

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік  
университетінің ғылыми журналы  
Научный журнал Павлодарского государственного  
университета им. С. Торайғырова

---

*1997 жылы құрылған  
Основан в 1997 г.*

İ Ì Ó  
ÕÀÁÀÐØÛÑÛ

ÂÃÑÒÍ ÈÊ Ì ÃÓ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СЕРИЯ

**1**2011

---

---

---

Научный журнал Павлодарского государственного университета  
им. С. Торайгырова

### СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на учет средства массовой информации  
№ 4533-Ж

выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия  
Республики Казахстан  
31 декабря 2003 года

Арын Е.М., д.э.н., профессор (главный редактор);  
Кислов А.П., к.т.н., доцент (зам. гл. редактора);  
Бергузинов А.Н. (отв. секретарь).

### Редакционная коллегия:

Баубеков К.Т., к.т.н., доцент;  
Глазырин А.И., д.т.н., профессор;  
Глазырин С.А., к.т.н., доцент;  
Захаров И.В., д.т.н., доцент;  
Клецель М.Я., д.т.н., профессор;  
Новожилов А.Н., д.т.н., профессор;  
Тастенов А.Д., к.т.н., доцент;  
Утегулов Б.Б., д.т.н., профессор;  
Хацевский В.Ф., д.т.н., профессор;  
Айтжанова Д.Н. (тех. редактор)

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели.  
Мнение авторов публикаций не всегда совпадает с мнением редакции.  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов.  
Рукописи и дискеты не возвращаются.  
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник ПГУ» обязательна.

### МАЗМҰНЫ

<b>О.А. Андреева, А.В. Нефтисов</b> Конденсациялық бу трубинысы.....	9
<b>М.О. Балабеков, Л.И. Раматуллаева</b> Тозаң ағынның сепарациясының тиімділігінің бағасына энергетикалық жол.....	12
<b>В.П. Белоглазов, Л.В. Белоглазова, Е.В. Оришевская</b> Инерционды – вакуумдық шаңаулағышта шаң бөлігінің қозғалысы .....	18
<b>С.А. Глазырин, Н.С. Глазырина</b> Дәріс - көрушілік бұл студенттердің таным белсенділігін жоғарылатудың құралы .....	24
<b>Н.К. Дроздова, Д.А. Алигожина</b> Прожекторлы қондырғыларды пайдалану кезінде қауіпсіздіктің талаптары.....	27
<b>С.С. Исенов</b> Нейронды тораптарды қолданып, асинхронды электрқозғалтқыштарды басқару жүйелерін құру .....	31
<b>А.Н. Новожилов, Н.А. Исупова</b> Асинхронды қозғалтқыштың оның электромеханикалық параметрлері бойынша ротордың эксцентриситетін диагностикалау әдістері.....	37
<b>А.П. Кислов, С.А. Мендыбаев, Т.А. Масакбаев</b> Компрессорлық станцияның басқараудың автоматтандырылған жүйесінің реттеуіштерінің таңдауы.....	44
<b>А.П. Косогооров, С.А. Машеевский, А.С. Шеломенцев</b> Электр тораптарының кенет ауыспалын үлгілеу.....	49
<b>П.Н. Майшев, К.С. Литвинов</b> Жылу электростанциясының энергия блогінің қазандық қондырғысын автоматты басқаруды толық функционалды жүйенің құрастыруы .....	58
<b>Р.М. Мұстафина, А.Х. Танат, А.С. Звонцов</b> Тұрақты дамудың кепілі – энергетикада энергетикалық және экологиялық қауіпсіздігі .....	61
<b>В.В. Сорокин, М.В. Гладков, Н.В. Зыкова</b> Сигналдардың автоматтандырылған кестелі классификациялық әдісі мен алгоритмі .....	66
<b>К.К. Тохтибакиев, А.А. Саухимов</b> Аймақтағы энергия беруші компанияның электр қуатын жоғалтуын төмендетуде инвестициялық бағдарламаны жүзеге асыру.....	72
<b>К.В. Хацевский, В.Ф. Хацевский, Т.В. Гоненко</b> Жазық электр жылытқыш жүйелерінің өтеуін өңдеу технологиясын жеңілдеті.....	78
<b>В.Ф. Хацевский, В.С. Щербаков, В.Е. Беляков</b> ДЭК-251 жүктеме көтеру кранының көтеру механизміне динамикалық ықпалына әсері .....	83

<b>Б.К. Шапкенов, А.Б. Кайдар, К.Т. Смагулов, Ф.Д. Жантемиров, Т.Б. Жакупов</b>	
Электроқауіпсіздік сұрақтарын меңгеру үшін электр желілерінің физикалық үлгілерін құрастыру .....	93
<b>А.К. Садыков, Б.Қ. Шәпкенов, В.П. Марковский, А.Б. Қайдар</b>	
Релелік қорғаныстың микропроцессорлық құрылғыларының қауіпсіз жұмыс істеу ерекшеліктері .....	100
<b>Б.Б. Өтегулов, Б.Қ. Шәпкенов, В.П. Марковский, А.Б. Қайдар</b>	
Энергетикалық нысандармен басқаруды оқтайландыру .....	106
Біздің авторлар .....	117
Авторлар үшін ереже .....	119

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>О.А. Андреева, А.В. Нефтисов</b>	
Конденсационные паровые турбины .....	9
<b>М.О. Балабеков, Л.И. Раматуллаева</b>	
Энергетический подход к оценке эффективности сепарации аэрозольного потока .....	12
<b>В.П. Белоглазов, Л.В. Белоглазова, Е.В. Оришевская</b>	
Движение частиц в инерционно-вакуумном пылеуловителе .....	18
<b>С.А. Глазырин, Н.С. Глазырина</b>	
Лекция - визуализация как средство повышения познавательной активности студентов .....	24
<b>Н.К. Дроздова, Д.А. Алигожина</b>	
Требования безопасности при эксплуатации прожекторных установок .....	27
<b>С.С. Исенов</b>	
Разработка системы управления асинхронным электродвигателем с использованием нейронных сетей .....	31
<b>А.Н. Новожилов, Н.А. Исупова</b>	
Способы диагностики эксцентриситета ротора асинхронного двигателя по его электромеханическим параметрам .....	37
<b>А.П. Кислов, С.А. Мендыбаев, Т.А. Масакбаев</b>	
Выбор регулятора автоматизированной системы управления компрессорными станциями .....	44
<b>А.П. Косоголов, С.А. Машевский, А.С. Шеломенцев</b>	
Моделирование резкопеременных нагрузок электрических систем .....	49
<b>П.Н. Майшев, К.С. Литвинов</b>	
Построение полнофункциональной системы автоматизированного управления котельной установки энергоблока тепловой электростанции .....	58
<b>Р.М. Мустафина, А.Х. Танат, А.С. Звонцов</b>	
Энергетическая и экологическая безопасности в энергетике – гарант устойчивого развития .....	61
<b>В.В. Сорокин, М.В. Гладков, Н.В. Зыкова</b>	
Метод и алгоритм автоматизированной табличной классификации сигналов .....	66
<b>К.К. Тохтибакиев, А.А. Саухимов</b>	
Реализация инвестиционных программ по снижению потерь электроэнергии в региональных энергокомпаниях. ....	72
<b>К.В. Хацевский, В.Ф. Хацевский, Т.В. Гоненко</b>	
Технология упрочняющей обработки покрытий плоских электронагревательных систем .....	78
<b>В.Ф. Хацевский, В.С. Щербakov, В.Е. Беляков</b>	
Влияние динамических воздействий на механизм подъема грузоподъемного крана ДЭК-251 .....	83

<b>Б.К. Шапкенов, А.Б. Кайдар, К.Т. Смагулов, Ф.Д. Жантемиров, Т.Б. Жакупов</b>	
Разработка физических моделей электрических сетей для изучения вопросов электробезопасности .....	93
<b>А.К. Садыков, Б.К. Шапкенов, В.П. Марковский, А.Б. Кайдар</b>	
Особенности безопасного функционирования микропроцессорных устройств релейной защиты .....	100
<b>Б.Б. Утегулов, Б.К. Шапкенов, В.П. Марковский, А.Б. Кайдар</b>	
Оптимизация управления энергетическими объектами .....	106
Наши авторы .....	117
Правила для авторов .....	119

## CONTENT

<b>O.A. Andreeva, A.V. Neftissov</b>	
Condensing steam turbines .....	9
<b>M.O. Balabekov, L.I. Ramatullaeva</b>	
The power approach to estimation of efficiency of an aerosol stream separation .....	12
<b>V.P. Beloglazov, L.V. Beloglazova, E.V. Orishevskaja</b>	
Movement of particles in an inertial vacuum dust collector .....	18
<b>S.A. Glazyrin, N.S. Glazyrina</b>	
Lecture - visualization as means of increase of informative activity of students	24
<b>N.K. Drozdova, D.A. Alighozhina</b>	
The safety requirements in carrying out of projectors installations .....	27
<b>S.S. Issenov</b>	
Engineering of operating system of the asynchronous electric motor with use of neural networks .....	31
<b>A.N. Novozhilov, N.A. Isupova</b>	
Methods of diagnostics of eccentricity of the rotor of induction motor from its electromechanical parameters .....	37
<b>A.P. Kislov, S.A. Mendybaev, T.A. Masakbaev</b>	
Selection of automated control system of compressor stations .....	44
<b>A.P. Kosogorov, S.A. Mashevskiy, A.S. Shelomentcev</b>	
Modelling of sharply variable loadings of electric systems .....	49
<b>P.N. Maishev, K.S. Litvinov</b>	
Construction of full-function system of automated management of boiler installation of the power unit of a thermal power station .....	58
<b>R.M. Mustaphina, A.H. Tanat, A.S. Zvontsov</b>	
Energy and environmental safety in power engineering as guarantor of sustainable development .....	61
<b>V.V. Sorokin, M.V. Gladkov, N.V. Zykova</b>	
Method and algorithm of the signals automatic table classification .....	66
<b>K.K. Tokhtibakiev, A.A. Saukhimov</b>	
Realisation of investment programmes for decreasing of energy losses in regional power companies .....	72
<b>K.V. Khatsevskiy, V.F. Khatsevskiy, T.V. Gonenko</b>	
Reinforcing processing technology of coverings flat electroheating systems .....	78
<b>V.F. Khatsevskiy, V.S. Shcherbakov, V.E. Belyakov</b>	
Influence of dynamic effects on the mechanism of the growth of lifting crane DEC-251 .....	83
<b>B.K. Shapkenov, A.B. Kaidar, K.T. Smagulov, F.D. Zhantemirov, T.B. Zhakupov</b>	
Working out of electric nets physical models for studying electric safety questions .....	93

<b>A.K. Sadykov, B.K. Shapkenov, V.P. Markovsky, A.B. Kaydar</b>	
Peculiarities of safe operation of microprocessor of relay protection .....	100
<b>B.B. Utegulov, B.K. Shapkenov, V.P. Markovsky, A.B. Kaydar</b>	
Optimizing management of energy facilities .....	106
Our authors .....	117
Rules for authors .....	119

УДК 621.175.63

**КОНДЕНСАЦИОННЫЕ ПАРОВЫЕ ТУРБИНЫ****О.А. Андреева***к.т.н., доцент, Павлодарский государственный университет  
им. С. Торайгырова***А.В. Нефтисов***студент, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

Паровая турбина (фр. turbine от лат. turbo-вихрь, вращение) - это тепловой двигатель непрерывного действия, в лопаточном аппарате которого потенциальная энергия сжатого и нагретого водяного пара преобразуется в кинетическую, которая в свою очередь совершает механическую работу на валу. Поток водяного пара поступает через направляющие аппараты на криволинейные лопатки, закрепленные по окружности ротора, и, воздействуя на них, приводит ротор во вращение. Паровая турбина является одним из элементов паротурбинной установки (ПТУ). Отдельные типы паровых турбин также предназначены для обеспечения потребителей тепла тепловой энергией. Паровая турбина и электрогенератор составляют турбоагрегат. Паротурбинные электростанции, вырабатывающие один вид энергии - электрическую, оснащают турбинами конденсационного типа и называют конденсационными электростанциями (КЭС) [1]. Конденсационные паровые турбины служат для превращения максимально возможной части теплоты пара в механическую работу. Они работают с выпуском (выхлопом) отработавшего пара в конденсатор, в котором поддерживается вакуум (отсюда возникло наименование). Конденсационные турбины бывают стационарными и транспортными.

Стационарные турбины изготавливаются на одном валу с генераторами переменного тока. Такие агрегаты называют турбогенераторами. Тепловые электростанции, на которых установлены конденсационные турбины, называются конденсационными электрическими станциями (КЭС). Основным конечным продуктом таких электростанций - электроэнергия. Лишь небольшая часть тепловой энергии используется на собственные нужды электростанции и, иногда, для снабжения теплом близлежащего населенного пункта. Обычно это посёлок энергетиков. Доказано, что чем больше мощность турбогенератора, тем он экономичнее, и тем ниже стоимость 1 кВт установленной мощности. Поэтому на конденсационных электростанциях устанавливаются турбогенераторы повышенной мощности [2]. Частота вращения ротора стационарного турбогенератора связана с частотой электрического тока 50 Гц. Частота электрического тока вырабатываемой энергии является одним из главных показателей качества отпускаемой электроэнергии. Современные технологии

позволяют поддерживать частоту вращения с точностью до трёх оборотов. Резкое падение электрической частоты влечёт за собой отключение от сети и аварийный останов энергоблока, в котором наблюдается подобный сбой.

В зависимости от назначения паровые турбины электростанций могут быть базовыми, несущими постоянную основную нагрузку; пиковыми, кратковременно работающими для покрытия пиков нагрузки; турбинами собственных нужд, обеспечивающими потребность электростанции в электроэнергии. От базовых требуется высокая экономичность на нагрузках, близких к полной (около 80%), от пиковых - возможность быстрого пуска и включения в работу, от турбин собственных нужд - особая надёжность в работе. Все паровые турбины для электростанций рассчитываются на 100 тыс. ч работы (до капитального ремонта).

Транспортные паровые турбины используются в качестве главных и вспомогательных двигателей на кораблях и судах. Неоднократно делались попытки применить паровые турбины на локомотивах, однако паротурбовозы распространения не получили. Для соединения быстроходных турбин с гребными винтами, требующими небольшой (от 100 до 500 об/мин) частоты вращения, применяют зубчатые редукторы. В отличие от стационарных турбин (кроме турбовоздуховок), судовые работают с переменной частотой вращения, определяемой необходимой скоростью хода судна [3].

Принцип работы КЭС: свежий (острый) пар из котельного агрегата по паропроводу попадает на рабочие лопатки паровой турбины. При расширении, кинетическая энергия пара превращается в механическую энергию вращения ротора турбины, который расположен на одном валу с электрическим генератором. Отработанный пар из турбины направляется в конденсатор, в котором, охладившись до состояния воды путём теплообмена с циркуляционной водой пруда-охладителя, градирни или водохранилища по трубопроводу направляется обратно в котельный агрегат при помощи насоса. Большая часть полученной энергии используется для генерации электрического тока.

В СССР первая конденсационная турбина была построена на Ленинградском металлическом заводе в 1924. Это была турбина мощностью 2 МВт, работавшая на паре с начальным давлением 11 кгс/см<sup>2</sup> и температурой 300°C; в 1970 там же была изготовлена одновальная конденсационная турбина мощностью 800 МВт с начальным давлением пара 240 кгс/см<sup>2</sup> и температурой 540°C. В 1973 создаётся одновальная конденсационная турбина мощностью 1200 МВт, с промежуточным перегревом пара, не имеющая аналогов в мировом турбостроении в то время[4].

Существует несколько видов современных паровых конденсационных турбин, представленные фирмой Mitsubishi Heavy Industries [5].

Конденсационная турбина мощностью 50 МВт. Чисто конденсационные турбины обладают рядом преимуществ, особенно при необходимости

надёжного источника энергии большой мощности и наличии поблизости недорогого топлива, такого как технологический побочный газ. Для увеличения теплового КПД турбины пар обычно отбирается из промежуточной ступени турбины для подогрева питательной воды.

Конденсационная паровая турбина с двойным отбором пара мощностью 50 МВт. Конденсационные турбины с промежуточным отбором пара производят как технологический пар, так и электроэнергию. Технологический пар по мере необходимости может отбираться автоматически при одном или нескольких фиксированных значениях давления. Турбины такого типа отличает эксплуатационная гибкость, поскольку они обеспечивают необходимое количество технологического пара при постоянном давлении, производя при этом требуемое количество электроэнергии.

Конденсационная турбина с промежуточным отбором пара двойного давления мощностью 35 МВт. Турбины двойного давления приводятся в действие двумя и более потоками пара, поступающими на турбину независимо друг от друга. В агрегатах с двумя потоками пара можно выбрать оптимальные параметры пара независимо для каждого источника. Такой тип турбин может использоваться при установке дополнительного котла к уже имеющемуся, что является эффективным способом улучшения теплового КПД.

Разработана высокотемпературная (800-850°C) паровая конденсационная турбина мощностью 100кВт с числом оборотов в минуту 24000, в качестве топлива используются органическое, ядерное и водородное топливо, альтернативные источники энергии.

Современное турбостроение базируется на применении высоких и сверхвысоких параметров пара. Известно, что к. п. д. турбоустановки растёт с повышением параметров свежего пара и развитием регенеративного подогрева питательной воды. Поэтому желательно повышать давление и температуру свежего пара до предельно возможных значений и увеличивать число отборов для подогрева питательной воды, а также использовать тепло отбираемого пара для технологических целей и подогрева сетевой воды в установках с подогревателями. Предельно допустимая температура свежего пара лимитируется качеством металлов, применяемых в турбостроении, их стоимостью и технологией обработки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Трухний А.Д., Ломакин Б.В. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки: учебное пособие для вузов. - М.: Издательство МЭИ, 2002. - 540с.

2. Трухний А.Д. Стационарные паровые турбины. - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 640 с.

3. Рыжкин В.Я., Тепловые электрические станции: Учебник для вузов/ под ред. В.Я. Гиришфельда. - 3-е изд. перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 328 с.

4. Вольдек А.И., Электрические машины, Л., 1974.

5. Электронная база фирмы Mitsubishi Heavy Industries (<http://www.mhi.ru/products/?groupid=3&prodid=5>)

### Түйіндемe

*Бапта негізгі қолдану облыстары және қазіргі конденсациялық бумен турбиналардың құрастыруының кейбір қағидалары сипатталған. Конденсациялық электр станциясының жұмыс принципі, болып жататын процесстердің сипаттамасымен сипатталған. Mitsubishi Heavy Industriesтің фирма шығарылған қазіргі конденсациялық турбиналар таңдалғандар мысал ретінде болды.*

### Resume

*In article the basic scopes and some principles of designing modern condensation steam turbines are described. The work principle of condensation power stations, with the description of occurring processes is described. As an example, modern condensation of the turbines made by Mitsubishi Heavy Industries have been chosen.*

УДК 628.5

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕПАРАЦИИ АЭРОЗОЛЬНОГО ПОТОКА

**М.О. Балабеков, Л.И. Раматуллаева**

*инженер, Академический инновационный университет,  
г. Шымкент*

*к.т.н., ст.преподаватель, Академический инновационный  
университет, г.Шымкент*

Разработка методов расчета процессов и аппаратов сепарации в газовоздушном потоке имеет существенное значение при расчете эффективности как агрегатов технологического значения для проведения процессов тепло- и массообмена, так и экологической техники для улавливания пыли. Фундаментальные основы данной проблемы могут быть использованы при оценке осаждения частиц пыли, выделяемой из стационарных и

передвижных источников загрязнения воздушного бассейна населенными пунктами, предприятиями и автотранспортными средствами.

Установлено, что эффективность процесса пылеулавливания значительно определяется энергетическими затратами. Во второй половине прошлого столетия зарубежные исследователи Лаппа, Камак и Вальдберг, а также Балабеков О.С. установили, что эффективность пылеуловителя значительно зависит от потери давления. Зависимость между степенью очистки газов и затратами энергии может быть представлена в виде [1-4]:

$$\eta = 1 - \exp(-A\Delta^k), \quad (1)$$

где  $\Delta$  – удельная энергозатрата на осаждение частиц аэрозоля или тумана, Дж/м<sup>3</sup>;  $A$  и  $k$  – эмпирические константы, определяемые дисперсным составом пыли.

Практически все существующие технологические процессы являются источниками образования аэрозолей, состоящих из мелких взвешенных частиц размером 0,1-10мкм, улавливание которых связано со значительным расходом энергии.

По аналогии с процессами тепло- и массообмена степень очистки по энергетическому методу можно связать с числом единиц переноса  $N$ :

$$\eta = 1 - \exp(-N). \quad (2)$$

Проведенные оценочные расчеты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Расчет эффективности сепарации по зависимости (2)

Число единиц переноса, N	0,5	1,0	2,0	2,3	3,1	3,5	3,9	4,6	5,1	6,9
Эффективность очистки газов, $\eta$	0,39	0,632	0,865	0,900	0,955	0,970	0,980	0,990	0,994	0,999

Обработка литературных данных [1,2,5,6] позволяет определить значение  $A$  и  $k$  в зависимости:

$$N = A\Delta^k, \quad (3)$$

где:  $B=5,5 \cdot 10^{-5}$ ,  $k=1,2$  для возгонов извести,  $B=1,3 \cdot 10^{-2}$ ,  $k=0,6$  для тумана фосфорной кислоты,  $B=2 \cdot 10^{-4}$ ,  $k=1,0$  для пыли медного купороса.

При использовании энергетического метода в расчете эффективности газоочистки необходимо достоверно определить долю энергии, затрачиваемой непосредственно на улавливание дисперсной фазы. Потери энергии на местные сопротивления должны исключаться при расчете. Так, например, при расчете газопромыслов с трубами Вентури без значительной погрешности можно принять, что вся энергия затрачивается на газоочистку. Аналогично для аппаратов с пенным слоем, нужно учитывать только гидравлическое сопротивление газожидкостного слоя, исключив сопротивление сухой тарелки.

Для описания процесса пылеулавливания нами предложен энергетический подход, основанный на определении затрат энергии газожидкостного потока на создание развитой межфазной поверхности. Расчет энергопараметра осуществляется по уравнению:

$$\Theta = \frac{\Delta P_L - \Delta P_c}{\Delta P_L}, \quad (4)$$

где  $\Delta P_c$  и  $\Delta P_L$  – гидравлическое сопротивление сухой и орошаемой контактной зоны, Па.

Подставляя выражения  $\Delta P_c$  и  $\Delta P_L$  и преобразовывая уравнение (4), получим:

$$\Theta = 1 - \frac{\xi_c}{\xi_L}, \quad (5)$$

где  $\xi_c$  и  $\xi_L$  – коэффициенты сопротивления сухой и орошаемой насадки.

Рассмотрим приближенный подход к моделированию эффективности очистки газов от частиц <1 мкм. Для этого степень очистки газов (эффективность сепарации  $\eta$ ) выразим через число единиц переноса соотношением (2).

Как известно, тонкодисперсная аэрозоль имеет размеры частиц от 0,02 до 1 мкм. Для частиц столь малого размера в некотором приближении можно использовать уравнения, аналогичные по форме соответствующим уравнениям из теории массообмена.

Пусть на входе в сепаратор газовый поток имеет концентрацию  $y_n$ , а на выходе  $y_k$ . В ядре потока концентрация равна  $y_\infty$ , а у стенки канала  $y_{zp}$ .

Для элемента поверхности канала  $dF$  уравнения потока массы и массоотдачи можно записать в известной форме:

$$j = -G_z dy, \quad (6)$$

$$j = \rho_z \beta_z (y_\infty - y_{zp}) dF, \quad (7)$$

где  $\beta_z$  – коэффициент массоотдачи в газовой фазе;  $G_z$  – массовый расход газового потока.

Отсюда:

$$\rho_z \beta_z (y_\infty - y_{zp}) dF = G_z dy, \quad (8)$$

Разделяя переменные, получим:

$$\int_{y_k}^{y_n} \frac{dy}{y_\infty - y_{zp}} = \frac{\rho_z \beta_z F}{G_z} \quad (9)$$

После интегрирования по всей поверхности, учитывая, что  $\beta$  величина постоянная:

$$N = \int_{y_k}^{y_n} \frac{dy}{y_\infty - y_{zp}} = \frac{\rho_z \beta_z F}{G_z} \quad (10)$$

При расчете процессов массопередачи в газовой фазе часто используется гидродинамическая аналогия переноса импульса и массы (при  $Pr \approx 1$ ), т.е. отсюда

$$N \approx \frac{\rho_z \beta_z F}{G_z} \quad (11)$$

Зная известные значения  $\beta_z$  для любых массообменных аппаратов или их взаимосвязь с коэффициентом теплоотдачи можно оценить значение числа переноса по уравнению (11). Эта методика расчета эффективности сепарации или улавливания пыли пригодна для тонкодисперсного аэрозоля ( $\leq 10$  мкм).

Рассмотрим в качестве примера аппарат с плоскопараллельной насадкой, характеризующейся очень малым сопротивлением формы (лобовым сопротивлением) и практически все затраты энергии идут на трение. Это немаловажно при высокой стоимости энергетических затрат.

Запишем условие баланса сил:

$$\tau_w F = \Delta P_{mp} S \quad (12)$$



где  $S$  – площадь поперечного сечения аппарата,  $m^2$ .

Касательное напряжение на стенке также можно записать по уравнению импульсоотдачи:

$$\tau_w = \rho_z \gamma \Delta \bar{u}_\infty = \rho_z \beta_z (u_\infty \pm u_{zp}), \quad (13)$$

«+» – противоток; «-» – прямоток.

Из уравнений (12) и (13) найдем

$$\beta_z = \frac{\Delta P_{mp} S}{\rho_z F(u_\infty \pm u_{zp})} \quad (14)$$

Тогда уравнение для расчета числа единиц переноса (11) получит вид:

$$N = \frac{\Delta P_{mp} S}{G(u_\infty \pm u_{zp})} \quad (15)$$

При течении газового потока в плоском канале профиль скорости

приближено можно описывать параболическим законом и  $u_\infty \cong 1,5u_{\text{ср}}$ .

Из уравнения (2) получим выражение, справедливое для частиц субмикронного размера при движении по плоскопараллельному каналу сепаратора:

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{\Delta P_{mp} S}{G(u_\infty \pm u_{zp})}\right) \quad (16)$$

где потеря давления на трение  $\Delta P_{mp}$  находится экспериментально или по известным выражениям.

Значением  $u_{zp}$  можно пренебречь, если  $u_\infty \gg u_{zp}$ . Тогда выражение (16) можно записать, используя уравнение Дарси:

$$\Delta P_{mp} = \xi \frac{L}{d_s} \frac{\rho_z u_{cp}^2}{2} \quad (17)$$

где  $\lambda_{mp}$  – коэффициент трения (без местных сопротивлений);  $u_{cp} = \frac{G}{\rho_z S}$  – средняя скорость газа, м/с.

Таким образом, установлена взаимосвязь эффективности сепарации (осаждения) тонкодисперсных частиц аэрозоля ( $\leq 10 \mu m$ ) с коэффициентом массоотдачи в газовой фазе и энергетическими затратами (гидравлическим сопротивлением) аппарата.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Очистка промышленных газов от пыли /Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И., Решидов И.К. – М.: Химия, 1981. – 390 с.
2. Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. – М.: Энергия. - 1980.
3. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. - М.: АН СССР, 1955. – 352 с.
4. Балабеков О.С., Гисматулин Ч.Н., Мусин Н.А. Расчет брызгоуноса в аппарате с подвижной насадкой //Теор. Основы хим. технол. – 1987. – Т.21, №5. – С. 636-641.
5. Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю. Подготовка промышленных газов к очистке. – М.: Химия, 1975.
6. Очистка газов в химической промышленности. Процессы и аппараты / Балабеков О.С., Балтабаев Л.Ш. – М.: Химия, 1991. –256 с.

## Түйіндеме

*Жұмыста ұстауға, дәреже орнатуға оңай мүмкіндік береді, тұман да шаң көтерген есептеудің әдістемесі ұсынылады.*

## Resume

*In work the design procedure which allows to establish degree of catching of a dust or a fog easily is offered.*

## ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦ В ИНЕРЦИОННО-ВАКУУМНОМ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕ

**В.П. Белоглазов, Л.В. Белоглазова**

*Омский государственный технический университет, г. Омск*

**Е.В. Оришевская**

*Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

Проблема улавливания золы частиц из топочных газов, актуальна до тех пор пока К.П.Д. аппарата меньше 99,99%, что дает рукавный фильтр. Но установка и эксплуатация рукавного фильтра весьма дорога для российской энергетики. Если нет материальных средств для установки новых котлов взамен полностью изношенных, то на систему золоочистки в ее современном виде их и не предвидится. Экологические штрафы со временем только растут и выход видится в создании аппаратов менее материалоемких, чем рукавные фильтры, более дешевых в эксплуатации и по возможности, по степени улавливания близки к «четырем девяткам».

На сегодняшний день аппаратов, улавливающих золы частицы из дымовых газов, создано довольно большое количество, это трубы вентури, мокрые скруббера, батарейные циклоны, электрофильтры.

В настоящее время появились градиентные сепараторы, поперечно-струйные аэрофильтры, инерционно-вакуумные пылеуловители и многие другие конструкции.

Нужен совершенно универсальный и эффективный абсолютный пылеуловитель, сокращенно АПУ. Он должен не бояться высокой температуры, иметь ничтожное сопротивление воздуху, не требовать больших затрат электроэнергии, не загрязнять водосмы пульпой, иметь удобное устройство для извлечения уловленной пыли. Задача такого АПУ – ловить, ловить и ловить пыль. Магнитную и немагнитную, грубую и тонкую, электропроводную и изоляционную, гладкую и пушистую. АПУ ждут. На него надежда проектировщиков домен, конвертеров и химических реакторов.

В данной работе приводится математический аппарат для расчета инерционно-вакуумного пылеуловителя и предлагается следующее видение процесса.

Запыленный поток (рис. 1) проходя через сечение (1) имеет скорость больше чем поток в сечении (2). Но большую скорость имеют и частицы в этом потоке, а, значит, и большую кинетическую энергию, которая позволяет им преодолеть сечение (2) по касательной и устремиться вдоль образующей д. По мере движения скорость частиц и несущего их потока падает, и в области сборной камеры, где градиенты давления в сборной камере и в ловушке

выравниваются, образуются условия выпадения частиц в саму камеру. Оставшиеся частицы (незначительная часть) попадают в аэродинамическую ловушку, накапливаются в ней и, за счет гравитационной силы, в конечном итоге проваливаются в сборную камеру в.

