 %. Существенно повысить эффективность топлива использования при производстве некоторых важнейших технологических продуктов (ТП) можно путем организации комбинированного их производства. Классическим примером такого производства является комбинированная выработка тепловой и электрической энергии на ТЭЦ.

Развитие данного вопроса нашло свое отражение в наших исследованиях по разработке комбинированных энергетических установок нового поколения поименованных авторами как ЭТУ. Принципиальная схема простейшей из этого семейства – ЭТУ-1 представлена на рисунке.

Основу работы ЭТУ-1 составляет использование в ней циклов теп-

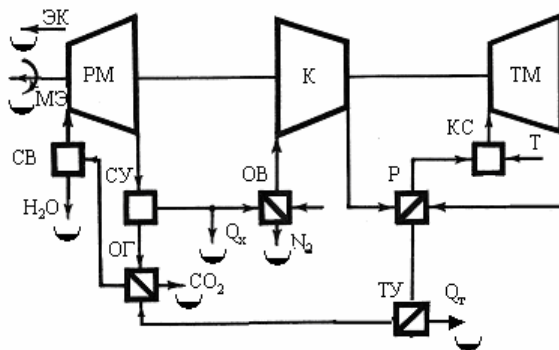


Рис. Принципиальная схема энерготехнологической установки ЭТУ-1: РМ – расширительная машина; Р – регенератор; К – компрессор; ОВ – охладитель воздуха; ТМ – тепловая машина; ОГ – охладитель газов; КС – камера сгорания; ТУ – теплофикационная установка; Тн – теплоноситель; Т – топливо; СВ – сепаратор воды; В – воздух; СУ – сепаратор углекислоты.

ловой и холодильной машин объединенных общим рабочим телом состоящим из продуктов сгорания органического топлива из которого производится диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), азот ( $\text{N}_2$ ), вода ( $\text{H}_2\text{O}$ ), а также тепловая ( $Q_T$ ), механическая ( $MЭ$ ) и хладоэнергия ( $Q_x$ ). Седьмым ТП получаемым ЭТУ-1 является экологический эффект (ЭК) вследствие реализации в ней безотходной технологии. Очевидно, применение многофункциональных (комбинированных) энерготехнологических установок в ближайшем будущем станет основой энергоемких производств.

Расчетные исследования основных характеристик ЭТУ-1 сведены в таблицу.

**Таблица. Значения внутреннего КПД ЭТУ-1 в широком диапазоне значений степени повышения давления в компрессоре ( $\beta_k$ ) для различных разделительных давлений ( $P_p$ ) и начальной температуры перед турбиной  $t_{нмв} = 1300^\circ\text{C}$**

$t_{нмв},$ $^\circ\text{C}$	$\beta_k$							$P_p,$ <i>бар</i>
	5	10	15	20	30	40	50	
1300	0,533	0,577	0,578	0,566	0,401	0,372	0,338	1,5
	0,470	0,546	0,555	0,547	0,377	0,351	0,318	2,0
	0,262	0,438	0,472	0,474	0,300	0,281	0,251	3,0
	-	0,340	0,418	0,437	0,251	0,242	0,217	5,0
	-	0,158	0,316	0,361	0,170	0,174	0,156	7,0

Анализ таблицы показывает на общую высокую эффективность энергетической установки типа ЭТУ-1, наличие оптимальных значений  $\beta_k$ , численные значения которых зависят от разделительного давления между тепловой и холодильной машинами. Важным представляется сравнительно низкий уровень оптимальных значений  $\beta_k$ , что важно для транспортного варианта ЭТУ-1 из-за малых массогабаритных характеристик такой машины.

УДК 621.165

## **КОМБИНИРОВАННАЯ ПАРОГАЗОВАЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ЭТУ-2**

*Е.А. Паителей*

Научный руководитель И.Н. ВЕРБИЛО, к.т.н., доцент

Энергетический кризис выдвигает на новый качественно уровень требования по повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов во всех отраслях. В определенной мере ослаблению напряженности проблемы может способствовать повышение

КПД как стационарных энергетических установок, так и двигателей транспортных средств. Возможность создания двигателя удовлетворяющего таким требованиям предлагается ниже названная авторами как энерготехнологическая установка типа ЭТУ-2. В основу разработки такой установки положены широко известные и апробированные принципы. Кратко их можно сформулировать следующим образом. Отказ от отдельных схем производства технологических продуктов в пользу комбинированных, сочетание в таких установках известных преимуществ сложных циклов и схем энергетических установок, а также поиск на этой основе нетрадиционных подходов к их разработке. Рассмотрим такие возможности совершенствования энергоустановок на примере одного из вариантов комбинированной энерготехнологической установки типа ЭТУ-2. Энерготехнологическая установка ЭТУ-2 включает тепловую (ТМ) и расширительную (РМ) машины объединенные общим рабочим телом (РТ) получаемым из продуктов сгорания органического топлива в среде воздуха сжимаемого компрессором (К). Расширение РТ в ТМ осуществляют до разделительного давления, затем охлаждают его до температуры точки росы водяных паров в нем. Такое глубокое охлаждение позволяет отделить от РТ первый технологический продукт – воду в сепараторе воды. Охлаждение РТ перед РМ последовательно осуществляют в регенераторе воздуха, паровом котле-утилизаторе, теплонасосной установке и охладителе газов таким образом, чтобы за счет расширения в РМ температура РТ понизилась не менее чем до температуры сублимации углекислоты ( $-57\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Это позволяет отделить от РТ второй технологический продукт – углекислоту в сепараторе углекислоты. Оставшаяся часть рабочего тела состоит в основном из азота с примесью инертных газов и может рассматриваться как третий технологический продукт. Сублимированная углекислота и азот несут в себе четвертый продукт – холодную энергию. Водяной пар, генерируемый в котле-утилизаторе, используется в качестве рабочего тела паротурбинной установки (ПТУ), паровая турбина (ПТ) которой совместно с ТМ и РМ вырабатывают пятый продукт – механическую энергию, часть которой расходуется на сжатие воздуха в К. Из ПТ осуществляют отбор пара на теплофикацию, очевидно, тепловая энергия - шестой технологический продукт. Работа ЭТУ-2 по рассмотренному выше принципу автоматически обеспечивает и седьмой технологический продукт – экологический эффект, который в нынешних условиях также имеет стоимостное выражение. Комбинированное производство технологических продуктов по безотходной технологии уже само по себе обеспечивает высокую эффективность ЭТУ-2, тем не менее она может быть дополнительно

