

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
ÕÀÁÀÐØ ÛÑÛ

ÂÃÑÒÍ ÈÊ Ì ÑÓ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СЕРИЯ

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.Е., 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 диски не возвращаются.
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник ПГУ» обязательна.

МАЗМҰНЫ

К.К. Әбішев

Құрылыс-жол машинасының ауырлық центрінің координатасын анықтау мәселесі

О.А. Андреева, А.В. Нефтисов

К-300-240-1 бу турбинасының тармақ бөлігін моделдендіру анализі 12

В.А. Бороденко

MATLAB ортасында жүйелер кедерегісімен моделдендіру 19

Н.К. Дроздова, Л.М. Беляева

Электр энергиясының қоршаған ортаға әсері 31

Б.З. Калиев, Г.М. Садвокасова, Н.Б. Байкенова

Электр энергетикалық жүйелеріндегі өтпелі процестің сандық және саналық критерийлерінің өзара байланысы 34

А.П. Кислов, А.Н. Бергузинов

Основные понятия качества электроэнергии и их связь с работой электротехнологических установок 39

А.П. Кислов, А.Н. Бергузинов

Характеристики режимов энергопотребления электротехнологических установок... 50

А.П. Косоголов, С.А. Машевский, А.С. Шеломенцев

Электр тораптарының кенет ауыспалын үлгілеу 62

А.Н. Новожиллов, Н.А. Исупова, Е.Н. Колесников,

Д.А. Құдабаев, В.А. Черных

Нейтральмен ажыратылған электр желісіндегі коммутационды өтпелі үрдістерді моделдендіру 70

Е.Т. Оразов, К.К. Тохтибакиев, А.А. Саухимов

Электр тартымдық желілерде электр энергия ысырабын имитациялық математикалық моделдеу..... 78

Д.Ж. Сатыбалдина

Ақпараттық қауіпсіздік қауіп-қатерінің әсерінен туындаған шығынды бағалау әдістерін жасау 87

А.О. Юсупова, А.А. Бектасова

Жілілік және фазалық модуляцияны спектрді талдау радиотехникалық шынжырдың жүк көтергіш сигналдары 94

А. Нұржауов

Машина-трактор агрегаты массаларының тербелістерін жиілік алқабында зерттеу...

Наши авторы..... 150

Правила для авторов 152

СОДЕРЖАНИЕ

К.К. Абишев

К вопросу определения координаты центра тяжести строительно-дорожной машины 9

О.А. Андреева, А.В. Нефтисов

Анализ модернизации проточной части паровой турбины К-300-240-1 12

В.А. Бороденко

Моделирование систем с запаздыванием в среде MATLAB 19

Н.К. Дроздова, Л.М. Беляева

Воздействие электрической энергии на окружающую среду 31

Б.З. Калиев, Г.М. Садвокасова, Н.Б. Байкенова

Взаимосвязь качественных и количественных критериев переходного процесса в электроэнергетических системах (ЭЭС) 34

А.П. Кислов, А.Н. Бергузинов

Основные понятия качества электроэнергии и их связь с работой электротехнологических установок 39

А.П. Кислов, А.Н. Бергузинов

Характеристики режимов энергопотребления электротехнологических установок... 50

А.П. Козогоров, С.А. Машевский, А.С. Шеломенцев

Моделирование резкопеременных нагрузок электрических систем 62

А.Н. Новожиллов, Н.А. Исупова, Е.Н. Колесников,**Д.А. Кудабиев, В.А. Черных**

Моделирование коммутационных переходных процессов в электрических сетях с изолированной нейтралью 70

Е.Т. Оразов, К.К. Тохтибакиев, А.А. Саухимов

Имитационное моделирование потерь электроэнергии в тяговых сетях 78

Д.Ж. Сатыбалдина

Разработка методов оценки ущерба от воздействия угроз информационной безопасности 87

А.О. Юсупова, А.А. Бектасова

Анализ спектра частотной и фазовой модуляции несущих сигналов радиотехнической цепи 94

А. Нуржауов

Исследование колебаний масс машинно-тракторного агрегата в частотной области.

Наши авторы 150

Правила для авторов 152

CONTENT

K.K. Abishev

On the determination of the coordinates of centre of gravity in road building machine ...9

Andreeva O.A., Nefitsov A.V.