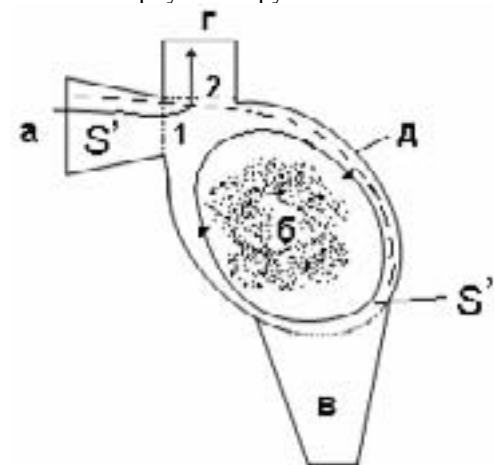


Рисунок 1 - Схема установки

При этом расстояние  $S' - S''$  определяет место выпадения частицы определенного размера.

Наблюдение выпадения частиц в сборную камеру подтверждает вышесказанное. Лишь незначительная часть (менее 2-3%) частиц увлекается потоком и переносит частицы обратно в аэродинамическую ловушку.

При такой постановке задача является принципиально решаемой с привлечением уравнений Навье-Стокса описывающих течение потока с добавлением к нему транспортных уравнений (по работам Бувича Ю.А., Деревича И.В. и др. [6-8]) для движущихся частиц, граничными условиями которых на стенке являются граничные условия третьего рода [13].

Проблема теории турбулентности на первый взгляд здесь не должна помешать в разработке метода расчета. Но скорости потока и геометрические (граничные условия) таковы, что по определению приходится иметь дело с потоками, число Re для которых уже лежит в области турбулентного течения.

Таким образом, выбор математической модели течения является также немаловажным.

На сегодняшний день в литературе имеется достаточно большое количество математических моделей хорошо зарекомендовавших себя в различных областях знаний, для различных течений при разнообразных граничных условиях.

Наибольшее распространение получила  $k-\varepsilon$  модель течения вязкой жидкости [10].

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho \omega \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + g_x(\rho - \rho_0) + \frac{\partial}{\partial x}(\mu_\Sigma \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_\Sigma \frac{\partial u}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu_\Sigma \frac{\partial u}{\partial z}); \\ \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho \omega \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + g_y(\rho - \rho_0) + \frac{\partial}{\partial x}(\mu_\Sigma \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_\Sigma \frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu_\Sigma \frac{\partial v}{\partial z}); \\ \rho u \frac{\partial \omega}{\partial x} + \rho v \frac{\partial \omega}{\partial y} + \rho \omega \frac{\partial \omega}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + g_z(\rho - \rho_0) + \frac{\partial}{\partial x}(\mu_\Sigma \frac{\partial \omega}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_\Sigma \frac{\partial \omega}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu_\Sigma \frac{\partial \omega}{\partial z}); \\ \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \omega)}{\partial z} = 0; \\ \rho u \frac{\partial k}{\partial x} + \rho v \frac{\partial k}{\partial y} + \rho \omega \frac{\partial k}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x}(\mu_\Sigma \frac{\partial k}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_\Sigma \frac{\partial k}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu_\Sigma \frac{\partial k}{\partial z}) + G\mu_m - \rho\varepsilon; \\ \rho u \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \rho v \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + \rho \omega \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x}(\mu_\Sigma \frac{\partial \varepsilon}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_\Sigma \frac{\partial \varepsilon}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu_\Sigma \frac{\partial \varepsilon}{\partial z}) + C_1 \frac{G\varepsilon}{k} - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \end{array} \right.$$

Программа расчета движущегося потока, разработанная Б. Сполдинггом, *PHOENICS* – 3.5 построенная на базе вышеприведенных уравнений на сегодняшний день является одной из лучших в своей области, с точки зрения удобства пользования, качеству расчетов, мобильности к встраиваемым моделям других разработчиков, количественным расчетным результатам.

Последние свойства оказались решающими при выборе программы. Одним из авторов данной работы разработана  $k-l$  модель [9] для которой вместо уравнения по диссипации турбулентной кинетической энергии решается дифференциальное уравнение по масштабу турбулентности  $l$ .

$$\rho u \frac{\partial l}{\partial x} + \rho v \frac{\partial l}{\partial y} + \rho \omega \frac{\partial l}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x}(\mu_\Sigma \frac{\partial l}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_\Sigma \frac{\partial l}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu_\Sigma \frac{\partial l}{\partial z}) + \frac{\partial u}{\partial x} l \rho + \frac{\partial v}{\partial y} l \rho + \frac{\partial \omega}{\partial z} l \rho$$

Данная модель представлена отдельной программой "*TECHENIE*" и может быть встроена в вычислительный комплекс *PHOENICS* – 3,5 [8] (что и было сделано).

Таким образом, предлагаемая математическая  $k-l$  модель течения вязкой жидкости, программы "*TECHENIE*" и *PHOENICS* – 3,5 и транспортные уравнения Бувича Ю.А для частиц, геометрические размеры аппарата, граничные условия – являются основой для создания метода расчета инерционно-вакуумного пылесушителя.

Другой подход базируется на системе уравнений, предложенной в [9]. Течения запыленных потоков подразделяются согласно [9] на потоки газозвеси, потоки флюидной смеси, потоки в плотной фазе и гравитационный движущийся слой, различающиеся по концентрации твердых частиц в самом потоке.

При сжигании углей в топке энергетических парогенераторов образуется зола (из теплового расчета котла БКЗ-420-140 при работе на топливе Экибастузского и Барандатского месторождений) с максимальным содержанием  $\beta_{\text{макс}}$  от  $2 \cdot 10^{-5}$  до  $0,56 \cdot 10^{-5}$  кг\кг, что позволяет отнести данные запыленные потоки по классификации Горбиса к слабозапыленным потокам  $\beta_{\text{макс}} = 4 \cdot 10^{-4}$  газозвесей, поэтому в данной работе рассматривается модель для подобного рода течений.

В связи с тем, что полуэмпирические теории Баренблата Г.И., Франкля Ф.И., Шваба В.А. [10-12] и др. замыкают системы уравнений лишь для ряда гидродинамических задач, а замечание Телетова С.Г. [11] прямо указывает на малоизученность сложных дисперсных потоков и предлагает при выводе уравнений газодинамики использовать их в теории подобия для получения общих аналитических решений, в данной работе учитываются полученные полуэмпирические теории и вышеуказанное замечание.

При выводе уравнений используем модель гетерогенной элементарной ячейки [9] при следующих упрощениях:

Поток рассматривается как двухкомпонентная смесь (отсутствие фазовых переходов, истирание и дробление частиц)

Поток рассматривается во всем диапазоне концентраций

В пределах элементарной ячейки поток – осредненный

Газ является несжимаемым.

Тогда, в соответствии с [9] получим:

$$\text{div}W_m + \text{div}W = 0$$

Здесь индекс  $m$  относится к частице в газовом потоке.

Для движения запыленного потока запишем составляющую уравнения движения в проекции на ось  $x$

$$\frac{D\rho_T \beta v_{T,x}}{dt} + \frac{D\rho(1-\beta)v_x}{dt} = [\rho_T \beta + (1-\beta)\rho]g_x - \frac{\partial P}{\partial x}(1-\beta) - \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \rho \nabla^2 v_x(1-\beta) - \left( \frac{\partial F_T \beta}{\partial x} + \frac{\partial F_T \beta}{\partial y} + \frac{\partial F_T \beta}{\partial z} \right)_x$$

где  $\rho_T$  и  $\rho$  – соответственно плотность частицы и несущего потока,  $v_x$  – проекция скорости на ось  $x$ ,  $P$  – давление среды,  $\nu$  – кинематическая вязкость среды,  $F_T$  – проекция на ось  $x$  равнодействующей сил сухого трения и ударов твердых частиц о стенку,  $g_x$  – ускорение свободного падения.

Аналогично записываются уравнения в проекции на оси  $y$  и  $z$ .

При этом общее уравнение движения газового компонента выглядит следующим образом:

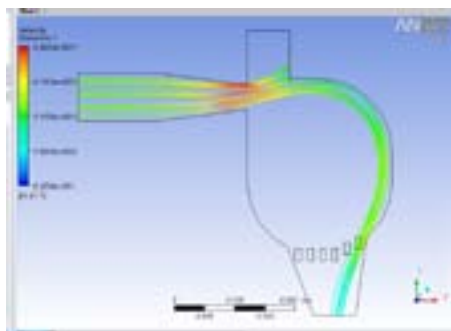
$$\frac{D\rho(1-\beta)v_x}{dt} = \rho g_x - \frac{\partial P_x}{\partial x}(1-\beta) + \nu \rho \nabla^2 v_x(1-\beta) + \frac{\partial S_T \beta}{\partial y_x},$$

а уравнения для частицы следующим:

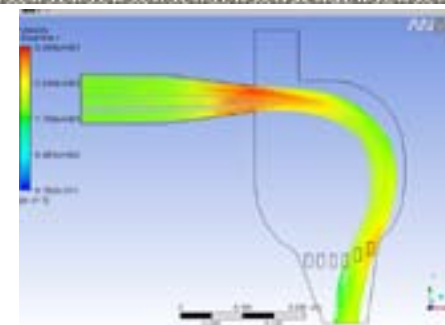
$$\frac{D\rho_T \beta v_{Tx}}{dt} = (\rho_T - \rho) \beta g_x - \frac{\partial P_T}{\partial x} \beta - \frac{\partial S_T \beta}{\partial y} - \left( \frac{\partial F_T \beta}{\partial x} + \frac{\partial F_T \beta}{\partial y} + \frac{\partial F_T \beta}{\partial z} \right)_x$$

Граничные условия: на входе скорость: 20 м/с, в бункере давление 24 Па, на выходе полное давление создаваемое вентилятором: 330 Па, частицы размером 50 и 2 микрона.

Расчеты, проведенные с использованием пакета ANSYS для течения запыленных потоков, показали зависимость степени улавливания от фракционного состава потока, что подчеркивает правильность выбора граничных условий для упрощенной задачи аэродинамики потока с монодисперсными частицами.



А



Б

Рисунок 2 - Траектории движения части  
А – размер частиц 2 мкм, Б - размер частиц 50 мкм

На рисунках видно, что частицы крупных фракций 50 мкм и более улавливаются полностью, а частицы мелких фракций (2 мкм и менее) частично проскакивают с несущим потоком в выходной патрубке. Если учесть что доля частиц малого диаметра в золе экибастузского угля весьма незначительна (менее 1% по данным [13]), то можно предварительно говорить о достаточной эффективности инерционно-вакуумного пылеуловителя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белоглазов В.П., Ченцов А.В. Инерционно-вакуумный пылеуловитель, Патент №92358, 22 окт. 2009.
2. Белоглазов В.П. Пылеуловитель, Патент №93298, 20 нояб. 2009.
3. В. Spalding, Simultaneous Prediction of Solid stress, Heat transfer and Fluid flow by a Single Algorithm, Lecture presented at XIII School-Seminar of Young Scientists and Specialists under the leadership of the Academician, Professor A.I.Leontiev May 20-25, 2001, Saint Petersburg, Russia.
4. Белоглазов В.П. К вопросу о К-Л модели // Вестник ПГУ №4, 2004.
5. Мотулевич В.П., Жубрин С.В. Численные методы расчета теплообменного оборудования. – МЭИ.: 1989. - с.78.
6. Бувеч Ю.А., Каган И.Б., Лисин Ф.Н. О распределении взвешенных частиц в турбулентном потоке // ИФЖ, 1989., т.58, № 4, - с. 546-554.
7. Бувеч Ю.А., Зубарев А. Ю., Исаев А.М. О гидродинамике суспензий // ИФЖ, 1989, т. 57, № 3, - с. 402-412.
8. Деревич И.В., Зайчик Л.И. Граничное условие для уравнения диффузии частиц в неоднородном потоке // ИФЖ, 1989. т.59, №5, с. 735-739.
9. Горбис З.Р. Теплообмен и гидромеханика дисперсных потоков. - М.: Энергия, 1970. - 424с.

10. Баренблатт Г.Г. О движении взвешенных частиц в турбулентном потоке // ПММ, 1953, 17, №3; ПММ, 1953, 1955, 19, вып. 1.

11. Франкль Ф.И. О системе уравнений движения взвешенных наносов, сб. «Исследование максимального стока, волнового воздействия и движения наносов», И-во АН СССР, 1960.

12. Шваб В.А. Анализ системы уравнений движения пылегазовой среды при полуэмпирической теории этого движения // Труды МИИЖТ, «Теория подобия и ее применение в теплотехнике». - М.: 1961.

13. Назмеев Ю.Г. Системы золошлакоудаления ТЭС. - М.: Изд-во МЭИ, 2002.

### **Түйіндемe**

*Жұмыста инерционды- вакуумды шаңаулағышта газдарды тазалау үрдісінің түрлері қарастырылған және шаңды газдың үрдісінің математикалық моделі ұсынылады.*

### **Resume**

*In work various approaches to the description of process of clearing of gas in an inertial vacuum deduster are considered and the mathematical model of process of a current of dusty gas is offered.*

УДК 378.126

## **ЛЕКЦИЯ - ВИЗУАЛИЗАЦИЯ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ СТУДЕНТОВ**

**С.А. Глазырин**

*к.т.н., доцент, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

**Н.С. Глазырина**

*магистр информатики, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

Эффективность любой деятельности, в том числе и учебно-познавательной, зависит от уровня активности и самоорганизации людей, в ней участвующих. Активизация познавательной деятельности студентов является актуальной проблемой преподавателей ВУЗов. Научно-педагогической разработкой этой проблемы занимались Б.Г. Ананьев, П.П. Блонский, П.Я. Гальперин, Б.П. Есипов, В.С. Ильин, З.И. Калмыкова,

Г.С. Костюк, Т.В. Кудрявцев, В.А. Крутецкий, А.М. Матюшкин, М.И. Махмутов, Н.А. Менчинская, В.А. Сухомлинский, П.И. Третьяков, З.Ф. Чехлова, Т.И. Шамова, Д.Б. Эльконин и другие.

Психолого-педагогические исследования по проблеме познавательной активности обучаемых позволили установить, что активизация учебно-познавательной деятельности личности должна быть, прежде всего, направлена на развитие мышления, внимания, памяти. Одним из путей активизации студентов в учебной деятельности является использование в процессе обучения активных методов обучения.

А.М. Смолкин дает следующее определение активным методам обучения:

Активные методы обучения – это способы активизации учебно-познавательной деятельности студентов [1], которые побуждают их к активной мыслительной и практической деятельности в процессе овладения материалом, когда активен не только преподаватель, но активны и студенты. Активные методы обучения предполагают использование такой системы методов, которая направлена главным образом, не на изложение преподавателем готовых знаний и их воспроизведение, а на самостоятельное овладение студентами знаний в процессе активной познавательной деятельности. Таким образом, активные методы обучения – это обучение деятельностью. Так, например, Л.С. Выготский сформулировал закон, который говорит, что обучение влечет за собой развитие, так как личность развивается в процессе деятельности. Именно в активной деятельности, направляемой преподавателем, студенты овладевают необходимыми знаниями, умениями, навыками для их профессиональной деятельности, развиваются творческие способности. Активные методы обучения направлены на привлечение студентов к самостоятельной познавательной деятельности, вызвать личностный интерес к решению каких-либо познавательных задач, возможность применения студентами полученных знаний. Целью активных методов является, чтобы в усвоении знаний, умений, навыков участвовали все психические процессы (речь, память, воображение и т.д.) [2].

Активные методы охватывают все виды аудиторных занятий со студентами. В частности, к числу важнейших видов этих методов относится лекция – визуализация. Лекция-визуализация является результатом нового использования принципа наглядности, содержание данного принципа меняется под влиянием данных психолого-педагогической науки, форм и методов активного обучения. Психологические и педагогические исследования показывают, что наглядность не только способствует более успешному восприятию и запоминанию учебного материала, но и позволяет активизировать умственную деятельность, глубже проникать в сущность изучаемых явлений (Р. Арнхейм, Е.Ю. Артьемьева, В.И. Якиманская и др.) показывает его связь с творческими процессами принятия решений, подтверждает регулирующую роль образа в деятельности человека.

Лекция - визуализация учит студентов преобразовывать устную и письменную информацию в визуальную форму, что формирует у них профессиональное мышление за счет систематизации и выделения наиболее значимых, существенных элементов содержания обучения. Этот процесс визуализации является свертыванием мыслительных содержаний, включая разные виды информации, в наглядный образ; будучи воспринят, этот образ, может быть, развернут и служить опорой для мыслительных и практических действий.

Любая форма наглядной информации содержит элементы проблемности. Поэтому лекция - визуализация способствует созданию проблемной ситуации, разрешение которой происходит на основе анализа, синтеза, обобщения, свертывания или развертывания информации, т.е. с включением активной мыслительной деятельности. Перед преподавателем становится задача использовать такие формы наглядности, которые не только дополняли - бы словесную информацию, но и сами являлись носителями информации. Чем больше проблемности в наглядной информации, тем выше степень мыслительной активности студента [3].

Подготовка лекции преподавателем состоит в том, чтобы изменить, переконструировать учебную информацию по теме лекционного занятия в визуальную форму для представления студентам через технические средства обучения или вручную (схемы, рисунки, чертежи и т.п.). К этой работе мы привлекаем и студентов, у которых в связи с этим формируются соответствующие умения, развивается высокий уровень активности, воспитывается личностное отношение к содержанию обучения. Чтение лекции сводится к связному, развернутому комментированию преподавателем подготовленных наглядных материалов, полностью раскрывающему тему лекции. Представленная таким образом информация обеспечивает систематизацию имеющихся у студентов знаний, создание проблемных ситуаций и возможности их разрешения; демонстрацию разных способов наглядности, что является важным в познавательной и профессиональной деятельности.

При подготовке лекции, в зависимости от темы, мы используем разные виды визуализации - натуральные, изобразительные, символические, - каждый из которых или их сочетание выбирается в зависимости от содержания учебного материала. При переходе от текста к зрительной форме или от одного вида наглядности к другому может теряться некоторое количество информации. Но это является преимуществом, т.к. позволяет сконцентрировать внимание на наиболее важных аспектах и особенностях содержания лекции, способствовать его пониманию и усвоению.

В лекции-визуализации важна определенная наглядная логика и ритм подачи учебного материала. Для этого мы используем различные технические средства, в том числе и интерактивные доски, которые позволяют использовать рисунки, соответствующие изучаемой теме, а также цвет, графику, сочетание словесной и

наглядной информации. Важны дозировка использования материала, мастерство и стиль общения преподавателя со студентами.

Мы считаем, что этот вид лекции лучше всего использовать на этапе введения студентов в новый раздел, тему, дисциплину. Возникающая при этом проблемная ситуация создает психологическую установку на изучение материала, развитие навыков наглядной информации в других видах обучения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Смолкин А.М. Активные методы обучения. - М.: Высшая школа, 1991. - 207 с.
2. Щукина Г.И. Активизация познавательной деятельности учащихся в учебном процессе. - М.: Просвещение, 1979. - 160 с.
3. Вербицкий А.А. Активное обучение в высшей школе: контекстный подход. - М.: Высшая школа, 1991. - 207 с.

### *Түйіндеме*

*Мақалада дәріс сабақтарын өткізу кезінде студенттердің танымдылық белсенділігін арттыру сұрақтары қарастырылған.*

### *Resume*

*In the article the problem of increasing of cognitive activity of the students is reviewed at realization of lecture occupations.*

УДК 628.94.004.24:334.45

## **ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОЖЕКТОРНЫХ УСТАНОВОК**

**Н.К. Дроздова, Д.А. Алигожина**

*Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

Прожектором называют осветительный прибор дальнего действия, в котором световой поток источника перераспределяется и концентрируется при помощи оптической системы в направленный пучок света [1].

Делятся такие приборы на следующие группы:

- зенитные прожекторы с очень узким световым пучком и громадной силой света;
- прожекторы заливающего света с более широким световым пучком.

Используются для освещения стройплощадок, заводских и складских территорий, карьеров, городских площадей, стадионов и т.д.;

- киносветильные и театральные прожекторы, обеспечивающие высокую и равномерную освещенность на относительно небольших расстояниях от прожектора;

- фасадные прожекторы используются для архитектурного освещения фасадов зданий и дают возможность распределить нужным образом световой поток по поверхности фасада здания;

- прожектора специального назначения, например, сигнальные [1].

Впервые прожекторы начали использоваться в конце XIX века на кораблях военно-морского флота. Это были «боевые фонари Манжена», установленные на броненосце «Петр Великий» в 1869 г., а затем на крейсерах Балтийской эскадры, предназначенные для освещения в ночное время атакующих миноносцев неприятеля, а также сигнальные прожектора «Ратьер» [1].

Отечественная промышленность впервые выпустила прожекторы для наружного освещения в 1927 году. Прожекторный завод, созданный на базе Московского электрозавода, выпустил первую партию прожекторов типа XIV-1 и XIV-4 для ламп мощностью 1000 Вт. В следующем 1928 г. завод освоил и начал выпускать прожекторы типа XXVII-1 для ламп мощностью 500 Вт [1].

В 1935 г. в Москве был построен новый прожекторный завод и начал осваивать производство прожекторов московский завод «Электросвет». Вместо упомянутых типов начался выпуск прожекторов марок ПЗ-35 и ПЗ-45. В дальнейшем начался с 50-х годов, производство прожекторов было освоено на Гусевском заводе светотехнической арматуры [1].

Применение прожекторного освещения для строительных площадок имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с освещением светильниками: экономичность, благоприятное для объемного видения соотношение вертикальной и горизонтальной освещенности, меньшая загруженность территории опорами и воздушными линиями, а также удобство обслуживания осветительной установки. В то же время прожекторное освещение требует принятия мер по снижению слепящего действия и исключения теней. Целесообразно комбинировать прожекторное освещение со светильниками для участков с малой шириной [2].

Светотехническим расчетом прожекторного освещения определяется тип прожектора, необходимое их число, высота и место установки, углы наклона оптической оси прожекторов в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Расчет прожекторного освещения производится приближенно по мощности прожекторной установки [2].

Прожекторные мачты, площадки и рамы выполняются из дерева, стали, железобетона и различных алюминиевых сплавов. Могут устанавливаться стационарно или быть передвижными [1].

Стационарно установленные мачты применяются для освещения территорий промышленных предприятий, объектов железнодорожного,

водного и авиационного транспорта, спортивных сооружений, городских площадей, строительных объектов, фасадов зданий. Передвижные очень широко используются для освещения стройплощадок, карьеров и др. [1].

В настоящее время широкое распространение получили портативные установки различных типов – от легких переносимых треножников с одной – двумя лампами с отражателями от тяжелых трейлеров с телескопическими мачтами высотой 33 м, несущими несколько прожекторов и имеющими собственные электрические генераторы [1].

Приемка в эксплуатацию выполненной временной или постоянной осветительной установки должна производиться специально назначаемой приемочной комиссией или, при простой и маломощной установке, назначенными должностными лицами или одним лицом [1].

Монтажная организация, выполнившая монтаж применяемой установки, должна передать приемочной комиссии проектную документацию с указанием изменений, которые были внесены в процессе осуществления установки. Вместе с проектной документацией монтажная организация должна представить акты измерения сопротивления изоляции в сети. Приемку осветительной установки следует производить в дневных и вечерних или ночных условиях – в темное время суток [1].

В дневное время приемочная комиссия проверяет правильность размещения осветительных приборов и соответствие их проектной документации, размер сечений проводов и кабелей в осветительных сетях, качество выполнения монтажных работ, работу аппаратуры дистанционного и т.д. [1].

В темное время суток производится визуальная и инструментальная оценка освещения отдельных рабочих участков и мест, проверяется отсутствие в поле зрения работающих мешающих ярких источников света и т.д. [1].

Особое внимание следует обращать на осуществление заземления металлических частей осветительных приборов, аппаратуры управления и наличие на них защитных кожухов. Проверяется правильность подключения проводов к ламповым патронам: местного – к внутреннему контакту патрона, нулевого (нейтрального) – к наружной резьбе и т.д. [1].

Фокусировка прожекторов имеет очень большое значение для получения от них проектных светотехнических характеристик [1].

В нелабораторной обстановке фокусировка прожектора может быть произведена путем визуальной оценки, создаваемого им светового пятна. Для этого в темное время суток прожектор направляют на белый экран размером не менее 2х2 м или на белую стену, находящиеся на расстоянии 30 – 40 м от прожектора. При нормальной фокусировке световое пятно на экране должно быть равномерно освещенным [1].

Каждый прожектор должен быть установлен на мачте с определенным, указанным в проекте углом поворота в плане. Такая установка прожекторов

вызывает на практике некоторые затруднения из – за отсутствия на прожекторах лимбов для отчета углов (например, на прожекторах типа ПЗС-45 и ПЗС-45) [1].

Инструментальная оценка светотехнической эффективности прожекторной установки производится посредством измерения освещенности в различных точках освещаемой территории. Освещенность рекомендуется измерять люксметром, показания которого пропорциональны освещенности [1].

Эффективность прожекторной установки во многом зависит от правильной эксплуатации. Лампа в ней должна быть определенного типа, фокусировка не должна нарушаться, так как малейшее отклонение от нормы вызывает значительное изменение светотехнических характеристик прожектора [1].

Не реже 1 раза в месяц прожекторы должны очищаться от накопившейся в них грязи. Отражатель и рассеивающее стекло нужно промывать теплой водой с мылом и затем протирать мягкой материей. Следует указать, что в загрязненном состоянии прожекторы резко изменяют свои светотехнические характеристики – сила света значительно уменьшается, угол рассеяния увеличивается [1].

Перегоревшие лампы должны меняться в кратчайшие сроки. Из соображений безопасности очистки от грязи и замена перегоревших ламп в прожекторах и светильниках должны производиться в светлое время суток с отключением сети. При осмотре осветительной сети нужно особое внимание уделять проверке качества изоляции, мест ввода провода в осветительные приборы [1].

Обслуживание прожекторной установки должно производиться подготовленным для этого персоналом [1].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кононенко В.В., Мишкович В.И., Муханов В.В., Пладин В.Ф., Чеголин П. М. Электротехника и электроника. – Ростов – на – Дону: «Феникс», 2008. – С. 636-778.
2. Справочник строителя. Инженерные решения по охране труда в строительстве. Под редакцией Г.Г. Орлова. – Москва: Стройиздат, 1985. – С. 168 - 278

### *Түйіндеме*

*Прожекторлы қондырғыларды пайдалану кезінде қауіпсіздіктің негізгі талаптары анықталған.*

### *Resume*

*The main safety requirements in carrying out projectors installations were described.*

УДК 621.313.333.1

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

**С.С. Исенов**

*Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина,  
г. Астана*

Использование современных вычислительных технологий, дающих новые подходы к исследованию динамических процессов происходящих в электромеханических системах представляют собой новое и весьма перспективное направление, в виду повсеместного поиска и внедрения энергосберегающих технологий.

Одним из актуальных решений в данном направлении является использование нейронных сетей (НС), использование которых приведет к новым и весьма перспективным подходам к решению задач в области автоматического управления многодвигательными электроприводами, в виду возможности нейронной сети вычислить оптимальные электромеханические параметры для работы электродвигателей.

На лабораторной установке ЭЭ1-НЗ-С-К-26.08.2005, по электрической схеме, приведенной на рисунке 1, проведены экспериментальные опыты «Электропривод системы источник напряжения промышленной частоты – асинхронный двигатель с фазным ротором» [1].

На примере системы однодвигательного электропривода проведем опыты и попытаемся применить нейронную сеть к процессу контроля и управления электродвигателем, для дальнейшей разработки и применения искусственного интеллекта в системе автоматического контроля и управления динамическими процессами двухдвигательного электропривода, что приведет к оптимальному синхронному вращению двигателей.

В результате проведения экспериментов ставились следующие задачи: 1) определить координаты и параметры электропривода в статическом режиме; 2) снять опытные данные: тока I статорной обмотки, активной мощности P, частоты вращения n, напряжения сети U, определить статическую механическую характеристику двигателя, результаты опытов занесены в таблицу 1; 3) провести регулирование скорости вращения двигателя изменением сопротивления релостата в цепи ротора, результаты опытов занесены в таблицу 2.



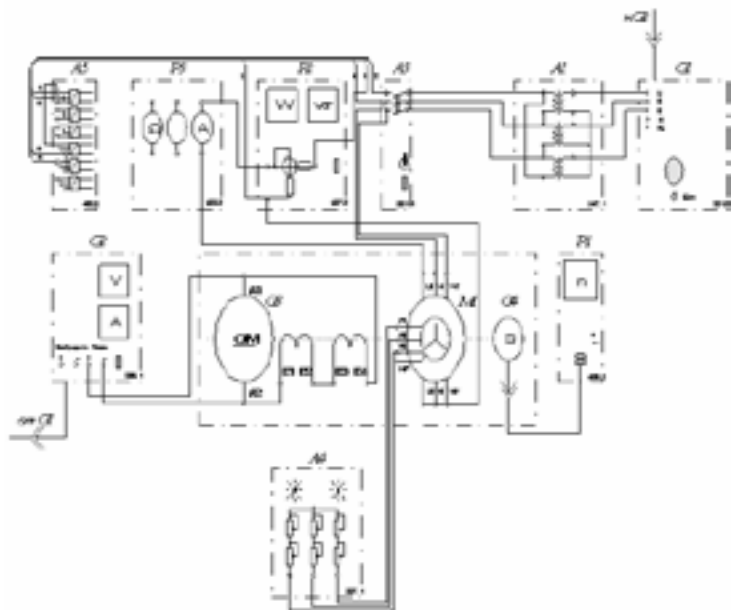


Рисунок 1 – Электрическая схема системы “источник напряжения промышленной частоты – асинхронный двигатель с фазным ротором”

Таблица 1

Опытные данные электропривода в статическом режиме

I, А	1,06	1,09	1,11	1,13	1,14	1,16	1,17	1,18	1,19	1,2
P, Вт	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
n, мин <sup>-1</sup>	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
U, В	140	150	158	163	170	176	180	190	197	205

I, А	1,21	1,22	1,23	1,23
P, Вт	84	85	86	87
n, мин <sup>-1</sup>	110	120	130	140
U, В	215	222	235	240

Таблица 2

Импульсное управление электродвигателем по цепи ротора

R, Ом	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
n, мин <sup>-1</sup>	138	130	125	120	115	110	106	102	97	93	89

На основе полученных экспериментальных данных, попытаемся вычислить и построить с использованием нейронной сети оптимальную механическую характеристику для системы электропривода.

Большой спектр задач, решаемый нейронными сетями, не позволяет в настоящее время создавать универсальные, мощные сети, вынуждая разрабатывать специализированные нейронные сети, функционирующие по различным алгоритмам [2].

Модели НС могут быть программного и аппаратного исполнения. В нашем случае будет рассматриваться НС программного исполнения.

Несмотря на существенные различия, отдельные типы нейронных сетей обладают несколькими общими чертами.