повышена за счет внутреннего использования установкой части произведенных ею продуктов, например, хладоэнергии для дополнительного охлаждения воздуха в охладителе воздуха перед его сжатием в К и хладагента (циркулянта) подаваемого на охлаждение конденсатора ПТУ. Хладоэнергия может быть использована также и для охлаждения РТ перед РМ в охладителе газов. Охлаждение хладагента перед конденсатором понижает температуру отвода теплоты в цикле ЭТУ-2 вплоть до уровня ниже температуры окружающей среды. Холодный конденсат может трансформировать тепловую энергию в схему установки за счет естественного эффекта. Функциональные возможности ЭТУ-2 дополнительно могут быть повышены применением теплонасосной установки (ТНУ) для трансформации тепловой энергии от РТ перед РМ, например, для нагрева конденсата пара ПТУ в теплообменнике включенном до ее системы регенерации. Еще одна возможность повышения эффективности ЭТУ-2 может быть реализована подачей полученной воды из РТ в камеру сгорания для регулирования температуры РТ перед РМ при соответствующем уменьшении расхода воздуха вплоть до стехиометрического его значения.

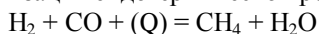
УДК 621.165

## **КОМБИНИРОВАННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ ЭТУ-3**

*Н.В. Пантелей, Е.А. Пантелей, Е.В. Кулак*

**Научный руководитель И.Н. ВЕРБИЛЮ, к.т.н., доцент**

Авторами настоящей работы на протяжении ряда лет разрабатывался новый тип энерготехнологических установок (ЭТУ) позволяющих существенно расширить возможности комбинированного производства технологических продуктов (ТП). Ниже приводится один из вариантов установок такого типа – ЭТУ-3, который дополнен по сравнению с ранее предложенными вариантами ЭТУ-1 и ЭТУ-2 производством метанола из природного газа (ПГ) путем его конверсии в смеси с водой. Суть его в реализации эндотермической реакции типа



и



где (Q) – внешний подвод тепловой энергии к смеси ПГ и воды при температуре 600–800 °С в присутствии катализатора (никель).

Полученные расщеплением метана и воды водород и оксид углерода (метанол – первый технологический продукт) повышают теплотворную способность исходного продукта реакции – ПГ на 20–25 %, что равноценно такому же повышению эффективности энергетической установки – первый технологический продукт.

Энерготехнологическая установка ЭТУ-3 включает тепловую (ТМ) и расширительную (РМ) машины объединенные общим рабочим телом (РТ) получаемым в камере сгорания (КС) из продуктов сгорания органического топлива в среде сжатого компрессором (К) воздуха. Расширение РТ в ТМ осуществляется до разделительного давления, затем его охлаждают до температуры точки росы водяных паров в нем. Такое глубокое охлаждение позволяет отделить от РТ второй технологический продукт – воду в сепараторе воды. Охлаждение РТ перед РМ последовательно осуществляют в химическом конверторе метана, регенераторе воздуха, паровом котле-утилизаторе, теплонасосной установке и охладителе газов таким образом, чтобы за счет расширения в РМ температура РТ понизилась не менее чем до температуры сублимации углекислоты ( $-57\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Это позволяет отделить от РТ третий технологический продукт – углекислоту в сепараторе углекислоты. Оставшаяся часть рабочего тела состоит в основном из азота с примесью инертных газов и может рассматриваться как четвертый технологический продукт. Сублимированная углекислота и азот несут в себе пятый технологический продукт – хладоэнергию. Водяной пар, генерируемый в котле-утилизаторе используется в качестве рабочего тела паротурбинной установки (ПТУ), паровая турбина (ПТ) которой совместно с ТМ и РМ вырабатывают шестой продукт – механическую энергию часть которой расходуется на сжатие РТ в К. Представляется целесообразным организовать от ПТ отборы пара на теплофикацию как седьмой технологический продукт – тепловую энергию. Работа ЭТУ-3 по рассмотренному выше принципу автоматически обеспечивает и восьмой технологический продукт – экологический эффект, который в нынешних условиях также имеет стоимостное выражение.

