

ISSN 1999-9801



АУЭС

Образован в 1975

Алматы энергетика және
байланыс университетінің
ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК

Алматинского университета
энергетики и связи

4(1) 43(1)

2018

В Е С Т Н И К

**АЛМАТИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ**

№ 4(1) (43(1))

2018

**Научно-технический журнал
Выходит 4 раза в год**

Алматы



АУЭС
Образован в 1975

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

057
КОД ВУЗА

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ЛИЦЕНЗИЯ НА ОБРАЗОВАТЕЛЬНУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ №01377445 ОТ 4.08.2010. СВИДЕТЕЛЬСТВО ОБ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЙ АККРЕДИТАЦИИ № 000003

БАКАЛАВРИАТ

- 5В060200 - Информатика
- 5В070200 - Автоматизация и управление
- 5В070300 - Информационные системы
- 5В070400 - Вычислительная техника и программное обеспечение
- 5В071600 - Приборостроение
- 5В071700 - Теплоэнергетика
- 5В071800 - Электроэнергетика
- 5В071900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации
- 5В073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды
- 5В081200 - Энергообеспечение сельского хозяйства
- 5В074600 - Космическая техника и технологии
- 5В100200 - Системы информационной безопасности

КОЛЛЕДЖ

- 0901000 - Электрооборудование электрических станций и сетей
- 0906000 - Теплоэнергетические установки тепловых энергетических станций

ВОЕННАЯ КАФЕДРА

Министерство обороны РК выделяет квоту студентам АУЭС для получения специальности на военной кафедре, а также предлагает пройти курс «Молодого бойца».

ЯЗЫКИ ОБУЧЕНИЯ

 КАЗАХСКИЙ

 РУССКИЙ

 АНГЛИЙСКИЙ

МАГИСТРАТУРА

- 6М070200 - Автоматизация и управление
- 6М071700 - Теплоэнергетика
- 6М071800 - Электроэнергетика
- 6М071900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации
- 6М070400 - Вычислительная техника и программное обеспечение
- 6М070300 - Информационные системы
- 6М073100 - Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды
- 6М071600 - Приборостроение

ДОКТОРАНТУРА

- 6D071700 - Теплоэнергетика
- 6D071800 - Электроэнергетика
- 6D071900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации

- 1302000 - Автоматизация и управление
- 1304000 - Вычислительная техника и программное обеспечение
- 1305000 - Информационные системы
- 1306000 - Радиоэлектроника и связь

ИНОГОРОДНИМ ПРЕДОСТАВЛЯЕТСЯ ОБЩЕЖИТИЕ

НАШИ КОНТАКТЫ:

 г.Алматы, ул.А.Байтурсынулы 126/1

 +7 (727) 292 0303

 aues1975@gmail.com

 AUES University

 @aues_university

 AUES University

 Aues University

#АУЭС

#AUES

#AUPET

#БУДНИАУЭС

A U E S . K Z

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ

А.С.Баймаганов, С.Ю.Креслина
 МОНИТОРИНГ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ...6

М.А.Мустафин
 МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ
 ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ..... 10

К.Ж.Калиева, Д.М.Чныбаева
 ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
 ИЗОЛЯЦИИ ТЯГОВЫХ МАШИН ПРИ РАЗЛИЧНЫХ
 ВОЗДЕЙСТВИЯХ.....17

**В.И.Дмитриченко, И.В.Казанина, О.П.Живаева, К.К.
 Кульгильдинов**
 ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6-
 10 кВ НА ОСНОВЕ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ С
 ПОНИЖЕННЫМ УРОВНЕМ СРАБАТЫВАНИЯ.....24

К.Ж.Калиева, М.Б.Жаркымбекова
 РАСЧЕТ ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ УСИЛИЙ ДВУХСЛОЙНЫХ
 КОМПАУНДОВ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН.....29

А.К.Мурат, С.Е.Соколов, А.Гирько
 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УПРАВЛЯЕМЫХ РЕАКТОРОВ,
 ВЫПОЛНЕННЫХ НА ТРЕХСТЕРЖНЕВЫХ И
 ЧЕТЫРЕХСТЕРЖНЕВЫХ МАГНИТОПРОВОДАХ 35

**К.К.Тохтибакиев, А.А.Саухимов, А.Т.Бектимиров, М.Д.
 Мерекенов, С.А.Нургалиева**
 ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
 ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ЕЭС
 КАЗАХСТАНА.....43

К.К.Тохтибакиев, М.Д.Мерекенов
 ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАПАСОВ
 СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПО ДАННЫМ СИСТЕМЫ
 ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.....50

- П.И.Сагитов, Ж.Ж.Тойгожинова**
УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОГЛАСОВАННОГО
ВРАЩЕНИЯ РОТОРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО
АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....59
- Д.А.Длимов**
МОДЕРНИЗАЦИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА
ПРЯМОТОЧНОГО ВОЛОЧИЛЬНОГО СТАНА.....65
- В.И.Дмитриченко, М.В.Башкиров, Р.М.Нигматулин, И.В.Казанина**
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ЭЛЕКТРОСЕТЯХ
6-10
кВ.....70
- А.Б.Бисекен**
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА.....76
- С.К.Шеръязов**
УСЛОВИЯ ВЫБОРА ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ
В СИСТЕМЕ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....83
- Т.Н.Агимов, Е.К. Умбеткулов, К.А.Бакенов, А.Т.Бектемиров**
ПРЯМОЙ ПУСК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ СОИЗМЕРИМОЙ
МОЩНОСТИ С УЧЕТОМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОВЫШЕНИЯ
НАПРЯЖЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРЕ.....90
- А.М.Солтанаев**
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ПРИПЛОТИННЫХ МАЛЫХ ГЭС.....97
- В.К.Aliyarov, В.Т.Bahtiyar, G.A.Akimbek**
THE POSSIBILITY OF USING SURPLUS POWER OF LOCOMOTIVE
TO SUPPLY OF THE PASSENGER CARRIAGES.....106
- К.Т.Тергемес, Е.З.Амангалиев, У.К.Тлеугали, Д.Ш.Аманбек,
Н.Т.Омирзаков**
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДА ХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТОВ..109

С.Б.Бимурзаев, З.С.Саутбекова УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХЭЛЕКТРОДНЫХ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ ВРАЩАТЕЛЬНОЙ СИММЕТРИИ.....	111
С.Б.Бимурзаев, Н.У.Алдияров, А.К.Жаксыбергенов ДИСПЕРСИОННЫЕ СВОЙСТВА ДВУХЭЛЕКТРОДНЫХ ДВУМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ.....	119
Г.Х.Хожин, Т.Н.Агимов “АСТАНА ЭКСПО-2017” БҮКІЛ ӘЛЕМДІК МАМАНДАНДЫРЫЛҒАН КӨРМЕДЕ ҰСЫНЫЛҒАН ЖАҢА ТЕХНИКА МЕН ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА САЛАСЫНА ЕНГІЗУ ЖӘНЕ ПАЙДАЛАҢУ МҮМКІНДІКТЕРІ ТУРАЛЫ.....	129

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ

МРНТИ 621.3.01(075)

А.С.Баймаганов¹, С.Ю.Креслина¹

¹Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Казахстан

МОНИТОРИНГ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Аннотация. В статье рассмотрен способ мониторинга или неразрушающей диагностики параметров силовых кабельных линий электропередачи.

Ключевые слова: диагностика, силовые кабельные линии, переходные процессы, характеристическое уравнение, параметры кабельной линии.

В основе способа лежит анализ переходного процесса, происходящего в кабельной линии электропередачи при коммутациях на холостом ходе, то есть при ее включении или отключении без нагрузки.

Производится анализ свободных составляющих тока и напряжения переходного процесса в силовой кабельной линии электропередачи.

Представим силовую кабельную линию Г-образной схемой замещения, приведенной на рисунке 1.

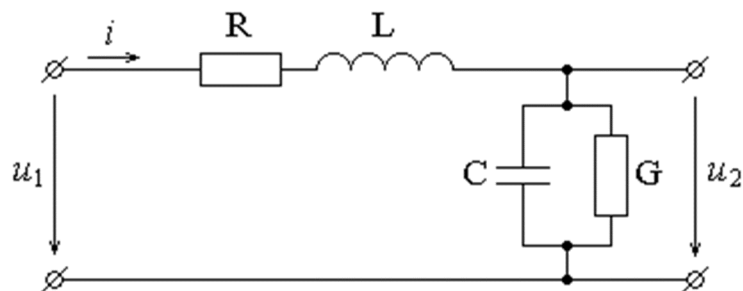


Рисунок 1 – Г-образная схема замещения кабельной линии

Применим классический метод анализа переходных процессов.

Характеристическое уравнение исследуемой цепи имеет вид:

$$R + pL + \frac{1}{pC + G} = 0.$$

После преобразований получим:

$$p^2 LC + p(CR + LG) + RG + 1 = 0. \quad (1)$$

В полученном выражении можно пренебречь слагаемым RG ввиду его малости по сравнению с единицей.

Окончательный вид характеристического уравнения:

$$p^2 + p\left(\frac{R}{L} + \frac{G}{C}\right) + \frac{1}{LC} = 0. \quad (2)$$

Решением характеристического уравнения является выражение:

$$p_{1,2} = -\frac{1}{2}\left(\frac{R}{L} + \frac{G}{C}\right) \pm j\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{4}\left(\frac{R}{L} + \frac{G}{C}\right)^2} = -\alpha \pm j\omega_{cs}. \quad (3)$$

В последнем выражении приняты следующие обозначения:
коэффициент затухания

$$\alpha = \frac{1}{2}\left(\frac{R}{L} + \frac{G}{C}\right),$$

и круговая частота свободных колебаний

$$\omega_{cs} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{4}\left(\frac{R}{L} + \frac{G}{C}\right)^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \alpha^2} \approx \sqrt{\frac{1}{LC}}.$$

В подкоренном выражении можно пренебречь слагаемым

$$\frac{1}{4}\left(\frac{R}{L} + \frac{G}{C}\right)^2 = \alpha^2 \text{ ввиду его малости по сравнению со слагаемым } \frac{1}{LC}.$$

Свободные составляющие тока и напряжения в линии описываются уравнением вида

$$f(t) = Ae^{-\alpha t} \sin(\omega_{cs} t + \psi). \quad (4)$$

Кривая мгновенных значений этой функции приведена на рисунке 2.

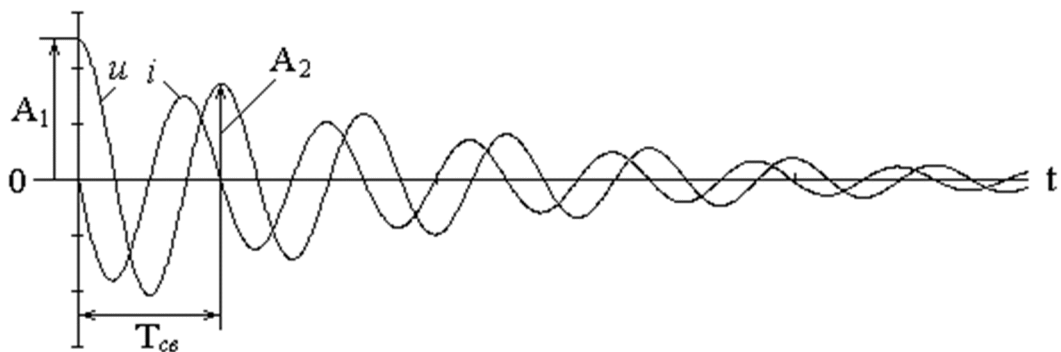


Рисунок 2 – Кривые мгновенных значений свободных составляющих тока и напряжения в кабельной линии

Поставленная задача заключается в определении параметров силового кабеля, а именно активного сопротивления R , индуктивности L , емкости C и проводимости изоляции G . Для решения применим анализ переходного процесса в кабельной линии, происходящего после коммутации.

Необходимо измерить, причем строго синхронно, мгновенные значения напряжения u_1 и тока i в начале и напряжения в конце кабельной линии u_2 . Необходимо также выделить свободную составляющую в токе и напряжении.

Рассмотрим отключение кабельной линии. В этом случае напряжение и ток в линии будут содержать только свободные составляющие, что значительно упрощает решение поставленной задачи.

По кривой мгновенных значений свободной составляющей тока или напряжения определим период свободных колебаний T_{cs} и две соседние амплитуды одного знака A_1 и A_2 для расчета коэффициента затухания α , см. рисунок 2.

Круговая частота свободных колебаний

$$\omega_{cs} = \frac{2\pi}{T_{cs}}. \quad (5)$$

Коэффициент затухания

$$\alpha = \frac{1}{T_{св}} \ln \frac{A_1}{A_2}. \quad (6)$$

При малых затуханиях, с целью увеличения точности определения коэффициента затухания α , измерять амплитуды одного знака A_1 и A_2 можно на интервале времени в несколько периодов свободных колебаний.

Следующей количественной характеристикой переходного процесса, которую необходимо принимать в расчет, является потеря энергии электромагнитного поля, выделяемая в виде тепла в активном сопротивлении R и активной проводимости G кабельной линии:

$$\Delta W = \int_{t_1}^{t_2} Ri^2 dt + \int_{t_1}^{t_2} Gu^2 dt = R \int_{t_1}^{t_2} i^2 dt + G \int_{t_1}^{t_2} u^2 dt. \quad (7)$$

Величину этой потери энергии ΔW определяем как разность энергии, запасенной в электрическом поле емкости линии в момент времени t_1 , когда ток равен нулю

$$W_э = \frac{Cu^2(t_1)}{2}$$

и энергии в магнитном поле индуктивности линии в момент времени t_2 , когда напряжение равно нулю

$$W_м = \frac{Li^2(t_2)}{2}.$$

С целью увеличения точности расчета интервал времени от t_1 до t_2 можно выбрать равным нескольким периодам колебаний энергии.

И наконец, последней количественной характеристикой переходного процесса, которую необходимо принимать в расчет, является падение напряжения на линии:

$$\Delta u(t_0) = Ri(t_0) + L \frac{di}{dt}(t_0) = u_1(t_0) - u_2(t_0). \quad (8)$$

При определении падения напряжения на линии необходимо выбрать момент времени t_0 , когда ток в линии имеет максимальное значение и его производная по времени равна нулю, то есть когда второе слагаемое в выражении (8) равно нулю. Тогда из уравнения (8) можно рассчитать величину активного сопротивления кабельной линии:

$$R = \frac{u_1(t_0) - u_2(t_0)}{i(t_0)}. \quad (9)$$

Значения остальных параметров кабельной линии, а именно индуктивности L , емкости C и проводимости изоляции G определяем, решая систему трех уравнений. Эти уравнения представляют собой, соответственно, коэффициент затухания α , круговую частоту свободных колебаний $\omega_{св}$ и потерю энергии в активном сопротивлении провода и активной проводимости изоляции линии ΔW , выраженные через искомые параметры линии:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{R}{2L} + \frac{G}{2C} = \alpha \\ \frac{1}{LC} = \omega_{св} \\ \frac{Cu^2(t_1) - Li^2(t_2)}{2} = R \int_{t_1}^{t_2} i^2 dt + G \int_{t_1}^{t_2} u^2 dt \end{array} \right. \quad (10)$$

Процесс определения параметров силовой кабельной линии можно автоматизировать с помощью устройств, записывающих мгновенные значения тока и

напряжения, и микропроцессора, обрабатывающего эти данные в соответствии с вышеописанным способом. Таким образом, можно организовать мониторинг параметров кабельной линии путем анализа переходных процессов в ней, происходящих в результате эксплуатационных коммутаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Носов В. В. Диагностика машин и оборудования: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2012. — 384 с.: ил.
[2] Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник / Л.А. Бессонов. – 11-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2013. – 701 с.

REFERENCES

- [1] V. V. Nosov Diagnostics of machines and equipment: Textbook. 2nd ed., rev. and supplemented. - SPb.: Publishing house "Lan", 2012. - 384 p.: ill.
[2] L. A. Bessonov Theoretical fundamentals of electrical engineering. Electrical circuits: Textbook / L. A. Bessonov. - 11 th ed., rev. and supplemented. - Moscow: Yurayt, 2013. - 701 p.

ЭЛЕКТР ЖЕЛІЛЕРІ ЖЕЛІСІНІҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН БАҚЫЛАУ А. С. Баймаганов¹, С. Ю. Креслина¹

¹Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа:Мақалада электрберіліс желілерінің бүлінбейтін күшейткіш сымның диагностикалық көрсеткіштері немесе мониторинг әдісі қарастырылған.

Кілт сөздері:диагностика, күшейткіш сымның желісі, өтпелі кезеңдер, сипаттамалық теңдеу, сым желісінің көрсеткіштері.

MONITORING OF THE POWER CABLE LINE PARAMETERS

A. S. Baymaganov¹, S. U. Kreslina¹

¹Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan

Abstract.The article deals with the method of monitoring or nondestructive diagnostics of the parameters of power transmission cable.

Key wordsdiagnostics, power cable lines, transients, characteristic equation, power cable line parameters.

УДК 62.83: 621.313

М.А.Мустафин

Алматинский университет энергетики и связи

МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Аннотация. Современный уровень развития автоматизированного электропривода позволяет передать функции управления центробежными агрегатами непосредственно электроприводу и исключить потери в регулирующей запорной арматуре. Несинусоидальность выходного напряжения реальных преобразователей частоты (ПЧ), применяемых в регулируемом электроприводе, вызывает искажение токов, электромагнитного момента, ухудшает использование элементов электропривода и его энергетические характеристики. В статье предлагается модель асинхронного электропривода центробежного механизма, учитывающая особенности как нагрузки на валу, так и преобразователей, питающих двигатель.

Ключевые слова: математическое моделирование, электромагнитные и электромеханические процессы в асинхронном двигателе, динамические режимы, энергетические показатели.

Традиционно для механизмов центробежного действия основным (рабочим) режимом принято считать стационарный, с установившимися параметрами привода. Поэтому большинство трудов по оптимизации энергопотребления посвящено исследованиям установившихся процессов ЦМ и их приводов. Однако при включении, например, насоса в систему автоматического управления технологическим процессом, значительную часть рабочего цикла будут составлять переходные процессы, которые вызваны оперативными включениями или отключениями отдельных элементов системы или изменением режимов их функционирования.

В связи с этим важное значение приобретает исследование энергопотребления таких электроприводов не только в установившихся, но и в переходных режимах их работы. Предлагаемая математическая модель должна позволить провести сопоставительный анализ электромагнитных и электромеханических процессов различных схем электропривода для центробежных механизмов.

В исследованиях, проведенных различными авторами и в разное время, применяются различные подходы, методы анализа, формы математического описания стационарных и динамических режимов работы систем асинхронного электропривода. Один и тот же объект (АД) описывается авторами по-разному при питании от ПЧ статора или ротора. Это позволяет глубоко и всесторонне изучить особенности каждой из систем привода, но затрудняет проведение качественного сопоставительного анализа электромагнитных процессов различных систем АЭП с АД, для которого логично было бы использовать единый математический аппарат описания различных схем управления асинхронным электроприводом во всех режимах работы двигателя насосного агрегата.

Полная система исходных уравнений, описывающих процессы в асинхронном электроприводе центробежных насосов, состоит из четырех групп: уравнений электромагнитного равновесия (Кирхгофа), описывающих электромагнитные процессы в асинхронном двигателе (АД), уравнений электромеханического преобразования энергии, уравнений, характеризующих особенности механической нагрузки на валу двигателя и уравнений, отражающих параметры и свойства источников питания.

Выбор системы координат обусловлен задачами исследования. В случае питания со стороны статора (короткозамкнутые АД по схемам ПЧ-АД, ТРН-АД) при выборе преобразователя необходимо учесть реальную форму токов и напряжений статора, то есть рассчитать их в системе координат α, β , жестко связанной с неподвижным статором. При расчете преобразователей в каскадных схемах нас интересуют значения токов и напряжений в координатах d, q вращающегося ротора. В обоих случаях напряжения и токи изменяются по гармоническому закону, что делает громоздкими элементы математической модели. В синхронных координатах x, y векторы электромагнитных величин неподвижны относительно поля статора, и становятся в модели величинами постоянными.

В [1] мы получили уравнение, аналогичное уравнению обобщенного электромеханического преобразователя, в котором переменные u_1, u_2, i_1, i_2 являются векторами, описываемыми в произвольной системе координат. Важным достоинством предлагаемого метода является возможность использования в математических моделях различных типов асинхронного электропривода одного исходного уравнения. Разные варианты привода и запись в различных системах координат являются частным случаем. Так, при моделировании системы «ПЧ – АД» в осях α, β принимаем $u_2 = 0$ и $\omega_k = 0$; в синхронных осях $\omega_k = \omega_0$.

Уравнения электрического равновесия при $\omega_k = \omega_0$ в проекциях обобщенных векторов напряжений и токов на оси x, y , вращающиеся синхронно с полем статора записывается, как:

$$\begin{pmatrix} u_{1x} \\ u_{1y} \\ u_{2x} \\ u_{2y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_1 + p(l_1 + l_m) & -\omega_0(l_1 + l_m) & p l_m & -\omega_0 l_m \\ \omega_0(l_1 + l_m) & r_1 + p(l_1 + l_m) & \omega_0 l_m & p l_m \\ p l_m & -\omega_0 s l_m & r_2 + p(l_2 + l_m) & -\omega_0 s l_2 \\ \omega_0 s l_m & p l_m & \omega_0 s(l_2 + l_m) & r_2 + p(l_2 + l_m) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{1x} \\ i_{1y} \\ i_{2x} \\ i_{2y} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $u_{1x}, u_{1y}, u_{2x}, u_{2y}$ – проекции векторов напряжений статора и ротора на синхронные оси;

$i_{1x}, i_{1y}, i_{2x}, i_{2y}$ – соответственно проекции векторов токов статора и ротора на оси x, y ;

$p = d/dt$ – оператор;

l_1, l_2 – индуктивности рассеяния фазы статора и ротора;

l_m – индуктивность цепи намагничивания;

r_1, r_2 – активные сопротивления фазы статора и ротора.

Включение в уравнение (1) напряжений u_2 и запись векторов в виде проекций позволяет наиболее просто провести расчет действующих значений и интегральных характеристик токов и напряжений в АД при различных вариантах подключения преобразователей (к статору, ротору) и различных схемах этих преобразователей.

Выбор системы координат обусловлен следующими соображениями. В случае питания со стороны статора (короткозамкнутые АД по схемам ПЧ-АД, ТРН-АД) при выборе преобразователя необходимо учесть реальную форму токов и напряжений статора, то есть рассчитать их в системе координат α, β , жестко связанной с неподвижным статором. При расчете преобразователей в каскадных схемах нас интересуют значения токов и напряжений в координатах d, q вращающегося ротора. Процедура преобразования координат $\alpha, \beta - d, q - x, y$ (синхронные оси) достаточно рутинна, но перевод в координаты статора и ротора выражений, записанных в синхронных осях, выполняется одинаковой

операцией и упрощает программы расчета. Поэтому в дальнейшем расчеты выполняются в системе координат x, y , вращающейся с частотой поля статора АД.

Электромеханические соотношения в программе рассчитываются по составляющим уравнения движения электропривода

$$M - M_C = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (2)$$

Взаимодействие полей статора и ротора АД создает электромагнитный момент

$$M = -\frac{3}{2} p_n l_m \begin{vmatrix} i_{1x} & i_{2x} \\ i_{1y} & i_{2y} \end{vmatrix}. \quad (3)$$

При центробежной нагрузке момент сопротивления механизма M_C является достаточно сложной функцией скорости. В простейшем случае при $H_C = 0$ (труба горизонтальна), $s_H \approx 0$ и постоянном значении КПД зависимость становится квадратичной:

$$M_C \approx M_H (1 - s)^2. \quad (4)$$

При введении параметров двигателя программа формирует вектор правых частей системы дифференциальных уравнений электромагнитного равновесия электропривода. Для приведения к каноническому виду, необходимо решить систему (5) относительно первых производных проекций токов (четыре уравнения) для конкретной схемы электропривода (ПЧ-АД, ТРН-АД, МДП) Кроме того, в качестве еще одной переменной примем величину скольжения. В соответствии с (2) и (3):

$$\frac{ds}{dt} = -\frac{1}{\omega_0} \frac{d\omega}{dt} = -\frac{1}{J\omega_0} \left(\frac{3p_n l_m}{2} (i_{1y} i_{2x} - i_{1x} i_{2y}) - M_C \right). \quad (5)$$

Еще одно уравнение в системе (значение dM_C/dt) получено дифференцированием уравнения (4).

$$\frac{dM_C}{dt} = \frac{dM_C}{ds} \frac{ds}{dt} = (-2M_H + 2M_H s) \left[-\frac{1}{J\omega_0} \left(\frac{3p_n l_m}{2} (i_{1y} i_{2x} - i_{1x} i_{2y}) - M_C \right) \right]. \quad (6)$$

Записав в нормированном виде дифференциальные уравнения (1), (5) и (6), получим систему, готовую для решения одним из численных методов. Авторами была разработана программа расчета переходных процессов асинхронного электропривода в программной среде «Mathcad» (MathSoft), содержащей встроенные программы для численного решения систем дифференциальных уравнений первого и высших порядков [1]. Однако, в [1] не учитывались особенности вентильных преобразователей, используемых для питания АД в различных схемах автоматизированного электропривода.

Несинусоидальность выходного напряжения реальных преобразователей частоты (ПЧ), применяемых в регулируемом электроприводе, вызывает искажение токов, электромагнитного момента, ухудшает использование элементов электропривода и его энергетические характеристики. Высшие гармонические составляющие токов вызывают добавочные потери в обмотках двигателя и трансформатора ПЧ, увеличиваются потери на гистерезис и вихревые токи в стали. Кроме отрицательных энергетических последствий,

негативное влияние оказывается на механическую часть насосных агрегатов. При определенных, резонансных, соотношениях частот и амплитуд гармоник и собственных частот насосного агрегата, в нем возникает нежелательная механическая вибрация ротора. Это явление так же требует дополнительного изучения.

Предлагаемый ниже метод исследования электромагнитных и электромеханических процессов в асинхронных приводах с несинусоидальным питанием является развитием методов гармонических составляющих и обобщенных векторов. Каждая гармоническая составляющая напряжений и токов представляется вектором с соответствующей амплитудой и частотой вращения, что позволяет согласовать уравнения для них с уравнениями для первых гармонических АД. Таким образом, совмещаются положения метода гармонических составляющих и математическое описание обобщенной электрической машины, использованное при расчете привода по первым гармоническим.

Способ позволяет сравнительно несложно определить мгновенные значения токов, момента и частоты вращения двигателя, а также интегральных энергетических показателей привода.

Каждой гармонической составляющей (далее гармонике) напряжения и тока соответствует вектор, соотносящийся с вектором первой гармоники в зависимостях, определяемых схемой и принципом действия ПЧ. Порядок гармоники ν , ее значения $U_{1\nu}, U_{1\nu}$ и частота ω_ν определяются гармоническим составом выходного напряжения преобразователя частоты.

Представленная в статье модель асинхронного электропривода центробежного механизма является развитием предыдущей с учетом схемы, принципа формирования выходного напряжения и закона частотного управления используемого преобразователя частоты. На рисунке 1 представлена блок-схема алгоритма расчета, которая, в дополнение к представленной в [1], включает в себя подпрограмму расчета мгновенных значений высших гармонических напряжений и токов двигателя.

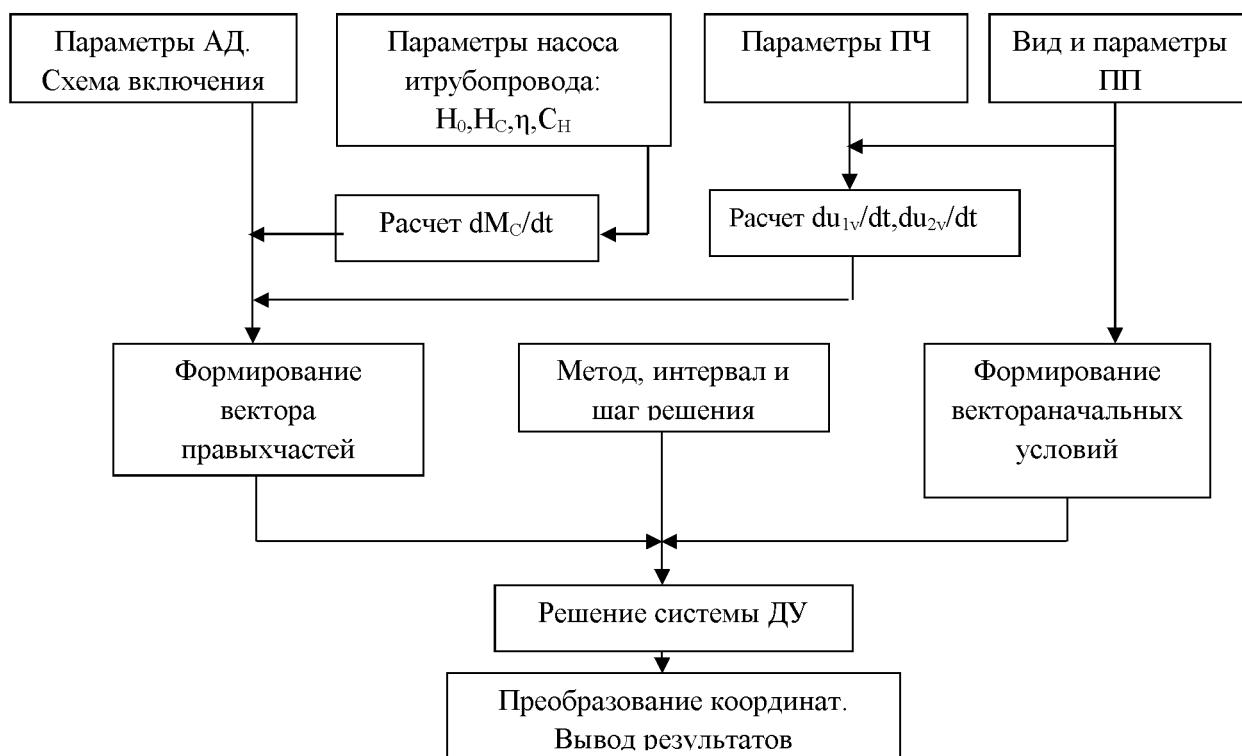


Рисунок 1 - Блок – схема алгоритма расчета динамических характеристик привода центробежного насоса

В целом, нормированная система уравнений для ν -ой гармонической составляющей приобретает вид

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_{1x\nu}}{dt} &= \frac{1}{l_1 l_2 - l_m^2} (-r_1 l_2 i_{1x\nu} + \omega_\nu l_1 l_2 i_{1y\nu} - \omega_\nu s_\nu l_m^2 j_{1y\nu} + r_2 l_2 i_{2x\nu} + \omega_\nu l_2 l_m^2 j_{2y\nu} - \omega_\nu l_2 l_m s_\nu j_{2y\nu} + (l_2 u_{1x\nu} - l_m u_{2x\nu})) \\ \frac{di_{1y\nu}}{dt} &= \frac{1}{l_1 l_2 - l_m^2} (-\omega_\nu l_1 l_2 i_{1x\nu} + \omega_\nu s_\nu l_m^2 j_{1x\nu} - r_1 l_2 i_{1y\nu} - \omega_\nu l_2 l_m^2 j_{2x\nu} + \omega_\nu l_2 l_m s_\nu j_{2x\nu} + r_2 l_2 i_{2y\nu} + (l_2 u_{1y\nu} - l_m u_{2y\nu})) \\ \frac{di_{2x\nu}}{dt} &= \frac{1}{l_1 l_2 - l_m^2} (r_1 l_m i_{1x\nu} - \omega_\nu l_1 l_m i_{1y\nu} + \omega_\nu s_\nu l_1 l_m j_{1y\nu} - r_2 l_2 i_{2x\nu} - \omega_\nu l_m^2 j_{2y\nu} + \omega_\nu l_2 s_\nu j_{2y\nu} + (l_1 u_{2x\nu} - l_m u_{1x\nu})) \\ \frac{di_{2y\nu}}{dt} &= \frac{1}{l_1 l_2 - l_m^2} (\omega_\nu l_1 l_m i_{1x\nu} - \omega_\nu s_\nu l_1 l_m i_{1x\nu} + r_1 l_m i_{1y\nu} - \omega_\nu l_2 s_\nu j_{2x\nu} + \omega_\nu l_m^2 j_{2x\nu} - r_2 l_2 i_{2y\nu} + (l_1 u_{2y\nu} - l_m u_{1y\nu})) \\ \frac{ds_\nu}{dt} &= -\frac{3p_{II} l_m}{2J\omega_\nu} i_{1y\nu} i_{2x\nu} + \frac{3p_{II} l_m}{2J\omega_\nu} i_{1x\nu} i_{2y\nu} + \frac{M_C}{J\omega_\nu} \\ \frac{dM_C}{dt} &= \frac{3p_{II} l_m}{J\omega_\nu} i_{1y\nu} i_{2x\nu} M_H - \frac{3p_{II} l_m}{J\omega_\nu} i_{1x\nu} i_{2y\nu} M_H s_\nu - \frac{3p_{II} l_m}{J\omega_\nu} i_{1x\nu} i_{2y\nu} M_H + \frac{3p_{II} l_m}{J\omega_\nu} i_{1x\nu} i_{2y\nu} M_H s_\nu - \frac{2M_C}{J\omega_\nu} M_H + \frac{2M_C}{J\omega_\nu} M_H s_\nu \end{aligned} \right\} (7),$$

где ν - порядковый номер гармонической составляющей тока и напряжения;

$\omega_{1\nu}$ - частота вращения ν -ой гармонической составляющей.

Выражение скольжения для высших гармонических может быть записано как

$$s_\nu = \frac{\nu\omega_0 \pm \omega}{\nu\omega_0} \quad (8)$$

Так же, как и в [1], модель выполнена в математической компьютерной среде «Mathcad». Вид переходного процесса и его параметры вместе с параметрами нагрузки определяют вектор начальных условий. Кроме того, используя подпрограмму «Расчет du/dt», можно задать форму и интенсивность нарастания управляющих воздействий. Далее выбирается метод численного решения системы (Рунге-Кутта с фиксированным или адаптированным шагом, Булириш-Штера и т.д.), интервал и шаг решения. В результате на монитор в табличном или графическом виде выводятся:

- мгновенные значения проекций токов статора и ротора $i_{1x}(t)$, $i_{1y}(t)$, $i_{2x}(t)$, $i_{2y}(t)$;
- мгновенные значения скорости вращения ротора АД $\omega(t)$;
- мгновенные значения момента сопротивления механизма $M_C(t)$ и электромагнитного момента АД $M(t)$;
- максимальные и минимальные значения указанных параметров.

Согласно законам электромеханики электромеханическое преобразование энергии осуществляется полями, неподвижными относительно друг друга. Средний электромагнитный момент МДП или постоянная составляющая момента определяется взаимодействием потоков и токов с одинаковой частотой:

$$M_\nu = \frac{3}{2} L_m P_n (i_{y1\nu} i_{x2\nu} - i_{x1\nu} i_{y2\nu}). \quad (9)$$

Но в двигателе в результате взаимодействия гармонических потока и токов разного порядка образуются пульсирующие моменты. Основным их источником является взаимодействие основного потока с высшими гармоническими составляющими тока ротора:

$$M_{1,\nu} = \overline{\Phi_1} \cdot \bar{i}_{2\nu},$$

или иначе:

$$M_{1,v} = L_m \cdot \frac{u_1}{x_s} \cdot i_{2av} .$$

Суммарный пульсирующий момент от взаимодействия основного потока со всеми гармоническими тока ротора

$$M_{1,\Sigma} = L_m \frac{u_1}{x_s} \sum_{v \neq 1}^{\infty} i_{2av} .$$

В качестве примера ниже приведен результат расчета тока статора асинхронного двигателя с использованием предлагаемой модели. Здесь же показана осциллограмма тока статора АД, подтверждающая адекватность предлагаемой модели.

$P=6$

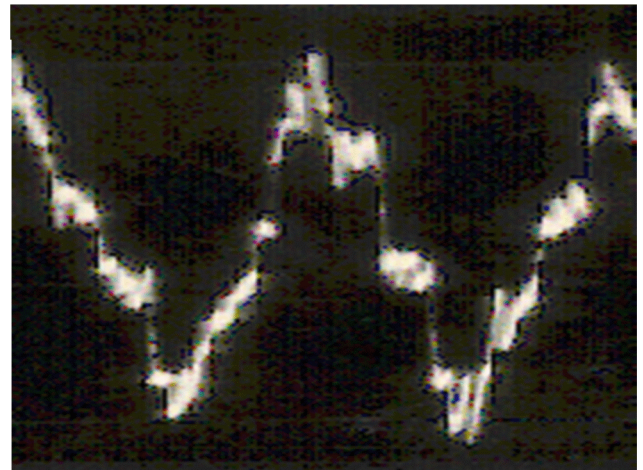
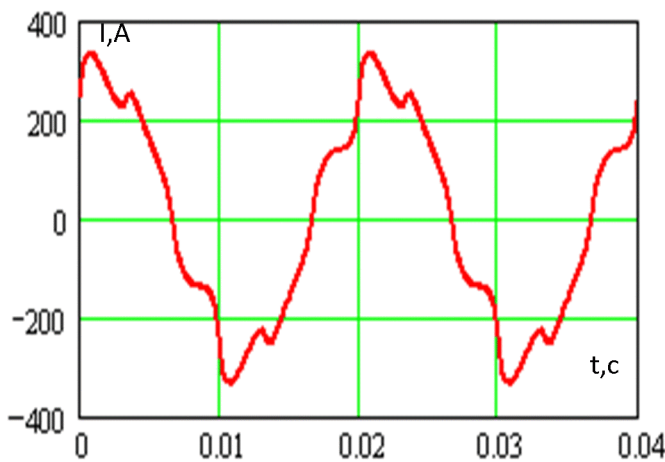


Рисунок 2 – Ток статора АД, рассчитанный при моделировании и осциллограмма реального тока

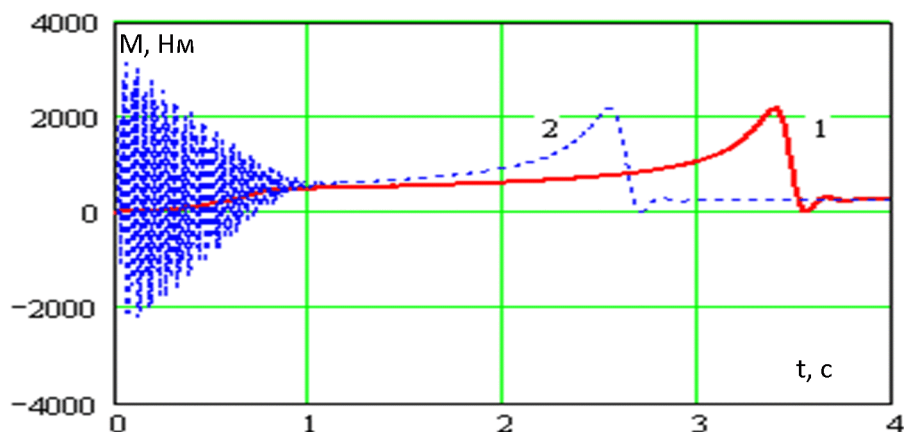


Рисунок 5 –
Моменты А

Д при прямом (2) и плавном (1) пуске с центробежной нагрузкой

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Mustafin M.A., Almuratova N.K. Calculation of transient processes of electric drives of centrifugal mechanisms. IJPT| Sep-2016 | Vol. 8 | Issue No.3 | India.

[2] Мустафин М.А., Алмуратова Н.К. Регулируемый электропривод центробежных агрегатов. Аспекты энергосбережения. Труды IX Международной (XX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП – 2016. Пермь, 3-7 октября 2016г.

REFERENCES

[1] Mustafin M.A., Almuratova N.K. Calculation of transient processes of electric drives of centrifugal mechanisms. IJPT| Sep-2016 | Vol. 8 | Issue No.3 | India.

[2] Mustafin M.A., Almuratova N.K. Reguliruemyj jelektroprivod centrobezhnyh agregatov. Aspekty jenergoberezenija [In Russian: Adjustable electric drive of centrifugal units. Aspects of energy saving]. Trudy IX Mezhdunarodnoj (XX Vserossijskoj) konferencii po avtomatizirovannomu jelektroprivodu [Proceedings of the IX International (XX All-Russian) Conference on Automated Electric Drive]. Perm, 3-7.10.2016.

МРНТИ 44; 44.29.29; 44.29.33.

К.Ж.Калиева, Д.М.Чныбаева

Алматинский университет энергетики и связи

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗОЛЯЦИИ ТЯГОВЫХ МАШИН ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Аннотация. Определение влажности электроизоляционных материалов весьма важно для уточнения условий, при которых производится испытание электрических свойств данного материала. Кроме того, для заметно гигроскопичных материалов, приемка и сдача которых происходит по массе, определение влажности весьма важно для строгого учета количества материала.

Приведены данные по хрупкости, твердости и ударной вязкости электроизоляционных материалов, играющих существенную роль при длительных эксплуатационных воздействиях.

Показано, что при прочих равных условиях скорость теплового старения органических и элементо органических полимеров значительно возрастает с повышением температуры старения, подчиняясь общим закономерностям температурного изменения скорости химических реакций (теория Аррениуса - Эйринга).

Ключевые слова: тяговая машина, электроизоляционный материал, механическая нагрузка, волокнистый материал, прочность.

Как известно [1] корпусная изоляция тяговых двигателей электровозов и тепловозов является наиболее нагруженным элементом. Она одновременно подвергается воздействию электрического поля, температуры, термомеханических напряжений, электрических усилий.

Технология вакуум-нагнетательной пропитки, применяемая при изготовлении обмоток, позволяет получать надежные и долговечные системы изоляции. Но при этом должны сохраняться целостность слюдяного барьера и обеспечиваться минимум внутренних газовых полостей. Особенно это важно в высоковольтных электрических машинах, так как напряженность поля в газовых полостях может достигать 30 кВ/мм, что близко к порогу ионизации [2].

Основой всех систем изоляции, определяющей на 80-90% их класс нагревостойкости и надежность, являются слюдосодержащие ленты для корпусной изоляции и пропитывающий состав. Выбор серийно выпускаемых и применяемых отечественных электроизоляционных лент и компаундов, которые используются для технологий вакуум-нагнетательной пропитки, очень ограничен. Это непропитанные слюдяные ленты марок ЛСКН-160 ТТ, ЛСКН-135ТТ пл, ЛСКО-180Т и пропиточный компаунд ПК-11.

К недостаткам систем изоляции на основе перечисленных материалов относятся: большая доля армирующего материала в виде стеклоподложки (до 60%); низкий слюдяной барьер (до 40%); нарушение слюдяного барьера при лентоизолировочных работах, "пыление", увеличенная толщина изоляции электрических машин по сравнению с зарубежными аналогами; класс нагревостойкости ограничен 155 °С.

При выборе электроизоляционного материала для конкретного применения приходится обращать внимание не только на его электрические свойства в нормальных условиях, но рассматривать также их стабильность при воздействии влажности окружающего воздуха, повышенных температур, мороза и радиоактивных излучений.

Нормальное использование изделия в большой степени зависит от механических свойств материалов: их прочности на растяжение. К изделиям, а, следовательно, в известной степени и к материалам предъявляются требования вибропрочности при различных амплитудах и частотах колебаний. Для деталей, в которой имеется сопряжение

разных материалов, большое значение имеют температурные коэффициенты линейного расширения.

Разработка технологических процессов изготовления электрических машин и аппаратов также требует знания физических, механических и химических свойств (например, окисляемость, растворимость, склеиваемость) материалов.

В тяговых машинах используются провода обмоточные с эмалево-волоконистой изоляцией [3]. Это медные провода круглого сечения, изолированные эмалью и нитями из натурального или синтетического шелка, или хлопчатобумажной пряжи (рис.1). По ГОСТ 16507-80 обмоточные провода для тяговых машин используются следующих марок:

ПЭЛШО, ПЭЛЛО, ПЭВЛО и ПЭБО, обеспечивающие изоляцию класса А и позволяющую работать до низкой температуры – 60⁰С.

Провода медные, изолированные лаком на масляной основе, изготавливаются по ГОСТ 2773-78 [4].

Влажностные свойства изоляции. Образец электроизоляционного материала, помещенный в условия определенной влажности и температуры окружающей среды, через неограниченно большое время достигает некоторого равновесного состояния влажности. Если сравнительно сухой образец материала будет помещен во влажный воздух (с относительной влажностью ϕ), то происходит постепенное поглощение материалом влаги из воздуха, причем влажность материала ψ , т.е. содержание влаги в единице массы материала, в течение времени τ будет повышаться, асимптотически приближаясь к равновесной влажности ψ_p , соответствующей данному значению ϕ (рис.2, кривая 1). Наоборот, если в воздухе той же относительной влажности ϕ будет помещен образец того же материала с начальной влажностью, большей ψ_p , то влажность образца будет уменьшаться, асимптотически приближаясь к значению равновесной влажности ψ_p ; в этом случае происходит сушка материала (кривая 2). Для различных материалов значения равновесной влажности при одном и том же значении относительной влажности воздуха ϕ могут быть весьма различны [5].

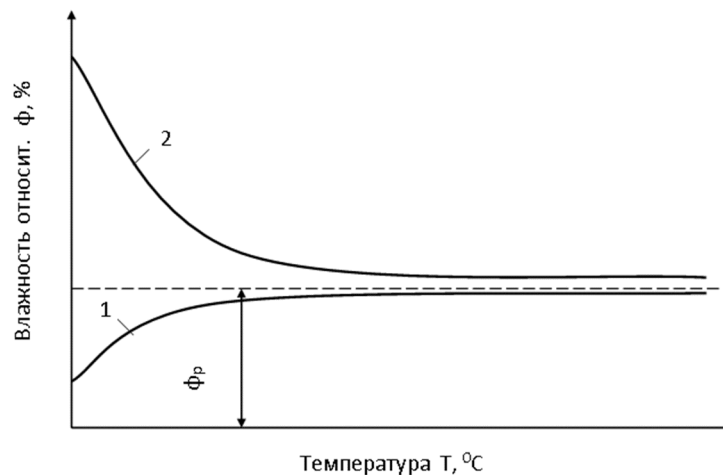
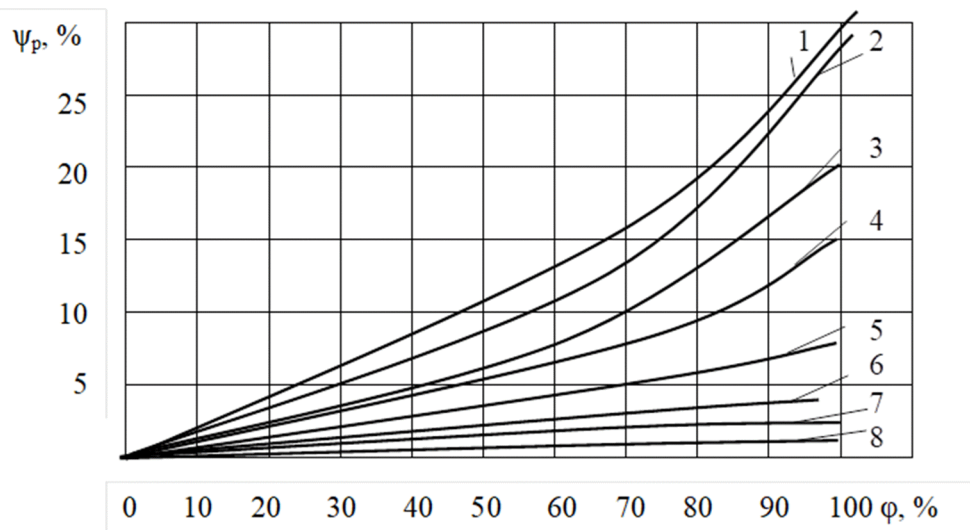


Рисунок 1. Изменение влажности ψ образца материала при увлажнении (1) и сушке (2) для постоянных значений относительной влажности окружающего воздуха и температуры.

Определение влажности электроизоляционных материалов весьма важно для уточнения условий, при которых производится испытание электрических свойств данного материала. Кроме того, для заметно гигроскопичных материалов, приемка и сдача которых происходит по массе, определение влажности весьма важно для строгого учета

количества материала. Для текстильных и тому подобных материалов устанавливается так называемая кондиционная влажность, соответствующая равновесной влажности материала при нахождении его в воздухе в нормальных условиях; так, для кабельной бумаги кондиционная влажность принимается равной 8 %. На гигроскопичность материала существенное влияние оказывает строение и химическая природа.



1 – вискозный шелк; 2 – натуральный шелк; 3 – хлопчатобумажное волокно; 4 – ацетатный шелк; 5 – полиамидные волокна (капрон, нейлон); 6 – нитрон и хлорин; 7 – полиэтилентерефталатное и полистирольное волокна; 8 – полиэтиленовое волокно

Рисунок2. Зависимости равновесной влажности Ψ_p различных волокон от относительной влажности воздуха φ .

Большую роль играют наличие и размер капиллярных промежутков внутри материала, в которые проникает влага. Сильно пористые материалы, в частности волокнистые, более гигроскопичны, чем материалы плотного строения.

Зависимости равновесной влажности Ψ_p различных волокон от относительной влажности воздуха приведены на рис.13 [6].

Механические свойства изоляции обмоток. Поскольку детали из электроизоляционных материалов подвергается действию механических нагрузок, большое практическое значение имеют механическая прочность этих материалов и способность их деформироваться от механических напряжений.

Простейшие виды статических механических нагрузок- растягивающих, сжимающих и изгибающих- изучаются на основании элементарных закономерностей, известных из курса сопротивления материалов [57].

Для электроизоляционных материалов анизотропного строения (слоистых, волокнистых и т.п.) значения механической прочности сильно зависят от направления приложения нагрузки. Важно отметить, что для ряда диэлектриков (стекло, керамических материалов, многих пластмасс и др.) предел прочности при сжатии значительно больше, чем при разрыве и изгибе. Так, например, у кварцевого стекла при сжимающих напряжениях можно получить $\sigma_c \approx 200$ МПа, а при растяжении σ_p – всего около 50 МПа.

Механическая прочность диэлектриков сильно зависит от площади поперечного сечения образцов.

Механическая прочность электроизоляционных материалов сильно зависит от температуры, как правило, уменьшаясь с ее ростом.

Определение предела прочности и относительной деформации при разрушении дает некоторое представление о механической прочности материала и его способности деформироваться под нагрузкой. Пластическое течение весьма нежелательно, если изделие в эксплуатации должно длительно сохранять неизменными форму и размеры. При повышении температуры и приближении ее к температуре размягчения данного материала пластическое течение материала сильно увеличивается [7].

Весьма важное практическое значение имеют хрупкость, твердость и ударная вязкость электроизоляционных материалов, играющих существенную роль при длительных эксплуатационных воздействиях [8].

Распространенный прием для оценки способности материала сопротивляться действию динамических нагрузок – испытание на ударный изгиб (определение ударной вязкости). Ударную вязкость $\sigma_{уд}$ материала находят делением затраченной на излом образца энергии A на площадь поперечного сечения образца S . Ударная вязкость в системе СИ измеряется в Дж/м². 1 Дж/м² ≈ 10⁻³ кгс·см/см². Поэтому для сохранения неизменными численных значений ударной вязкости, часто выражаемых на практике в кгс·см/см², их удобно приводить в кДж/м².

Очень высокой ударной вязкостью обладает полиэтилен, у которого $\sigma_{уд}$ превышает 100 кДж/м², для керамических материалов и микалекса $\sigma_{уд}$ составляет всего 2-5 кДж/м².

Способность электроизоляционных материалов выдерживать без разрушения длительное воздействие вибраций, т.е. повторяющихся колебаний определенной частоты и амплитуды, производится на готовых изделиях, которые для этой цели крепятся на платформах (вибростендах), подвергающихся вибрациям по заданному режиму от соответствующего приводного механизма.