Во-первых, основу каждой НС составляют относительно простые, в большинстве случаев – однотипные, элементы (ячейки), имитирующие работу нейронов мозга. Далее под нейроном будет подразумеваться искусственный нейрон, то есть ячейка НС. Каждый нейрон характеризуется своим текущим состоянием по аналогии с нервными клетками головного мозга, которые могут быть возбуждены или заторможены. Он обладает группой синапсов – однонаправленных входных связей, соединенных с выходами других нейронов, а также имеет аксон – выходную связь данного нейрона, с которой сигнал (возбуждения или торможения) поступает на синапсы следующих нейронов. Общий вид нейрона приведен на рисунке 2. Каждый синапс характеризуется величиной синаптической связи или ее весом  $w_i$ , который по физическому смыслу эквивалентен электрической проводимости.

Текущее состояние нейрона определяется, как взвешенная сумма его входов

$$s = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i . \quad (1)$$

Выход нейрона есть функция его состояния

$$y = f(s). \quad (2)$$

Нелинейная функция  $f$  называется активационной и может иметь различный вид, как показано на рисунке 3. Одной из наиболее распространенных является нелинейная функция с насыщением, так называемая логистическая функция или сигмоид (функция S-образного вида) [3]

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha x}} . \quad (3)$$

При уменьшении  $\alpha$  сигмоид становится более пологим, в пределе при  $\alpha=0$  вырождаясь в горизонтальную линию на уровне 0,5, при увеличении  $\alpha$

сигмоид приближается по внешнему виду к функции единичного скачка с порогом  $T$  в точке  $x=0$ . Из выражения для сигмоида очевидно, что выходное значение нейрона лежит в диапазоне  $[0,1]$ . Одно из ценных свойств сигмоидной функции – простое выражение для ее производной.

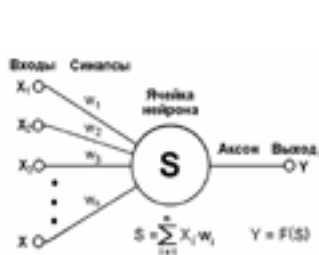


Рисунок 2 – Искусственный нейрон

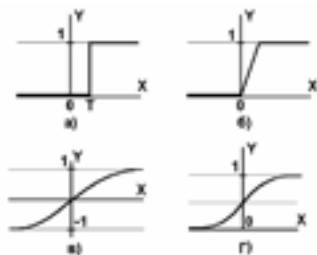


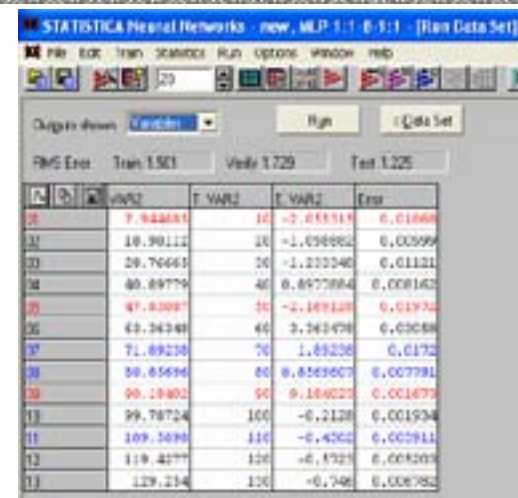
Рисунок 3 – а) функция единичного скачка;  
 б) линейный порог (гистерезис);  
 в) сигмоид – гиперболический тангенс;  
 г) сигмоид – формула (3)

Для вычисления и построения оптимальной механической характеристики электропривода, воспользуемся специализированной программой Statistica Neural Networks (SNN).

Введем полученные экспериментальные параметры из таблицы 1 (рисунок 4).

Input	Output
10	1.09
20	1.09
30	1.11
40	1.13
50	1.14
60	1.16
70	1.17
80	1.18
90	1.19
100	1.2
110	1.21
120	1.22
130	1.23

а)



б)

Рисунок 4 – Экспериментальные (а) данные и расчет (б) погрешностей

После ввода экспериментальных данных (рисунок 4 а) получим уровень погрешностей (рисунок 4 б), которая вычислила нейронная сеть для построения оптимальной механической характеристики, что способствует протеканию оптимального динамического процесса электропривода.

После вычисления погрешностей нейронная сеть определяет среднее значение коэффициента погрешности (рисунок 5).

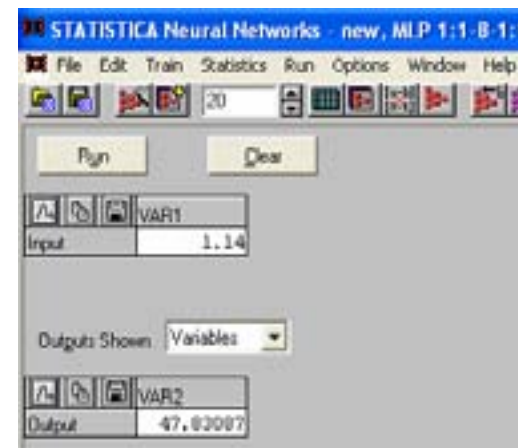


Рисунок 5 – Определение коэффициента погрешности

После вычисления нейронной сетью оптимальных параметров для функционирования электропривода, строится экспериментальная характеристика, полученная при использовании нейронной сети рисунок 6 и механическая характеристика системы электропривода, приведенная на рисунке 7.

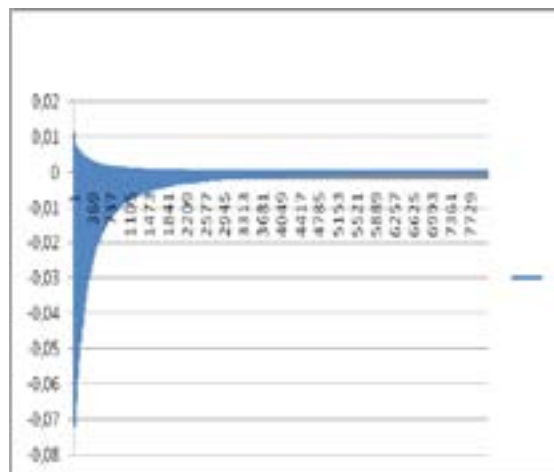


Рисунок 6 – Определение погрешности

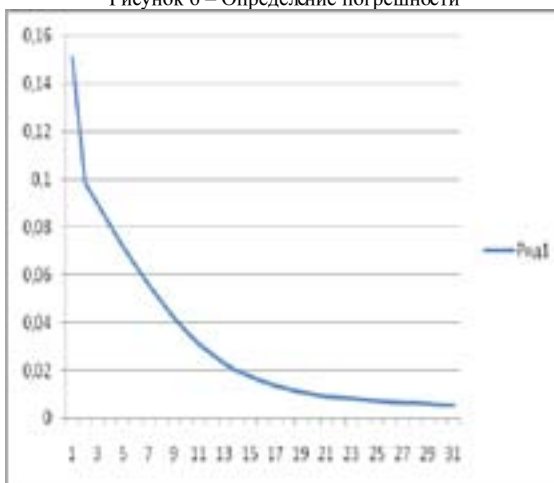


Рисунок 7 – Механическая характеристика электропривода

Вывод: Полученные экспериментальным путем характеристики электро-привода позволяют сделать вывод, что внедрение и применение искусственного интеллекта – нейронных сетей, в электропривод и систему

управления электроприводом, открывает большие возможности, связанные с автоматической настройкой оптимального протекания динамических процессов в электромеханических системах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания по электроприводу. - Челябинск. 2006. - 240 с.
2. Короткий С. Нейронные сети: основные положения. Ресурсы Интернета.
3. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника - М.: Мир, 1992.

### Түйіндеме

Мақалада нейронды тораптарды қолдана отырып алынған тәжірибелік берілгендердің негізінде электр жетегі жүйесін автоматты түрде басқаруға мүмкіндік беретін электр жетегінің механикалық сипаттамалары алынды.

### Resume

In article on the basis of skilled data and with application of a neural network, the mechanical characteristics of the electric drive providing optimum course of dynamic processes in electromechanical system are received.

УДК 621.313

## СПОСОБЫ ДИАГНОСТИКИ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО ЕГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

А.Н. Новожилов, Н.А. Исупова

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова

Одной из неисправностей асинхронных двигателей (АД) является эксцентриситет ротора. В связи с этим возникает неравномерность воздушного зазора, добавочные магнитные поля в этом зазоре и ущерб от перерасхода электроэнергии. Последний за год, по ориентировочным подсчетам, может превышать стоимость поврежденного АД. Если при эксцентриситете ротор касается статора, то их сердечники нагреваются. Происходит их «зализывание» и ускоренное тепловое старение изоляции с последующим КЗ в обмотке статора или повреждением обмотки ротора. Как правило, после

этого статор и ротор требуют капитального ремонта. Этого можно избежать, если своевременно выявить эксцентриситет, отключить двигатель от сети и отрегулировать воздушный зазор [1]. Однако в настоящее время по разным причинам в эксплуатации устройства для выявления эксцентриситета ротора не используются. Чтобы выяснить некоторые из этих причин был выполнен анализ наиболее известных технических решений, принцип работы которых основан на измерении электромеханических параметров АД.

Неравномерность воздушного зазора при эксцентриситете ротора в АД приводит к несимметрии магнитной системы и дополнительным магнитным полям [2, 3] и изменению индуктивных сопротивлений фаз обмоток статора и ротора. В результате увеличиваются токи фаз статора, скольжение ротора, время пуска и потери в двигателе. Снижается  $\cos \varphi$ , КПД, пусковой момент и некоторые другие технико-экономические показатели. Следовательно, все это может служить источником информации о наличии и величине эксцентриситета ротора.

Так в способе [4] обмотку статора АД подключают к трехфазной сети, а электродвигатель нагружают противодействующим моментом, равным опрокидывающему моменту при работе в однофазном режиме и максимально допустимой неравномерности воздушного зазора. Затем двигатель переводят с трехфазного питания на однофазное, а о равномерности воздушного зазора судят по величине снижения скорости вращения двигателя. Данный способ очень сложен в реализации, а потому малоприменим. Кроме того, в связи с особым подбором противодействующего момента, имеет низкую чувствительность. Что не позволяет определять неравномерность зазора при перекосах ротора.

Менее трудоемкие способы [5-8], которые базируются на измерении изменения параметров асинхронного двигателя в зависимости от неравномерности воздушного зазора в момент трогания машины. Например, в [5] измеряют напряжение питания в момент трогания. В [6] для повышения точности контроля перед подключением обмотки статора к источнику питания в разрыв одной фазы обмотки включают переменное активное или реактивное сопротивление, по величине которого в момент трогания судят о наличии эксцентриситета ротора. В [7, 8] о неравномерности воздушного зазора судят по относительным изменениям электрических информационных параметров в момент трогания при наличии и отсутствии несимметрии магнитного поля в этом зазоре. Но эти способы недостаточно точны, так как напряжение трогания в значительной степени зависит и от положения ротора в расточке статора, и от состояния подшипников.

При способе [9] у трехфазной машины поочередно каждую из фазных обмоток статора подключают к однофазному напряжению поочередно, измеряют ток и мощность при неподвижном роторе, а затем вычисляют индуктивное сопротивление каждой из фаз по формуле

$$x_A = \sqrt{(U/I_A)^2 - (P_A/I_A^2)^2},$$

$$x_B = \sqrt{(U/I_B)^2 - (P_B/I_B^2)^2} \text{ и}$$

$$x_C = \sqrt{(U/I_C)^2 - (P_C/I_C^2)^2}.$$

Затем по величинам этих индуктивных определяют обобщенный диагностический параметр

$$x = \sqrt{x_A^2 + x_B^2 + x_C^2}$$

и сравнивают его с величиной этого параметра при равномерном воздушном зазоре и по их разнице судят о степени неравномерности воздушного зазора.

В способе [10] предложено контролировать воздушный зазор измеряя в однофазном режиме на холостом ходе сигнал зубцовой гармоники и формируя контролируемый сигнал, в виде суммы квадратов амплитуд зубцовых гармоник ЭДС трех фаз. Очевидно, реализация этих способов во время эксплуатации невозможна.

Способы косвенного контроля неравномерности воздушного зазора асинхронного двигателя [11-13] основаны на измерении разности индуцированных в обмотках фаз статора ЭДС в различных режимах. Так в [11] ротор приводят во вращение с синхронной скоростью и измеряют ЭДС наведенных в двух фазах не подключенных к напряжению. В [12] после отключения двигателя от сети сопоставляют индуцированные в обмотках фаз статора ЭДС и по их разнице в режиме выбега определяют неравномерность воздушного зазора. В способе [13] косвенного контроля неравномерности воздушного зазора измеряют величину напряжения, тока и коэффициента мощности подключенного к сети по рабочей схеме питания асинхронного двигателя. Затем отключают фазы обмотки статора от сети собственным коммутационным аппаратом, измеряют ЭДС фазных обмоток статора в режиме выбега. О неравномерности воздушного зазора судят по изменению среднеквадратичной величины реактивной составляющей скачка напряжения на выводах фазных обмоток статора двигателя в момент отключения по сравнению с той же величиной, соответствующей равномерному зазору.

Однако способы [11-13], которые используют режим выбега, имеют существенный недостаток – недостаточное время для достоверной диагностики, так как время затухания ЭДС составляет 0,08-0,20с в зависимости от типа двигателя.

Этот недостаток, а также изменение амплитуды измеряемой ЭДС, характерен и для способов контроля неравномерности воздушного зазора в режиме пуска. Видимо это и является причиной того, что эти технические решения не получили широкого распространения.

С точки зрения реализации малоинтересен и способ [14]. С помощью вспомогательного электрического двигателя вращают ротор испытуемой электрической машины с синхронной скоростью. С источника напряжения, подают на одну из ее фаз напряжение повышенной до 500Гц частоты. Затем измеряют среднее значение разности ЭДС, наводимых в двух других фазах. В таком же порядке проводят измерения для оставшихся двух фаз. Контролируемым сигналом является отношение разности максимального амплитудного значения и среднего арифметического результата измерения средних значений разности ЭДС к этому среднему арифметическому значению.

Несколько более перспективен способ [15] измерения относительного эксцентриситета ротора электрической машины по которому измеряют напряжение между нулевыми точками обмотки статора и искусственно созданной с помощью активных резисторов. Величину эксцентриситета определяют по измеренной заранее зависимости  $\varepsilon = f(U_{00})$ . Метод прост, но требует дополнительных резисторов, что сопряжено с дополнительными потерями электрической энергии в случае оперативного контроля эксцентриситета.

Этого недостатка лишен способ косвенного контроля неравномерности воздушного зазора электрической машины [16] в котором в качестве измеряемого электрического сигнала используют ток зубцовой гармоники в нулевом проводе. При этом величина эксцентриситета определяется по полученной экспериментально зависимости  $\varepsilon = f(I_{v0})$ .

Более чувствителен в сравнении с устройством, реализующем способ [16] является устройство [17], в котором дополнительно к току зубцовой гармоники в нулевом проводе измеряются зубцовые гармонические в токах фаз двигателя и по их разности определяется наличие эксцентриситета ротора.

Эти технические решения достаточно просты и чувствительны. Однако для их реализации необходимо наличие цепи нулевого провода. Его использование возможно только в сети с заземленной или искусственной нейтралью.

В устройстве [18] для косвенного контроля неравномерности воздушного зазора последовательное измерение зубцовой гармонической в ЭДС фаз осуществляется последовательным автоматическим отключением фазных обмоток статора от источника стабилизированного питания. Величины этих зубцовых гармонических ЭДС запоминаются. Затем их преобразуют и сравнивают с эталонным значением и при превышении эталона электромашин признаётся непригодной. В результате контроль неравномерности воздушного зазора автоматизируется и упрощается. Это позволяет осуществлять его

в условиях поточного производства. Однако устройство способно только регистрировать наличие эксцентриситета ротора, но не может оценить его величину. Кроме того, для работы устройства требуется источник стабилизированного трехфазного тока.

Аналогично работает и устройство [19]. Однако в нем в качестве измеряемого параметра выбирается сумма квадратов электродвижущих сил зубцовой гармоники, измеренных в однофазном режиме при последовательном отключении каждой из трех фаз статорной обмотки. Однако при отключении каждой фазы две другие получают питание от одних и тех же двух фаз трехфазной сети, что исключает влияние на результат контроля возможной несимметрии трехфазной сети. А питание машины от одних и тех же двух фаз позволяет упростить и повысить технологичность процесса контроля, так как задача понижения и стабилизации однофазного напряжения решается значительно проще, чем трехфазного

Более перспективен способ [20]. В нем на обмотки статора испытуемой машины без нагрузки подает трехфазное напряжение питания, в результате чего ротор разгоняется до номинальной скорости вращения. Из фаз обмотки статора выделяют составляющие электрического сигнала прямой и обратной последовательностей на зубцовой частоте. Затем контролируемый косвенный параметр формируют в виде отношения амплитуд этих сигналов.

В способе [21] за контролируемый параметр взято среднеквадратичное значение четных гармоник фазных токов. При этом двигатель без нагрузки разгоняют до номинальной скорости вращения, после чего из тока в обмотках статора выделяют четные гармоники и вычисляют их среднеквадратичное значение. Этот способ основан на том, что тока в обмотках асинхронного электродвигателя не синусоидальны при питании его от источника синусоидального напряжения, причем наличие четных гармоник вызывается только неравномерностью воздушного зазора. Степень неравномерности воздушного зазора пропорциональна среднеквадратичному значению выделяемых четных гармоник в кривой тока, протекающего через обмотки электродвигателя.

В [1, 22] определять наличие эксцентриситета ротора предлагается по гармоническим тока фазы, которые рассчитываются как

$$f_s = f_c \left[ kz_2 \frac{(1-s)}{p} \pm v \right],$$

где  $Z_2$  - число пазов ротора;  $k$  - любое целое число;  $S$  - скольжение ротора;  $v$  - порядок временной гармоники статора, которая есть в сети питания электродвигателя.

Устройство защиты от эксцентриситета ротора, работа которых основана на измерении этих гармонических в токе фазы, были разработаны в Павлодарском индустриальном институте в 1990 г. Оно успешно прошло лабораторные и производственные испытания и затем использовалось для защиты двигателей дробилок Павлодарской ТЭЦ-3 и перекачивающих насосов на Западно – сибирских магистральных нефтепроводах (г. Тюмень). Однако более широкому их распространению видимо помешало то, что в процессе эксплуатации выяснилась их высокая стоимость, чувствительность к ударным нагрузкам и несоосности валов двигателя и приводного механизма. Что значительно ограничило его чувствительность. Сложным оказался процесс выставления уставок на производстве. В результате сложной политической ситуации того времени, и как следствие в промышленности, «довести» и «раскрутить» своевременно это устройство не удалось.

Таким образом, как показал анализ наиболее удачных технических решений, диагностика эксцентриситета ротора АД по электромеханическим параметрам двигателя в конкретных заданных режимах работы сложна, в большинстве случаев возможна только на заводе-изготовителе или в лабораторных условиях и обычно непригодна для использования на производстве во время эксплуатации двигателя. Кроме того, они все, как правило, обладают недостаточной чувствительностью к эксцентриситету ротора. Все это указывает на необходимость поиска иных способов решения этой проблемы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Клецель М.Я., Мануковский А.В., Новожилов А.Н. Защита асинхронного двигателя от эксцентриситета ротора// *Электричество*. – 2006. – №7. С. 63-65.
2. Геллер Б., Гамата В. Высшие гармоники в асинхронных машинах. – М.: Энергия, 1981. – 351с.
3. Новожилов А.Н. Токи асинхронного двигателя при статическом эксцентриситете// *Электротехника*. – 1994. №11. С. 45-47.
4. А.С. №221152. СССР. Способ контроля равномерности воздушного зазора трехфазного асинхронного электродвигателя// Талышинский Р.И., Тер-Микаэлян А.Г. и др. Оpubл. 01.07.68.
5. А.С. №73697. СССР. Способ контроля равномерности воздушного зазора у асинхронных машин// Шкилько Г.Я. Оpubл. 31.03.49.
6. А.С. №1176275. СССР. Способ контроля неравномерности воздушного зазора асинхронного двигателя// Повстень В.А., Баранов В.В. и др. Оpubл. 30.08.85.
7. А.С. №1250998. СССР. Способ контроля неравномерности воздушного зазора асинхронного электродвигателя с трехфазной обмоткой на статоре// Повстень В.А. и Баранов В.В. Оpubл. 07.02.87.

8. А.С. №1288636. СССР. Способ контроля неравномерности воздушного зазора асинхронного двигателя// Повстень В.А. и Баранов В.В. Оpubл. 15.08.86.
9. А.С. №1065792. СССР. Способ косвенного контроля неравномерности воздушного зазора асинхронного двигателя// Рогозин Г.Г., Лапшина Н.С., Фригман А.А. Оpubл. 07.01.84.
10. А.С. №741380. СССР. Способ косвенного контроля неравномерности воздушного зазора электрической машины// Бакумов Ю.В., Малыхин Е.И., Финкельштейн В.Б., Скрыпин И.З., Леонов С.А. Оpubл. 15.06.80.
11. А.С. №541246. СССР. Способ косвенного контроля неравномерности воздушного зазора электрической машины// Месхия Г.П., Прангулаишвили Г.Д. Оpubл. 30.12.76.
12. А.С. №900226. СССР. Способ косвенного контроля неравномерности воздушного зазора асинхронного двигателя// Рогозин Г.Г., Лапшина Н.С. Оpubл. 25.01.82.
13. А.С. №1168878. СССР. Способ косвенного контроля неравномерности воздушного зазора асинхронного двигателя// Рогозин Г.Г., Пятлина Н.Г., Алексеев В.И., Лапшина Н.С., Рындин А.В. Оpubл. 23.07.85.
14. А.С. №1092437. СССР. Способ косвенного контроля неравномерности воздушного зазора электрической машины// Минаков В.Н. Оpubл. 15.05.84.
15. А.С. №1176274. СССР. Способ измерения относительного эксцентриситета электрической машины// Никиян Н.Г., Йондем М.Е. Оpubл. 30.03.85.
16. А.С. №1219989. СССР. Способ косвенного контроля неравномерности воздушного зазора электрической машины// Скрыпин И.З., Тихонравов С.Н., Финкельштейн В.Б. Оpubл. 23.03.84.
17. А.С. №1334048. СССР. Устройство для косвенного контроля неравномерности воздушного зазора электрической машины // Скрыпин И.З., Тихонравов С.Н., Финкельштейн В.Б. Оpubл. 30.08.87.
18. А.С. №813603. СССР. Устройство для косвенного контроля неравномерности воздушного зазора электрических вращающихся машин// Леонов С.А., Скрыпин И.З. и др. Оpubл. 15.03.81.
19. А.С. №1064249. СССР. Устройство для косвенного контроля неравномерности воздушного зазора электрической машины// Малыхин Е.И., Скрыпин И.З. и др. Оpubл. 30.12.83.
20. А.С. №1219990. СССР. Способ косвенного контроля неравномерности воздушного зазора электрической машины// Скрыпин И.З., Тихонравов С.Н. и др. Оpubл. 23.03.86.
21. А.С. №1314288. СССР. Способ контроля неравномерности воздушного зазора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором// Загорский А.Е., Крикунчик Г.А. и др. Оpubл. 30.05.87.

22. Subbasis N., Hamid A. Toliyat. Condition monitoring and fault diagnosis of electrical machines – a review //Electric Machines & Power Electronics Laboratory, Texas University, 1999.

### Түйіндеме

*Ротор эксцентриситеттің зияны көрсетілді және жағымсыз әсерлер сипатталды. Қозғалтқыштың электрлі және механикалық параметрлері бойынша эксцентриситеттің диагностикалау әдістері қарастырылды.*

*Кілт сөздер: асинхронды қозғалтқыш, эксцентриситет, диагностика.*

### Resume

*Damage is shown and the negative consequences of eccentricity of rotor are described. The methods of diagnostics of eccentricity from the electrical and mechanical parameters of engine are examined.*

*Keywords: asynchronous motor, eccentricity, control.*

ӨОЖ 621.3:581.51

## КОМПРЕССОРЛЫҚ СТАНЦИЯНЫҢ БАСҚАРАУДЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІНІҢ РЕТТЕУІШТЕРІНІҢ ТАҢДАУЫ

**А.П. Кислов, С.А. Мендыбаев, Т.А. Масакбаев**

*С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті*

Осымен орайлас басқару сапасына ұдайы көбеюші талаптармен технологиялық процестермен реттеуіш дұрыс таңдау маңыздылығы өседі, дәл осылай дұрыстық сияқты реттеуіш таңдауының ең үлкен экономикалық және технологиялық күшті әсер әкеледі. Автоматты реттеуіштер тағайындаумен топтастырылады, әрекет принцибіна, конструктивті ерекшеліктерге, қолданылатын энергия түріне, мінез-құлыққа реттеуші әсер өзгертулері және т.б. [1].

Қолданылатын энергия түрімен олар подразделяются электрліктерді (электрондықтар), пневматикалық, гидравликалық, механикалық және қиыстырылғандар. Реттеуіш таңдауы қолданылатын энергия түрімен жөнге салу объектісі мінез-құлығымен және автоматты жүйе ерекшеліктерімен анықталады.

Жөнге салу заңымен олар бөліседі екінің - және трехпозиционные реттеуіште, типтік реттеуіштер (интеграл, пропорционалды, пропорционалды - дифференциалды, пропорционалды-интегралдар, және пропорционалды

- интеграл-дифференциалды реттеуіштер – қысқарған және, пи және ПИД - реттеуіштер), реттеуіштер өзгергішпен құрылыммен, бейімдер (өздерінше икемделетіндер) және үйлесімді реттеуіштер [1,3,5].

Тағайындаумен реттеуіштер подразделяются мамандандырылғандарды және әмбебаптар, нормаланған кіріс және шығатын сигналдармен және жарамдылар басқаруға арналған әртүрлі параметрлермен.

Орындалатын функциялардың түрімен реттеуіштер подразделяются автоматты тұрақтану реттеуіштеріне, бағдарламалық, түзететіндер, параметрлердің арақатынас реттеуіштері және басқалар.

Жобалаушы мақсаты реттеуіш сондай үлгісі таңдауында түзеледі, ең аз құн жанында және барынша көп сенімділіктің жөнге салу берілген сапасы қамсыздандырады еді.

Релелік, толассыз немесе дискреттік өңдеушімен таңдалған бола алады (цифрліктер) реттеуіштердің үлгілері.

реттеуіш үлгісі таңдау үшін және күйге келтірулер қажетті білу оның анықта:

- басқару объекті статикалық және динамикалық мінездемелері;
- жөнге салу процесі сапасына талаптың;
- көрсеткіштерді сериялы реттеуіштерге арналған жөнге салу сапалары;
- ашу кернеулердің мінез-құлығы, жөнге салу процесіне жұмыс істейтіндердің.

Реттеуіш үлгісі таңдауы жанында жүйеге арналған айқын өтетін процесі басында таңдайды:

- апериодикалық перерегулированиясыз, оқиғаларда қолданылады, қашан требуется тап осы жүйе реттеуші әсер ықпалын жасауы шығару басқа өзгергіштерді күрделі объектінің;
- қайсыда өтетін процес аз уақыт және бірінші полупериоданы қамтамасыз етіледі;
- ең аз интеграл квадраттықпен бағалаумен, қайсыда жиынтық динамикалық ауу ең азы мағыналары қамтамасыз етіледі.

Басқару объектілерінің қасиетінің тәуелділігінде, анықталатындардың оның қолдан-қолға берілетін функциямен және параметрлермен, сонымен қатар өтетін процес шамаланған түрімен, үлгі және ұзындық реттеуіштердің күйге келтірулері шығады.

Пи – реттеуіш қолданылады объекті инерциялық кез келгені және кешігу уақыттарының анықталатын шартпен.

Жөнге салу нұсқасына арналған реттеуіш параметрлерінің таңдауы ауа қысымдары шығуда.

Реттеуіш үлгісін таңдаймыз және турбокомпрессор шығуында ауа қысымдары жөнге салу нұсқасына арналған күйге келтірудің оның анықталатын.

Жөнге салу тап осы объектісіне арналған берілген мағынаның жөнге салынатын мөлшер өте үлкен және ұзақ ауулары қажет емес болу. Типтік өтетін процесі сондықтан таңдаймыз жиырма - пайызды артық жөнге салумен.

Сондықтан Т және выполняется шарт Т онда пи-реттеуішті таңдаймыз. Өтетін процеске арналған пи - реттеуіш қолдан-қолға берілетін формулаға талапқа сай болады

$$W_{\text{ПИ}}(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_I s} \right), \quad (1)$$

кайда  $K_p$  – реттеуіш күшейту коэффициенті;

$T_I$  – тұрақты интеграциялау уақыттарының. Анықталатын күйге келтірулер пи-реттеуішті формулаларға және

$$K_p = \frac{0,7}{K_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}; \quad (2)$$

$$T_I = 0,7 \cdot T_{об}; \quad (3)$$

Қажетті мағыналар тосып, аламыз

$$K_p = \frac{0,7}{7 \cdot 0,12} = 0,83; \quad (4)$$

$$T_I = 0,7 \cdot 16,5 = 11,55. \quad (5)$$

Автоматты жөнге салу жобаланушы жүйесі кері байланыс тиісті асырау, қажеттіні салыстыру құрылғысына оның өзгертуге арналған берумен келесімен электрлік сигналға қысымдар шығатын ағымдағы. Үшін мынаның жүйеге кері байланыс коэффициенті енгізіледі. Кері байланыс коэффициенті формуламен есептейміз

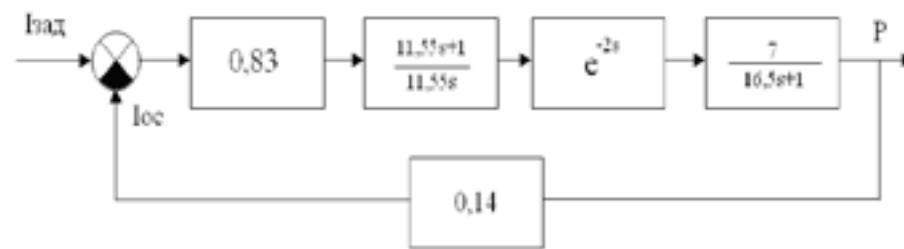
$$K_{oc} = \frac{\Delta x_{ex}}{x(\infty) - x_0}, \quad \frac{\% \text{ хода}}{\text{давление}}; \quad (6)$$

Қажетті мағыналар тосып, аламыз

$$K_{oc} = \frac{1}{7-0} = 0,14 \quad \frac{\% \text{ хода}}{\text{давление}}; \quad (7)$$

Пи - реттеуіш қолдан-қолға берілетін функциясы түрлі болады

$$W_{\text{ПИ}}(s) = 0,83 \cdot \left( 1 + \frac{1}{11,55s} \right) \quad (8)$$



Сурет 1 – Ауа қысым автоматты жөнге салу жүйе құрылысты схемасы

Жөнге салу нұсқасына арналған реттеуіш параметрлерінің таңдауы маслоохладителе.май температуралары. Қаралатын бізбен басқару объектісі түзеледі интегралдаушының

Буынның және буынның, екі қалай ұсынуға болады жүйелілердің инерциялық және апериодикалық:

Инерциялық объектілерге арналған жөнге салу жақсы сапасы аз кешігумен реттеуіштерді трөхпозиционныені қамсыздандырады.