Комбинированное производство технологических продуктов по безотходной технологии уже само по себе обеспечивает высокую эффективность ЭТУ-3, тем не менее она может быть увеличена за счет внутреннего использования установкой части произведенных ею продуктов, например, хладоэнергии для дополнительного охлаждения воздуха в охладителе воздуха перед его сжатием в К и хладоагента (циркуды), подаваемого на охлаждение конденсатора ПТУ. Хладоэнергия может быть применена и для охлаждения РТ перед РМ. Охлаждение хладоагента перед конденсатором понижает температуру от-

вода теплоты в цикле ЭТУ-3 вплоть до уровня ниже температуры окружающей среды. Холодный конденсат может трансформировать тепловую энергию в схему установки за счет естественного эффекта. Включение в схему ТНУ преследует выполнение задачи регенерации тепловой энергии в цикле ЭТУ-3 путем передачи тепловой энергии от РТ к конденсату в дополнительном теплообменнике, включенном перед системой регенерации.

УДК 621.181

## ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ХИМИЧЕСКОГО НЕДОЖОГА ТОПЛИВА

*Д.А. Иванов*

**Научный руководитель Л.А. ТАРАСЕВИЧ, к.т.н., доцент**

При нормальных эксплуатационных режимах котельных установок содержание продуктов химической неполноты сгорания в топочных газах поддерживается на минимальном уровне.

Современные конструкции горелочных устройств и организация аэродинамики газовых потоков в топках котлов позволяет сжигать топливо с низкими коэффициентами избытка воздуха, порядка 1,03–1,05. Это обеспечивает наиболее экономичное использование топлива, создает условия минимизации содержания оксидов азота в продуктах сгорания.

Однако при сжигании топлива с минимальными избытками воздуха возможно появление в продуктах сгорания оксида углерода. В качестве практического примера можно показать, что при сжигании мазута с околокритическими коэффициентами избытка воздуха ( $\alpha$ ) были получены следующие значения содержания СО в продуктах сгорания:

$\alpha$	1,05	1,00	0,95
СО, %	0,2	2,5	5

При сопоставимом расчете коэффициента избытка воздуха по различным традиционным формулам при наличии химнедожога получены следующие значения  $\alpha$ :

$\alpha$ фактическое	1,05	1,00	0,95
$\alpha$ по азотной формуле	1,047	1,020	0,882
$\alpha$ по кислородной формуле	1,052	1,035	1,020
$\alpha$ по формуле Равича Б.М.	1,050	1,000	0,95

Причиной различий результатов расчетов является нечеткость определения объема продуктов сгорания при наличии химического недожога в различных формулах. И это вносит неточность в расчеты технико-экономических показателей работы котла.



## **СЕКЦИЯ 5. Экономика и организация энергетики**

УДК. 621.31.658.3

### **МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

*А.М. Заборовский*

**Научный руководитель Л.П. ПАДАЛКО, д.э.н., профессор**

Нарастающая критика неоклассической теории монополии, растущая стоимость продукции естественных монополистов, неудовлетворительная финансовая прозрачность таких компаний обусловили пересмотр места и роли естественных монополистов в экономике. Во многих странах Центральной и Восточной Европы (в том числе и в странах-соседках Республики Беларусь – Польше, Литве, Украине, России) реструктуризация и приватизация коснулись такой системообразующей отрасли, как электроэнергетика. Для всех этих государств характерен единый подход: разделение существующей вертикально-интегрированной структуры электроэнергетики. Основанием разделения являются фазы производства электроэнергии. Их можно выделить три: генерация, передача, распределение и сбыт. Иногда сбыт выделяют в отдельную фазу. В зависимости от выбора конечной модели организации электроэнергетики, конкуренция может возникнуть между компаниями, создаваемыми на базе каждой из этих фаз. Всего принято выделять три модели:

Модель 1 – закупочное агентство – конкурируют только генерирующие компании, которые продают электроэнергию единственному покупателю. Системообразующие, питающие и распределительные сети остаются в собственности государства. Суть данной модели – создание экономического механизма и системы стимулов для повышения эффективности генерации электроэнергии.

Модель 2 – конкуренция на оптовом рынке – помимо конкуренции в сфере генерации создается конкуренция в сфере закупки электроэнергии. При этом генерирующая компания имеет право продавать электроэнергию любому закупщику, что подразумевает свободный доступ к системообразующей и питающей сети. Важной характеристикой модели является отсутствие возможности напрямую заключать контракты между генерирующими компаниями и розничными потребителями.

Модель 3 – конкуренция на розничном рынке – в этой модели для генерирующих компаний устраняется ограничение на доступ к распределительной сети и возникает возможность заключения прямых контрактов на поставку электроэнергии конечным потребителям.

Вопрос о собственности на системообразующие, питающие и распределительные сети остается открытым для каждой из моделей, но в общем случае для предотвращения возможности дискриминации производителей энергии системообразующие и питающие сети остаются в собственности государства.

УДК 68.3.01:338

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОПРАВОЧНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЕМКОСТИ РЫНКА В БИЗНЕС-ПЛАНИРОВАНИИ

*С.В. Шлапак*

Научный руководитель: **В.Н. НАГОРНОВ**, к.э.н., доцент

При проведении исследований для нового продукта или продукта, который планируется продвигать на новом рынке, необходимо определить ориентировочную емкость последнего. Одним из способов определения емкости рынка является расчет, произведенный по следующей формуле

$$C = N \cdot D \cdot \prod_1^n d_i, \quad (1)$$

где  $C$  – емкость рынка;  $N$  – численность населения данного рынка;

$D$  – доход на душу населения;  $\prod_1^n d_i$  – произведение  $n$  удельных весов затрат на данный вид продукции в зависимости от типа товара.