Исследования по допустимой рабочей температуре выполнены на основании тщательного изучения кратковременной и длительной нагревостойкости материала с учетом коэффициента запаса, зависящего от условий эксплуатации, необходимой степени надежности и срока службы изоляции [9, 10].

Если ухудшение качества изоляции может обнаружиться лишь при длительном воздействии повышенной температуры, вследствие медленно протекающих химических процессов, это явление называют тепловым старением изоляции. Старение может проявляться, например, у лаковых пленок и целлюлозных материалов в виде повышения твердости и хрупкости, образования трещин и т.п. Для проверки стойкости электроизоляционных материалов к тепловому старению образцы выдержаны при невысокой температуре, не вызывающей немедленного разрушения материала [11]. При этом свойства образцов, подвергавшихся старению, сравнивают со свойствами исходного материала. При прочих равных условиях скорость теплового старения органических и элементоорганических полимеров значительно возрастает с повышением температуры старения, подчиняясь общим закономерностям температурного изменения скорости химических реакций (теория Аррениуса - Эйринга) [12]. Продолжительность старения τ (считая, например, от момента начала снижения механической прочности до момента получения заданной доли ее начального значения) связана с абсолютной температурой старения T зависимостью вида

$$\ln \tau = \frac{A}{T} + B, \quad (1)$$

где A и B – величины, постоянные для рассматриваемого материала и данных условий старения.

В обмотках тяговых машин, широко применяется волокнистые материалы, т.е. материалы, которые состоят преимущественно (или целиком) из частиц удлиненной

формы – волокон. В некоторых из этих материалов, а именно в текстильных, волокнистое строение совершенно очевидно. В других волокнистых материалах, таких, как дерево, бумага, картон, волокнистое строение может быть изучено с помощью микроскопа при на большом увеличении.

Преимущества многих волокнистых материалов: дешевизна, довольно большая механическая прочность и гибкость, удобство обработки. Недостатками их являются невысокие электрическая прочность и теплопроводность (из-за наличия промежутков между волокнами).

Выводы. Показано, что корпусная изоляция тяговых двигателей электровозов и тепловозов является наиболее нагруженным элементом. Она одновременно подвергается воздействию электрического поля, температуры, термомеханических напряжений, электрических усилий.

Преимущества многих волокнистых материалов: дешевизна, довольно большая механическая прочность и гибкость, удобство обработки. Недостатками их являются невысокие электрическая прочность и теплопроводность (из-за наличия промежутков между волокнами, заполненными воздухом); гигроскопичность – более высокая, чем у массивного материала того же химического состава (так как развитая поверхность волокон легко поглощает влагу, проникающую в промежутки между ними). Свойства волокнистых материалов могут быть существенно улучшены путем пропитки, почему эти материалы в электрической изоляции обычно применяют в пропитанном состоянии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Майофис И.М. Химия диэлектриков. М.: «Высшая школа», 1970, 320 с.
- [2] Новые электроизоляционные материалы для тяговых двигателей. Проспект ЗАО «Электроизолит» (г. Хотьково Московской обл.), 2001-5с.
- [3] Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. Изд.шестое, Переработанное -Л.: Энергия, 1977-352 с.
- [4] Биттибаев С.М., Калиева К.Ж. К вопросу расчета критических параметров расслоения трехслойных конструкций. - Межвуз. сб. научн. тр. «Проект., строительство и эксплуатация трансп.-коммуник. соор.» - Алматы, КазАТК, 2003, С.71-73.
- [5] Справочник по электротехническим материалам. Изд.2-е/ Под ред. Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова, Б.М. Тареева- М. – Л.: Энергия, т.1, 1974-583 с.
- [6] Справочник по электротехническим материалам. Изд.2-е/ Под ред. Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова, Б.М. Тареева- М. – Л.: Энергия, т.II, 1974-615 с.
- [7] Беляев Н.М. Сопротивление материалов. Учебник - М.: Наука, 1986-656 с.
- [8] Шагалов С.Б., Нанушьян С.Р., Черничкина А.С., Петрашко А.И., Андриянов К.А. Связующее для изоляции обмоток электротехнических устройств А.С. 410469, 05.1.1974.
- [9] Жабко Г.П., Гончаров М.Ф., Петров В.В., Ваксер Б.Д., Котов С.А.Способ контроля качества изоляции секций обмоток электрических машин. А.С. 363054 от 20.12.1972.
- [10] Меньших Ф.И. Способ контроля сопротивления прочности изоляции электрических цепей. А.С. № 146879 от 20.07.1961.
- [11] Биттибаев С.М., Калиева К.Ж. Расчетные методы оценки старения изоляции обмоток тяговых машин. - Матер. Междун. научн.-практ. конф. «Валихановские чтения-8» - Кокшетау, КГУ, 2003, С.172-174.
- [12] Сахновский Н.Л., Сахновский А.Н. Способ испытания витков изоляции якорей электрических машин. А.С. 134708 от 07.09.1965.

RESEARCH OF PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF ISOLATION OF TRACTION CARS AT VARIOUS INFLUENCES

Kaliyeva K.Zh., Chnybayeva D.M.

Almaty University of power engineering and telecommunications

Abstract. Determination of humidity of electroinsulating materials is very important for specification of conditions under which test of electric properties of this material is made. Besides, for much hygroscopic materials which acceptance and delivery happens on weight determination of humidity is very important for strict accounting of amount of material.

Data on fragility, hardness and impact strength of the electroinsulating materials playing an essential role at long operational influences are provided.

It is shown that with other things being equal, the speed of thermal depreciation of organic and elementoorganic polymers considerably increases with temperature increase, submitting to the general regularities of temperature change of speed of chemical reactions.

Keywords. traction car, electroinsulating material, mechanical loading, fibrous material, durability, henius's theory - Airinga).

REFERENCES

- [1] Mayofis I.M. Chemistry of dielectrics. M.: "Higher school", 1970, 320 p.
- [2] New electroinsulating materials for traction engines. Avenue of CJSC Elektroizolit (Khotkovo Moscow Region), the 2001-5th.
- [3] Bogoroditsky N.P., Pasyukov V. V., Tareev B.M. Electrotechnical materials. Publication 6, Processed - L.: Energy, 1977-352 p.
- [4] Bittibayev S.M., Kaliyeva K.Zh. To the question of calculation of critical parameters of stratification of three-layer designs. - Higher education institution. Collection of scientific papers. "Project., construction and exploitation of the transp. – communic.. coor." - Almaty, KAZATC, 2003, 71-73p.
- [5] Reference book on electrotechnical materials. Publication.2/Under the editorship of Yu.V. Koritsky, V.V. Pasyukov, B.M. Tareeva-M. – L.: Energy, t. I, 1974-583 pages.
- [6] Reference book on electrotechnical materials. Publication 2/Under the editorship of Yu.V. Koritsky, V.V. Pasyukov, B.M. Tareeva-M. – L.: Energy, t. II, 1974-615 p.
- [7] Belyaev N.M. Resistance of materials. The textbook - M.: Science, 1986-656 p.
- [8] Shagalov S.B., Nanushyan S. R., Chernichkina A.C., Petrashko A.I., Andriyanov K.A. Svyazuyushchey. Isolation of windings of electrotechnical devices of AC. 410469, 1/5/1974.
- [9] Zhabko G.P., Goncharov M.F., Petrov V.V., Vakser B.D., Kotov S.A. Ways of quality control of isolation sections of windings for electrical machines. AC. 363054 from 12/20/1972.
- [10] Menshik F.I. Ways of controlling isolation resistance and strength in electrical chains. A.C. No. 146879 from 7/20/1961.
- [11] Bittibayev S.M., Kaliyeva K.Zh. Calculation methods of depreciation assessment of windings isolation in traction cars. - Mater. International scientific conference "Valikhanov readings-8" - Kokshetau, KGU, 2003, 172-174 p.
- [12] Sakhnovsky N.L., Sakhnovsky A.N. Methods of winding testing of anchors isolation in electrical machines. AC 134708 from 9/7/1965.

ТАРТЫМ МАШИНАЛАРЫНЫҢ ОҚШАУЫНЫҢ ФИЗИКА-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Калиева К.Ж., Чныбаева Д.М.

Алматы энергетика және байланыс университеті

Андатпа. Берілген материалдардың электрлік қасиеттерін сынау жүргізгенде, өте маңызды шарттарды нақтылау үшін электроқшауланған материалдардың ылғалдылығын анықтау қажет. Материалдардың сандарын есепке алу үшін өте маңызды ылғалдылықты анықтау, салмақтың әсерінен болатын қабылдау мен тапсыру, сонымен қатар, гидроскопты материалдар белгілі болмақ.

Тұтқырлы электроқшауланған материалдарды ұзақ мерзімде пайдалануда нәзіктік, беріктік және соғылу әсерлері деректерінің нақты рөл атқаратыны келтірілген. Органикалық және органикалықэлемент полимерлерінің жылулық тозу жылдамдығы берік бірінғай шарттарда тозу температурасы ұлғайған сайын, химиялық реакциялар жылдамдығының жалпы температуралық өзгеру заңдылықтарына (Аррениус - Эйренг теориясы) тәуелділігі көрсетілген.

Түйін сөздер. Тартым машина, электр оқшауланған материал, механикалық жүктеме, талшық материал, беріктік.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] Майофис И.М. Химия диэлектриков. М.: «Высшая школа», 1970, 320с.
- [2] Новые электроизоляционные материалы для тяговых двигателей. Проспект ЗАО «Электроизолит» (г. Хотьково Московской обл.), 2001-5с.
- [3] Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. Изд.шестое, Переработанное -Л.: Энергия, 1977-352 с.
- [4] Биттибаев С.М., Калиева К.Ж. К вопросу расчета критических параметров расслоения трехслойных конструкций. - Межвуз. сб. научн. тр. «Проект., строительство и эксплуатация трансп.-коммуник. соор.» - Алматы, КазАТК, 2003, С.71-73.
- [5] Справочник по электротехническим материалам. Изд.2-е/ Под ред. Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова, Б.М. Тареева- М. – Л.: Энергия, т.І, 1974-583 с.
- [6] Справочник по электротехническим материалам. Изд.2-е/ Под ред. Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова, Б.М. Тареева- М. – Л.: Энергия, т.ІІ, 1974-615 с.
- [7] Беляев Н.М. Сопротивление материалов. Учебник - М.: Наука, 1986-656 с.
- [8] Шагалов С.Б., Нанушьян С.Р., Черничкина А.С., Петрашко А.И., Андриянов К.А. Связующее для изоляции обмоток электротехнических устройств А.С. 410469, 05.1.1974.
- [9] Жабко Г.П., Гончаров М.Ф., Петров В.В., Ваксер Б.Д., Котов С.А. Способ контроля качества изоляции секций обмоток электрических машин. А.С. 363054 от 20.12.1972.
- [10] Меньших Ф.И. Способ контроля сопротивления и прочности изоляции электрических цепей. А.С. № 146879 от 20.07.1961.
- [11] Биттибаев С.М., Калиева К.Ж. Расчетные методы оценки старения изоляции обмоток тяговых машин. - Матер. Междун. научн.-практ. конф. «Валихановские чтения-8» - Кокшетау, КГУ, 2003, С.172-174.
- [12] Сахновский Н.Л., Сахновский А.Н. Способ испытания витков изоляции якорей электрических машин. А.С. 134708 от 07.09.1965.

МРНТИ 44.29.29

В.И.Дмитриченко¹, И.В.Казанина¹, О.П.Живаева¹, К.К.Кульгильдинов¹

¹Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Казахстан

ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6-10 кВ НА ОСНОВЕ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ С Пониженным УРОВНЕМ СРАБАТЫВАНИЯ

Аннотация. В статье показана возможность повышения надежности электроснабжения и защиты электрических сетей и оборудования за счет устранения «зоны замирания» ОПН при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ), возможность резистивного ограничения сверхтоков через измерительные ТН без отключения присоединений потребителей на допускаемую длительность ОЗЗ.

Ключевые слова: однофазные замыкания на землю, перенапряжение, измерительные трансформаторы напряжения, ограничители перенапряжения.

Развитие и расширение распределительных электросетей, использование более сложных схемных решений и современного электрооборудования сопровождаются увеличением нагрузок, усложнением условий эксплуатации и неизбежным в таких случаях ростом аварийности в электросетях, диктующим принимать дополнительные меры по повышению надежности электроснабжения.

Как показывает статистика, около 80% повреждений в этих сетях происходят от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ), которые в свою очередь инициируются в 80% случаев возникающими перенапряжениями (ПН). Наиболее повреждаемыми при этом являются кабельные линии (КЛ), а также измерительные трансформаторы напряжения (ИТН). В КЛ с бумажно-пропитанной изоляцией (КЛ-БПИ) ухудшение электроизоляционных характеристик происходит из-за длительных сроков эксплуатации и старения изоляции. Современные КЛ с изоляцией из сшитого полиэтилена (КЛ-СПЭ), как показывает практика, оказались очень уязвимыми к возникающим перенапряжениям и условиям эксплуатации, характерным для электросетей в странах СНГ. Например, в работе [1] показано, что в действующих электросетях около 14% КЛ-СПЭ подлежат немедленному ремонту, 10% - ремонту в течение одного года, 23% работоспособны, но имеют значительные повреждения и должны быть включены в планы проведения ремонта и замены. В работе [2] приведены данные о том, что повреждаемость ТН составляет 7-10% из всех установленных, а средний срок службы не превышает 3-5 лет. Все это делает актуальной проблему определения причин повреждения КЛ и ТН и разработки мер по их защите в наиболее распространенных распределительных электросетях 6-10 кВ.

С целью повышения эффективности защиты от ПН нами предложено устройство, в котором используются дополнительные ограничители перенапряжений с пониженным уровнем срабатывания (ОПН-ПУ) совместно с РС-цепью и увеличено сопротивление заземляющего резистора в заземляющем проводнике первичной обмотки ИТН. Электрическая схема устройства представлена на рисунке 1.

Задача – создание устройства безынерционного, глубокого ограничения перенапряжений в электросетях, обеспечивающего надежную и безопасную работу электрооборудования и высокую эффективность электроснабжения.

Технический результат – надежность и безопасность работы электрооборудования за счет устранения «зоны замирания» ОПН, а также резистивного ограничения сверхтоков через ИТН без отключения присоединений потребителей на допускаемую длительность ОЗЗ, возможность определения и обеспечения оптимальных условий эксплуатации

электрооборудования на основании регистрации параметров электросети с момента возникновения и ограничения возникающих перенапряжений и, как следствие, высокая эффективность электроснабжения.

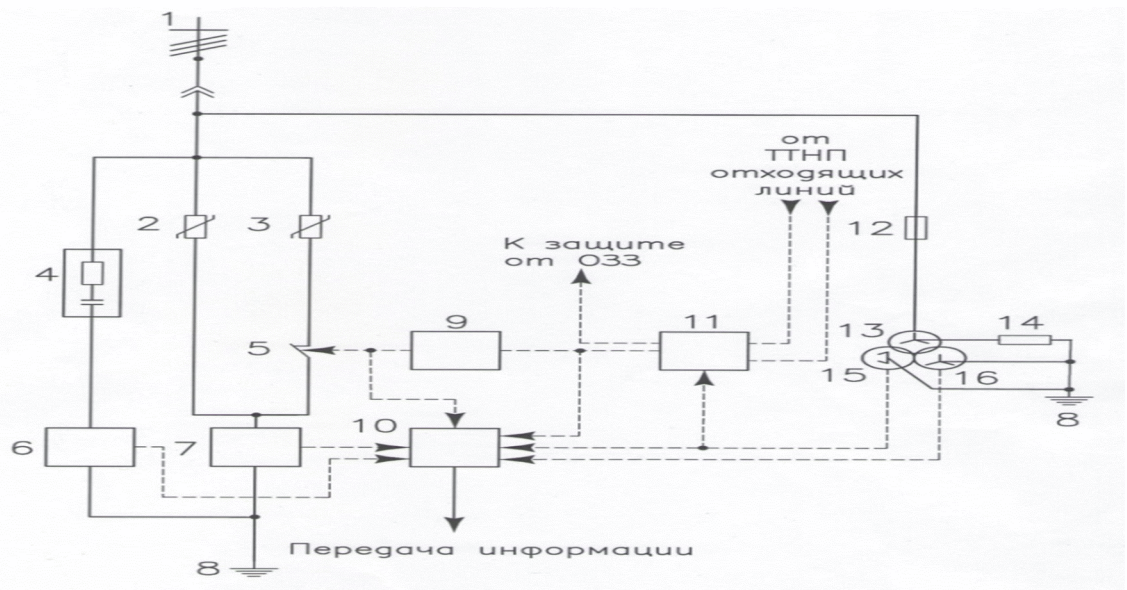


Рисунок 1 – Электрическая схема устройства безынерционного, глубокого ограничения перенапряжений

На рисунке 1 показана электрическая схема предлагаемого устройства безынерционного, глубокого ограничения перенапряжений в электросетях, где:

- 1 – электросеть;
- 2 – ограничитель перенапряжений нелинейный (ОПН);
- 3 – ограничитель перенапряжений с пониженным уровнем защиты от перенапряжений (ОПН-ПУ);
- 4 – RC-гасители;
- 5 – контакты контактора;
- 6 – датчики срабатывания RC- гасителей;
- 7 – датчики срабатывания ОПН и ОПН-ПУ;
- 8 – земля;
- 9 – блок задержки;
- 10 – регистратор сигналов;
- 11 – блок релейной защиты;
- 12 – защитные предохранители измерительных трансформаторов напряжения (ИТН);
- 13 – ИТН;
- 14 – резистор;
- 15 – вторичная обмотка ИТН, соединенная в «разомкнутый треугольник»;
- 16 – вторичная обмотка ИТН, соединённая в «звезду».

Согласно этой схеме параллельно основным ОПН-10 кВ подключена цепочка ОПН-ПУ - выключатель (т.е. ОПН-6 кВ подключен через постоянно замкнутый контакт высоковольтного контактора). При возникновении ОЗЗ и последующего перенапряжения в сети ограничение происходит через ОПН-6 кВ, имеющего величину срабатывания в районе 14-15 кВ, что значительно меньше напряжения необходимого для срабатывания ОПН-10 кВ. Однако ОПН-6 кВ не способен долгое время оставаться в работе для сети 10

кВ, так как возможен его перегрев и выход из строя. Таким образом, через некоторое время после начала ОЗЗ ОПН-6 кВ необходимо вывести из работы.

Возможность нормального функционирования при параллельном соединении ОПН-10 кВ и ОПН-6 кВ соответствует теоретическим данным, а также проверена экспериментально и взаимного влияния на напряжение срабатывания не обнаружено (рисунок 2).

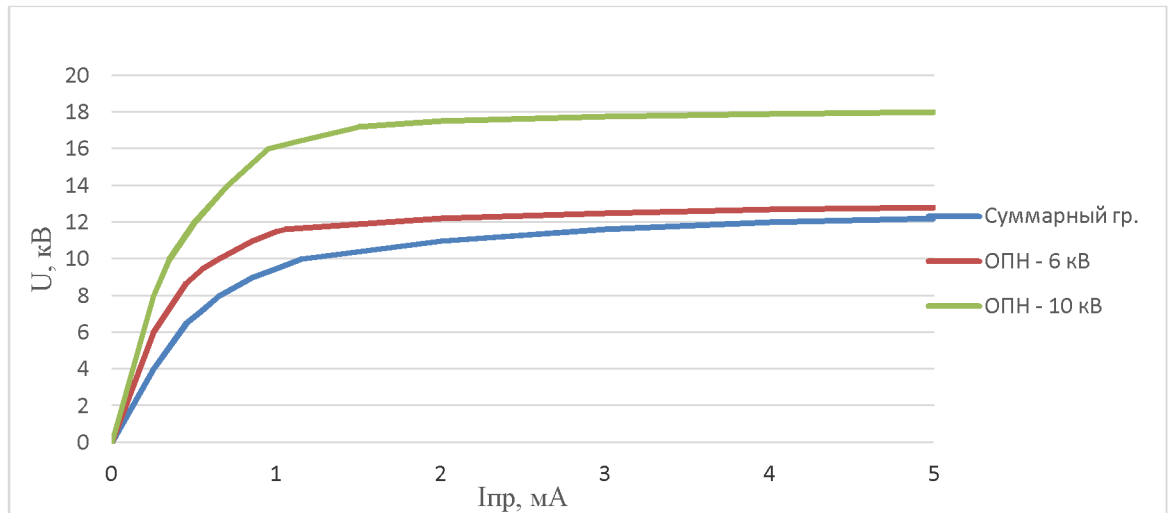


Рисунок 2 – Вольт-амперная характеристика срабатывания ОПН

В соответствии с вольт-амперной характеристикой видно, что в нормальном режиме ОПН-ПУ не срабатывает, а при ОЗЗ и возникающих перенапряжениях ограничивает их до 14-15 кВ, вместо традиционных 25-26 кВ. Но для исключения перегрева ОПН-ПУ при ОЗЗ его необходимо отключать в течении 2 секунд с момента возникновения ОЗЗ, что выполняется сигналом от релейной защиты.

В предлагаемом устройстве достигается возможность безынерционного, глубокого ограничения перенапряжений в электросетях тем, что дополнительно введены RC-гасители, ограничивающие перенапряжения с момента их возникновения, компенсируя тем самым «зону замирания» ОПН и ОПН- ПУ длительностью 0,03-0,04 секунд.

В нормальном режиме работы электросети 1 без ОЗЗ контакты контактора 5 замкнуты, ОПН 2 находятся под пониженным для них напряжением, а ОПН-ПУ 3 находятся под номинальным напряжением относительно земли 8, RC- гасители 4 и датчики срабатывания 6 RC- гасителей включены параллельно защитным цепочкам ОПН 2 и ОПН-ПУ 3 с датчиками 7 и находятся в готовности ограничения перенапряжения с момента начала возникновения перенапряжения. Во вторичной обмотке 15 ИТН 13 напряжение отсутствует, а блок релейной защиты 11 и блок задержки 9 находятся в исходном состоянии. Вторичная обмотка 16 выдает напряжения, характеризующие фазные (относительно земли 8) и межфазные напряжения электросети 1 в нормальном режиме. При этом ОПН-ПУ 3 обеспечивают готовность ограничения возможных перенапряжений в пределах минимальных уровней защиты и не подвергаются перегреву токами сопровождения через них. Регистратор сигналов 10 регистрирует параметры электросети 1 от обмоток 15 и 16 ИТН 13, а также состояние блока релейной защиты 11 и блока задержки 9 в нормальном режиме. Предохранители 12 защищают ИТН от сверхтоков, возникающих при перенапряжениях.

При возникновении ОЗЗ в электросети 1 происходит увеличение напряжения на двух неповрежденных фазах относительно «земли» до 1,73 и более раз за счет квазистационарных и коммутационных перенапряжений, высшие гармоники в составе

которых ограничиваются РС - гасителями (замыкаются через них), а датчики 6 срабатывания РС - гасителей 4 воспринимают этот процесс и передают сигнал в регистратор 10. Во вторичной обмотке 15, соединенной в «разомкнутый треугольник», появляется напряжение, которое является сигналом для блока релейной защиты 11 произвести размыкание контактов контактора 5 с установленной выдержкой времени блоком задержки 9. Также в момент возникновения ОЗЗ ОПН-ПУ 3, подключенные к электросети 1 и соединенные с землей 8 контактами контактора 5, ограничивают значения перенапряжений на электрооборудовании на минимальных уровнях защиты в течение установленной блоком задержки 9 выдержки времени с момента появления ОЗЗ и сигнала от вторичной обмотки 15. Кроме того, посредством резистора 14 происходит ограничение сверхтоков через ИТН 13, не допуская повреждений ИТН и перегорания предохранителей 12. При этом параллельно с процессами функционирования устройства и ограничения перенапряжений происходит регистрация сигналов постоянно включенным регистратором 10 от датчиков 6 и 7, от вторичных обмоток 15 и 16 ИТН 13, от блока релейной защиты 11 и блока задержки 9. По окончании выдержки времени контакты контактора 5 выключаются, отключая ОПН-ПУ 3 от электросети 1. В редких случаях продолжения ОЗЗ дальнейшее ограничение перенапряжений осуществляется РС- гасителями и ОПН 2.

После исчезновения ОЗЗ и вызванных им перенапряжений напряжение во вторичной обмотке 15 ИТН 13 исчезает и устройство автоматически принимает исходное состояние.

Стоит отметить, что достоинством приведенной схемы является то, что она имеет электронный регистратор срабатывания. Таким образом, после отработки схемы эксплуатационный персонал может точно определить источники и причины возникновения перенапряжений (атмосферных, от ОЗЗ, коммутационных в ЭО).

Такое использование защиты от перенапряжений очень эффективно в начальный момент ОЗЗ, когда другие меры не действуют, такие как дуго-гасительные реакторы, основные ограничители перенапряжения, релейная защита и др. Таким образом, мы получаем безынерционную защиту, срабатывающую в первые, наиболее тяжелые для сети, моменты возникновения ОЗЗ.

Внедрение данного устройства в распределительную сеть позволит избежать несвоевременного старения изоляции кабельных линий СПЭ, вызванного частыми перенапряжениями, а также позволит защитить наиболее уязвимые элементы сети: кабельные линии БПИ с устаревающей изоляцией и ИТН.

В настоящее время ведутся работы над практическим применением устройства в распределительных сетях города Алматы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Сарин Л.И., Васильева А.Ю., Усикова Е.М. Динамично развивающееся в электроэнергетике предприятие ООО «Болид» // Энергетик, 2016, № 9.

[2] Соенко Ю.Л. Влияние характера горения дуги на повреждаемость трансформаторов напряжения контроля изоляции / Ю. Л. Соенко, А. С. Попов // Вестник Приазовского Государственного Университета – Мариуполь, 2011. – Вып. 21. – с. 101-106.

[3] Борисов В. Н., Халилов Ф. Х. Защита от перенапряжений в электрических сетях 6-35 кВ. – Алма-Ата: Кайнар, 1991.

[4] Классификация и характеристики внутренних перенапряжений сетей 6-35 кВ. Территория электротехнической информации WEBSOR // Режим доступа: <http://www.websor.ru>, свободный.

[5] Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений РД 153-34. 3-35. 125-99. Часть 2. Разделы 5.4, 5.5, 5.6.

[6] Дмитриченко В.И., Башкиров М.В., Нигматуллин Р.М., Абугалиев Р.Р., Ахметкалиев С.К., Бурбаев Т.Д., Кульгильдинов К.К. Устройство безынерционного, глубокого ограничения перенапряжений в электросетях. Патент РК №3026 на полезную модель, бюлл. №30, 2018.

REFERENCES

- [1] Sarin L.I., Vasilyeva A.Yu., Usikova E.M. Dynamically developing LLC "Bolid" enterprise in the field of electrical engineering // Energetik, 2016, No. 9.
- [2] Soenko Yu.L. Influence of arc burning character on damper ability of insulation voltage transformers / Yu. L. Soenko, AS Popov // Bulletin of Priazovsky State University - Mariupol, 2011. - Issue. 21. - p. 101-106.
- [3] Borisov V.N., Khalilov F.Kh. Protection from overvoltages in electrical networks 6-35 kV. - Alma-Ata: Kainar, 1991.
- [4] Classification and characteristics of internal overvoltages of 6-35 kV networks. Territory of electro technical information WEBSOR // Access mode: <http://www.websor.ru>
- [5] Guidelines for the protection of electrical networks 6-1150 kV from lightning and internal overvoltages RD 153-34. 3-35. 125-99. Part 2. Sections 5.4, 5.5, 5.6.
- [6] Dmitrichenko V.I., Bashkirov M.V., Nigmatullin R.M., Abugaliev R.R., Akhmetkaliev S.K., Burbaev T.D., Kulgildinov K.K. Device of non-inertial, deep overvoltage restriction in electric networks. Patent of the Republic of Kazakhstan №3026 for utility model, bul. No. 30, 2018.

В.И. Дмитриченко¹, И.В. Казанина¹, О.П. Живаева¹, К.К. Кульгильдинов¹
¹Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан

6-10 кВ ЭЛЕКТРЛІК ЖЕЛІЛЕРДЕ ӨНДІРІЛГЕН ВАЛДАРЛЫҚ ШЕКТЕУЛЕРДІ НЕГІЗДЕЛГЕН ЭЛЕКТРЛІК ДЕҢГЕЙІНІҢ НЕГІЗГІ ТОҚТАТЫЛЫҒЫ

Андатпа. Мақалада электрмен жабдықтау сенімділігін арттыру және электр желілері мен жабдықтарын қорғау мүмкіндігі көрсетілген, электрқондырғылар ОЗЗ кезінде "майдалау аймағын" жою есебінен электрмен жабдықтау және электр желілері мен жабдықтарды қорғау сенімділігін арттыру мүмкіндігі көрсетілген. ОЗЗ кезінде өлшеуіш ТН арқылы аса ағымдарды рұқсат етілген ұзақтығына тұтынушылардың қосылуын ажыратпай-ақ резистивті шектеу мүмкіндігі көрсетілген.

Кілттік сөздер: бір фазалық жерге тұйықталу, асқын кернеу, өлшеу кернеуінің трансформаторлары, асқын кернеу шектегіштері.

V.I. Dmitrichenko¹, I.V. Kazanina¹, O.P. Zhivayeva¹, K.K. Kulgildinov¹
¹Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan

PROTECTION AGAINST OVER-TERMINALS IN 6-10 kV ELECTRIC NETWORKS BASED ON LIMITS OF OVERLAPPED VALVES WITH A REDUCED LEVEL OF EQUIPMENT

Abstract. The article dwells on the possibility of increasing the reliability of power supply and protection of electrical networks and equipment by eliminating the "fading zone" of surge arresters in single-phase earth faults (SPF), the possibility of resistive overcurrent limitation via measuring OA without disconnecting consumers' connections for the allowed duration of the SPF.

Key words: single-phase earth faults, overvoltage, measuring voltage transformers, overvoltage limiters.

МРНТИ44; 44.29.29; 44.29.33.

К.Ж.Калиева, М.Б.Жаркымбекова

Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Казахстан

РАСЧЕТ ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ УСИЛИЙ ДВУХСЛОЙНЫХ КОМПАУНДОВ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Аннотация. Приведены зависимости изменения коэффициентов после проникновения вершины ортогональной трещины из одного упругого материала в другой, когда по мере удаления вершины от границы раздела значения этих коэффициентов начинают постепенно возрастать ($\kappa > 1$) или убывать ($\kappa < 1$), стремясь в обоих случаях к единице.

Приведены модельные представления по оценке разрушающих нагрузок на границе раздела композита при распространении трещины, которые подтверждаются результатами неразрушающегося дефектоскопического контроля изоляции тяговых двигателей, приведенных в работе и по данным прогнозирования сроков службы композиционного полимерного материала.

Ключевые слова: компаундный материал, прочность волокна, трещиностойкость, граница раздела, разрушающая нагрузка.

Одной из основных проблем при разработке новых компаундных материалов (КМ), процессов их получения и оценке их работоспособности является проблема совместимости компонентов. Особенно это относится к материалам с металлическими матрицами, упрочненными, так как их компоненты существенно различаются по физико-химическим и физико-механическим свойствам. Проблема совместимости имеет два центральных аспекта:

1) физико-химический - обеспечение требуемой связи и предупреждение недопустимого развития на границе фаз процессов растворения, гетеро - и реакционной диффузии, которые могут привести к деградации волокон или к образованию на границе их раздела с матрицей хрупких фаз, снижающих работоспособность КМ;

2) термомеханический - формирование благоприятного распределения внутренних напряжений термического и механического происхождения и снижение их уровня, рационального соотношения между деформационным упрочнением матрицы и способностью ее к релаксации напряжений; ограничение неравномерного развития микропластической деформации матрицы при относительно низких приложенных напряжениях, приводящих к одновременному нагружению волокон в объеме КМ, локальной перегрузки отдельных волокон и преждевременному их разрушению.

В соответствии с кинетикой физико-химического взаимодействия на границе раздела волокно-матрица, с точки зрения морфологии, образующаяся при этом новая, чаще всего хрупкая фаза может быть островковой, либо сплошной. Островки новой фазы являются концентраторами напряжений на поверхности волокна, ослабляющими волокна. Из-за отсутствия систематизированных экспериментальных данных, а также достаточно четкой концепции, в настоящее время преждевременно анализировать влияние формы и размеров на прочность армирующих волокон.

В отличие от островков влияние сплошной прослойки новой фазы на прочность волокон, а, следовательно, и компаунда, связано с образованием поперечных трещин в ней. Это было установлено на довольно большом круге компаундных материалов.

Поскольку причиной преждевременного разрушения волокон с хрупкими межфазными прослойками являются образовавшиеся в них ортогональные к оси волокна трещины, то представляется важным изучить влияние такого рода дефектов на прочность системы, обратив при этом особое внимание на роль механической неоднородности

компаунда. На практике для оценки хрупкой прочности материалов привлекают методы линейной механики разрушения, согласно которым момент катастрофического развития процесса определяется по критическому значению какого-либо из параметров напряженности материала в вершине трещины. Наиболее часто используют коэффициент интенсивности напряжений K_I . Теоретический анализ напряженного состояния двухкомпонентной компаунда с трещиной, перпендикулярной плоской поверхности раздела материалов, показал, что уровень напряжений в сингулярной зоне у вершины трещины на границе раздела связан с соотношением параметров жесткости соседних компонентов системы, а значения K_I и, следовательно, склонность компаунда к хрупкому разрушению в зависимости от сочетания механических свойств материалов либо заметно возрастают, либо, наоборот, снижаются. Важность этих работ в том, что в них доказана принципиальная возможность целенаправленного повышения трещиностойкости компаундов путем соответствующего подбора материалов компонентов. Однако применение чрезвычайно сложного математического аппарата, приводящего к весьма громоздким, записанным в неявном виде конечным выражениям, практически не позволяет использовать эти решения в инженерной практике.

Сущность метода применительно к задачам о трещинах состоит в следующем: при составлении уравнений равновесия усилий, действующих по сечению, проведенному через вершины трещины, полагают, что влияние усилия, не передающегося через трещину, компенсируется усилием от концентрации напряжений в ее вершинах. При этом, рассматривая задачу о трещине, содержащейся в однородной упругой среде, допускают, что напряжения отрыва на всем протяжении зоны концентрации меняются по известной в линейной механике разрушения асимптотической зависимости. Для ортогональной трещины вид указанной асимптотики начинает постепенно меняться с уменьшением расстояния между трещиной и границей раздела. Получены различные аналитические выражения этой зависимости, но использование их в методе сечений сильно усложняет проводимые расчеты, не позволяя получить практически удобные формулы для вычисления K_I . Поэтому в данном случае принят условный характер распределения $\sigma_{yy}(r, \theta)$ при $\theta=0$, согласно которому эти напряжения, меняясь в соответствии с асимптотической зависимостью, найденной для трещины в однородной упругой среде, претерпевают скачкообразный разрыв на величину $k = E_2/E_1$ в момент перехода границы раздела. Здесь E_1 и E_2 - модули Юнга материалов контактируемых упругих сред.

Связь по границе раздела компонентов идеальная, т.е. отсутствуют отслоения и проскальзывание, вследствие чего:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \varepsilon_2 = \varepsilon_c; (1) \\ \text{или } \sigma_1/E_1 &= \sigma_2/2; (2) \end{aligned}$$

На примере плоской модели рассмотрим задачу о растяжении составной бесконечной пластины на величину деформации ε_c вдоль линии контакта двух разномодульных материалов. В одной из половин пластины расположена ортогональная трещина. Длина трещины $2l$, а расстояние от границы раздела до ближайшей из вершин равно a .

Проведем вдоль плоскости трещины сечение, мысленно отделив верхнюю половину составной пластины, и заменим действие отброшенной части тела системой статически эквивалентных сил (рис.1). Переходя к составлению уравнений равновесия внутренних и внешних сил, приравняем, согласно упомянутой методике расчета, усилие, не передающееся через трещину, усилиям от концентрации напряжений у ее вершин.

Поскольку в этой задаче значения коэффициентов интенсивности напряжений для левой K_I^L и правой K_I^R вершин трещины, вероятнее всего, не будут равны между собой,

следует записать систему из двух уравнений равновесия, приложенных к оставшейся части тела усилий: уравнения равновесия равнодействующих сил и уравнения равновесия моментов этих сил относительно середины трещины (точка 0)¹:

$$\begin{aligned} P_0 - P_1 - P_2 &= 0; \\ M_1 - M_2 &= 0. \end{aligned}$$

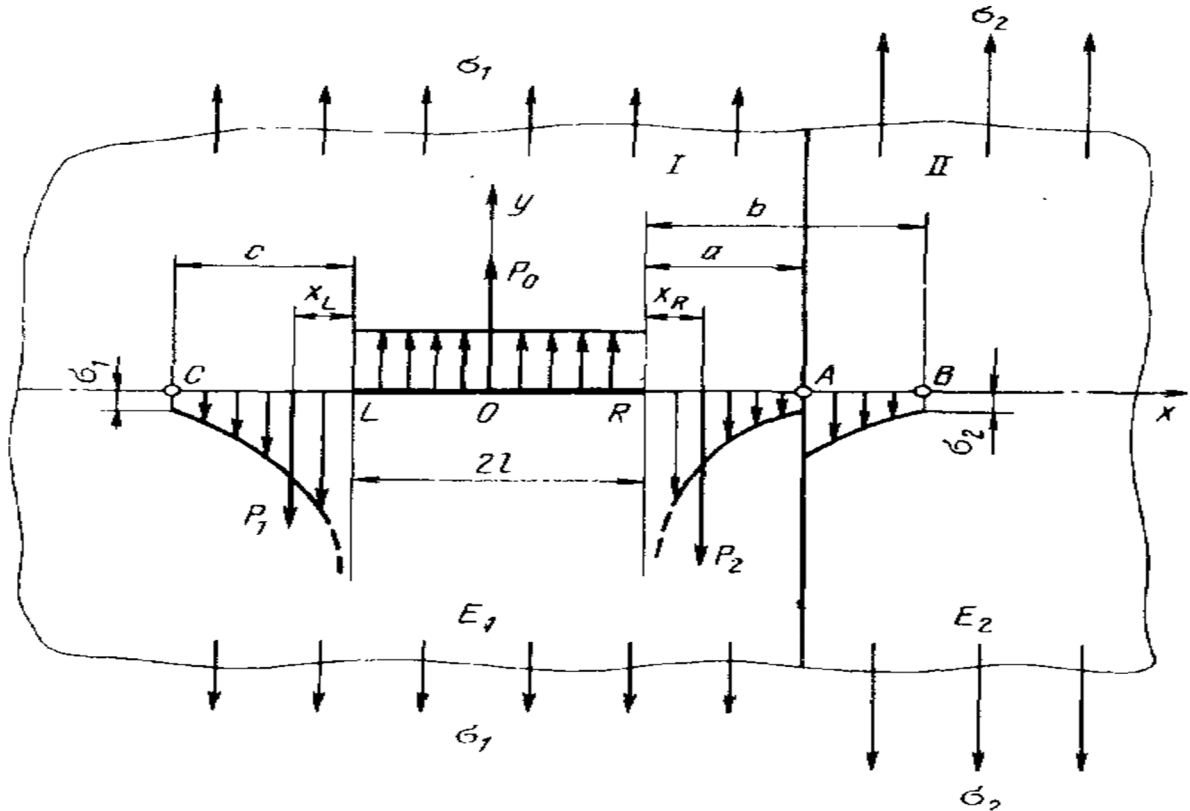


Рисунок 1- Схема условного распределения взаимно уравнивающих усилий для двухкомпонентной системы с ортогональной трещиной, не пересекающей границы раздела

Более подробно в прямоугольной системе координат можно записать:

$$\begin{aligned} 2l\sigma_1 - \int_{-l}^{-l+c} \sigma_{yy}^L(x;\theta) dx - \int_l^{l+b} \sigma_{yy}^R(x;\theta) dx &= 0; \theta = 0; \\ (x_L + l) \int_{-l}^{-l+c} \sigma_{yy}^L(x;\theta) dx - (x_R + l) \int_l^{l+b} \sigma_{yy}^R(x;\theta) dx &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

где $\sigma_{yy}^L(x;\theta)$ и $\sigma_{yy}^R(x;\theta)$ - текущие значения главных напряжений разрыва в вершинах трещины с левой и правой сторон соответственно; x_L и x_R — расстояния от вершин до проекции геометрических центров тяжести эпюр главных напряжений отрыва на линию продолжения трещины. Значения этих величин определяем по формуле:

$$x_i = \iint_{\Omega_i} |x - l| dx d\sigma_{yy}^i(x;\theta) / \Omega_i; \theta = 0; i = L, R, \quad (4)$$

где Ω_i - площадь под эпюрой напряжений отрыва. В рассматриваемом случае:

$$x_L = c/3; x_R = 1/3 \left\{ \left[a^{3/2}(1-k) + kb^{3/2} \right] / \left[a^{1/2} + k(b^{1/2} - a^{1/2}) \right] \right\} \quad (5)$$

Опираясь на гипотезу скачкообразного изменения раскалывающих напряжений, систему (3) можно записать в виде:

$$2\sigma_1 l - \int_{-l}^{-(l+c)} \frac{K_I^L dx}{(2\pi|x-l|)^{1/2}} - \int_l^{l+a} \frac{K_I^R dx}{(2\pi|x-l|)^{1/2}} - \int_{l+a}^{l+b} \frac{kK_I^R dx}{(2\pi|x-l|)^{1/2}} = 0;$$

$$(x_L + l) \int_{-l}^{-(l+c)} \frac{K_I^L dx}{(2\pi|x-l|)^{1/2}} - (x_R + l) \left\{ \int_l^{l+a} \frac{K_I^R dx}{(2\pi|x-l|)^{1/2}} + \int_{l+a}^{l+b} \frac{kK_I^R dx}{(2\pi|x-l|)^{1/2}} \right\} = 0. \quad (6)$$

Пределы интегрирования b и c представляют собой протяженность зон, в которых локальные напряжения превышают номинальные и определяются из условий:

$$\sigma_{yy}^L(c;0) = K_I^L / (2\pi c)^{1/2} = \sigma_1; \sigma_{yy}^R(b;0) = kK_I^R / (2\pi b)^{1/2} = \sigma_2. \quad (7)$$

Для упрощения дальнейших математических преобразований и получения более рациональных конечных выражений представим размеры зон повышения напряжений, а также расстояния от вершины до границы раздела в долях полудлины трещины:

$$c = ml; \quad b = nl; \quad a = knl, \quad (8)$$

где $0 < k \leq 1$; $m = f_1(k; k)$; $n = f_2$.

После подстановки выражений (5) и (8) в уравнения систем (6) и (7) с учетом зависимостей (1) и (2) в результате интегрирования и последующих преобразований находим:

$$K_I^L = \sigma_1 (\pi l)^{1/2} \sqrt{2 \left[(3B_k^2 + A_k) - 2B_k (3B_k^2 + A_k)^{1/2} \right] / (A_k - B_k^2)}; \quad (9)$$

$$K_I^R = \sigma_1 (\pi l)^{1/2} \sqrt{[2B_k - (3B_k^2 + A_k)]^{1/2} / (B_k^2 - A_k)}, \quad (10)$$

где $A_k = k + k^{3/2}(1-k)$; $B_k = k + k^{1/2}(1-k)$.

Анализ этих выражений показывает, что когда вершина трещины находится на достаточном удалении от границы раздела, т.е. $k = 1 (a = nl \rightarrow b)$, $a\sigma_{yy}^R(b;0) = \sigma_1$ значения коэффициентов интенсивности напряжений для правого и левого концов трещины можно рассчитать по формуле:

$$K_I^L = K_I^R = K_I^{(1)} = \sigma_1 \sqrt{\pi l}. \quad (11)$$

При бесконечно малом расстоянии между правой вершиной трещины и границей раздела $k \rightarrow 0$; $a = knl \rightarrow 0$ выражения (9) и (10) приобретают следующий вид:

$$K_{I(k \rightarrow 0)}^L = K_I^{(1)} \sqrt{2 \left\{ (3k+1) - 2[k(3k+1)]^{1/2} \right\} / (1-k)}; \quad (12)$$

$$K_{I(k \rightarrow 0)}^R = K_I^{(1)} \sqrt{4 \left\{ 2k - [k(3k+1)]^{1/2} \right\} / k(k-1)}. \quad (13)$$

Представим для удобства конечные выражения (12) и (13), в виде одного:

$$K_I^j = K_{IJ} \lambda_j;$$

где $i = 1,2,3$; $j = L, R$; $K_I = \sigma_1 \sqrt{\pi l}$ коэффициент интенсивности напряжений в вершине трещины, расположенной в гомогенном материале, у которого механические свойства и уровень напряженного состояния совпадают с механическими

характеристиками и растягивающим напряжением в j –том компоненте; λ - коэффициент, отражающий влияние гетерогенности компонентов на величину K_I в вершинах ортогональной трещины.

Анализируя, получим, что для двухкомпонентной композиции значения λ одновременно понижаются, когда модуль упругости среды с трещиной меньше, чем у соседнего материала, и повышаются в противном случае. При этом с увеличением различия в модулях Юнга компонентов системы эффект гетерогенности усиливается. Примечательно, что значение коэффициента λ в противоположной от границы раздела вершине трещины во всем рассматриваемом диапазоне изменения близко к единице, т.е. влияние разномодульности материалов на K_I в этой вершине оказывается весьма слабым. Данное обстоятельство позволяет при расчете значений коэффициента интенсивности напряжений в этой вершине применять формулы, выведенные для однородной среды с трещиной, и не учитывать гетерогенность системы.

Вывод. Усилия потеря работоспособности конструкции вследствие наличия расслоения может произойти:

- при разрушении или пластическом деформировании несущих слоев при действии нормальных напряжении, возрастающих от расслоений в конструкциях;
- при разрушении покрытия от напряжений сдвига, также возрастающих при наличии расслоений в конструкциях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Шоршоров М.Х., Устинов Л.М., Гукасян Л.Е. Взаимосвязь между прочностью границ раздела волокно-матрица и прочностью на разрыв композиционных материалов//Физика и химия обработки материалов,1979. №3.с.132-137.
- [2] Морозов Е.М. Метод сечения в теории трещин// Изв. Вузов. Строительство и архитектура.1968. №12.с.57-63
- [3] Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упруго-пластического разрушения. -М.: Наука, 1974.416с.

REFERENCES

- [1] Shorshorov M.H., Ustinov L.M., Ghukasyan L.E. Interrelation between strength of limits of the section fiber matrix and the tensile strength of composite materials//Physics and chemistry of processing of materials, 1979. No. 3.s.132-137.
- [2] Morozov E.M. A section method in the theory of cracks//Izv. Vuzov. Construction and architecture.1968. No. 12.s.57-63
- [3] V.Z. parton, Morozov E.M. of the mechanic of elasto-plastic destruction. - M.: Science, 1974.416 p.

**ЭЛЕКТР МАШИНАЛАРЫН ОҚШАУЛАУДЫҢ ЕКІ ҚАБАТТЫ
КОМПАУНДТЕРДІҢ ТАНГЕНЦИАЛЬДЫ КҮШІН ЕСЕПТЕУ**

Калиева К.Ж., Жаркымбекова М.Б.

Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа. бір серпімді материалдан басқа материалға қарай ортогональды жарықтар шыңдары енгеннен кейінгі кездегі өзгеру коэффициенттерінің тәуелділігі келтірілген, бөлу шекарасынан шыңдарды жою шараларында бұл коэффициенттердің мәні бірте-бірте өсуі ($k > 1$) немесе төмендеуі ($k < 1$) болады, екі жағдайда да бірге ұмтыла бастайды. Композициялық полимерлік материал қызмет ету мерзімдерін болжау мәліметтері мен жұмыста келтірілген бойынша, тарту қозғалтқыштардың оқшаулауын бөлінбейтін дефектоскопиялық бақылау нәтижелерімен расталатын жарықтарды тарату кезінде бөлу композиттің шекарасында қирату жүктемелерін бағалау бойынша модель келтірілген.

Түйін сөздер. Компаунд материалы, талшықтардың беріктігі, бөлу шекарасы, қиратушы жүктеме.

**CALCULATION OF TANGENTIAL FORCES IN ELECTRIC MACHINES INSULATION
WITH A BILAYER COMPOUND**

Kaliev K.Zh., Zharkymbekova M.B.

Almaty University of Power engineering and telecommunications, Almaty, Kazakhstan

Summary. Dependences of coefficient change that happens after penetration of an orthogonal crack from one elastic material to another are shown. In the process of removal the value of these coefficients begin to increase gradually ($k > 1$) or to decrease ($k < 1$).

The information on prediction of operational lifetime of composite polymer materials is given. The model is presented on distribution of a crack confirmed by the results of non collapsing defectoscopy control of isolation.

Keywords. compound material, fiber durability, crack resistance, border I have undressed, an ultimate load.

А.К.Мурат¹, С.Е.Соколов¹, А.Гирько¹

¹Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Республика Казахстан

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УПРАВЛЯЕМЫХ РЕАКТОРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ НА ТРЕХСТЕРЖНЕВЫХ И ЧЕТЫРЕХСТЕРЖНЕВЫХ МАГНИТОПРОВОДАХ

Аннотация. В статье приведен обзор различных видов реакторов производства стран ближнего и дальнего зарубежья. Сопоставлены конструкции магнитопроводов реакторов, позволяющие реализовать две различные схемы соединения сетевой обмотки, параллельно встречное и параллельно согласное. Описан принцип полупредельного или предельного намагничивания насыщения участков магнитной цепи (полустержней), на которых расположены обмотки реакторов. Проанализирована возможность использования трехстержневого планарного шихтованного магнитопровода для управляемого реактора мощностью 25 МВАр напряжением 110 (220) кВ на Кентаусском трансформаторном заводе.

Для уточнения параметров и разработки предложений по изготовлению опытно промышленного образца, по заданию, были изготовлены две физические модели управляемых реакторов и испытательный стенд. Предварительные расчеты и сравнительный анализ показали, что управляемый реактор на трехстержневых магнитопроводах будет легче, с меньшими габаритами и, следовательно, дешевле. В дальнейшем исследовании планируется создать адекватную математическую модель двух видов реакторов, в программном комплексе PSCAD, для подтверждения результатов сравнительного анализа реакторов, выполненных на трех и четырехстержневых магнитопроводах.

Ключевые слова: шунтирующий реактор, ферромагнитные устройства, гибкие линии, устройства FACTS.

Создание управляемых или гибких линий электропередачи, являющихся основной частью интеллектуальных сетей и систем (Smart Grid), обуславливают необходимостью применения устройств FACTS (Flexible Alternative Current Transmission Systems) и, в частности, устройств для регулирования реактивной мощности и напряжения. К таким устройствам относятся шунтирующие реакторы (ШР) и управляемые реакторы (УР).

История создания управляемых реакторов и принцип двойного симметричного намагничивания по четным гармоникам подробно описаны в статье [1]. По принципу действия плавно регулируемые реакторы для компенсации реактивной мощности можно разделить на три типа: управляемые подмагничиванием магнитопровода (УР), реакторы трансформаторного типа, управляемые путем коммутации магнитного потока (УШРТ) и управляемые переключением отпаек (аналогично РПН трансформаторов).

Первые управляемые реакторы с подмагничиванием постоянным током были внедрены на ПС «Таксимо» Западного участка электроснабжения БАМа (ПЭО «Бурятэнерго»). Их конструкция проста и максимально приближена к конструкции типовых трансформаторов и технологии трансформаторостроения (рисунок 1а) [2,3].