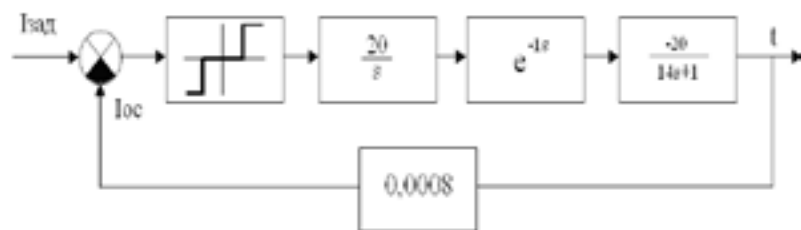
Үшпозиционныелер реттеуіштер басқарулар - элементтердің ар жағында қолданылады – дискреттік атқару құрылғылармен. Басқарудың релемен электр механикалық біздің оқиғамызда дискреттік атқару құрылғы ролі орындайды.

Үшпозиционныелер реттеуіштер әртүрлі заттардың деңгейімен басқару жүйелері үшін қолданылады, басқару жүйелеріне арналған әртүрлі жылы процесстердің жылытумен-салқындауымен, тоңазытқыш құрулардың, микроклимат жөнге салуының жылытқышпен және желдеткішпен, тарату жүйелеріне арналған және заттардың әртүрлі селдердің араластырулары клапандардың трөхходовыхінің, крандардың, араластырғыштардың, реверстік электр қозғалтқыш, сервожетектердің және д. арқасында

Үшпозиционный реттеуіш қосады көмектің - элементтердің оң айналуға атқару механизм электр қозғалтқышы (мысалы, орган реттеуші ашу), аялдаманы немесе сол айналу (өйкесті – орган реттеуші жабылу), үш позиция



(осы арадан және реттеуіш аты –трехпозиционный)– электр қозғалтқышы оң айналуға қосылған ,сол айналуға толық кідірілген немесе қосылған.



Сурет 2 - Май температура автоматты жөнге салу жүйе құрылысты схемасы

Жөнге салу қаралатын нұсқасы тұрақтылыққа зерттелген болатын және өтетін процес сапасы.

## ӘДЕБИЕТТЕР

1. Теория автоматического управления. Ч. 1, 2. Под ред. А.А. Воронова; учебное пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 1991. – 320 с.
2. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: справочное пособие. Под редакцией А.С. Ключева.-М.: Энергоатомиздат, 1992. – 350 с.
3. Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля. Под ред. А.С. Ключева. - М.: Энергоатомиздат, 1990. – 289 с.
4. Волкевич Л.И., Коваль М.П. Комплексная автоматизация производства. -М.: Машиностроение, - 1989.- 296 с.
5. Проектирование систем автоматизации технологических процессов, под ред. А.С. Ключева. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат.- 1988 - 267 с.
6. Ищенко А.Д. Статические и динамические свойства агломерационного процесса.- М.: Металлургия - 1992. 359 с.

### Резюме

*В статье рассматривается выбор настроек регуляторов автоматизированной системы управления компрессорной станции, позволяющая повысить надежность и эффективность функционирования промышленного объекта.*

### Resume

*In the clause the choice of regulators adjustments of the automated control system of compressor station allowing to raise (increase) reliability and efficiency of functioning of industrial objectis considered(examined).*

УДК 621.311.16

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗКОПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**А.П. Косогоров, С.А. Машеевский, А.С. Шеломенцев**  
Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова

При нормальном функционировании электрических систем практически всегда возникают рабочие переходные процессы, обусловленные некоторыми возмущающими воздействиями, например, включением и отключением элементов электрической сети, изменением мощности нагрузок тех или иных потребителей, которые в той или иной мере отражаются на режиме работы системы.

Важнейшими характеристиками нагрузок потребителей электроэнергии являются значения их активных и реактивных мощностей, которые зависят от напряжения и частоты в электроэнергетической системе.

Статические характеристики нагрузки по напряжению или по частоте – это зависимости активной и реактивной мощностей от напряжения или частоты при медленных изменениях параметров режима, при которых каждое их значение соответствует некоторому установившемуся режиму.

Динамические характеристики нагрузки по напряжению или по частоте – это зависимости активной и реактивной мощностей от напряжения или частоты при быстрых изменениях параметров режима, т.е. характеристики переходных режимов, учитывающие скорости изменения их параметров [1].

При расчетах динамической устойчивости нагрузки нередко учитывают статическими характеристиками, так как они лучше известны, чем какие-либо другие параметры. Однако применение статических характеристик в расчетах переходных процессов для резких возмущений в энергосистеме приводит к заметным погрешностям, так как зависимости активной и реактивной мощности от напряжения в этом случае иные, чем в установившемся режиме [1, 2].

С точки зрения влияния нагрузок на демпфирование переходных процессов в энергосистеме интерес представляют их динамические характеристики, проявляющиеся в процессе синхронных качаний. Существенно меньшие инерционные постоянные двигателей по сравнению с инерционными постоянными энергоблоков дают основание предполагать, что динамические характеристики нагрузок в процессе низкочастотных электромеханических качаний, характерных для протяженных энергообъединений, будут весьма близки к их статическим характеристикам. Это предположение было подтверждено серией расчетов электромеханических переходных процессов, в одних из которых часть нагрузки была представлена асинхронными двигателями с учетом их уравнений движения,

в других расчетах - регулирующие эффекты нагрузки по частоте отображались статическими характеристиками [3].

Исследованию характеристик нагрузок энергосистем посвящено значительное количество работ, где отмечается, что их характеристики оказывают определяющее влияние на статические и динамические режимы энергосистем. Однако моделирование нагрузки связано с определенными трудностями, обусловленными большим разнообразием электроприемников, полная информация по составу и параметрам которых для каждого конкретного узла энергосистемы, как правило, отсутствует [1, 2, 3].

Нагрузки электрических систем, представляющие собой комплексы многочисленных потребителей электроэнергии, обычно обладают значительными мощностями и различными статическими и динамическими характеристиками. Происходящие в комплексных нагрузках переходные процессы, оказывают существенное влияние на режимы работы электроэнергетических систем.

В зависимости от особенностей решаемой задачи, при расчетах режимов работы энергосистем, нагрузка может быть представлена различными расчетными моделями. В общем случае нагрузка того или иного узла энергосистемы может быть представлена как комплексная расчетная модель, которая позволяет воспроизвести при расчетах основные особенности переходных процессов, как в энергосистемах, так и в системах электроснабжения в частности.

В большинстве случаев комплексный узел нагрузки может быть представлен типовыми элементами - эквивалентными синхронным и асинхронным двигателями и статической нагрузкой. Однако не исключены и случаи представления нагрузки иным количеством элементов, обеспечивающих более детальный учет основных особенностей, как потребителей, так и распределительной электрической сети.

В зависимости от решаемой задачи, структуры, и мощности нагрузки расчетная схема нагрузки может содержать различное количество узлов, синхронных и асинхронных двигателей и других потребителей. Чем меньше протяженность распределительной сети и чем более однородна нагрузка, тем проще может быть расчетная модель узла нагрузки. Иногда многоэлементные комплексные расчетные модели нагрузок используются для крупных промышленных предприятий, которые потребляют мощность, соизмеримую с мощностью электростанций.

Комплексная расчетная модель нагрузки представляется, как многоэлементная модель должна содержать уравнения обобщенной электрической машины, моделирующие эквивалентный асинхронный двигатель и эквивалентный синхронный двигатель и уравнения статической нагрузки. В понятие статической нагрузки включаются все потребители

электроэнергии, кроме электродвигателей: электропечи, освещение, значительная часть коммунально-бытовой нагрузки и т. п. Кроме того, к статической нагрузке относят конденсаторные батареи, емкости воздушных и кабельных линий [3, 4].

В связи со значительными различиями структуры нагрузок, а также различиями их статических и динамических характеристик, при детальном учете двигательной и статической нагрузок в многоэлементной комплексной модели возникает необходимость выделения, так называемых резкопеременных (ударных) нагрузок, к которым относят электроприводы различных прокатных станов, электродуговые сталеплавильные печи и др. [4].

Уравнения состояния элементов комплексной модели нагрузок, как правило, должны быть составлены в соответствии с требованиями их согласования на уровне входных и выходных воздействий, т. е. все уравнения элементов рассматриваемых нагрузок необходимо привести к виду, где на вход модели подается напряжение источника питания, а на ее выходе снимается ток нагрузки в той же системе координатных осей.

При анализе переходных и установившихся процессов в электрических системах обычно пользуются уравнениями состояния, записанными в какой-либо из применяемых ортогональных систем координатных осей.

Анализ систем координатных осей [4], в которых могут быть представлены уравнения элементов комплексной нагрузки, показывает, что они принимают наиболее простую форму в системе вращающихся координатных осей  $d_s$ ,  $q_s$ , связанных с вектором напряжения узла нагрузки. Кроме того, представляется целесообразным совмещение положительного направления оси  $q_s$  с направлением вектора напряжения в узле электрической сети. В принятой системе координатных осей - ось  $q_s$  принята за действительную, а ось  $d_s$  принята за мнимую (рис. 1). В этом случае, проекции токов элементов комплексной модели имеют реальный физический смысл, т.е. равны активному и реактивному токам.

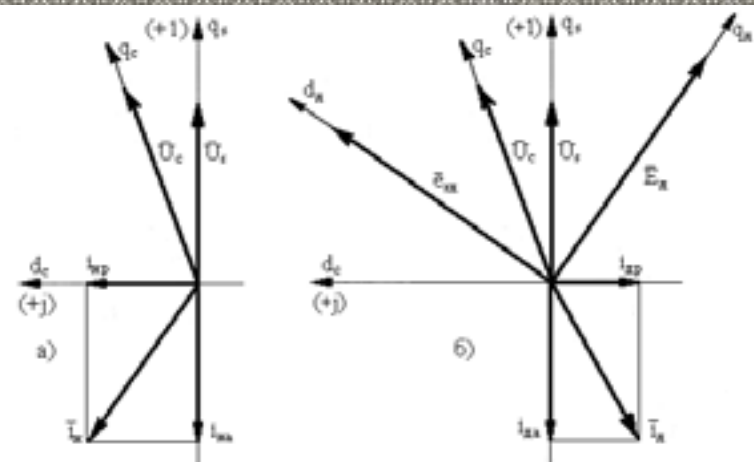


Рисунок 1 - Векторные диаграммы: статической нагрузки (а) и синхронного двигателя (б)

Для описания переходных процессов в электрических машинах комплексной модели нагрузки, можно применить общеизвестные уравнения Парка-Горева в общепринятой идеализации, т.е. рассматривается идеализированная машина, в которой отсутствуют механические потери, потери в стали статора и ротора, нелинейные магнитные явления, а также не учитываются гистерезис, высшие гармонические составляющие магнитного поля и др. [5].

Контурные уравнения статорных и роторных цепей электрической машины без демпферных контуров в системе относительных единиц, представим в простой и удобной для их анализа и решения форме записи:

$$-\bar{u}_s(t) = r_s \bar{i}_s(t) + (p + j)(x_s \bar{i}_s(t) + \bar{e}_r(t)); \quad (1)$$

$$\bar{u}_r(t) = \bar{e}_r(t) + (p + js_r)(\mu x_s \bar{i}_s(t) + \bar{e}_r(t)) T_R; \quad (2)$$

где  $\bar{u}_s$  - вектор напряжения в узле электрической сети (статора машины);

- $\bar{u}_r$  - вектор напряжения ротора электрической машины;
- $\bar{i}_s$  - вектор тока статора машины;
- $\bar{e}_r$  - вектор тока ротора, численно, равный ЭДС;
- $r_s, x_s$  - активное и реактивное сопротивления статора машины;
- $T_R$  - постоянная времени обмотки ротора машины;
- $\mu$  - коэффициент магнитной связи обмоток статора и ротора машины;
- $s_r$  - скольжение ротора машины;
- $p$  - символ дифференцирования.

В данном случае уравнения Парка-Горева представлены как векторные уравнения для контуров статора и ротора симметричной обобщенной электрической машины, при отсутствии демпферных контуров, которые применимы для асинхронных и асинхронизированных синхронных машин.

Приведенные в [6] теоретические исследования и расчеты показывают неправомочность моделирования синхронных машин при отсутствии демпферных контуров одним электрическим контуром с продольной магнитной осью (обмотка возбуждения), так как это не соответствует физическим процессам, происходящим в реальных синхронных машинах. Чтобы устранить это несоответствие в исходную модель синхронной машины необходимо ввести короткозамкнутый контур, аналогичный по своим параметрам контуру обмотки возбуждения с поперечной магнитной осью, ортогональной продольной магнитной оси. Этот контур назван «фантомной обмоткой возбуждения», назначением которого является учет того обстоятельства, что магнитное поле в воздушном зазоре является круговым за счет магнитопроводов статора и ротора машины.

Таким образом, при моделировании синхронных и асинхронных машин уравнения обобщенной электрической машины можно представить как частный случай обобщенной электрической машины при  $U_{rd} = 0$  для синхронных машин и  $U_{rd} = 0$   $U_{rq} = 0$  для асинхронных машин.

Уравнение движения ротора и электромагнитный момент электрической машины имеют следующий вид:

$$Jps_R = M_C(t) - M_\varnothing(t); \quad (3)$$

$$M_\varnothing(t) = \text{Re } j(\bar{i}_R(t) \bar{e}_R(t)), \quad (4)$$

где  $M_C$  - момент сопротивления, приложенный к валу машины;

$M_\varnothing$  - электромагнитный момент машины;

$J$  - момент инерции ротора машины;

Одним из источников периодических возмущений в энергосистемах являются мощные электродвигатели различных прокатных станов, графики изменения активной и реактивной мощностей которых приведены на рис. 2 [7]. Скорость изменения активной и реактивной мощности прокатных станов может достигать величин 200 - 400 МВА/с.

Для введения в расчет двигательной резкопеременной нагрузки момент сопротивления на валу электрической машины задается как функции времени, например, исходя из соответствия момента сопротивления изменению активной

мощности статора машины. Таким образом, при постоянном моменте инерции и малых изменениях угловой скорости ротора машины момент сопротивления можно определить как [1]:

$$M_c(t) = P(t)/(1-s) \approx P(t) \quad (5)$$

или

$$M_c(t) = P(t)/\omega_R \approx P(t) \quad (6)$$

где  $M_c(t)$  – момент сопротивления на валу электрической машины;  
 $P(t)$  – активная мощность статора машины, определяемая по графику;  
 $\omega_R$  – угловая скорость ротора электрической машины.

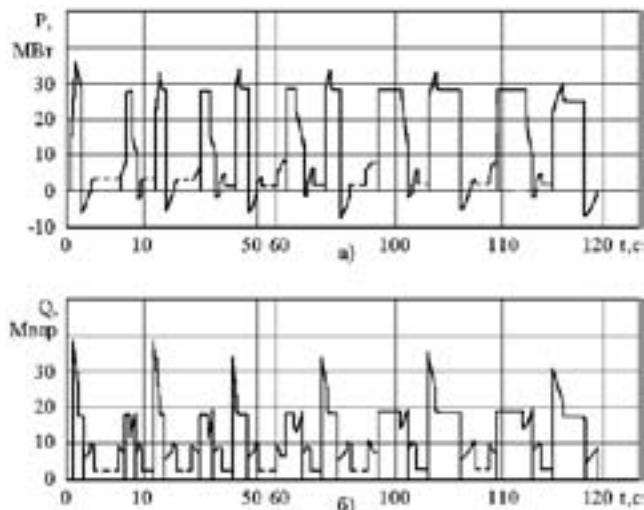


Рисунок 2 - Графики изменения активной (а) и реактивной (б) мощностей прокатного стана (слябинга 1250) за цикл прокатки

Результаты исследований, проведенные на действующих дуговых сталеплавильных печах [7] показали, что колебания активной и реактивной мощностей печи носят нерегулярный характер и зависят от ее технологического режима работы и мощности электропечной установки. Скорость изменения активной и реактивной мощности печи может достигать величины 500 МВА/с.

Уравнения статической нагрузки в системе координатных осей  $d_s$ ,  $q_s$  можно представить в следующем виде:

$$\bar{u}_s(t) = r_H(t)\bar{i}_H(t) + (p + j)x_H(t)\bar{i}_H(t) \quad (7)$$

где  $\bar{i}_H$  – вектор тока нагрузки;

-  $r_H$ ,  $x_H$  – активное и реактивное сопротивление нагрузки.

Статическую нагрузку можно представить сопротивлениями. Такой способ эквивалентен заданию статических характеристик активной и реактивной мощностей нагрузки в виде квадратичных зависимостей от напряжения [8]:

$$\dot{Z}_H(t) = r_H(t) + jx_H(t) \quad (8)$$

При моделировании статической резкопеременной нагрузки изменения ее активной и реактивной мощностей могут быть заданы как функции времени, например, в соответствии с графиком (рис. 3, [7]). Таким образом, при решении уравнения (7), для каждого момента времени можно определить активное и реактивное сопротивление нагрузки исходя из графиков изменения активной и реактивной мощностей нагрузки и напряжения в узле электрической сети:

$$\dot{Z}_H(t) = r_H(t) + jx_H(t) = \frac{\dot{S}_H(t)}{3I_H^2(t)} = [P_H(t) + jQ_H(t)] \frac{U_s^2(t)}{P_H^2(t) + Q_H^2(t)} \quad (9)$$

или

$$r_i(t) = \frac{U_s^2(t)P_i(t)}{P_i^2(t) + Q_i^2(t)}; \quad x_i(t) = \frac{U_s^2(t)Q_i(t)}{P_i^2(t) + Q_i^2(t)} \quad (10)$$

где  $P_H(t)$  и  $Q_H(t)$  – соответственно активная и реактивная мощности нагрузки, представленные в виде функций времени.

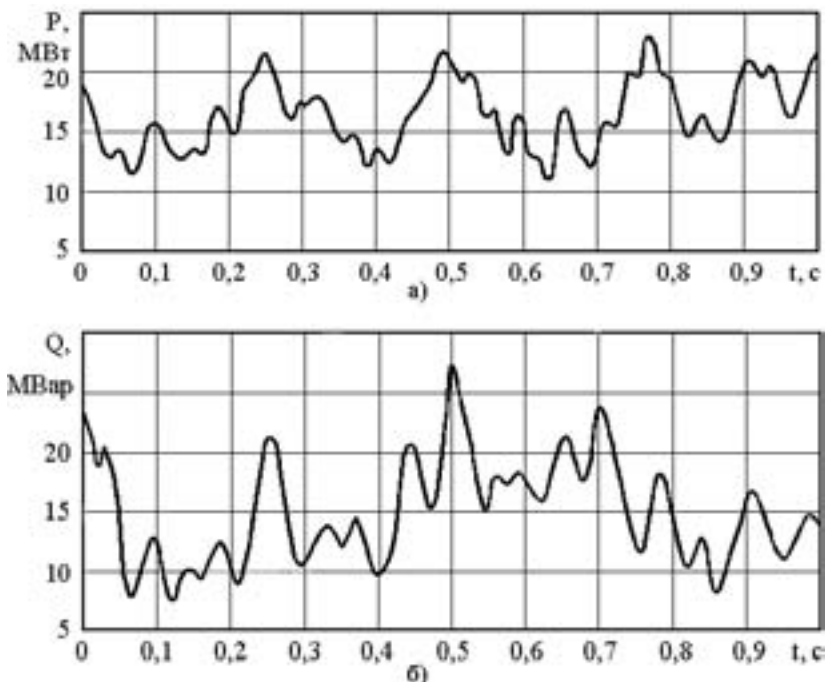


Рисунок 3 - Графики изменения активной (а) и реактивной (б) мощностей дуговой сталеплавильной печи ДСП-100 в период расплавления

Предложенная методика учета резкопеременных нагрузок при расчетах переходных режимов электрических систем на наш взгляд представляет интерес в связи с тем, что в настоящее время резкопеременные нагрузки оказывают значительное влияние на режимы работы различных энергетических установок: основного оборудования электрических станций, линий электропередачи и трансформаторных подстанций, а также показатели качества электроэнергии.

Кроме того предложенная методика может быть полезной как на стадии проектирования так и в процессе эксплуатации электрических систем при выборе мероприятий и (или) компенсирующих устройств, необходимых для снижения влияния резкопеременных нагрузок на электрическую сеть.

В связи со значительными различиями структуры нагрузок, а также различиями их статических и динамических характеристик, при детальном учете двигательной и статической нагрузок в многоэлементной комплексной модели необходимо выделение из комплексной нагрузки, резкопеременных нагрузок, к которым относят электроприводы различных прокатных станков, электродуговые сталеплавильные печи и др.

Представляет интерес на наш взгляд моделирование электрических машин переменного тока обобщенной электрической машиной без демпферных контуров, что приводит к значительному уменьшению количества дифференциальных уравнений для описания переходных процессов в электрических системах с комплексной нагрузкой.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. - М.: Высшая школа, 1985. - 536 с.
- 2 Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Хачатрян Э.А. Устойчивость нагрузки электрических систем. - М.: Энергоиздат, 1981. - 208 с.
- 3 Зеккель А.С., Иванов В.Ф., Шлайфштейн В.А. Динамические свойства протяженных энергообъединений. // Электричество, 2001, №1. - с. 2-8.
- 4 Косоголов А.П., Шеломенцев А.С., Машевский С.А. Моделирование резкопеременных нагрузок систем электроснабжения. // Материалы международной научно-теоретической конференции «IV Торайгыровские чтения». 2 том. - Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, 2010. - с. 447-452.
- 5 Шакарян Ю.Г. Асинхронизированные синхронные машины. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 192 с.
- 6 Родюков Ф.Ф., Львович А.Ю. Уравнения электрических машин. - СПб.: Издательство СПбГУ, 1997, - 270 с.
- 7 Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 336 с.
- 8 Идельчик В.И. Электрические системы и сети. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 592 с.

## Түйіндеме

*Белсенді және реактивті қуатты өзгерісі графиктерін негізге, электр торпартарының ауыспалы режимді есептеу қасында, кенет ауыспалы электр жүктеме әдістемесі ұсынылды.*

## Resume

*There a method of the account of sharply variable electric power loads, on the basis of diagram of change of their active and reactive powers is shown.*

УДК 621.311.22:681.51

## **ПОСТРОЕНИЕ ПОЛНОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ЭНЕРГОБЛОКА ТЕПЛОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

**П.Н. Майшеев,**

*к.т.н., доцент, Павлодарский государственный университет  
им. С. Торайгырова, г. Павлодар*

**К.С. Литвинов**

*магистрант, Павлодарский государственный университет  
им. С. Торайгырова, г. Павлодар*

В настоящее время большинство электростанций страны стоят перед проблемой модернизации физически и морально устаревших систем контроля и управления [1, 2]. Модернизация, как правило, нацелена на создание новых систем автоматизированного управления (САУ) котельными установками энергоблока тепловой электростанции (ТЭС), которые должны обеспечить непрерывный контроль и эффективное управление технологическим оборудованием.

Специфика современных САУ, главным образом, связана с тем, что они являются распределенными системами и их основными системообразующими компонентами являются программно-технические комплексы (ПТК) сетевой организации [3, 4].

В целом полнофункциональные САУ отличаются следующие характерные особенности:

- представляют собой распределенные интегрированные программно-технические системы большого информационного масштаба (реализуют контроль и управление как тепломеханического, так и электротехнического оборудования ТЭС, т.е. являются полномасштабными);
- строятся с использованием контроллеров, компьютеров рабочих станций операторов и вычислительных сетей;
- выполняют информационно-вычислительные и управляющие функции с помощью средств ПТК (дисплейное дистанционное управление, технологические защиты, блокировки, автоматическое регулирование, функционально-групповое управление и др.), т.е. впервые единый (системообразующий) ПТК заменяет ранее не связанные информационно локальные подсистемы (КИП, автоматика, защиты и др.);
- основные функциональные задачи САУ реализуются в виде программного обеспечения (ПО).

Практическое внедрение САУ котельными установками энергоблока ТЭС сопряжено со значительными трудностями. В частности, новые особенности не позволяют применить старые подходы к вводу в действие систем контроля и управления, когда монтаж и наладка были последовательным процессом формирования информационно-технической среды и освоения системы в эксплуатации.

Опыт создания зарубежных и отечественных полномасштабных САУ говорит о том, что построение САУ должно начинаться на ранних этапах разработки до начала ввода и тем более эксплуатации систем [1, 3].

Однако практический опыт может быть получен только в ходе непосредственного выполнения комплекса работ по созданию САУ. Эти работы позволили бы освоить ПТК, рабочие станции операторов, сети и их организацию, а также опробовать управление технологическим оборудованием с помощью операторского интерфейса, опробовать типовые и отработать новые алгоритмы управления и др.

Для реализации такой концепции на ранних этапах разработки необходима специальная модель (стенд), которая:

- представляла бы собой систему, идентичную реальной (объект управления, ПТК, датчики и исполнительные устройства), но меньшего информационного масштаба (так называемая демонстрационная версия);
- позволяла бы выполнять все основные работы по вводу новой САУ. Конкретные задачи, направленные на достижение этих целей и рассматриваемые в настоящей статье, формулируются следующим образом:
  - сформировать информационно-техническую среду, в рамках которой можно выполнять все основные работы по вводу в действие САУ (определить информационный масштаб системы);
  - создать подсистему модели объекта, подсистему управления объектом и отработать методику реализации демонстрационных версий САУ;
  - разработать методическое обеспечение для обучения технологии построения САУ в рамках учебно-научного процесса энергетического факультета университета, а также для переподготовки специалистов электростанций, наладочных и проектных организаций.

Таким образом, создание модели полнофункциональной САУ как неотъемлемого этапа проектирования [3] позволит осваивать современную технологию построения САУ ТЭС.

Рассмотрим перспективные направления исследований на модели ПТК САУ. Современные САУ являются сложными наукоемкими системами, поэтому выполнение исследовательских (экспериментальных) работ представляется важным направлением их использования. Основные направления научно-исследовательских работ:

1. Исследование динамических свойств управляющих каналов ПТК. В ходе исследований определяются области нормальной работы алгоритмов в разных режимах [4].

2. Структурная и параметрическая оптимизация автоматических систем регулирования. Решение задачи оптимизации параметров автоматических систем регулирования (АСР) при изменяющихся условиях эксплуатации технологического объекта управления (ТОУ) включает в себя:

- Непрерывный контроль качества функционирования АСР. Осуществляется путем вычисления прямых показателей качества регулирования на основе трендов технологических параметров.

- Многовариантная идентификация динамических каналов объекта управления с контролем выполнения положений о его линейности и стационарности. Осуществляется с помощью стандартных инженерных методик идентификации ТОУ (метод совмещения в нуле, метод совмещения по нулевым линиям). В качестве исходных данных используются тренды входных управляющих сигналов (положение регулирующего органа, расход рабочей среды и др.) и выходных сигналов (основных и вспомогательных управляемых величин).

- Синтез автоматизированных систем настройки АСР, выполняющих в режиме диалога с инженером-наладчиком САУ процедуры идентификации и параметрической оптимизации АСР, учитывающей случайный характер получаемых математических моделей объектов управления.

В целом проводимые исследования направлены на совершенствование алгоритмов автоматического управления технологическим оборудованием и повышение качества функционирования САУ.

Выводы: Предлагаемая концепция построения САУ достаточно эффективна при проведении работ по созданию и модернизации САУ тепловых электростанций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике. – М.: Изд. дом МЭИ, 2007. – 352 с.
2. Плетнев Г.П. Автоматизированные системы управления объектами тепловых электростанций. – М.: Изд-во МЭИ, 1995. – 352 с.
3. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП. – М.: Инфра-Инженерия, 2008. – 928 с.
4. Тищенко Н.М. Введение в проектирование систем управления. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 248 с.

## Түйіндеме

*Жұмыста толық масштабты сауларды іске қосу бойынша барлық негізгі жұмыстардың орындауы өңдеудің ерте кезеңдеріне*

*ЖЭСты энергия блоктің қазандық қондырғыларымен сауды құрастыруды қазіргі технологиясы жолымен суреттеледі.*

## Resume

*In work the modern technology of construction AMS by boiler installations of power unit TES at early development cycles by performance of all basic works on commissioning full-scale AMS is described.*

УДК 338.1083.13

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭНЕРГЕТИКЕ – ГАРАНТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

**Р.М. Мустафина, А.Х. Танат, А.С. Звонцов**

*Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

Понятие «устойчивое развитие» было впервые введено в докладе Всемирной комиссии ООН по окружающей среде и развитию «Наше общее будущее» (1992 г.). Под устойчивым развитием понимается такое развитие экономики и общества, при котором должно сохраняться биоразнообразие окружающей среды не только для ныне живущих, но и будущих поколений, то есть основой мирового развития в условиях глобализации должна стать концепция коэволюции.

В итоговых документах саммита глав восьми ведущих стран мира, состоявшегося в Санкт-Петербурге 15-17 июля 2006 года, отмечены неразрывная связь энергетической безопасности от главных проблем охраны окружающей среды и возможность решения на современном этапе проблем энергетической и экологической безопасности для обеспечения экономического роста [1].

Необходимость обеспечения стабильного развития мировой экономики накладывает определенные требования к экологической и энергетической безопасностям. В рамках устойчивого развития энергетическая безопасность – это свойство отрасли не допускать ситуаций, опасных для жизнедеятельности людей, экономики и окружающей среды.

Энергетика – важнейшая отрасль промышленности, обеспечивающая развитие экономики, в частности, и в целом устойчивое развитие любого государства по причине проникновения энергетической отрасли во все сферы социальной системы; производство (промышленное, сельскохозяйственное) и общество практически полностью зависимы от энергетики. Но топливно-энергетический комплекс оказывает в свою очередь наиболее неблагоприятное влияние на экосистему планеты. Более 40% общих загрязнений биосферы

приходится на предприятия этого комплекса, которые ежегодно нарушают десятки тысяч гектаров земли, из них 40% приходится на нефтедобывающую отрасль. Электроэнергетическая отрасль вызывает загрязнение территорий, вызванное электромагнитными полями. Тепловые электростанции, работающие на углеводородном сырье – источники выбросов в атмосферу различных вредных веществ, оказывающих негативное влияние не только на человека, но и на всю природную среду, способствующих развитию парникового эффекта. Отходы станций (например, зола после сжигания угля) не только захламляют большие территории, но и сами являются источниками вредных веществ.