Однако при проведении анализа необходимо базироваться на информации, которая может за срок, прошедший с момента исследования до момента внедрения товара, значительно измениться. Проблему можно решить, используя поправочные коэффициенты, рассчитываемые на основе анализа рисков, приводимых в проекте. Данный анализ имеет высокую степень надежности, поскольку риски оцениваются с использованием различных мировых финансовых и экономических показателей, а также с привлечением экспертов. В результате формула (1) примет следующий вид

$$C = N \cdot D \cdot \prod_1^n d_i \cdot \prod_1^m k_j, \quad (2)$$

где  $\prod_1^m k_j$  – произведение  $m$  поправочных коэффициентов, отображающих возможные влияния, которые могут значительно изменить емкость рынка в ту или иную сторону. Причем необходимо учитывать соответствующее изменение всех взаимозависимых удельных весов.

## ПЕРСПЕКТИВА ПРОМЫШЛЕННО-ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ

*А. Скакун, Е. Иллюкович*

Научный руководитель И.Н. СПАГАР, к.т.н., доцент

Проведенные маркетинговые исследования промышленно-отопительных котельных Республики Беларусь показали, что потенциал, теряемый с дросселированием пара оценивается около 230 МВт электрической мощности.

Результаты маркетинговых исследований приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Оценка объемов установки МПТД на котельных  
Минжилкомхоза РБ**

Область	Количество и тип установленных паровых котлов							Потенциальная мощность, МВт
	ДКВР 2,5/13	ДКВР 4,0/13	ДКВР 6,5/13	ДКВР 10/13	ДКВР 20/13	Е-16/14	Е-25/14	
Могилевская	0	19	3	0	0	1	0	6,95
Брестская	0	14	3	8	2	2	0	19,9
Гомельская	2	7	6	4	0	2	0	8,85
Минская	3	8	9	11	1	9	2	25,85
Гродненская	11	16	8	2	2	0	0	10,05
Итого	16	64	29	35	5	14	2	61,6

**Таблица 2. Оценка потенциала пара теряемого с дросселированием  
и объемов установки МПТД на котельных промпредприятий**

Наименование предприятия	Количество и тип установленных паровых котлов				Потенциальная мощность, МВт
	ДКВР 4/13	ДКВР 6/13	ДКВР 10/13	ДКВР 20/13	
Льнозаводы			110		54,0
Торфобрикетные заводы			24	24	35,0
Деревообрабатывающие заводы			22	22	32,0
Спиртзаводы	13	13			6,3
Маслосырзаводы	64	64			31,2
Крахмальные заводы	18	18			8,8
Всего	95	95	156	46	167,3

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ НЕПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

**С.В. Шлапак**

**Научный руководитель: В.Н. НАГОРНОВ, к.э.н., доцент**

В начале каждого планируемого периода составляется список заданий, предстоящих к выполнению. После заполняется таблица, приведенная ниже:

1.  $A_1, \dots, A_n$  – персонал подразделения;
2.  $B_1, \dots, B_m$  – задания на планируемый период времени;
3.  $T_1, \dots, T_n$  – плановое количество человеко-часов за период времени;
4.  $T_\Sigma$  – суммарный резерв времени по подразделению;

**Резерв времени работников подразделения**

Задания Персонал	$B_1$	$\dots$	$B_m$	$T$
$A_1$	$t_{11}$	$\dots$	$t_{1m}$	$T_1$
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
$A_n$	$t_{n1}$	$\dots$	$t_{nm}$	$T_n$
				$T_\Sigma$

Составляется сетевой график работ за планируемый период, с указанием последовательности выполнения заданий.

Перед началом оптимизации выделяются задания, которые может выполнить только определенный работник, резервы времени на обязательное присутствие в офисе, резервы времени на незапланированные события и т.д. Эти задания исключаются из таблицы. На следующем этапе оптимизации определяются приоритетные задания и разделяются между сотрудниками согласно минимуму затрат времени на их выполнение (в данном случае возможно использование простого решения транспортной задачи). К числу основных действий оптимизации можно отнести:

1. действия, по оптимизации перемещений, связанные с решением «задачи коммивояжера» и другими задачами логистики;
2. материальные расходы, связанные с выполнением поставленной задачи;
3. действия по мотивации сотрудника, который будет выполнять поставленную задачу и т. д.

Результат проведенной оптимизации – эффективное использование рабочего времени сотрудников, рациональное планирование должностных обязанностей.

## **ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕМ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ**

*С.В. Шлапак*

**Научный руководитель: В.Н. НАГОРНОВ, к.э.н., доцент**

Система управления предприятием в обязательном порядке строится на базе оперативной информации, сопровождающей процессы планирования, учета и управления. Накопленная информация за прошлые периоды является аналитической базой для контроля и оптимизации деятельности. В связи с этим компании внедряют информационные системы управления предприятием (ИСУП). В СНГ в настоящее время наиболее популярными являются следующие системы:

Российские: (Галактика, Abacus), Зарубежные: (SAP R/3, КОНКОРД, IFS, Scala), Отечественные: («Витязь», Касатка) и т. д.