Реакторы в пофазном исполнении были изготовлены на базе силовых трансформаторов мощностью 6,3 кВ напряжением 35 кВ производства Чирчикского трансформаторного завода путем их реконструкции на ремонтном предприятии «Южказэнергоремонт» в г. Алма-Ата. При реконструкции были удалены обмотки со средних стержней, устройство РПН и регулировочные части обмотки ВН, на крайние стержни домотана обмотка управления, удалены ненужные вводы и в соответствии с этим изменена конструкция бака. Фазы реакторов установлены на отдельных фундаментах, сборка схемы реактора осуществлялась на месте по воздуху. В качестве источника постоянного тока были использованы стандартные преобразователи, подключенные к системе СН напряжением 0,4 кВ.

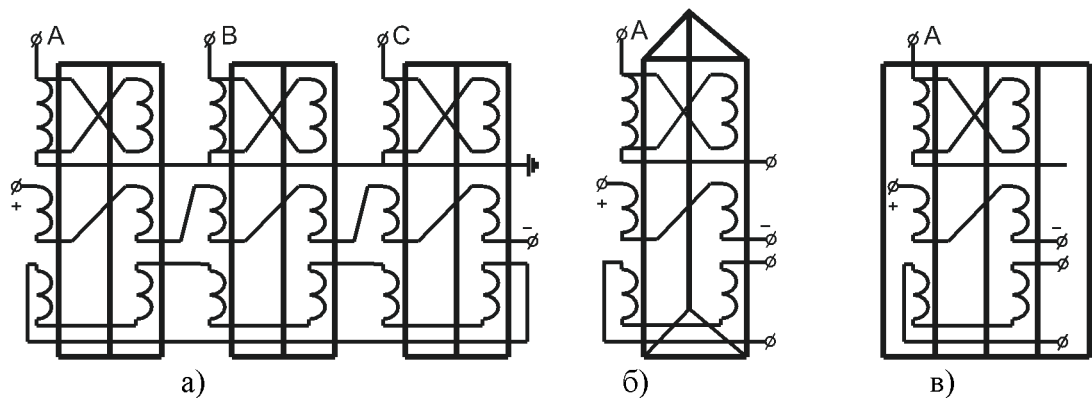


Рисунок 1 – Управляемый реактор на плоскошихтованных магнитопроводах (а) и возможные конструкции фазы трехстержневая пространственная (б) и четырехстержневая броневого типа (в)

Поскольку был использован так называемый классический способ подмагничивания, известный из теории магнитных усилителей, то технико-экономические показатели этих реакторов не были оптимальны.

Регулирование осуществлялось за счет подмагничивания всего магнитопровода путем наложения постоянного поля подмагничивания на синусоидальное переменное поле, создаваемого сетевой обмоткой, подключенной с сети напряжением 35 кВ, по естественной кривой намагничивания. При этом реактор генерировал все высшие гармоники, включая четные, а потери в магнитопроводе увеличивались пропорционально постоянной составляющей потока подмагничивания.

Для компенсации четных гармоник тока была использована схема параллельно встречного включения секций обмотки переменного тока, расположенных на крайних стержнях, гармоники кратные трем, замыкались в обмотке, соединенной в треугольник, как и во всех силовых трансформаторах.

Два этих реактора до сих пор находятся в эксплуатации и показали полную работоспособность и возможность изготовления управляемых реакторов на любые мощности и напряжения.

В последующие годы были сделаны попытки улучшения технико-экономических показателей путем применения пространственной трехстержневой и четырехстержневой, броневого, конструкции магнитопровода (рисунок 1 б, в) [4, 5], однако, они не получили развития.

Все конструкции магнитопроводов, показанные на рисунке 1, позволяют реализовать две различные схемы соединения сетевой обмотки, параллельно встречное и параллельно согласное.

В плоско шихтованном планарном магнитопроводе при встречно параллельном соединении секций сетевой обмотки, как показано на рисунке 1а, переменный магнитный поток замыкается по периметру магнитопровода, а постоянный через - средний стержень. При этом подмагничивается весь периметр магнитопровода, то есть увеличение потерь при наложении постоянного потока будет иметь место практически во всем объеме электротехнической стали, за исключением среднего стержня.

В пространственном трехстержневом магнитопроводе (рисунок 1б) переменный магнитный поток замыкается в пределах двух рабочих стержней, а постоянный - по замыкающим ярмам и третьему стержню, минуя ярма, замыкающие рабочие стержни. То есть объем подмагничиваемой стали и потери в стали становится существенно меньше.

В последние два десятилетия на рынке управляемых реакторов появились конструкции производства Запорожского трансформаторного завода, турецкой фирмы

«Besttransformer» и других производителей в пофазном и трехфазном исполнениях с использованием четырехстержневых и восьмистержневых магнитопроводов броневого типа с разделением рабочих стержней, на два полустержня (в пофазном и трехфазном исполнениях соответственно) и параллельно согласном соединением секций сетевой обмотки, расположенных на каждом из полустержней или одной сетевой обмоткой, охватывающей оба рабочих полустержня.

Для компенсации высших гармоник потребляемого тока в управляемых реакторах указанных выше производителей использовался принцип полупредельного или предельного намагничивания участков магнитной цепи (полустержней), на которых расположены обмотки.

Реализация этого принципа осуществляется путем увеличения сечения частей магнитопровода, по которым замыкается переменный магнитный поток по отношению к сечению рабочих стержней [6].

При этом кривая намагничивания электротехнической стали аппроксимируется прямой линией, поскольку предполагается регулирование в области предельного насыщения стержней, и процесс регулирования тока происходит путем перемещения синусоидальной кривой переменного магнитного потока в линейную область, как это показано на рисунке 2.

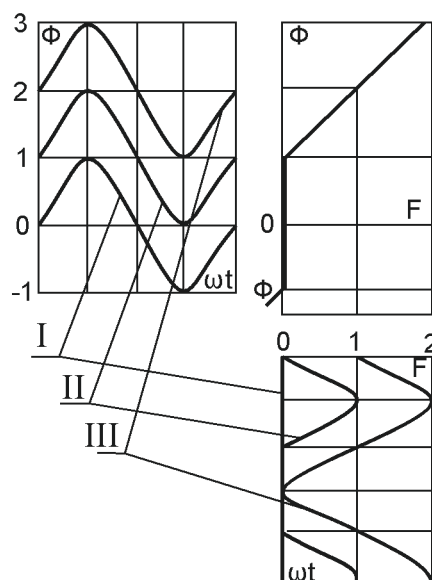


Рисунок 2 – Принцип действия управляемого реактора

В режиме, когда синусоидальный магнитный поток полностью переходит на прямую часть характеристики, за точкой перегиба, суммарное значение индукции в рабочих стержнях становится равным 2,6-2,8 Тл. При этом будет иметь место значительный поток рассеяния переменного потока, что может привести к увеличению добавочных потерь в обмотках и элементах конструкции. В реакторах мощностью 60 и более МВАр производства ЗТЗ поток рассеяния локализуется в так называемых приставных ярмах, а в реакторах меньшей мощности такое мероприятие на предусматривается. Технического обоснования таких решений нет.

Кроме этого, в [5] указывается, что, когда магнитный поток полностью переходит на прямую часть характеристики, регулирование прекращается, что не совсем так, поскольку при дальнейшем подмагничивании регулирование будет иметь место за счет увеличения намагничивающей силы на участках ярем по естественной кривой намагничивания с генерацией высших гармоник.

При подмагничивании участков увеличенного сечения, намагничивающая сила и ток реактора формируются частично по начальной части кривой намагничивания стали до

перегиба кривой намагничивания, а преобладающая намагничивающая сила и ток реактора по линейной части кривой намагничивания за точкой перегиба. В результате существенно уменьшается содержание высших гармоник тока и потери в стали

В четырехстержневом магнитопроводе броневого типа (рисунок 1в) распределение потоков при встречно параллельном соединении секций сетевой обмотки аналогично. Переменный магнитный поток замыкается по двум средним стержням, а постоянный поток подмагничивания - по крайним стержням и замыкающим их ярам, то есть и в этом случае объем подмагничиваемой стали меньше.

При соединении секций сетевой обмотки параллельно согласно во всех конструкциях направления замыкания магнитных потоков меняются местами, то есть переменный магнитный поток замыкается по замыкающим ярам и стержню, а постоянный магнитный поток - между двумя соседними рабочими стержнями. Во всех случаях меняется полярность компенсационной и управляющей обмоток.

Возможность использования трехстержневого планарного шихтованного магнитопровода не рассматривалась, хотя нетрудно видеть, что в этом случае объем электромагнитной стали, габариты реактора в целом и ток холостого хода будут меньше (рисунок 3).

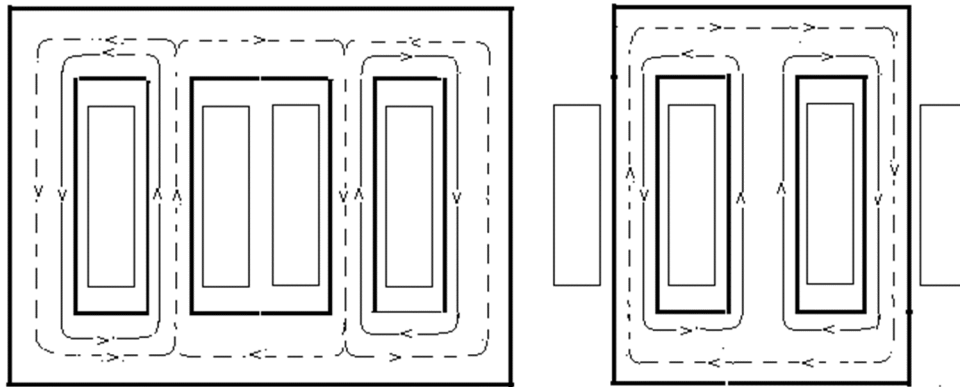


Рисунок 3 – Сравнительные размеры магнитопроводов

Таким образом, для управляемых реакторов мощностью до 25 МВАр, напряжением до 110 кВ в пофазном исполнении можно использовать либо трехстержневые магнитопроводы, аналогичные типовым трансформаторам, либо четырехстержневые броневого типа.

Поскольку использование для управляемых реакторов классического способа подмагничивания, когда сечение и индукция магнитного потока на всех участках магнитопровода (стержней и ярем) одинаковы, и формирование тока реактора осуществляется по естественной кривой намагничивания, как это имело место в реакторах на базе магнитопроводов типовых трансформаторов [3], то использование принципа предельного насыщения для трехстержневых планарных магнитопроводов представляет интерес.

Реализация принципа предельного насыщения магнитной цепи трехстержневого магнитопровода обеспечивается путем увеличения сечения ярем и среднего стержня, по отношению к сечению рабочих стержней, не менее чем в 1,5 раза (рисунок 4).

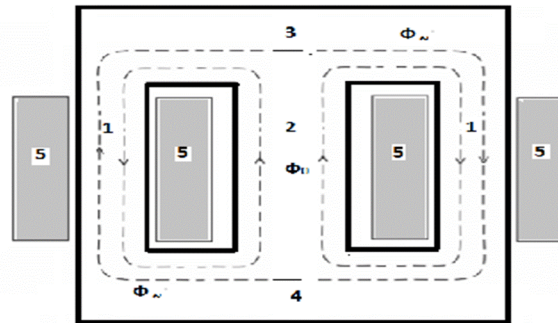


Рисунок 4 – Конструкция шунтирующего реактора

При параллельно встречном включении секций сетевой обмотки переменный магнитный поток замыкается по периметру магнитопровода, причем на участках стержней индукция магнитного потока выбирается по аналогии с силовыми трансформаторами в пределах 1,6 - 1,8 Тл, а на участках ярем не более 1,0 Тл. Сечение среднего стержня, по которому замыкается постоянный поток подмагничивания, должно быть не менее чем в 1,5 – 1,9 раза больше сечения рабочих крайних стержней.

В действительности, при кусочно-линейной аппроксимации кривой намагничивания более корректной будет аппроксимация двумя прямыми линиями, когда в процессе регулирования перемещение синусоидальной кривой переменного магнитного потока будет происходить через точку перегиба рисунок 5.

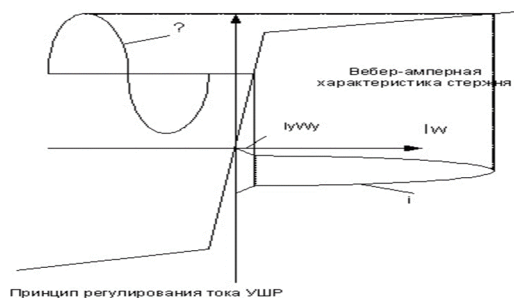


Рисунок 5- Аппроксимация кривой намагничивания

На Кентауском трансформаторном заводе могут быть изготовлены управляемые реакторы с подмагничиванием постоянным током трансформаторного типа (УРПТ) мощностью 25 МВАр, напряжением 35 кВ-110 кВ в пофазном исполнении.

Возможность использования для управляемых реакторов технологии изготовления, конструкции магнитопровода и обмоток типовых трансформаторов соответствующей мощности и напряжения исключает необходимость подробного электромагнитного расчета с выбором электромагнитных нагрузок и оптимизацией конструкции и сводится к выбору мощности трансформатора и проверке возможности использования его в качестве фазы реактора с учетом схемных и конструктивных особенностей.

Анализ технических данных трансформаторов производства Кентауского трансформаторного завода показал, что при изготовлении реактора могут быть использованы магнитопроводы и обмотки трансформатора ТДТН 10000-110/35/10 с алюминиевыми обмотками

Для уточнения параметров и разработки предложений по изготовлению опытно промышленного образца управляемого реактора мощностью 25 МВАр напряжением 110 (220) кВ на Кентауском трансформаторном заводе, по заданию, были изготовлены две физические модели управляемых реакторов.

На Алматинском электромеханическом заводе (АО АЭМЗ» был изготовлен и испытательный стенд. Физические модели изготовлены на базе типового трансформатора ТСЗИ мощностью 1,6 кВА напряжением 380 В. Общий вид одной фазы моделей приведен на рисунках 6, 7. Протоколы заводских испытаний не приведены в статье, ввиду ограниченного объема публикации.

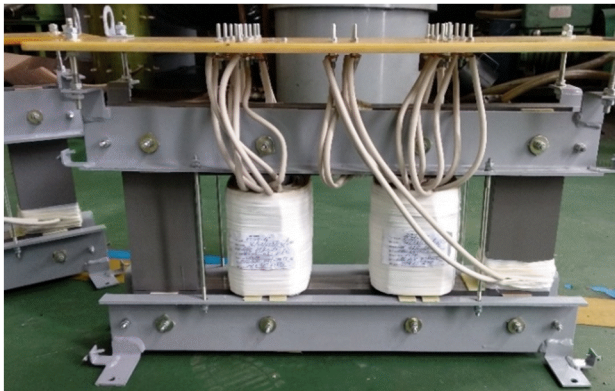


Рисунок 6 - Общий вид фазы модели на четырехстержневом магнитопроводе бронированного типа



Рисунок 7 - Общий вид фазы модели на трехстержневом магнитопроводе

Модели выполнены с несколькими обмотками, позволяющими изменять величину индукции по участкам магнитопровода и обмоточные данные. На рисунке 8 приведен реактор, подключенный к испытательному стенду.



Рисунок 8 – Испытательный стенд

В результате проведенных экспериментов на физических моделях оформлена заявка на патент на полезную модель, с регистрационным номером № 218/01802.

Предварительные расчеты и сравнительный анализ показали, что управляемый реактор на трехстержневых магнитопроводах будет легче, с меньшими габаритами и,

следовательно, дешевле, а также максимально соответствует технологии производства типовых трансформаторов АО «КТЗ».

Заключение

Управляемые шунтирующие реакторы находят все большее применение в энергосистемах Казахстана и других стран для регулирования реактивной мощности, стабилизации напряжения, снижения потерь и оптимизации режимов. В настоящее время лидирующее положение по количеству внедрений и срокам эксплуатации занимают реакторы производства ПАО «Запорожтрансформатор» совместно с ОАО «Электрические управляемые реакторы», г. Москва. Существует возможность изготовления управляемых реакторов на базе типовых трансформаторов Кентауского трансформаторного завода. На изготовленных физических моделях управляемых реакторов различных конструкций выполнены экспериментальные исследования, которые показали целесообразность изготовления реакторов на трехстержневых магнитопроводах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Соколов С.Е., Долгополов А. Управляемые реакторы. Обзор технологий. Журнал №3 (75) Новости Электротехники, 2012 год.
- [1] Певзнер Л.З., Соколов С.Е., Борисов Г.О., Абдурахманов А.А., Хамидуллин К.Г. Управляемый реактор. АС СССР №1494055. Оpubл. 15.07.89. Бюл. № 26.
- [2] Соколов С.Е., Борисов Г.О., Гусев А.П., Заславская Т.Б. Управляемые ферромагнитные реакторы и их использование для управления режимами протяженных ЛЭП. Новосибирск: Наука 1993г.
- [3] Соколов С.Е., Филимонов И.М., Исмухамбетов Г.Ж. Трехфазный управляемый реактор. АС СССР №1325584. Оpubл. 23.07.87. Бюл. № 27.
- [4] Соколов С.Е., Трубанов В.А. Трехфазный управляемый насыщающийся реактор. АС СССР №1394247 А1. Оpubл. БИ № 17, 07.05.88.
- [5] Брянцева А.М. д.т.н.Ю профессор Управляемые подмагничиванием электрические реакторы. Сборник статей М.: Знак, 2010.
- [6]http://www.fskees.ru/innovation/intelligent_network/new_types_of_power_equipmentof_substations_and_overhead_power_lines/controlled_shunt_reactors_csr/

REFERENCES

- [1] Sokolov S.E., Dolgopolov A. Controlled reactors. Technology overview. Magazine №3 (75) News of Electrical Engineering 2012.
- [1] Pevzner L.Z., Sokolov S.E., Borisov G.O., Abdurahmanov A.A., Khamidullin K.G. Controlled reactor. AS of the USSR №1494055. Publ. 15.07.89.No. 26.
- [2] Sokolov S.E., Borisov G.O., Gusev A.P., Zaslavskaya T.B. Managed ferromagnetic reactors and their use for controlling the modes of extended power lines. The science. Novosibirsk 1993.
- [3] Sokolov S.E., Filimonov I.M., Ismukhambetov G.Zh, Three-phase controlled reactor. AS of the USSR №1325584. Publ. 23.07.87. Bul. No. 27.
- [4] Sokolov S.E. Trubanov V.A. Three-phase controlled saturable reactor. AS of the USSR No. 1394247 A1. Publ. BI № 17, 07.05.88.
- [5] Bryantseva A.M. Doctor of Technical Sciences, Professor. Magnetically controlled electrical reactors. Collection of articles Moscow. The Sign 2010.
- [6]http://www.fskees.ru/innovation/intelligent_network/new_types_of_power_equipmentof_substations_and_overhead_power_lines/controlled_shunt_reactors_csr/

ҮШҮСТАҚТЫЖӘНЕТӨРТӨЗЕКТІМАГНИТӨТКІЗГІШТЕРДЕОРЫНДАЛҒА НБАСҚАРЫЛАТЫНРЕАКТОРЛАРДЫҢСАЛЫСТЫРМАЛЫТАЛДАУЫ

А.К.Мурат¹, С.Е.Соколов¹, А.Гирько¹

¹Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан

Аңдатпа.Мақалада реакторлардың әр түрлі түрлеріне, жақын және алыс шетелдердің өндірістеріне шолу келтірілген. Реакторлардың магнит өткізгіштерінің конструкциялары салыстырылды, параллель қарама-қарсы және параллель үнсіз желілік орамдарды қосудың екі түрлі схемасын іске асыруға мүмкіндік береді. Реакторлардың орамалары орналасқан магнитті тізбек (жартылай ұстағыштар) учаскелерінің қанықтырылуын жартылай орташаланған немесе шекті магниттеу принципі сипатталған. Кентаус трансформатор зауытында кернеуі 110 (220) кВ 25 МВАр қуатты басқарылатын реакторға арналған үш жақты планарлы шихталанған магнит өткізгішті пайдалану мүмкіндігі талданды.

Параметрлерді нақтылау және тәжірибелік өнеркәсіптік үлгіні дайындау бойынша ұсыныстарды әзірлеу үшін тапсырма бойынша басқарылатын реакторлардың екі физикалық моделі және сынақ стендтері дайындалды. Алдын ала есептеулер мен салыстырмалы талдау үш жақты магнит өткізгіштердегі басқарылатын реактордың көлемі аз жеңіл және тиісінше арзан болатынын көрсетті. Бұдан әрі зерттеуде үш және төрт жақты магнит өткізгіштерде орындалған реакторлардың салыстырмалы талдауының нәтижелерін растау үшін PSCAD бағдарламалық кешенінде реакторлардың екі түрінің барабар математикалық моделін жасау жоспарлануда.

Кілттік сөздер:шунттаушы реактор, ферромагнитті құрылғылар, иілгіш желілер, FACTS құрылғылары.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CONTROLLED REACTORS IMPLEMENTED ON THREE-TWO AND THREE-STOCK MAGNETIC WIRES

A.K.Murat¹, S.E.Sokolov¹, A.Girko¹

¹Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan

Abstract.The article gives an overview of different types of reactors, production of near and far abroad countries. Correlations are made between the designs of the magnetic cores of the reactors that make it possible to realize two different schemes for connecting the network winding, in parallel with the counter and parallel consonant. The principle of semipermanent or limiting magnetization of saturation of magnetic circuit segments (polouers) is described, on which the windings of reactors are located. The possibility of using a three-rod planar bent magnetic circuit for a 25 MVA controlled reactor with a voltage of 110 (220) kV at the Kentausky transformer plant is analyzed.

To clarify the parameters and develop proposals for the production of a pilot industrial sample, two physical models of controlled reactors and a test stand were produced, according to the assignment. Preliminary calculations and comparative analysis have shown that the controlled reactor on the three-rod magnetic cores will be lighter, with smaller dimensions and, consequently, cheaper. In the future research, it is planned to create an adequate mathematical model of two types of reactors, in the PSCAD software package, to confirm the results of the comparative analysis of reactors made on three and four-rod magnetic circuits.

Key words:shunting reactor, ferromagnetic devices, flexible lines, FACTS devices.

МРНТИ 621.3.072.9

**К.К.Тохтибакиев, А.А.Саухимов, А.Т.Бектимиров, М.Д.Мерекенов,
С.А.Нургалиева**

Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Казахстан

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ЕЭС КАЗАХСТАНА.

Аннотация. Основной задачей оперативно-диспетчерского управления является обеспечение надежности и устойчивости электроэнергетической системы, что достигается системой противоаварийного управления (ПАУ). Существующие принципы ПАУ, обеспечивающие устойчивость режима сети при расчетных возмущениях, не позволяют адекватно функционировать ПА при каскадных авариях. Для обеспечения устойчивости при каскадных авариях или обеспечения «живучести» необходимо использовать более эффективные критерии или показатели режимной надежности электроэнергетических систем (ЭЭС), формируемым по данным измерения в темпе изменения режима сети. Для обеспечения режимной надежности планируется создание двухуровневой Централизованной систем противоаварийной автоматики в ЕЭС Казахстана с использованием системы SCADA. В статье приведены результаты оценки эффективности ЦСПА для сети АО «KEGOC» в сравнении с работой существующей системы ПА.

Ключевые слова: оперативно-диспетчерское управление, устойчивость, ЦСПА, режимная надежность, управляющие воздействия, верхний уровень, низовые устройства.

Эффективность функционирования электроэнергетических систем является одним из важнейших факторов развития научно-технического прогресса во всех отраслях народного хозяйства. Новые условия, в которых работает электроэнергетическая отрасль Казахстана с 1991 года, привели к необходимости разработки новых принципов, методов и технологий в области оперативно-диспетчерского управления режимами Единой электроэнергетической системы (ЕЭС).

В настоящее время ЕЭС Казахстана объединяет на параллельную работу крупные электрические станции Северной, Южной и Восточной областей республики и работает параллельно с ЕЭС России и странами Центральной Азии, что обуславливает большие сложности при управлении режимами ЕЭС РК в нормальных и переходных режимах. В этих условиях ведения режима ЕЭС РК наиболее актуальны вопросы обеспечения устойчивости и надежности режима сети по межсистемным связям, которые обеспечиваются средствами оперативно диспетчерского управления и автоматическими устройствами режимного и противоаварийного управления.

Согласно электросетевым правилам (ЭСП) и закону «Об электроэнергетике» РК, основной задачей оперативно-диспетчерского управления является обеспечение надежного электроснабжения и нормированного качества электрической энергии. Практическое достижение поставленной цели осуществляется путем решения комплекса задач оптимального планирования и управления режимов работы с использованием комплексов централизованной противоаварийной автоматики с учетом всех видов технических сетевых и системных ограничений, обеспечивающих нормативные уровни надежности функционирования энергосистем [1].

В настоящее время в НЭС Казахстана при участии специалистов НАО «АУЭС» создается централизованная система противоаварийной автоматики (ЦСПА) в виде двухуровневой системы ПАУ, которая обеспечит устойчивость ЕЭС Казахстана. Верхний уровень организован как интеллектуальная цифровая система и предназначен для выбора дозировки управляющих воздействий (УВ) в режиме реального времени (в темпе изменения режима), использует принцип ПАУ I-ДО, нижний уровень представлен

локальной автоматикой предотвращения нарушения устойчивости (АДВ) функционирующей по принципу «II ДО». Под управляющими воздействиями понимается отключение нагрузки (ОН) и/или отключение генерации (ОГ) в момент срабатывания пускового органа (ПО), под ПО определено отключение ВЛ-500 кВ.

На сегодняшний день в ЕЭС Казахстана установлено 4 устройства АДВ, которые функционируют по принципу II-ДО. Планируемая структурная схема двухуровневой системы ПАУ в ЕЭС Казахстана представлена на рисунке 1.

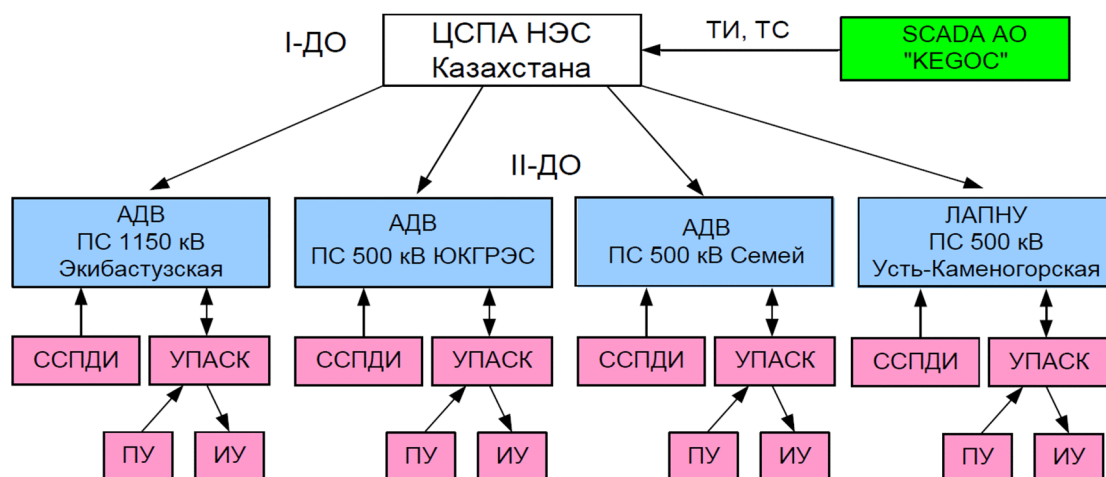


Рисунок 1 – Структурная схема централизованного ПАУ в ЕЭС Казахстана

Формирование таблиц УВ выполняется в контуре управления, периодически с циклом 30 сек, на расчетной модели, формируемой по текущим схемно-режимным параметрам, с использованием информации, собираемой существующей системой сбора и передачи данных SCADA АО «KEGOC». Исходной информацией является текущая телеинформация о состоянии основного оборудования энергообъектов 220 кВ и 500 кВ ЕЭС РК. Таблицы УВ ПА периодически рассылаются по низовым устройствам. База данных SCADA периодически обновляется телеметрической информацией с учетом требований по скорости и объему данных.

Технологический управляющий алгоритм ЦСПА реализуется решением следующих задач:

- Считывание информации с базы данных SCADA для формирования расчетной модели сети;
- Оценивание режима системы (достоверизация и идентификация параметров режима системы);
- Расчеты значения УВ ПАУ для расчетных возмущений по принципу «N-1», обеспечивающих статическую и динамическую устойчивость
- Запоминание таблицы УВ для данного режима и рассылка их на низовые устройства;

Эффективность ЦСПА заключается в увеличении используемой области устойчивости, минимизации управляющих воздействий ПА надежностью управления при каскадном развитии аварий в сети. [2].

В статье приведены результаты оценки технической эффективности применения ЦСПА по сравнению с комплексами АДВ, работающими по принципу II-ДО. Для расчетов УВ ПА были выполнены расчеты статической устойчивости в послеаварийных схемах сети НЭС РК (рисунок 2). Расчеты УВ ПА по принципу «II-ДО» выполнены по полной модели ЕЭС, а УВ для ЦСПА были выполнены по расчетной модели режима, которая формируется в контуре управления.

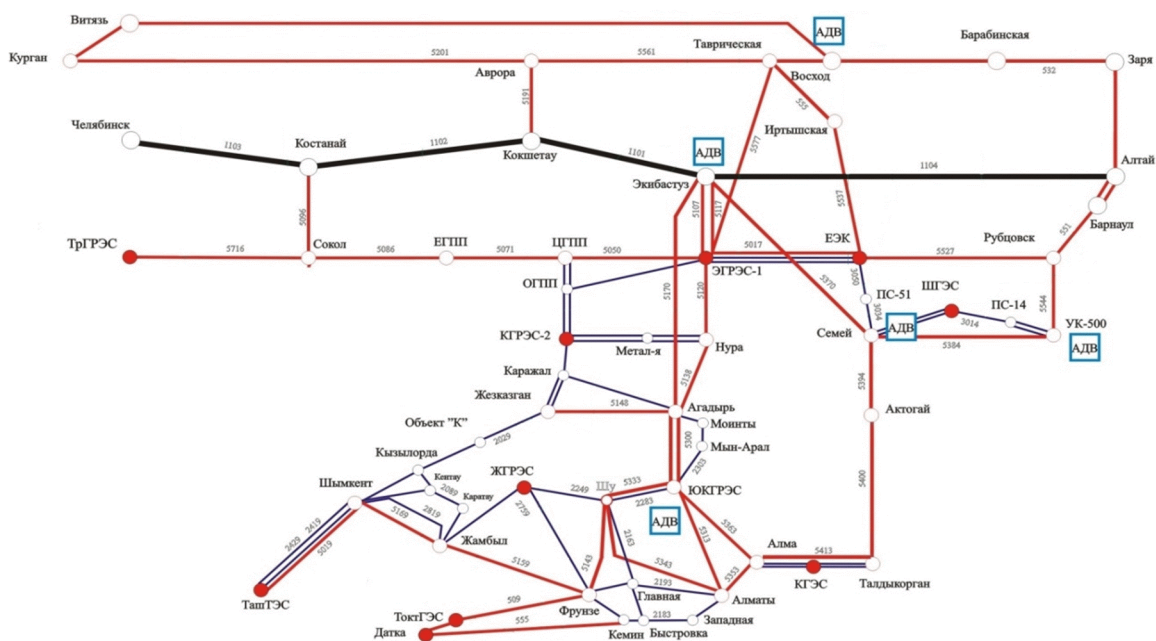


Рисунок 2 – Расчетная схема сети НЭС Казахстана

Некоторая количественная оценка эффективности работы создаваемой ЦСПА ЕЭС Казахстана в части ожидаемого снижения объемов УВ ПА, выполненная по схеме (рисунок 2), представлена в таблице 1 (расчеты проведены для нормальной схемы при максимально-допустимом перетоке по транзиту «Север-Юг»). В таблице отображается сравнение объемов УВ, выбранных АДВ по существующим настройкам П-ДО, с объемами УВ, реально требуемыми для заданного перетока в рассматриваемом режиме нагрузок (на основании выполненных расчетов в данной работе). При данном сравнении принимается, что создаваемая ЦСПА обеспечивает точность выбора требуемых УВ по расчетной модели не хуже выполненных в данном разделе расчетов по эталонной расчетной модели. При сравнении рассматриваются перетоки по контролируемым сечениям, соответствующие уставкам первых ступеней контроля предшествующего режима (КПР) существующих настроек АДВ.

Таблица 1 – Техническая эффективность ЦСПА по сравнению с существующим ПАУ

	Пусковой орган ПА	Сечение	Объем УВ от АДВ П-ДО	Объем УВ от ЦСПА
1	Отключение Л-5120 ЭГРЭС-1-Нура	Л-5170 Экибастузская-Агадырь + Л-5120 ЭГРЭС-1-Нура + Л-5394 Семей-Актогай	Отключение 200 МВт нагрузки в Карагандинском энергоузле от АДВ ПС Экибастузская	УВ не требуется
2	Отключение Л-5170 Экибастузская-Агадырь	Л-5170 Экибастузская-Агадырь + Л-5120 ЭГРЭС-1-Нура + Л-5394 Семей-Актогай	Отключение 200 МВт нагрузки в Карагандинском энергоузле от АДВ ПС Экибастузская	УВ не требуется

	Пусковой орган ПА	Сечение	Объем УВ от АДВ II-ДО	Объем УВ от ЦСПА
3	Отключение Л-5138 Нура-Агадырь	Л-5170 Экибастузская-Агадырь + Л-5138 Нура-Агадырь + Л-5394 Семей-Актогай	Отключение 160 МВт нагрузки в Балхашском и Жезказганском энергоузлах	УВ не требуется
4	Отключение Л-5394 Семей-Актогай	Л-5170 Экибастузская-Агадырь + Л-5138 Нура-Агадырь + Л-5394 Семей-Актогай	Отключение 200 МВт нагрузки в Карагандинском энергоузле от АДВ ПС Экибастузская	УВ не требуется
5	Отключение Л-5300 ЮКГРЭС-Агадырь	Л-5300 ЮКГРЭС-Агадырь + Л-5320 ЮКГРЭС-Агадырь + Л-5400 Талдыкорган-Актогай	Отключение 100МВт нагрузки в Жамбылском энергоузле от АДВ ПС ЮКГРЭС	УВ не требуется

Из таблицы видно, что во всех представленных случаях АДВ, работающее по принципу II-ДО, выбирает избыточные УВ, что может быть исключено при создании ЦСПА.

Избыточность управляющих воздействий приводит к дополнительному ущербу. Попытки минимизировать ущерб за счет выбора минимально необходимого объема УВ в каждой конкретной схемно-режимной ситуации связаны с повышением объемов настроечных таблиц АДВ и необходимостью более частых изменений настроек и, соответственно – с увеличением объема выполняемых расчетов персоналом диспетчерского центра, повышением вероятности ошибок, как при выборе и расчете настроек, так и в действиях дежурного персонала [3,4]. В некоторых случаях при сложной структуре сети такой подход к решению задачи может оказаться практически не осуществимым.

Снижение объемов УВ, рассчитанных в ЦСПА, по сравнению с заданными величинами в таблицах уставок АДВ, достигается главным образом за счёт оценки допустимости электрического режима в послеаварийных схемах в режиме «реального времени» на основании текущей схемно-режимной ситуации.

Следует отметить, что в приведенном случае необходима обоснованность адекватности расчетов по полной и расчетной модели, используемой в контуре управления. Для этой цели к расчётной модели ЦСПА ЕЭС Казахстана определены следующие требования:

1) Расчётная модель ЦСПА должна обеспечивать правильное перераспределение мощности в сети при моделировании аварийной ситуации (отключении ВЛ 500 кВ). Для этого расчётная модель должна содержать все системообразующие ВЛ 500 кВ и шунтирующие их ВЛ 220 кВ и 110 кВ (при наличии).

2) Расчётная модель ЦСПА должна обеспечивать правильное распределение возникающих небалансов мощности между соседними энергосистемами в целях учёта системной эффективности управляющих воздействий. Для этого расчётная модель должна содержать актуальные эквиваленты прилегающих энергосистем ЕЭС России и Центральной Азии. При этом указанные эквиваленты не должны влиять на

рассчитываемые ЦСПА послеаварийные режимы, для чего должны размещаться электрически удаленно от границ контролируемой ЦСПА зоны ЕЭС Казахстана при соответствующем моделировании и контроле системообразующей сети прилегающих энергосистем ЕЭС России и Центральной Азии.

3) Расчётная модель ЦСПА должна обеспечивать правильное перераспределение мощности в сети при вводе управляющих воздействий. Для этого расчётная модель должна содержать объекты реализации управляющих воздействий (объекты управления) ОН и ОГ с соответствующими схемами их присоединения к энергосистеме.

4) Расчётная модель ЦСПА должна обеспечивать правильную реакцию электростанций ЕЭС Казахстана на возникающие небалансы мощности и изменение частоты. Для этого расчётная модель должна содержать узлы генераторов системных и региональных электростанций с соответствующими схемами их присоединения к энергосистеме.

Предпосылкой перехода с локального на централизованное противоаварийное управление является изменение конфигурации сети 500 кВ в связи с вводом в работу транзита 500 кВ Север-Восток-Юг - образование двух колец 500 кВ: «Экибастуз – Семей – Алматы – Экибастуз» и «Экибастуз – Усть-Каменогорск - Экибастуз», что усложняет управление перетоками мощности.

С вводом в работу новых ВЛ 500 кВ транзита Север-Восток-Юг увеличиваются допустимые перетоки, управляющие воздействия, а значит, аварийные возмущения будут оказывать влияние на удаленные от места возникновения части ЕЭС Казахстана, что требует решения задачи выбора региона управления и дозировки управляющих воздействий в режиме реального времени.

По этой причине принципиальные недостатки существующей локальной АПНУ приведут к снижению полноты использования пропускной способности системообразующей сети, избыточности воздействий ПА на отключение потребителей или генерации и общему снижению надежности работы ЕЭС Казахстана.

Учитывая вышеизложенное, для обеспечения надежности ЕЭС Казахстана, максимального использования пропускной способности сети, назрела необходимость с учетом перспективы развития, применения адаптивных алгоритмов противоаварийного управления, включающих определение границ устойчивости, выбора управляющих воздействий и мест их приложения в темпе процесса изменения фактических схем и режимов энергосистемы, то есть перехода на принцип ПАУ «I-ДО», вместо используемого сегодня принципа «II-ДО».

Оценка возможности создания ЦСПА В ЕЭС Казахстана обусловлена следующими положительными факторами развития системы ПАУ в ЕЭС РК :

– Достаточностью объемов ТИ и ТС, обеспечивающей наблюдаемость сети 220--500 кВ АО «KEGOC» в режиме реального времени

– Наличием «низовых» устройств, в роли которых можно использовать микропроцессорные комплексы УВК АДВ ПС Экибастузская, УВК АДВ ЮКГРЭС, УВК АДВ ПС Семей, УВК АДВ ПС Усть-Каменогорская.

– Возможностью расширения настройки существующих комплексов АДВ на дополнительный прием дозировки от ЦСПА ЕЭС Казахстана.

– Достаточностью вычислительных ресурсов низовых комплексов АДВ для работы с расширенной настройкой.

– Совместимостью протокола обмена информации между верхним и нижним уровнем ЦСПА ЕЭС Казахстана.

Заключение

В статье приведены результаты оценки эффективности ЦСПА ЕЭС РК для сети АО «KEGOC» по сравнению с работой существующей системой ПА. Эффективность создания двухуровневой ЦСПА обусловлена переходом системы ПАУ на принципы управления по принципу «I-ДО», что позволяет устранить недостатки существующей системы ПА, при которой выбор УВ осуществляется выполнением многочисленных расчетов вне контура управления. ЦСПА ЕЭС РК создается как система адаптивного управления режимом ЕЭС РК, обеспечивающая расчеты УВ ПА для текущего режима сети в реальном времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Общие положения по системе противоаварийной автоматики энергообъединения ЕЭС/ОЭС // Утверждены Решением Электроэнергетического Совета СНГ Протокол N 35 от 29 мая 2009 года.
- [2] Шульгинов Н. Г. и др. Повышение эксплуатационной надежности ЕЭС России средствами противоаварийного автоматического управления // Известия НИИ постоянного тока, 2010, № 64. – С. 12–22.
- [3] Кощев Л. А., Мошкин Е. А., Окин В. А. Адаптивная централизованная система противоаварийной автоматики // Электричество, 1991, № 10.
- [4] Ландман А. К., Петров А. М., Петров А. Э., Сакаев О.О. Разработка интегрированной системы ПА ОЭС Сибири // Сб. докладов XX конф. «Релейная защита и автоматика энергосистем 2010» (Москва, 1–4 июня 2010). – М.: Научно-инженерное информационное агентство, 2010. – С. 52–59.

REFERENCES

- [1] General Provisions on the Emergency Control System of the Energy Unification of the Unified Energy System // Approved by the Decision of the CIS Electric Power Council Protocol No. 35 of May 29, 2009.
- [2] Shulginov N.G. and others. Improving the operational reliability of the UPS of Russia by means of emergency control automatic control // News of the Research Institute of Direct Current, 2010, No. 64. - P. 12-22
- [3] Koshcheev L.A, Moshkin E.A, Okin V.A. Adaptive centralized system of emergency control automation // Electricity, 1991, No. 10
- [4] Landman A.K, Petrov A.M, Petrov A.E., Sakaev O.O. Development of an integrated system for emergency control automation of Siberia UPS // Sb. reports XX con. «Relay protection and automation of power systems 2010» (Moscow, June 1-4, 2010). - Moscow: Scientific and Engineering Information Agency, 2010. - P. 52-59.

**ҚАЗАҚСТАННЫҢ БЭЖ РЕЖИМДЕРІН ЖЕДЕЛ БАСҚАРУ ҮШІН
ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЖҮЙЕНІҢ ТИІМДІЛІГІ.**

**К.К. Тохтибакиев, А.А.Саухимов, А.Т.Бектимиров, М.Д.Мерекенов,
С.А.Нурғалиева**

Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

Андатпа. Эксплуатациялық диспетчерлік басқарудың негізгі міндеті - авариялық-құтқару жүйесі арқылы қол жеткізілетін электр жүйесінің сенімділігі мен тұрақтылығын қамтамасыз ету. Жобалық бұзылулар жағдайында желілік режимнің тұрақтылығын қамтамасыз ететін АҚБ принциптері АҚА-ның каскадты апат оқиғаларда жеткілікті түрде жұмыс істеуіне мүмкіндік бермейді. Каскадтық апаттар жағдайында тұрақтылықты қамтамасыз ету немесе «тіршілік қабілеттілігін» қамтамасыз ету үшін желінің режиміндегі өзгеру жылдамдығы бойынша өлшеу деректерінен қалыптастырылған электр энергиясының сенімді жүйелерінің тиімді критерийлерін немесе көрсеткіштерін пайдалану қажет. Режимді сенімділікпен қамтамасыз ету үшін SCADA жүйесін пайдалана отырып Қазақстанның БЭЖ-дегі екі деңгейлі орталықтандырылған төтенше жағдайларды басқару жүйесін құру жоспарлануда. Мақалада қолданыстағы АҚА жүйесін пайдалануымен салыстырғанда, «КЕГОС» АҚ-ның желісінде ОАҚАЖ-нің тиімділігін бағалау нәтижелері келтірілген.

Кілттік сөздер: Операциялық-диспетчерлік бақылау, тұрақтылық, ОАҚАЖ, режимнің сенімділігі, бақылау әрекеттері, жоғарғы деңгей, түбкі құрылғылары.

**THE EFFECTIVENESS OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR EMERGENCY
CONTROL OF THE REGIMES OF THE KAZAKHSTAN'S BEG.**

K.K.Tokhtibakiev, A.A.Saukhimov, A.T.Bektimirov, M.D.Merekenov, S.A.Nurgaliyeva

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan

Abstract. The main task of operational dispatch management is to ensure the reliability and stability of the electric power system, which is achieved by the emergency control system. Existing CECS principles ensuring the stability of the network mode in the case of design disturbances do not allow the AE to function adequately in cascading accidents. To ensure stability in case of cascading accidents or to ensure "survivability", it is necessary to use more criteria that are effective or indicators of the reliability of electric power systems (EPS), formed from the measurement data at the rate of change in the network mode. To ensure the regime reliability, it is planned to create a two-level Centralized emergency control system in the UES of Kazakhstan using the SCADA system. The article presents the results of the evaluation of the effectiveness of the CECS for the network of KEGOC JSC when compared with the operation of the existing ECA system.

Key words: Operational-dispatching control, stability, CECS, regime reliability, control actions, upper level, grass-roots devices.

МРНТИ 621.311

К.К. Тохтибакиев, М.Д. Мерекенов

Алматинский университет энергетики и связи г. Алматы, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАПАСОВ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПО ДАННЫМ СИСТЕМЫ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Аннотация. В работе освещены новые возможности определения границ статической апериодической устойчивости электроэнергетических систем. В основе нового метода лежат возможности использования данных систем векторных измерений параметров режима электрической сети для построения аппроксимирующих поверхностей границ областей устойчивости. Преимущество предложенного метода заключается в том, что выявление условий нарушения устойчивости определяется с опережением, что дает возможность применения превентивных мер по недопущению потери устойчивости. Используемые в настоящее время способы определения границ устойчивости не могут охватить все возможные варианты фактических режимов сети, и не дают возможность максимального использования пропускной способности сети. Существующие способы определения границ устойчивости системы с помощью численного итерационного метода не всегда могут быть достаточно точными, и запасы устойчивости могут быть слишком большими, что будет ограничивать перетоки мощности по сечению и соответственно могут привести к экономическим потерям.

Ключевые слова: устойчивость, аппроксимация, пропускная способность, адаптивное управление, система векторных измерений.

Введение

При перетоках мощности по линиям электропередач возникает фазовый сдвиг напряжений в узлах, который увеличивается при соответственном увеличении длинных линий и перетоков мощности. Перетоки мощности для длинных линий ограничены натуральной мощностью линий. С увеличением фазового сдвига система в которой расположены эти линии становится не стабильной при разного рода возмущениях.

Существуют несколько факторов, которые ограничивают пропускную способность системы. К ним относятся характеристики распределительного устройства, условия окружающей среды, падения напряжения, устойчивость системы [1].

На сегодняшний день ограничения, определяемые устойчивостью системы, находятся программным обеспечением путем поиска пределов статической устойчивости электроэнергетической системы для наиболее неблагоприятных расчетных условий, что не позволяет максимально использовать пропускную способность передачи в широком спектре схемно-режимной области работы сети. Одним из путей решения этой проблемы является использование принципов адаптивного управления, на основе выполнения расчетов на расчетной модели, формируемой в контуре управления. Для реализации принципа управления с использованием модели применительно к управлению в электроэнергетических системах необходимо создание программно-технического комплекса, функционирующего в режиме реального времени с использованием информационных данных системы векторных измерений (СВИ). Для организации системы контроля и управления состоянием НЭС РК планируется использование системы синхронизированных векторных измерений «WAMS» [2]. «WAMS» дает возможность не только организовать пассивную визуализацию параметров энергосистемы, но и создать адаптивные системы управления режимами энергосистемы, прогнозировать опасные режимы, приводящие к нарушению устойчивости.

Используя мировой опыт внедрения WAMS в зарубежных странах, АО «KEGOC» совместно с НАО «АУЭС» начало поэтапное создание такой системы в национальных электрических сетях (НЭС РК), начиная с установки PMU на ограниченном количестве контролируемых объектов [3].

Отличительной особенностью системы WAMS при сравнении ее с другими аналогичными измерительными системами является то, что данный комплекс обеспечивает синхронизированные векторные измерения. Это достигается программно-аппартными средствами, использованием измерительного и синхронизирующего оборудования, совмещенного со скоростными каналами передачи данных, и сервером обработки данных в режиме реального времени. Комплекс оборудования включает в себя: программное обеспечение, PDC – верхнее устройство обработки данных, каналы передачи данных, PMU – низовые устройства сбора данных.

Метод прогнозирования предела статической устойчивости

В статье предложен метод прогнозирования предела статической устойчивости по текущим измерениям параметров режима в реальном времени без процедуры выполнения расчетов с утяжелением по выбранному сечению. Это дает возможность оперативному персоналу заранее принять меры по недопущению потери устойчивости электроэнергетической системы. Кроме того, это позволяет создать цифровые активно-адаптивные системы контроля, обеспечения и прогнозирования режимной надежности и устойчивости ЭЭС, основанной на оценке первичных показателей, в отличие от используемых сегодня вторичных показателей устойчивости. В данном случае первичным показателем устойчивости является угол сдвига векторов напряжений в различных точках сети, а вторичными показателями служат перетоки мощности и углы напряжения.

Предлагаемый метод контроля и прогнозирования пределов статической устойчивости с использованием данных системы векторных измерений содержит группу устройств PMU, группу цифровых датчиков (определение предела статической устойчивости), блок сбора и передачи данных, блок оценки состояния электроэнергетической системы (определение параметров режима, формирование расчетной модели), а также последовательно соединенные блок определения предельных режимов (определение матрицы Якоби, определение аппроксимирующей функций) и блок определения максимально допустимых перетоков (определение предела статической устойчивости). Максимально допустимый переток активной мощности - это наибольший переток активной мощности в контролируемом сечении, определяемый диспетчерским центром субъекта оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, обеспечивающий допустимые параметры электроэнергетического режима в нормальной (ремонтной) схеме и в послеаварийных режимах после нормативных возмущений.

Для прогнозирования предела статической аperiodической устойчивости использовано свойство определителя матрицы Якоби (Якобиан). В устойчивом режиме определитель имеет положительный знак, а при потере устойчивости переходит через ноль и становится отрицательным.

Описание метода

В статье предлагается определять момент нарушения устойчивости не в момент перехода определителя через ноль, а намного раньше, с использованием зависимости величины определителя от значения перетока мощности по сечению или от величины мощности загружаемого генератора отправной системы.

Для получения зависимости $J=f(P)$ использованы методы построения аппроксимации по заданным точкам, полученным в результате измерения режимных параметров.

После построения аппроксимирующей зависимости выполняется оценка предельного режима и определяется коэффициент запаса статической устойчивости (K_3). При уменьшении K_3 менее 20% выдается информация в системе мониторинга о приближении системы к пределу статической устойчивости.

Функциональная структура взаимодействия блоков для достижения цели определения предела статической устойчивости по данным измерения с использованием способа прогнозирования представлена на рисунке 1.

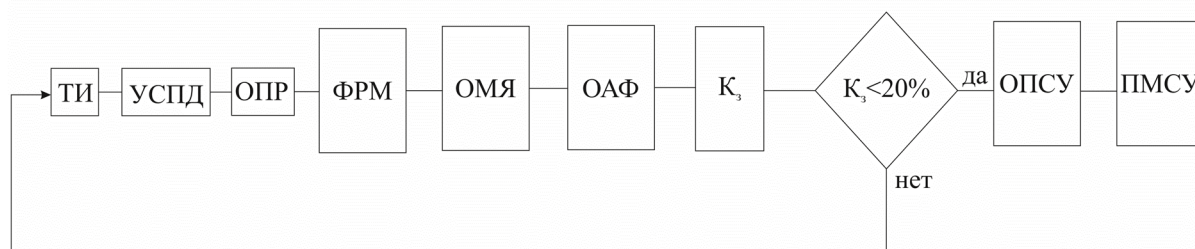


Рисунок 1 - Функциональная структура метода прогнозирования предела статической устойчивости.

где ТИ-телеизмерения; УСПД-устройство сбора и передачи данных; ОПР-определение параметров режима; ФРМ-формирование расчетной модели; ОМЯ-определение матрицы Якоби; ОАФ-определение аппроксимирующей функций; ОПСУ-определение предела статической устойчивости с $K_3 < 20\%$; ПМСУ-применение мер для сохранения устойчивости.