Сохранение и восстановление природных систем является одним из приоритетных направлений деятельности государства и общества. Стратегическая цель государственной политики в области экологии заключается в сохранении природных систем, поддержании их целостности и жизнеобеспечивающих функций для устойчивого развития человеческого сообщества в настоящее время и в будущем, повышения качества жизни, улучшения здоровья населения и демографической ситуации, обеспечения экологической безопасности страны.

На решение важнейшей государственной задачи по охране окружающей среды и эффективном использовании природных ресурсов направлены Закон РК «Об охране окружающей сферы», принятый 15 июля 1997 г., Закон РК «О внесении изменений и дополнений в Закон Республики Казахстан «Об охране окружающей среды» от 04 июня 2001 г., Концепция экологической безопасности РК на 2004-2015 годы, Экологический Кодекс РК от 09 января 2007 г.

Наиболее остро проблемы, связанные с энергетической безопасностью, являющейся одной из главных составляющих экономической и национальной безопасности страны, встали на повестку дня в начале 90-ых годов XX века. Новые экономические отношения в стране стали основой реформирования системы электроэнергетики, начало которому в 1995 году положила Государственная программа реструктуризации и приватизации предприятий электроэнергетики. Рыночные отношения в энергетической отрасли промышленности служат объективной основой для конкуренции, стимулирующей эффективность работы энергетических объектов, но этот фактор отрицательно сказывается на надежности снабжения энергией потребителей. У частных компаний и естественных монополий нет экономической заинтересованности в установке резервных мощностей и вводе дополнительных линий электропередач, что является одним из основополагающих условий обеспечения надежности. Кроме того, в договорах, регламентирующих взаимоотношения независимых компаний по выработке, передаче и распределению электрической энергии, имеют место разные подходы и нормы к обеспечению надежности. При индустриальной модели организации системы электроэнергетической отрасли вопросы обеспечения

надежности электрической системы рассматривались как техническая задача. Новые экономические отношения, присущие конкурентной модели организации энергетики, показали, что в этих условиях надежность функционирования энергосистем зависит не только от технических факторов, но и от экономических.

В связи с тем, что конкуренция на энергетическом рынке обострила проблему обеспечения надежности электроснабжения потребителей, в международной электроэнергетике определены основные проблемы обеспечения надежности электроснабжения потребителей, которые заключаются в том, что в условиях конкуренции необходимо изменить требования к существующим методам и средствам поддержания надежности в нормативных пределах (виды и уровни резервирования мощностей, оборудования, линий, современные нормативы по надежности и т.п.). При этом необходимо разработать другие, более совершенные, отвечающие требованиям рыночной экономики формы управления надежностью систем электроэнергетики и электроснабжения приемников путем заключения договоров, определяющих не только нормативно-правовые отношения на рынке электроэнергии, но и необходимые условия (технические, организационные, экономические и др.) обеспечения надежности.

Следовательно, обеспечение надежности электроснабжения в условиях рыночной экономики – одна из существенных проблем обеспечения энергетической безопасности страны. Одним из основных гарантов энергетической безопасности служит единая энергетическая система страны, которая способна обеспечить надежность и живучесть электроэнергетики при минимальных резервах генерирующих мощностей. В регионах, охватываемых единой энергетической системой, надежность электроснабжения при минимальных резервах в пределах установленной мощности обеспечивается системой развитых межсистемных энергетических связей, организацией стабильной работы всех частей энергосистемы. При этом в единой энергетической системе большее внимание должно уделяться плановой работе по диагностике и планово-предупредительному ремонту оборудования для продления срока его работы, технической модернизации, перевооружению, замене морально и физически устаревшего оборудования новыми установками; подготовке и переподготовке специалистов.

Проблемы энергетической безопасности актуальны для отдельных регионов республики, так как в условиях неравномерности размещения запасов топливно-энергетических ресурсов и источников электрической и тепловой энергии регионы относятся к энергоизбыточным, либо к энергодефицитным. Проведенный анализ энергетической безопасности страны и шести его регионов по индикаторам душевого потребления электроэнергии и доли собственных источников в балансе электроэнергии по отношению к базовому 1990 году говорит в пользу создания системы мониторинга энергетической безопасности.



Сокращение централизованного государственного инвестирования в энергетику привело к снижению уровня развития отрасли, существенному сокращению технического перевооружения, уменьшению объемов осваиваемых капиталовложений и вводу новых мощностей в отрасли в 90-ые годы прошлого века и начале 2000-ых годов. Отсутствие ввода новых мощностей и установки нового оборудования, низкий технический уровень и качество электротехнического оборудования и ремонта, его моральный и физический износ существенно сократили уровень энергетической безопасности экономики регионов и страны в целом в этот период времени.

Современный этап развития экономики республики характеризуется ориентацией на стабильный экономический рост во всех отраслях хозяйства страны, при этом все большее внимание уделяется региональным аспектам этого процесса, вследствие того, что степень жизнеспособности отдельных регионов влияет и в целом определяет состояние экономики страны. Без существенных инвестиций в энергетическую отрасль не возможно дальнейшее ее развитие и обеспечение стабильного роста экономики страны, что в свою очередь влияет на повышение энергетической и экономической безопасности страны. Высокая стоимость энергетических проектов, длительность строительства и эксплуатации объектов энергетики требуют значительных инвестиционных вложений. Но в условиях становления рыночной экономики в стране невозможно точно прогнозировать необходимость ввода дополнительных энергетических мощностей, их сроки и объемы, что значительно повышает риск инвестирования.

Для уменьшения риска и активизации инвестиционных процессов в энергетической отрасли необходима финансовая поддержка государства на льготных условиях на возвратной основе из государственного бюджета. Кроме того, налоговые льготы на определенный срок способствовали бы осуществлению крупных реконструкции и модернизации предприятий энергетики. Программы обновления основных фондов объектов энергетического комплекса должны быть включены в государственный перечень инвестиционных проектов, осуществляемых по льготному кредитованию.

В рыночных условиях, предполагающих работу предприятий энергетики на условиях самофинансирования, значительную часть в тарифах должна составлять экономически обоснованная инвестиционная составляющая для осуществления значительных капиталовложений в энергетическую отрасль с учетом продолжительности срока сооружения и окупаемости объектов электроэнергетики. Тарифная политика должна быть напрямую связана с реформами в энергетической отрасли, направленными на ее дальнейшее развитие и обеспечение энергетической безопасности экономики страны.

Увеличение производства электрической энергии отстает от темпов роста производства в стране (валовой внутренний продукт в 2005 году вырос на

29,31 % по сравнению с 2004 годом). В настоящее время в республике существует баланс спроса и предложения в электроэнергетике, что объясняется резким спадом производства и снижением платежеспособности в 90-е годы прошлого столетия и начале 2000-х годов. Но в будущем вследствие отставания темпов роста генерирования электрической энергии от роста производства в стране этот баланс будет нарушен, что негативно скажется на уровне энергетической и экономической безопасностей. Значительное повышение потребления электрической энергии в единой энергетической системе должно обеспечиваться прежде всего за счет увеличения установленной мощности электрических станций, входящих в единую энергетическую систему. Резервы для расширения мощностей электростанций страны существуют. Коэффициент эффективности использования установленной мощности электрических станций растет год от года незначительно (в 2005 году рост на 0,6% по сравнению с 2004 годом), в настоящее время коэффициент составляет более 40%. Следовательно, на ближайшую перспективу рост потребления электрической энергии может быть обеспечен за счет повышения эффективности использования установленной мощности существующих электростанций страны. Это позволит сохранить энергетическую безопасность по блоку обеспеченности электроэнергией в пределах допустимого и избежать угрозы в этом направлении на ближайшие несколько лет.

Одним из кризисных явлений, угрожающих энергетической безопасности, является энергорасточительность экономики республики. Из сопоставительного анализа уровня энергопотребления в развитых странах запада и СНГ следует, что удельная энергоёмкость внутреннего валового продукта стран СНГ превосходит мировые показатели [2].

Из-за высоких цен на энергоресурсы и их дефицита на мировом рынке, связанных с мировым энергетическим кризисом в начале 70-х годов прошлого столетия, в западных странах резко снизилось энергопотребление в результате реализации мер по экономии энергии. В 1981 году полное энергопотребление в развитых странах снизилось до уровня 1977-1978 годов, в США – до уровня 1974 года, в Англии – до уровня 1970 года. Мировая практика показывает, что самым дешевым и экологически чистым источником энергии является энергосбережение. В настоящее время затраты на энергоносители на большинстве предприятий стран СНГ являются основными. По прогнозам специалистов во многих случаях энергосберегающие мероприятия обеспечат покрытие возрастающего спроса на мощность и энергию.

Повышение энергетической и экологической безопасностей энергетической отрасли на современном этапе в первую очередь должно производиться за счет широкого внедрения энергосберегающих и повышающих энергоэффективность технологий, оборудования и организационно-технических мероприятий на основе экономически стимулирующих мер. Эти действия обеспечат переход

республики на путь устойчивого развития в соответствии с рекомендациями Всемирной комиссии ООН по окружающей среде и развитию.

## ЛИТЕРАТУРА

1. [http://civilg8.ru/sam\\_doc/6245.php](http://civilg8.ru/sam_doc/6245.php).
2. Сибикин Ю., Сибикин М. О важнейших направлениях энергосберегающей политики Российской Федерации // Промышленная энергетика. 1994. № 11, С. 15-19.

### Түйіндеме

Мақалада энергетиканың тұрақты дамуы үшін энергетикалық және экологиялық қауіпсіздікпен қамтамасыз ету мәселелері қарастырылған.

### Resume

The article deals with issues of ensuring energy and environmental safety in power engineering for sustainable development.

УДК 621.396

## МЕТОД И АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТАБЛИЧНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ

**В.В. Сорокин, М.В. Гладков, Н.В. Зыкова**

Северо-Казахстанский государственный университет  
им. М. Козыбаева, г. Петропавловск

В настоящее время в автоматизированных системах управления, контроля и диагностики для повышения эффективности работы широкое применение находят процессы идентификации и распознавания на основе классификации сигналов, при которой определенной группе будет отсортирован соответствующий сигнал [1].

В предлагаемой статье рассматривается метод и алгоритм автоматизированной табличной классификации сигналов, являющийся дальнейшим развитием идеи векторных идентификационных измерений [2] и позволяющий визуализировать скрытые закономерности в связи между сигналами.

Теория идентификационных шкал обосновывает возможность построения порядковых шкал для распределений мгновенных значений (РМЗ) сигналов, так и для распределений их временных интервалов (РВИ).

Для решения задачи классификации необходимо сформировать соответствующую реляционную БД эталонов в виде комплексной (лингвистической и числовой) матрицы:

$$\bar{X}_M^{\ominus}(t) \rightarrow \|\Delta Id_{MN}^{\ominus}\| = \begin{pmatrix} \Delta Id1_1 & \cdot & \Delta Id1_i & \cdot & \Delta Id1_M \\ \Delta Id2_1 & a_{11} & \cdot & a_{i1} & \cdot & a_{M1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \Delta Id1_j & a_{ij} & \cdot & a_{ij} & \cdot & a_{ij} \\ \Delta Id1_N & a_{1N} & \cdot & a_{iN} & \cdot & a_{MN} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $\Delta Id1_i = Id1_i^B - Id1_i^H$  - столбцы-записи в виде диапазонов идентификационного параметра, характеризующего распределение мгновенных значений сигнала;

$Id1_i^B, Id1_i^H$  - границы диапазона строки-записи, способ нахождения представлен в [2];

$\Delta Id2_j = Id2_j^B - Id2_j^H$  - строки-поля в виде диапазонов идентификационного параметра, характеризующего РВИ сигнала;

$Id2_j^B, Id2_j^H$  - границы диапазона столбца-поля, способ нахождения представлен в [2];

$a_{ij}$  - лингвистические характеристики сигналов или смеси, соответствующих диапазонам идентификационных параметров.

Для аналитического расчета взаимодействия компонент сигнала формируется идентификационная математическая модель в виде

$$Id_X = Id2 \exp(jId1t), \quad (2)$$

Далее определяются идентификационные параметры РВИ  $Id1_X$  и РМЗ  $Id2_X$  тестируемого (исследуемого) сигнала. Находится принадлежность ячейке эталонов идентификационных параметров

$$\text{если } Id1_X \in \Delta Id1_i \text{ и } Id2_X \in \Delta Id2_j, \text{ то } Id_X = Id_{ij}^{\ominus}.$$

Если имя исследуемого сигнала попадает в пустую ячейку, то это говорит о том, что модель входного сигнала отличается от других моделей, представленных в таблице. В этом случае можно оценить модель входного сигнала путем интерполяции, результат которой зависит от близости ячейки с именем входного сигнала от ячеек с именами эталонов. Алгоритм табличной классификации сигналов представлен на рисунке 1.

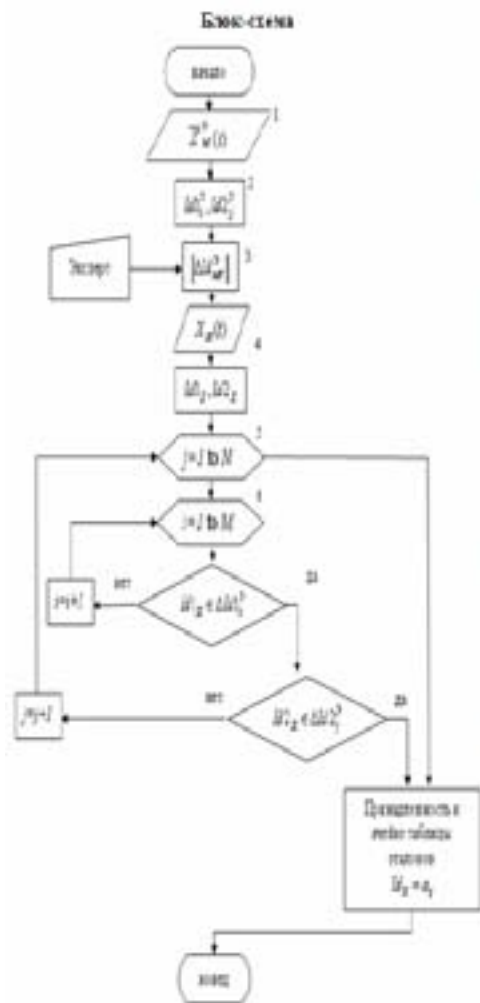


Рисунок 1 – Алгоритм табличной классификации сигналов

**Пример.** Рассмотрим пример табличной классификации применительно к исследованию эволюции аддитивной смеси периодического синусоидального сигнала и нормального шума. Классическая модель (2) такого сигнала удобна для пояснения механизма эволюции - перехода объекта из одного качественного состояния в другое под воздействием управляющего фактора:

$$U(t) = U_m \text{SIN}(\omega t + \varphi) + U_n(t). \quad (3)$$

Граничные состояния  $U(t)$  определяются амплитудными соотношениями компонент смеси, например в форме отношения сигнал-шум (SNR – Signal-NoiseRelation), следующим образом:

$$\text{If } SNR = 0 \text{ Then } U(t) = U_n(t), \text{ IdP} = \max, \text{ DN} = \text{GAUS}$$

$$\text{If } SNR = \infty \text{ Then } U(t) = U_s(t), \text{ IdP} = \min, \text{ DN} = \text{ASIN} \quad (4)$$

где: IdP – идентификационный параметр смеси  $U(t)$ ; DN – имя распределения (DistributionName) смеси; GAUS=HOPM - нормальное; ASIN=APKC – арксинусное распределения.

Задавая значения SNR и измеряя форму и вариабельность сигнала смеси, можно проследить эволюцию, например, так, как показано в классификационной таблице 1. Жирным шрифтом отмечены имена глобальных эталонов периодических (sin-1, sin-10, sin-100) и случайных (asin, even, simp, gaus, lapl, kosh) сигналов.

Столбцы определяют длину (модуль), а строки указывают на скорость вращения идентификационного вектора. Диапазоны возможных значений идентификационных параметров  $0 < S < 100, 0 < K < 2$ , где S – идентификационный параметр формы сигнала, K – идентификационный параметр вариабельности [2], разбиты на интервалы, так, чтобы вписать в ячейки текущие имена сигнала смеси. Структура имени сигнала включает: имя шумовой компоненты (gaus), имя периодической компоненты (sin), значение частоты (100) периодической компоненты и отношение сигнал-шум, изменяемое в эксперименте от 0 до 200. Для сравнения, в этой же таблице представлены результаты измерения аддитивной смеси двух случайных сигналов – с нормальным и арксинусным (asin) распределениями.

Таблица 1

Классификационная таблица для прослеживания эволюции сигналов

Имена и диапазоны эталонов БД по параметру K	Имена эталонов БД и диапазоны по параметру S						
	2mod	asin	even	simp	gaus	lapl	kosh
100..96	96..83	83..63	63..43	43..24	24..5	5..0	
0,000628	sin-1						
0,00628	sin-10						
0,0628	sin-100						
0,0632	gaus+ sin100-200						

0,0644		gaus+ sin100-100					
0,07		gaus+ sin100-50					
0,105			gaus+ sin100- 20				
0,186			gaus+ sin100- 10				
0,353				gaus+ sin100- 5			
0,783				gaus+ sin100- 2			
0,95					gaus+ sin100- 1,5		
1,0					gaus+ sin100- 1		
1,274		asin gaus+asin- 200 gaus+asin- 100 gaus+asin- 50					
			gaus+ asin-20 gaus+ asin-10				
				gaus+ asin-5			
1,33			even		gaus+ sin100- 0,5		
				gaus+ asin-2			
1,4					gaus+ asin-1		
1,414				simp	gaus+ asin-0,5		
1,5					gaus	lapl	
1,73							kosh

Полученная таким образом классификация весьма наглядна и позволяет выявить ряд закономерностей эволюции бинарных смесей сигналов.

Смесь вида (3) имеет регулярный характер до значений ОСШ, примерно равных 1, что достаточно хорошо согласуется с физическими представлениями.

Смесь вида (3) имеет нерегулярный (хаотичный) характер при  $ОСШ \leq 1$ .

Изменение ОСШ приводит к изменению формы и variability сигнала смеси, что позволяет формировать количественные оценки ее перехода из одного качественного состояния в другое.

Векторная идентификационная модель вида  $IdV = S \exp(jKt)$ , единым образом описывает как случайные, так и периодические сигналы, и их смеси. Данное представление может служить основой построения векторной идентификационной алгебры сигналов, с помощью которой можно будет аналитически рассчитывать результаты взаимодействия сигналов.

При анализе входного сигнала необходимо измерить его идентификационные параметры (S и K) и занести имя этого сигнала в соответствующую ячейку табл. 1. Если при этом имя исследуемого сигнала попадает в одну ячейку с эталоном, то, согласно принципу идентификационной эквивалентности, модели входного сигнала приписывается модель эталона.

Рассмотренный пример иллюстрирует познавательную силу процедуры автоматизированной классификации сигналов, при которой в пределах одной таблицы удается выделить объекты, обладающие как общими, так и уникальными свойствами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Штейнберг Ш.Е. Идентификация в системах управления. – М.: Энергоатомиздат, 1987. - 80 с.
2. Кликушин Ю.Н., Кошеков К.Т. Методы и средства идентификационных измерений сигналов. Монография. – Петропавловск: Изд-во СКГУ им. М. Козыбаева, 2007. – 186 с.

## Түйіндеме

*Векторлы айрықша сигналдарды өлшеуді қолданудың негізінде алынған сигналдардың кестелі классификациялық әдісі мен алгоритмі ұсынылып отыр. Ізденіс нәтижесі жалпы және ерекше қасиеттері бар сигналдар мен объектілерді автоматты айрықша мойындау кезінде кең қолдану мүмкіндігі бар.*

**Resume**

The classification method and algorithm of tabular classification of the signals, based on application of vector identification measurements of signals is offered. Results of researches can find wide application at the automated identification and recognition of signals and the objects, possessing both the general, and unique properties.

УДК 621.315.05.017

### **РЕАЛИЗАЦИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОГРАММ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭНЕРГОКОМПАНИЯХ.**

**К.К. Тохтибакиев,**

к.т.н доцент, некоммерческое АО «АУЭС», г. Алматы

**А.А Саухимов**

м.э. инженер, некоммерческое АО «АУЭС», г. Алматы

Одним из наиболее, эффективных шагов к энергосбережению является снижение технологического расхода электроэнергии на ее передачу.

На рисунках 1 и 2 представлены динамика изменения объемов потребления электроэнергии и технических потерь в Республике Казахстан за последнее десятилетие. Объем электропотребления вырос в 1,5 раза и приближается к уровню электропотребления 1990 года [1].

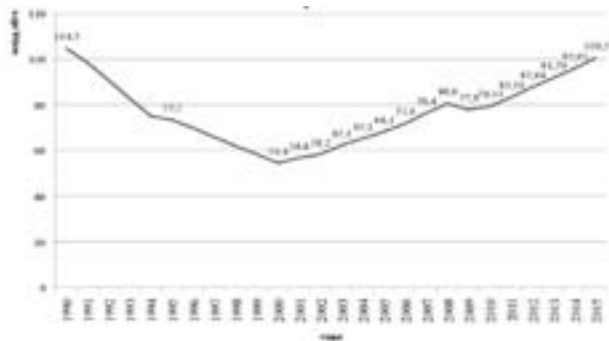


Рисунок 1 - Динамика электропотребления по отчетным данным ЕЭС с 1990 года и перспективой до 2015 года

Примечание: с 1990 по 2009 гг. принят фактический объем электропотребления

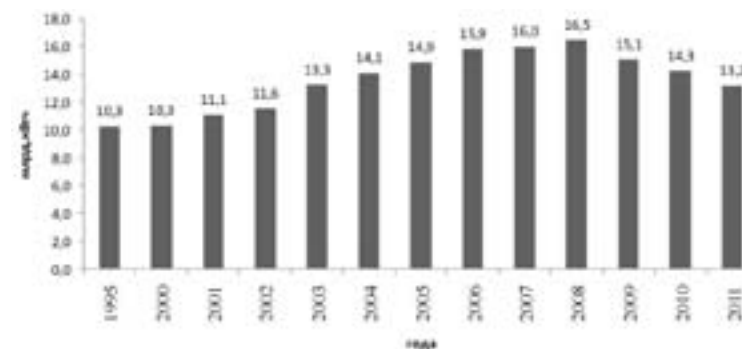


Рисунок 2 - Динамика изменения потерь электроэнергии в Республике Казахстан с 1995 - 2011 гг., по отчетным данным АРЕМ

Динамика изменения потерь электроэнергии, показанной на рисунке 2 показывает резкий рост потерь для аналогичных электрических сетей по отношению с показателями 1985 года. Со времен распада Советского Союза уровень нормативных потерь электроэнергии в относительном выражении вырос в 1,5 и более раз, что обусловлено несколькими причинами:

Известно, что в первые годы независимости уровень электропотребления по всем регионам сократился на 40-60% (см. рисунок 1), данный факт привел к снижению нагрузочных и увеличению постоянных потерь в относительном выражении по отношению к отпуску в сеть.

Немаловажным фактором увеличения нормативных потерь в РК явилось приватизация региональных энергокомпаний, что повлекло за собой необходимость более тщательного анализа и поиска эффективных путей повышения доходности энергокомпаний. В нормативы потерь стали включаться дополнительные составляющие потерь, обусловленных погрешностью приборов учета, потери от токов утечки по изоляторам, потери в соединительных проводах и ошиновках ПС, потери в приборах учета и т.д.

РЭКи не заинтересованы в снижении нормативных потерь так как они включаются в расходную часть баланса при формировании тарифа на передачу электроэнергии, т.е. эти потери фактически оплачивают потребители.

Все вышеперечисленные факторы, так или иначе привели к увеличению нормативных потерь как в относительном, так и абсолютном значении.

Начиная с 2007 года АРЕМ РК ведет политику по снижению технических потерь электроэнергии, на рисунке 3 представлена динамика изменения утвержденных потерь в относительном выражении для нескольких РЭК за 2006-2008 гг.

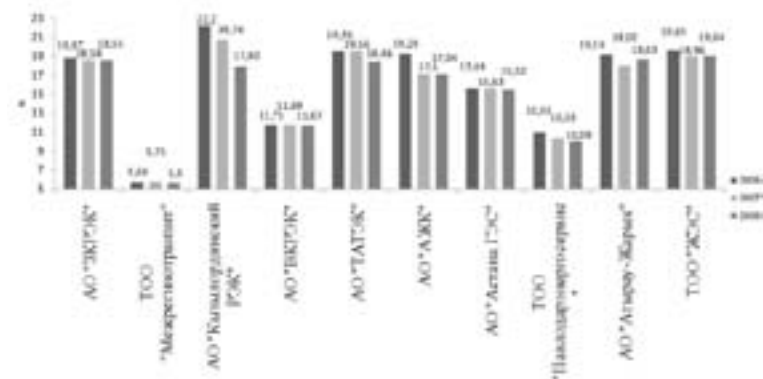


Рисунок 3 – Динамика изменения относительных потерь в нескольких РЭК за 2006-2008 гг.

Динамика изменения потерь за три года показывает, что целенаправленная и жесткая политика АРЕМ приводит к снижению нормативных потерь практически во всех РЭК-х. В ряде случаев заданный агентством уровень снижения потерь в РЭК-ах не имеет достаточного обоснования.

Для пояснения этого рассмотрим структурный анализ составляющих потерь и возможные пути их снижения. На рисунке 4 приведена структура составляющих потерь в одной из наиболее представительных энергокомпаний РК.

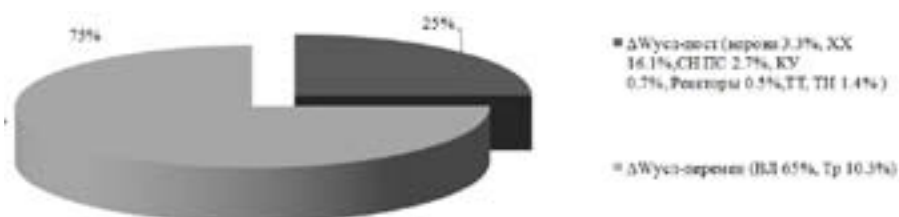


Рисунок 4 – Структура потерь электроэнергии в РЭК

Структурный анализ потерь показывает, что основная доля составляет нагрузочные потери (более 75%). Величина нагрузочных потерь зависит от потребляемой мощности нагрузки, величины перетока активной и реактивной мощности, структуры и разветвленности электрических сетей, эффективности проведения оптимизационных технических мероприятий влияющих на уровни напряжения в сети. Приведенный выше структурный анализ показывает, что обоснованное снижение потерь в относительном выражении для каждой РЭК должно выполняться с учетом наличия сети различных классов напряжения и соотношения составляющих потерь. В таблице 1 приведены основные рекомендуемые мероприятия по снижению потерь и степень затрат на их реализацию [3].

Таблица 1

## Мероприятия по снижению потерь в электрических сетях

Условно-переменные	Основные влияющие факторы	Основные МСП	Требуемые затраты	Оптимальный уровень
Нагрузочные в линиях и трансформаторах	Нагрузка (перетоки активной и реактивной мощности), напряжение в узлах, разветвленность сети	1. КРМ, повышение качества э/э 2. Регулирования напряжения в ЦП, 3. Перевод сети на высокий класс напряжения 4. Оптимизация мест размыкания	Затратные  с высокими затратами  беззатрат	Нормативы определяется проектными значениями передаваемой мощности
Метрологические	Нормируемая погрешность ИК, потребляемая электроэнергия	Совершенствование системы учета, повышение качества э/э, АСКУЭ	С высокими затратами	Нормативы изготовителя
Условно-постоянные				
Расход на СН ПС	Технические оборудования ПС	Улучшение тех. характеристик	С высокими затратами	Нормативы изготовителя
Потери XX трансформаторов	Тех. Характеристики, Суст, Уфакт в точке подключения	Улучшение тех. характеристик, повышение качества напряжения	С высокими затратами,	Нормативы изготовителя
Потери в реакторах, СК, БСК, фильтрах	Тех. характеристики Суст, Уфакт в точке подкл	Улучшение тех. характеристик	С высокими затратами,	Нормативы изготовителя
Климатические	Тех. характеристики	Улучшение тех. характеристик	С высокими затратами,	Нормативы изготовителя

С учетом информации по МСП приведенных в таблице-1, очевидно, что для снижения нагрузочных потерь наиболее эффективными мероприятиями является компенсация реактивной мощности, срок окупаемости которых по предварительным оценкам составляет 3-4 года. Выполнение остальных мероприятий, по нашему мнению, возможна в рамках модернизации (реконструкций) подстанционной сети в целом на стадии проектных решений, что требует больших финансовых затрат. С целью реализации государственной программы по энергосбережению монополий разработала и приняла Стратегический план по снижению потерь электроэнергии на 2009 – 2011 годы, утвержденный Постановлением

Правительства Республики Казахстан от 23 декабря 2008 года №1221, где одним из мероприятий является снижение нормативных технических потерь в электрических сетях на 4,6 % за 3 года от утвержденного уровня 2008 года [2]. Как было сказано выше, для масштабного снижения технических потерь на 4,6 % необходимо выполнять комплекс технических мероприятий по снижению потерь, связанные со значительными финансовыми затратами. Поэтому эта задача должна решаться РЭКа комплексно в виде разработки и утверждения уполномоченным органом Инвестиционной программы на срок реализации от 3 до 5 лет. Реализация Инвестиционной программы, включающей в себя реализацию планов развития электрических сетей каждой области, возможна за счет утверждения для РЭК среднесрочного тарифа, или предельного уровня тарифа в соответствии с законодательством по регулированию деятельности субъектов естественной монополии. Преимущества работы электросетевой компании со среднесрочным тарифом очевидны не только в сохранении на длительный срок постоянного уровня тарифа для потребителей услуг компании, но и для самого предприятия. Утвержденный предельный уровень тарифа позволяет не только покрыть ежегодные эксплуатационные расходы, но и содержит инвестиционную составляющую тарифа, достаточную для финансирования мероприятий Инвестиционной программы. В таблице 2 представлены основные разделы инвестиционных программ по снижению потерь и источники финансирования этих мероприятий.