Все перечисленные продукты включают в себя подходы управления качеством ISO 9000–9002, а также управление ресурсами ERP, MPR и MPR II. Наряду со всем вышеперечисленным, проблеме энергосбережения в отечественной практике, как правило, не уделяется должного внимания.

Для эффективной работы системы энергосбережения (СЭ) на предприятии менеджеру по энергосбережению (или отделению) необходимо после проведенного энергоаудита и разработки мероприятий по экономии энергии определить алгоритм и методику энергосбережения для каждого структурного подразделения компании. После этого формируется программный модуль (как правило на встроенном языке ИСУП), который внедряется непосредственно в систему управления.

Достигаются следующие преимущества внедрения технологии организации управленческой деятельности:

1. обеспечивается высокая эффективность принятия решений;
2. рационализируются и интегрируются информационные процессы, в том числе совершенствуется организация документооборота предприятия;
3. устраняется дублирование функций;
4. снижаются расходы на информационное сопровождение функционирования предприятия.

В настоящее время на рынке присутствует множество ИСУП, среди которых довольно сложно сделать выбор. Однако наиболее оптимальными для использования в Беларуси я считаю следующие продукты: Scala, САП Р/3, Флагман, Касатка.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ РЕМОНТНЫМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ПРЕДПРИЯТИЕМ**

*В.В. Володкевич*

**Научный руководитель: В.Н. НАГОРНОВ, к.э.н., доцент**

Полученный предприятием заказ на выполнение ремонтно-наладочных работ должен быть выполнен в минимальные сроки и с высоким качеством, чего можно достигнуть при использовании системы "Внутренний Генеральный Подряд" (ВГП), суть которой в следующем. Назначение генерального подрядчика (ГП) производится приказом директора (указанием главного инженера) при постановке задач на планируемый год на выполнение конкретного объема работ. ГП согласовывает объемы и сроки работ с Заказчиком, определяет исполнителей среди ремонтных производств (цехов) на предприятии (на стороне) и подает им заявки с предоставлением необходимой нормативно-технической документации. Подразделения в согласованный с ГП срок дают ответ о выполнении работ своими силами, либо обоснованный отказ и предложения по привлечению сторонних организаций. Затем ГП формирует свою и полученную от субподрядчиков сметно-договорную и технологическую документацию и передает в подразделение, ответственное за подготовку договоров, для оформления проектов договоров, которые затем направляются заказчику для рассмотрения и подписания.

В процессе выполнения ремонтов ГП осуществляет взаимоотношения с Заказчиком, в том числе, разрабатывает сводный технологический график работ на основании локальных графиков субподрядчиков и осуществляет контроль за его соблюдением, решает вопросы обеспечения материалами, запасными частями, технической документацией и пр., координирует деятельность подразделений и сторонних организаций и контролирует выполнение обязательств по договорам, совместно с субподрядчиками определяет дополнительный объем работ и формирует по нему сметно-договорную документацию, участвует в сдаче выполненных работ заказчику с предоставлением необходимой приемосдаточной документации и производит расчеты с Заказчиком за выполненные работы.

По окончании работ ГП составляет и подписывает у заказчика единый Акт закрытия договора (при этом субподрядчик обеспечивает визу соответствующей службы заказчика) и предоставляет его в подразделение, ответственное за подготовку договоров.

Систему генерального подряда можно реализовать на уровне энергосистемы, как это сделано в России. Там имеются предприятия (например, «Энергомашкорпорация»), которые проводят изучение рынка, заключают генеральный контракт на весь комплекс работ с энергообъектом с последующей передачей объемов ремонтов резидентам и зарубежным субподрядчикам. Для оперативного управления ремонтами в энергосистеме ГП должен выполнять следующие задачи:

- выступать консультантом по основным технологическим направлениям: тепломеханике, электротехнике, КИПиА, химическим технологиям;

- координировать работу субподрядчиков, выдавать технические заключения для выставления претензий;

- анализировать обеспечение ремонта оборудованием и материалами на всех этапах: выпуск спецификаций; заключение договоров на поставку; таможенная очистка, транспортировка и хранение; монтаж, наладка, испытания, ввод в эксплуатации и регламентное обслуживание;

- осуществлять надзор за соблюдением субподрядчиками технических условий, сроков выполнения работ;

- устранять недостатки проекта, выявленные в процессе производства работ;

- анализировать выполнение работ по трудозатратам, объемам, актам выполненных работ, платежным документам;

- участвовать в подготовке документов на проведение тендеров, выдавать Заказчику рекомендации по соответствию технических характеристик предлагаемого к поставке оборудования требованиям проекта и ТУ и рекомендации для принятия решения по выбору победителя;

- оперативно предоставлять Заказчику и концерну «Белэнерго» аналитическую информацию о выполнении вышеназванных задач.

УДК [620.9:658.588.8]:338.244.4

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОБМЕННЫХ АППАРАТОВ ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ РЕГЕНЕРАТИВНО- ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ**

*А.И. Балаш*

**Научный руководитель И.А. БОКУН, д.т.н., профессор**

Интенсификация процессов теплообмена в технологических аппаратах в ряде случаев может быть осуществлена за счёт применения

пульсирующих потоков жидкости. Как показали опыты коэффициент теплоотдачи может быть увеличен на 30 %. Необходимым условием для повышения теплоотдачи при пульсирующем режиме являются большие амплитуды пульсации. Следует отметить, что при турбулентном пульсирующем течении жидкости существует область режимных параметров, в которой мощность на прокачку жидкости оказывается ниже, чем при стационарном потоке. Применение реверсивно-пульсирующих потоков жидкости не только повышает коэффициенты теплоотдачи, но также препятствует образованию твердых отложений на стенках труб. Так как пульсация потока жидкости способствует возникновению кавитационных пузырей в объеме жидкости, которая механически разрушает отложения и снижает их связь с металлическими поверхностями.