Группа устройств сбора данных представляет собой цифровые датчики измерения параметров режима сети в контролируемых точках подключения устройств к сети. Устройства приема и передачи информации обеспечивают передачу информации в виде телеметрии и телесигнализации от устройств сбора информации до центра обработки и формирования данных для блоков оценки, используемых на следующих этапах расчета показателя устойчивости по текущим замерам в реальном времени.

В блоке оценки состояния электроэнергетической системы решается задача оценивания состояния с использованием результатов векторной регистрации параметров от устройств РМУ.

Для оценивания состояния системы используется метод взвешенных наименьших квадратов. Сбалансированный электрический режим определяется в результате минимизаций следующей целевой функции [4]:

$$f = \sum_{i=1}^n r_i \cdot [z_i - \bar{z}_i(\dot{u})]^2 \quad (1)$$

где n-число измерений;

z_i - значение i-го измерения;

$\bar{z}_i(\dot{u})$ - функция, отражающая зависимость между i-м измерением и независимыми параметрами – составляющими комплекс узловых напряжений;

r_i - весовой коэффициент, характеризующий точность i-го измерения.

При решении задач, связанных с расчетами электрических режимов, в качестве независимых параметров используются, как правило, модули и фазы напряжений. Технология векторного измерения параметров режима, позволяет расширить список получаемых для оценивания состояния параметров за счет учета фаз напряжений в различных узловых точках энергосистемы. Ранее данный параметр был не доступен.

Для формирования расчетной модели системы (формирование матрицы Якоби и расчет определителя матрицы) используются данные блока оценки режима. По данным системы векторных измерений считывается напряжение в узлах электрической сети ($V_1 \dots V_n$), углы δ между векторами напряжений в узлах, перетоки мощностей по ветвям P_{ij} которые являются параметрами режима сети.

Матрица Якоби формируется в виде:

$$\left(\frac{\partial \Delta P}{\partial \delta}\right)_{km} = \frac{\partial \Delta P_k}{\partial \delta_m} = \begin{cases} V_k V_m (-G_{km} \sin \delta_{km} + B_{km} \cos \delta_{km}), & k \neq m; \\ V_k \sum_{m \in k} V_m (G_{km} \sin \delta_{km} - B_{km} \cos \delta_{km}), & k = m; \end{cases} \quad (2)$$

$$\left(\frac{\partial \Delta P}{\partial V}\right)_{km} = \frac{\partial \Delta P_k}{\partial V_m} \Big|_{m \in PQ} = \begin{cases} -V_k (G_{km} \cos \delta_{km} + B_{km} \sin \delta_{km}), & k \neq m; \\ -2V_k G_{kk} - \sum_{m \in k} V_m (G_{km} \cos \delta_{km} + B_{km} \sin \delta_{km}), & k = m; \end{cases} \quad (3)$$

$$\left(\frac{\partial \Delta Q}{\partial \delta}\right)_{km} = \frac{\partial \Delta Q_k}{\partial \delta_m} \Big|_{k \in PQ} = \begin{cases} V_k V_m (G_{km} \cos \delta_{km} + B_{km} \sin \delta_{km}), & k \neq m; \\ -V_k \sum_{m \in k} V_m (G_{km} \cos \delta_{km} + B_{km} \sin \delta_{km}), & k = m; \end{cases} \quad (4)$$

$$\left(\frac{\partial \Delta Q}{\partial V}\right)_{km} = \frac{\partial \Delta Q_k}{\partial V_m} \Big|_{k, m \in PQ} = \begin{cases} V_k (B_{km} \cos \delta_{km} - G_{km} \sin \delta_{km}), & k \neq m; \\ 2V_k B_{kk} + \sum_{m \in k} V_m (B_{km} \cos \delta_{km} - G_{km} \sin \delta_{km}), & k = m. \end{cases} \quad (5)$$

Где значения V , δ выбираются из данных СВИ, параметры проводимостей (G и B) определяются по данным схемы замещения рабочей модели.

Необходимым условием нарушения статической устойчивости с использованием матрицы Якоби является переход через нуль якобиана системы:

Для определения параметров аппроксимирующей функции показатель устойчивости в виде определителя матрицы Якоби позволяет построить некую зависимость определителя от измеряемой переменной режима, например, от мощности генераций. Эту аппроксимирующую поверхность можно использовать для прогнозирования предела статической устойчивости, если воспользоваться условиями (2) и свойством непрерывности и вогнутости граничной поверхности устойчивости (или кривой зависимости показателя устойчивости от параметра независимой переменной).

Коэффициенты аппроксимирующей функции или показателя устойчивости в виде Якобиана определяются методом наименьших квадратов.

В основе метода наименьших квадратов лежит оценка параметров путем минимизаций квадратов расхождений между наблюдаемыми данными с одной стороны и их ожидаемыми значениями с другой стороны [5].

Точность аппроксимации в пределах существования функции, очевидно, зависит от количества или объема измерений, а также частоты выполнения замеров. В данном случае аппроксимация выполняется периодически по мере поступления новых замеров. Если замеры производятся для установившихся режимов, то интервалы определения зависимости остаются в одних и тех же диапазонах, что не обеспечивается условиями уточнения зависимости.

Для определения предела статической устойчивости, максимально допустимых перетоков и аварийно допустимых пределов, согласно условию (2) для зависимости

показателя устойчивости по измеряемому параметру находится значение измеряемой переменной, при которой Якобиан переходит через ноль и становится отрицательным.

Найденное значение переменной мощности, при которой система перейдет в неустойчивый режим, является пределом статической устойчивости ($P_{пр}$).

Для определения запаса устойчивости вводится коэффициент запаса статической устойчивости в виде следующего выражения:

$$K_3 = \frac{P_{пр} - (P_{пер} + P_{нк})}{P_{пр}} * 100 \quad (6)$$

$P_{пр}$ - предельная мощность, при которой система неустойчива, определяется с помощью аппроксимаций;

$P_{пер}$ - значение передаваемой мощности, которое было использовано при нахождении аппроксимирующей функции.

$P_{нк}$ - значение нерегулярных колебаний, берется 5% от предельной мощности.

Коэффициент запаса по статической устойчивости принимается равным не меньше 20 %.

При определении аппроксимирующей функции в пределах существования этой зависимости точность аппроксимации зависит от объема измерений. Наиболее точной аппроксимация становится при приближении системы к предельным значениям. Как показано ниже, при приближении системы к пределу K_3 уменьшается и становится меньше, чем нормативный запас в 20%.

Экспериментальные исследования

Методика была опробована на модели энергосистемы, состоящей из двух генераторов и шины бесконечной мощности соединенными линиями электропередачи (рисунок 2).

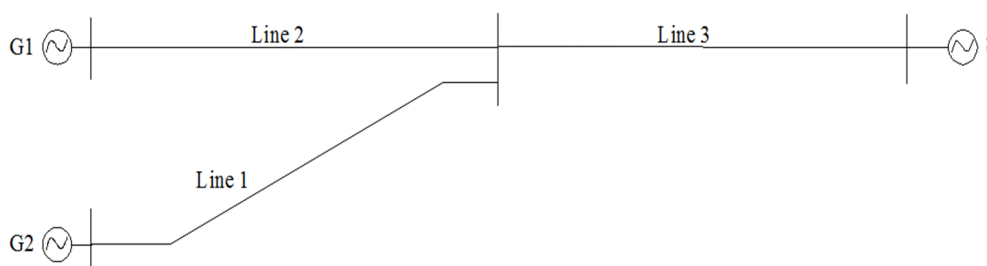


Рисунок 2 – Схема замещения модели

С помощью эксперимента был определен предел статической аperiodической устойчивости системы, показанной на рисунке 2. Для определения предела статической аperiodической устойчивости режим утяжелялся увеличением мощности генераций на генераторе G1.

Увеличивая мощность генераций на генераторе G1, было рассчитано 3 значения Якобиана для каждого шага утяжеления (таблица 1).

Таблица 1

P, W	J, r.u.
276	1,04
793	0,88
899	0,61

Значения Якобиана взяты относительно режима, при котором будет теоретический максимум ($U_1=U_r=220\text{ V}$, $U_2=U_r=220\text{ V}$, $U_3=U_r=220\text{ V}$, $\delta_{U1}-\delta_{U2}=0^\circ$, $\delta_{U3}-\delta_{U2}=0^\circ$, $\delta_{U3}-\delta_{U4}=0^\circ$).

По этим трем точкам была сделана линейная аппроксимация (рисунок 3), и была найдена прогнозируемая точка перехода Якобиана через ноль. Мощность, при которой Якобиан равняется нулю, соответствует пределу по статической апериодической устойчивости:

$$P_{\text{пр}} = 2100 \text{ МВт}$$

$$k_3 = 52\% > 20\%$$

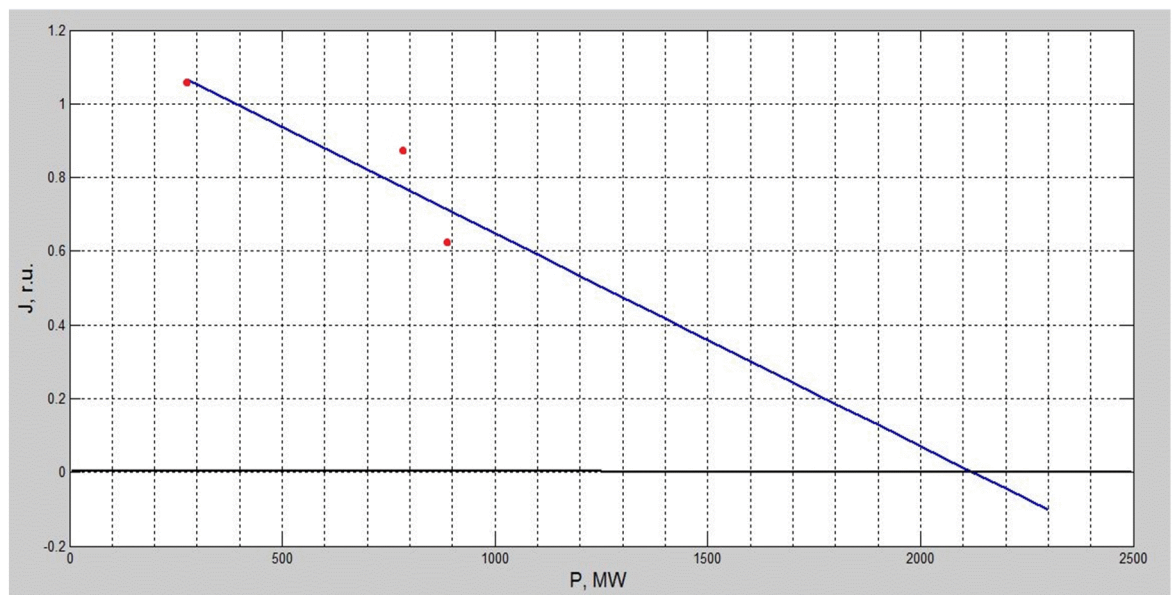


Рисунок 3 – Аппроксимация значений Якобиана при трех измерениях

Поскольку коэффициент запаса больше 20%, то утяжеление продолжается. На следующем этапе делается еще 3 утяжеления, и аппроксимация делается по 6 значениям Якобиана (таблица 2).

Таблица 2

P, W	J, r.u.
276	1,04
793	0,88
899	0,61
1114	0,55
1196	0,39
1298	0,36

После аппроксимаций данных (рисунок 4) находится прогнозируемый предел:

$$P_{\text{пр}} = 1842 \text{ МВт}$$

$$k_3 = 24\% > 20\%$$

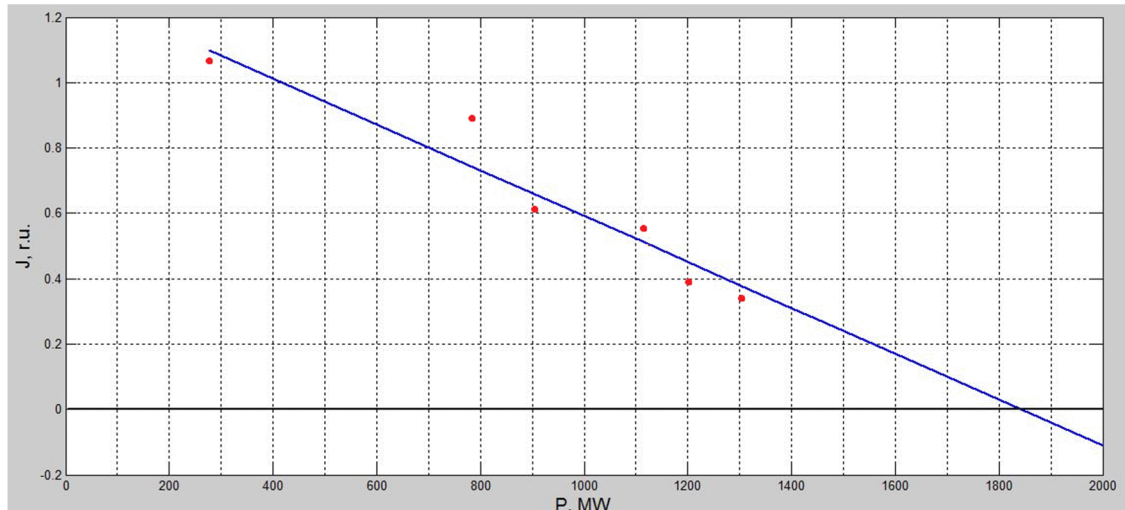


Рисунок 4 – Аппроксимация значений Якобиана при шести измерениях

Коэффициент запаса ровняется 24%, т.е предел еще не достаточно близок.

При дальнейшем утяжелении Якобиан рассчитывается еще для двух значений мощности (таблица 3).

Таблица 3

P, W	J, r.u.
276	1,04
793	0,88
899	0,61
1114	0,55
1196	0,39
1298	0,36
1402	0,23
1446	0,22

Аппроксимация этих значений (рисунок 5) показывает, что прогнозируемый предел равен:

$$P_{пр} = 1771 \text{ МВт}$$

$$k_3 = 13\% < 20\%$$

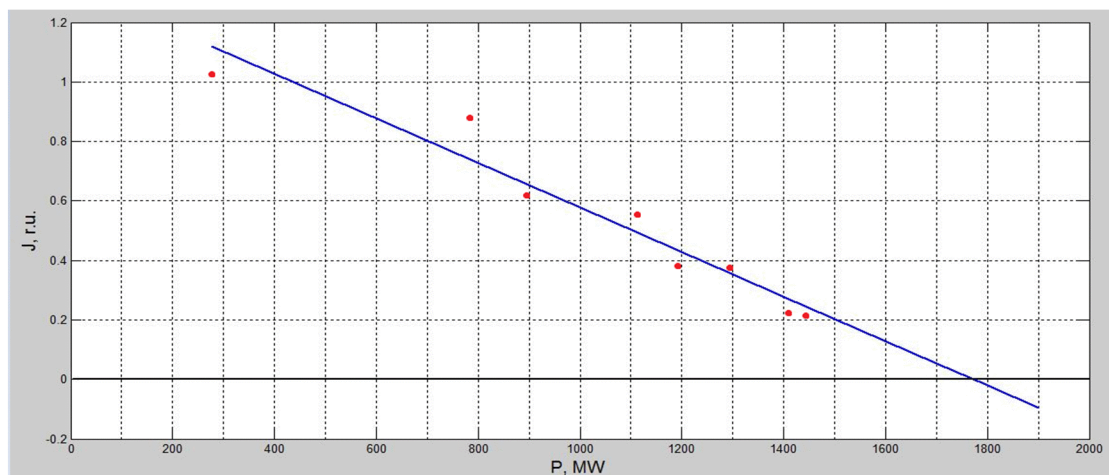


Рисунок 5 – Аппроксимация значений Якобиана при восьми измерениях

При снижении коэффициента запаса менее 20% следует принимать решение по предотвращению потери устойчивости.

Заключение

С развитием вычислительной техники и информационных технологий многие проблемы, с которыми сталкивалась электроэнергетика в целом и системы передачи электроэнергии в частности, находят новые решения. Предлагаемый в статье альтернативный метод прогнозирования запаса устойчивости позволяет выявлять с опережением условия приближения системы к пороговым значениям по устойчивости и пропускной способности сети. Этот метод является более точным и широким в применении, в то же время он более гибок и универсален. Метод позволяет определять границы устойчивости системы для каждой расчетной схемы, в то время как существующие методы рассчитывают только наиболее тяжелые. При всем при этом метод достаточно прост в применении и не требует никаких сложных расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Larruskain D.M., Zamora I., Abarrategui O., Iraolagoitia A., Gutiérrez M. D., Loroño E. and F. dela Bodega. Power transmission capacity upgrade of overhead lines. // RE&PQJ, Vol. 1, No.4, April 2006. - p. 221-227.
- [2] Jaime De La Ree, Virgilio Centeno, James S. Thorp, A.G. Phadke. Synchronized Phasor Measurement Applications in Power Systems. // IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID – June 2010 – № 1, vol. 1 – p. 20-27.
- [3] Тохтибакиев К.К., Бектемиров А.Т., Соколов С.Е., Саухимов А.А. Анализ низкочастотных колебаний по транзиту «Север-Юг» НЭС Казахстана с использованием системы WAMS. // Вестник АУЭС. – Алматы: АУЭС, 2017. - № 1. – с. 13-21.
- [4] Пат. 2547224 Российская Федерация, МПК G06F 17/40, H02J 3/00. Система мониторинга запасов устойчивости электроэнергетической системы/ Жуков А.В., Данилин А.В., Кай П.Я., Куликов Ю.А. Заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы». - 2013142113/08; заявл. 16.09.2013; опубл. 10.04.2015, Бюл № 10. – 9 стр.: ил.
- [5] Van de Geer S. A. Least Squares Estimation // Encyclopedia of Statistics in Behavioral Science. 2005. Volume 2, - p. 1041–1045.

REFERENCES

- [1] Larruskain D.M., Zamora I., Abarrategui O., Iraolagoitia A., Gutiérrez M. D., Loroño E. and F. dela Bodega. Power transmission capacity upgrade of overhead lines. // RE&PQJ, Vol. 1, No.4, April 2006. - p. 221-227.
- [2] Jaime De La Ree, Virgilio Centeno, James S. Thorp, A.G. Phadke. Synchronized Phasor Measurement Applications in Power Systems. // IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID – June 2010 – № 1, vol. 1 – p. 20-27.
- [3] Tokhtibakiev K.K., Bektimirov A.T., Sokolov S.E., Saukhimov A.A.. "Analysis of low frequency oscillations in the "North-South" transit of the National Power Grid of Kazakhstan by using WAMS" (in russian) // AUPET Vestnik. - Non-profit JSC "AUPET" - 2017 - № 1 - P. 13-21.
- [4] Patent 2547224 Russian Federation, MPK G06F 17/40, H02J 3/00. Sistema monitoringa zapasov ustoichivosti elektroenergeticheskoi sistemy/ Zhukov A.V., Danilin A. V., Kats P.Y., Kulikov Y.Y. zayavitel' i patentoobladatel' Otkrytoe aktsionernoe obshestvo

“Sistemnyi operator Edinoi energeticheskoi sistemy. - 2013142113/08; zayavl. 16.09.2013; opubl. 10.04.2015, Biul № 10. – 9 str.: il.(in Russian).

[5] Van de Geer S. A.. Least Squares Estimation// Encyclopedia of Statistics in Behavioral Science. 2005. Volume 2, - p. 1041–1045.

**ВЕКТОРЛЫҚ ӨЛШЕУ ЖҮЙЕЛЕРІ АРҚЫЛЫ СТАТИКАЛЫҚ
ТҰРАҚТЫЛЫҚ ҚОРЫН БОЛЖАМДАУ ТӘСІЛІН ЗЕРТТЕУ
Тохтибакиев К.К., Мерекенов М.Д.**

Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан.

Аннотация. Бұл жұмыста электрэнергетикалық жүйелердің статикалық апериодикалық тұрақтылық шектерін анықтаудың жаңа мүмкіндіктері көрсетілген. Жаңа тәсілдің негізінде тұрақтылық шектерінің аппроксимациялаушы беттерін тұрғызу үшін режим параметрлерінің векторлық өлшеу жүйелерінің деректерін қолдану мүмкіндіктері жатыр. Ұсынылған тәсілдің артықшылығы тұрақтылықтың бұзылу шарттары алдын ала анықталып оның бұзылуына қарсы әрекеттердің қолдану мүмкіндігі. Қазіргі кезде қолданылатын тұрақтылықтың шектерін анықтау тәсілдері барлық мүмкін болатын торап режимдерін қамти алмайды, сондықтан тораптың тарату мүмкіндіктерін толықтай қолданбайды. Жүйенің тұрақтылығының шектерін сандық итерациялық тәсіл көмегімен анықтау әрқашанда нақты болмауы, ал тұрақтылық қорлары тым көп болуы мүмкін. Бұл жағдайда желі бойынша қуат ағындары шектеліп, ал ол болса сәйкесінше экономикалық шығындарға алып келеді.

Кілт сөздер: Тұрақтылық, аппроксимация, өткізу мүмкіндігі, адаптивті басқару, векторлық өлшеулер жүйесі.

**RECHERCHE DE LA MÉTHODE DE PRÉDICTION DE RÉSERVES
STATIQUES DE STABILITÉ PAR LES DONNÉES D'UN SYSTÈME DE MESURE DE
VECTEUR
Tokhtibakiev K.K., Merekenov M.D.**

Université d'Almaty de l'énergie et des communications, Almaty, Kazakhstan.

L'annotation. L'article met en évidence de nouvelles possibilités pour déterminer les limites de la stabilité statique aperiodique des systèmes d'alimentation électrique. La base de la nouvelle méthode sont la possibilité d'utiliser des données de mesure des paramètres du mode vecteur systèmes pour surfaces alimentation secteur construction se rapprochant des limites de stabilité. L'avantage de la méthode proposée réside dans le fait que la détection des violations des conditions de stabilité sont déterminées avant de permettre l'application des mesures préventives pour éviter la perte de stabilité. Méthodes actuellement utilisées pour déterminer la stabilité des frontières ne peut pas couvrir toutes les options possibles pour les conditions réelles du réseau, et ne donnent pas la possibilité de maximiser l'utilisation de la bande passante du réseau. Les méthodes existantes pour déterminer la stabilité des interfaces entre les systèmes utilisant la méthode d'itération numérique ne peut pas toujours être suffisamment précis et des marges de stabilité peuvent être trop grandes, ce qui limitera les flux d'énergie à travers la section et peut apporter des pertes économiques en conséquence.

Mots-clés: Stabilité, approximation, débit, contrôle adaptatif, système de mesure vectorielle

МРНТИ44; 44.29.29; 44.29.33.

П.И.Сагитов, Ж.Ж.Тойгожинова

Казахстан, Алматы, Алматинский университет энергетики и связи

УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОГЛАСОВАННОГО ВРАЩЕНИЯ РОТОРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Аннотация. В статье рассматривается структурная схема частотно-регулируемого многодвигательного асинхронного электропривода (МАЭП). Система автоматического управления МАЭП обеспечивает согласование скорости асинхронного двигателя. Для определения передаточной функции устойчивости движения МАЭП разработана программа в системе MATLAB, где решается система алгебраических уравнений в символьном виде. Показаны графики согласованного вращения скорости асинхронного двигателя.

Ключевые слова: структурная схема, передаточная функция, программа, уравнение, математическая модель, переходной процесс, график.

В процессе проектирования системы автоматического управления многодвигательным асинхронным электроприводом (МАЭП), обеспечивающим согласование скоростей асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, является одной из необходимых задач проектирования системы управления для многих промышленных установок. На рисунке 1 показана линеаризованная структурная схема трех двигательного асинхронного электропривода в среде MATLAB. Каждый асинхронный электропривод МАЭП представляет собой систему преобразователь частоты - асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (ПЧ - АД). Система ПЧ - АД составлена на основе передаточных функций асинхронного электродвигателя и преобразователя частоты [1].

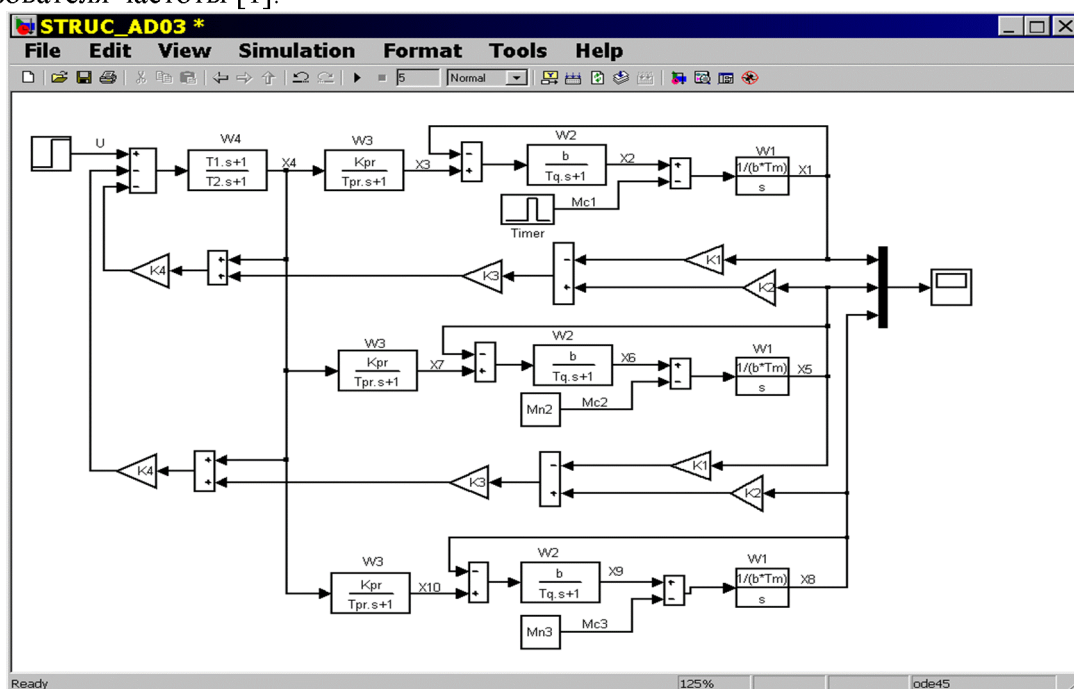


Рисунок 1 - Структурная схема частотно - регулируемого МАЭП

Передаточные функции системы ПЧ – АД имеют следующий вид:

$$W_1(s) = \frac{1}{bT_m s}, \quad (1)$$

$$W_2(s) = \frac{b}{(T_q s + 1)}, \quad (2)$$

$$W_3(s) = \frac{K_{pr}}{(T_{pr} s + 1)}, \quad (3)$$

Передаточные функции (1) и (2) - передаточные функции асинхронного двигателя, функция (3) - передаточная функция преобразователя частоты.

В передаточных функциях (1), (2) и (3) приняты следующие обозначения [2]:

b - модуль жесткости линеаризованной механической характеристики;

T_m - электромеханическая постоянная времени асинхронного двигателя;

T_q - эквивалентная электромагнитная постоянная времени цепей статора и ротора асинхронного двигателя;

K_{pr} - передаточный коэффициент преобразователя частоты (ПЧ);

T_{pr} - постоянная времени цепи управления ПЧ, которая при высокочастотных модуляциях выходного напряжения не превышает 0,001 с.

Передаточная функция регулятора скорости (РС) двигателей МАЭП на (рисунке 1) показана инерционно – форсирующим звеном (динамическое звено с опережением) [3] в виде

$$w_R(s) = \frac{(T_o s + 1)}{(T_1 s + 1)}. \quad (4)$$

Обратные связи скорости каждого асинхронного двигателя и обратная связь с регулятора скорости обеспечивают согласование скоростей двигателей МАЭП. Определение устойчивости движения МАЭП осуществляется по методике [4] с помощью математической системы MATLAB. Систему алгебраических уравнений в символьном виде получаем на основе передаточных функций структурной схемы МАЭП (рисунок 1). Алгебраические уравнения в символьном виде системы ПЧ - АД имеют следующий вид:

$$X_1 - W_1 X_2 = 0; \quad (5)$$

$$X_1 + (1/W_2) * X_2 - X_3 = 0; \quad (6)$$

$$X_3 - W_3 X_4 = 0; \quad (7)$$

$$X_5 - W_1 X_6 = 0;$$

$$X_5 + (1/W_2) * X_6 - X_7 = 0; \quad (8)$$

$$X_7 - W_3 X_4 = 0;$$

$$X_1 - W_1 X_2 = 0; \quad (9)$$

$$X_8 + (1/W_2) * X_9 - X_{10} = 0 \quad (10)$$

$$X_{10} - W_3 X_4 = 0 \quad (11)$$

Следует отметить, что каждая система ПЧ – АД получает сигнал от общего регулятора скорости МАЭП. На вход регулятора скорости подаются сигналы: от источника питания, от сумматора сигналов обратных связей (напряжения датчиков скоростей двигателей и датчика регулятора скорости). Алгебраическое уравнение в символьном виде регулятора скоростей двигателей, с позиции удобства использования их в дальнейшем в программе MATLAB для расчета передаточной функции и определения

устойчивости движения МАЭП, после несложных преобразований запишем в следующем виде:

$$\frac{X_4}{u - k_4(X_4 + k_3(k_2X_5 - k_1X_1)) - k_4(X_4 + k_3(k_2X_8 - k_1X_5))} = w_4,$$

или

$$-k_1k_3k_4X_1 + (2k_4 + 1/w_4)X_4 + k_2k_3k_4X_8 = u. \quad (12)$$

В уравнениях (5), (6),..., (12) символьные переменные X_1, X_5, X_8 – являются угловой скоростью асинхронного двигателя, k_1, k_2, k_3, k_4 – коэффициенты. Программа образования передаточной функции МАЭП и определения её устойчивости движения приведена на рисунке 2. Программа составлена на основании алгоритмического языка системы MATLAB [5], которая позволяет осуществлять символьные вычисления системы линейных алгебраических уравнений. Программа состоит из описания системы алгебраических уравнений в символьном виде, описания передаточных функций МАЭП и функций MATLAB расчета передаточной функции системы, корней характеристического уравнения с выводом на дисплей ПК и графика переходного процесса заданной переменной.

```

Editor - C:\Program Files\MATLAB71\work\USTOISH_AD3.m
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
Stack: Base
1 - syms w1 w2 w3 w4
2 - S=solve(' (1/w1) *x1-x2=-0', 'x1+(1/w2) *x2-x3=0', ...
3 -         'x3-w3*x4=0', ' (1/w1) *x5-x6=-0', ...
4 -         'x5+(1/w2) *x6-x7=0', 'x7-w3*x4=0', ...
5 -         ' (1/w1) *x8-x9=-0', 'x8+(1/w2) *x9-x10=0', ...
6 -         ' (1/w3) *x10-x4=0', '-a*x1+(b+1/w4) *x4+a*x8=u', ...
7 -         'x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10' );
8 - S1=[S.x1]; S2=[S.x5]; S3=[S.x8];
9 - n1=[0.1785]; m1=[1 0];
10 - w1=tf(n1,m1);
11 - n2=[28]; m2=[0.05 1];
12 - w2=tf(n2,m2);
13 - n3=[25]; m3=[0.001 1];
14 - w3=tf(n3,m3);
15 - n4=[0.02 1]; m4=[0.04 1];
16 - w4=tf(n4,m4);
17 - K1=0.1; K2=0.1; K3=8; K4=0.1;
18 - a=K1*K3*K4; b=2*K4; u=5;
19 - Wc1=eval(S1); W1=minreal(Wc1)
20 - Wc2=eval(S2); W2=minreal(Wc2);
21 - Wc3=eval(S3); W3=minreal(Wc3);
22 - Q=(W1+W2+W3)/3;
23 - p=pole(Q)
24 - step(Q,5)
25 - grid
script Ln 24 Col 7 OVR
    
```

Рисунок 2 - Программа расчета передаточной функции и определения устойчивости движения МАЭП

В первой строке рисунка 2 введены имена символьных переменных (передаточные функции МАЭП). С третьей по восьмой строк осуществляется решение алгебраических уравнений в символьном виде с помощью функции *solve*. С десятой по семнадцатую строки показаны процедуры образования передаточных функций МАЭП с численными значениями в числителях и знаменателях функций. В восемнадцатой и девятнадцатой строках приведены численные значения коэффициентов обратных связей системы управления МАЭП. Функция *eval* (строка 20) обеспечивает получение передаточной функции $W_{c1}(s) = X_1/u$. Функция *minreal* (строка 20) позволяет выполнить сокращение передаточной функции $W_{c1}(s)$. Функция *pole* (строка 21) рассчитывает корни характеристического уравнения передаточной функции W_o . Передаточная функция $W_o(s)$ и численные значения корней характеристического уравнения передаточной функции приведены на рисунке 3.

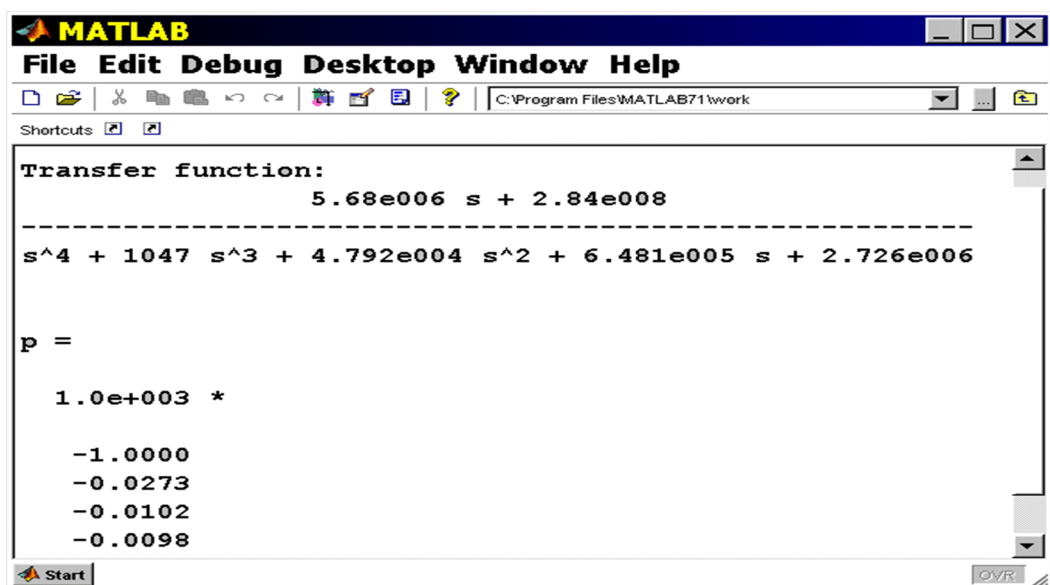


Рисунок 3 - Передаточная функция и корни характеристического уравнения

Из рисунка 3 видно, что корни характеристического уравнения получились с отрицательной действительной частью. Согласно [6] движение МАЭП устойчивое.

График переходных процессов скоростей согласованного вращения двигателей МАЭП дается на рисунке 4, вывод которых осуществляется на дисплей ПК командой *step* (Q,5) программы, показанной на рисунке 2.

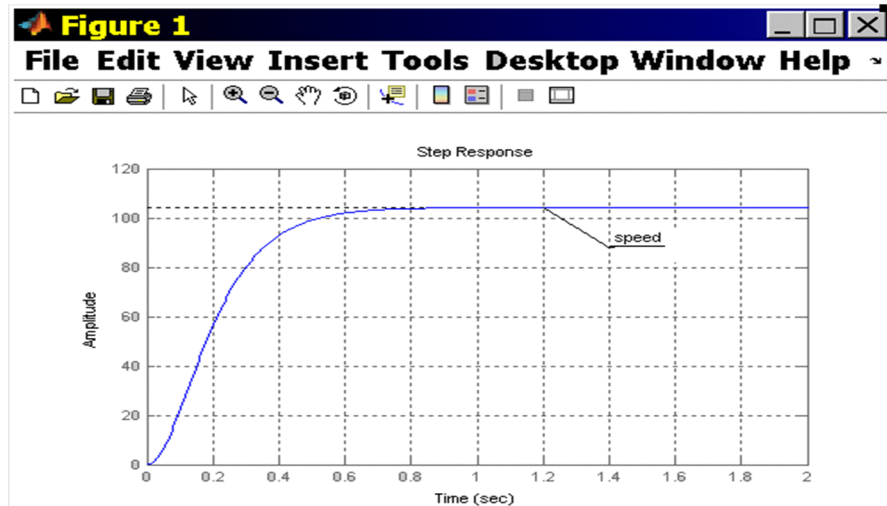


Рисунок 4 - Переходной процесс согласованного вращения двигателей

График переходных процессов скоростей, согласованного вращения двигателей частотно - регулируемого МАЭП, полученный в режиме его пуска, показан на рисунке 5.

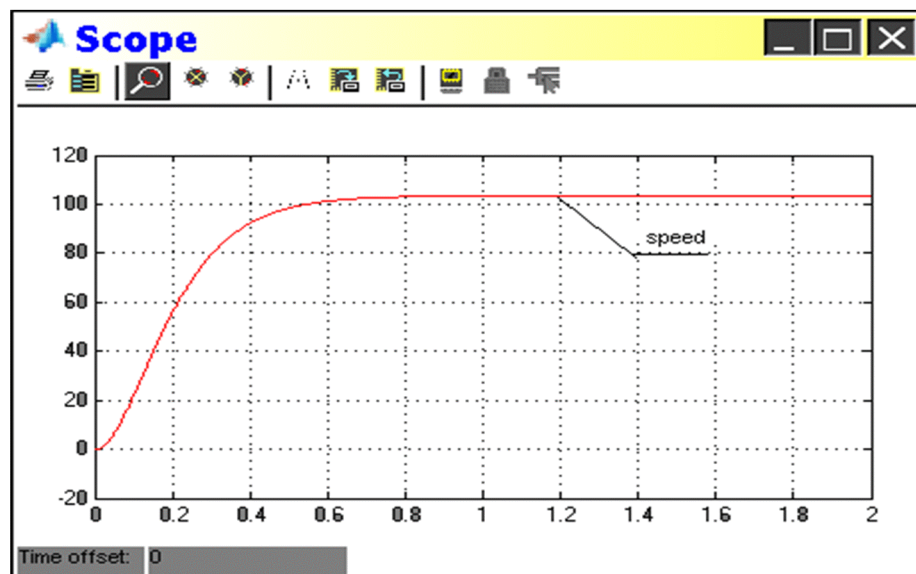


Рисунок 5 - Переходные процессы скоростей МАЭП

По форме и по численным значениям скоростей и времени графики переходных процессов скоростей идентичны, т.е. результаты счета, полученные по структурной схеме (рисунок 1), и результаты счета, полученные по программе (рисунок 2), получаются одинаковыми.

Выводы. 1. Математическая система MATLAB позволяет исследовать переходные процессы согласованного вращения двигателя МАЭП.

2. Передаточную функцию структурной схемы необходимо преобразовать в алгебраическое уравнение в символьном виде для решения их в системе MATLAB.

3. Программу определения передаточной функции и устойчивости движения МАЭП необходимо обозначить в символьной переменной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 304 с.
- [2] Ключев В.И. Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1998. –704 с.
- [3] Нетушила А.В. Теория автоматического управления, часть 1. – М.: Высшая школа, 1968.– 424 с.
- [4] Цыба Ю.А., Шадхин Ю.И., Тойгожинова Ж.Ж. Определение передаточной функции замкнутой системы ТП – ВД в программируемом комплексе MATLAB.// Вестник КазАТК, Алматы.: – 2014, № 6. – 170 – 174 с.
- [5] Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. MATLAB 7. – М.: ИТ Пресс, 2006. – 464 с.
- [6] Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления. – СПб.: Издательство «Профессия», 2004. –753 с.

REFERENCES

- [1] Terekhov I.M. Osipov O. I. M.: Publishing center «Akademy», 2008. 304 p.
- [2] Klyuchev V.I. Theory of electric drive. - M: Energoatomizdat, 1998. -704 p.
- [3] Netushila A.V. Theory of automatic control. - M.: The «High school», 1968. - 424 p.
- [4] Tsyba Yu.A., Shadkhin Yu.I., Toigozhinova Zh.Zh. Determination of the transfer function of the closed system TP - VD in the programmable complex MATLAB. // Vestnik KazATC, Almaty .: - 2014, No. 6. - 170 - 174 p.
- [5] Alekseev E.R., Chesnokova O.V. MATLAB 7. - M: IT Press, 2006. - 464 p.
- [6] Besekersky V.A., Popov E.P. M.: Profession Publishing house, 2004.- 753 p.

КӨП ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ АСИНХРОНДЫ ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ ҚОЗҒАЛТҚЫШ РОТОРЛАРЫНЫҢ ҚАЛЫПТЫ АЙНАЛУЫН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ

П. И. Сагитов, Ж. Ж. Тойгожинова

Қазақстан, Алматы, Алматы энергетика және байланыс университеті

Түйіндеме. Мақалада жиілікті реттелетін көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегінің құрылымдық сұлбасы қарастырылған. Көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегінің автоматты басқару жүйесі асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығын сәйкестендіреді. Көп қозғалтқышты асинхронды электр жетегінің қозғалыс тұрақтылығының беріліс функциясын анықтау үшін MATLAB жүйесінде бағдарлама өңделген, мұнда символдық түрде жүйенің алгебралық теңдеуі анықталады. Сонымен қатар асинхронды қозғалтқыш жылдамдығының қалыпты айналу сызбалары көрсетілген.

Тірек сөздер. құрылымдық сұлба, беріліс функциясы, бағдарлама, теңдеу, математикалық модель, өтпелі процесс, сызба.

THE STABILITY OF THE CONTROL SYSTEM OF THE COORDINATED ROTATION OF ENGINES ROTORS OF MULTI-ENGINE ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE

P.I. Sagitov, Zh. Zh. Toygozhinova

(Kazakhstan, Almaty, Almaty University of Power Engineering & Telecommunications.)

Abstract. The article deals with the block diagram of frequency-controlled multi-motor asynchronous electric drive (MAEP). The automatic control system of MAEP provides matching the speed of the asynchronous motor. To determine the transfer function of the stability of the motion MAEP developed a program in the MATLAB system, where the system of algebraic equations is solved in symbolic form. Graphs of the matched rotation speed of the asynchronous motor are shown.

Keywords. flow diagram, transfer function, program, equation, mathematical model, transient process, chart.

УДК 62-82 (075.8)

Д.А.Длимов (научный руководитель к.т.н. проф. Ю. Цыба)

Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы

МОДЕРНИЗАЦИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРЯМОТОЧНОГО ВОЛОЧИЛЬНОГО СТАНА

Аннотация. Рассматривается система согласования скоростей волочильных барабанов в электроприводе прямоточного волочильного стана. По схеме преобразователь частоты – асинхронный двигатель с трехконтурной системой подчиненного регулирования с целью стабилизации величин противонатяжений проволоки между барабанами. Приводятся результаты исследований разработанной системы электропривода на компьютерной модели в среде программного комплекса MatLab, которые подтверждают её соответствие технологическим требованиям.

Ключевые слова: стан, волочильный барабан, волока, проволока, электропривод, асинхронный двигатель, преобразователь частоты, мощность, обрывность, подчиненное регулирование, датчик, соотношение скоростей, стабилизация, переднее натяжение, противонатяжение, усилие волочения.

Анализ конструктивных и технологических особенностей волочильных машин позволил сделать вывод о том, что наиболее перспективными волочильными машинами являются прямоточные станы. Большой опыт создания прямоточных волочильных станков (ПВС) с электроприводом постоянного тока на территории бывшего Советского Союза принадлежит Алматинскому заводу тяжелого машиностроения (сегодня г.Алматы, Республика Казахстан, АО АЗТМ).

Эти станы, первоначально разработанные для волочения высокоуглеродистой стали, особенно для диаметров свыше 2 мм, а также проволоки из напряженного железобетона, поскольку такая проволока не может волочиться на станах с накоплением, пригодны для скоростного волочения любых материалов благодаря простому прямоточному направлению проволоки с барабана на барабан. Другим неоспоримым преимуществом ПВС является то, что противонатяжение проволоки между волочильными барабанами уменьшает давление на стенки канала волоки и потери на трение, тем самым уменьшая мощность, потребляемую электроприводом, температуру волоки и проволоки, увеличивает стойкость волочильного инструмента и качество проволоки по сравнению с волочением без противонатяжения на остальных типах волочильных машин [1].

Однако, несмотря на очевидные преимущества ПВС, основным фактором, снижающим коэффициент их технического использования, является повышенная обрывность проволоки и большие потери времени на следующие перезаправки стана из-за обрывов. Поэтому решение задачи по повышению производительности и энергоэффективности при волочении с противонатяжением за счет увеличения скорости волочения без уменьшения обрывности малоэффективно.

Частота обрывов определяется уровнем и стабильностью величин противонатяжений проволоки между волочильными барабанами, которые могут меняться значительно из-за изменения давлений на волоки как вследствие износа волочильного инструмента и изменения физико-механических свойств проволоки, так и в следствие возмущающих воздействий поступающих со стороны соседних блоков, размоточного и намоточного устройств.

Поэтому выполнение технологического требования по стабилизации величины противонатяжения может быть осуществлено при оснащении станков системой

автоматического регулирования, техническая реализация которой возможна при наличии информации о нем. Эта информация может быть получена двумя способами - путем непосредственного измерения противонатяжения либо с помощью косвенной его оценки. Теоретически, системы управления с полной информацией при непосредственном измерении силовых параметров датчиками обладают рядом преимуществ по сравнению с другими системами в том числе и точностью регулирования [3].

Для измерения величины силы волочения N_i требуются специальные датчики. Поэтому в целях упрощения силу волочения N_i целесообразно определять через величину противонатяжения проволоки Q_i в каждом отдельно взятом межбарабанном промежутке и давлении на волоку P_i .

Величина N_i связана с давлением на волоку, противонатяжением и тяговым усилием T_i следующими соотношениями

$$\left. \begin{aligned} N_i &= P_i + Q_{i-1}; \\ N_i &= T_i + Q_i; \\ Q_i &= \sum_{j=1}^i P_j - \sum_{j=1}^i T_j + Q_0; \\ T_i &= \frac{\alpha_i M_{двi}}{R} - \frac{\alpha_i}{R} J_i p_i \omega_i. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Величина T_i определяется моментом на валу двигателя $M_{двi}$, передаточным числом редуктора α_i , радиусом волочильного барабана R и дополнительным моментом инерции J_i привода волочильного блока в переходных режимах работы стана, который имеет отрицательную величину при торможении и положительную при разгоне, что в свою очередь, увеличивает вероятность обрыва проволоки.

Давления на волоку и противонатяжение целесообразно определять контактными датчиками. Датчик давления на волоку, который встраивается в кассету волокодержателя, показан на рисунке 1, а, где 1 – измерительная пластина; 2 – мембрана; 3 – волока; 4 – кассета. Схема установки датчика противонатяжения показана на рисунке 1, б, где 1 – силоизмерительный ролик с датчиком; 2 – волочильный барабан; 3 - волокодержатель; 4 - кассета с волокой.

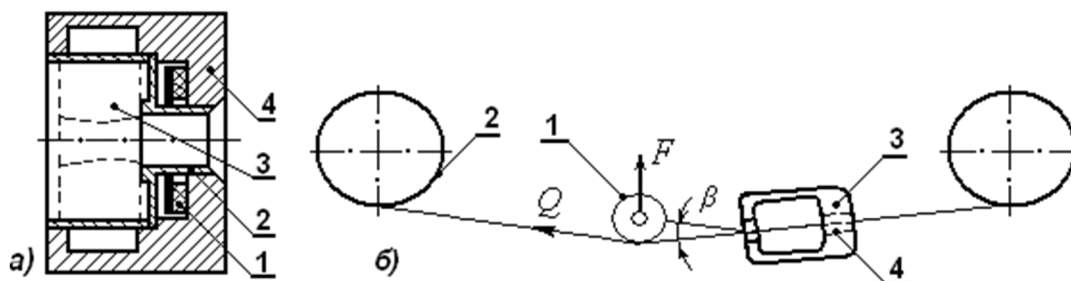


Рисунок 1 - Схема установки датчиков давления на волоку и противонатяжения

При использовании датчика давления сила волочения определяется из выражения

$$N_i = \sum_{j=1}^i P_j - \sum_{j=1}^{i-1} T_j + Q_0, \quad (2)$$

а при измерении противонапряжения – по второму уравнению системы уравнений (1).

Система регулирования, построенная по уравнениям (1) и (2), представляет собой систему с полной информацией и должна обеспечивать необходимое качество регулирования. При этом величины отклонений силы волочения ΔN_i для стана с системой регулирования не превышают допустимых значений во всех режимах работы стана, и чем больше коэффициент усиления контура системы k_i , тем меньше статическая и динамическая погрешности. Тогда как на станах с системой саморегулирования величина отклонения силы волочения имеет тот же порядок, что и величина изменения давления на волоку, зависящего от величины противонапряжения, допуска на заготовку, смазки, качества волокна и т.д. В связи с чем изменение давления на волоку на одном из блоков или на нескольких вызывает существенное отклонение величины силы волочения от допустимого значения, что в большинстве случаев приводит к обрыву проволоки.

В волочильном стане для измерения частоты вращения двигателей достаточно использовать датчик (тахогенератор), установленный на один из двигателей стана, так как скорости двигателей связаны соотношением

$$\omega_j = \frac{\alpha_j}{\alpha_i} \omega_i \prod_{m=1}^{j-1} \mu_m \prod_{k=j+1}^i \mu_k, \quad (3)$$

где μ_k – вытяжка проволоки на k_i – м блоке; $i > j$.

При установке тахогенератора на последнем блоке стана, сигнал с него подается на все контуры регулирования с соответствующими коэффициентами.

Известно, что нормальный режим процесса волочения существенно зависит от точности согласования угловых скоростей волочильных барабанов, что обеспечивает равенство секундных объемов обрабатываемого материала и стабилизацию противонапряжений проволоки на заданном уровне [2,3,4].

В настоящее время расширяются возможности систем регулирования асинхронных электроприводов за счет создания преобразователей частоты с микропроцессорным управлением, что позволяет осуществить необходимую точность согласования угловых скоростей приводных электродвигателей и тем самым обеспечить требования технологического процесса по стабилизации противонапряжений проволоки на заданном уровне. Наряду с этим применение в ПВС энергоэффективного многодвигательного асинхронного электропривода с преобразователями частоты дает возможность уменьшить удельные энергозатраты на единицу продукции не только за счет противонапряжения, но и за счет самого электропривода. Функциональная схема предлагаемого для модернизации многодвигательного асинхронного электропривода стана с индивидуальными преобразователями частоты на каждый двигатель приведена на рисунке 3.