The analysis of modernization of a flowing part of the steam

turbine K-300-240-1 12

V.A. Borodenko

Modelling of systems with delay by MATLAB..... 19

N.K. Drozdova, Л.М. Belyayeva

Electric energy influence on environment 31

B.Z. Kaliyev, G.M. Sadvokasova, N.B. Baukenova

Correlation of the qualitative and quantitative criteria of the transformation process in

electric power systems (EPS)..... 34

A.P. Kislov, A.N. Berguzinov

Основные понятия качества электроэнергии и их связь с работой

электротехнологических установок 39

A.P. Kislov, A.N. Berguzinov

Характеристики режимов энергопотребления

электротехнологических установок 50

A.P. Kosogorov, S.A. Mashevsky, A.S. Shelomencev

Modelling of sharply variable loadings of electric systems..... 62

A.N. Novozhilov, N.A. Isupova, E.N. Kolesnikov,***D.A. Kudabaev, V.A. Chernih***

The analysis of methods of modeling of switching transients in electric networks with

the isolated neutral 70

E.T. Orazov, K.K. Tohtibakiev, A.A. Sauhimov

Simulation modeling of electricity losses in traction networks 78

D.Zh. Satybaldina

Development of the estimation methods of the impacts from realization of the

information security threats 87

A.O. Ussupova, A.A. Bektasova

Spectrum analysis of frequency and phase modulation carrying radio signals of the

circuit 94

A. Nurzhauov

Investigation of the oscillation of the mass of tractor and agricultural mashine in the

frequentativle region 150

Our authors..... 150

Rules for authors..... 152

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТЫ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНОЙ МАШИНЫ

К.К. Абишев

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова

Существенное влияние на опорную проходимость строительно-дорожной машины оказывает положения центра тяжести. Причем это влияние ощутимо проявляется на всех типах грунтов и почв.

Для определения рациональной координаты расположения центра тяжести строительно-дорожной машины рассмотрим неустановившееся движение по наклонной поверхности (рисунок 1).

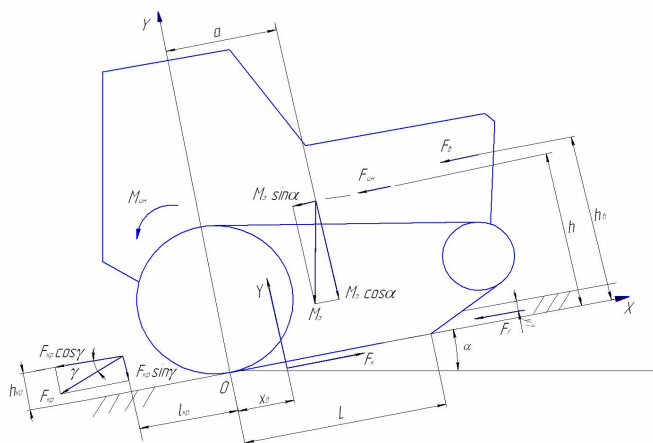


Рисунок 1 – Схема сил и моментов, действующих на гусеничную строительно-дорожную машину

При неустановившемся движении на строительно-дорожную машину действуют следующие силы и моменты: вес отдельных частей базовой и навесной машин (агрегата), силы инерции агрегата и моменты касательных сил инерции вращающихся масс строительно-дорожной машины в целом, тягосе сопротивление агрегатируемой машины и реакции грунта на движитель. Силами сопротивления воздуха можно пренебречь вследствие сравнительно малых скоростей движения гусеничных строительно-дорожных машин [1].

Составим уравнение моментов внешних сил и реакций, действующих на строительно-дорожную машину относительно точки 0:

$$\sum M_0 = M_3(a_0 \cos \alpha - h \sin \alpha) - F_{кр} h_{кр} - F_{кр} l_{кр} \sin \gamma - F_f y - F_{ин} h - M_{ин} - Y x_d = 0;$$

откуда

$$x_d = \frac{M_3(a_0 \cos \alpha - h \sin \alpha) - F_{кр} h_{кр} - F_{кр} l_{кр} \sin \gamma - F_f y - F_{ин} h - M_{ин}}{Y} \quad (1)$$

Составим уравнение проекции всех сил на ось Y

$$\sum Y = Y - M_3 \cos \alpha - F_{кр} \sin \gamma = 0;$$

откуда

$$Y = M_3 \cos \alpha + F_{кр} \sin \gamma \quad (2)$$

Подставляя значение Y из уравнения (2) в формулу (3), получаем

$$x_d = \frac{M_3(a_0 \cos \alpha - h \sin \alpha) - F_{кр} h_{кр} - F_{кр} l_{кр} \sin \gamma - F_f y - F_{ин} h - M_{ин}}{M_3 \cos \alpha + F_{кр} \sin \gamma} \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что при работе с агрегатируемой машиной координата центра давления смещается в сторону от центра тяжести. Это смещение зависит от сопротивления рабочих органов агрегатируемой машины, сил и моментов инерции агрегата, сопротивления движению и угла подъема. Когда же строительно-дорожная машина находится на горизонтальной площадке без движения $x_d = a_0$, то есть центр тяжести и центр давления располагаются на одной вертикальной прямой.