Таблица 2

## Разделы инвест. програм и источники их финансирования

Наименование раздела ИП	Задачи ИП на среднесрочный период	Источники финансирования	Влияние на тариф	Планируемые уровень норматива потерь
Реконструкция и модернизация основных системообразующих подстанций.	Повышение пропуск. способности и надежности сети, снижение сумм. потерь	Доход РЭК Заемные средства	Увеличение тарифа	Снижение сумм. нормат. уровня до проектных значений
Модернизация и реконструкция кабельных и воздушных линий	Повышение пропуск. способности и надежности сети, снижение сумм. потерь	Доход РЭК Заемные средства	Увеличение тарифа	Снижение сумм. Нормат. уровня до проектных значений
Увеличение мощности трансформаторов, коммутационного оборудования	Снижение постоянных потерь	Доход РЭК Заемные средства	Увеличение тарифа	Снижение сумм. норм. уровня до проектных значений

КРМ в распределительных сетях	Снижение нагрузочных потерь	Доход РЭК, госбюджетные средства	Без повышения тарифа на передачу	Снижение норм. уровня нагр. потерь до проектных значений
Замена инд. приборов учета на электронные, создание АСКУЭ	Снижение нагрузочных потерь	Доход РЭК, госбюджетные средства	Без повышения тарифа на передачу	Снижение норм. уровня нагр. потерь до проектных значений

На сегодняшний день вопрос финансирования инвестиционных программ решается за счет потребителей и доходов РЭК, при этом сдерживание роста тарифов при увеличивающихся расходов на реализацию инвестиционных программ возможно только за счет привлечения бюджетных средств в виде государственных дотаций. В этом случае необходимо разработать новые подходы к планированию, обоснованию и контролю при реализации инвестиционных планов по снижению потерь.

## ЛИТЕРАТУРА

1. www.kegoc.kz
2. www.regulator.kz
3. Под редакцией В.Н. Казанцева «Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем» Энергоатомиздат. 1983 г.

## Түйіндеме

*Мақалада соңғы 15 жылдардағы электр ысырабының өзгеру динамикасы, олардың себептері, ысыраптарды төмендету шараларының тиімділігі және оларды іске асыру бойынша қаржыландыру көздері қарастырылады.*

## Resume

*The article discusses the dynamics of change in losses over the past 15 years, the reasons for their increase, the effectiveness of measures to reduce losses and sources of funding for their implementation.*

УДК 621.365.22

## **ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ПОКРЫТИЙ ПЛОСКИХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

**К.В. Хацевский**

*Омский государственный технический университет, г. Омск*

**В.Ф. Хацевский**

*Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

**Т.В. Гоненко**

*Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

Плазменные электротехнологии находят все более широкое применение в различных областях техники. С помощью плазменных технологий могут быть получены покрытия различного состава с широким диапазоном свойств [1, 2]. Преимуществом плазменной технологии является возможность формирования нагревательного элемента как на плоской, так и на цилиндрической поверхностях. Используемые изоляционные и резистивные материалы обеспечивают плазменно-напыленным электронагревателям широкий температурный диапазон применимости. Возможность распределения нагревательного элемента практически по всей площади подложки повышает равномерность нагрева. Это, а также малое термическое сопротивление между нагревательным слоем и подложкой, позволяет снизить тепловую инерционность, повысить удельную поверхностную мощность и надежность в работе. Возможность создания покрытий из водостойких материалов делает плазменно-напыленные нагреватели перспективными для применения в электрических нагревательных установках различного назначения.

Нагревательные элементы, полученные методом плазменного напыления, имеют высокую механическую прочность в широком диапазоне рабочих температур, высокую надежность, значительные пределы изменения удельной мощности. Важнейшее их преимущество - технологичность изготовления при серийном производстве.

Несмотря на определенные успехи, достигнутые в повышении качества газотермических покрытий и, главным образом нанесенных с помощью плазмотронов [3], напыленные покрытия сохраняют основные, присущие им, недостатки. В первую очередь это относится к адгезионной прочности и пористости. И если недостаточная адгезионная прочность может привести к разрушению покрытий на деталях, работающих в условиях ударных нагрузок, то высокая пористость может вызвать отслоение любого покрытия, т.к. в этом случае возможно окисление как самого покрытия, так и подложки.

Основные характеристики покрытий при высокотемпературном напылении (адгезия, когезия, пористость, износостойкость и др.) определяются не только выбором материалов и разработкой составов покрытий, но и многими теплофизическими и технологическими аспектами процесса напыления.

К основным недостаткам покрытий следует отнести их низкую адгезионную прочность и высокую пористость. Одной из причин, приводящих к указанным недостаткам, является то, что температура и скорость струй плазмы распределены по сечению неравномерно, вследствие чего частицы, приходящие на поверхность, имеют различные значения температуры и скорости.

Исследования поперечного сечения покрытия, нанесенного самофлюсующимся порошком ПГ-ХН80СРЗ методом плазменного напыления показали, что часть частиц приходит на поверхность основы в непроплавленном состоянии и удерживается на ней только за счет закрепления пластичными частицами. Кроме того, даже у полностью расплавленных частиц сварные участки составляют часть площади контакта «частица-основа» и «частица-частица». Таким образом, формирование покрытия последовательной укладкой множества частиц неизбежно приводит к появлению микропустот, особенно на их стыках. Покрытие формируется в атмосфере, поэтому микрополости заполняются газом, что ухудшает свойства межслойных границ, имеющих наибольшую насыщенность адсорбированными газами. Взаимодействие с атмосферой, адсорбция газов и оседание пылевидных фракций существенно ухудшают свойства межслойной зоны покрытия.

В практике газотермического нанесения покрытий широкое распространение получила последующая за напылением упрочняющая обработка напыленного слоя.

В первую очередь данная обработка применяется для увеличения адгезионной и когезионной прочности покрытий, снижения пористости, выравнивания микро- и макроструктуры. Известны несколько методов высокотемпературного упрочнения напыленных покрытий: спекание, пропитка с термообработкой, пластическое деформирование, оплавление. Самым распространенным способом упрочнения покрытий является их оплавление.

Помимо ликвидации пористости, удаление окислов, оплавление покрытия ведет к значительному увеличению взаимной диффузии элементов покрытия и основы, что повышает адгезию и, соответственно, прочность покрытия. Если у неоплавленных покрытий адгезионная прочность не превышает 3...5 кгс/мм<sup>2</sup>, то после оплавления этот показатель возрастает до 28...40 кгс/мм<sup>2</sup> и более. Наряду с этим, при оплавлении на различных режимах могут изменяться физико-механические свойства покрытия вследствие изменения структуры оплавленного сплава.

Таким образом, покрытие, полученное напылением с последующим оплавлением, в отличие от неоплавленного, способно выдержать значительные механические нагрузки: изгиб, удар и т.д.



Оплавление покрытий производят различными способами, как путем нагрева одновременно всей обрабатываемой поверхности (например, в печах, соляных ваннах), так и с помощью локального нагрева концентрированными источниками энергии (например, оплавление лучом лазера, электронным пучком, электроконтактным нагревом, электрической дугой, микроплазменным источником, пламенем газовой горелки, плазменной струей).

Оплавление покрытий в печах можно производить в восстановительной атмосфере, создаваемой газами при сгорании древесного угля или аммиаком, либо в нейтральной атмосфере, для образования которой используют водород или азот. Также весьма эффективно, с точки зрения качества покрытий, использование вакуумной печи. По данным, приведенным в работе, износостойкость покрытий, оплавленных в вакуумной печи, превышает износостойкость покрытий, оплавленных с помощью газовой горелки. Наилучшие характеристики получены после термообработки в печи в течении одного часа при температуре 1303 К (ПГ-ХН80СР2), 1293 К (ПГ-ХН80СР3), 1263 К (СНГН). По данным после термообработки в печи с неокислительной атмосферой получено практически беспористое покрытие с адгезионной прочностью, превышающей 15 кГс/мм<sup>2</sup>.

Довольно распространенным методом оплавления является высокочастотный индукционный нагрев. В этом случае в зависимости от геометрии, размеров индуктора и обрабатываемой детали нагрев осуществляется либо одновременно всей поверхности, либо определенных участков. Условия проплавления представляют собой соответствующее сочетание времени нагрева, потребляемой мощности и формы индуктора.

С точки зрения физико-механических характеристик получаемого композита "основа-покрытие" в целом, а также из экономических показателей процесса наиболее рациональным и эффективным является использование для нагрева концентрированных источников энергии, так как в этом случае не происходит значительного разогрева всей массы обрабатываемой детали.

Лазерная обработка покрытий уменьшает количество пор и окислов, существенно увеличивает адгезионную прочность покрытий. За счет изменения параметров луча может регулироваться глубина проплавления слоя, она может быть равна толщине предварительно нанесенного слоя, может превосходить ее и расплавлять часть основы. Высокая скорость нагрева при лазерном оплавлении позволяет сохранять исходную (в том числе мелкозернистую) структуру материала покрытия.

Оплавление покрытий пучком электронов, имеющих длину пробега в облучаемом материале равную или несколько большую толщины необходимого слоя расплавления, позволяет повысить допустимую плотность мощности в пучке, скорость и производительность оплавления, а также исключить закипание расплава и вынос его из зоны нагрева. Покрытие, получаемое

в этом случае, обладает высокой однородностью и хорошей адгезионной прочностью. Оплата пучком электронов проводят как в специальных вакуумных камерах, так и в атмосферном воздухе.

Избежать перемешивания покрытия с основой можно при использовании микроплазменного нагрева. Процесс микроплазменного оплавления характеризуется незначительной зоной термического влияния (до 300 мкм). При этом микроплазменная струя интенсивно нагревает только покрытие. Существенным недостатком микроплазменного нагрева является его низкая производительность.

Самым распространенным способом оплавления является оплавление с помощью ацетилено-кислородных горелок. Нагрев осуществляют нейтральным пламенем. Данный способ привлекает простотой и доступностью оборудования и самой технологии.

Также известно применение в качестве источника нагрева плазменной струи. Ею можно обрабатывать любые материалы, включая тугоплавкие соединения.

Оплавление с помощью лазерного луча и электронного пучка позволяет получить высокие физико-механические характеристики напыленных покрытий при сохранении исходной структуры материала основы. Но большим недостатком данных методов является сложность и высокая стоимость используемого оборудования. При этом работа с электронно-лучевыми установками требует специальных мер по защите обслуживающего персонала. Что касается технико-экономических показателей процессов обработки лучом лазера и электронным пучком, то и здесь имеются определенные недостатки. В первую очередь, это относится к КПД нагрева поверхности. По данным при длине волны  $10 \cdot 10^{-6}$  м, отвечающей наиболее мощным  $\text{CO}_2$ -лазерам, для большинства компактных металлов коэффициент отражения равен 0,85...0,95, т.е. основная доля излучения не используется при нагреве. В работах, посвященных исследованию процессов обработки материалов электронными пучками, отмечается, что из-за отражения электронов от поверхности отношение мощности, поглощенной материалом, к исходной мощности пучка составляет для железа (стали) 0,25...0,3 и лишь для элементов с большими атомными номерами, например, для вольфрама, достигает 0,5. Таким образом, и в данном случае имеет место существенная потеря энергии.

Также необходимо отметить, что при использовании лазерных и электронно-лучевых установок возникают проблемы с обработкой деталей со сложной геометрией. Таким образом, в связи с отмеченными выше недостатками, обработка покрытий лучом лазера или электронным пучком на практике применяется крайне редко.

Оплавление в печах и соляных ваннах является довольно технологичным методом, но значительный прогрев всей массы детали может привести к ухудшению структуры материала основы. Данный метод имеет ограничения также по габаритам обрабатываемых деталей и, кроме того, он не позволяет производить оплавление тугоплавких композиционных материалов на сталях.

Недостатком индукционного нагрева является необходимость в каждом отдельном случае изготавливать индуктор в соответствии с конфигурацией изделия. Кроме того, при использовании индукционного нагрева сложно обрабатывать покрытия из тугоплавких соединений на немагнитных сплавах.

К недостаткам электроконтактного нагрева следует отнести трудность обработки деталей со сложной геометрией и невозможность обработки неэлектропроводных материалов.

Что касается упрочнения покрытий пропиткой с последующей термообработкой, то в данной технологии предусматривается объемный нагрев всего изделия, а, следовательно, имеют место недостатки, присущие оплавлению покрытий в печах.

Недостатки использования для оплавления дуговой сварки в инертной среде и микроплазменного нагрева отмечены выше.

С точки зрения технологичности процесса из применяемых методов наиболее рационален плазменный способ оплавления. В данном случае возможна обработка любых материалов и не требуется дополнительное дорогостоящее оборудование.

Кроме того, использование в качестве концентрированного источника энергии плазменной струи позволяет в широких пределах управлять температурно-временными параметрами процесса обработки напыленных покрытий. А возможность использования в качестве плазмообразующей среды недорогих и недефицитных газов, вплоть до воздуха, делает этот метод особенно привлекательным.

Но существенным недостатком плазмоструйного нагрева является то, что существующие напылительные плазмотроны имеют высокую скорость истечения плазменной струи (рассчитаны на работу в турбулентном режиме). Таким образом, при работе на малой дистанции из-за высокого давления плазменной струи на напыленную поверхность может происходить нарушение слоя покрытия, при увеличении дистанции очень сложно прогреть обрабатываемую поверхность, так как у напылительных плазмотронов из-за высокого уровня турбулентности на срезе выходного электрода протяженность высокоэнергетической зоны струи плазмы невелика.

В связи с этим, представляется перспективным оплавление покрытий высокоэнтальпийной ламинарной струей плазмы, имеющей небольшое давление на обрабатываемую поверхность, без подачи порошка для снижения пористости и разнотолщинности нанесенных слоев с одновременным повышением уровня сплавления порошковых материалов с целью увеличения срока службы и безаварийной работы плазменно-напыленных нагревателей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гросман Б.С. Толстополюсные плоские нагреватели // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 1992. № 4. Вып. 1. – С. 13-20.

2. Плазменное нанесение резистивных слоев ленточного электронагревателя / Ершов А.А., Урбах Э.К., Фалеев В.А., Чередниченко В.С. // Физика низкотемпературной плазмы: Материалы конференции. – Петрозаводск: ПГУ. 1995. Ч. 3.

3. Создание низкотемпературного нагревателя методом плазменного напыления / Аньшаков А.С., Казанов А.М., Урбах Э.К. и др. // Физика и химия обработки материалов. 1998. №3. – С. 56-61.

### Түйіндеме

*Бұл мақалада жазық электр жылытқыштың плазмалы-шаңдатылған өтеулерінің физико-механикалық сипаттамасының жаңартылған әдісі қарастырылады және осы өтеулердің плазмалы құрылымдық термо өңдеулердің преспективалық өңдеулері берілген.*

### Resume

*The methods of the improvement physical-mechanical characteristic of a coatings covered by plasma of a flat electroheatings are considered in this article and the motivation availability of plasma jet heat treatment these coatings is given.*

УДК 621.87

## ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА МЕХАНИЗМ ПОДЪЕМА ГРУЗОПОДЪЕМНОГО КРАНА ДЭК-251

**В.Ф. Хацевский**

*Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

**В.С. Щербаков**

*Сибирская государственная автомобильная академия*

**В.Е. Беляков**

*Омский институт водного транспорта, г. Омск*

Анализ показывает, что основными тенденциями и направлениями развития и совершенствования грузоподъемных кранов за рубежом является:

- 1) частотное регулирование скоростей электродвигателя совместно с коробкой передач;
- 2) оснащение кранов различным навесным оборудованием;
- 3) продление срока службы кранов путем реконструкции и модернизации.

Большинство исследований посвящено разработке дополнительных функциональных возможностей кранов, использование устройств стабилизации перемещения грузов. Применяются специальные устройства, обеспечивающие необходимые параметры перемещения груза в автоматическом режиме. Решению этой задачи в настоящее время посвящены работы Л.В. Мельникова, А.Г. Теплякова, Н.М. Омара, А.Н. Nayfeh.

Опыт создания грузоподъемных машин показывает, что для получения достаточного объема достоверной информации, сведения риска и связанных с ним затрат к минимуму целесообразно в первую очередь разработать и изготовить отдельные элементы и детали крана и испытать их с помощью средств компьютерного моделирования.

Для теоретического исследования электропривода будем использовать пакет Simulink программы Matlab. Исследования проводились без системы управления с различными элементами в цепи ротора сопротивления и дросселя [4] (рис.1) для крана ДЭК – 251 [3]. Методика расчета электропривода [1] и расчет сопротивления в роторной цепи [2] классическая.

Динамический момент [5], создаваемый Signal Builder, можно реализовать и другим блоком Random Number (рис.2).

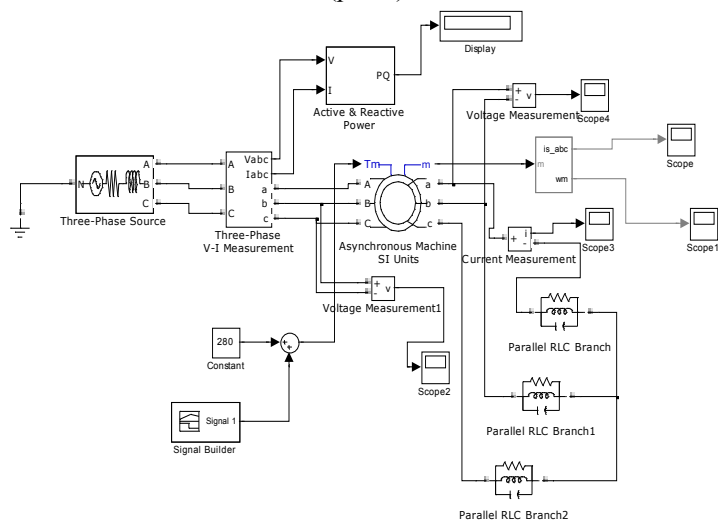


Рисунок 1 – Математическая модель электропривода в цепи ротора дросселя

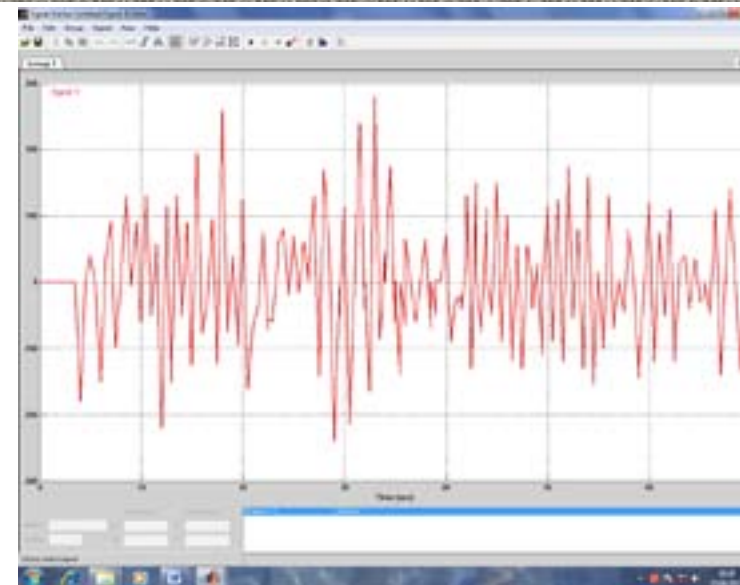


Рисунок 2 – Зависимость динамического момента, действующего на электропривод, от микро рельефа

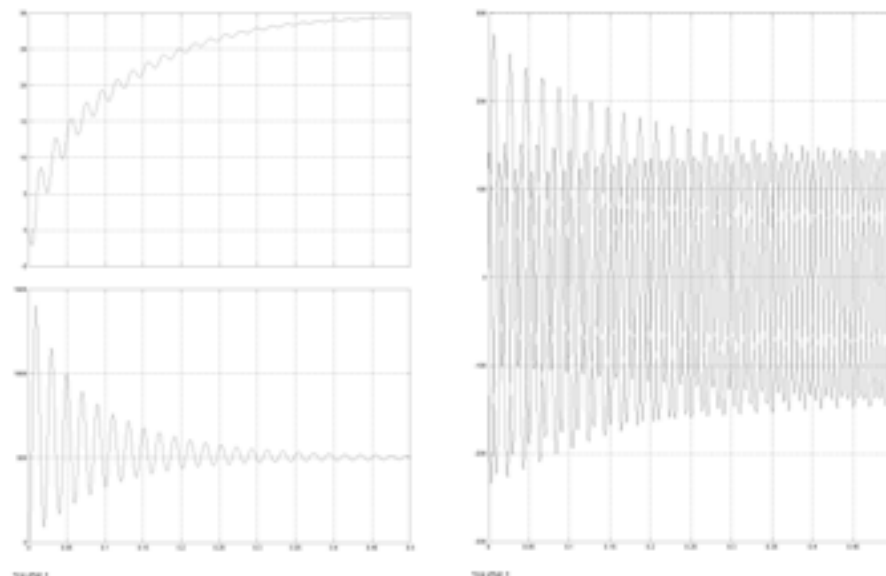
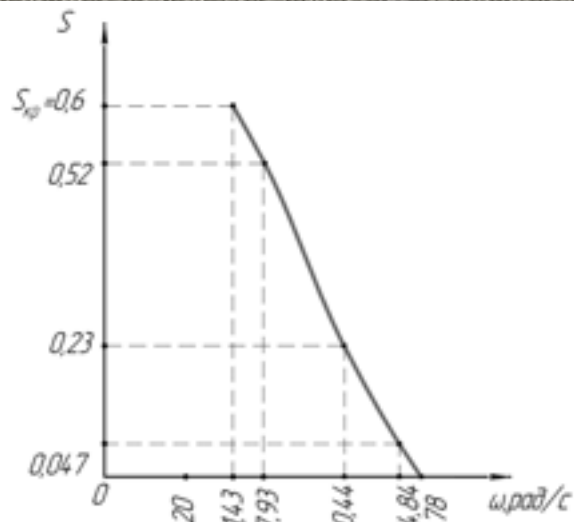


Рисунок 3 – Графики пуска электропривода с сопротивлениями в роторной цепи

Рисунок 4 – Экспериментальная характеристика  $S_{кр}=f(\omega)$ 

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

$$\omega_0 = \frac{3,14 \cdot 750}{30} = 78,57 \text{ (рад/с);}$$

$$\omega_{ном} = \frac{3,14 \cdot 715}{30} = 74,84 \text{ (рад/с);}$$

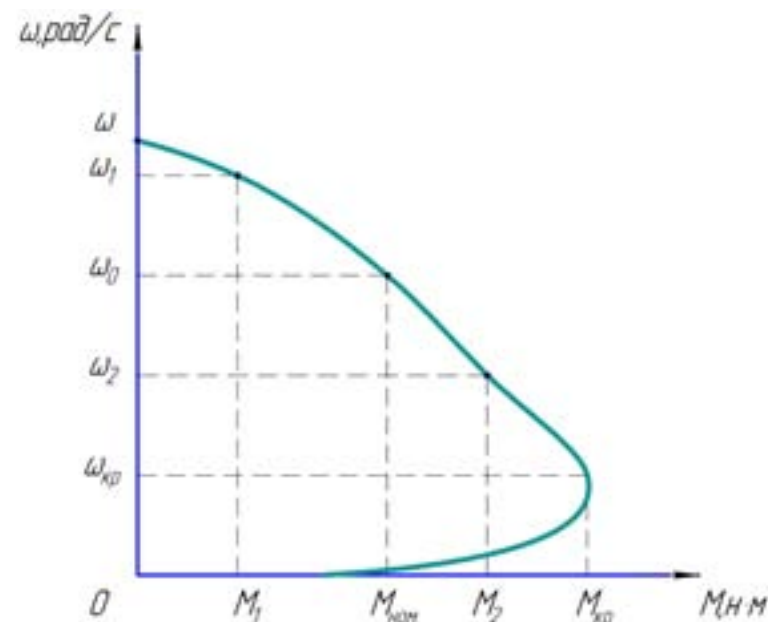
$$\omega_{кр} = \frac{P_{ном}}{M_{кр}} = \frac{22 \cdot 10^3}{2,5 \cdot 280} = 31,43 \text{ (рад/с);}$$

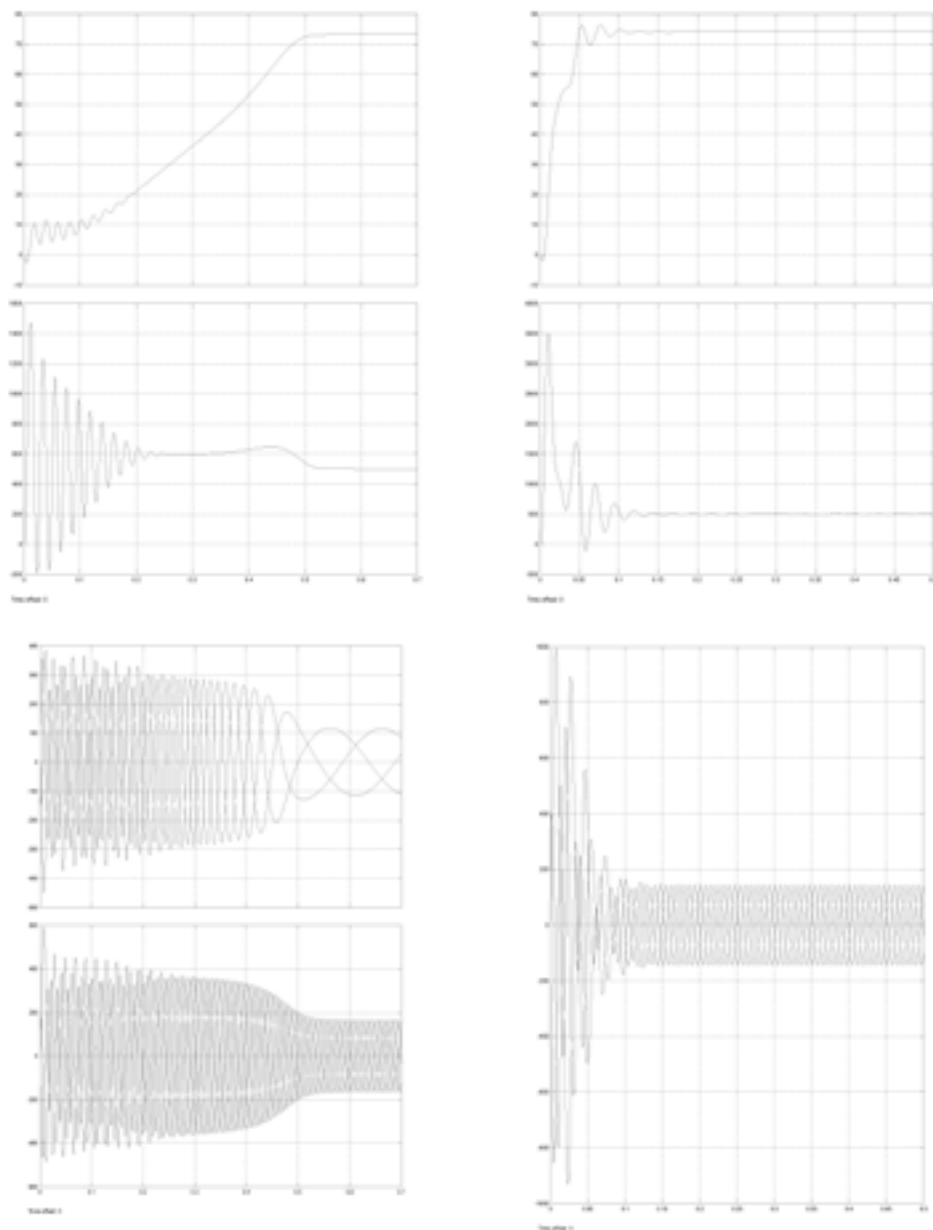
$$\omega_{дон} \frac{P_{ном}}{M_{ном} + M_{дин}} = \frac{22 \cdot 10^3}{280 + 300} = 37,93 \text{ (рад/с).}$$

Согласно расчетам (1), видно, что  $M_{кр}$  скорость  $\omega_{кр}$  составляет 31 рад/с, что и показывает рисунок 3 для сопротивления в роторной цепи, значит, модель адекватна или погрешность составляет 0,05%. При моделировании в роторной цепи дросселя, видно, что двигатель работает на рабочей характеристике.

При подборе номинального значения дросселя, характеристика меняется, т.е. время переходного процесса и перерегулирование уменьшилось, а также ток в статорной обмотке уменьшился. Можно сделать вывод, что в цепи ротора лучше устанавливать дроссель. Исследования проводились при различных номиналах дросселя, что рисунок 6 показывает номинал а)  $L = 22 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}$ , б)  $L = 22 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$ .

На основании всего исследования, построена экспериментальная механическая характеристика (рисунок 5).

Рисунок 5 – Экспериментальная зависимость  $M=f(\omega)$



а)

б)

Рисунок 6 – Графики пуска двигателя с различными значениями дросселя

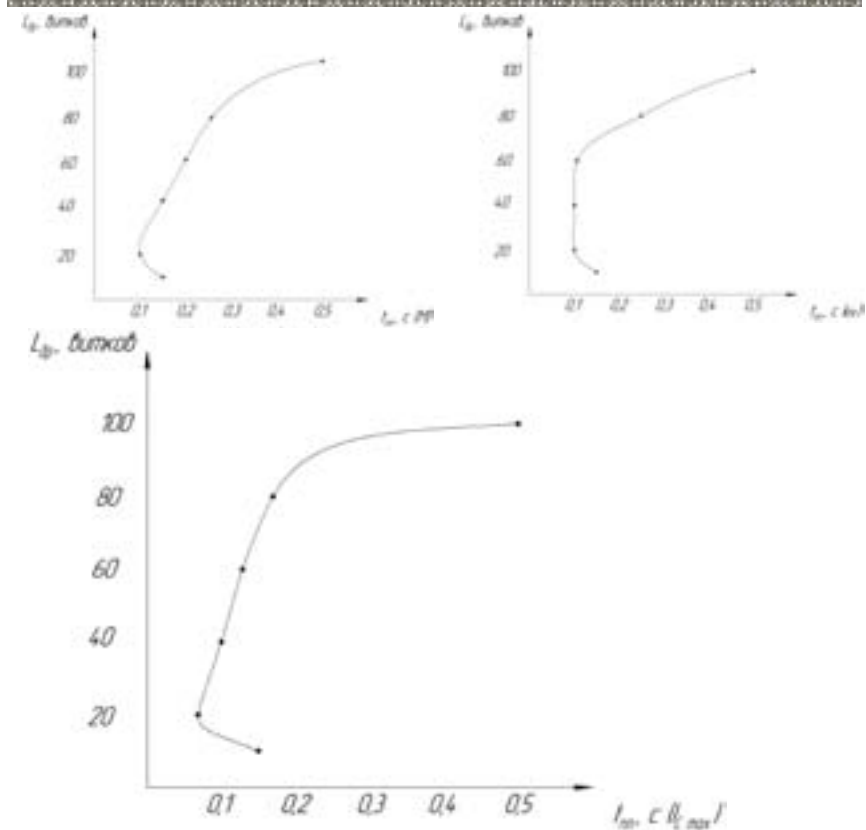


Рисунок 7 – Точки экстремума минимума

При теоретическом исследовании пуска электропривода для дроссельной системы управления построены зависимости  $I_{\text{оп}} = f(t_{\text{nn}})$  (рисунок 7) для момента, тока статора и скорости, при которых видно, что номинал дросселя для двигателя МТК-416 крана ДЭК – 251 лучше устанавливать номиналом  $L = 22 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$ .