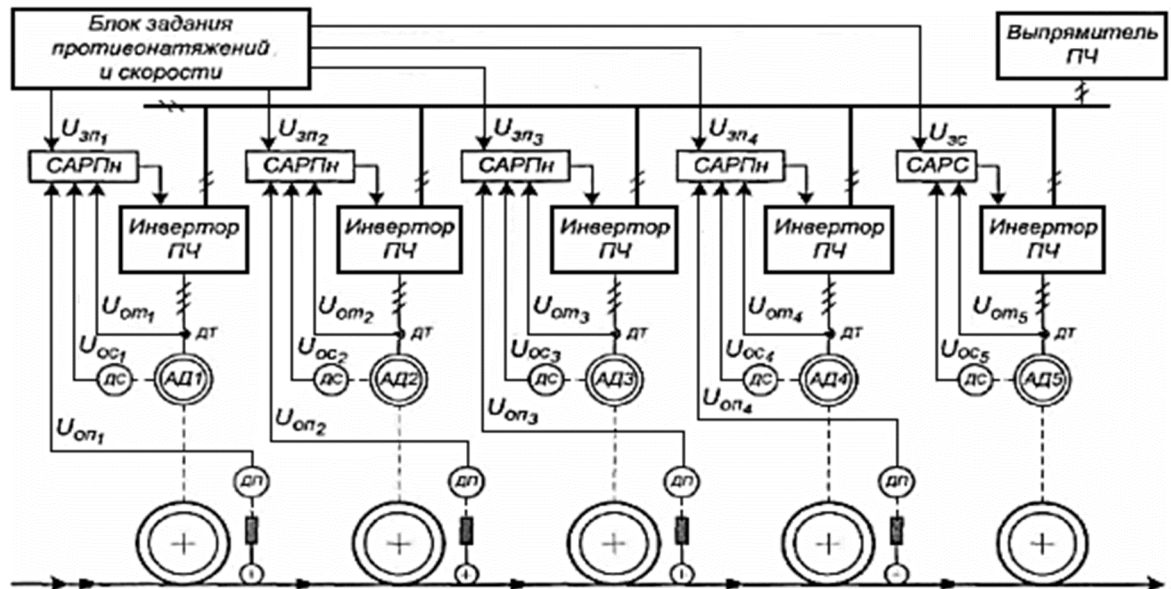


Рисунок 3 - Функциональная схема многодвигательного асинхронного электропривода стана

Система автоматического управления электроприводом ПВС является трехконтурной системой подчиненного регулирования противонапряжений с полной информацией поскольку имеет датчики: противонапряжения - ДП; тока - ДТ и скорости - ДС. При этом система каждого волочильного блока, кроме последнего, представлена внутренним контуром регулятора тока, контуром регулирования скорости и внешним контуром регулирования противонапряжения - САРПН. Система регулирования скорости последнего вытяжного блока, который является ведущим, содержит только внутренний контур регулирования тока и внешний контур регулирования скорости.

При настройке регулятора скорости, который является внутренним в системе регулирования натяжений с целью исключения перерегулирования скорости и обеспечения апериодического переходного процесса необходимо применять настройку на технический оптимум, с астатизмом первого порядка по управляющему воздействию и статическую настройку по отношению к возмущающему воздействию.

Выводы

1. Для стабилизации противонапряжений проволоки между волочильными барабанами целесообразно применять системы управления, с полной информацией которые по сравнению с известными системами обеспечивают более высокую точность регулирования особенно в станах с большим числом волочильных блоков.

2. Трехконтурная система подчиненного регулирования обеспечивает необходимое соотношение угловых скоростей приводных электродвигателей стана, а, следовательно, и стабилизацию противонапряжений проволоки между волочильными барабанами в многодвигательном асинхронном электроприводе ПВС по схеме ПЧ-АД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цыба Ю.А. Влияние противонатяжения на энергетику процесса волочения проволоки. Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. Тынышпаева.– 2013. –№2(81). -С.58-62.
2. Радионов А.А., Усатый Д.Ю. Линьков С.А. Основные направления реконструкции волочильных станов ОАО "Белорецкий металлургический комбинат"//Электротехнические системы и комплексы: Межвуз. сб. науч. тр.- Магнитогорск: МГТУ, 2004. Вып.9.-С.69-73.
3. Цыба Ю.А., Смагулова Г.К., Бестерекова А.Н. Основные принципы построения систем регулирования электроприводом прямоточных волочильных станов. Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. Тынышпаева.– 2014.– № 3(88). – С.225-232.
4. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш. Энергосберегающий асинхронный электропривод. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – С. 134-136.

MODERNIZATION OF THE MULTI-ENGINE ELECTRIC DRIVE OF THE DIRECT-FLOW DRAWING CAMP

D.A. Dlimov (research supervisor PhD in Technological Sciences prof. Yu. Tsyba)

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty

The system of speeds coordination of drawing drums in the electric drive of a direct-flow drawing camp according to the scheme the frequency converter – the asynchronous engine with the three-planimetric system of the subordinate of regulation for the purpose of stabilization of sizes of antitension of a wire between drums is considered. Results of researches are given on the developed system of the electric drive computer model done by MatLab program which confirm its compliance to production requirements.

Keywords. a camp, a drawing drum, a voloka, a wire, the electric drive, the asynchronous engine, the frequency converter, power, an obryvnost, the subordinated regulation, the sensor, a ratio of speeds, stabilization, a forward tension, an antitension, drawing effort.

В.И. Дмитриченко¹, М.В. Башкиров¹, Р.М. Нигматулин¹, И.В. Казанина¹
¹Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Казахстан

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ЭЛЕКТРОСЕТЯХ 6-10 кВ

Аннотация. Расширение электросетей 6-10 кВ, а также применение нового современного оборудования сопровождаются ростом аварийности и снижением надежности электроснабжения. Это усложняет исследование сложных и опасных процессов однофазных замыканий на землю в этих электросетях.

Переходные процессы при замыканиях на землю в электросетях 6-10 кВ достаточно сложны, их качественные и количественные характеристики зависят от большого числа влияющих факторов, применяемых средств ограничения токов и напряжений, конфигурации и протяженности электросети, характеристик дуг, ОПН, коммутационных элементов и др.

Наиболее предпочтительным способом изучения процессов ОЗЗ, особенно на начальном этапе исследований, является моделирование схем электроснабжения, а также режимов работы оборудования с применением цифровой техники. Степень влияния этих факторов исследована недостаточно и существующие средства (эксперимент, средства регистрации, упрощенные модели) не позволяют это сделать.

В данной статье произведен выбор факторов, оказывающих наибольшее влияние на процессы ОЗЗ (ДГР и РС-гасители) и диапазоны их значений, на основании анализа статистики повреждений и работы рассматриваемой схемы электроснабжения.

Ключевые слова: однофазные замыкания на землю, перенапряжения, дугогасящие реакторы, РС-гасители.

Показатели надежности систем электроснабжения определяются в первую очередь надежностью распределительных электросетей напряжением 6-10 кВ. По данным литературных источников аварийность в сетях напряжением 6-10 кВ, работающих с различными режимами нейтрали, определяется в значительной степени внутренними перенапряжениями (ПН).

Наиболее существенными внутренними ПН в электросетях 6-10 кВ являются:

- коммутационные, возникающие в результате срабатывания коммутирующих аппаратов при выполнении оперативных переключений;
- аварийные, возможные из-за переходных процессов при перекрытии изоляции в результате удара молнии (в воздушных линиях), либо при неустойчивом (перемежающемся) горении дуги в месте однофазного замыкания на землю (ОЗЗ), преимущественно в кабельных линиях;
- резонансные в сетях с дугогасящими реакторами (ДГР), которые могут возникнуть в нейтрали и фазах сети с ДГР вследствие резонанса в контуре, состоящем из его индуктивности и емкости сети на землю;
- многообразные феррорезонансные.

Анализ материалов регистрации аварийных процессов и опыты эксплуатации сетей 6-10 кВ позволяет сделать следующие выводы:

- перенапряжения от перемежающейся дуги вызывают повреждения ослабленной изоляции в других точках сети;
- отыскание и устранение мест с ослабленной изоляцией обычно затруднительны, так как в большинстве случаев необходимы многократные операции отключения и включения одних и тех же элементов сети;
- значительную долю повреждений в электросетях составляют повреждения кабелей с бумажно-пропитанной изоляцией (КЛ-БПИ) и с изоляцией из сшитого полиэтилена (КЛ-СПЭ).

Основными причинами замыканий на землю являются:

- в воздушных сетях: повреждения опор линий, перекрытие и повреждения изоляции на опорах, повреждения кабельных муфт при переходе воздушных линий в кабельные;
- в кабельных сетях: повреждение изоляции на подстанциях, повреждение концевых и соединительных муфт, повреждение при земляных работах в районе трассы кабеля, повреждения в кабелях.

Наиболее уязвимым элементом электрической сети при воздействии внутренних ПН являются кабели, обычно в местах соединения их друг с другом и с остальными элементами сети. Поэтому значительная доля повреждений связана с ПН при ОЗЗ в кабельных сетях (по данным – 77% общего числа повреждений).

Однофазные замыкания возникают, как правило, в местах дефектов изоляции кабельных линий и оборудования подстанций из-за старения изоляции, невыполнения технологии изготовления изоляционных конструкций на заводах, норм и инструкций при монтаже и эксплуатации оборудования, а также механических повреждений, которые в момент их появления приводят лишь к частичному снижению электрической прочности изоляции.

Внутренние ПН часто возникают при переходных процессах от перемежающейся дуги и опасны для изоляции электроустановок своей продолжительностью и шириной охвата сети, электрически связанной с местом повреждения.

Большое влияние на процесс старения изоляции оказывают технологические и эксплуатационные факторы. К технологическим факторам относят скрытые дефекты изготовления и монтажа; использование материалов, не удовлетворяющих предъявляемым к ним требованиям; изменение режимов термовакуумной обработки изоляции после изготовления; дефекты опрессовки. К эксплуатационным факторам, если исключить аварии, вызванные ошибками персонала, относятся перегрузки, токи короткого замыкания (КЗ), коммутационные и грозовые ПН. Перегрузки ведут к зарождению различного рода дефектов, которые затем развиваются в рабочем режиме.

Сложная органическая изоляция кабелей, соединительных и концевых кабельных муфт обладает свойством накапливать дефекты. Особенно уязвимы в этом отношении КЛ – СПЭ. Воздействие ПН на такую изоляцию сопровождается резким снижением электрической прочности, которая не восстанавливается до первоначального состояния после прекращения воздействия ПН. Последствие ПН заключается в кумулятивном развитии слабых мест (дефектов), т.е. каждое их воздействие подготавливает пробой при последующих случайных ПН.

Следует отметить, что накопление дефектов и ослабление изоляции приводит к тому, что ослабленная изоляция может быть затем повреждена и умеренными ПН или другими воздействиями. Поэтому ПН являются скрытой причиной большего числа аварийных отключений, чем это указывается в литературе.

Междуфазное КЗ возникает, как правило, после многократных случайных воздействий. В сложном комплексе мест с ослабленной изоляцией нарушение в электросети происходит тогда, когда хотя бы одно место с наиболее ослабленной изоляцией (с наибольшим дефектом) окончательно потеряет электрическую прочность.

Для обеспечения достаточно высокой эксплуатационной надежности необходимо принимать меры по усилению изоляции и ограничению ПН. Второй путь, как менее затратный, является более предпочтительным.

Наиболее частым видом внутренних ПН в электросетях 6-10 кВ являются ПН, связанные с ОЗЗ. Их доля от всех видов аварий составляет до 80 %.

За последние годы средний удельный показатель повреждаемости электрооборудования сетей по электрическим причинам возрос примерно на порядок и по данным опыта эксплуатации в настоящее время, с учетом пробитого при испытаниях,

составляет более 100 повреждений на каждые 100 км сети в год. В подавляющем большинстве случаев (до 90 % общего числа нарушений нормальной работы сети) повреждение начинается с пробоя изоляции на землю, а затем больше половины из них в сложившейся обстановке развиваются в междуфазные КЗ или многоместные пробой изоляции с групповым выходом из строя электрооборудования (веерные отключения отходящих линий).

Наибольшую опасность представляют дуговые ПН, возникающие в сети при перемежающемся характере горения дуги в месте пробоя фазной изоляции на землю, так как дуга может повредить изоляцию и вызвать двух- или трехфазное КЗ. По многочисленным статистическим данным, около 60% всех замыканий на землю в этих электрических сетях носят именно такой характер. Погасание и зажигание перемежающейся дуги вызывает сложные переходные процессы, интенсивность которых, как показывает опыт эксплуатации, зависит от таких факторов, как конструкция кабеля, характеристика дуги, емкость сети относительно земли, индуктивность, сопротивление цепи и др. При этом увеличение тока замыкания на землю приводит к росту вероятности перехода ОЗЗ в межфазное непосредственно в точке горения дуги.

Кроме случаев с ОЗЗ, перенапряжения возникают при двойных замыканиях, при поиске поврежденного фидера поочередным отключением-включением отходящих линий, а также провоцируются другими штатными оперативными переключениями. При этом первопричиной многих ПН являются токи высших гармоник (ВГ), не компенсирующиеся посредством ДГР в месте повреждения и поддерживающие дуговой разряд как по интенсивности, так и по длительности. Поэтому максимальное ограничение токов в месте повреждения является действенной мерой снижения ПН в электросетях.

Таким образом, несмотря на значительные запасы электрической прочности изоляции, аварийность электросетей напряжением 6-10 кВ по причине внутренних ПН достаточно высока. Поэтому разработка эффективных средств исследования процессов, сопровождающихся перенапряжениями в этих сетях, и средств их ограничения в настоящее время весьма актуальна.

В этой связи общее назначение мер защиты от ПН состоит в том, чтобы при минимальных дополнительных затратах получить максимальный экономический эффект от снижения ущерба, вызванного ПН. Эту задачу призваны выполнить мероприятия, обеспечивающие снижение уровня ПН и, тем самым, вероятности пробоя или перекрытия изоляции.

Меры и средства защиты электросетей от ПН разделяют на превентивные и коммутационные. Превентивные меры защиты оказывают постоянное влияние на сеть. Их назначение – предотвратить возникновение ПН или способствовать ограничению их величины (ДГР, резистивное заземление нейтрали, РС-гасители).

Коммутационные средства защиты от ПН содержат в себе коммутирующие элементы, которые срабатывают, когда ПН в точке их установки превысит некоторую критическую величину (защитные промежутки, ОПН).

Из существующих средств снижения ПН путем ограничения токов в месте повреждения (устранение причины, а не борьба со следствиями) наиболее эффективным является применение ДГР и РС-гасителей. Недостатками других устройств и мероприятий являются следующие:

- релейная защита на отключение инерционная из-за необходимости обеспечения селективности;

- ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН) имеют «зону замирания» длительностью до 40 м/сек с момента возникновения ПН, а также характеризуются высокими уровнями напряжения срабатывания;

- резистивное заземление нейтрали электросети в большинстве случаев малоэффективно (необходимо примерное равенство емкостного тока сети и активного тока резистора) и используется в основном для повышения чувствительности релейной защиты;

- применение фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ) ограничивается нестабильностью процессов ОЗЗ и изменяющимся спектром гармонических составляющих тока в месте повреждения.

Однако для практического применения ДГР и RC-гасителей нужны достаточно масштабные исследования по каждой секции шин питающей подстанции, практически единственным и реальным способом проведения которых является на начальном этапе моделирование режимов работы электросетей с применением современной цифровой техники.

Определение влияния наиболее значимых факторов на токи в месте повреждения при ОЗЗ осуществлялось для проблемной секции шин подстанции 110/10 кВ в АО «АЖК» (г. Алматы), на которой происходят частые ОЗЗ с переходом в двойные и с веерными отключениями до 5-6 отходящих КЛ. С этой целью были рассчитаны параметры схемы замещения и произведено моделирование металлического ОЗЗ в программе Matlab по методике математического планирования экспериментов (МПЭ).

Факторами матрицы МПЭ (таблица 1) приняты подключение (+) или отключение (-) ДГР (X_1), а также подключение (+) или отключение (-) RC-гасителей (X_2) с параметрами промышленного изготовления.

Таблица 1 – Матрица двухфакторного эксперимента для отрезка времени 0 – 40 мсек с момента возникновения металлического ОЗЗ; емкостный ток замыкания на землю составляет 82 А

№	Факторы			Функции			
	X_0	X_1	X_2	I	I_1	$I_{вг}$	$I_{пос}$
1	+	-	-	177,0	77,0	159,0	3,9
2	+	+	-	154,0	6,0	154,0	4,2
3	+	-	+	136,0	79,0	111,0	3,4
4	+	+	+	120,0	4,5	119,0	5,1

где I – суммарное действующее значение тока в месте повреждения, А;

I_1 – действующее значение тока основной гармоники (50 Гц), А;

$I_{вг}$ – действующее значение токов высших гармоник, А;

$I_{пос}$ – постоянная составляющая тока в месте повреждения, А.

В общем виде функция отклика (интересующая нас зависимость) имеет вид:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1 x_2 \quad (1)$$

По результатам экспериментов и после расчета коэффициентов b уравнения по известным методикам функции процесса ОЗЗ представлены следующим образом:

$$I = 146,8 - 9,9x_1 - 18,8x_2 + 1,8x_1x_2.$$

$$I_1 = 41,7 - 36,5x_1 + 0,08x_2 - 0,9x_1x_2.$$

$$I_{вг} = 138,8 - 0,75x_1 - 20,8x_2 + 3,25x_1x_2.$$

$$I_{пос} = 4,15 + 0,5x_1 + 0,1x_2 + 0,35x_1x_2.$$

После проверки значимости коэффициентов b уравнения принимают окончательный вид:

$$I = 146,8 - 9,9x_1 - 18,8x_2.$$

$$I_1 = 41,7 - 36,5x_1.$$

$$I_{вт} = 138,8 - 20,8x_2.$$

$$I_{пос} = 4,15 + 0,5x_1 + 0,35x_1x_2.$$

Полученные зависимости в значительной степени согласуются с литературными данными, что позволяет утверждать об адекватности моделирования процессов ОЗЗ на рассматриваемой секции шин питающей подстанции.

Представленная методика проведения моделирования процессов ОЗЗ с использованием МПЭ и обработки данных имеет следующие достоинства:

- минимально необходимое число экспериментов;
- достаточно четкое определение значимости влияния каждого фактора на токи в месте ОЗЗ;
- возможность рассчитывать параметры процессов ОЗЗ без выполнения экспериментов с промежуточными значениями факторов.

Результаты моделирования достаточно адекватны для рассматриваемой схемы электроснабжения и представлены в виде уравнений зависимости токов в месте ОЗЗ от изменения параметров ДГР и РС-гасителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Половой И.Ф., Михайлов Ю.А., Халилов Ф. Х. Внутренние перенапряжения на электрооборудовании высокого и сверхвысокого напряжения. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 152 с.
- [2] Алексеев В.Г., Зихерман М.Х. Феррорезонанс в сетях 6-10 кВ // Электрические станции. – 1979. - №1. с. 63-65.
- [3] Лисицин Н.В. Аварийные режимы в сетях с изолированной нейтралью и способ контроля изоляции // Электрические станции. – 1996. - №1. – с. 42-48.
- [4] Зихерман М.Х., Левковский А.И. Резонансные процессы в сетях 35 кВ с трансформаторами напряжения // Электрические станции. – 1996. - №5. – с. 54-56.
- [5] Дмитриченко В.И., Дюсебаев М.К., Башкиров М.В., Абдимуратов Ж.С. и др. Патент РК № 33018 на изобретение «Устройство защиты электрооборудования от перенапряжений в электрических сетях». – Бюллетень №30, 2018

REFERENCES

- [1] Polovoi I.F., Mikhaylov Yu.A., Khalilov of F.H. Vnutrenniye of an overstrain on electric equipment of high and ultrahigh voltage. – L.: Energoatomizdat, 1990. – 152 pages (russian).
- [2] Alekseev V. G., Zikherman M. H. Ferrerezonans in networks of 6-10 kV//Power plants. – 1979. - №1. page 63-65. (russian)
- [3] Lisitsin N. V. Emergency operation in networks with the isolated neutral and a way of control of isolation//Power plants. – 1996. - № 1. – page 42-48. (russian)
- [4] Zikherman M. H., Levkovsky A.I. Resonant processes in networks of 35 kV with tension transformers//Power plants. – 1996. - №. 5. – page 54-56. (russian)
- [5] Dmitrichenko V.I., Dyusebayev M.K., BashkirovM.V., Abdimuratov Zh.S., etc. The patent RK №. 33018 for the invention "The device of protection of electric equipment against retension in electric networks". – Bulletin №. 30, 2018. (russian)

V.I. Dmitrichenko, M.V. Bashkirov, R.M. Nigmatullin, I.V. Kazanina

¹Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan

DETERMINATION OF CURRENTS OF THE HIGHEST HARMONICS IN POWER SUPPLY NETWORKS 6 - 10 kV

Abstract. Expansion of power supply networks of 6-10 kV, and also use of the new modern equipment are followed by growth of accident rate and decrease in reliability of power supply. It complicates research of difficult and dangerous processes of single-phase short circuits on the earth in these power supply networks.

Transition processes at short circuits on the earth in power supply networks of 6-10 kV are rather difficult, their qualitative and quantitative characteristics depend on a large number of the influencing factors, the applied means of restriction of currents and tension, a configuration and the extent of the power supply network, characteristics of arches, OPN, switching elements, etc.

Modeling of schemes of power supply, and also equipment operating modes with use of digital equipment are the most preferable way of studying the processes of OZZ, especially at the initial stage of researches. The influence of these factors is investigated insufficiently and the existing means (experiment, means of registration, the simplified models) don't allow to do it.

In this article the choice of the factors having the greatest impact on processes of OZZ (DGR and RC quenchers) were discussed as well as the ranges of their values on the basis of the analysis of statistics of damages and work of the considered scheme of power supply.

Key words: single-phase short circuits on the earth; overstrain; dugogasyashchy reactors, RC quenchers.

В.И.Дмитриченко¹, М.В.Башкиров¹, Р.М. Нигматуллин¹, И.В.Казанина¹

¹Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан

ЭЛЕКТР ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ ЖОҒАРЫ ГАРМОНИКАЛАРДЫҢ ТОКТАРЫН АНЫҚТАУ 6-10 кВ

Аңдатпа. 6-10 кВ электр желілерін кеңейту, сондай-ақ жаңа қазіргі заманғы жабдықтарды қолдану апаттылықтың өсуімен және электрмен жабдықтау сенімділігінің төмендеуімен сүйемелденеді. Бұл электр желілеріндегі жерге бір фазалы тұйықталудың күрделі және қауіпті процестерін зерттеуді қиындатады.

6-10 кВ электр желілеріндегі жерге тұйықталу кезіндегі өтпелі процестер өте күрделі, олардың сапалық және сандық сипаттамалары әсер ететін факторлардың көп санына, ток пен кернеуді шектеудің қолданылатын құралдарына, электр желісінің конфигурациясы мен ұзақтығына, дог, ОПН, коммутациялық элементтердің сипаттамаларына және т.б. байланысты.

ОЗЗ процестерін, әсіресе зерттеудің бастапқы кезеңінде зерделеудің ең қолайлы тәсілі электрмен жабдықтау сұлбаларын модельдеу, сондай-ақ цифрлық техниканы қолдану арқылы жабдықтың жұмыс режимдерін болып табылады. Бұл факторлардың әсер ету дәрежесі жеткіліксіз және қолданыстағы құралдар (эксперимент, тіркеу құралдары, оңайлатылған модельдер) зерттелмеген.

Бұл мақалада ЖҚЗ процестеріне (ДГР және РС-сөндіргіштер) және олардың мәндерінің диапазондарына ең көп әсер ететін факторларды таңдау, бұліну статистикасын талдау және қарастырылып отырған электрмен жабдықтау схемасының жұмысы негізінде жүргізілді.

Кілттік сөздер: жерге бір фазалы тұйықталу; асқын кернеу; доға сөндіргіш реакторлар, РС-сөндіргіштер.

МРНТИ 68.85.83

А.Б.Бисекен

Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Казахстан

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

Аннотация. В статье приведено обоснование необходимости восстановления деталей, в частности коленчатых валов автомашин, условия их работы, приводящие к износу шеек коленчатого вала и приведен краткий анализ электротехнологических способов восстановления коленчатых валов, который показал отсутствие действенного, соответствующего рыночным условиям способа восстановления. Анализ подвергались лишь электротехнологические способы используемые при восстановлении чугунных коленчатых валов, так как они носят специфический характер.

Ключевые слова. коленчатый вал, электротехнологические способы, под слоем флюса, ферромагнитная шихта.

Сдерживающим фактором снижения производительности сельскохозяйственного механизированного труда является отсутствие запасных частей к сельскохозяйственной технике тракторам и автомобилям.

Известно, что в сезон полевых работ до 35% простоев техники объясняется именно несвоевременной (из-за отсутствия) поставкой запасных частей.

По данным Министерства сельского хозяйства РК до 70% тракторов простаивают по причине отсутствия коленчатых валов.

С позиции материалоемкости воспроизводства машин экономическая целесообразность ремонта обусловлена возможностью повторного использования большинства деталей как годных, так и предельно изношенных после восстановления. Это позволяет осуществлять ремонт в более короткие сроки с меньшими затратами металла и других материалов по сравнению с затратами при изготовлении новых машин.

Расширение же производства новых запасных частей связано с увеличением материальных и трудовых затрат. В месте с тем около 75% деталей, выбраковываемых при первом капитальной ремонте автомобилей, являются ремонтпригодными либо могут быть использованы вообще без восстановления [1, 2]. Поэтому целесообразной альтернативой расширению производства запасных частей является вторичное использование изношенных деталей, восстанавливаемых в процессе ремонта автотракторной техники и их агрегатов.

Из ремонтной практики известно, что большинство выбракованных по износу деталей теряет не более 1-2% исходной массы. При этом прочность деталей практически сохраняется. Например, 95% деталей двигателей внутреннего сгорания выбраковывают при износах, не превышающих 0,3 мм, и большинство из них могут быть вторично использованы после восстановления.

Одной из дорогостоящих деталей двигателей автомобилей, тракторов, комбайнов является коленчатый вал. Коленчатые валы автотракторных двигателей в настоящее время восстанавливаются различными видами наплавки. Технология восстановления стальных коленчатых валов разработана достаточно хорошо и не вызывает больших проблем. Восстановление чугунных коленчатых валов вызывает определенные сложности в силу особенностей высокопрочного чугуна из которого они изготавливаются, поэтому разработка метода восстановления чугунных коленчатых валов автотракторных двигателей является актуальной задачей, ввиду того, что чугунные коленчатые валы находят все более

широкое применение [3], поэтому произведем краткий обзор электротехнологических способов восстановления чугунных коленчатых валов.

Электротехнологические способы восстановления охватывают широкий круг от гальванических (хромирование, осталивание и т.п.) способов, наиболее часто используемых электродуговых (наплавка под слоем флюса, вибродуговая наплавка, наплавка в среде углекислого газа, наплавка по плавящейся оболочке), плазменная наплавка и напыление, электрометаллизация, лазерная наплавка и т.п.

Коленчатые валы автотракторных двигателей изготавливают литьем из магниевого чугуна с шаровидным графитом марок ВЧ-50-1,5 и ВЧ-50-2. Чугунные валы нагревают до 640...660°C, выдерживают 3...4 часа и охлаждают на воздухе (коленчатый вал ГА3-53) [12]. Твердость 40...50HRC.

Коленчатый вал двигателя внутреннего сгорания работает в условиях действия переменных сил и моментов от давления газов в цилиндре двигателя, инерционных сил из-за неравномерности движения деталей шатунно-поршневой группы и вибраций от крутильных и изгибающих колебаний вала [6].

Под влиянием одновременного воздействия давления газов и сил инерции (а также их моментов) в коленчатом вале возникают циклически изменяющиеся напряжения кручения и изгиба. Напряжения кручения могут достигать очень большой величины, особенно в случае совпадения частоты изменения возбуждающей их силы с частотой собственных крутильных колебаний вала. Это приводит к образованию в наиболее напряженных местах усталостных трещин, развитие которых может вызвать поломку вала. Запас усталостной прочности для автотракторных валов невелик и равен 1,5...3,0 [4]. Поэтому усталость может явиться лимитирующим фактором, определяющим служебную долговечность вала, его выносливость.

Коленчатые валы, имеющие износ шеек ниже последнего ремонтного размера, восстанавливаются различными методами [11].

Изношенные чугунные валы восстанавливают вибродуговой наплавкой в различных средах, автоматической наплавкой под слоем флюса, порошковой проволокой, открытой дугой с использованием самозащитной проволоки марки Св 15-ГСТЮЦА и др [10].

По своим физико-механическим свойствам высокопрочный чугун относится к трудносвариваемым материалам. При наплавке чугуна образуется твердая и хрупкая карбидная зона вокруг сварочного шва и мартенситная сетка непосредственно возле карбидной зоны. Процесс образования карбидов железа усиливается из-за присутствия магния, который увеличивает склонность чугуна к отбелу. Вследствие быстрой диффузии углерода из шаровидных включений графита в аустенитную матрицу понижается ее температура плавления, и она расплавляется в зонах вокруг шаровидных включений [1,12]. В условиях сравнительно быстрого охлаждения сварочного шва эта фаза, обогащенная углеродом застывает как белый чугун, т.е. с образованием цементита. Цементит, как известно, обладает низкой усталостной прочностью. Кроме этого, из-за появления значительных собственных напряжений образуются микротрещины в металле шва и околошовной зоне, что связано с малой пластичностью чугуна.

Повышенная жидкотекучесть чугуна и почти мгновенный переход из твердого состояния в жидкое приводит к плохому формированию наплавленных валиков и появлению множества микродефектов (наплывы, флокены), а выделяющиеся газы способствуют появлению раковин и пор, являющихся концентраторами напряжений. Высокая температура наплавки вызывает деформацию чугунного коленчатого вала, исправление которой невозможно из-за возможной поломки вала.

Отмеченные выше недостатки не позволяют получать достаточно хорошие результаты при восстановлении чугунных коленчатых валов известными методами наплавки.

Известны способы восстановления одно-и двухслойной наплавкой валов под слоем флюса, разработанные в НИИАТе и КазНИПИИАТе. Для однослойной наплавки применяли проволоку разных марок: - пружинную 2 класса, ОВС, Нп- 30ХГСА, Св-08, Св-10Х13, Св-12ГС и др., с использованием флюсов АН-348А, ОСЦ-45, АН-15, АН-20 с добавками, в виде графита, феррохрома, ферромарганца, ферромolibдена, алюминия и других компонентов для получения наплавленного металла мартенситной структуры с твердостью HRC 56...62 без пор и трещин.

Двухслойная наплавка порошковой проволокой, разработанная в КазНИПИИАТе, также снижает усталостную прочность на 45...50% [12].

Наплавка в среде углекислого газа проволоками Нп-2Х13, ОВС, Св-12ГС, Нп-30ХГСА, Св-08 также снижает усталостную прочность на 45...50%, наблюдаются поры и трещины [12].

Лучшие результаты получены при наплавке высокопрочного чугуна по защитной металлической оболочке. При этом шейку обвертывают металлической оболочкой из листовой стали, плотно прижимают оболочку к поверхности детали с помощью специального приспособления и сваркой в среде углекислого газа прихватывают ее в стыке. После удаления приспособления производят автоматическую наплавку детали под флюсом по металлической оболочке непосредственно.

Известно, что для устранения трещин в наплавленном металле необходимо уменьшить в нем содержание углерода, кремния, марганца, серы и фосфора. Поскольку высокопрочный чугун содержит значительное количество этих элементов, применяли оболочку из стали 08 и проволоку Св-08.

Лучшее формирование наплавленного слоя и меньшее количество дефектов получилось при использовании флюса АН-348А. Оптимальная толщина металлической оболочки составила 0,8 мм. При оптимальном составе легирующего флюса твердость наплавленного металла с мартенситной структурой составила HRC 56...62, а по износостойкости не уступала новым, при снижении усталостной прочности до 10...15%[12].

В последние годы в ремонтном производстве получили распространение способы восстановления коленчатых валов с использованием проволоки ЭП- 439 (15 ГСТЮЦА). Достоинство этого способа заключается в том, что используется только проволока ЭП-439 и сжатый воздух.

Однако при этом способе наблюдаются поры, чаще трещины, что значительно влияет на усталостную прочность коленчатых валов.

Лучшее формирование наплавленного металла наблюдается при широкослойной наплавке проволокой Св-08 с добавкой в дугу ферромагнитного порошка, содержащего редкоземельные металлы, стабилизирующие горение дуги. Для наплавки деталей разработана технология, изготовлено и внедрено специальное оборудование, приспособления. Основным преимуществом этого способа восстановления коленчатых валов является создание наплавленного металла, по своему составу близкого к высокопрочному чугуну марки ВЧ50-2 и имеющего высокие износостойкие качества и физико-механические характеристики при минимальном количестве трещин, пор и других дефектов.

Более качественный металл наплавки получен с использованием простой сварочной проволоки Св-08А и специальной порошковой шихты следующего состава [7]:

- графит серебристый (ГОСТ5229-74) - 12...13%;
- порошок алюминиевый АП-4 (ГОСТ 10086-62) - 6...8% ;
- ферробор порошковой (ГОСТ14848-09) - 0,05...0,1% ;
- порошок фтористого кальция (ГОСТ 7167-68) -- 2...5%;
- порошок железный ПЖ-5М (ГОСТ 9849-74) - остальное.

Однако при всех достоинствах этого способа, входящие в шихту компоненты, в особенности комплексный модификатор очень дорогостоящий и сложный по составу (12 компонентов). В последние годы в ремонтном производстве получили распространение способы восстановления коленчатых валов с использованием проволоки ЭП- 439 (15 ГСТЮЦА).

Достоинства это способа заключается в том, что используется только проволока ЭП-439 и сжатый воздух.

Однако при этом способе наблюдаются поры, чаще трещины, что значительно влияет на усталостную прочность коленчатых валов.

Лучшее формирование наплавленного металла наблюдается при широкослойной наплавке проволокой Св-08 с добавкой в дугу ферромагнитного порошка содержащего редкоземельные металлы стабилизирующие горение дуги.

Для наплавки деталей разработана технология, изготовлено и внедрено специальное оборудование, приспособления. Основным преимуществом этого способа восстановления коленчатых валов является создание наплавленного металла, по своему составу близкого к высокопрочному чугуна марки ВЧ50-2 и имеющего высокие износостойкие качества и физико-механические характеристики при минимальном количестве трещин, пор и других дефектов.

Проведенный анализ способов восстановления позволяет сделать следующие выводы.

Практически при всех способах восстановления чугунных коленчатых валов наблюдается появление пор и трещин.

Ни один из способов восстановления не позволяет получить усталостную прочность валов на уровне новых. Наименьшее снижение усталостной прочности наблюдается при наплавке валов по оболочке проволокой ЭП-439. Но недостатком этого метода является технологическая сложность.

Лучшее формирование наплавленного слоя получено при наплавке проволокой Св-08 с добавками в дугу ферромагнитной шихты.

Исходя из изложенного нами разработан технологический процесс восстановления чугунного коленчатого вала двигателя ЗМЗ-53, наиболее полно отвечающего современным условиям рынка и требованиям технических условий по качеству и долговечности.

Для обоснования предлагаемого нами способа были проведены сравнительные исследования, как наплавочного процесса так и физико-механических свойств наплавки, износостойкости и усталостной прочности валов.

Поэтому мы в своих последующих исследованиях применяли следующие варианты наплавки. За базовый вариант принимаем технологию ГОСНИТИ, т.е. использование электродной проволоки 15 ГЮСТЦА (ЭП-439) с охлаждением сварочного шва сжатым воздухом. Наплавка производится по винтовой линии.

Недостатки этой технологии (трещины между валиками, поры, а также пониженную твердость) предполагаем устранить путем введения в дугу ферромагнитной шихты и использование поперечных колебаний электрода (широкослойная наплавка) [11].

Таким образом, предлагаются три варианта наплавки:

1. Широкослойная наплавка проволокой 15 ГЮСТЦА (ЭП-439) с введением в дугу ферромагнитной шихты сложного состава (графит серебристый ГЛ-2; алюминий порошковой АП-4; железный порошок ПЖ-5М (Технология КазНАУ) [11].

2. Винтовая наплавка проволокой 15 ГЮСТЦА (ЭП-439) с обдувом наплавленного валика сжатым воздухом (0,2...0,3 МПа, базовый вариант).

3. Широкослойная наплавка проволокой 15 ГЮСТЦА (ЭП-439) с введением в дугу порошкового сормаита.

Электродная проволока 15 ГЮСТЦА имеет в своем составе до 1% марганца, алюминия, кремния, титана, что уже обеспечивает стабильное горение дуги, хорошее формирование шва, и нашей задачей является повышение механических свойств восстанавливаемой детали - коленчатого вала, с учетом выполняемых ею функций и получаемых им нагрузок. С этой целью нами введен в шихту алюминий, который, как уже отмечалось, устраняет поры, трещинообразование. Введение графита повышает твердость наплавки, а наличие до 5% в железном порошке молибдена должно способствовать получению мелкозернистой структуры.

Весовое соотношение компонентов шихты для исходной композиции принимались ориентируясь на литературные источники, и уточнялись экспериментально.

В третьем варианте в качестве шихты использовался без каких-либо добавок порошковый сормаит - известный износостойкий материал для наплавки, но в сочетании с проволокой 15 ГЮСТЦА применяемый впервые.

Таким образом, основными условиями для получения высоких физико-механических свойств восстановленного коленчатого вала являются: получение в структуре наплавки мелко-, среднеигольчатого мартенсита, обеспечивающего высокую износостойкость изделия, а также наименее напряженную структуру, что немаловажно, в особенности при восстановлении чугунного коленчатого вала.

Результатом этих исследований выявлена наиболее мелкозернистая структура наплавки, полученная по технологии КазНАУ. В последующем были проведены сравнительные исследования износостойкости, усталостной прочности, а также эксплуатационные испытания восстановленных валов в сравнении с новыми.

На основании этих исследований можно сделать следующие выводы:

Выводы и заключение.

1. Износостойкость коленчатых валов двигателей ЗМЗ-53, восстановленных наплавкой по технологии Каз НАУ, находится на уровне износов новых деталей 101,3%, а по шатунным шейкам на 3,75% превышают её.

2. Износостойкость коленчатых валов двигателей ЗМЗ-53, восстановленных наплавкой по технологии ГосНИТИ, составляет 57,75% для коренных и 52,40% для шатунных шеек, относительно новых.

3. Исходя из полученных данных настоящих эксплуатационных испытаний представляется возможным рекомендовать восстановление чугунных коленчатых валов двигателей ЗМЗ-53 наплавкой по технологии КазНАУ как предпочтительную перед другими способами наплавки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Доценко Г.Н. Восстановление чугунных коленчатых валов. - М.: Транспорт, 1970. - 50с.
2. Потапов Ю.С., Коростил А.П. Ремонт деталей автомобилей и сельхозмашин. - Изд. Картия Молдавеныякэ Кишинев: 1979. -98с.
3. Сазонов А.А., Подшивалов Ю.Н. Выбор режимов наплавки шеек чугунных коленчатых валов двигателей ЗМЗ-53 с помощью планирования эксперимента. Труды ЧИМЭСХ, 1977, №133.
4. Бевз. И. И., Олховацкий А.К., Пелименко А.А., Галямин В.Л. К вопросу обработки наплавленных чугунных коленчатых валов двигателя автомобиля ГАЗ-53. Труды ЧИМЭСХ, 1977, №133.
5. Под редакцией М.В. Волощенко. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом. - Киев.: Изд. АН УССР, 1974.
6. Россошинский А.А. Металлография сварных швов ГОСНИТИ. -Изд. Машиностроительной литературы. -Киев, 1961, -208с.
7. Отчет о научно-исследовательской работе 02.01.09.06. и разработать прогрессивные технологические процессы восстановления деталей сельскохозяйственной техники, (промежуточный) 2-149. Алматы, 2001.-29с.
8. Отчет о научно- исследовательской работе (часть вторая) 02. 01. 09. Об.И1а. Разработать технологический процесс восстановления чугунных коленчатых валов (промежуточный). - Алматы, 2002, 33с.
9. Отчет о научно - исследовательской работе по темам: 02.01.09.06.И.Разработать ресурсосберегающие технологии и комбинированные агрегаты для возделывания озимой пшеницы, овощей и сахарной свеклы на поливных землях южного региона республики и прогрессивные технологические процессы восстановления деталей сельскохозяйственных машин 02.01.09.06.И2в. Провести лабораторные испытания восстановленных деталей. - Алматы, 2003, -58с.
10. Отчет о научно-исследовательской работе 02.01.09.06.И. Разработать ресурсосберегающие технологии и комбинированные агрегаты для возделывания пшеницы, овощей и сахарной свеклы на поливных землях южного региона республики и прогрессивные технологические процессы восстановления деталей сельскохозяйственных машин. 02.01.09.06.И2в. Провести эксплуатационные испытания восстановления коленчатых валов. - Алматы, 2004, -29с.
11. Патент РК №3646. Способ восстановления изношенных шеек валов. Бисекенов А.Б., Каржаубаев А.С., Ермакбаев А.Б., и др. -Бюл. №3. 15.04.1998.
12. Исследование и разработка способов восстановления изношенных коленчатых валов двигателей ЗИЛ-130, обеспечивающих прочность и износостойкость. (Отчет). Тема КР-01-71 (О-АТ-27), Раздел 1. Исследование и разработка перспективных технологических процессов и организационных мероприятий, обеспечивающих высокое качество ремонта автомобилей новых моделей. КазНИПИАТ. Инв. Номер Б 168968 от 22.02.72г. Сафаров И.И. - рук. темы, Боцмановский Е.В. - рук. раздела. г.Алма-Ата, 1971, 110 стр.

REFERENCE LIST

1. Dotsenko G. N. Restoration of cast-iron crankshafts. - M.: Transport, 1970. -50p.
2. Potapov Y. S., Korostel A. P. Repair of parts of vehicles and agricultural machinery. - Ed. Carthamoides, Chisinau, 1979. -98p.
3. Sazonov A. A., Podshivalov, Y. N. The choice of modes of welding of the necks of cast iron crankshafts of engines ZMZ-53 using design of experiments. Works of CHIMEA, 1977, No. 133.
4. Bevz. I. I., Olhovatsky A. K., Pelipenko A. A., Galanin V. L. For the question of treatment of the deposited cast iron crankshaft of the engine of the GAZ-53. Works of CHIMEA, 1977, No. 133.
5. Under the editorship of M. V. Voloshchenko. High-strength cast iron with spherical graphite. - Kyiv.: Ed. USSR Academy of science, 1974.
6. Rossoshanskiy A. A. Metallography of welds. SSRTI. -Ed. Engineering literature. -Kiev, 1961, -

208p.

7. Report on research work 02.01.09.06. and develop progressive technological processes of restoration of details of agricultural machinery, (intermediate) 2-149. Almaty, 2001.-29p.

8. Report for research work (part two) 02. 01. 09.06.И1а. To develop the process of restoring a cast iron crankshaft (intermediate). - Almaty, 2002, 33p.

9. Report on research work on subjects: 02.01.09.06. To develop resource-saving technologies and combined units for the cultivation of winter wheat, vegetables and sugar beet on irrigated lands of the southern region of the Republic and progressive technological processes of restoration of details agricultural machinery 02.01.09.06. Conduct lab test of reconditioned parts. - Almaty, 2003, -58p.

10. Report on research work 02.01.09.06. To develop resource-saving technologies and combined units for the cultivation of wheat, vegetables and sugar beet on irrigated lands of the southern region of the Republic and progressive technological processes of restoration of details of agricultural machines. 02.01.09.06. To conduct performance testing recovery of crankshafts. -Almaty, 2004, -29p.

11. Patent No. 3646. Method of restoration of worn shaft journals. Bisekenov A. B., Karzhaubaev A. S. Yermekbayev, A. B., and others.- bull. No. 3. 15.04.1998.

12. Research and development of methods for restoring worn out crankshafts of engines ZIL-130, provides durability. (Report). The theme of CU-01-71 (at-27), Section 1. The research and development of promising technological processes and organizational activities to ensure high quality repair of cars of new models. Kazipet. Inv. Room B 168968 from 22.02.72 G. Safarov I. I. - hands. topics Bocianowski E. V. - hands. section. Almaty, 1971, 110 p.

ИІНДІ БІЛІКТІ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУІНДЕ ҚОЛДАНЫЛАТЫН ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ӘДІС

Бисекен А.Б.

Алматы энергетика және байланыс университеті..

Аннотация. Мақалада бөлшектерді қалпына келтіру қажеттігінің негіздемесі, атап айтқанда, автомашинаның жұмысына байланысты иінді біліктің мойыншаларының тозуы, оларды қалпына келтіру электротехнологиялық тәсілдерінің қысқаша талдауы келтірілген.Талдауға ұшыраған шойын иінді біліктерді ғана электротехнологиялық тәсілдерімен қалпына келтіру қарастырылған,өйткені оларды жаңартқанда өзгеше жағдайлар туады..

Кілт сөздер: Иінді білік,электротехнологиялық әдістер,флюс қабатының астында,ферромагниттік шихта.

ELECTRO-TECHNOLOGICAL METHOD OF CRANKSHAFT REFURBISHMENT.

A.B.Biseken

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan

Abstract. The article under review dwells on the importance of maintenance of the crankshaft parts. The analysis of electro-technological methods used in crankshaft refurbishment is given.

Key words. Crankshaft, electro-technological methods, under the layer of gumboil, ferromagnetic charge.

УДК 631.371: 658.26

С. К.Шерьязов– д.т.н., профессор

Южно-Уральский государственный аграрный университет, Челябинск, Россия

УСЛОВИЯ ВЫБОРА ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрено дальнейшее развитие электроэнергетики на базе распределенной генерации с использованием возобновляемых источников. При этом наиболее перспективным направлением является использование энергии ветрового потока. Ветроэнергетические установки в системе распределенной генерации позволяют гибко управлять самой системой и снизить потери электрической энергии при ее передаче. Для эффективного электроснабжения ветроэлектрические установки могут объединяться в составе ветропарка для снижения затрат на передачу электроэнергии, а ветропарки – в состав ветроэлектрической станции для снижения затрат на выработку электрической энергии. В статье рассмотрены условия эффективного функционирования ВЭУ и приведены условия выбора ветроэлектрических установок в составе ветропарка и ветроэлектрической станции. Результаты исследования показывают возможности эффективного электроснабжения от ВЭУ в системе распределенной генерации.

Ключевые слова: электроснабжение, распределенная генерация, ветроэнергетика, ветроэлектрические установки, ветропарк, ветроэлектрическая станция.

Актуальность задачи

Энергетика России развивается по двум направлениям, представляющим большую и малую (распределенную) энергетику. При этом распределенная энергетика по значимости не уступает большой. К числу распределенной энергетики относятся установки мощностью до 30 МВт, которые развиваются на базе традиционной с использованием дизельной, газопоршневой или газотурбинной электростанции и нетрадиционной на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1].

Наиболее перспективным направлением в развитии распределенной генерации является использование местных энергоресурсов, куда следует отнести и возобновляемых источников. Использование местных энергоресурсов позволит решить многие вопросы энергоснабжения, улучшить социально-экономическую и экологическую обстановку [2]

В условиях энергосбережения и повышения энергоэффективности в системе энергоснабжения распределенная генерация на базе ВИЭ приобретает особое значение. Для потребителей рост цен на традиционные энергоносители приводит к повышению затрат на потребляемую энергию, тогда как ВИЭ позволяют снизить эти затраты за счет экономии органического топлива [3, 4, 5].

Развитие возобновляемой энергетики в мире приняло устойчивый характер и достигает в развитых и развивающихся странах 10–25 % ежегодной выработки электроэнергии. Самые крупные энергоустановки на базе ВИЭ применяются в таких странах как: США, Китай, Германия, Франция, Япония [6, 7].

Из всех направлений возобновляемой энергетики наиболее перспективным является ветроэнергетика и ВЭУ (ветроэнергетические установки), в настоящее время являются более конкурентоспособными с традиционной системой генерации. Для электроснабжения используются несколько ВЭУ, объединенных в состав ВЭС (ветроэлектрическая станция). Большие ВЭС, по установленной мощности, находятся в штате Калифорния (США) мощностью 1550 МВт; ветроморская ВЭС, расположенная в Северном море, на западном побережье Ютландии (Дания), мощностью 210 МВт [5,8].

В последние годы в СНГ стали уделять большое внимание развитию возобновляемой энергетики. Крупным событием является проведение Всемирной выставки ЕКСПО-2017 в столице Казахстана в г. Астане «Зеленая энергия – будущее», посвященной развитию возобновляемой энергетики.

В Казахстане в 2017-м выработано 1,1 млрд кВт·ч, что на 22% больше уровня 2016 года. План на 2018-й составляет 1,7 млрд кВт·ч. Кроме того, в прошлом году введено в эксплуатацию 5 объектов ВИЭ: 3 гидроэлектростанции, 1 ветряная электростанция и 1 солнечная [9].

В текущем году планируется ввести 10 объектов ВИЭ общей мощностью 123 МВт. Установки будут располагаться в Алматинской, Акмолинской, Жамбылской, Южно-Казахстанской, Восточно-Казахстанской и Мангистауской областях [9].

Дальнейшее развитие ВИЭ в РК планируется начать с перехода на аукционный механизм. Это позволит, с одной стороны, сделать прозрачным и понятным процесс отбора проектов и инвесторов, с другой – выявить наиболее эффективные технологии и проекты. Участвовать в аукционных торгах изъявили желание ряд отечественных и иностранных компаний, среди которых ACWA Power (Королевство Саудовской Аравии), SKY Power (Канада), Shell, General Electric (США), Goldwind (Китай) [9].

В РК предусматривается достижение 30% доли альтернативной и возобновляемой электроэнергии к 2030 году в электроэнергетике, а по линии энергоэффективности стоит задача по снижению энергоемкости ВВП к 2020 году на 25% [9].

На данный момент солнечная электростанция «Бурное Солар – 1» - это самая крупная в Средней Азии солнечная электростанция мощностью в 50 МВт, которая находится в Жамбылской области. 192 тыс. модулей, которые занимают площадь 150 га в Жуалынском районе, вырабатывают порядка 72 млн. кВт часов в год с помощью монокристаллических панелей, и, по сути, обеспечивают 35 тыс. частных домохозяйств [9].

Ветроэнергетика выступает развивающейся отраслью в Казахстане. В декабре 2011 г. в Жамбылской области была введена в эксплуатацию первая в республике ветроэлектростанция – Кордайская ВЭС, мощностью 1,5 МВт. В декабре 2014 г. был построен первый этап из 9 ветрогенераторов, который увеличил мощность до 9 МВт. В октябре 2015 года смонтировали последние 10 агрегатов и первую промышленную ВЭС в РК «Кордай» мощностью 21 МВт полностью ввели в эксплуатацию [9].

В России суммарная установленная мощность электрогенерирующих установок, использующих ВИЭ (без учета ГЭС установленной мощностью более 25 МВт), не превышает 2200 МВт. Они вырабатывают около 8,5 млрд. кВт·ч электрической энергии, что примерно 1 % от общего объема производства электроэнергии в России [10].

Общая тенденция развития возобновляемой энергетики в России с 2000-го года имеет положительную динамику. Действует Постановление Правительства России № 449 «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности». Постановление рассматривает поддержку гидро-, ветро- и солнечных электрогенерирующих установок мощностью более 5 мегаватт. Уже запущены и действуют СЭС (солнечные электростанции) на Алтае, в Оренбургской области и республике Башкортостан. Данный опыт может быть распространен и на ВЭС, существуют уже проекты и ведется их строительство их в Ульяновской области.

В России, согласно Постановлению Правительства за № 1-р от 08.01.2009 г., планируется к 2025 году увеличение доли ВИЭ в энергетике до 4,5% (без учета большой ГЭС). При подготовке Постановления использован проект, определявший долю ВЭС в выработке электроэнергии 17,5 млрд кВт·ч при суммарной мощности ВЭС 7 ГВт [5].

В настоящее время суммарная мощность ВЭУ (ветроэнергетических установок) в

России составляет 103 МВт [10]. В перспективе следует ожидать ее рост для достижения поставленной цели.

Таким образом, использование ВЭУ в системе распределенной генерации в целом является актуальной задачей. Для эффективного их использования необходимо определить условия их выбора и функционирования.

Методы решения задачи

Для строительства ВЭС важно определить ее состав и условия эффективного использования ВЭУ в зависимости от ветроэнергетических ресурсов местности и требуемых затрат на установки. Анализ стоимостных показателей существующих ВЭУ [4] позволил получить зависимость удельной стоимости от установленной мощности (рис. 1).