Реверсивно-пульсирующие потоки жидкости способствуют увеличению, как пульсационных скоростей, так и градиента скорости у стенки, который, приобретая переменное по величине и направлению значение, изменяет распределение температур по сечению трубы.

При пульсации в относительно длинных трубах, длина которых сопоставима с длиной акустической волны и в режиме резонанса формируются стоячие волны в пучностях, которых увеличивается амплитуда пульсации расхода, что влияет на коэффициент теплоотдачи и увеличивает его по сравнению со стационарным потоком в несколько раз.

УДК. 330.101.541

## **СПЕЦИФИКА МАКРОЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ В РБ**

*А.М. Заборовский*

**Научный руководитель Т.Ф. МАНЦЕРОВА, к.э.н., доцент**

В теории экономической динамики под макродинамикой понимается совокупность динамических сил, действующих в макроэкономической системе и определяющих тенденции изменения равновесных уровней макрорынков (потребительского, факторов производства, финансового) в их совокупности и взаимодействии. Белорусская экономика характеризуется неблагоприятным типом макроэкономической динамики. Для него характерны:

1) несоответствие уровня индустриального развития и мощности национальных финансовых институтов.

Вследствие неразвитости банковской системы, отсутствия институциональных инвесторов (страховых компаний, пенсионных фондов, финансовых компаний) наблюдается абсолютная недостаточность



кредитных вложений в реальный сектор экономики, а значит, нет и обратной связи между предприятиями и банками.

2) "островной", некомплексный характер технологического прогресса.

Из общего количества используемых в промышленности РБ технологий удельный вес традиционных составляет 87,3 %, новых – 10,4 %, высоких – всего лишь 2,3 %.

3) относительно большие инвестиционные потребности национальных производителей.

4) минимальное перераспределение средств в экономике с использованием конкурентных механизмов.

Данный факт объясняется, прежде всего, отсутствием эффективно-го рынка капитала, развитием предприятий преимущественно через самофинансирование, значительным объемом неэффективного бюджетного перераспределения.

Переход национальной экономики к качественно иному типу макродинамики возможен путем последовательного эволюционного улучшения макросистемных свойств экономики. Теория экономической динамики в качестве основы для выработки стратегии реформ предлагает модель «догоняющего развития», которую реализовывали Япония (в 1960–1980 гг.) и азиатские НИС. Суть этой модели следующая:

1) подтягивание совокупного внутреннего спроса на труд за счет значительного экспорта с высокой долей добавленной стоимости;

2) расширение инвестиционных возможностей за счет привлечения иностранных инвестиций;

3) разумная защита внутренних производителей от иностранной конкуренции;

4) активная политика "передачи технологий".

УДК 65.01

## **КОНТРОЛЛИНГ КАК ФУНКЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ**

*Н.И. Климкович*

Под воздействием рыночных отношений подавляющее большинство предприятий тем или иным образом стремится оптимизировать свое финансовое положение, повысить эффективность своей деятельности.

Помочь решить экономические проблемы, рационализировать их затраты должен инструментарий контроллинга, одного из новых и перспективных направлений системы управления экономикой предприятия, ориентированной на выполнение оперативных и

стратегических целей и достижение заданных результатов, объединяющая информационное обеспечение, планирование, контроль и анализ.

Важнейшей задачей, вытекающей из поставленных перед предприятием целей, является управление прибылью, поэтому основное внимания контроллинга сосредоточено на затратах, которые классифицируются в зависимости от решаемых задач, их видов, местах возникновения и принципах управления ими.

В рамках элемента «*установление целей*» определяются качественные и количественные цели предприятия и выбираются критерии, по которым можно определить степень достижения поставленных целей.

Элемент контроллинга *планирование* представляет собой превращение целей предприятия в прогнозы и плана. Первое – это анализ сильных и слабых сторон предприятия, возможностей и опасностей, второе – разработка стратегии предприятия, а затем – план. План позволяет определить, насколько реально достижение поставленных целей, а так же узкие и широкие места, не позволяющие или помогающие в достижении целей. Планы разрабатывают как по всему предприятию в целом, так и по каждому подразделению

*Оперативный управленческий учет* принципиально отличается от бухгалтерского и позволяет отразить всю финансово-хозяйственную деятельность предприятия в ходе выполнения плана. Специфика *оперативного управленческого учета* состоит в том, что он ориентирован на информационные потребности руководства предприятия и подразделений, на поддержку принятия управленческих решений, в то время, как результаты бухгалтерского учета предоставляются, прежде всего, внешним пользователям – государственным органам, банкам.

*Система информационных потоков* – важнейший элемент системы контроллинга на предприятии. В теории информации математически доказано, что существует минимальный объем информации, без которого эффективное управление невозможно, и чем более разнообразной может быть реакция объекта управления, тем больше необходимо информации. Применительно к предприятию это означает, что чем более изменчива экономическая среда, чем сложнее внутреннее устройство самого предприятия, тем больше информации нужно для эффективного управления им. Только при условии четкого и слаженного функционирования системы информационных потоков на предприятии система контроллинга может выполнять одну из основных своих задач – обеспечить информационную поддержку управления.