При увеличении номинала дросселя увеличивается ток статора, и он может достигнуть своего максимума, т.е. когда защитная аппаратура отключается, и это произойдет при  $I_{\text{уд.кр}} = 1125 \text{ А}$  (рисунок 8).

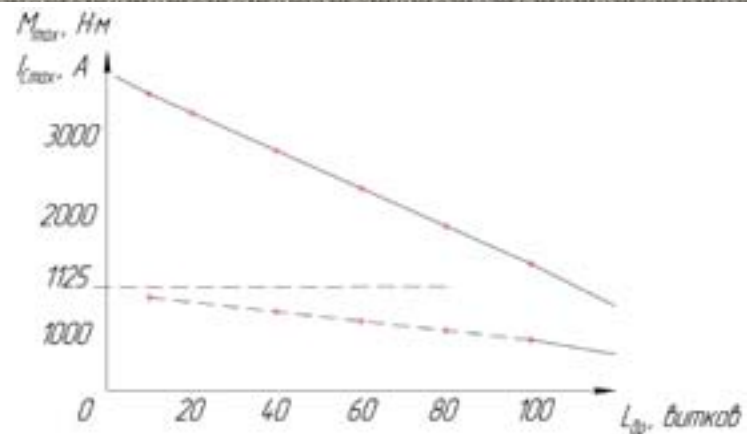


Рисунок 8 – Зависимость от количества витков дросселя тока статора и момента

Согласно [6,7], отклонение напряжения сети должно составлять не более 10 %, исследования проводились как теоретически, так и экспериментально, результаты приведены на рисунках 9...12.

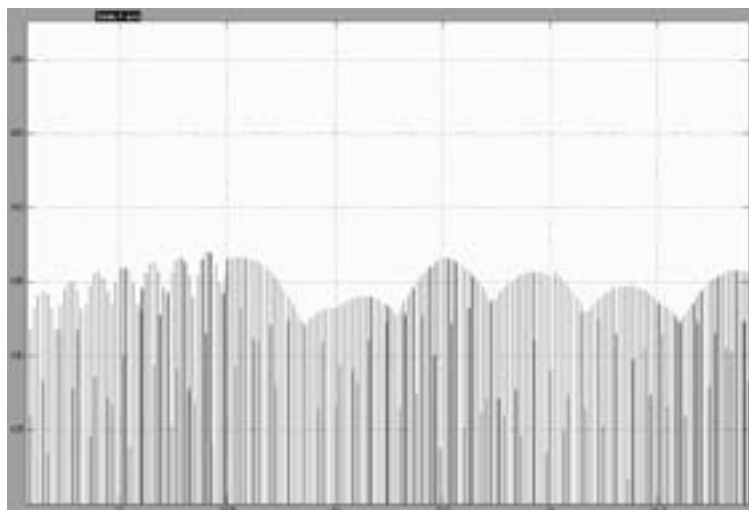


Рисунок 9 – Изменение напряжения по первичному питанию



Рисунок 10 – Изменение напряжения в роторной цепи

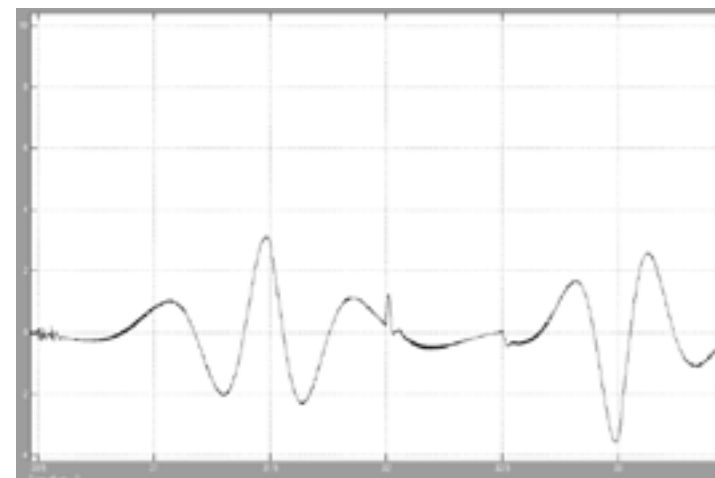


Рисунок 11 – Изменение напряжения в роторной цепи (в увеличенном масштабе)



Рисунок 12 – Экспериментальные исследования отклонения напряжения

По результатам, приведенным на графиках (рис. 9...12), можно сделать вывод о том, что отклонение напряжения находится в норме и не превышает более 10 %, поэтому в дальнейших исследованиях его можно не учитывать.

На основании теоретических исследований можно сделать следующие выводы:

В роторной цепи двигателя целесообразно устанавливать дроссели, т.к. при динамических ударах скорость двигателя остается номинальной, отклонения составляют не более 3 %.

Для крана ДЭК-251 на механизме подъема установлен электродвигатель мощностью 22 кВт, дроссель целесообразно устанавливать номиналом 0,0022 Гн, т.к. время переходного процесса минимально, а перерегулирование близко к нулевому значению.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPowerSystem и Simulink. – Питер - М., 2008. – 286 с.
2. Алаев Е.Г. Электрооборудование и автоматизация береговых объектов: Методическое пособие к выполнению курсовому проектированию. – Новосибирск: НГАВТ 1993. – 101 с.
3. www.stroy-technika.ru

4. www.drossel.ru
5. СНиП
6. ГОСТ 13109-97 – Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

### *Түйіндеме*

*Мақалада электр жетегіндегі қран қозғалысы барысындағы пайда болатын динамикалық моментіне әсері қарастырылады.*

### *Resume*

*This article examines the impact of the dynamic moment arises when moving the crane on the electric.*

УДК 621.316.174:658.382.3

## **РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВОПРОСОВ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ**

**Б.К. Шапкенов**

*к.т.н., действительный член Всемирной академии наук по комплексной безопасности, профессор,  
Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар,*

**А.Б. Кайдар**

*студент, Инновационный Евразийский университет,  
г. Павлодар,*

**К.Т. Смагулов**

*преподаватель физики, СОШ № 42, г. Павлодар,*

**Ф.Д. Жантемиров, Т.Б. Жакупов**

*учащиеся, СОШ № 42, г. Павлодар*

Настоящая работа выполнялась в соответствии с планом технического развития учебно-лабораторного комплекса кафедры «Электроэнергетика» по дисциплине охрана труда и техника безопасности.

При подготовке электротехнического персонала к работе в действующих электроустановках необходима их подготовка по вопросам электробезопасности с целью обеспечения выполнения организационных и технических мероприятий при производстве работ.

Учитывая, что вопрос охраны труда, вопрос защиты человеческой жизни при работе на электроустановках является актуальным, подавляющее большинство предприятий оказывают этому вопросу должное внимание. Вопросы электробезопасности посвящены целые разделы ПУЭ, ПТЭ и ТБ, имеется много технической литературы [1-9 и др.], а в ряде стран законодательно предписывается установка устройств защитного отключения УЗО в детских садах, школах и местах массового пребывания людей.

Стенд позволяет изучить на практике вопросы электробезопасности при работе в сетях 220/380 В.

Экспериментальный стенд, разработанный на кафедре «Электроэнергетика», позволяет выполнить 6 лабораторных работ и состоит из действующих моделей полусферического, стержневого заземлителей, модели зануления электрического оборудования, самозаземления, УЗО, обеспечивающего отключение сети при прикосновении человека к токоведущим элементам и генератора прямоугольных импульсов с дискретно регулируемой частотой.

Представлены физические модели сопротивления человеческого тела, отражающие нелинейные вольтамперные характеристики, максимально приближенные к реальным условиям.

В работе имеется устройство для экспериментального определения характеристик эквивалентного сопротивления человека, содержащее генератор на частоты 2, 20, 200, 2000 и 20000 Гц, УЗО. Описаны базовые эксперименты, выполняемые на комплекте разработанного лабораторного оборудования. В ходе их воспроизводится работа устройств, обеспечивающих безопасность электроустановок, с одновременной регистрацией параметров электромагнитных процессов в них.

Экспериментальный стенд предназначен для выполнения лабораторных работ по специальностям «Электроэнергетика», «Безопасность жизнедеятельности в техносфере», «Безопасность технологических процессов и производств (по отраслям)» и другим инженерным специальностям.

Оборудование также может быть использовано для обучения учащихся колледжа ИнЕУ на соответствующих специальностях, на семинарах и курсах повышения квалификации электротехнического персонала предприятий и организаций.

Установка позволяет измерять шаговое напряжение при коротких замыканиях на землю, при различных удельных сопротивлениях грунта от 20 до 700 Ом·м.

Потребляемая мощность не более 200 ВА.

Габариты (длина/ширина/высота) 1500х900х300 мм. Масса - 30 кг.

Внешний вид стенда показан на рис. 1.



Рисунок 1 - Фотография стенда для изучения вопросов электробезопасности

При разработке стенда использовались исследования авторов, в частности сопротивления тела человека и физические модели электрического сопротивления тела человека [1,7].

Организм человека, как элемент электрической цепи, представляет собой двухполюсник с переменными во времени активными, реактивными (емкостными) сопротивлениями. Величина этих сопротивлений зависит от многочисленных факторов: напряжения, физиологического состояния организма, состояния кожного покрова, площади соприкосновения и давления, с которым прижимается часть тела или конечности к токоведущим элементам электроустановки, пути протекания тока, фактора внимания и т.д. В общем случае организм человека представляют схемой, отражающей активное и емкостное сопротивление кожи, а также активное сопротивление внутренних органов рисунки 2, а-г. Параметры элементов схемы и их взаимное сочетание у разных исследователей значительно отличаются. Большинство из приводимых в научной литературе схем поддается физическому обоснованию, а некоторые довольно точно отражают зависимость эквивалентного сопротивления тела человека от частоты, напряжения, рода тока.

Эквивалентные электрические схемы сопротивления тела человека с нелинейными полупроводниковыми элементами (динсторами и стабилитронами), имеющими некоторое пороговое напряжения включения рисунки 2, д-з учитывают эффект пробоя кожи при электропоражении. На рисунки 2, а-г изображены классические эквивалентные схемы электрического



сопротивления тела человека. Схемы рисунков 2,а-в разработаны в МГИ (Щуцкий В.И. и др.) и хорошо идентифицируются с реальным объектом – человеком. Изменения импульсов, пропускавшихся через схемы и через человека, при низких напряжениях отличаются мало. Схема рисунок 2, а является базовой, схемы рисунок 2, б, в – развитие первой. На рисунок 2, г (схема Манойлова В.Е. – ЛГУ) параметры кожных покровов – сопротивление  $R_1$  и емкость  $C_1$ , узаны раздельно в каждой точке соприкосновения организма с элементами электрической сети и обозначены одинаково в отличие от схем Щуцкого В.И. – рисунок 2, а-в.

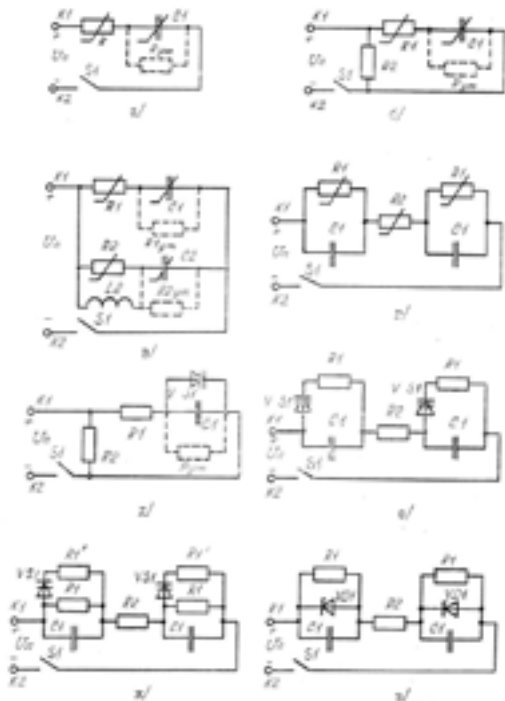


Рисунок 2 - Эквивалентные схемы электрического сопротивления тела человека: а-г – классические эквивалентные схемы электрического сопротивления тела человека, в – схема Щуцкого В.И. и др. (МГИ); г-схема Манойлова В.Е.( ЛГУ); д-з – схемы Шапкенова Б.К.(ИНЕУ)

На рисунок 2, д-з приведены схемы (Шапкенова Б.К.), включающие полупроводниковые элементы. При рассмотрении электрических процессов в этих схемах не учитывается динамическое сопротивление диноисторов  $R_d$ . Считается, что диноисторы работают как идеальные ключи. Допущение правомерно вследствие весьма малого (на 3-4 порядка) значения  $R_d$  по отношению к сопротивлению схем рисунок 2.

Схема, изображенная на рисунок 2,д, является прототипом схемы рисунок 2,а. Нелинейные элементы  $R_1$  и  $C_1$ , схемы рисунок 2,а учтены в схеме рисунок, д путем введения диноистора  $VS_1$ .

Схема рисунок 2,е структурно повторяет схему рисунок 2,г ее недостатком является отсутствие при замыкании ключа  $VS_1$  активного (принужденного) тока, если напряжение питания  $U_n$  меньше напряжения включения  $U_{от,г}$  диноистора. Если  $U_n < U_{от,г}$ , то при замыкании  $S_1$  по цепи будет протекать только емкостной (свободный) ток.

Схемы рисунок 2, ж,з более точно отражают процесс электропоражения человека. При этом схемой рисунок 2, з можно пользоваться до напряжения 20-50 В, схема рисунок 2, ж адекватно отражает электрические процессы процесса электропоражения в диапазоне 0-300 В. При использовании схемы для переменного тока необходимо порговые элементы правого или левого контуров схем развернуть в обратную сторону.

Экспериментальные исследования, (рис. 3 и 4), проведенные на человеке [1,7,8] и электрических сетях, хорошо согласуются до 5% с характеристиками полученными на разработанном стенде.

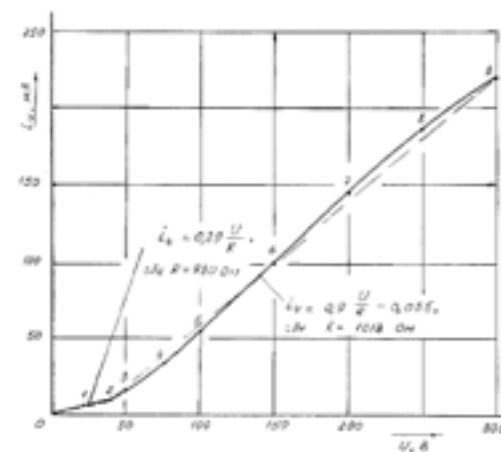


Рисунок 3 - Экспериментальная вольтамперная характеристика человека при кратковременном воздействии постоянного тока

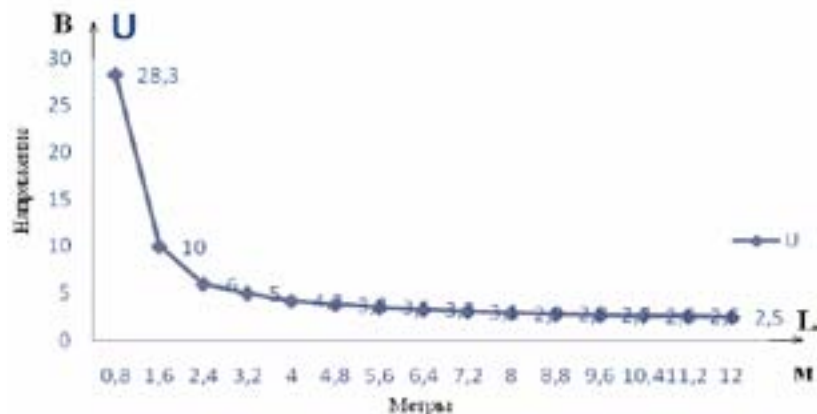


Рисунок 4- Экспериментальные данные с физической модели с полусферическим заземлителем для грунта с удельным сопротивлением  $\rho = 40 \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Применение разработанного стенда позволит углубить студентам теоретические знания в области электробезопасности, путем исследования характеристик электрической сети при заземлении, занулении при различных режимах ее нейтрали, исследования электрического сопротивления тела человека, изучить работу устройства защитного отключения, рассчитать и построить характеристики устройств и моделей, приведенных в работах, что будет способствовать приобретению практических навыков в технике безопасности и охране труда при работе с электрическим оборудованием, находящимся под напряжением.

Стенд, кроме этого, можно использовать при физическом моделировании сетей трехфазных сетей 220/380 В при подготовке магистерских диссертационных работ, посвященных вопросам электробезопасности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шапкенов Б.К. Охрана труда и техника безопасности для энергетиков. Учебник. Павлодар: ЭКО, 2009. – 514 с.
2. Шапкенов Б.К., Кайдар А.Б. Бифункциональные системы промышленной и бытовой автоматики. Материалы международной научно-практической конференции «Индустриально-инновационное развитие на современном этапе: состояние и перспективы». - Павлодар, 2009. - с. 75-78.
3. Шапкенов Б.К. Обеспечение непрерывного функционирования предприятий при отключении электроэнергии Междунар науч-практич конф «Снижение рисков и ликвидация последствий ЧС природ и техноген характера – приоритетные направления социальной безопасности и устойчивого развития в северных регионах РК, - Павлодар, 2009, - с. 68-73.

4. Шапкенов Б.К., Титов М.В., Кайдар А.Б. Особенности энергоснабжения нефтегазовых объектов. Международная научно-техническая конференция в Тюменском нефтегазовом университете. 2009. - 111-114/4с

5. Шапкенов Б.К. Многоуровневая защита деятельности предприятий от аварий и негативных факторов» Журнал «Комплексная безопасность». № 10, 2009, - с. 115-119.

6. Шапкенов Б.К. Снижение рисков в системах электроснабжения и коммуникациях категоризированных предприятий Материалы междунар. науч-теоретич. конф. «III Торайгыровские чтения» 3 том, 2009 с. 466-475.

7. Щуцкий В.И., Шапкенов Б.К. Разработка, исследования физических моделей электрического сопротивления тела человека с пороговыми элементами. Тезисы докл обл. научно-технич. конф. «Электрификация и комплексная механизация производства», - Рудный, 1990, - с. 28-30.

8. Шапкенов Б.К. Влияние скорости изменения напряжения на величину травмирующего тока. Тезисы докл обл. научно-технич. конф. «Электрификация и комплексная механизация производства», - Рудный, 1990., - 78-80 с.

9. Щуцкий В.И., Шапкенов Б.К. Улучшение условий электробезопасности при эксплуатации рудничных контактных сетей. Резюме. Национальна научно-техническа конференция с международно участие «Электробезопасност' 90» гр. - Варна-България, - с. 56-60.

## Түйіндеме

Бұл мақала 220/380 В кернеудегі электротехникамен жұмыс істейтіндердің электроқауіпсіздік сұрақтарына арналған. Сонымен қатар «Электроэнергетика» кафедрасында дайындалған, тәжірибелі қолданыста пайдаланылатын эксперименталдық үлгідегі стендтің кошірмесі берілген.

## Resume

This article is dedicated to problems with electrical safety at work of electricians in the networks 220/380 V. A copy of Laboratory bench of experimental model made at the department of «Electricity power engineering» is given.

УДК 62-83: 621.316

## **ОСОБЕННОСТИ БЕЗОПАСНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ**

**А.К. Садыков**

*Департамент по чрезвычайным ситуациям по Павлодарской  
области, г. Павлодар*

**Б.К. Шапкенов**

*Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар*

**В.П. Марковский**

*Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

**А.Б. Кайдар**

*Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар*

Электроустановки являются мощными источниками электромагнитных излучений, буквально пронизывающих все прилегающее к ним пространство. Но зачастую электроустановки и сами подвергаются воздействию мощных внешних электромагнитных излучений. Одной из актуальных является проблема экранирования контрольных кабелей от наведенных напряжений, ухудшающих функционирование микропроцессорных устройств защиты [1].

Основным средством защиты контрольных кабелей от наведенных напряжений является их экранирование, а также выбор правильного способа прокладки с учетом максимально возможного удаления от молниеотводов и силовых кабелей, использование специальных кабельных лотков. Существует несколько типов таких лотков: пластмассовые со вставками из алюминия, пластмассовые с напылением металла, алюминиевые.

В общем случае эффективность металлического экрана (то есть степень ослабления электромагнитного поля) обусловлена двумя его свойствами: поглощением энергии при прохождении электромагнитной волны через проводящую среду и отражением волны на границе раздела двух сред. Оба эти явления зависят как от частоты электромагнитной волны, так и от материала экрана. Лучшее поглощение электромагнитной энергии обеспечивают ферромагнитные материалы, а лучшее отражение электромагнитной волны обеспечивается диамагнитными материалами (медь, алюминий). Эффективность экранирующих свойств ферромагнитных материалов снижается с увеличением напряженности поля из-за насыщения, а эффективность диамагнитных экранов снижается с ростом частоты из-за роста сопротивления. По ряду причин технического и экономического

порядка наибольшее распространение получили экраны в виде медной сетки (оплетки) и различных профилей из алюминия, например, на нефтегазовом месторождении Тенгиз при строительстве «Завода второго поколения» [2].

Поскольку глубина проникновения электромагнитной волны в металл зависит обратно пропорционально от частоты этой волны, то очевидно, что чем толще экранирующая металлическая оболочка, тем для более широкого частотного диапазона она будет эффективно ослаблять электромагнитное поле. Например, если для эффективного экранирования на частоте 500 кГц достаточной является толщина медного экрана около 0,6 мм, то для промышленной частоты 50 Гц необходим медный экран с толщиной стенок уже около 6 см (для ферромагнитного экрана достаточна стенка в 5 мм).

Исходя из изложенного, ясно, что наименьшим экранирующим эффектом обладают пластмассовые лотки с металлическим напылением, широко используемые для прокладки контрольных кабелей. Такая конструкция начинает работать эффективно лишь на частотах 600 МГц и выше. На частотах ниже 200 МГц она вообще не работает. Наводки на контрольные кабели на подстанциях имеют обычно значительно более низкую частоту, чем указанные 200 МГц, поэтому применение пластмассовых лотков с напылением вообще бессмысленно. Вместе с тем алюминиевые лотки и медная оплетка на кабелях все еще способны ослабить наводимые напряжения в десятки раз, и поэтому они нашли широкое применение. Ранее для ослабления наводок в широком диапазоне частот применяли прокладку контрольных кабелей в стальных водопроводных трубах.

В настоящее время в качестве контрольных кабелей используют кабели из сшитого полиэтилена с медными жилами, медной экранирующей сеткой и с проволочной броней, которые обеспечивают заземление и помехоустойчивость. Для высококатегорийных объектов для цепей автоматики и телемеханики используют оптоволоконные кабели [3].

Для успешного функционирования экранированных оболочек необходимо обеспечить стекание наведенного на них заряда в «землю». В идеальном случае потенциал по всей длине экрана должен быть равным потенциалу «земли», поэтому иногда в особо чувствительных высокочастотных электронных цепях применяют многократное заземление экрана кабеля через каждые  $0,2\lambda$  ( $\lambda$  — длина волны электромагнитного поля). При прокладке экранированных кабелей на подстанциях можно использовать такое дополнительное решение, как прокладка параллельно трассе кабелей медной шины выравнивания потенциалов, заземленной с двух сторон. Однако чаще используется простое заземление экрана с одной или с двух сторон (рис. 1).

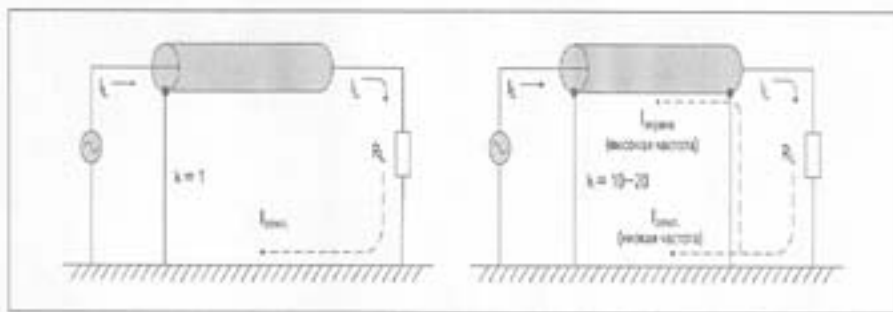


Рисунок 1 - Работа экрана, заземленного с одной и с двух сторон

Заземление экрана контрольного кабеля с одной стороны является эффективным лишь против емкостных наводок (так называемая электростатическая защита) и совершенно неэффективной мерой (коэффициент ослабления помехи  $k = 1$ ) для индуктированных наводок, поскольку этот экран не обеспечивает цепи для замыкания тока помехи (рис.2).



Рисунок 2 - Импульсная наводка через емкостную связь между проводниками

При заземлении экрана с двух сторон появляется дополнительная цепь (экран), обладающая значительно меньшим импедансом для высокочастотного сигнала, чем «земля». В результате рабочий сигнал делится на две части, одна из которых (низкочастотная) по-прежнему возвращается через «землю», а вторая (высокочастотная) — через экран кабеля. Таким образом, для высокочастотной составляющей ток в экране равен току в центральной жиле, направленному встречно, и компенсируется благодаря электромагнитной связи между экраном и центральной жилой. Так обеспечивается защита от высокочастотного излучения с центральной жилы во внешнее пространство (то есть на соседние кабели) с коэффициентом ослабления помехи  $k = 3-20$ . Эта система работает так же эффективно и при внешнем электромагнитном воздействии на экран, при котором наведенный в экране высокочастотный сигнал замыкается через «землю». При выполнении присоединения экрана к

земляной шине следует иметь в виду, что никакие «накрутки» соединительного провода на экран недопустимы, как недопустимо и свертывание в кольца длинного соединительного провода между экраном и земляной шиной. Каждый дополнительный виток этого провода увеличивает импеданс системы заземления на высоких частотах и резко снижает ее эффективность.

Мощным источником помех на подстанциях иногда выступают источники, совершенно не явные и не очевидные. Например, на одной из казахстанских подстанций были зафиксированы случаи ложных отключений одного из высоковольтных выключателей при подаче команды на отключающую катушку другого выключателя. Контрольные кабели, идущие к отключающим катушкам обоих выключателей, были не экранированы и проходили в общем лотке на протяжении примерно 25 м. Эксперименты с осциллографированием напряжений, выполненные на этой подстанции, показали, что на катушке ложно сработавшего выключателя могут наводиться импульсы с амплитудой 500–728 В при подаче управляющего напряжения 220 В на катушку второго выключателя (рис. 3).

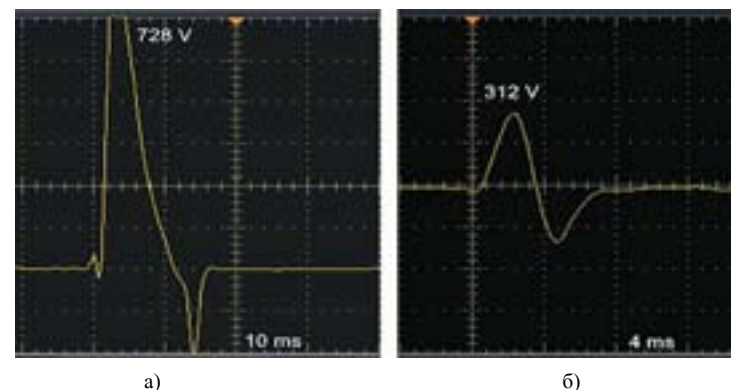


Рисунок 3 - Индуктированные наводки одного контрольного кабеля на другой

Длительность этого наведенного импульса иногда бывает такой, что приводит к ложному срабатыванию выключателя (рис. 3а). Возникновение столь мощной импульсной помехи в цепях управления вызывает у специалистов некоторое недоумение и даже замешательство. Все становится понятным, если вспомнить, что катушка отключения выключателя снабжена ферромагнитным сердечником и имеет довольно значительную индуктивность, а выключатель снабжен блок-контактом, разрывающим ток в этой катушке при срабатывании выключателя. Как известно, энергия, выделяемая при разрыве цепи тока с индуктивностью, может быть весьма значительной. После заземления с двух сторон экрана контрольного кабеля одного из выключателей мощность индуктированного импульса помехи

на втором кабеле значительно уменьшилась (рис. 3б), и случаи ложных срабатываний второго выключателя полностью прекратились.

Проблема с двусторонним заземлением экрана может возникнуть лишь при постоянном протекании через центральный проводник значительных по величине переменных токов (обычно токов промышленной частоты), вызывающих в экране значительные индуктированные токи, приводящие к его сильному нагреву. В результате приходится применять провода большего сечения (чтобы уменьшить нагрев изоляции проводов) или заземлять один из концов экрана через конденсатор. Конденсатор обладает большим сопротивлением для токов промышленной частоты и очень малым сопротивлением для высокочастотной помехи. В некоторых случаях может возникнуть ситуация, когда через заземленный с двух сторон экран протекает значительный импульсный ток помехи, вызывающий наводку в центральной жиле. Также может произойти, например, под действием значительного тока молнии, протекающего в близко расположенных от контрольных кабелей элементах системы заземления или под действием тока близкого короткого замыкания (рис. 4).

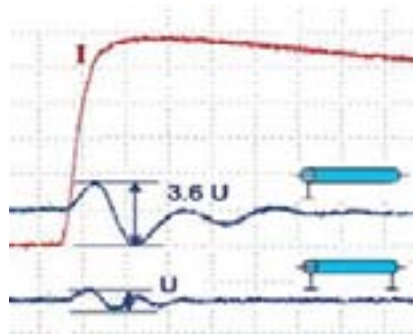


Рисунок 4 - Наводки напряжения на контрольные кабели с односторонним и двусторонним заземлением экрана при протекании импульса тока молнии через заземлитель

При токе молнии в заземлителе 100 кА, даже при заземлении экрана кабеля с двух сторон, пиковое значение напряжения помехи на центральной жиле кабеля может достигать до 8,2 кВ, что значительно превосходит уровень устойчивости микропроцессорных устройств защиты.

В этих случаях необходимо либо изменить трассу пролегания контрольных кабелей (удалить их от силовых коммутационных аппаратов, молниесводов, разрядников), либо уменьшить разность потенциалов между заземленными концами экрана кабеля при воздействии на него мощной импульсной

помехи. Последнее решается путем прокладки вдоль кабелей медной шины, заземленной с двух сторон, которая так и называется — «шина уравнивания потенциалов». Ее действие обусловлено тем, что импеданс медной шины на высоких частотах значительно меньше импеданса «земли» (и даже импеданса экрана), и поэтому основная часть высокочастотного тока импульсной помехи будет протекать через эту шину, а не через экран. Применение этих мер совместно с широким использованием варисторов, рассмотренных выше, позволит надежно защитить микропроцессорные устройства защиты. Эти меры будут наиболее эффективными, если их принимать уже на стадии проектирования и строительства новых объектов электроэнергетики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов М.Б., Кунгуров Д.А., Матвеев М.В., Тарасов В.Н.. Проблемы защиты входных цепей аппаратуры РЗА от мощных импульсных перенапряжений. Москва-Чебоксары, 1997 г. – 139 с.
2. Шапкенов Б.К., Марковский В.П., Кайдар А.Б. Инновационные методы электрообогрева в промышленности. Материалы международной научно-практической конференции «УП чтения Машхур-Жусипа», Павлодар, 2010, 2 т., С. 214-219.
3. Шапкенов Б.К., Марковский В.П., Кайдар А.Б. Повышение эффективности системы транспортирования нефти. Проблемы и достижения в промышленной энергетике: Сборник докладов IX Международной научно-практической конференции в рамках выставки «Энергетика и электротехника – 2010» (24 – 26 ноября 2010 г.). – Екатеринбург: ЗАО «Уральские выставки», 2010. С. 63-67.