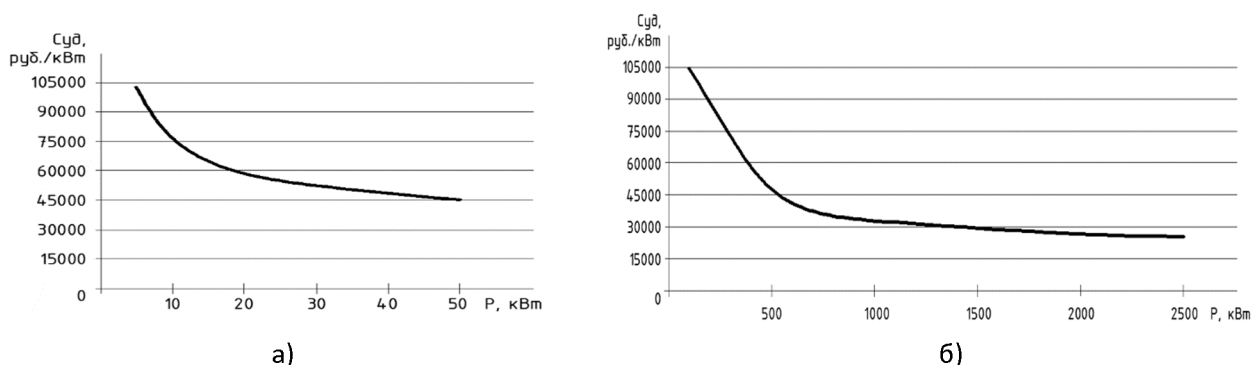


Рисунок 1 - Удельная стоимость ВЭУ: а) ВЭУ от 3 до 50кВт; б) ВЭУ более 50 кВт.

Анализ данных показывает, что по затратам, для обеспечения потребной мощности лучше использовать несколько ВЭУ, объединенных в ВЭС. Так, например, для обеспечения потребной мощности более 100 кВт экономически выгоднее использовать несколько ВЭУ мощностью по 50 кВт.

Количество ВЭУ, соответственно суммарная мощность ВЭС, зависит от режимов выработки электроэнергии и потребления ее. По сути, необходимо учитывать случайный характер поступающей ветровой энергии и график изменения электрической нагрузки [11].

Эффективность использования ВЭС зависит от необходимых затрат на выработку электроэнергии от ВЭУ и передачу ее до потребителей.

Для минимизации затрат на выработку электроэнергии от ВЭС предложена математическая модель [4]. Данная модель позволяет определить основные показатели ВЭС, а также установленную мощность ВЭУ в зависимости от ветровых условий местности и характеристики потребителя:

$$\tilde{N}_{\text{уд}} = \frac{a_1 \cdot \hat{E}_{\text{уд.вэу1}}}{W_{\text{уд.вэу1}}} \delta_1 + \frac{a_2 \cdot \hat{E}_{\text{уд.вэу2}}}{W_{\text{уд.вэу2}}} \delta_2 + \dots + \frac{a_i \cdot \hat{E}_{\text{уд.вэуi}}}{W_{\text{уд.вэуi}}} \delta_i \Rightarrow \min, (1)$$

где: $C_{\text{выр}}$ – удельные затраты на выработку электроэнергии, руб./кВтч; x_i – количество i -ых ВЭУ в составе ВЭС; $W_{\text{уд.вэуi}}$ – удельная выработка электроэнергии от ВЭУ, кВтч/м²; a – суммарные ежегодные отчисления на реновацию и текущий ремонт ВЭУ; $K_{\text{уд.вэуi}}$ – удельные капиталовложения на ВЭУ, руб/м².

Для исследования целевой функции приняты следующие ограничения:

$$\begin{cases} D_1 \cdot \delta_1 + D_2 \cdot \delta_2 + \dots + D_i \cdot x_i \leq D_{\text{max}}; \\ 100 d_1^2 \cdot x_1 + 100 d_2^2 \cdot x_2 + \dots + 100 d_i^2 \cdot x_i \leq S; \\ 0,785 d_1^2 x_1 W_{\text{уд}1} + 0,785 d_2^2 x_2 W_{\text{уд}2} + \dots + 0,785 d_i^2 x_i W_{\text{уд}i} \leq 0,01 \cdot S \cdot W_{\text{уд}}, \end{cases} \quad (2)$$

где: P – мощность рассматриваемого типа ВЭУ, кВт; d - диаметр ветроколеса, м; $P_{\text{расч}}$ - расчетная нагрузка, кВт; S - площадь имеющейся территории, м²; $W_{\text{уд}}$ – ветроэнергетический ресурс с удельной площади территории кВт·ч/м².

В представленной модели важно установить ограничение по мощности ВЭС. Если ее принять равной расчетной нагрузке электрической сети, следует ожидать недоиспользование мощности ВЭС в условиях снижения нагрузки. При этом себестоимость вырабатываемой электроэнергии от ВЭС будет выше ожидаемой.

Для эффективного использования ВЭС предлагается согласовать мощности ветрового потока с электрической нагрузкой. Согласно приведенному графику электрической нагрузки предлагается ограничить мощность ВЭС по минимальной нагрузке, являющейся базовой, которая составляет почти 50% максимальной мощности.

Тогда для полного использования мощности ВЭС следует принять ее мощность равной базовой $P_{\text{мин}}$, и ограничение по мощности примет вид:

$$D_1 \cdot \delta_1 + D_2 \cdot \delta_2 + \dots + D_i \cdot x_i \leq D_{\text{баз}} \quad (3)$$

ВЭС по данному условию будет замещать только часть потребляемой электрической энергии. Для полного обеспечения потребной энергии ВЭС должна работать совместно с традиционным источником электроэнергии.

Для эффективного использования ВЭС также необходима минимизация затрат и на передачу электрической энергии. Для этого необходима компоновка схемы ВЭС с установкой центрального пункта для сбора потока мощности от всех ВЭУ для дальнейшей передачи ее в электрическую сеть или непосредственно потребителям.

Для эффективной передачи электрической энергии потребуются трансформация напряжения после согласования напряжений источника и существующей электрической сети. Трансформаторная подстанция, как правило, повышающая напряжение, может быть установлено в центре электрических нагрузок, внутри занимаемой территории ВЭС. Такая компоновка схемы с центральным пунктом сбора и передачи электроэнергии (ЦП) позволяет минимизировать потери и затраты в целом.

Тогда для определения условий передачи электроэнергии следует выделить затраты на передачу электроэнергии по внутренней сети - от самих ВЭУ до ЦП, и по внешней сети - от ЦП до электрической сети или потребителей. При этом для минимизации затрат на передачу электрической энергии, возможно, эффективно объединять несколько ВЭУ, связанных с ЦП линиями электропередачи.

Для минимизации затрат на передачу электрической энергии от ВЭС предложена целевая функция, позволяющая определить показатели электрической сети в зависимости от количества ВЭУ:

$$\tilde{N}_{\text{ia}} = \frac{b_1 \cdot \hat{E}_{\text{уд}1}}{\sum W_1 - \Delta W_1} n_1 + \frac{b_2 \cdot \hat{E}_{\text{уд}2}}{\sum W_2 - \Delta W_2} n_2 + \dots + \frac{b_i \cdot \hat{E}_{\text{уд}i}}{\sum W_i - \Delta W_i} n_i \Rightarrow \min \quad (4)$$

где: $C_{\text{пер}}$ – удельные затраты на передачу электроэнергии, руб./кВт·ч; n_i – количество i -ых ВЭУ; $\sum W$ – суммарная выработка электроэнергии от ВЭС, кВт·ч; $K_{\text{уд.эс}}$ – капиталовложения на электрическую сеть ВЭС, руб; b – ежегодные суммарные отчисления на содержание электрической сети ВЭС в рабочем состоянии.

При исследовании необходимых затрат на передачу электроэнергии следует принять ограничение:

$$1 \leq n_i \leq x_i, \quad (5)$$

поскольку оптимальное количество ВЭУ в составе ВЭС при решении целевых функций (1) и (4) могут отличаться.

В случае, когда оптимальное количество ВЭУ (n_i) для передачи электроэнергии меньше оптимального количества для ее выработки (x_i), предлагается разделить ВЭС на несколько ветропарков. При этом каждый ветропарк представляет собой группу ВЭУ, подключенных к одному центру питания, возможно и с трансформаторной подстанцией (рис.2).

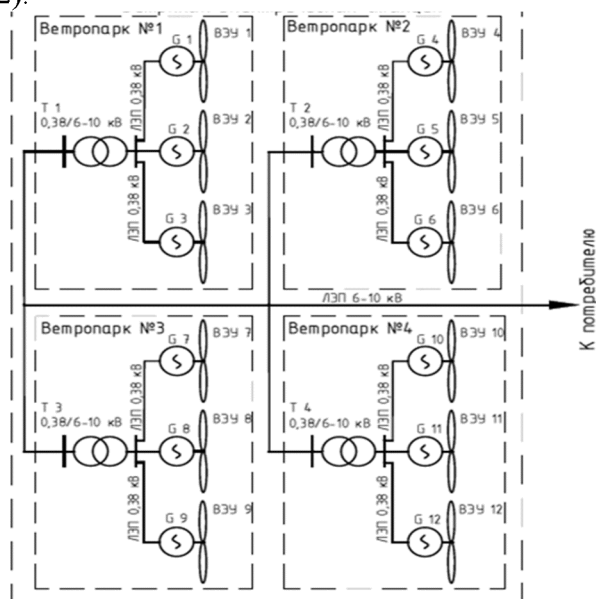


Рисунок 2 - Структурная схема ВЭС при $x \approx 4 \cdot n$

Совместное решение целевых функций (1) и (4) показали, что существуют экономически выгодные ВЭС, состоящие из одного или нескольких ветропарков.

После выбора ВЭС с оптимальными параметрами, обеспечивающими минимальные затраты на выработку и передачу электрической энергии, не сложно определить удельные затраты на электроснабжение в целом. При этом согласно условию (3) необходимо учитывать совместную работу ВЭС с традиционным источником и долю электрической энергии, передаваемую по электрической сети или потребляемую электроприемниками.

Удельные затраты на электроснабжение от комбинированной системы должны учитывать затраты на электроэнергию от традиционного источника. Тогда стоимость электроэнергии при использовании ВЭС совместно с традиционным источником в системе электроснабжения можно определить по выражению [12]:

$$\tilde{N}_{\tilde{n}} = \tilde{N}_{\tilde{o}} \cdot (1 - f) + C_{\tilde{a}\tilde{y}\tilde{n}} \cdot f, \quad (6)$$

где: C_T – стоимость электроэнергии от традиционного источника, руб./кВтч; $C_{вэс}$ – стоимость электроэнергии от ВЭС, руб./кВтч; f – доля замещаемой электрической энергии от ВЭС.

ВЭС может вырабатывать электроэнергию в электрическую сеть или конкретному потребителю. Тогда, например, при средней цене электроэнергии от традиционного источника 6 руб./кВтч и от ВЭС - 4 руб./кВтч, стоимость электроэнергии от комбинированной системы при $f=0,5$, может составить

$$\tilde{N}_{\tilde{n}} = 6 \cdot (1 - 0,5) + 4 \cdot 0,5 = 5 \text{ руб./кВтч}.$$

Полученный результат показывает снижение удельных затрат на передаваемую электрическую энергию на 1 руб./кВтч или на 17%. В условиях выхода ВЭС на оптовый

рынок электрической энергии, согласно Постановлению Правительства РФ за № 449, окупаемость электростанции может сократиться из-за роста стоимости электроэнергии в часы пик (спроса на электроэнергию).

Заключение

Одним из путей энергосбережения, путем снижения потери энергии, особенно при ее передаче, является развитие распределенной генерации на основе многофункционального энерготехнологического комплекса, который служит для производства электрической и тепловой энергии. При этом в условиях роста затрат на традиционные энергоносители в составе МЭК возможно использование возобновляемых источников, в частности ветроэлектрических установок.

Развитие ветроэнергетики в системе распределенной генерации способствует повышению ее энергоэффективности и снижению затрат на потребляемую энергию. Для распределенной генерации на базе ВЭУ важно определить условия выбора источников энергии с оптимальными параметрами.

Для эффективного электроснабжения потребуется несколько ВЭУ в составе ВЭС, количество которых следует оптимизировать по объему вырабатываемой электроэнергии. При этом для снижения затрат на передачу электрической энергии необходимо их объединять сначала в составе ветропарка с центром сбора и передачи энергии. Ветропарки в свою очередь могут быть объединены в составе одной ВЭС для минимизации затрат на выработку электрической энергии.

В качестве примера рассмотрены условия выбора ВЭС в составе МЭК. Результаты исследования в условиях Челябинской области показывают, что при замещении передаваемой электроэнергии от ВЭС на 50%, стоимость электрической энергии снижается примерно на 17%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года / Распоряжение Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.
2. Редько И.Я. Особенности развития распределенной энергетики в России. // СОК, №11 - 2014
3. Sheryazov, S.K., Ptashkina-Girina, O.S. Increasing power supply efficiency by using renewable sources. International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, Proceedings 2016 . DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7910986.
4. Шерьязов С. К. Ветроэлектрические установки в системе электроснабжения сельскохозяйственных потребителей: Монография. / С. К. Шерьязов, М.В. Шелубаев. – Челябинск : Южно-Уральский ГАУ, 2018. – 184 с.
5. Велькин В.И. Методология расчета комплексных систем ВИЭ для использования на автономных объектах. / В.И. Велькин – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – 226 с.
6. Kuznetsov D., Mennen H. Analyse der Schlüsselfaktoren zur Entwicklung erneuerbarer Energien in Russland. Agro-Industrial Complex of Russia. Volume 23. № 2. Chelyabinsk, South-Ural State Agrarian University, 2016. pp. 356-367.
7. Гуртовец А. Электрическая нагрузка в энергосистеме. / А. Гуртовец, Е. Забелло // Новости электротехники. - 2008 г. - № 5. С.15-23
8. Шерьязов С.К. Разработка метода определения параметров ветропарка/С.К. Шерьязов, М.В. Шелубаев // Вестник КрасГАУ. – 2014. -Вып. 10. – С. 182-187.

REFERENCES

1. Energy strategy of Russia till the period of 2030 / Order of the Government of the RF of 13 November 2009. № 1715-р. (RU).
2. Redko I.Y. Features of the development of distributed power in Russia. Plumbing. Heating. Conditioning. (P.H.C.) №11 - 2014. (RU).
3. Sheryazov, S.K., Ptashkina-Girina, O.S. Increasing power supply efficiency by using renewable sources. 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, Proceedings 2016 . DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7910986. (EN)
4. Sheryazov, S.K., Shelubaev M.V. Vetroelektricheskie ustanovki v sisteme elektrosnabgenya selskohozyastvennih potrebitelei: Monografya. 2018. Wind power plants in the power supply system of agricultural consumers. Chelyabinsk: South Ural State Agrarian University, p. 184.(RU).
5. Velkin V.I. Methodology of calculation of complex systems RE for use in autonomous objects. Yekaterinburg: UrFU, 2015.– p. 226. (RU).
6. Gurtovez A. , Zabello E. The electrical load in the power system. News of electrical technics. № 5 (53) 2008. - pp. 15 – 23. (RU).
7. Sheryazov, S.K., Shelubaev M.V. Development of the method for determining the parameters of a wind farm. Vestnik KrasSAU. Krasnoyarsk, 2014. – Outd. 10. – pp. 182-187. (RU).
8. Sheryazov, S.K. 2008. Renewable Resources in Energy Supply of Agricultural Consumers. Chelyabinsk: CSAU, p. 300. (RU).

CONDITIONS FOR THE SELECTION OF A WIND-POWER PLANT IN THE SYSTEM OF POWER SUPPLY

S.K.Sheryazov - Doctor of Technical Sciences, Professor

South Ural State Agricultural University, Chelyabinsk, Russia

Annotation. The article considers the further development of the electric power industry on the basis of distributed generation using renewable sources. The most promising direction is the use of wind energy. Wind power plants in the distributed generation system allow flexible control of the system itself and reduce losses of electric energy during its transmission. For efficient electrical supply, wind power plants can be combined as a part of a wind farm to reduce energy transmission costs, and wind farms are part of a wind power plants to reduce the cost of generating electricity. The conditions for effective functioning of wind power plants(WPP) are considered in the article and the conditions for choosing wind power plants in the wind park(farm) and wind power station are presented. The results of the study show the possibilities of efficient power supply from the WPP in the distributed generation system.

Key words: power supply, distributed generation, wind energy, wind power plants, wind farm(park), wind power station

МРНТИ 45.29.31

Т.Н.Агимов, Е.К.Умбеткулов, К.А.Бакенов, А.Т.Бектемиров
Алматинский университет энергетики и связи

ПРЯМОЙ ПУСК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ СОИЗМЕРИМОЙ МОЩНОСТИ С УЧЕТОМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОВЫШЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРЕ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы прямого пуска асинхронных электродвигателей соизмеримой мощности от электрогенераторной установки с приводом от трактора. Проведен анализ нормативных значений испытательных напряжений для синхронных генераторов общепромышленного назначения. Выведена упрощенная формула расчета предельной мощности асинхронного электродвигателя при его прямом пуске от электрогенератора с учетом предварительного повышения напряжения на его зажимах. Проведены расчеты и построены графики зависимости мощности запускаемого электродвигателя от различных величин предварительно повышенного напряжения на генераторе перед запуском. Для иллюстрирования процесса прямого пуска электродвигателя соизмеримой мощности проведена имитация с использованием программного комплекса PSCAD (Power Systems Computer Aided Design) и Advanced Grapher.

Ключевые слова: генератор, электродвигатель, соизмеримая мощность, прямой пуск, повышенное напряжение, форсировка возбуждения.

При автономном или резервном электроснабжении от передвижных автономных источников электроэнергии отдаленных объектов производства, сельского хозяйства и, возможно, при чрезвычайных ситуациях часто возникает необходимость прямого пуска электродвигателей соизмеримой мощности.

Следует отметить, что во всех хозяйствах для привода основного технологического оборудования используются, в основном, асинхронные электродвигатели, запуск которых от возобновляемых источников электроэнергии (ветровых, солнечных и т.п.) практически невозможен, а от дизельных электростанций соизмеримой мощности технически ограничен до 70% [1]. При этом специальные средства облегченного запуска асинхронных электродвигателей на отдаленных объектах, как правило, отсутствуют.

В связи с этим, практический интерес представляет определение предельной мощности электродвигателей по условию их прямого пуска от электрогенераторов с учетом применения нестандартных решений.

В данной статье рассматриваются вопросы прямого пуска асинхронных электродвигателей соизмеримой мощности от электрогенераторной установки с приводом от трактора (ЭГУТ) с учетом предварительного повышения напряжения на генераторе. Такое решение связано с резким снижением напряжения на генераторе при их запуске электродвигателей соизмеримой мощности.

Проведенный анализ показал, что периодические испытания изоляции токоведущих частей дизельных электростанций производятся напряжением до 1500 В [1], а кратковременные кратковременного повышения напряжения (до нескольких секунд) допустимы и исключают нежелательные последствия [2,3]. Отсюда следует, что предварительное повышение напряжения генератора перед прямым пуском электродвигателя соизмеримой мощности вполне допустимо и даже в некоторых случаях необходимо, так как при этом можно значительно уменьшить провал напряжения и сократить длительность пуска.

В общем случае расчет пусковых режимов представляет собой достаточно сложную задачу.

Для облегчения берутся общепринятые допущения при расчете прямого пуска асинхронного электродвигателя соизмеримой мощности. При расчете не учитываются электромагнитные переходные процессы в системе синхронный генератор-асинхронный двигатель и в возбудителе. Предполагается, что параметры электродвигателя и частота вращения вала генератора в период пуска не изменяются, а реактивное сопротивление генератора имеет ненасыщенные состояния.

Если предположить, что пуск электродвигателя осуществляется непосредственно от зажимов генератора или через сеть с сопротивлением значительно меньшим, чем сопротивление пускаемого электродвигателя (для автономного электроснабжения на объектовом уровне это вполне допустимо), то начальный провал напряжения можно определить по известной формуле в о.е. [2]:

$$U_{\text{нач}} = \frac{E'_d * x_n}{x'_d + x_n} \quad (1)$$

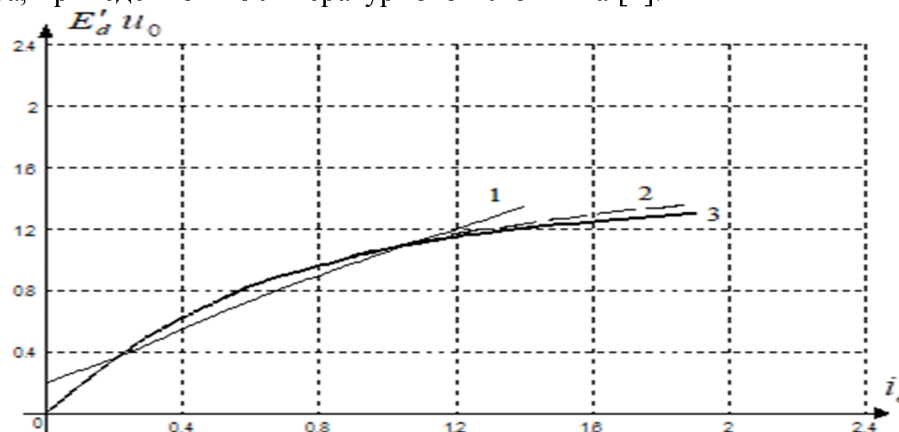
где: E'_d - некоторая условная величина, пропорциональная результирующему потокоцеплению обмотки возбуждения генератора, которая не может измениться мгновенно в начале нарушения стационарного режима генератора, о.е;

x'_d - переходное индуктивное сопротивление генератора по продольной оси, о.е;

x_n - реактивное сопротивление пускаемого двигателя, о.е;

В существующих рекомендациях по расчету прямого пуска электродвигателя э.д.с. за переходным индуктивным сопротивлением принимается равным номинальному напряжению генератора $E'_d=1$

При предварительном повышении напряжения на генераторе перед пуском электродвигателя E'_d заметно увеличится, значение которого можно определить по рисунку 1, на продолжении спрямленной в начальной части характеристики холостого хода генератора, приведенной из литературного источника [2].



- 1- э.д.с. за переходным индуктивным сопротивлением генератора;
- 2- нормальная характеристика холостого хода генераторов;
- 3- характеристика холостого хода генераторов мощностью 16-30 кВт.

Рисунок 1 – Характеристики холостого хода синхронных генераторов

$$E'_d = 0,2 + 0,8i_e \quad (2)$$

где: i_e – ток возбуждения генератора, о.е.

В выражении (2) первый коэффициент учитывает остаточный магнетизм в генераторе, а второй коэффициент (при токе возбуждения) позволяет при номинальном

напряжении генератора принимать $E'_d = 1$, что совпадает с существующими методами расчета.

Для электростанций мощностью 16 и 30 кВт характеристика холостого хода несколько отличается от нормальной и наиболее близко аппроксимируется выражением [2], в о.е:

$$u_0 = \frac{2,4 * i_e}{1 + 1,4i_e} \quad (3)$$

Решая совместно (2) и (3) относительно E'_d , получим:

$$E'_d = \frac{0,24 + 0,26u_0}{1,2 - 0,7u_0} \quad (4)$$

Представим значение E'_d из (4) в (1):

$$u_{нач} = \frac{0,24 + 0,26u_0}{1,2 - 0,7u_0} * \frac{x_n}{x'_d + x_n} \quad (5)$$

Решим (5) относительно пускового индуктивного сопротивления:

$$x_n = \frac{x'_d * u_{нач} (1,2 - 0,7u_0)}{(0,24 + 0,26u_0) - u_{нач} (1,2 - 0,7u_0)} \quad (6)$$

С другой стороны, пусковое индуктивное сопротивление электродвигателя определяется по формуле [2], в о.е.:

$$x_n = \frac{1}{1,1 * p_n * k_n} \quad (7)$$

где: p_n – коэффициент соизмеримости пускаемого электродвигателя относительно номинальной мощности генератора.

Решив уравнения (6) и (7) относительно коэффициента соизмеримости, получим в о.е.:

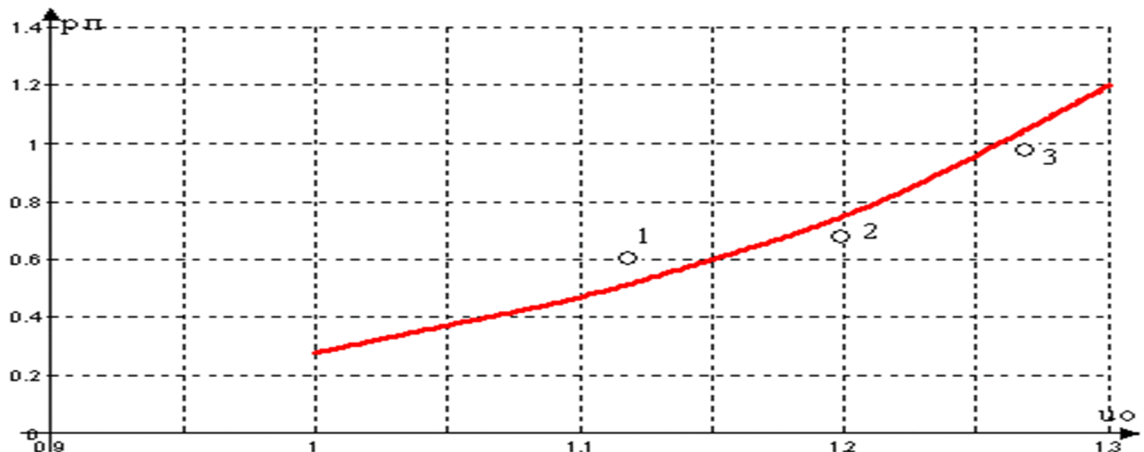
$$p_n = \frac{1}{1,1 * k_n * x'_d} * \left[\frac{0,24 + 0,26u_0}{(1,2 - 0,7u_0)u_{нач}} - 1 \right] \quad (8)$$

При приближительных расчетах можно принять усредненные значения переходного индуктивного сопротивления генераторов для дизельных электростанций $x'_d = 0,2$ и кратность пускового тока для асинхронных электродвигателей $K_n = 7$.

Тогда:

$$p_n = 0,65 \left[\frac{0,24 + 0,26u_0}{(1,2 - 0,7u_0)u_{нач}} - 1 \right] \quad (9)$$

На рисунке 2 приведена зависимость мощности запускаемого асинхронного двигателя p_n от величины предварительного повышения напряжения u_0 на выходе генератора перед запуском. Кривая построена согласно (9) при следующих условиях, в о.е.: $u_{нач} = 0,7$; $u_0 = 1,0; 1,05; 1,1; 1,15; 1,2; 1,25$ и $1,3$.



- 1 – точка прямого пуска электродвигателя АО2-62-2;
- 2 – точка прямого пуска электродвигателя АО2-71-4;
- 3 – точка прямого пуска электродвигателя АО2-72-4.

Рисунок 2 - Кривая зависимости (в о.е.) мощности запускаемого асинхронного двигателя p_n от величины предварительного повышения напряжения u_0 .

Для проверки обоснованности выведенной формулы (9) проведены экспериментальные исследования.

В качестве передвижной электростанции ограниченной мощности использовалась ЭГУТ мощность 30 кВт с приводом от трактора МТЗ-80 электрической мощностью 54 кВт. Эксперименты проводились в хозяйствах Кызылординской машино-испытательной станции.

Общий вид ЭГУТ приведен на рисунке 3. Конструкция ЭГУТ состоит из стандартного синхронного генератора с щитом управления, установленного на металлическом каркасе. Вращение электрогенератора осуществляется от вала отбора мощности трактора за счет карданной и клиноременной передач. Крепления ЭГУТ позволяют достаточно просто соединить их с рычагами навески распространенных тракторов (МТЗ-80, МТЗ-82, ДТ-75, Т-150К и другие) и транспортировать на различные расстояния.

Марки и номинальные мощности асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, использованные при экспериментах, следующие: АО2-62-2 мощностью 17 кВт; АО2-71-4 мощностью 20 кВт и АО2-72-4 мощностью 30 кВт. Эти электродвигатели установлены на технологическом оборудовании кормоцеха фермы КРС на 400 коров.

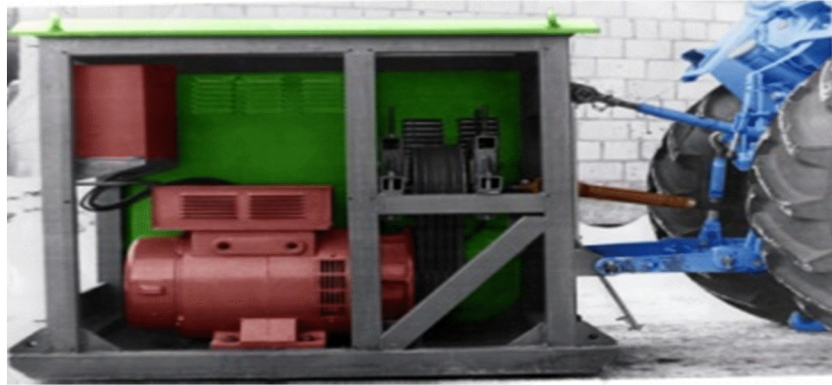


Рисунок 3 – Общий вид ЭГУТ с приводом от трактора

Приведенные асинхронные электродвигатели в ненагруженном состоянии технологического оборудования были запущены от указанной ЭГУТ мощностью 30 кВт.

Для иллюстрирования процесса прямого пуска электродвигателей соизмеримой мощности проведена иммитация с использованием программного комплекса PSCAD (Power Systems Computer Aided Design). Значения напряжений перед пуском этих электродвигателей, во время и после разгона привода, а также время запуска приведены на рисунках 4, 5 и 6.

Изменение напряжения во время прямого пуска электродвигателя АО2-62-2 мощностью 17 кВт при ненагруженном состоянии оборудования приведено на рисунке 4.

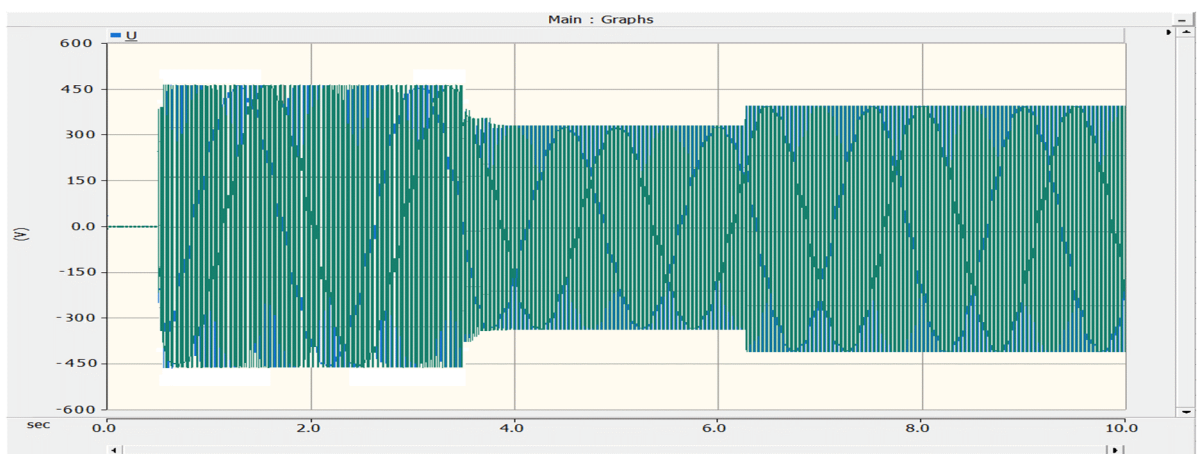


Рисунок 4 – Изменение напряжения во время пуска электродвигателя АО2-62-2 мощностью 17 кВт

Как видно из рисунка 4, предварительное напряжение на ЭГУТ перед запуском составило 450 В, на начальном этапе прямого запуска оно снизилось до 330 В и после разгона установилось в пределах 380-385 В. Длительность процесса разбега АО2-62-2 составила 3 секунды.

На рисунке 5 приведена иллюстрация изменения напряжения при запуске электродвигателя АО2-71-4 мощностью 20 кВт.

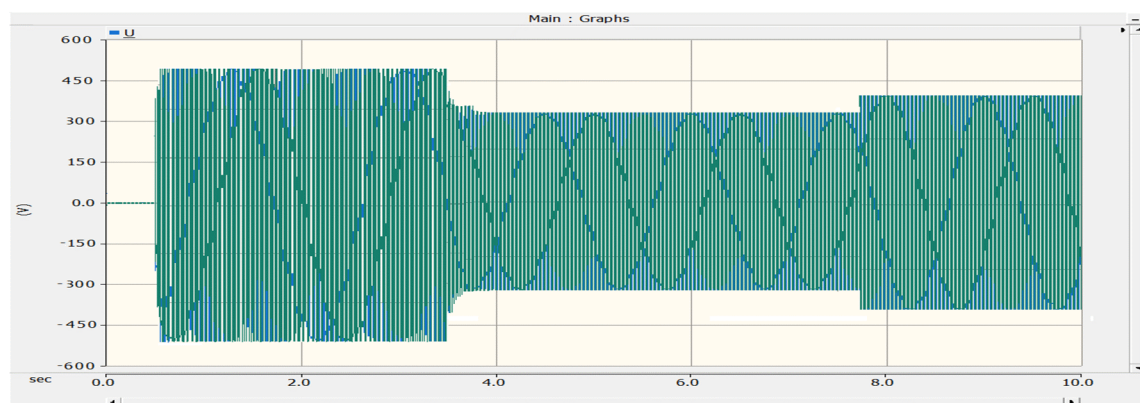


Рисунок 5 – Изменение напряжения во время пуска электродвигателя АО2-71-4 мощностью 20 кВт.

Напряжение на ЭГУТ перед прямым пуском электродвигателя АО2-71-4 повысили до 480 В, начальное напряжение при прямом пуске снизилось до 330 В и после разгона установилось в пределах 380 В. Длительность разбега – 4,2 секунды.

Аналогичная картина наблюдалась при запуске электродвигателя АО2-72-4 мощностью 30 кВт, которая приведена на рисунке 6.

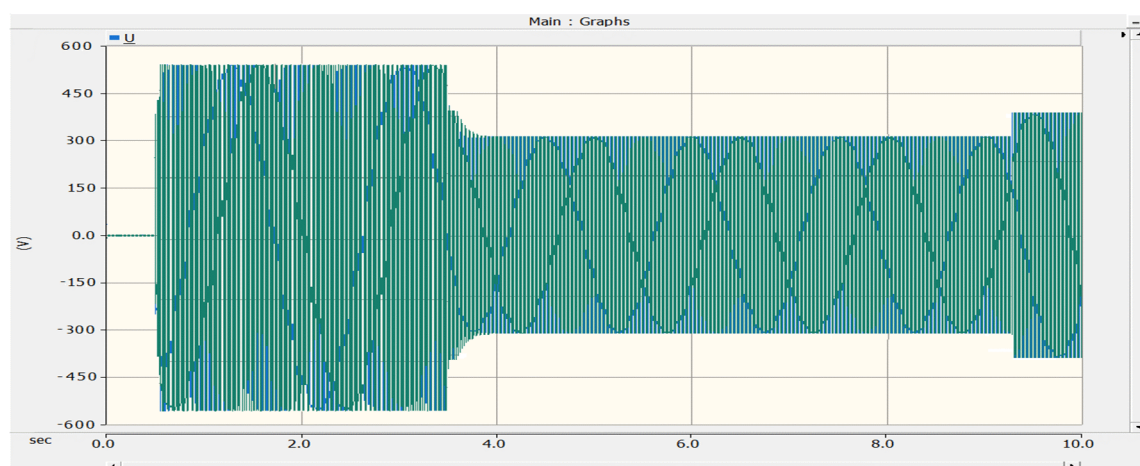


Рисунок 6 – Изменение напряжения во время пуска электродвигателя АО2-72-4 мощностью 30 кВт

Из рисунка 6 видно, что предварительное напряжение перед прямым пуском электродвигателя АО2-71-4 составило 510 В, начальное напряжение при запуске снизилось до 380 В и после разгона установилось в пределах 380 В. Длительность разбега – 6 секунд.

Выводы

Разработана упрощенная формула для инженерного расчета предельной мощности асинхронного электродвигателя при его прямом пуске от электрогенератора ограниченной мощности с учетом предварительного повышения напряжения на его зажимах.

Сравнение расчетных и экспериментальных данных показывает, что погрешность расчета не превышает 10%. С увеличением мощности запускаемого электродвигателя максимальная погрешность расчета уменьшается до 7%. Это объясняется тем, что расчетная формула (9) выведена без учета насыщения, что характерно для пуска электродвигателей с высоким коэффициентом соизмеримости. Полученные погрешности

расчетных и экспериментальных данных вполне допустимы вследствие дискретности ряда номинальных мощностей электродвигателей, используемых в хозяйствах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ГОСТ Р 55006-2012 Стационарные дизельные и газопоршневые электростанции с двигателями внутреннего сгорания.
[2] Токарев Б.Ф. Электрические машины. — М.: Энергоатомиздат, 1990, 672 с.
[3] Ратнер М.И. Определение предельной мощности асинхронного двигателя при прямом пуске его от дизель-электрической станции.-Электротехническая промышленность. Серия – электрические машины, вып.5, М.: Информэлектро, 1970, с.21...23.

REFERENCES

- [1] GOST R 55006-2012 Stationary diesel and gas-piston power plants with internal combustion engines.
[2] Tokarev B. F. Electrical machines. — M.: Energoatomizdat, 1990, p. 672
[3] Ratner M. I. determination of the maximum power of the asynchronous motor at its direct start from the diesel power plants.-Electrical industry. Series-electric machines, vol.5, M.: Informelectro, 1970, p. 21 ... 23.

ЭЛЕКТРГЕНЕРАТОРДЫҢ КЕРНЕУІНАЛДЫНАЛА КӨТЕРУ АРҚЫЛЫҚУАТЫ ШАМ АЛАС ЭЛЕКТР ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ ТУРА ҚОСУ

Агимов Т.Н., Умбеткулов Е.К., Бакенов К.А., Бектемиров А.Т.
Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан

Анатпа. Мақалада, қуаты шамалас асинхронды қозғалтқышты, трактордан жетегі бар электргенераторлық қондырғыдан тура қосу мәселелері қарастырылды. Жалпы өнеркәсіптік мақсаттағы синхронды генераторларға сынақ өткізетін кернеудің нормативті мәндеріне көңіл аударылды. Асинхронды электрқозғалтқыштың, электргенераторлардан оның шықпаларындағы кернеуді алдынала көтеру арқылы, тура қосылуы кезіндегі шекті қуатты анықтайтын қысқартылған өрнек шығарылды. Қосу алдындағы, генератордағы кернеуді алдынала көтерудегі әртүрлі шамалардан қосылатын электрқозғалтқыштың қуат тәуелділігі графигі тұрғызылып, есептеулер жүргізілді. Қуаты шамалас электрқозғалтқыштардың тура қосылу процессін суреттеу үшін, PSCAD (Power Systems Computer Aided Design) және Advanced Grapher программалық кешендер қолданылды.

Кілттік сөздер: генератор, электрқозғалтқыш, шамалас қуат, тура қосу, кернеу көтеру, қоздыру форсировкасы.

DIRECT ON LINE START OF AN ELECTRIC MOTOR WITH COMPARABLE POWER OUTPUT VIA THE PROVISIONAL INCREASE OF THE GENERATOR VOLTAGE

Agimov T.N., Umbetkulov E.K., Bakenov K.A., Bektemirov A.T.
Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan

Abstract. The article deals with the issues of direct start of asynchronous electric motors of comparable power from an electric generator set driven by a tractor. The analysis of standard values of test voltages for the synchronous generators of industrial general-purpose devices is carried out. A simplified formula for calculation of the maximum power of an asynchronous electric motor at its direct start from an electric generator is derived via the preliminary voltage increase at its terminals. Calculations and graphs of the power dependence of the starting electric motor on various values of the pre-increased voltage on the generator before starting are made. To illustrate the process of direct start of an electric motor of comparable power, simulation using the software complex PSCAD (Power Systems Computer Aided Design) and Advanced Grapher was carried out.

Key words: generator, electric motor, comparable power, direct start, over-voltage, the excitation forcing.

МРНТИ 20.23.27; 44.35.31

А.М.Солтанаев

Алматинский Университет Энергетики и Связи, Алматы, Республика Казахстан

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРИПЛОТИННЫХ МАЛЫХ ГЭС

Аннотация. В настоящее время в Казахстане наблюдается растущий интерес к эффективному использованию малой гидроэнергетики, одному из видов возобновляемых ресурсов. В данной работе кратко рассматриваются программные средства для планирования и проектирования малых ГЭС, где указывается недостаток средств для приплотинных проектированиях. Показана актуальность для создания методической и программной базы для предпроектных решений приплотинных малых ГЭС в условиях Казахстана. Показан краткий водно-энергетический расчет малого ГЭС с водохранилищем на реке Баскан. Рассмотрена геоинформационная система (ГИС) как инструмент для обработки пространственно-локализованной информации для расчета параметров водохранилищ.

Ключевые слова: малая гидроэлектростанция, плотина, водохранилище, водно-энергетический расчет, геоинформационные системы, технико-экономическое обоснование.

Введение. Вопрос о возобновляемых ресурсах и их использовании по-прежнему является одной из актуальных тем на сегодняшний день. Также немаловажным является проблема, связанная с водными ресурсами, так как вода в стране является незаменимым природным ресурсом, необходимым для жизнедеятельности граждан и сельского хозяйства. Неравномерное естественное распределения водных ресурсов в определенной локации и во времени осуществляется за счет сооружения водохранилищ. Накопленная в данных водохранилищах вода используется для ирригации посевных земель, водоснабжения ближайших населенных пунктов и промышленных предприятий, и т.д. Также с помощью водохранилищ регулируют речной сток для предотвращения наводнений. Ряд упущений в эксплуатации некоторых водохранилищ страны привели к трагическим и финансовым последствиям, что стало одной причиной спада их строительства и развития. Однако сейчас использование полного потенциала водохранилищ для водно-энергетических целей становится необходимостью и обсуждается на всех уровнях, что дает толчок для развития и строительства данных гидротехнических сооружений. Первичным энергоресурсом для малых гидроэлектростанций (МГЭС) является вода, гидродинамическая энергия которой преобразуется с помощью гидроагрегатов в электрическую энергию. Таким образом, МГЭС являются станциями с использованием возобновляемых источников энергии. Развитые страны Европы (например, Германия, Великобритания, Норвегия и Финляндия) уделяют пристальное внимание развитию малой гидроэнергетики. Энергия от получаемой МГЭС может обеспечить энергетическую безопасность, способствовать ее экономическому росту в расположенной местности. Использование малой гидроэнергетики имеет экологические и экономические выгоды для страны. Малая гидроэнергетика более экологична, чем другие основные источники электроэнергии Казахстана, использующие ископаемые виды топлива, в основном в виде угля. Добыча ископаемого топлива для получения энергии также оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду, которая итак уже усугублена тяжелой неэкологической промышленностью, передавшейся в наследство с советских времен. МГЭС не производят большие потери в виде тепла, вредных выбросов и т.д. Наиболее существенное негативное последствие сооружения водохранилищ – это потеря земель при

их затоплении. Восточные и Южные регионы Казахстана имеют хороший гидроэнергетический потенциал в стране. Значительная часть малой гидроэнергетики обусловлена характером местности, разбросанной в малых реках, энергия которой используется только на небольших гидроэлектростанциях.

Предпосылки проблемы

Эффективное использование гидроэнергетики необходимо для эффективного использования ресурсов воды. В строительстве МГЭС предпочтительно используются места, в которых проводились многолетние замеры на гидрологических постах. Будущее местоположение МГЭС необходимо должно быть хорошо подготовлено. Этот подготовительный этап значительно недооценивается и делается в сжатые сроки, даже если сам процесс играет важную роль. В этой части должна быть хорошо рассмотрена предварительная информация, чтобы сделать относительно очень точные оценочные свойства МГЭС для фактической реализации. Учитывая, что жизненный цикл МГЭС планируется десятилетиями, любая недооценка может иметь длительные негативные последствия. Поэтому рекомендуется тщательно всесторонний анализ при выборе и подготовки местоположения МГЭС и его водохранилища. Это требует определенного количества необходимых знаний и практического опыта. Поэтому большой вклад может привести применение инструментов геоинформационных систем (ГИС). Однако эта цель требует больших усилий в исследованиях и разработках. Важно продолжить разработку различных методик, которые были разработаны для устойчивого использования водно-энергетических ресурсов.

Гидроэлектрическая мощность является функцией напора и потока. То есть электростанция с небольшим потоком способна использовать напор выше ста метров, может иметь более высокую мощность, чем мощность большого речного бассейна. К основным показателям для оценки выбранных местоположений для использования потенциала гидроэнергетики относятся данные двух основных параметров. Эти параметры обрабатываются для профиля, который проектируется с использованием МГЭС. Напор - это разность уровней воды, поток измеряет количество воды в этом полезном профиле. Использование ГИС в качестве инструмента оценки гидроэнергетики привело к скачку вперед в усилении оценки энергетического потенциала водных потоков в случае пространственной изменчивости различных факторов, влияющих на мощность потока. Тем не менее, для надежной оценки реальной работоспособности местоположения МГЭС необходима конкретная геометрия «на месте». Но традиционная оценка может быть значительно облегчена с использованием методов ГИС, которые включают пространственную изменчивость характеристик водосбора [1].

Оценка участков МГЭС для развития представляет собой относительно высокую долю общих затрат по проекту. В течение последних нескольких десятилетий для решения этой проблемы были разработаны различные компьютерные средства оценки, которые позволяют потенциальному разработчику провести первоначальную оценку экономической осуществимости проекта, прежде чем тратить значительные суммы денег. В различных странах основной упор делается на мелкомасштабные компьютерные инструменты и методологии оценки ресурсов гидроэнергетики для разработки МГЭС, соответствующих предварительному уровню технико-экономического обоснования. Разработанные инструменты варьируются от простых исходных оценок до довольно сложного программного обеспечения. Ряд стран (например, Канада, Италия, Норвегия, Шотландия и США) пересмотрели свои гидроэнергетические мощности на основе пространственной информации об их водосборах, разработали инструменты для автоматической идентификации гидроузлов и внедрения инструментов на базе ГИС, так называемых атласов, маломасштабных гидроэнергетических ресурсов в Интернете [2].

Таким образом, появление программного обеспечения ГИС было огромным использованием в качестве одним из способов сбора требуемой информации. Эти технологии могут хранить информацию о пространственном водосборе предлагаемого местоположения МГЭС в базе данных ГИС и использовать его для принятия решений о том, следует ли продолжать разработку МГЭС в данной локации.

Всесторонний обзор компьютерных средств оценки для прогнозирования выработки энергии конкретной малой гидросистемы приведен в [3]. Основная цель этих программных инструментов - найти быстрый и разумно точный способ прогнозирования генерирования энергии на конкретную гидросистему. Эти прогнозы включают в себя данные о потоке, по которому достаточно точно определяют временную изменчивость расхода воды для определения размеров установок. Первая из этих целей - относительно простой вопрос физического измерения, а также некоторые расчеты гидравлических потерь в отношении материалов труб, скорости воды и других переменных. Второй вопрос намного сложнее для исследования местоположения МГЭС, и эта часть проблемы является самой трудноразрешимой. Нет никакой проблемы в оценке энергии естественного потока воды из долговременных замеренных речных потоков, что неверно для записей о коротких периодах и что еще сложнее для маловодных участков. Разумеется, точность гидрологического анализа имеет решающее значение для экономической эффективности гидросистемы. Основная цель этого исследования состояла в том, чтобы рассмотреть общедоступные программные средства и интерактивные веб-карты, предназначенные для выбораместоположения МГЭС, с оценкой, соответствующей уровням от анализа до предварительных технико-экономических обоснований. Обзор компьютерных программ и интерактивных карт в интернете, которые являются общедоступными и предназначены для оценки ресурсов гидроэнергетики для целей планирования и проектирования МГЭС выявил, что имеется недостаток в проектировании плотин и водохранилищ, так как львиная доля программных обеспечений сделана в основном для деривационных МГЭС. А в тех, где есть функция учета плотин с водохранилищем, наоборот, упрощены. К примеру, небольшие гидроэнергетические плотины оцениваются на основе только их энергетического потенциала и, следовательно, игнорируют другие факторы, что мешает более точно проанализировать в финансовом и техническом аспекте. Имеющиеся платные программные обеспечения автоматизируют необходимые расчеты по анализу водно-энергетическому потенциалу рек, но не дают возможности проведения разностороннего анализа приплотинных МГЭС с технико-экономическим обоснованием, отсутствие в них базы данных рек Казахстана лишает возможности проведения математического моделирования режимов работы казахстанских малых ГЭС. Таким образом, актуальной является задача по созданию математической модели с возможностью внесения корректировки с учетом результатов новых исследований, проведения равностороннего анализа в технико-экономических обоснованиях строительства приплотинных МГЭС Казахстана. Математическая модель должна проводить анализ различных компоновок ГЭС с учетом выбора электромеханического, гидротехнического оборудования и сооружения, и их технических параметров. Один из блоков должен моделировать режим работы водохранилища с учетом ирригации и краткие параметры плотины.

Расчет производительности МГЭС

В данной работе будет рассмотрен (к определению пригодного для использования) гидроэнергетический потенциал реки Баскан. Река Баскан - наиболее крупный левобережный приток реки Лепсы, которая впадает в озере Балхаш и начинается при слиянии рек – Большой Баскан и Малый Баскан, которые берут начало на высоте около 4000 м в мощных ледниках Джунгарского Алатау. Река Большой Баскан, сливающаяся в селе Екиаша (Покатиловка) с Малым Басканом, образуется из двух больших рек -

Караунгур и Кунакбай. Вся площадь водосбора составляет 2710 км², в том числе Большой Баскан – 440 км², Малый Баскан - 378 км². Общая площадь водосбора до створа гидрометрического поста составляет 818 км², площадь ледников составляет 70 км². Верховье реки Большой Баскан представляет целый веер рек и их притоков, берущих начало на склонах Северного Центрального хребта и его отрогах Джунгарского Алатау. Бассейн реки Малый Баскан является одним из самых узких в данном районе. В питании реки Большой Баскан основную роль играют талые воды «вечных» снегов и ледников. В питании меженного стока значительное участие принимают подземные воды. Дождевые осадки только частично дополняют снеговое питание в период половодья. Водный режим реки, главным образом, зависит от количества осадков, выпавших зимой и интенсивности их таяния. Максимум половодья приходится на июль-август месяцы.

Водный режим реки Баскан достаточно изучен. Систематические наблюдения за стоком воды на реке Баскан – селе Новопроковка были начаты в 1926 г. Этот пост был закрыт в 1972 году в связи с разрушением гидропоста реки Баскан в селе Новопокровка. В 1972 году пост перенесен вверх по течению в створ прежнего гидропоста селе Покатиловка (Екиаша), который действует с 1973 г. по настоящее время.

Для характеристики водного режима рек Большой и Малый Баскан использованы данные многолетних наблюдений Казгидромета по гидропостам р. Баскан – с. Алмалы (с. Новопокровка) и р. Баскан – с. Екиаша (с. Покатиловка). Проектируемая Басканская ГЭС является приплотинной. На реке Баскан в настоящее время функционирует Верхне-Басканская ГЭС-1 мощностью 4,5 МВт, расположенная на реке Большой Баскан в Саркандском районе Алматинской области, выше села Екиаша. Действующая станция деривационного типа с расчётным напором 50 м. Обеспеченности среднегодовых расходов. Исходными данными для определения обеспеченности среднегодовых расходов приняты среднемесячные значения расходов, вычисленные по среднесуточным значениям наблюдений на гидрометрических постах на р. Баскан. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Среднегодовой сток при водности различной обеспеченности створ села Екиаша

P%	25	50	75	85	95
Q м ³ /с	14,52	12,05	10,08	9,19	7,87
W млн м ³	462,0	383,1	321,6	292,7	253,7

Внутригодовое распределение стока. Закономерности внутригодового распределения стока определяются: климатическими условиями, характером рельефа (средней высотой водосбора), наличием ледников, гидрогеологическими особенностями бассейна. В блок вводятся гидрологические замеры за все годы, и обработанные данные внутригодового распределения стока с учетом всех потерь даны в таблице 2.