При равномерном движении по горизонтальной поверхности с небольшой глубиной колеи

$$x_d = \frac{M_3 a_0 - F_{кр} (h_{кр} + l_{кр} \sin \gamma)}{M_3 + F_{кр} \sin \gamma} \quad (4)$$

Учет наклонного действия крюкового усилия несущественно влияет на точность расчета. Кроме того, в процессе эксплуатации направление силы $F_{кр}$ может быть горизонтальное [2]. В этом случае выражение (4) упрощается, что позволяет выявить наиболее значимые факторы, определяющие расположение центра давления

$$x_d = a_0 - \frac{F_{кр} h_{кр}}{M_3} \quad (5)$$

По результатам исследования многих ученых [3, 4] рациональное положение продольной координаты центра тяжести базовой машины должно находиться в таком месте, при котором его центр давления располагается в середине опорной поверхности гусениц. В соответствии с этим условием

$x_a = \frac{L}{2}$, тогда из уравнения (5) получим

$$a_{0\text{рац}} = \frac{L}{2} + \frac{F_{\text{кр}} h_{\text{кр}}}{M_s}. \quad (6)$$

Из формулы (6) видно, что координата центра тяжести зависит от крутящего усилия и высоты сцепки агрегируемой машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ксеньевич И.П., Скотников В.А., Ляско М.И. Ходовая система - почва - урожай. – М. : Агропромиздат, 1985. – 304 с.
2. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. – М. : КолосС, 2004. – 504 с.
3. Васильев А.В., Докучаева Е.Н., Уткин-Любовцов О.Л. Влияние конструктивных параметров трактора на его тягово-сцепные свойства – М.: Машиностроение, 1969.– 192 с.
4. Нұржауов А. Трактор теориясы негіздері. – Алматы. Республикалық баспа кабинеті, 1996. – 330 б.

Түйіндемe

Бұл мақалада құрылыс-жол машинасының ауырлық центрінің бойлық координатасын анықтау тәсілі келтірілген.

Resume

In the article is described the method of defining of longitudinal coordinates of centre of gravity in road building machine.

АНАЛИЗ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ К-300-240-1.

О.А. Андреева, А.В. Нефтисов

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова

Турбина К-300-240-1 изготовлена на параметры пара $P=23,5$ МПа и $T=833/838$ К, давление пар в конденсаторе $P_k=3,4$ кПа, температуру питательной воды $T_b=538$ К (при полной нагрузке). Эксплуатируется турбина с начальными параметрами пара $P_n=23,5$ МПа и $T_n=813/818$ К в блоке с прямоточным котлом. Турбина состоит из трёх цилиндров. Первый цилиндр - высокого давления – ЦВД. Второй цилиндр - совмещающий часть среднего давления (ЧСД) и один поток части низкого давления (ЧНД) – ЦСНД. Третий – двухпоточный цилиндр низкого давления – ЦНД[1].

Длина последней рабочей лопатки ЧНД 960 мм, а средний диаметр 2480 мм. Ометаемая площадь рабочей лопаткой 7,48 м². Последняя ступень обеспечила сооружение турбины для $P_k \approx 3,5$ кПа из расчёта одного выхода мощностью на 100 МВт, а для более высокого противодействия – 130 МВт на один выход. Удельная паровая нагрузка последнего рабочего колеса при $P_k = 3,5$ кПа – 25 т/(м²·ч). Такая же ступень турбин К-800-240-3 $P_k = 3,5$ кПа эксплуатируется с удельной паровой нагрузкой примерно 31,5 т/(м²·ч). Выходная кинетическая энергия $h_c \approx 35$ кДж/кг.

С момента ввода в эксплуатацию турбины, систематически совершенствовались основные узлы паротурбинной установки К-300-240-1. Главное направление работ – доводка всех узлов до состояния безусловной надёжности, повышения их долговечности и экономичности.

Следствие выполненных работ – увеличение пропускной способности проточной части турбины от 975 до 1050 т/ч и повышение максимальной мощности турбины с 310 до 330 МВт. Основным критерий ограничения максимальной мощности – давление пара на входе в ЧНД, которое не должно превышать 0,264 МПа.