Владея необходимой информацией, можно осуществлять *мониторинг* всей финансово-хозяйственной деятельности: отслеживать протек-

кающие на предприятии процессы в режиме реального времени, составлять оперативные отчеты о результатах работы за различные промежутки времени, сравнивать плановые результаты с фактическими. На основании сравнения делаются выводы о сильных и слабых сторонах, динамике их изменения, о благоприятных и неблагоприятных тенденциях развития внешних условий работы. При изменении внешней и внутренней среды необходимо проверить актуальность поставленных целей и возможность их достижения. Если выявляются отклонения, план действий по достижению целей корректируется.

На основании всей собранной информации в системе контроллинга осуществляется *контроль*. Разница между контролем и контроллингом заключается в том, что контроль фиксирует и оценивает уже совершившиеся факты в деятельности предприятия, а контроллинг нацелен на перспективу.

В системе контроллинга акценты смещаются с простого фиксирования прошлых фактов в сторону перспективного, опережающего контроля, а также оперативного отслеживания текущих событий; в фокусе контроля оказывается не прошлое, а настоящее и будущее.

Все предыдущие элементы системы контроллинга – от планирования до мониторинга реализации планов – необходимы для обеспечения возможности *анализа* планов, результатов и отклонений.

В рамках системы контроллинга осуществляется анализ прошлого, настоящего и будущего.

На основе результатов анализа вырабатываются *рекомендации для принятия управленческих решений*. С учетом уже сложившейся ситуации, а также возможных ее изменений в будущем, с помощью контроллинга определяются альтернативы действий с обязательной оценкой достижения поставленных целей при каждой из них. На основе таких рекомендаций руководитель может действовать осмысленно.

УДК 651.01.338

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИБЫЛИ ФИРМ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА РЫНКЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

*Н.А. Черноусик*

**Научный руководитель: В.Н. НАГОРНОВ, к.э.н., доцент**

В рыночной экономике особое место отводится субъекту хозяйствования, предпринимателю, способному выполнять исключительно важную функцию получение максимальной прибыли.

Определяющим условием безубыточной работы предприятия на рынке нефти и нефтепродуктов являются показания состояния ста-

бильности прибыли на всех этапах жизненного цикла нефтяной цепочки, – от закупки нефти-сырца для переработки до реализации продукции – нефтепродуктов.

При расчете уравнения прибыли особое внимание необходимо уделить четырем основным составляющим: 1 – кредиты банка или собственные средства на проведение операций на нефтяном рынке; 2 – затраты на покупку и транспортировку нефти; 3 – затраты на переработку нефти и транспортировку нефтепродуктов к пользователю; 4 – реализации нефтепродуктов.

Рассмотрим уравнение прибыли, разработанное применительно к фирмам, действующим на рынке нефтепродуктов

$$P_n = \alpha \left( \sum C_i V_i \right) - \left[ \left( \sum C_n V_n + \Phi_{mp1} \right) + \left( \Phi_{nep} + \Phi_{mp2} \right) \right] - H_p - H_z,$$

где  $P_n$  – прибыль, получаемая в результате коммерческой деятельности на рынке нефтепродуктов;  $\alpha$  – коэффициент, характеризующий распределение нефтепродуктов после переработки;  $C_i$  – цена  $i$ -го нефтепродукта, получаемого в процессе переработки, верхний уровень которого фиксирован;  $V_i$  – объем  $i$ -го нефтепродукта, полученного в процессе переработки;  $C_n$  – стоимость единицы объема нефти;  $V_n$  – объем приобретенной нефти;  $\Phi_{mp1}$  – затраты на транспортировку приобретенных объемов нефти;  $\Phi_{nep}$  – затраты на переработку нефти;  $\Phi_{mp2}$  – затраты на транспортировку нефтепродуктов пользователям;  $H_p$  – накладные расходы;  $H_z$  – государственные налоги.

Каждая составляющая приведенного соотношения влечет за собой определенные маркетинговые исследования. При неполной или недостоверной оценке хотя бы одного значения без проведения соответствующих маркетинговых исследований финансовый результат деятельности субъекта хозяйствования может лежать в пределах значений прибыльности или убыточности.

УДК 651.01:338

## **ТЕХНОЛОГИЯ МОТИВАЦИИ ТРУДА СОТРУДНИКОВ ФИРМЫ**

**С.В. Шлапак**

**Научный руководитель: В.Н. НАГОРНОВ, к.э.н., доцент**

В современных экономических условиях, при организации эффективного функционирования фирмы, одним из главных вопросов является проблема мотивации персонала. в процессе реинжиниринга ком-

пании. Задача менеджера при организации системы мотивации состоит в том, чтобы, основываясь на известных ему факторах (количество и состав сотрудников, их характеристики, область деятельности фирмы, имеющиеся в распоряжении ресурсы и методы) провести разработку данной системы. Например, предлагается следующая последовательность этапов при разработке технологии мотивации:

- Анализ сотрудников и их деятельности.
- Определение параметров и критериев оценки результатов труда.
- Разработка инструментария для объективной оценки результатов.
- Настройка целостной системы оценки и правил компенсации и взысканий.
- Оформление системы компенсации и взысканий во внутрифирменном документе.
- Оценка системы и ее пробная эксплуатация в подразделениях.