Таблица 2 – Внутригодовое распределение стока при водности различной обеспеченности.

Обесп-ть, %	Среднемесячный сток (расход) Q, м ³ /сек											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25	7,35	6,57	6,4	7,85	15,61	28	32,02	23,69	16,66	12,03	10,37	7,73
50	6,29	6,92	8,29	6,17	10,59	16,06	28,06	24,65	13,38	9,29	7,67	7,18
75	3,4	4,68	4,8	6,79	11,46	19,02	21,87	18,66	12,05	6,87	6,04	5,28
85	4,02	3,27	3,08	4,96	11,05	16,69	21,39	20,46	11,42	6,55	4,17	3,23
95	3,79	3,41	3,11	4,9	5,84	10,14	16,13	20,87	11,43	6,11	5,24	3,42

График, отражающий среднемесячные расходы реки Баскан при различной водности, приведен на рисунке 1. Из графика видно, что характерной чертой режима реки Баскан является большая продолжительность половодья. Согласно результатам, в основном, оно приходится на период с третьей декады марта по третью декаду июля. На его долю приходится до 60 % годового стока.

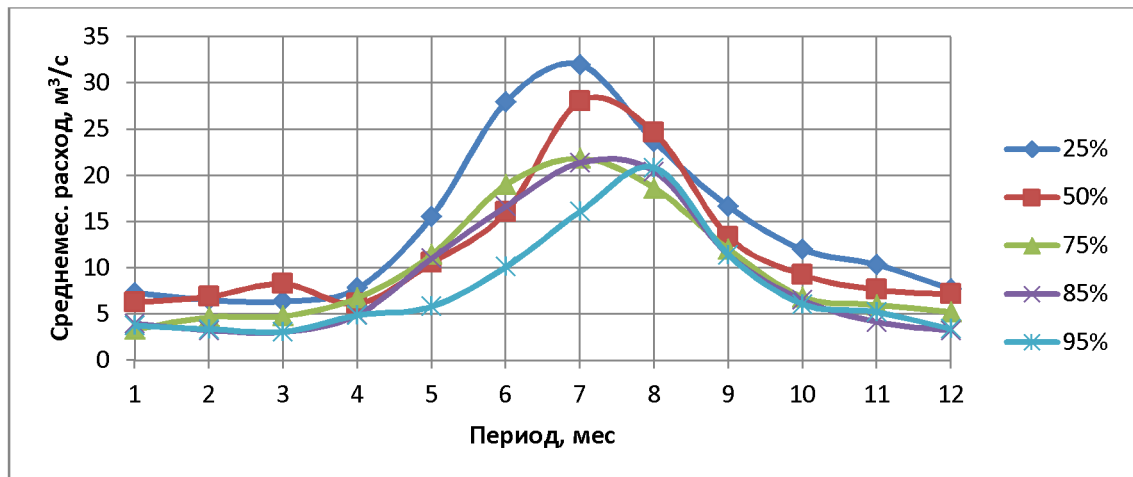


Рисунок 1 – Среднемесячные расходы реки Баскан при водности различной обеспеченности

Наибольший месячный сток наблюдается в июне и июле. Наименьшие расходы приходятся на октябрь и ноябрь. Сток маловодного периода приходится на зимний период с ноября по февраль и составляет около 30 % годового стока. При уменьшении годовой водности доля зимнего стока увеличивается. В маловодные годы (50%) увеличивается влияние весеннего таяния снега на характер среднемесячного стока. График имеет выраженный бугор в марте с ямой в апреле. Кривая продолжительности расходов равняется от 2,82 до 4,06 м³/с. С июня по сентябрь, иногда и в октябре, среднемесячные значения стока превышают значение 4,06 м³/с. Максимальный расход воды через выбранную для проектируемой ГЭС турбину равен 4,00 м³/с, минимальный – 0,7 м³/с. При стоке более 4,0 м³/с излишек воды остается в реке. Рабочие режимы ГЭС будут определяться с учётом режимов ирригационной системы.

Также была рассчитана среднемноголетняя обеспеченность расхода из исходных гидрологических данных, который показан на рисунке 2. Максимальные расходы воды формируются в основном за счет интенсивного таяния ледников нередко с участием дождевых вод. Катастрофические паводки с наибольшими расходами воды образуются от прорыва моренных озер, ледниковых пустот и при выпадении в высокогорной зоне теплых осадков, т.е. когда на талый сток накладывается дождевой.

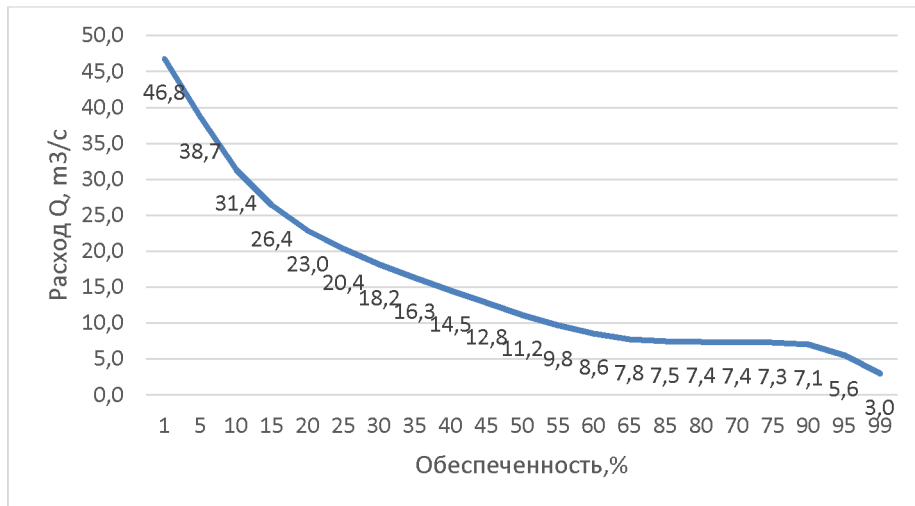


Рисунок 2 – Среднемноголетняя обеспеченность расхода воды реки Баскан

Блок водохранилища, чей процесс был подробнее описан в предыдущих работах [4], [5], основанных на инструменте ГИС. На рисунке 3 показана цифровая модель рельефа местоположения водохранилища на основе SRTMDEM. С корректировками результаты отклонения SRTM по площади зеркала до 0,06%, а объем воды до 3,33%, что очень приемлемо для предварительно технико-экономического обоснования. Данный блок ощутимо экономит время и финансы, так как процесс обработки не занимает много времени и не требует выезда топографической экспедиции на предполагаемое расположение МГЭС.

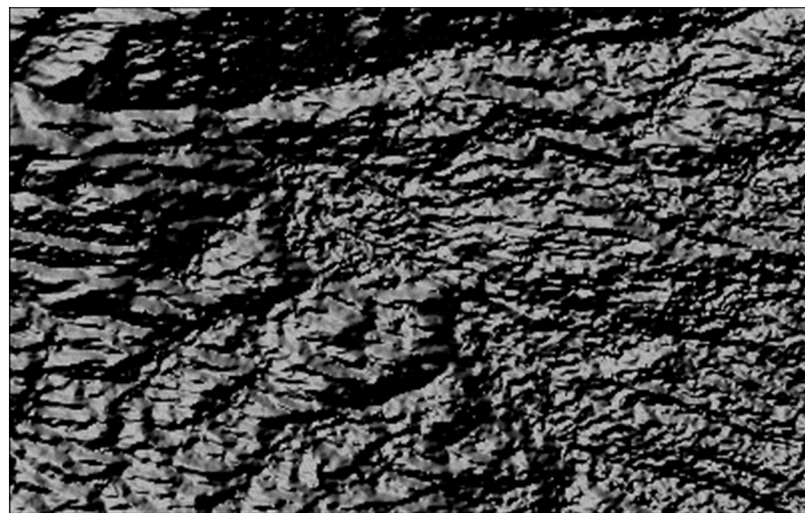


Рисунок 3 - Цифровая модель рельефа локации водохранилища

Определение расчетных гидрологических характеристик рассчитывается в гидротехническом блоке расчета выработки электроэнергии ГЭС. Здесь вычитываются основные водно-энергетические параметры МГЭС в различных параметрах, таких как число гидротурбин и их установленная мощность, диаметр труб. Мощность МГЭС определялась по формуле:

$$N = 9.81 \times \eta_{ГЭС} \times H_{\text{нетто}} \times Q_{ГЭС}, \text{ кВт(1)}$$

где:

Q – расход воды, проходящий через МГЭС, $\text{м}^3/\text{с}$;

$H_{\text{нетто}}$ – напор за вычетом потерь;

$9.81 \text{ м}^2/\text{с}$ – ускорение свободного падения;

$\eta_{\text{гэс}}$ – средний по станции КПД при работе агрегатов;

$\eta_{\text{гэс}} = \eta_{\text{т}} \times \eta_{\text{г}}$,

$\eta_{\text{т}}$ – коэффициент полезного действия турбины

$\eta_{\text{г}}$ – коэффициент полезного действия генератора

Выработка электроэнергии за месяц определена по формуле

$$E = N \times T \times 1000 \text{ МВт.ч (2)}$$

где:

E – Выработка энергии за месяц;

T – Число часов в месяце.

Результаты изменения напора за средний по водности и маловодный год показаны на рисунке 4. По данному графику можно ясно видеть регулирование уровня водохранилища за счет гидроэнергетических и ирригационных расходов.

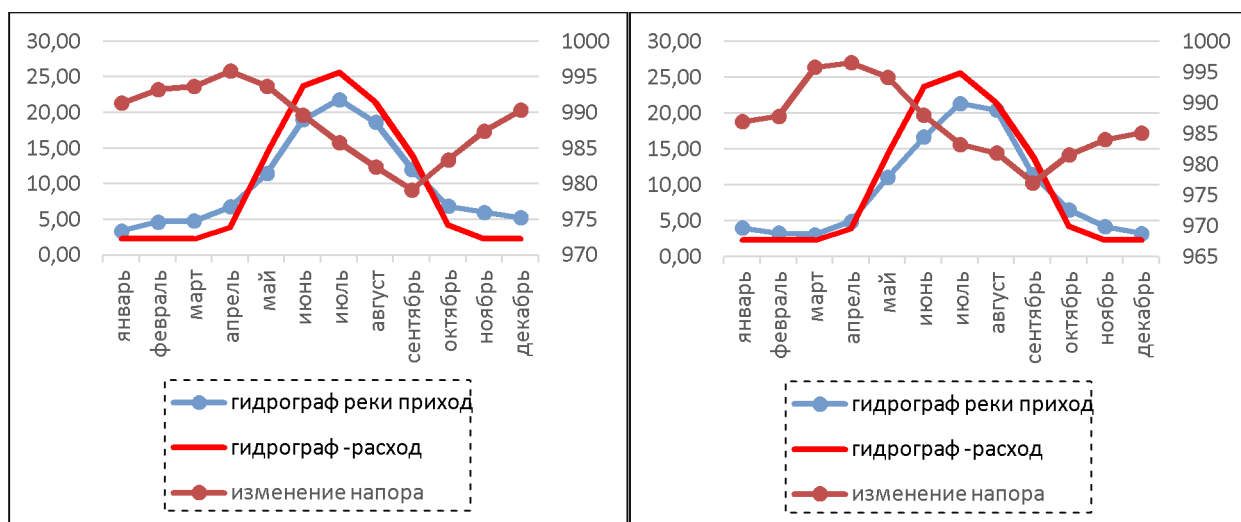


Рисунок 4 – Прогноз изменения напора за средний (левый) и маловодный (правый) год

Водно-энергетические расчеты выполнялись по характерным годам, в качестве которых принимались многоводный 25% обеспеченности год, средний по водности год, близкий к среднемуголетнему, с вероятностью 50% и маловодные годы 75% и 90% обеспеченности годового стока. По данным среднего года определялись расчетный расход ГЭС, мощность и годовая выработка электроэнергии. По данным маловодного года проверялась обеспеченность ГЭС водой и определялась гарантированная мощность, в часы прохождения зимнего максимума нагрузки. Прогноз выработки равен при среднем по водности год (50%) 32072632,98 кВтч, а маловодный год (75%) 28741795,52 кВтч.

Выводы. Благодаря интеграции пространственных данных можно оценить реальные проблемы и тем самым эффективно способствовать принятию рациональных решений, что показывает важное значение ГИС в области гидроэнергетических проектов. В данной работе рассматриваются и сравниваются программные средства для планирования и

проектирования МГЭС. Важно отметить, что потенциал для водохозяйств будет неполным без использования гидроэнергетики, которая использует ирригационную воду для генерации электричества. Для нужд водотоков и водохозяйственных систем предлагаемая модель может быть важным инструментом принятия решений в отношении ее осуществления. Были показаны расчеты в проектных решениях для потенциальной гидроэнергетики на реке Баскан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Larentis, D.G.; [et al.] Gis-based procedures for hydropower potential spotting // Energy. – 2010. - No.10. - с. 4237–4243.
2. Hall, Douglas. [et al.] Water Energy Resources of the United States with Emphasis on Low Head/Low Power Resources// United States: N. p., - 2004. Web. doi:10.2172/1218172
3. P. Punys, A. Dumbrasukas, A. Kvaraciejus, G.Vyciene. Tools for small hydropower plant resource planning and development: A review of technology and applications// Energies. - 2011. - No.4(9). - с. 1258–1277.
4. Солтанаев А. М. Использование геоинформационных систем для моделирования режимов работы водохранилищ малых ГЭС // Материалы международной научно-практической конференции «Роль молодежи в становлении экономики знаний». - Алматы: Вестник АУЭС, 23.04 – 24.04. 2018. – с. 85-92
5. Soltanayev A.M. The use of geoinformation systems in the development of a feasibility study for small hydropower plants for agro-industrial complexes in Kazakhstan // VI International Scientific Congress «Agricultural Machinery». - Burgas: Proceedings: Innovative technologies. Conserving Soils, 25.06 – 28.06.2018. – p.133-135

REFERENCE

1. Larentis, D.G.; [et al.] Gis-based procedures for hydropower potential spotting // Energy. – 2010. - No.10, p. 4237–4243.
2. Hall, Douglas. [et al.] Water Energy Resources of the United States with Emphasis on Low Head/Low Power Resources// United States: N. p., - 2004. Web. doi:10.2172/1218172
3. P. Punys, A. Dumbrasukas, A. Kvaraciejus, G.Vyciene. Tools for small hydropower plant resource planning and development: A review of technology and applications// Energies. - 2011. - No.4(9). - p. 1258–1277.
4. Soltanayev A. M. Ispol'zovaniye geoinformatsionnykh sistem dlya modelirovaniya rezhimov raboty vodokhranilishch malyh GES // Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Rol' molodezhi v stanovlenii ekonomiki znaniy» - Almaty: Vestnik AUES, 23.04 – 24.04. 2018. – p. 85-92 (in Russian)
5. Soltanayev A.M. The use of geoinformation systems in the development of a feasibility study for small hydropower plants for agro-industrial complexes in Kazakhstan // VI International Scientific Congress «Agricultural Machinery». - Burgas: Proceedings: Innovative technologies. Conserving Soils, 25.06 – 28.06.2018. – p.133-135

ШАҒЫН БӨГЕТТІК СЭС ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

Солтанаев А.М.

Алматы Энергетика және Байланыс Университеті, Қазақстан Республикасы

Андатпа. Қазіргі уақытта Қазақстанда жаңартылатын энергия көздерінің бірін шағын гидроэнергетикасын тиімді пайдалануда қызығушылық артып келеді. Осы мақалада бөгеттік СЭСтерді жоспарлау және жобалау бойынша бағдарламалық қамтамасыз етуді қысқаша талқыланады және құралдардың аздығы көрсетіледі. Қазақстандағы бөгетті шағын суэлектростанциялардың жобалау алдындағы шешімдері үшін әдістемелік және бағдарламалық базаны құру үшін белсендігі көрсетілген. Басқан өзеніндегі су қоймасы бар шағын суэлектростанцияның су-энергетикалық қысқаша есептеуі беріледі. Геоақпараттық жүйе (ГАЗ) су қоймасының параметрлерін есептеу үшін кеңістіктік локализацияланған ақпаратты өңдеу құралы ретінде қарастырылады.

Кілттік сөздер: шағын су электр станциясы; бөгет; су-энергетикалық есептеу; геоақпараттық жүйелер; техникалық-экономикалық негіздеме, су қоймасы.

MATHEMATICAL MODELING OF OPERATING MODES FOR SMALL DAM HYDROELECTRIC POWER STATIONS

Soltanayev A.M.

Almaty University of Power Engineering and Telecommunication, Kazakhstan

Abstract. In Kazakhstan at present there is a growing interest in the effective usage of small hydropower - one of the types of renewable resources. In this paper, the software for planning and design of small HPPs is briefly discussed and the lack of utilities for hydrodam design is highlighted. The importance of the creation of a methodological and pre-design solution program base for dam-type small hydro power plants in Kazakhstan is shown. Brief water-energy calculation for a small hydroelectric power station with a reservoir on the Baskan River is given. The geoinformation system (GIS) is considered as a tool for processing spatially localized information for calculation of reservoir parameters.

Key words: small hydropower plant; dam; water and energy calculation; geoinformation systems; feasibility study; reservoir.

Aliyarov B.K., Bahtiyar B.T., Akimbek G.A

Noncommercial Joint - Stock Company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications" department of "Heat Engineering Installations", Almaty, Kazakhstan.

THE POSSIBILITY OF USING SURPLUS POWER OF LOCOMOTIVE TO SUPPLY THE PASSENGER CARRIAGES

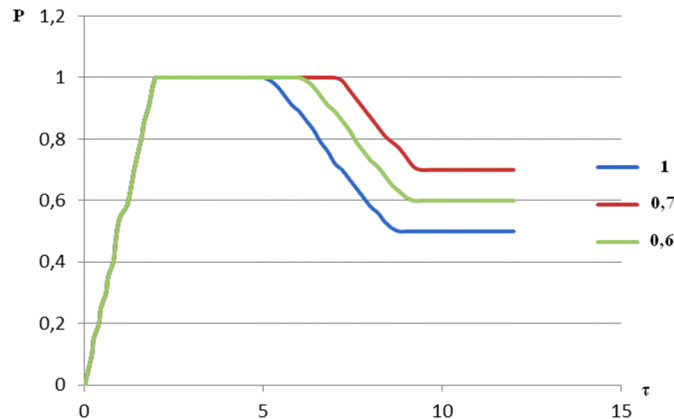
Providing the comfort conditions on the roads of passengers has the special value in countries with large territory. It is contingently used on planes and busses, trains between cities in countries with compact territory, in this connection when we travel by train the condition of the passage should be as convenient as by bus and by plane. When we take a long way to travel (to Kazakhstan, Russia and etc.) we have to live in a carriage and in accordance with it, the condition should be as convenient as in a hotel that demands providing the different types of energy.

Last year different charts were used to provide the different types of energy of passenger carriages. For example, in composition with old charts the electricity is carried out by the own generator or accumulator placed under carriages. Thus for the rotation of generator, the energy got from electric engines of locomotive wheels and generator of locomotive was used. As a result on the generators of carriage approximately of one third from the initial current of generator of locomotive was repeatedly created. Libra of generator, its reducing gear and accumulator of reserve feed approached to two tons, 15 carriages are approached weight of one additional carriage and increased the expenses on traction approximately by 10- 15%. Electricity was provided from a reserve accumulator of only regular illumination (a conditioner is disconnected in summer).

Thermal energy (on the chart of providing the energy of passenger carriage) was produced from the individual boiler room of every carriage, mainly on coal (storage and serve, that over on a caldron was brought to substantial contamination of platform of carriage). This chart of heating became a regular temperature in a carriage (created additional discomfort for a passenger), although during some modernization (for example, with creation of the system with adulteration of external cold air, through the special ventilator (electrically-driven) could provide adjusting of temperature in every compartment.

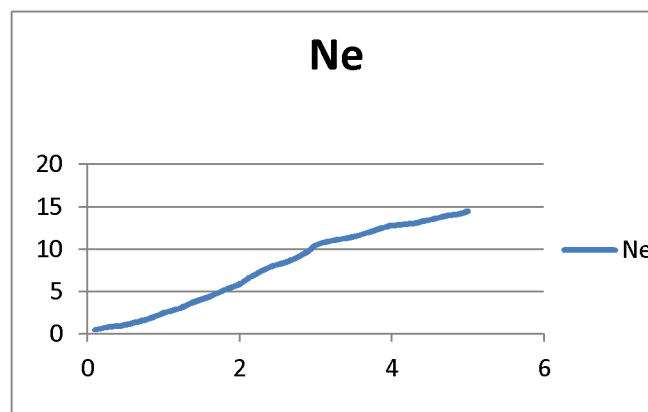
On the other chart of providing the energy of passenger carriage (on Talgo, on the Chinese carriages, partly on the Ukrainian carriages) the electricity which is used on heating, on domestic and computer technique and etc. is produced by the own generator placed in a separate carriage (as it has already been mentioned above that results increased by 10 -15%). In this case all "set" of discomfort of passenger is practically removed: limitation is eliminated on the consumption of electricity at the stand of train, contamination of platform "disappears", by the spilled coal, possibility of adjusting of temperature appears in every compartment (not in all) and etc.

On the other hand power is considered to be necessary for the beginning of movement and acceleration to cruising speed between the stations in a locomotive. However, at movement of composition, the power is required only for overcoming of aerodynamic resistance after-grass and resistances of wheels friction of carriages with rails. It fully assumes that the use of the "prepared" electric power of locomotive for providing the electricity on carriages of composition.



It is known that time of acceleration occupies less than 5 minutes from the beginning of movement. In the 1st picture the change of electric power of locomotive is shown at the beginning and after the acceleration movement. Also, a few variants of correlation of the power between the beginning and acceleration of movement and the electric power on the route (0.5, 0.6, and 0.7) are carried out in that picture.

The other case of enhanceable power of locomotive is movement of high-rise. The consideration of basic routes of passenger-trains is allowed to educate that in Kazakhstan there are a few high-rises which extent the level of a 10 kilometre or at speed 60 kilometres, and enhanceable power time is 10 minutes. The graphic analysis of movement is showed that in high-rise motions (correlation of movements without high-rise and with 5 degrees), the increase of watts-in did not exceed to 15%. Total time of requirement in enhanceable power of locomotive is little so it gives opportunity to use the more power of locomotive in order to ensure passenger carriages with electricity.



The other case of enhanceable power of locomotive is movement of high-rise. The consideration of basic routes of passenger-trains is allowed to educate that in Kazakhstan there are a few high-rises which extent the level of a 10 kilometre or at speed 60 kilometres, and enhanceable power time is 10 minutes. The graphic analysis of movement is showed that in high-rise motions (correlation of movements without high-rise and with 5 degrees), the increase of watts-in did not exceed to 15%. Total time of requirement in enhanceable power of locomotive is little so it gives opportunity to use the more power of locomotive in order to ensure passenger carriages with electricity.

In the 2nd possible chart there can be following: electricity from the transformer of locomotive (to specify from that there are a lot of transformers) is given on the transformers of every carriages, (to know whether present transformers one-port, but with an exit with different tensions) in that electricity will be transformed on the tensions required by the electric equipment

of carriage. It is fully possible to suppose that weight of transformers of carriages is less than the weight of the total deleted under carriages power equipment and caldron and weight of power carriage. The presence of sufficient surplus power of locomotive allows to apply the use of electric energy in a carriages. A force time of limitation of consumption of surplus power of locomotive does not create perceptible discomfort for passengers (in connection with thermal inertia of carriage) and it will fix the operational mode of locomotive surplus power.

Eventually, more modern information technology, electronics and embed linear carriages source of energy for operation, uninterrupted ventilation and air conditioning of the car.

Keywords: Locomotive, electric energy, thermal energy, boiler, electricity , generator

REFERENCES

1. A.R. Miller., K.S. Hess., D.L. Barnes., T.L., System design of a large fuel cell hybrid locomotive, Natural Resources Canada, Journal of Power Sources, USA, (2007), volum 173, p. 935–942
2. Kuzmich V. D., Rudnev V. S., Frenkel S. Ya. Theory of locomotive traction: Textbook for universities Zh. -D. transport /M.: publishing house "Route", 2005.-448 p.

К.Т.Тергемес, Е.З.Амангалиев, У.К.Тлеугали, Д.Ш.Аманбек,
Н.Т.Омирзаков

Алматинский Университет Энергетики и Связи, Алматы, Казахстан

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТОВ

Как известно, к электрическим транспортам, относятся все виды транспорта, которые в качестве источника энергии используют электрическую энергию. Основными преимуществами электрического транспорта перед транспортом с двигателем внутреннего сгорания является более высокая производительность и экологичность.

Развитие электропривода хода электротранспорта непосредственно связано с развитием современного автоматизированного электропривода, силовой электроники, усовершенствования электрических машин и микропроцессорной техники. Интеграция достижений этих трех направлений и разработка высокоэффективных электроприводов являются отличной предпосылкой для производства некоторых видов казахстанского электрического транспорта.

При регулировании частоты вращения тяговых электроприводов постоянного тока реостатным способом происходят большие потери энергии, согласно $P=I^2R$, практически достигающие до 30-45% энергии от установленной мощности приводного двигателя. Регулирование ступенчатое, неплавное. Система управления построена на релейно-контакторной схеме. На сегодняшний день реостатный способ регулирования скорости вращения двигателей постоянного тока морально устарел.

Авторами данной статьи ведутся работы по разработке электропривода хода электрического транспорта с использованием асинхронных электродвигателей и синхронных электродвигателей с постоянным магнитом, имеющих большие крутящие моменты по сравнению с обычным синхронным двигателем, что является оригинальностью проекта по сравнению с другими аналогами. Современные тяговые синхронные двигатели с постоянным магнитом характеризуются высокой плотностью магнитного потока в воздушном зазоре и малыми пульсациями момента во всем диапазоне регулирования скорости. Такой электропривод имеет хороший коэффициент мощности и компактное исполнение. Это позволит снизить необходимую мощность электропривода и аккумуляторов, а также существенно снизить массо-габаритные показатели и цену проектируемого электрического транспорта.

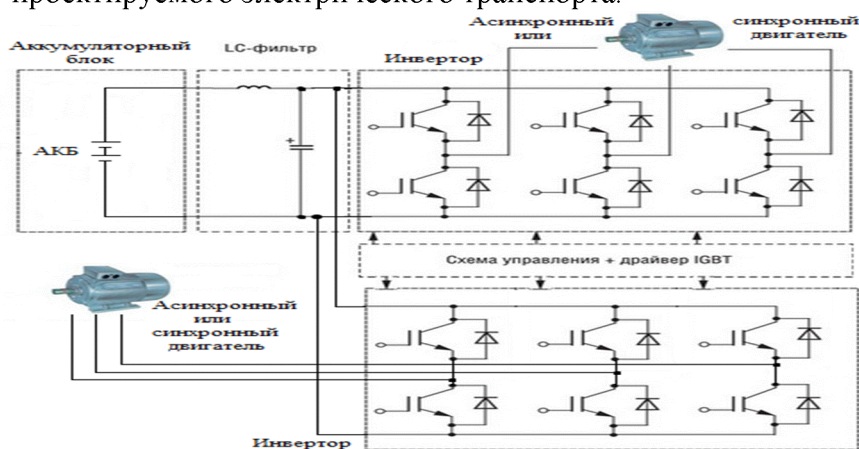


Рисунок 3 – Силовая часть двухдвигательного электропривода хода

Разработка и усовершенствование электрического транспорта в Республике Казахстан создаст большой толчок развитию казахстанской науки в области автоматизированного электропривода, электрических машин, силовой и микро-

электроники, микропроцессорной техники и IT технологий, а также усовершенствованию теоретической и технологической основы автомобильной промышленности.

Tergemes K.T., Amangaliyev Y.Z., Tleugali U.K., Amanbek D.S., Omirzakov N.T
 Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan

PERSPECTIVE DIRECTIONS IN THE DEVELOPMENT OF ELECTRIC DRIVE FOR ELECTRIC TRANSPORTS

As it is known, all types of transport, using electric energy, are related to electric vehicles. The main advantages of electric transport over transport, with the internal combustion engine are higher productivity and environmental friendliness.

The development of the electric drive for electric transport is directly connected with the development of modern automated electric drive, power electronics, improvement of electrical machines and microprocessor technology. Integration of the achievements of these three directions and development of highly efficient electric drives is an excellent prerequisite for the production of some types of Kazakhstan electric transport.

When adjusting the rotational speed of DC traction electric drives, a large energy loss occurs in the rheostat mode, according to $P = I^2R$, practically reaching up to 30-45% of the energy from the installed power of the drive motor. Regulation stepped, not smooth. The control system is built on a relay-contactor circuit. To date, the rheostatic method of regulating the speed of rotation of DC motors is morally obsolete.

The authors of this article are working on the development of an electric drive for electric transport with the use of asynchronous electric motors and synchronous electric motors with a permanent magnet, which have great torques compared to a conventional synchronous motor. This is considered an originality of the project in comparison with other analogues. Modern traction synchronous motors with a permanent magnet are characterized by a high density of magnetic flux in the air gap and small moment pulsations in the entire speed control range. Such an electric drive has a good power factor and compact design. This will reduce the required power of the electric drive and batteries, as well as significantly reduce the mass-dimensions and the price of the designed electric transport.

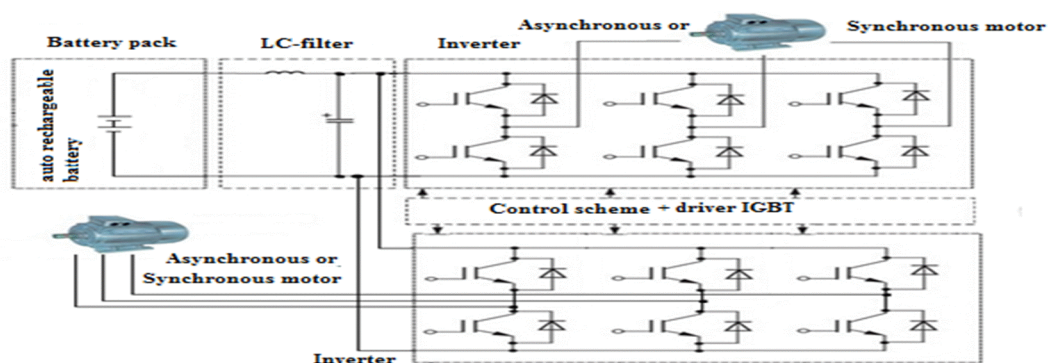


Figure 3 - Power section of the twin-motor electric drive

Development and improvement of electric transport in the Republic of Kazakhstan will create a great impetus for the development of Kazakhstan science in the field of automated electric drive, electric machines, power and microelectronics, microprocessor technology and IT technology, and improvement of the theoretical and technological basis of the automotive industry.

МРНТИ 29.35.39; 29.35.37

С.Б.Бимурзаев, З.С.Саутбекова

Алматинский университет энергетики и связи

УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХЭЛЕКТРОДНЫХ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ ВРАЩАТЕЛЬНОЙ СИММЕТРИИ

Аннотация. Путем численных расчетов найдены условия времяпролетной фокусировки по энергии пучков заряженных частиц в двухэлектродных электростатических зеркалах вращательной симметрии, электродами которых служат соосные цилиндры равного диаметра. Рассмотрены два режима работы таких зеркал: 1) коллиматорный режим – условие параллельности в пространстве изображений пучков частиц, исходящих из точечного источника; 2) режим плоского зеркала - когда падающий на зеркало параллельный пучок частиц остается параллельным и после отражения зеркалом. Результаты расчета представлены в зависимости от двух фундаментальных решений уравнения параксиальных траекторий. Одно из этих решений описывает траектории, прямая и обратная ветви которых совпадают, а второе решение - траектории, прямая и обратная ветви которых симметричны относительно оси симметрии поля. Показано, что для обоих режимов работы времяпролетная дисперсия зеркала по массам, определенная на основе второго решения, в несколько раз выше, чем на основе первого решения.

Ключевые слова: времяпролетный масс-рефлектор, высокодисперсионное электростатическое зеркало, времяпролетная дисперсия, пространственно-времяпролетная фокусировка.

Введение

Впервые в [1] было показано, что в двухэлектродном электростатическом зеркале вращательной симметрии могут быть реализованы два режима одновременной пространственной и времяпролетной фокусировки. В первом режиме узловая плоскость времяпролетной фокусировки совмещена с плоскостью, проходящей через центр кривизны зеркала, а во втором – через его вершину. При этом эффективная длина пробега частиц, следовательно, времяпролетная дисперсия зеркала по массе, во втором режиме на порядок больше, чем в первом режиме. Несмотря на это, зеркала с режимом фокусировки с большой дисперсией практически были преданы забвению как менее светосильные, так как с увеличением длины пробега частиц происходит естественное уменьшение апертурных углов. При этом из поля зрения выпала другая причина, влияющая на светосилу зеркала - его пропускная способность. Вместе с тем, как показали результаты исследований [2], пропускная способность зеркала со вторым режимом фокусировки значительно больше по сравнению с первым режимом фокусировки.

Настоящая работа посвящена изучению свойств времяпролетной фокусировки двухэлектродного электростатического зеркала вращательной симметрии для двух режимов его работы, обеспечивающие высокую пропускную способность, благодаря движению пучков заряженных частиц после отражения зеркалом параллельно его оптической оси. В первом режиме падающий на зеркало параллельный пучок частиц остается параллельным и после отражения зеркалом (режим плоского зеркала). Во втором режиме пучок частиц, исходящий из фокальной точки зеркала, после отражения зеркалом движется параллельно его оптической оси (коллиматорный режим).

1 Расчетные формулы

1.1 Угловые характеристики

Введем цилиндрическую систему координат r, ψ, z , в которой ось z совмещена с главной оптической осью зеркала, а r и ψ - радиальная и азимутальная координаты соответственно. Для определения угловых характеристик достаточно воспользоваться уравнением, описывающим наклон траектории частицы к оптической оси z зеркала.

Согласно [3], для частицы, движущейся от начальной плоскости $z = z_0$ до произвольной плоскости $z = const$ (после отражения зеркалом), наклон параксиальной траектории к оптической оси z зеркала можно записать в виде

$$r' = -\frac{2\sqrt{\Phi_0}}{\Phi'_u} [r'_0(p_0g' + p'g'_0) - r_0(p'_0g' + p'g'_0)]. \quad (1)$$

Здесь и далее $\Phi = \Phi(z)$ - осевое распределение электростатического потенциала, а $p = p(z)$ и $g = g(z)$ - линейно независимые частные решения параксиального уравнения

$$\Phi r'' + \frac{1}{2}\Phi' r' + \frac{1}{4}\Phi'' r = 0. \quad (2)$$

При этом $p = p(z)$ является аналитической функцией, а $g = g(z)$ может быть представлено в виде

$$g = \sqrt{\Phi} q, \quad (3)$$

где $q = q(z)$ - аналитическая функция, удовлетворяющая уравнению

$$\Phi q'' + \frac{3}{2}\Phi' q' + \frac{3}{4}\Phi'' q = 0, \quad (4)$$

следующему из (2) и (3).

Зададим начальные условия для функций $p = p(z)$ и $q = q(z)$ в точке поворота частиц в зеркале $z = z_u$ следующим образом:

$$p_u = q_u = 1, \quad p'_u = q'_u = -\frac{\Phi''_u}{2\Phi'_u}. \quad (5)$$

Здесь и далее нижними индексами «0» и «u» отмечены значения величин в начальной (предметной) плоскости $z = z_0$ и в плоскости поворота частиц $z = z_u$ зеркала соответственно, а штрихи обозначают дифференцирование по z .

1.2 Режимы работы зеркала

Режим плоского зеркала (параллельный пучок частиц, падающий на зеркало, остается параллельным и после его прохождения), как следует из (1), определяется равенством

$$p'_0g' + g'_0p' = 0. \quad (6)$$

При этом, как следует из (1) и (6),

$$\frac{p'}{p'_0} = -\frac{g'}{g'_0} = \frac{r'}{r'_0} = \gamma, \quad (7)$$

где γ - угловое увеличение зеркала.

В свободном от поля пространстве $p' = p'_0$, $g' = g'_0$ и режим плоского зеркала определяется соотношениями более простыми, чем (6):

$$p' = 0 \text{ или } g' = 0. \quad (8)$$

Коллиматорный режим работы зеркала (условие параллельности в пространстве изображений пучка частиц, исходящих из точечного источника ($r_0 = 0$)) определяется, как это видно из (1), равенством

$$p_0 g' + g_0 p' = 0. \quad (9)$$

С учетом (1) из (9) следует, что

$$\frac{p_0}{p'} = -\frac{g_0}{g'} = \frac{r_0}{r'} = f, \quad (10)$$

где f - фокусное расстояние зеркала.

В свободном от поля пространстве функции $p = p(z)$ и $g = g(z)$ можно записать так [1]

$$p = (z - z_C) p', \quad g = (z - z_V) g', \quad (11)$$

где z_C и z_V - положения центра кривизны зеркала и его вершины соответственно.

При этом, как следует из (9) и (11), коллиматорный режим зеркала реализуется при выполнении очевидного условия

$$z_0 = z_F = \frac{1}{2}(z_C + z_V), \quad (12)$$

где z_F - положение фокуса зеркала.

1.3 Время пролета

Согласно [3], время пролета частицы заряда q и массы m , движущейся вдоль оптической оси зеркала z от начальной плоскости $z = z_0$ до произвольной плоскости $z = const$, с учетом величин до второго порядка малости может быть записано в виде

$$t = T + \Delta t_\varepsilon + \Delta t_r. \quad (13)$$

Здесь

$$T = -\frac{1}{v_0} (z + z_0 - 2z_T^{(0)}) \quad (14)$$

- время пролета центральной частицы,

$$\Delta t_\varepsilon = \frac{1}{v_0} \sum_{k=1}^2 \left(\frac{\varepsilon}{\Phi_0} \right)^k D_{t\varepsilon}^{(k)} \quad (15)$$

- суммарная времяпролетная хроматическая абберрация (ВПХА) зеркала,

$$\Delta t_r = \frac{1}{v_0} (T_1 r_0'^2 + T_2 r_0' r_0 + T_3 r_0^2) \quad (16)$$

- суммарная времяпролетная геометрическая абберрация зеркала (ВПГА), ε - начальный разброс энергий ионов, $v_0 = \sqrt{-2q\Phi/m}$ - начальная скорость центральной (движущейся вдоль оси z с $\varepsilon = 0$) частицы, где

$$D_{t\varepsilon}^{(k)} = (-1)^{k+1} \frac{(2k-1)!!}{(2k)!!} (z + z_0 - 2z_T^{(k)}) \quad (k = 1, 2) \quad (17)$$

- коэффициент ВПХА k -го порядка,

$$\begin{aligned}
 T_1 &= \frac{1}{f^2} \left\{ (z_0 - z_V)^2 J_1 + (z_0 - z_C)^2 J_2 - \frac{1}{2} (z_0 - z_F) [(z_0 - z_F)(z - z_F) - f^2] \right\}, \\
 T_2 &= -\frac{2}{f^2} \left\{ (z_0 - z_V) J_1 + (z_0 - z_C) J_2 - \frac{1}{2} [(z_0 - z_F)(z - z_F) - f^2] \right\}, \\
 T_3 &= \frac{1}{f^2} \left[J_1 + J_2 - \frac{1}{2} (z - z_F) \right]
 \end{aligned} \tag{18}$$

- коэффициенты ВПГА, где

$$J_1 = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\Phi_0}}{p_0'^2} \int_{z_u}^z \frac{pp''}{\sqrt{\Phi}} d\zeta, \quad J_2 = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\Phi_0}}{g_0'^2} \int_{z_u}^z \sqrt{\Phi} qq'' d\zeta. \tag{19}$$

Величины $z_T^{(0)}$ и $z_T^{(k)}$, входящие в равенства (14) и (17), являются функциями лишь осевого распределения потенциала $\Phi(z)$ [3].

1.2 Условия времяпролетной фокусировки

Как видно из (17), условие времяпролетной фокусировки ионов по энергии k -го порядка ($D_{te}^{(k)} = 0$) определяется равенством

$$z + z_0 = 2z_T^{(k)}, \tag{20}$$

которое означает, что времяпролетная фокусировка достигается, если плоскости $z = z_0$ (предметная плоскость) и $z = const$ (плоскость времяпролетного изображения) расположены симметрично относительно плоскости $z = z_T^{(k)}$ ($k = 1, 2$).

При выполнении условия

$$z_T^{(1)} = z_T^{(2)} \tag{21}$$

одновременно с (20) все коэффициенты ВПГА равны нулю ($D_M^{(1)} = D_M^{(2)} = 0$), т.е. реализуется времяпролетная фокусировка по энергии до второго порядка включительно.

Плоскость $z = z_T^{(1)}$ называют главной плоскостью времяпролетной фокусировки зеркала [1]. С учетом (20) и (21) можно записать (2) в виде

$$T = \frac{2}{v_0} (z_T^{(0)} - z_T^{(1)}). \tag{22}$$

Равенство (22) определяет интервал времени между моментами пересечения плоскости $z = z_T^{(1)}$ ионами до и после отражения зеркалом. Этот интервал времени называют временным интервалом фокусировки зеркала. Зависимость временного интервала фокусировки от массы определяет величину его времяпролетной дисперсии по массам

$$D_m = m \frac{\partial T}{\partial m} = \frac{T}{2} = \frac{L}{v_0}, \tag{23}$$

где

$$L = \frac{1}{2} v_0 T \tag{24}$$

- эффективное дрейфовое расстояние зеркала.

2. Расчет двухэлектродного зеркала вращательной симметрии

Рассматриваемое зеркало (рисунки 1-2) состоит из двух соосных цилиндров равного диаметра d , находящихся под потенциалами V_1 и V_2 . Осевое распределение электростатического потенциала такого зеркала с хорошей точностью описывается формулой [4]

$$\Phi(z) = \frac{1}{2} \left[(V_1 + V_2) + (V_2 - V_1) \operatorname{th} \left(2.63 \frac{z}{d} \right) \right]. \quad (25)$$

Система координат выбрана таким образом, что ось z совмещается с оптической осью зеркала, а начало координат лежит в середине зазора между электродами. При этом положительное направление оси совпадает с направлением падающего пучка заряженных частиц.

Задачей расчета является определение осевого распределения электростатического потенциала $\Phi(z)$ зеркала, обеспечивающего выполнение условий (8) и (12). При расчете потенциала $\Phi(z)$ и его производных $\Phi'(z)$ и $\Phi''(z)$ следует учесть, что значение запирающего потенциала V_2 определяется из условия равенства нулю $\Phi(z)$ в точке поворота $z = z_u$.

Результаты расчета, описывающие условия времяпролетной фокусировки по энергии первого порядка в двухэлектродном зеркале вращательной симметрии, представлены в таблицах 1 и 2 для двух режимов его работы: 1) режим плоского зеркала; 2) коллиматорный режим. В таблице 1 приведены результаты расчета, обусловленные p -решением, а в таблице 2 - результаты расчета, обусловленные g -решением.

Таблица 1. Угловые характеристики двухэлектродного зеркала вращательной симметрии для p -решения

Режим работы	$-V_2/V_1$	$-z_T^{(1)}/d$	L/d	$D_{te}^{(2)}/d$	$-T_1/d$	$-T_2$	$-T_3d$
$p' = 0$	0.496	2.82	3.77	6.07	229	159	27.4
$z_F = z_T^{(1)}$	0.478	2.97	3.94	6.60	249	163	26.5

Таблица 2. Угловые характеристики двухэлектродного зеркала вращательной симметрии для g -решения

Режим работы	$-V_2/V_1$	$-z_T^{(1)}/d$	L/d	$D_{te}^{(2)}/d$	$-T_1/d$	$-T_2$	$-T_3d$
$g' = 0$	0.0386	85.7	88.8	1730	31900	7440	43.4
$z_F = z_T^{(1)}$	0.0383	86.7	89.7	1760	32800	7570	43.7

Как видно из этих данных, величина эффективного дрейфового расстояния L для обоих режимов работы зеркала значительно (на порядок) выше для g -решения уравнения (2), чем для p -решения. При этом в соответствии с (22)-(24) значение времяпролетной дисперсии зеркала по массе для g -решения также значительно выше.

Ход траекторий частиц для различных режимов работы зеркала представлен на рисунках 1-2. На рисунках 1a-1b представлен ход траекторий в режиме плоского зеркала, на рисунках 2a-2b - пространственно-времяпролетной фокусировки в фокальной плоскости зеркала.

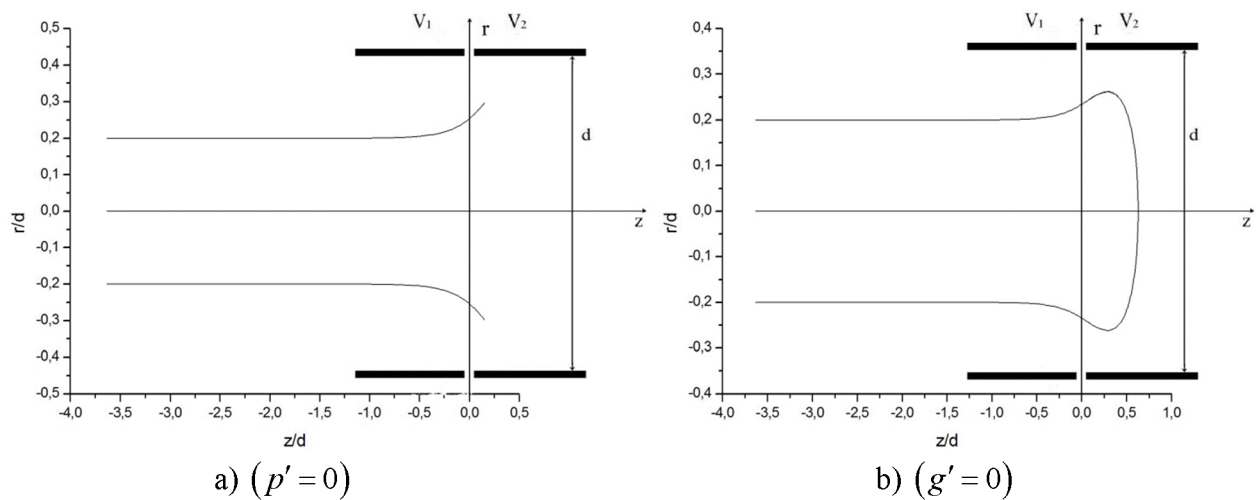


Рисунок 1 – Ход траекторий в режиме плоского зеркала

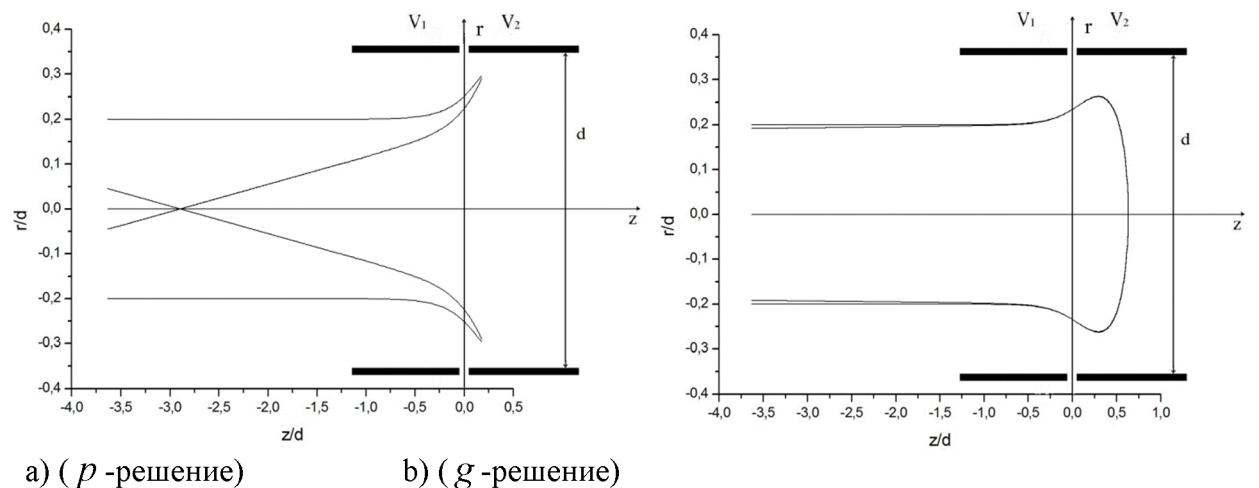


Рисунок 2 – Ход траекторий частиц в зеркале в режиме пространственно-временнoй фокусировки в фокальной плоскости ($z_F = z_T^{(1)}$)

Заключение

Результаты выполненных исследований показывают, что в двухэлектродном зеркале вращательной симметрии может быть достигнута времяпролетная фокусировка частиц по энергии при высокой времяпролетной дисперсии по массе как в режиме плоского зеркала, так и в коллиматорном режиме его работы. Однако оставшиеся времяпролетные aberrации второго порядка имеют значительную величину. Это приводит к необходимости более детального изучения фокусирующих свойств высокодисперсионных зеркал вращательной симметрии на основе многоэлектродных систем, имеющих большее разнообразие в распределении поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бимурзаев С.Б., Дауменов Т., Секунова Л.М., Якушев Е.М. Пространственно-временная фокусировка в двухэлектродном зеркале // ЖТФ, (1983) Т. 53. С. 524–528.
- [2] Бимурзаев С.Б., Нурасылова О.С., Холодов И.А. Исследование пропускной способности высокодисперсионного двухэлектродного электростатического зеркала вращательной симметрии // Вестник АУЭС, (2016) №1. С. 36-43
- [3] Бимурзаев С.Б., Бимурзаева Р.С., Саркеев Б.Т. Пространственно-времяпролетная фокусировка в электростатической линзово-зеркальной системе с двумя плоскостями симметрии // РЭ, (1991) Т. 36. С. 2186–2195.
- [4] Кельман В.М., Явор С.Я. Электронная оптика. Ленинград, 1968, 488с.С.Б.

REFERENCES

- [1] Bimurzaev, S. B., Daumenov, T. D., Sekunova, L. M., Yakushev, E. M. Spatial and time-of-flight focusing in an electron mirror // Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki, (1983) 53 P. 524–528.
- [2] Bimurzaev S.B., Nurasillova O.S., Kholodov I.A. Investigation of the transmission of a high-dispersive two-electrode electrostatic mirror of rotational symmetry // Vestnik AUES, (2016) No1. P. 36-43
- [3] Bimurzaev S.B., Bimurzaeva R.S., Sarkeev B.T. Spatial-time-of-flight focusing in an electrostatic lens-mirror system with two planes of symmetry // Sov. Phys. Radiotekhn. Elektron. (1991) 36 (11) P. 2186–2195.
- [4] Kelman V.M., Yavor S.Ya. Electronic optics. Leningrad, 1968, 488 p.