В результате выполненных работ достигнуты высокие технико-экономические показатели турбоустановок К-300-240-1:

- нормативный удельный расход теплоты брутто на выработку электроэнергии (q_b) - 7862,8 и 8122,4 кДж/(кВт·ч) при нагрузках 300 и 120 МВт;

-наработка на отказ – 22037 часов;

-коэффициент технического использования - 0,8982;

-коэффициент готовности - 0,9988.

И это при наработке каждой из восьми турбин свыше 230 тыс. часов и при более чем шестистах остановках и пусках каждого энергоблока.

Исходно-номинальный УРТ на отпущенную электроэнергию в режиме номинальной нагрузки 300 МВт на блоках с турбиной К-300-240-1 при сжигании: природного газа – 311 г/(кВт•ч); мазута – 315,5 г/(кВт•ч).

С целью повышения экономичности и надёжности была выполнена модернизация ЧНД турбины К-300-240-1. Модернизация ЧНД предусматривала замену всех рабочих колес и диафрагм, а также ротора низкого давления (РНД). Новый РНД - цельнокованый, не имеющий центрального сверления и насадных втулок в зоне концевых уплотнений. Цельнокованый РНД по габаритам и весу аналогичен ротору с насадными дисками и не требует дополнительной реконструкции подшипников и других элементов корпусов ЦНД. Конструкция ротора предусматривает цельнокованые полумуфты для соединения с РСНД и ротором генератора[3].

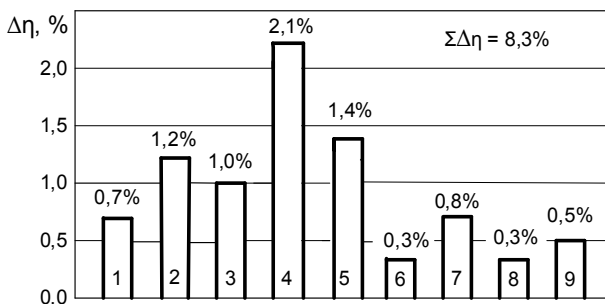
Обойма (внутренний корпус) и выхлопные части ЦНД выполнены сварными с ребрами жесткости и перегородками для установки сопловых аппаратов 1 и 6 ступеней и диафрагм. Все диафрагмы – сварные. Диафрагмы ступеней 5 и 10 с устройствами для влагоудаления, а также для организации камер отборов за ступенями 2, 4, 8 и 9 в каждом потоке.

Внутренний корпус ЦНД используется существующий, так как новые диафрагмы спроектированы специально так, что устанавливаются в существующие проточки в цилиндре.

По данным Ленинградского Металлического Завода (ЛМЗ) модернизация ЦНД приводит к увеличению его средневзвешенного относительного внутреннего КПД по состоянию перед соплами (η_{0i}) на 8,3% (рисунок 1) до 90,3%.

Составляющие повышения экономичности ЦНД:

- удаление демпферных связей из проточной части;
- направляющие лопатки с тангенциальным навалом;
- цельнофрезерованные бандажи, сварные диафрагмы;
- согласование поточных и скелетных углов;
- плавные меридиональные обводы;
- отсос плёночной влаги;
- модернизация выхлопного патрубка;
- развитые диафрагменные уплотнения;
- новая конструкция надбандажных уплотнений[4]



1 – удаление демпферных связей из проточной части; 2 – направляющие лопатки с тангенциальным навалом; 3 – цельнофрезерованные бандажи, сварные диафрагмы; 4 – согласование поточных и скелетных углов; 5 – плавные меридиональные обводы; 6 – отсос плёночной влаги; 7 – модернизация выхлопного патрубка; 8 – развитые диафрагменные уплотнения; 9 – новая конструкция надбандажных уплотнений.

Рисунок 1 – Составляющие повышения экономичности ЦНД

При уменьшении объемных расходов пара через последнюю ступень η_{0i} ЦНД плавно снижается. При объемном расходе 0,5 номинального η_{0i} ЦНД уменьшается до 67%.

По гарантиям ЛМЗ при расходе свежего пара $G_0 = 937,3$ т/ч после модернизации ЦНД мощность турбины повышается на 6,5 МВт.

Модернизированной турбине присвоено обозначение К-300-240-1М.