Учитывается и метод определения базовой ставки заработной платы – комплексное сочетание показателей либо на основе штатного расписания. При первом способе можно предложить следующие методы создания системы оплаты труда:

- Метод прямого ранжирования рабочих мест.
- Метод классификации рабочих мест (распределение по группам важности для организации).
- Метод присвоения баллов (многокритериальная оценка по компенсируемым факторам труда).
- Метод прямого сравнения компенсируемых факторов.
- Метод оценки функциональной загрузки работников.
- Метод оценки навыков (по соответствию работника квалификационным требованиям).

Для поддержания системы мотивации на достаточном уровне менеджер по персоналу должен анализировать эффект системы по изменению результатов, психологическому климату, а также давать необходимые разъяснения менеджерам и сотрудникам при необходимости.

## СЕКЦИЯ 6. Электротехника

УДК 621.3.013

### АППРОКСИМАЦИЯ КРИВОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ ФЕРРОМАГНИТНОГО СЕРДЕЧНИКА

*Е.Г. Артюх, И.В. Гулецкий*

Научный руководитель Л.И. СОНЧИК, к.т.н., доцент

Намагничивание сердечников электромагнитных устройств сопровождается сложным комплексом явлений. Для некоторых задач расчёта электромагнитных устройств возможна замена неоднозначной зависимости между индукцией и напряжённостью магнитного поля однозначной кривой намагничивания, в качестве которой рекомендуется использовать среднюю кривую намагничивания. Выберем в качестве выражения, аппроксимирующего кривую намагничивания.

$$h = \alpha \operatorname{sh} \beta b \quad (1)$$

где  $h$  и  $b$  – мгновенные значения напряжённости и индукции магнитного поля соответственно;  $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты аппроксимации.

Найдём квадрат действующего значения напряжённости магнитного поля

$$H^2 = \frac{\alpha^2}{2T} \int_0^T (ch \ 2\beta b - 1) dt. \quad (2)$$

Разложив гиперболический косинус от синусоидального аргумента в ряд Фурье, получим

$$H^2 = \frac{\alpha^2}{2} [J_0(2\beta B_{\max}) - 1], \quad (3)$$

где  $J_0(2\beta B_{\max})$  – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка. Применяя метод выбранных точек, получим выражение для определения коэффициента  $\beta$

$$\left( \frac{I_1}{I_2} \right)^2 = \frac{J_0(2\beta B_{1\max}) - 1}{J_0(2\beta B_{2\max}) - 1}. \quad (4)$$

Коэффициент  $\alpha$  находим из выражения (3) подставив координаты выбранных точек. Расчётная кривая по данному методу приближается к средней кривой намагничивания.

#### Литература

1. Воронов А.А., Титов В.К., Новогранов Б.Н. Основы теории автоматического регулирования и управления. – М.: Высшая школа, 1977. – 519 с.

## **К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ МЕЖСИСТЕМНЫМИ ПЕРЕТОКАМИ**

*А.А. Петровиц*

**Научный руководитель О.И. АЛЕКСАНДРОВ, к.т.н., доцент**

Взгляд на сущность распределения межсистемных энергопотоков, как на вторичный фактор в деле регулирования режима объединения систем, иногда не встречают должного понимания, и межсистемные энергопотоки устанавливаются по фактору согласования интересов отдельных энергосистем, а не по критерию оптимального режима объединения в целом.

Изменение нагрузки межсистемных ЛЭП является функцией изменения потребительских и станционных нагрузок в соответствии с интересами объединения в целом.

Так, например, для оптимального распределения активной мощности между потребителями и электростанциями с учетом межсистемных перетоков с целью снижения материальных затрат для объединения в целом можно воспользоваться методами нелинейного программирования. Данная комплексная задача сводится к нахождению минимума целевой функции. В одном из вариантов целевая функция может в себя включать потери активной мощности и приведенные затраты на генерирование электроэнергии. В этом случае следует ввести основные ограничения по балансу, а также по нижнему и верхнему пределам мощности генерирующих электростанций и перетоков. При этом необходимо обращать внимание на разницу в оценке стоимости потерь, затрат на топливную составляющую для генерирующих станций в зависимости от их загрузки, а также на договорные цены каждого межсистемного энергоперетока. Кроме того, следует учитывать фактор дефицитности (избыточности) по мощности энергосистемы, структуру и характер энергопотребителей, оценку затрат на производство и распределение активной и реактивной энергии.

## С о д е р ж а н и е

СЕКЦИЯ 1. Электрические системы.....	3
СЕКЦИЯ 2. Электрические станции .....	15
СЕКЦИЯ 3. Электроснабжение .....	46
СЕКЦИЯ 4. Тепловые электрические станции .....	61
СЕКЦИЯ 5. Экономика и организация энергетики.....	73
СЕКЦИЯ 6. Электротехника .....	86



## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

Тезисы докладов научно-технической  
конференции студентов и аспирантов (апрель 2003 года)

Ответственный за выпуск И.И. Сергей

Редактор Г.В. Ширкина  
Компьютерная верстка П.И. Климкович  
Подписано в печать \_\_\_\_\_ .2003.

---

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская №2.  
Печать офсетная. Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 6,3. Уч.-изд. у. 4,9. Тираж 150. Заказ \_\_\_\_\_.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский национальный технический университет.  
220013, г. Минск, проспект Ф. Скорины, 65  
Лицензия ЛВ № 155 от 30.01.98.