### Түйіндеме

Мақалада релелік қорғаныстың микропроцессорлық құрылғыларының жұмыс істеуін нашарлататын келтірілген кернеулерден келетін бақылау кабельдерін экрандау мәселелері жазылған. Электрэнергетика нысандарын пайдалану кезіндегі сенімділікті көтеруге арналған шаралар анықталды.

### Resume

The article describes the problems of shielding control cables from induced voltage, worsening functioning of microprocessor devices of relay protection. Measures for reliability in the operation of power facilities are determined.

УДК 621.3.016.3

## ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

**Б.Б. Утегулов**

*Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

**Б.К. Шапкенов**

*Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар*

**В.П. Марковский**

*Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

**А.Б. Кайдар**

*Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар*

Страны, богатые запасами ископаемого топлива, в особенности Казахстан, смогли превратить свои энергетические ресурсы в значительный объем экспорта, выйдя на рынки за пределы Центральной Азии. В противоположность Казахстану, Кыргызская Республика и Таджикистан, сталкиваются с нехваткой энергоресурсов в зимнее время, а их попытки обеспечить крупные рынки экспорта для летних излишков гидроэнергетических ресурсов не имели большого успеха. Однако, устойчивый экономический рост в других соседних странах, таких как Китай, Иран, Пакистан, Россия, повысили возможность для экспорта значительных объемов электроэнергетических ресурсов за пределы региона.

Результаты прогнозирования потребления в базовом случае кратко приведены в таблице 1 по каждой стране и для Центральной Азии в целом. В краткосрочной перспективе (до 2015 года) ожидается скромный ежегодный рост общего потребления во всех Центрально-азиатских республиках (ЦАР) на 0,31%. Фактически прогнозируется сокращение потребления в Таджикистане, Узбекистане и Кыргызской Республике, в то время как в Казахстане ожидается ежегодный рост на 2,94%. В более долгосрочный период (до 2025г.) все страны за исключением Таджикистана отметят увеличение потребления, приводя к ежегодному общему росту около 1,90% для региона. Казахстан испытает наивысший уровень роста (3,09%), а в Таджикистане произойдет снижение потребления на 0,17% в год по сравнению с уровнем 2003 года.

Таблица 1

### Прогнозы валового электропотребления

Страна	Фактическое	Прогнозпотребления (ГВтч)				Ежегодные уровни роста			
	2003	2010	2015	2020	2025	2003-2010	2003-2015	2003-2020	2003-2025
Казахстан	58,944	72,056	84,034	98,367	115,146	2.91%	3.00%	3.06%	3.09%
Кыргызская Республика	12,145	9,222	10,033	11,296	12,719	-3.86%	-1.58%	-0.43%	0.21%
Таджикистан	16,348	11,267	12,410	13,972	15,731	-5.18%	-2.27%	-0.92%	-0.17%
Узбекистан	48,691	46,597	51,255	56,589	62,479	-0.63%	0.43%	0.89%	1.14%
Всего	136,128	139,142	157,731	180,225	206,075	0.31%	1.24%	1.66%	1.90%

Умелое управление энергетическими ресурсами позволяет без строительства новых электростанций добиться за счет оптимизации структурной схемы электроснабжения, уменьшения потерь, компенсации реактивной помощи существенно снизить минимально-необходимый резерв по мощности.

Поэтому повышение чувствительности управления энергетических объектов системами автоматического управления САУ является актуальной задачей.

Автоматические системы называются инвариантными, если их ошибка равна нулю при любых задающих и возмущающих воздействиях. Рассмотрим следящую систему, на вход которой поступает задающее воздействие  $x(t)$ , а на вход объекта управления - возмущающее воздействие  $v(t)$  (рис. 1).

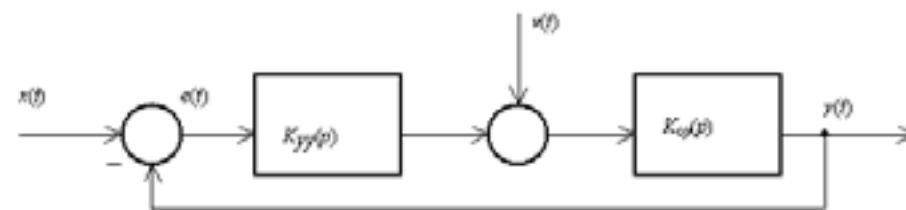


Рисунок 1. Структурная схема САУ энергетическими ресурсами

Основное назначение следящей системы в том, чтобы выходная величина  $y(t)$  с течением времени изменялась в соответствии с изменением задающего воздействия  $x(t)$  и мало зависела от изменения возмущающего воздействия  $v(t)$ .

Уравнение относительно изображения выходной величины  $y(p)$  состоит из двух частей. Каждая из этих частей представляет собой произведение соответствующей передаточной функции на свое воздействие. В рассматриваемом случае

$$y(p) = K_{yx}(p)x(p) + K_{yv}(p)v(p), \quad (1)$$

где

$$K_{yx}(p) = \frac{K_{yy}(p)K_{oy}(p)}{1 + K_{yy}(p)K_{oy}(p)}$$

- передаточная функция замкнутой системы;

$$K_{yy}(p) = \frac{K_{oy}(p)}{1 + K_{yy}(p)K_{oy}(p)}$$

- передаточная функция по возмущающему воздействию.

Поскольку изображение ошибки  $e(p)$  равно:

$$e(p) = x(p) - y(p) \quad (2)$$

то, подставляя  $y(p)$  из (1) в (2) получим уравнение относительно изображения ошибки:

$$e(p) = x(p) - K_{yx}(p)x(p) - K_{yv}(p)v(p) = (1 - K_{yx}(p))x(p) - K_{yv}(p)v(p).$$

Передаточная функция ошибки по задающему воздействию равна:

$$K_{ex}(p) = 1 - K_{yx}(p) = \frac{1}{1 + K_{yy}(p)K_{oy}(p)}$$

а передаточная функция ошибки по возмущающему воздействию отличается лишь знаком от  $K_{yx}(p)$ .

Степень влияния изображений задающего и возмущающего воздействий на изображение выходной величины  $y(p)$  или изображение ошибки  $e(p)$  определяется соответствующими передаточными функциями. Для уменьшения влияния возмущающего воздействия на выходную величину и ошибку следует уменьшать коэффициент преобразования передаточной функции  $K_{yx}(p)$ . Для того, чтобы выходная величина лучше воспроизводила задающее воздействие, или, что эквивалентно, для того, чтобы ошибка была близка к нулю, следует  $K_{yx}(p)$  приближать к единице.

Поскольку управляемый объект задан, то его передаточную функцию  $K_{yx}(p)$  невозможно изменять по своему усмотрению. Мы можем изменять лишь параметры элементов управляющего устройства. При увеличении

$K_{yy}(p)$  передаточная функция  $K_{ev}(p)$  будет уменьшаться, стремясь к нулю, а передаточная функция  $K_{yx}(p)$  будет возрастать, стремясь к 1. Следовательно, в пределе при бесконечно большом коэффициенте преобразования управляющего устройства:

$$1 - K_{yx}(p) = 0, K_{ev}(p) = 0.$$

Эти условия означают, что передаточные функции ошибки по задающему и возмущающему воздействиям равны нулю при всех значениях  $p$ , т.е. тождественно равны нулю. При выполнении этих условий получаем  $y(p) = x(p)$  и  $e(p) = 0$ , что соответствует идеальной системе с нулевой ошибкой. Выходная величина системы перестает зависеть от возмущающего воздействия и начинает точно воспроизводить задающее воздействие.

Таким образом, условием инвариантности системы является тождественное равенство нулю передаточных функций ошибки по задающему и возмущающему воздействиям. Условия инвариантности состоят из условия компенсации - тождественного обращения в нуль передаточной функции ошибки по возмущающему воздействию  $K_{ev}(p) = 0$  и условия воспроизведения - тождественного обращения в нуль передаточной функции ошибки по задающему воздействию.

Если в автоматической системе выполняется какое-либо одно из этих условий, то систему можно назвать частично инвариантной.

Инвариантные и частично инвариантные системы представляют собой идеальные системы. Такие системы как правило физически нереализуемы. Однако знакомство с такими идеальными системами весьма важно, так как они определяют тот предел, к которому следует приближаться при желании синтезировать высококачественные системы с учетом реальных возможностей и ограничений.

Чувствительность автоматических систем характеризует влияние изменений параметров элементов на их свойства. Вариации элемента автоматической системы приводит к изменению его передаточной функции, а это в свою очередь вызывает изменение передаточной функции всей замкнутой автоматизированной системы, а значит, в конечном итоге, и изменение величин, характеризующих ее состояние. Для количественного учета всех этих служат функции чувствительности:

$$V_{K_e}^{K_{yx}}(p) = \frac{dK_{yx}(p)}{dK_e(p)}$$

Часто удобнее рассматривать логарифмическую функцию

чувствительности, или просто чувствительность  $S_{K_{\theta}}^{K_{yx}}$  передаточной функции замкнутой системы  $K_{yx}(p)$  по передаточной функции варьируемого элемента  $K_{\theta}(p)$ , определяемую как

$$S_{K_{\theta}}^{K_{yx}} = \frac{d \ln K_{yx}(p)}{d \ln K_{\theta}(p)}$$

Чувствительность  $S_{K_{\theta}}^{K_{yx}}$  представляет собой отношение относительных изменений передаточной функции замкнутой системы и передаточной функции изменяемого элемента, т.е.

$$S_{K_{\theta}}^{K_{yx}} = \frac{dK_{yx}(p)/K_{yx}(p)}{dK_{\theta}(p)/K_{\theta}(p)}$$

Очевидно, что чувствительность  $S_{K_{\theta}}^{K_{yx}}$  связана с функцией чувствительности  $V_{K_{\theta}}^{K_{yx}}$  соотношением:

$$S_{K_{\theta}}^{K_{yx}}(p) = V_{K_{\theta}}^{K_{yx}}(p) \frac{K_{\theta}(p)}{K_{yx}(p)} \quad (3)$$

Из выражения видно, что чем меньше чувствительность  $S_{K_{\theta}}^{K_{yx}}$  или функция чувствительности  $V_{K_{\theta}}^{K_{yx}}$ , тем меньше влияние передаточной функции  $K_{\theta}(p)$  рассматриваемого элемента на свойства автоматической системы. Говоря об уменьшении или увеличении чувствительности, мы всегда будем подразумевать уменьшение или увеличение ее модуля. Естественно, что чем меньше чувствительность автоматической системы, тем система более высококачественна. Поэтому большой интерес представляют такие структуры автоматических систем, которые обладают малой чувствительностью.

Для вывода общей формы чувствительности  $S_{K_{\theta}}^{K_{yx}}$ , выражающей влияние передаточной функции какого-либо элемента  $K_{\theta}(p)$  на передаточную функцию автоматической системы  $K_{yx}(p)$ , рассмотрим систему (рис. 2).

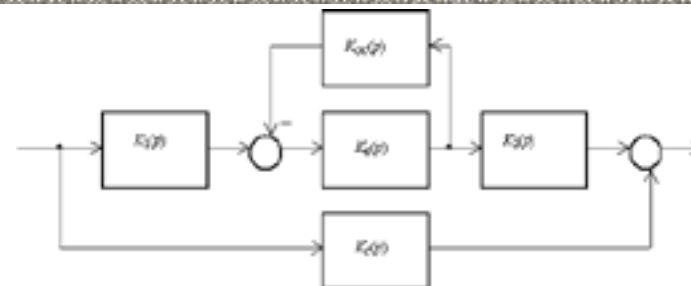


Рисунок 2 - К анализу чувствительности системы

Передаточная функция системы:

$$K_{yx}(p) = K_c(p) + \frac{K_1(p)K_{\theta}(p)K_2(p)}{1 + K_{\theta}(p)K_{oc}(p)} \quad (4)$$

Найдем вначале функцию чувствительности:

$$K_{yx}(p) = K_c(p) + \frac{K_1(p)K_{\theta}(p)K_2(p)}{1 + K_{\theta}(p)K_{oc}(p)} \quad (5)$$

Подставляя (5) в формулу для чувствительности (3) получим:

$$S_{K_{\theta}}^{K_{yx}}(p) = \frac{K_1(p)K_2(p)K_{\theta}(p)}{[1 + K_{\theta}(p)K_{oc}(p)]^2 K_{yx}(p)}$$

Но из выражения передаточной функции (4) следует

$$\frac{K_1(p)K_{\theta}(p)K_2(p)}{1 + K_{\theta}(p)K_{oc}(p)} = K_{yx}(p) - K_c(p)$$

Поэтому окончательно общую формулу чувствительности можно представить в виде:

$$S_{K_{\theta}}^{K_{yx}}(p) = \frac{1 - \frac{K_c(p)}{K_{yx}(p)}}{1 + K_{\theta}(p)K_{oc}(p)}$$



Эта формула лежит в основе исследования чувствительности автоматических систем. Методика исследования чувствительности сводится к выделению варьируемого элемента, контура обратной связи и определению передаточной функции всей системы  $K_{yx}(p)$ , сквозной передаточной функции  $K_c(p)$  и передаточной функции варьируемого элемента с учетом отрицательной обратной связи  $OOC K_b(p) \times K_{oc}(p)$ .

Как правило, в автоматических системах варьируемым элементом является управляемый объект. Рассмотрим рис. 3.

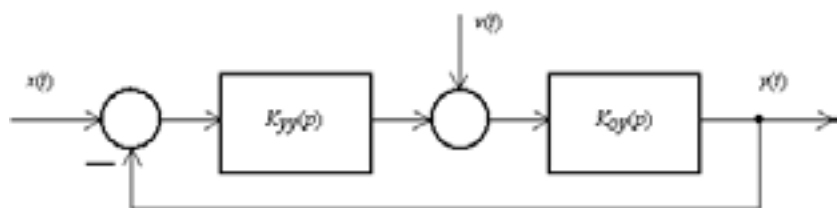


Рисунок 3 - Блок-схема системы управления

Для данной системы  $K_c(p) = 0$ , следовательно:

$$S_{K_{oc}}^{K_{yx}}(p) = \frac{1}{1 + K_{oy}(p)K_{yy}(p)}$$

И чувствительность следящей системы по отношению к управляемому объекту определяется коэффициентом преобразования управляющего устройства.

Сопоставляя данное выражение с выражением передаточной функции ошибки по задающему воздействию, заключаем, что для обычной системы:

$$S_{K_{oy}}^{K_{yx}}(p) = 1 - K_{yx}(p)$$

Таким образом, чувствительность САУ по отношению к управляемому объекту равна передаточной функции ошибки по задающему воздействию.

Из основной формулы чувствительности можно установить два пути уменьшения чувствительности автоматических систем.

Первый путь состоит в таком изменении передаточной функции системы  $K_{yx}(p)$ , при котором она приближалась бы к передаточной функции части системы, не зависящей от варьируемого элемента. По существу этот путь связан с компенсацией изменений варьируемого элемента, т.е. с изменением эффекта, вызываемого вариацией элемента, и созданием соответствующего

компенсирующего воздействия. Классическим примером реализации этого пути является известная мостовая схема компенсации.

Второй путь состоит в увеличении коэффициента усиления контура обратной связи. При стремлении усиления к бесконечности чувствительность по отношению к управляемому объекту будет стремиться к нулю.

Системы нулевой чувствительности или, что эквивалентно, системы с нулевой ошибкой представляют собой идеальные системы, и если бы можно было бы их осуществить, то многие проблемы теории автоматических систем были бы решены либо отпали за ненадобностью. К сожалению, однако, на пути осуществления таких идеальных систем возникает множество препятствий и далеко не все они могут быть преодолены. Поэтому эти идеальные системы могут служить лишь ориентиром, к которому следует стремиться настолько, насколько позволяют нам законы природы и различного рода ограничения, которые вызваны ограниченностью энергетических ресурсов, ограниченным диапазоном изменений величин, характеризующих состояние системы и т.д.

Нестационарными линейными системами (системами с переменными параметрами) называются такие системы, все звенья которых описываются только обыкновенными линейными дифференциальными уравнениями, причем все или часть коэффициентов в этих уравнениях меняются со временем.

Поскольку в реальных системах в процессе эксплуатации параметры меняются, то все реальные системы являются в той или иной мере нестационарными. Примерами нестационарных систем могут служить: ракета, масса которой в течение полета изменяется в связи с выгоранием топлива; система управления полетом снаряда, параметры которой могут зависеть от дальности снаряда до цели и изменяться со временем в процессе движения снаряда.

Переменность параметров имеет место в самонастраивающихся системах, где осуществляется автоматическая настройка параметров на оптимальные значения с помощью специальных устройств самонастройки, получающих и перерабатывающих информацию о состоянии системы и внешних воздействиях.

При медленном изменении параметров можно считать “замороженными” и воспользоваться математическим аппаратом, разработанным для систем с постоянными параметрами.

Для оценки степени нестационарности можно применять различные критерии: соотношение среднего периода переменности параметров и времени быстрогодействия системы; скорость изменения параметров, собственную величину или степень нестационарности.

Так, например, если через  $T$  обозначить средний период изменения параметров за полное время наблюдения, а через  $t_n$  - время быстрогодействия автоматической системы, то при условии  $T \gg t_n$  будем иметь строго систему

с постоянными параметрами; при  $T = t_n$  – квазистационарную систему, а при  $T \ll t_n$  – нестационарную систему.

Поведение системы с переменными параметрами описывается линейным дифференциальным уравнением с коэффициентами  $a_k$  и  $b_k$ , зависящими от времени:

$$a_0(t)y(t) + a_1(t)y'(t) + \dots + a_n(t)y^{(n)}(t) = b_0(t)x(t) + b_1(t)x'(t) + \dots + b_m(t)x^{(m)}(t)$$

Например, в случае фильтра низких частот (колебательного звена):

$$y(t) + 2\xi\omega(t)y'(t) + \omega^2(t)y(t) = \omega^2(t)x(t)$$

Оптимальная фильтрация при изменении с течением времени статистических характеристик полезного сигнала и шума может быть достигнута путем непрерывной перестройки собственной частоты фильтра  $\omega(t)$ , благодаря чему изменяется его полоса пропускания.

Рассмотрим САУ, объект управления которой имеет переменные параметры (рис.4).

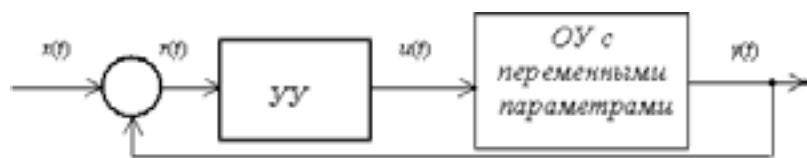


Рисунок 4 - Нестационарная САУ энергетического объекта

Уравнения измерителя рассогласования, ОУ и УУ соответственно имеют вид:

$$r(t) = x(t) - y(t)$$

$$T_2 \dot{u}(t) + u(t) = K(T_1 \dot{r}(t) + r(t))$$

$$\alpha_2(t)\ddot{y}(t) + \alpha_1(t)\dot{y}(t) + \alpha_0(t)y(t) = \beta_0(t)u(t)$$

Путем алгебраических преобразований получаем уравнение разомкнутой системы:

$$T_2 \left( \frac{\alpha_2(t)}{\beta_0(t)} \right) p^3 y(p) + T_2 \left( \frac{\alpha_1(t)}{\beta_0(t)} \right) p^2 y(p) + T_2 \left( \frac{\alpha_0(t)}{\beta_0(t)} \right) p^2 y(p) + T_2 \left( \frac{\alpha_1(t)}{\beta_0(t)} \right) p y(p) + T_2 \left( \frac{\alpha_0(t)}{\beta_0(t)} \right) y(p) + \frac{\alpha_2(t)}{\beta_0(t)} p^2 y(p) + \frac{\alpha_1(t)}{\beta_0(t)} p y(p) + \frac{\alpha_0(t)}{\beta_0(t)} y(p) = K(T_1 p + 1)r(p)$$

Из уравнения можно найти передаточные функции элементов системы:

$$K_{yy}(p) = K \frac{T_1 + 1}{T_2 p + 1}$$

$$K_{ou}(p) = \frac{\beta_0(t)}{\alpha_2(t)p^2 + \alpha_1(t)p + \alpha_0(t)}$$

Несмотря на то, что элементы САУ включаем последовательно, их передаточные функции нельзя перемножать для получения передаточной функции системы, как это имеет место для систем с постоянными параметрами. В нестационарных системах нельзя оценивать качество переходного режима по переходной характеристике, т.к. ее вид будет зависеть от момента подачи на вход системы единичной функции. Так, например, для момента  $t_1$  переходная характеристика может иметь монотонный характер, а для  $t_2$  – колебательный (рис 5).

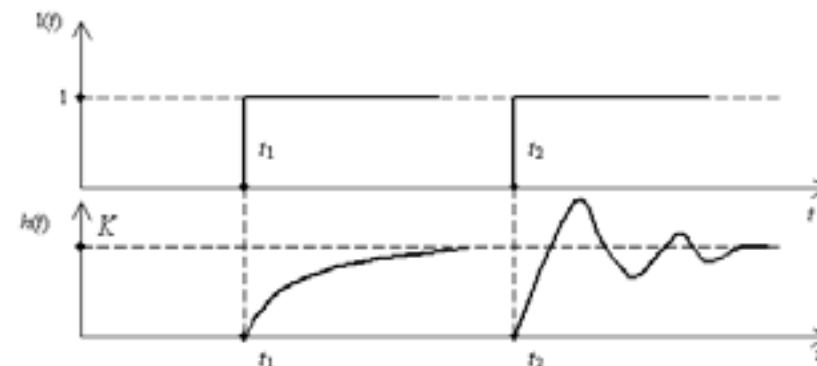


Рисунок 5 - Переходные характеристики нестационарной системы

Частотные характеристики нестационарных систем также зависят от времени. Например, если постоянная времени апериодического звена  $T$  в процессе работы системы увеличивается, то система становится более узкополосной.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Утегулов Б.Б., Мишина Е.В., Ткаченко В.В., Ткаченко Л.В. Характеристика систем внутреннего электроснабжения промышленных предприятий // Вестник ПГУ. 2001. № 3. – С. 72-76.
2. Калиев Б.З. Прогнозирование графика электрических нагрузок// Материалы международной научно-практической конференции «Индустриально-инновационное развитие на современном этапе: состояние и перспективы». — Павлодар. 2009. — С. 18-20.
2. Шапкенов Б.К., Марковский В.П., Кайдар А.Б. Инновационные методы электрообогрева в промышленности. Материалы международной научно-практической конференции «УП чтения Машхур-Жусипа», Павлодар, 2010, 2 т., с. 214-219.

### Түйіндеме

*Берілген мақалада басқару жүйелерінің инварианттылығы, автоматты басқару жүйелерінің сезімталдығы, стационарлы емес басқару жүйелері мен олардың математикалық үлгілерінің және стационарлы емес жүйелердің өтпелі сипаттамаларды сұрақтары қарастылған.*

### Resume

*The given article deals with the questions of invariance of management systems, sensitivity of automatic control systems, time-varying control systems and their mathematical models and transient response of time-varying systems.*

## НАШИ АВТОРЫ

*Алигожина Дина Амангельдыевна* – мастер производственного обучения, кафедра «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды», Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Балабеков М.О.* - инженер, Академический инновационный университет, г. Шымкент.

*Белоглазов Владимир Петрович* - к.т.н., доцент, кафедра «Теплоэнергетика», Омский государственный технический университет

*Белоглазова Любовь Владимировна* - студент, Омский государственный технический университет, г. Омск.

*Беляков Виталий Евгеньевич* – ст. преподаватель, Омский институт водного транспорта, Российская Федерация, г. Омск.

*Глазырин Сергей Александрович* - к.т.н., доцент, энергетический факультет, кафедра «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Глазырина Наталья Сергеевна* - магистр информатики, ст. преподаватель, факультет физики, математики и информационных технологий, кафедра «Вычислительная техника и программирование», Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Гоненко Татьяна Владимировна* – к.т.н., доцент, кафедра «Автоматизация и управление», Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Дроздова Наталья Константиновна* – ст. преподаватель, кафедра «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды», Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Жакунов Т.Б.* - учащийся, СОШ № 42, г. Павлодар.

*Жаитмиров Ф.Д.* – учащийся, СОШ № 42, г. Павлодар.

*Звоицов Алексей Сергеевич* – студент группы РЭИТ-302.

*Исенов Султанбек Сансызбаевич* - к.т.н., и.о. доцента кафедры «Эксплуатация электрооборудования», Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Астана.

*Исупова Наталья Александровна* - доцент, кафедра «Автоматизация и управление», Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

*Кайдар Аргын Бауыржанович* - студент, Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар.

*Косогоров Анатолий Павлович* - к.т.н., профессор, кафедра «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

*Марковский Вадим Павлович* - к.т.н., профессор, кафедра Электроэнергетики, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Машевский Сергей Александрович** - техник-программист, студент, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Мустафина Раиса Мухаметжаровна** – к.т.н., профессор, кафедра «Радиотехника и телекоммуникации», Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Новожилов Александр Николаевич** - д.т.н., профессор, кафедра «Автоматизация и управление», Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Оришевская Елена Вячеславовна** - ст. преподаватель, кафедра «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Раматуллаева Лаззат Имамадиновна** – к.т.н., ст. преподаватель Академический инновационный университет.

**Садыков Акан Кабдулович** – начальник городского управления по чрезвычайным ситуациям Департамента по ЧС по Павлодарской области.

**Смагулов К.Т.** - преподаватель физики, СОШ № 42, г. Павлодар.

**Танат Азамат Хапбасулы** – магистр электроэнергетики.

**Утегулов Болатбек Бахитжанович** – д.т.н., профессор, кафедра Электроэнергетики, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Шеломенцев Андрей Сергеевич** - студент, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Щербаков Виталий Сергеевич** – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация производственных процессов и электротехника», Сибирская государственная автомобильная академия, Российская Федерация, г. Омск.

**Шапкенов Бауыржан Кайдарович** - действительный член Всемирной академии наук по комплексной безопасности, к.т.н., профессор, кафедра Электроэнергетики, Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар.

**Хацевский Владимир Филатович** – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация и управление», Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

**Хацевский Константин Владимирович** – к.т.н., доцент, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», Омский государственный технический университет, Российская Федерация, г. Омск.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

(“Вестник ПГУ”, “Наука и техника Казахстана”, “Өлкетану-Краеведение”)

1. В журналы принимаются рукописи статей по всем научным направлениям в 1 экземпляре, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с полуторным межстрочным интервалом, с полями 3 см со всех сторон листа и дискета со всеми материалами в текстовом редакторе “Word 7,0 ('97, 2000) для Windows”.

2. Общий объем рукописи, включая аннотацию, литературу, таблицы и рисунки, не должен превышать **8-10 страниц**.

3. Статья должна сопровождаться рецензией доктора или кандидата наук для авторов, не имеющих ученой степени.

4. Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами: - УДК по таблицам универсальной десятичной классификации;

- название статьи: кегль -14 пунктов, гарнитура - **Times New Roman Cyr** (для русского, английского и немецкого языков), **KZ Times New Roman** (для казахского языка), заглавные, жирные, абзац центрованный;

- инициалы и фамилия(-и) автора(-ов), полное название учреждения: кегль - 12 пунктов, гарнитура - Arial (для русского, английского и немецкого языков), KZ Arial (для казахского языка), абзац центрованный;

- аннотация на казахском, русском и английском языках: кегль - 10 пунктов, гарнитура - Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка), курсив, отступ слева-справа - 1 см, одинарный межстрочный интервал;

- текст статьи: кегль - 12 пунктов, гарнитура - Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка), полуторный межстрочный интервал;

- список использованной литературы (ссылки и примечания в рукописи обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). Список литературы должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ 7.1-84.- **например:**

### ЛИТЕРАТУРА

1. Автор. Название статьи // Название журнала. Год издания. Том (например, Т.26.) номер (например, № 3.) страница (например С. 34. или С. 15-24.)

2. Андреева С.А. Название книги. Место издания (например, М.:) Издательство (например, Наука,) год издания. Общее число страниц в книге (например, 239 с.) или конкретная страница (например, С. 67.)

**На отдельной странице** (в бумажном и электронном варианте) приводятся сведения об авторе: - Ф.И.О. полностью, ученая степень и ученое звание, место работы (для публикации в разделе “Наши авторы”);

- полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, E-mail (для связи редакции с авторами, не публикуются);

- название статьи и фамилия (-и) автора(-ов) на казахском, русском и английском языках (для “Содержания”).

4. Иллюстрации. Перечень рисунков и подрисовочные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

5. Математические формулы должны быть набраны как Microsoft Equation (каждая формула - один объект).

6. Автор просматривает и визирует гранки статьи и несет ответственность за содержание статьи.

7. Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи. Рукописи и дискеты не возвращаются. Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.

8. Рукопись и дискету с материалами следует направлять по адресу:

140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64,

Павлодарский государственный университет  
им. С.Торайгырова,

Издательство «КЕРЕКУ»

Тел. (8 7182) 67-36-69

E-mail: [publish@psu.kz](mailto:publish@psu.kz)

Теруге 17.03.2011 ж. жіберілді. Басуға 25.03.2011 ж. қол қойылды.

Форматы 70x100 1/16. Кітап-журнал қағазы.

Көлемі шартты 6,97 б.т. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген М.Б. Рахимова

Корректорлар: Б.Б. Әубәкірова, М.А. Джумадиева, А.Р. Омарова

Тапсырыс № 1664

Сдано в набор 17.03.2011 г. Подписано в печать 25.03.2010 г.

Формат 70x100 1/16. Бумага книжно-журнальная.

Объем 6,97 ч.-изд. л. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка М.Б. Рахимова

Корректоры: Б.Б. Аубакирова, М.А. Джумадиева, А.Р. Омарова

Заказ № 1664

«КЕРЕКУ» баспасы

С. Торайгыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті

140008, Павлодар қ., Ломов қ., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: [publish@psu.kz](mailto:publish@psu.kz)