АЙНАЛМАЛЫ СИММЕТРИЯЛЫҚ ЕКІ ЭЛЕКТРОДТЫ ЭЛЕКТРОСТАТИКАЛЫҚ АЙНАЛАРДЫҢ БҰРЫШТЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ С.Б.Бимурзаев, З.С.Саутбекова

Алматы энергетика және байланыс университеті

Аңдатпа. Электродтары диаметрлі тең өтес цилиндрлер болып табылатын айналмалы симметрияның екі электродты электростатикалық айналарында зарядталған бөлшектер шоғының энергиясы бойынша уақыт ұшып өту фокусталу жағдайлары сандық есептеулер жолымен анықталды. Мұндай айналар жұмысының екі режимі қарастырылды: 1) коллиматорлық режим - нүктелік көзден шыққан бөлшектер шоғы бейнелерінің кеңістіктегі параллелдік жағдайы; 2) тегіс айна режимі – айнаға түскен бөлшектердің параллель шоғы айнадан шағылысқаннан кейін де параллель болып қалады. Есептеу нәтижелері параксиалды траекториялар теңдеуінің екі іргелі шешіміне байланысты ұсынылған. Осы шешімдердің біреуі тікелей және кері бағыттары сәйкес келетін траекторияларды сипаттайды, ал екінші шешімі тікелей және кері бағыттары өрістің симметрия өсіне қатысты симметриялы болып табылатын траекторияларды сипаттайды. Екі жұмыс режимі үшін екінші шешімнің негізінде айқындалған айнаның масса бойынша уақыт ұшып өту дисперсиясы, бірінші шешім негізінде айқындалғанға қарағанда, бірнеше есе жоғары екендігі көрсетілген.

Кілттік сөздер: ұшу-уақыттық масс-рефлектор, жоғары дисперсиялы электростатикалық айна, ұшу-уақыттық дисперсия, кеңістіктік және ұшу-уақыттық фокустау

**ANGULAR CHARACTERISTICS OF TWO-ELECTRODE ELECTROSTATIC
MIRRORS OF ROTATIONAL SYMMETRY**

S.B. Bimurzaev, Z.S. Sautbekova

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications

Abstracts. By numerical calculations, the conditions for time-of-flight focusing on the energy of charged particle beams in two-electrode electrostatic mirrors of rotational symmetry are found. Their electrodes are coaxial cylinders of equal diameter. Two modes of operation of such mirrors are considered: 1) the collimator mode – the condition of parallelism in space of images of particle beams proceeding from a point source; 2) flat mirror mode – when a parallel beam of particles falling on a mirror remains parallel even after reflection by a mirror. The calculation results are presented depending on two fundamental solutions of the equation of paraxial trajectories. One of these solutions describes trajectories and their direct and inverse branches coincide. The second solution describes trajectories and their direct and inverse branches are symmetric about the axis of symmetry of the field. It is shown that for both modes of operation the time-of-flight mass dispersion of the mirror, determined on the basis of the second solution, is several times higher than on the basis of the first solution.

Keywords: time-of-flight mass reflectron, high-dispersive electrostatic mirror, time-of-flight dispersion, space-time-of-flight focusing.

МРНТИ 29.35.39; 29.35.37

С.Б.Бимурзаев, Н.У.Алдияров, А.К.Жаксыбергенов
Алматинский университет энергетики и связи

ДИСПЕРСИОННЫЕ СВОЙСТВА ДВУХЭЛЕКТРОДНЫХ ДВУМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ

Аннотация. Путем численных расчетов найдены условия времяпролетной фокусировки по энергии частиц в двухэлектродных двумерных электростатических зеркалах. Рассмотрены различные режимы работы таких зеркал: 1) пространственно-времяпролетная фокусировка в гауссовой плоскости зеркала; 2) пространственно-времяпролетная фокусировка в фокальной плоскости зеркала; 3) времяпролетная фокусировка в плоском зеркале - когда падающий на зеркало параллельный пучок частиц остается параллельным и после отражения зеркалом. Результаты расчета представлены в зависимости от двух фундаментальных решений уравнения паракиальных траекторий. Одно из этих решений описывает траектории, прямая и обратная ветви которых совпадают, а второе решение - траектории, прямая и обратная ветви которых симметричны относительно оси симметрии поля. Показано, что для всех режимов работы времяпролетная дисперсия зеркала по массам, определенная на основе второго решения, в несколько раз выше, чем на основе первого решения.

Ключевые слова: времяпролетный масс-спектрометр, масс-рефлектор, высокодисперсионное электростатическое зеркало, пространственно-времяпролетная фокусировка, времяпролетная дисперсия.

Введение

Высокие значения разрешающей способности и чувствительности времяпролетных масс-рефлектонов (ВПМР) достигаются путем применения в их ионно-оптических схемах электростатических зеркал различной модификации, выполняющих роль ионного рефлектора [1-2]. Разрешающую способность ВПМР можно увеличить путем увеличения времени пролета ионов, поскольку при этом уменьшается относительный вклад в разрешающую способность временного разброса ионов в пакете, формируемом в ионном источнике. При этом увеличение времени пролета ионов может быть осуществлено двумя способами: 1) наращивая длину пролета ионов от источника до детектора; 2) увеличивая время пролета ионов путем определенного подбора распределения поля зеркала.

Первый способ увеличения времени пролета ионов реализован в многоотражательных ВПМР, в которых роль ионного рефлектора выполняет система, состоящая из двух параллельных друг другу двумерных электростатических зеркал [3-5]. При этом разрешающая способность многоотражательного ВПМР определяется равенством [5]

$$R = \frac{NT}{2(\Delta t_i + N\Delta t)} = \frac{T}{2(\Delta t_i / N + \Delta t)}, \quad (1)$$

где N - число отражений зеркалом, T - время пролета иона со средней энергией при однократном отражении зеркалом, Δt_i - временной разброс пакета ионов в первичном временном фокусе, формируемом ионным источником, Δt - абберационное уширение временного разброса после однократного отражения зеркалом. Как видно из (1), предельное разрешение ($N \rightarrow \infty$) ВПМР

$$R = \frac{T}{2\Delta t} \quad (2)$$

определяется временем пролета иона и абберацией при однократном отражении зеркалом.

Второй способ увеличения времени пролета ионов описан в работе [6], в которой впервые было показано, что в двухэлектродном электростатическом зеркале вращательной симметрии могут быть реализованы два режима пространственно-времяпролетной фокусировки первого порядка. В первом режиме узловая плоскость времяпролетной фокусировки совмещена с плоскостью, проходящей через центр кривизны зеркала, а во втором – через его вершину. При этом время пролета ионов в зеркале (времяпролетная дисперсия зеркала по массам) во втором режиме значительно больше, чем в первом режиме.

В настоящей работе путем численных расчетов исследованы дисперсионные свойства двухэлектродных двумерных электростатических зеркал с времяпролетной фокусировкой по энергии для различных режимов их работы. Electroдами таких зеркал служат разделенные прямыми зазорами пары параллельных пластин, находящихся под одним тем же потенциалом и на одинаковом расстоянии от плоскости симметрии поля, называемой средней плоскостью системы.

1 Расчетные формулы

1.1 Уравнения траектории

Введем декартовую систему координат x, y, z , в которой ось z совмещена с главной оптической осью зеркала, плоскость xz совмещена со средней плоскостью зеркала, которую будем считать расположенной горизонтально, а плоскость yz расположена перпендикулярно к средней плоскости. Двумерные электростатические поля дают пространственную фокусировку ионов только в одном направлении – в направлении, вертикальном к средней плоскости. Поэтому нами рассмотрены режимы работы зеркала в вертикальной плоскости yz .

Согласно [7] уравнению парааксиальной траектории и ее наклона к главной оптической оси z зеркала имеют вид:

$$y = -\frac{2\sqrt{\Phi_0}}{\Phi'_u} [y'_0(p_0g + pg_0) - y_0(p'_0g + pg'_0)], \quad (3)$$

$$y' = -\frac{2\sqrt{\Phi_0}}{\Phi'_u} [y'_0(p_0g' + p'g_0) - y_0(p'_0g' + p'g'_0)], \quad (4)$$

где $\Phi = \Phi(z)$ - осевое распределение электростатического потенциала, а $p = p(z)$ и $g = g(z)$ - линейно независимые частные решения парааксиального уравнения

$$2\Phi y'' + \Phi' y' + \Phi'' y = 0. \quad (5)$$

При этом $p = p(z)$ является аналитической функцией, а $g = g(z)$ может быть представлено в виде

$$g = \sqrt{\Phi} q, \quad (6)$$

где $q = q(z)$ - аналитическая функция, удовлетворяющая уравнению

$$\Phi q'' + \frac{3}{2} \Phi' q' + \Phi'' q = 0, \quad (7)$$

следующему из (5) и (6).

Функции $p = p(z)$ и $q = q(z)$ удовлетворяют следующим начальным условиям

$$p_u = q_u = 1, \quad p'_u = -\frac{\Phi''_u}{\Phi'_u}, \quad q'_u = \frac{2}{3} p'_u, \quad (8)$$

Здесь и далее нижними индексами «0» и «и» обозначены значения величин в начальной (предметной) плоскости $z = z_0$ и в плоскости поворота частиц $z = z_u$ зеркала соответственно, а штрихи обозначают дифференцирование по z .

1.2 Режимы работы зеркала

Как видно из (3), положение гауссовой плоскости изображения $z = z_G$ (условие пространственной фокусировки) определяется равенством

$$p_0 g(z_G) + p(z_G) g_0 = 0. \quad (9)$$

Откуда с учетом (3) получим:

$$\frac{p(z_G)}{p_0} = -\frac{g(z_G)}{g_0} = \frac{y}{y_0} = M, \quad (10)$$

где M - линейное увеличение системы.

Положение фокальной плоскости $z = z_F$ (условие фокусировки параллельных пучков частиц), как это видно из (3), определяется равенством

$$p'_0 g(z_F) + p(z_F) g'_0 = 0, \quad (11)$$

Откуда с учетом (3) следует

$$\frac{p(z_F)}{p'_0} = -\frac{g(z_F)}{g'_0} = \frac{y}{y'_0} = f_0, \quad (12)$$

где f_0 - фокусное расстояние предметного пространства зеркала.

Коллиматорный режим работы зеркала (условие параллельности в пространстве изображений пучка частиц, исходящих из точечного источника ($y_0 = 0$)) определяется, как это видно из (4), равенством

$$p_0 g' + g_0 p' = 0. \quad (13)$$

С учетом (4) из (13) следует, что

$$\frac{p_0}{p'} = -\frac{g_0}{g'} = \frac{y_0}{y'} = f, \quad (14)$$

где f - фокусное расстояние пространства изображений, которое связано с фокусным расстоянием предметного пространства f_0 соотношением

$$f = f_0, \quad (15)$$

следующим из (3) и (4).

Режим плоского зеркала (параллельный пучок, падающий на зеркало, остается параллельным и после его прохождения), как это видно из (4), определяется равенством

$$p'_0 g' + g'_0 p' = 0. \quad (16)$$

При этом, как следует из (4) и (16),

$$\frac{p'}{p'_0} = -\frac{g'}{g'_0} = \frac{y'}{y'_0} = \gamma, \quad (17)$$

где γ - угловое увеличение зеркала, которое связано с его линейным увеличением M соотношением

$$M\gamma = -1, \quad (18)$$

следующим из (3) и (4).

Определим кардинальные элементы электронного зеркала. Для этого воспользуемся характерными для зеркала траекториями. Решение $p = p(z)$ описывает траектории, прямые и обратные ветви которых совпадают, т.е. проходят через центр кривизны зеркала

$z = z_C$, а решение $g = g(z)$ - траектории, прямые и обратные ветви которых симметричны относительно оптической оси зеркала, т.е. проходят через вершину зеркала $z = z_V$ [6]. Таким образом, когда предмет и его изображение находятся в свободном от поля пространстве, функции $p = p(z)$ и $g = g(z)$ можно записать так

$$p = (z - z_C) p', \quad g = (z - z_V) g'. \quad (19)$$

С учетом этих равенств из (11)-(12) следует, что положение фокуса зеркала и его фокусное определяются равенствами

$$z_F = \frac{1}{2}(z_V + z_C), \quad f = \frac{1}{2}(z_V - z_C). \quad (20)$$

Как следует из (13) и (19), коллиматорный режим зеркала реализуется при выполнении очевидного условия

$$z_0 = z_F. \quad (21)$$

В свободном от поля пространстве режим плоского зеркала осуществляется при выполнении условий

$$p' = 0 \text{ или } g' = 0. \quad (22)$$

Решая уравнение (9) с учетом (19)-(20), можно записать уравнение пространственных изображений для зеркала в виде «уравнений Ньютона»:

$$(z_0 - z_F)(z_G - z_F) = f^2. \quad (23)$$

При этом линейное увеличение зеркала равно

$$M = \frac{f}{z_0 - z_F} = \frac{z_G - z_F}{f}. \quad (24)$$

1.3 Время пролета

Согласно [7], время пролета иона заряда q и массы m от начальной плоскости $z = z_0$ до произвольной плоскости $z = const$ с учетом величин до второго порядка малости может быть записано в виде

$$t = T + \frac{1}{v_0} \left(\frac{\varepsilon}{\Phi_0} D_{te} + T_1 y_0'^2 + T_2 y_0' y_0 + T_3 y_0^2 \right). \quad (25)$$

Здесь

$$T = -\frac{1}{v_0} \left(z + z_0 - 2z_T^{(0)} \right) \quad (26)$$

- время пролета иона со средней энергией, $v_0 = \sqrt{-2q\Phi_0/m}$ - его начальная скорость, ε - начальный разброс энергий ионов,

$$D_{te} = \frac{1}{2} \left[(z + z_0) - 2z_T^{(1)} \right] \quad (27)$$

- времяпролетная дисперсия зеркала по энергии, а

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{1}{f^2} \left\{ (z_0 - z_V)^2 J_3 + (z_0 - z_C)^2 J_4 - \frac{1}{2} (z_0 - z_F) \left[(z_0 - z_F)(z - z_F) - f^2 \right] \right\}, \\ T_2 &= -\frac{2}{f^2} \left\{ (z_0 - z_V) J_3 + (z_0 - z_C) J_4 - \frac{1}{2} \left[(z_0 - z_F)(z - z_F) - f^2 \right] \right\}, \\ T_3 &= \frac{1}{f^2} \left[J_3 + J_4 - \frac{1}{2} (z - z_F) \right] \end{aligned} \quad (28)$$

- коэффициенты времяпролетных геометрических aberrаций второго порядка, где

$$z_T^{(0)} = z_u + J_1, \quad (29)$$

$$z_T^{(1)} = z_u + \frac{2\Phi_0}{\Phi'_u} (1 + J_2), \quad (30)$$

а

$$\begin{aligned} J_1 &= \frac{1}{2} \int_{z_u}^z \sqrt{\frac{\Phi_0}{\Phi}} \frac{(z_u - z)\Phi'}{\Phi} dz, & J_2 &= \frac{1}{2} \int_{z_u}^z \left[\sqrt{\frac{\Phi_0}{\Phi(z)}} \left(\frac{\Phi'(z) - \Phi'_u}{\Phi(z)} \right) + \frac{\Phi'_u}{\Phi_0} \right] dz, \\ J_3 &= \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\Phi_0}}{p_0'^2} \int_{z_u}^z \frac{pp''}{\sqrt{\Phi}} d\zeta, & J_4 &= \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\Phi_0}}{g_0'^2} \int_{z_u}^z \sqrt{\Phi} qq'' d\zeta. \end{aligned} \quad (31)$$

1.4 Времяпролетная фокусировка

Условие времяпролетной фокусировки ионов по энергии, т.е. независимость времени пролета ионов от разброса их энергий ($D_{te} = 0$), как следует из (27), определяется равенством

$$z + z_0 = 2z_T^{(1)}, \quad (32)$$

которое означает, что времяпролетная фокусировка достигается, если плоскости $z = z_0$ (предметная плоскость) и $z = const$ (плоскость времяпролетного изображения) расположены симметрично относительно плоскости $z = z_T^{(1)}$.

Плоскость $z = z_T^{(1)}$ называют главной плоскостью времяпролетной фокусировки зеркала [6]. С учетом (29) можно записать (26) в виде

$$T = \frac{2}{v_0} (z_T^{(0)} - z_T^{(1)}). \quad (33)$$

Равенство (33) определяет интервал времени между моментами пересечения плоскости $z = z_T^{(1)}$ ионами до и после отражения зеркалом. Этот интервал времени называют временным интервалом фокусировки зеркала. Зависимость временного интервала фокусировки от массы определяет величину его времяпролетной дисперсии по массам

$$D_m = m \frac{\partial T}{\partial m} = \frac{T}{2} = \frac{L}{v_0}, \quad (34)$$

где

$$L = \frac{1}{2} v_0 T \quad (35)$$

- эффективное дрейфовое расстояние зеркала.

Заметим, что величина $z_T^{(0)}$, как видно из (26), определяет положение эффективной плоскости отражения зеркала.

С учетом (34)-(35) предельное разрешение (2) ВПМР можно записать в виде

$$R = \frac{L}{\Delta z}, \quad (36)$$

где $\Delta z = v_0 \Delta t$ - ширина пакета ионов в плоскости $z = z_T^{(1)}$.

1.5 Пространственно-времяпролетная фокусировка

Решая систему уравнений (23) и (32) с учетом (20), получим условие пространственно-времяпролетной фокусировки [6]:

$$z_{1,2} = z_T^{(1)} \pm \sqrt{(z_C - z_T^{(1)})(z_V - z_T^{(1)})}. \quad (37)$$

Равенство (37) определяет положения взаимосопряженных плоскостей $z = z_1$ и $z = z_2$, для которых осуществляется пространственная и времяпролетная фокусировка одновременно. При выполнении условия

$$(z_C - z_T^{(1)}) \text{ или } (z_V - z_T^{(1)}), \quad (38)$$

соответствующего определенному режиму пространственно-времяпролетной фокусировки, в одной и той же плоскости ($z = z_1 = z_2 = z_T^{(1)}$) формируется пространственное и времяпролетное изображение предмета.

2 Результаты расчета

Распределение потенциала двумерного электростатического зеркала, состоящего из двух электродов, представляющих собой пары параллельных пластин, находящихся на одинаковом расстоянии от средней плоскости зеркала описывается формулой [8]

$$\Phi(z) = V_1 + \frac{2}{\pi}(V_2 - V_1) \operatorname{arctg}[\exp(\pi z/d)], \quad (39)$$

где V_1 и V_2 - потенциалы на электродах, а d - расстояние между пластинами электродов (рисунки 1-3).

Систему координат расположим таким образом, что ось z совмещается с оптической осью зеркала, а начало координат лежит в середине зазора между электродами. При этом положительное направление оси совпадает с направлением падающего пучка заряженных частиц.

При расчете осевого распределения потенциала $\Phi(z)$ и его производных $\Phi'(z)$ и $\Phi''(z)$ следует учесть, что значение запирающего потенциала V_2 определяется из условия равенства нулю $\Phi(z)$ в точке поворота $z = z_u$.

Результаты расчета пространственно-времяпролетных характеристик зеркала для различных режимов его работы представлены в таблицах 1-2.

Таблица 1. Дисперсионные свойства двухэлектродного двумерного зеркала, обусловленные p - решением

Режим	$-V_2/V_1$	$-z_T^{(1)}/d$	L/d	$-T_1/d$	$-T_2$	$-T_3d$
$z_C = z_T^{(1)}$	0.461	3.13	4.12	268	166	25.6
$z_F = z_T^{(1)}$	0.478	2.97	3.94	249	163	26.5
$p' = 0$	0.496	2.82	3.77	229	159	27.4

Таблица 2. Дисперсионные свойства двухэлектродного двумерного зеркала, обусловленные g - решением

Режим	$-V_2/V_1$	$-z_T^{(1)}/d$	L/d	$-T_1/d$	$-T_2$	$-T_3d$
-------	------------	----------------	-------	----------	--------	---------

$z_V = z_T^{(1)}$	0.0874	38.3	41.1	73700	3840	50.1
$z_F = z_T^{(1)}$	0.0879	37.9	40.7	72000	3790	49.9
$g' = 0$	0.0885	37.5	40.3	70300	3740	49.7

Из этих данных видно, что величина эффективного дрейфового расстояния L для всех режимов работы зеркала значительно (на порядок) выше для g -решения уравнения (5), чем для p -решения. При этом в соответствии с (34)-(36) значение времяпролетной дисперсии зеркала по массе, следовательно, предельного разрешения ВПМР значительно вырастет.

Ход траекторий частиц для различных режимов работы зеркала представлен на рисунках 1-3. На рисунках 1а-1б представлен ход траекторий в режиме плоского зеркала, на рисунках 2а-2б - пространственно-времяпролетной фокусировки в фокальной плоскости зеркала, а на рисунках 3а-3б - пространственно-времяпролетной фокусировки в гауссовой плоскости зеркала.

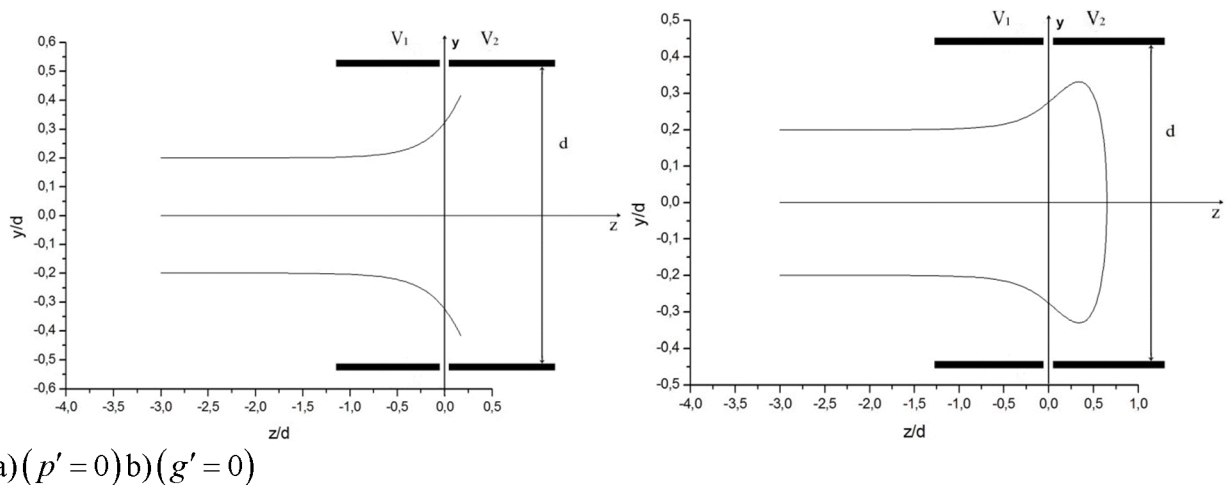


Рисунок 1 – Ход траекторий частиц в плоском зеркале

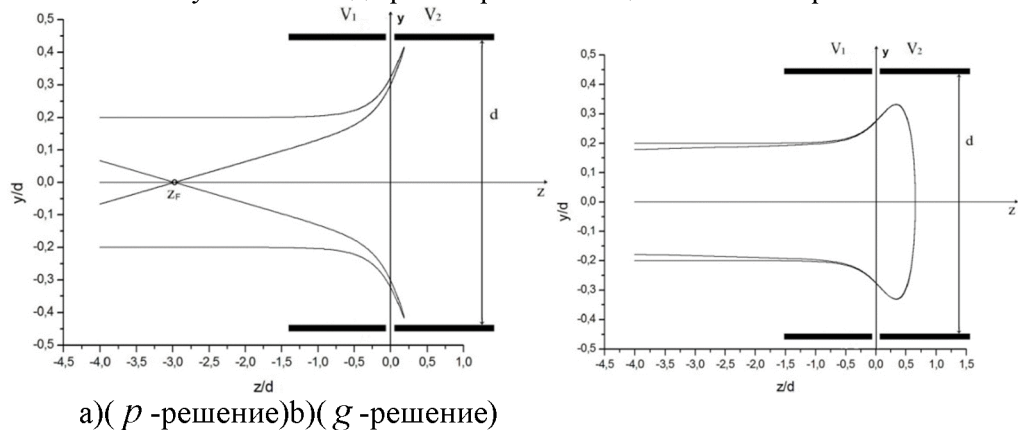


Рисунок 2 – Ход траекторий частиц в зеркале в режиме пространственно-времяпролетной фокусировки в фокальной плоскости ($z_F = z_T^{(1)}$)

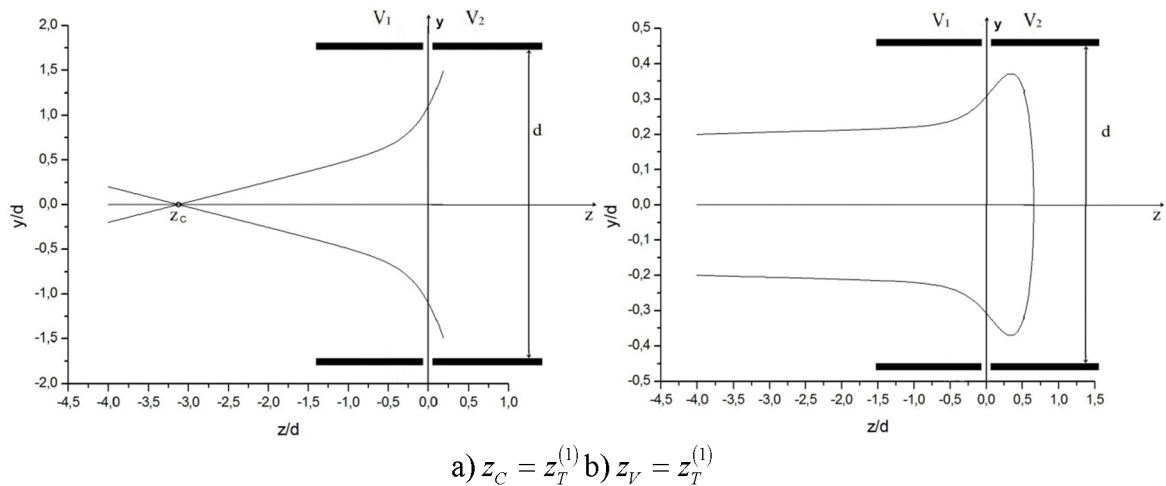


Рисунок 3 – Ход траекторий частиц в зеркале в режиме пространственно-времяпролетной фокусировки в гауссовой плоскости

Заключение

Результаты выполненных исследований показывают, что в двухэлектродном двумерном зеркале при различных режимах его работы одновременно могут быть достигнуты времяпролетная фокусировка частиц по энергии и высокая дисперсия по массе. Однако при этом времяпролетные геометрические aberrации второго порядка имеют значительную величину. Эти обстоятельства приводят к необходимости более детального изучения фокусирующих свойств высокодисперсионных двумерных зеркал на основе многоэлектродных систем, имеющих больше свободных параметров для оптимизации их работы.

СПИСОКЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Mamyrin B.A. Time-of-flight mass spectrometry (concepts, achievements, and prospects). // International Journal of Mass Spectrometry, (2001) 206 (3): P. 251–266.
- [2] Frey R., Schlag E. Time of flight mass spectrometer using an ion reflector // (1986) US Patent 4731532.
- [3] Назаренко Л.М., Секунова Л.М., Якушев Е.М. Времяпролетный масс-спектрометр с многократным отражением // А.с. SU 1725289 A1, 1992.
- [4] Явор М. И., Веренчиков А.Н. Планарный многоотражательный времяпролетный масс-анализатор, работающий без ограничения диапазона масс. // Научное приборостроение, (2004) 14 (2): С. 38–45.
- [5] Yavor M., Verentchikov A., Hasin Y., Kozlov B., Gavrik M., Trufanov A. Planar multi-reflecting time-of-flight mass analyzer with a jig-saw ion path// Physics Procedia, (2008) Vol. 1. N 1. P. 391–400.
- [6] Бимурзаев С.Б., Дауменов Т., Секунова Л.М., Якушев Е.М. Пространственно-временная фокусировка в двухэлектродном зеркале // ЖТФ, (1983) Т. 53. С. 524–528.
- [7] Бимурзаев С.Б., Бимурзаева Р.С., Саркеев Б.Т. Пространственно-времяпролетная фокусировка в электростатической линзово-зеркальной системе с двумя плоскостями симметрии // РЭ, (1991) Т. 36. С. 2186–2195.
- [8] Гликман Л.Г., Якушев Е.М. Поле электростатической цилиндрической трехэлектродной линзы // ЖТФ, (1967) Т.37, С.2097.

**ЕКІ ЭЛЕКТРОДТЫ ЕКІ ӨЛШЕМДІ
ЭЛЕКТРОСТАТИКАЛЫҚ АЙНАЛАРДЫҢ ДИСПЕРСИЯЛЫҚ ҚАСИЕТЕРІ**

С.Б. Бимурзаев, Н.У. Алдияров, А.К. Жаксыбергенов

Алматы энергетика және байланыс университеті

Аңдатпа. Сандық тәсілмен екі электродты екі өлшемді электростатикалық айналарда бөлшектердің энергиясы бойынша ұшу-уақыттық фокустау шарттары табылды. Мұндай айналардың түрлі жұмыс режимдері қарастырылды: 1) айнаның Гаусс жазықтығындағы кеңістіктік және ұшу-уақыттық фокустау; 2) айнаның фокалдык жазықтығындағы кеңістіктік және ұшу-уақыттық фокустау; 3) жазық айнадағы - айнаға түсетін бөлшектердің параллель шоғы айнадан шағылғаннан кейін де параллель болып қалатын - ұшу-уақыттық фокустау. Есептеу нәтижелері параксиалдық траекториялар теңдеуінің екі іргелі шешіміне байланысты көрсетілген. Бірінші шешім тура және кері тармақтары сәйкес келетін траекторияларды, ал екінші шешім - тура және кері тармақтары симметрия осіне симметриялы траекторияларды сипаттайды. Айнаның барлық жұмыс істеу режимдерінде оның массалар бойынша ұшу-уақыттық дисперсиясы бірінші шешіммен салыстырғанда екінші шешім үшін бірнеше есе жоғары екені көрсетілген.

Кілттік сөздер: ұшу-уақыттық масс-спектрометр, масс-рефлектор, жоғары дисперсиялы электростатикалық айна, кеңістіктік және ұшу-уақыттық фокустау, ұшу-уақыттық дисперсия

**DISPERSION PROPERTIES OF TWO-ELECTRODE TWO-DIMENSIONAL
ELECTROSTATIC MIRRORS**

S.B. Bimurzaev, N.U. Aldiyarov, A.K. Zhaksybergenov

Almaty University of Power Engineering and Telecommunication, Almaty city

Abstract. Numerical calculations were used to find the conditions of time-of-flight focusing by particle energy in the two-electrode two-dimensional electrostatic mirrors, the electrodes of which are pairs of parallel plates with the same potential located symmetrically with respect to the field symmetry plane, called the central plane of the system. Various operating modes of such mirrors are considered: 1) spatial time-of-flight focusing in the Gaussian plane of the mirror; 2) spatial-time-of-flight focusing in the focal plane of the mirror; 3) time-of-flight focusing in a flat mirror when a parallel beam of particles incident on the mirror remains parallel after reflection by the mirror. The dependence of the results of calculations on two fundamental solutions of the equation for paraxial trajectories is considered. One of these solutions describes the trajectories whose direct and inverse branches coincide, and the second solution describes the trajectories whose direct and inverse branches are symmetrical with respect to the axis of the field symmetry. It is shown that for all operation modes, the time-of-flight mass dispersion of the mirror determined for the second solution is several times higher than that for the first solution.

Keywords: time-of-flight mass spectrometer, mass reflectron, high-dispersive two-electrode electrostatic mirror, spatial-time-of-flight focusing

REFERENCES

- [1] Mamyrin B.A. Time-of-flight mass spectrometry (concepts, achievements, and prospects) // International Journal of Mass Spectrometry, (2001) 206 (3): P. 251–266.
- [2] Frey R., Schlag E. Time-of-flight mass spectrometer using an ion reflector // (1986) US Patent 4731532.
- [3] Nazarenko, L. M., Sekunova, L. M., Yakushev, E. M. Time-of-flight mass spectrometer with multiple reflection. (1992). Patent SU 1725289 A1.
- [4] Yavor M.I. , Verentchikov A.N. Planar multi-reflecting time-of-flight mass analyzer operating without a mass range limitation. // Nauchnoje Priborostroenie, (2004) 14(2) P.38-45.
- [5] Yavor M., Verentchikov A., Hasin Y., Kozlov B., Gavrik M., Trufanov A. Planar multi-reflecting time-of-flight mass analyzer with a jig-saw ion path// Physics Procedia, (2008) Vol. 1. N 1. P. 391–400.
- [6] Bimurzaev, S. B., Daumenov, T. D., Sekunova, L. M., Yakushev, E. M. Spatial and time-of-flight focusing in an electron mirror // Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki, (1983) 53 P. 524–528.
- [7] S.B. Bimurzaev, R.S. Bimurzaeva, B.T. Sarkeev, Spatial-time-of-flight focusing in an electrostatic lens-mirror system with two planes of symmetry // Sov. Phys. Radiotekhn. Elektron. (1991) 36 (11) P. 2186–2195.
- [8] Glikman L.G., Yakushev E.M. Electrostatic cylindrical three-electrode lens field // (1967) Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki.37 P. 2097-2105.

ОЖӘ 378.620.9(574)

Г.Х.Хожин¹, Т.Н.Агимов¹

¹Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан

**“АСТАНА ЭКСПО-2017” БҮКІЛ ӘЛЕМДІК МАМАНДАНДЫРЫЛҒАН КӨРМЕДЕ
ҰСЫНЫЛҒАН ЖАҢА ТЕХНИКА МЕН
ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА САЛАСЫНА ЕНГІЗУ ЖӘНЕ
ПАЙДАЛАНУ МҮМКІНДІКТЕРІ ТУРАЛЫ**

Андатпа.Қазақстан Республикасының президенті Н.Ә.Назарбаевтың Қазақстан халқына арнаған Үндеуінде (7.12.2011ж) және Жолдауында (18.01.2014ж) көрсетілгендей «Астана ЭКСПО-2017» Бүкіләлемдік мамандандырылған көрмеде ұсынылған жаңа техникамен технологияларды Қазақстанның электроэнергетика саласына енгізу және пайдалану мүмкіндіктері қарастырылған.

Мақалада өткен жылы болып өткен “Астана ЭКСПО-2017” Бүкіләлемдік мамандандырылған көрмесінің маңыздылығы туралы оның Қазақстан Республикасының энергетика саласына тигізетін ықпалы жайлы сұрақтар қарастырылған. Сонымен қатар осы Бүкіләлемдік мамандандырылған көрмеден кейінгі қабылданған және болашақтағы қабылданатын жобалар туралы мағлұматтар келтірілген.

Көрмеде ұсынылған Жасыл энергетиканың басқа елдер арасындағы бағыттық тақырыптары келтіріліп, олардың ұсынып отырған жаңа технологиялары мен жаңалықтары жайлы көзқарастар білдірілген. Мақалада мемлекет тарапынан жасыл энергетиканы дамытуға байланысты ұсынылып отырған бағдарламалар мен жолдауларға сілтемелер келтіріліп, ақпараттық танымдық бағыттағы болашақ жасыл энергия даму үрдісіне қорытынды жасалынған.

Кілттік сөздер: Қазақстан Республикасының президенті Н.Ә.Назарбаевтың Қазақстан халқына Үндеуі және Жолдауы, ЭКСПО-2017, жаңа технология, жаңа техника, үшінші және төртінші индустриялық революция, жаңғыртылған энергия көздері, жасыл экономика, экология.

«Астана ЭКСПО-2017» Бүкіләлемдік мамандандырылған көрме Қазақстан Республикасында өте жоғары деңгейде өтті. Оның әркімге әртүрлі әсер, ой сыйлайтынтыды белгілі. Көрмеге қатынасқан мемлекеттердің жетекшілері өз елдерінің өте жаңа (үздік) технологияларын ұсынбаса да, олар көреремендерді ілтипатпен қарсы алды. Мысалы: Қазақстан, Ресей, Қытай, Жапон, АҚШ, Франция, Чехия, БАЭ және т.б.

Көрменің 30 астам павильондарында болып (2 шілдеден 7 шілдеге дейін, күнде сағат 9-дан 19-ге дейін) олардың жаңалықтарымен таныстық. Әрбір павильонға кірген сайын, енді қандай жаңалықтарды көреміз, білеміз деп асықтық. «Астана ЭКСПО-2017» көрмесінің ғимараттарының барлығына бару, көру, танысу мүмкін болмады.

Дегенмен, біздердің көрген, танысқан, ой салған павильондарымыз: Қазақстан, Ресей, Қытай, АҚШ, Жапон, Түркия, Сауд Арабия Карольдігі, Үндістан, Өзбекстан, Мысыр Араб Республикасы, Малайзия, Африка плазасы, Сингапур, Әзірбайжан, Түрікменстан, Оңтүстік Корея, Германия, Франция, Ұлыбритания, Словакия, Венесуэла, Австрия, Тайланд Карольдігі, Иран ислам Республикасы, Куба Республикасы, Мексика Құрама штаттары, Аргентина, Ауғаныстан ислам Республикасы, Қырғыз Республикасы, Украина, Грузия, Вьетнам Социалистік Республикасы, Алжир халық демократиялық Республикасы, Тәжікстан Республикасы.

Бұл павильондарға қойылған, көрсетілген жобалардың әрқайсының өзіндік маңызы және ерекшелігі бар.



Сурет-1 Халықаралық павильондарда ресми қатысушылардың орналасу схемасы

Мысалы: Қытай Халық Республикасының тақырыбы-«Болашақтың энергиясы: жасыл жібек жолы»-осы көрмедегі ең ауқымды жұмыстардың бірі.

Германия елінің тақырыбы: «Энергия апарар жолда». Бұл көрмеде Германия екі және төрт дөңгелекті электр көліктері мен қуат өндіре алатын «ақылы үйлер» секілді бірнеше жоба ұсынған. Және көрме барысында «Жасыл» технологиялар саласында тәжірбелердің мол екендігін көрсетті. АҚШ-тың тақырыбы: «Таусылмас қуат көзі».

Африка плазасында 21 мемлекет «Жасыл» энергетикаға қатысты жобаларын ұсынуда. Соның ішінде «Гана» Республикасы «Жаңартылатын энергия көздері мүмкіндіктерінің тоғысқан жері» ұранымен көрмеге қатысуда.

Ұлыбритания павильонының тақырыбы: «Біз-энергиямыз». Олар көрмеге «болашақтың материалы» деп аталатын графеннің мүмкіндігін көрсетуде. Бұл әлемдегі ең жеңіл әрі берік берік материал, сонымен қатар энергия жинақтау қасиеті де бар делінген.

Франция павильонының тақырыбы: «Жасыл өсім бағытындағы энергетикалық бұрылыс». Франция павильоны негізгі үш тақырыпты қамтиды: «Экоқала», «Жаңартылатын энергия» және «Экологиялық көлік».

Біріккен Араб Әмірліктері әлемдегі мұнайлы елдің бірі бола тұрса да, бұл көлемде әлем назарына карбоннан жасалатын жоғары технологиялы өнімдерді ұсынған. Әрине біздердің көрген, танысқан, білген павильондар туралы бұл жерде толық жазу мүмкін емес.

Осы павильондардың ішіндегі ең ауқымдысы және мәңгі есте қалатыны Қазақстан павильоны.



Сурет-2 Астана ЭКСПО-2017 аумағының картасы

Қазақстан павильоны шартты түрде екі аймаққа бөлінген.

1. Қазақстанмен жанысу; 2. Жасампаздық энергиясы.

Павильонның көлемі 5 мың шаршы метр аумақты қамтиды. Халықаралық архитектуралық конкурстың қорытындысы бойынша америкалық жоба жеңімпазы аталды. «Астана ЭКСПО-2017» Бүкіләлемдік мамандандырылған көрменің басты символы болып шар (сфера) қабылданды. Осы қабылданған жоба туралы қысқаша мәлімет: Қазақстан павильоны киіз үйге ұқсайды. Ол шар (сфера) айрықша нысан. Ол ғимараттың диаметрі 150м. Автордың көзқарасы бойынша, осы эскиз-жоба Қазақтың ұлттық дәстүрлерін «Үшінші өнеркәсіптік революция» және «Болашақтың энергиясымен» байланыстырады. Эскиз-жобадан одан әрі өз орындарын тапқан нысандар: «Энергия Әлемі», «Тіршілік үшін энергия», «Қолжетімді энергия», «Менің болашақ энергиям» тақырыптары. Атап айтсақ Қазақстан павильондағы тақырыптардың орналасу тәртібі келесідей:

1. Ұлттық павильон «Нұр әлемі»;
2. Су энергиясы;

3. Кинетикалық энергия;
4. Биомасса энергиясы;
5. Жел энергиясы;
6. Күн энергиясы;
7. Ғарыш энергиясы;
8. Болашақ Астана.

Қазақстан Республикасының Президенті Н.Ә.Назарбаевтың ЭКСПО-2017 Халықаралық көрмені Астанада өткізу туралы шешім қабылдауына байланысты Қазақстан халқына 2012 жылдың 7 желтоқсанында Үндеуі жарияланды. Онда Елбасы былай деді (қысқаша шолу): «Біз елеулі үміткер, осындай халықаралық форум өткізуде тәжірбиесі бар Белгияның Льеж қаласын жеңіп шықтық». Бұл Қазақстанның зор табысы. Халықаралық көрмелер өткен 160 жылдан астам уақытта олар негізінен экономикалық алыптар саналатын АҚШ, Франция, Канада, Ұлыбритания, Испания, Қытай, Жапония және басқа да елдерде өтті. Енді солардың қатарына Қазақстанда қосыла отыр. Бұл Қазақстанның әлеуметтік-экономикалық даму ісіндегі табыстарын халықаралық қоғамдастық мойындады. Бұл-біздің еліміз үшін жаңа энергетиканың және «жасыл» технологиялар алуға аса зор мүмкіндік. Бұл Қазақстандағы тағы бір «Халықаралық Құрылыс» болмақ. Мен «ЭКСПО-2017-нің біздің тарихымыздың тағы бір алтын параға болатынына сенемін» деп Президент Н.Ә.Назарбаев Қазақстанның бүкіләлемдік жарқын, ерекше, табысты көрме өткізетініне зор сенімділігін білдірді [1].

Елбасы өзінің «Қазақстан жолы-2050: Бір мақсат, Бір мүдде, Бір болашақ» атты жолдауында (18.01.2014ж.) «Астана ЭКСПО-2017» Бүкіләлемдік жетістіктер көрмесі Қазақстанның энергетикасының, электрэнергетикасының дамуына және елімізге «жасыл» экономиканы құруға тигізетін әсерінің зор екендігі арнайы айтылды [2].

Бұл көрмеде Қазақстанның ғалымдары мен өнертапқыштарының жобалары баршылық. Айта келсек академик А.В.Болотовтың, т.ғ.д М.Н. Қамбаровтың және өнертапқыш инженер Блок Шайкеновтың «Қайқы жасқалың» (орысша «Ветрокалесо с коленным изгибом лопастей») жобалары ұсынылған. Осы жобаларды іске асыру тек қана Қазақстан үшін емес, бүкіл әлемге жаңартылған энергия көзін пайдаланудағы зор жетістік деп есептеймін.

Мемлекет басшысы Нұрсұлтан Әбішұлы Назарбаев «Болашаққа бағдар: рухани жаңғыру» мақаласында «Қазақ елінің жастары білімді, көзі ашық, көкірегі ояу болуға ұмтылулары керек. Себебі, жаңа дәуірде тек бәсекеге қабілетті, аса білімді, сауатты адамдар ғана табысқа жетеді. Ел жастарында осындай қасиеттер болса, кез келген мемлекеттің болашағы жарқын болары анық» деп атап өткен болатын.

«Астана ЭКСПО-2017» Бүкіләлемдік мамандандырылған көрмесінде «Жасыл» технология саласындағы әлемдік 193 озық үлгі таныстырылып, оның көпшілігі қазіргі таңда Қазақстан экономикасына енгізіле бастады. Бұл істе бәсекеге қабілетті білімді де білікті мамандар соның ішінде, Ел жастары аянбай еңбек етулері керек деп ойлаймыз.

Елбасы Н.Ә. Назарбаевтың «Төртінші өнеркәсіптік революция жағдайындағы дамудың жаңа мүмкіндіктері» атты Қазақстан халқына арналған жаңа Жолдауы (10.01.2018ж.) еліміздің идеологиясының және болашаққа дамуының нақты жоспарын анық та, түсінікті білдіреді [3].

«Астана ЭКСПО-2017» Бүкіләлемдік мамандандырылған көрмесінің нәтижесінде Қазақстанды әлемдегі барлық ел таныды деп есептейміз. Бұл көрмеге (10 маусым мен 9 қыркүйек аралығында) дүние жүзінің 115 мемлекеті мен 22 халықаралық ұйымның жоғары лауазымды қонақтары арнайы келді. Мамандандырылған көрмені 3 997 545 адам тамашалады [4].

Қазақстан Республикасының Премьер-Министрі Б.Сағынтаевтың төрағалығымен Үкімет отырысында (07.08.2018ж.) «Астана ЭКСПО-2017» Бүкіләлемдік көрмесіндегі ұсынылған жобаларды енгізу және пайдалану туралы мәселе қарастырылды [5].

Қазақстан Республикасының Президенті Н.Ә.Назарбаевтың тапсырмасы бойынша срапшылар тобы «Астана ЭКСПО-2017» көрмесінде көрсетілген 1133 технологияның ішінен 115 жобаның іріктеліп алынғанын және оның ішінде 16 жобаның іске енгізілгенін, сонымен қатар бұл жылдың соңына дейін тағы да 20 жобаны енгізу жоспарланғанын және 99 жоба іске асыру сатысында тұр деп жеткізді Б.Сағынтаев.

Осы Үкімет отырысында Қазақстанның энергетика министрі Қ. Бозымбаев отандық технологиялардың енгізілуі туралы мәлімет берді [5].

Мысалы: ғалым А.Әлімғазиннің «SN-62 маркалы жылу сорғысы» жобасы Қостанай облысының Әулікөл ауданында күн энергиясы есебінен суды тікелей жылыту үшін енгізілді, ал ғалым А.В.Болотовтың «Жел роторлы турбинасы» жобасын да осы облыста қызметке жаратпақ. Сонымен қатар, ғалым А. Жылқышикованың ЭКСПО көрмесінде көрсетілген «Қуаты 500кВт бөгетсіз тиімді шағын СуЭС» жобасы Шығыс Қазақстан облысының Риддер қаласындағы Кедровка өзенінде іске асырылатын жобалардың негізіне кірді. Ал ғалым Д. Байсейітовтың «Гелиоколлекторлар пайдаланатын гелиоказандықтар» жобасын «Қазақстан өкнеркәсіп» ҰАҚ АҚ биыл өндіріске енгізуді жоспарлап отырғандығы айтылды.

Өз кезегінде, Білім және ғылым министрі Е. Сағадиев «Қазіргі кезде шетелдік университеттермен, компаниясымен, ұйымдармен, ТОО-лармен, ведомстволық бағынышты ҒЗИ-мен жасалған келісімдердің, келісімшарттар мен меморандумдардың нәтижесінде 14 бағдарлама мен жоба іске асырылып жатыр, оның ішінде 12-сі ЖОО-ларда», деді [5].

Жоғары айтылған жолдауда 10 міндет көрсетілген. Соның ішінде жетінші міндет-адами капитал-жаңғыру негізі. Демек, мамандардың білімділігі, біліктілігі, рухани адамгершілігі және мәдениеті өте жоғары болу керектілігі айқын көрсетілген. Тек сондай мамандар, жастар «Астана ЭКСПО-2017» көрмесінің озық технологияларын іске асырады деп сенеміз.

Қазақстандықтар асқан ұйымшылдықпен, бүкіл әлем көз тіккен көрменің ару Астанада зор табыспен өтуіне орасан зор еңбек етті. Оның дәлелі Халықаралық көрмелер бюросы Бас хатшысының берген бағасы. Ол былай деді: «соңғы жиырма бес жыл ішіндегі ең тамаша көрме» [4].

«Астана ЭКСПО-2017» Бүкіләлемдік мамандандырылған көрмені адамзаттың болашағы, келесі ұрпақтардың үміті деп айтуға болады. Себебі энергия көзін ұтымды пайдалану өте маңызды мәселе. Сондықтан бұл мәселе әлемдегі барлық мемлекеттерге ортақ, өзекті шара деп есептейміз.

ҚОРЫТЫНДЫ

«Астана ЭКСПО-2017» Бүкіләлемдік мамандандырылған көрмеде ұсынылған заманауи озық технологияларды, жаңа техникаларды тез арада іске қосу үшін білікті де, білімді және бәсекелестікке қабілетті мамандардың керектілігі анықталды.

Елбасы Н.Ә. Назарбаев Жоғары оқу орындарындағы мен жұмыс берушілердің мамандарды даярлаудағы бірлігі оқытушыларға, студенттерге және өндіріс қызметкерлеріне үлкен рухани әсерін тигізеді деп анықтады және де Жоғары оқу орындағы білімді де білікті және бәсекелестікке қабілетті мамандарды даярлап, Қазақстанды бүкіл әлемге әйгілі ететіндігіне сенетіндігін білдірді. Тек сонда ғана Қазақстан Республикасы әлемдегі үздік дамыған 30 мемлекеттің қатарына кіреді деп айқындалады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

[1] Назарбаев Н.Ә., «Қазақстан Республикасының «ЭКСПО-2017» Халықаралық көрмесін Астанада өткізу туралы шешім қабылдауына байланысты Қазақстан халқына Үндеуі», Егемен Қазақстан-№807-808, 07.12.2012ж.

[2] Назарбаев Н.Ә., «Қазақстан жолы-2050: Бір мақсат, Бір мүдде, Бір болашақ», Егемен Қазақстан-№11, 18.01.2014ж.

[3] Назарбаев Н.Ә., «Төртінші өнеркәсіптік революция жағдайындағы дамудың жаңа мүмкіндіктері», Егемен Қазақстан-№6, 16.01.2018ж.

[4] Жылқыбай Жағыпарұлы, «Тұғырлы тұлға биігі», Егемен Қазақстан, 6 желтоқсан 2017ж.

[5] Еркежан Айтқызы, «ЭКСПО-2017 мұрасы: 99 жоба жұмысқа енгізу сатысында тұр», EGEMEN QAZAQSTAN 9 тамыз 2018ж.

ВНЕДРЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ НА ПРЕДСТАВЛЕННОЙ ВСЕМИРНОЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ВЫСТАВКЕ «АСТАНА ЭКСПО-2017» В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКУ КАЗАХСТАНА

Г.Х. Хожин¹, Т.Н. Агимов¹

¹Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан

Аннотация. В статье рассматривается внедрение и использование новой техники и технологий, применяемых в возобновляемой энергетике.

Результаты разработок были представлены на Всемирной специализированной выставке «Астана ЭКСПО-2017» в Казахстана.

В статье приведены ссылки на соответствующие послания со стороны государства в области развития Зеленой энергетике и даны заключения о процессе развития этой отрасли.

Представлены сведения о значимости и влиянии выставки «Астана ЭКСПО-2017» на электроэнергетику Республики Казахстан.

Кроме этого приводится информация о принятых проектах к реализации и этапах их дальнейшего развития.

Ключевые слова: Послание Президента Республики Казахстан Н.А. Назарбаева народу Казахстана, ЭКСПО-2017, новая технология, новая техника, третья и четвертая индустриальная революция, возобновляемые источники энергии, зеленая экономика, экология.

THE INTRODUCTION AND USE OF NEW TECHNOLOGY IN THE WORLD SPECIALIZED EXHIBITION "ASTANA EXPO-2017" IN POWER INDUSTRY OF KAZAKHSTAN

G. H. Hozhin¹, T. N. Agimov¹

¹Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan

Abstract. The article discusses the introduction and use of new techniques and technologies used in renewable energy. The results of the developments were presented at the world specialized exhibition "Astana EXPO-2017" in Kazakhstan. The article provides links to relevant messages from the state in the field of green energy development, and conclusions about the process of development of this industry. Information on the importance and impact of the exhibition "Astana EXPO-2017" on the power industry of the Republic of Kazakhstan is presented. In addition, information on the projects adopted for implementation is provided and the stages of their further development are discussed.

Key words: The Message Of N.Nazarbayev,the President Of The Republic Of Kazakhstan to people of Kazakhstan, EXPO-2017, new technology, new equipment, the third and the fourth industrial revolution, renewable energy, green economy, ecology.