В дальнейшем выполнена модернизация всей проточной части турбины К-300-240-1. В тендере на модернизацию участвовали фирмы ОАО «Силловые машины» («СМ») и «ALSTOM Power» («АР»)[2]. В тендерных предложениях претенденты при расходе свежего пара $G_0 = 937,3$ т/ч для расчётных тепловых схем турбоустановок гарантировали:

1) «СМ» - снижение q_T на 309,8 кДж/(кВт·ч) (q_T после модернизации 7553 кДж/(кВт·ч)), повышение мощности турбины на 15,8 МВт;

2) «АР» - q_T после модернизации 7576 кДж/(кВт·ч) (снижение q_T на 287 кДж/(кВт·ч)).

Оба претендента гарантировали длительную максимальную допускаемую мощность турбины 330 МВт при $G_0 = 990$ т/ч. Ротор низкого давления (РНД) турбины «АР» на 25 т тяжелее РНД турбины «СМ» Весовые характеристики роторов турбин представлены в таблице 1.

Таблица 1

Весовые характеристики роторов турбин К-300-240

Ротор	Вес, кг		
	К-300-240-1	Модернизированных турбин по предложениям	
		СМ	АР
Высокого давления (РВД)	9324	12100	-
Среднего давления (РСД)	29300	31593	39550
Низкого давления (РНД)	32060	30178	55000

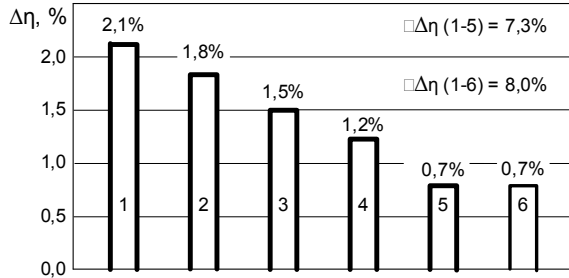
Увеличение веса РНД турбины «АР» повышает статические и динамические нагрузки на опоры турбины и требует реконструкции подшипников и оснащения турбины системой гидropодъёма роторов. Поэтому по условиям надёжности к реализации принято тендерное предложение «СМ».

Модернизация проточной части ЦВД, предложенная «СМ», заключается в полной замене старой проточной части на новую проточную часть с реактивным облопачиванием. Новая проточная часть ЦВД состоит из РС и 19 ступеней реактивного типа. В первом потоке расположены РС и 10 ступеней давления, а во втором – 9 ступеней.

По расчётам ЛМЗ новая проточная часть с реактивным облопачиванием и со старым наружным корпусом ЦВД на номинальном режиме увеличивает КПД ЦВД на 7,3%.

Составляющие повышения экономичности ЦВД (рисунок 2):

- увеличение числа ступеней;
- применение развитых уплотнений;
- увеличение высоты лопаток и уменьшение диаметра проточной части;
- новые эффективные профили направляющих и рабочих лопаток, согласованные с поточными углами;
- уменьшение перепада на регулирующую ступень;
- новый наружный корпус.



1 – увеличение числа ступеней; 2 – применение развитых уплотнений; 3 – увеличение высоты лопаток и уменьшение диаметра проточной части; 4 – новые эффективные профили направляющих и рабочих лопаток, согласованные с поточными углами; 5 – уменьшение перепада на регулируемую ступень; 6 – новый наружный корпус

Рисунок 2 – Составляющие повышения экономичности ЦВД

Вследствие повышения КПД ЦВД q_r брутто турбоустановки снизится на 1,5-2,0%, а мощность турбины при том же расходе теплоты повысится ориентировочно на 4,5 МВт.

Проточная части ЦВД рассчитана на максимальный пропуск свежего пара 990 т/ч, при котором гарантируется максимальная длительная мощность турбины 330 МВт.

Модернизация ЧСД предусматривает замену:

- РСНД;
- направляющего аппарата первой ступени;
- обойм диафрагм;
- диафрагм;
- всех рабочих лопаток на новые рабочие лопатки с цельнофрезерованными бандажами;
- камер и обойм концевых уплотнений.

Модернизированная ЧНД унифицирована с ЧНД турбины К-300-240-1М. Модернизированной турбине с реактивным облопачиванием ЧВД присвоено обозначение К-300-240-6МР.

По данным испытаний в гарантийной точке после модернизации:

$$q_r = 7645,8 \text{ кДж/(кВт}\cdot\text{ч)};$$

$$P = 317,46 \text{ МВт.}$$

По сравнению с типовой энергетической характеристикой турбоагрегата К-300-240 ЛМЗ q_r снижается на 217,0 кДж/(кВт·ч), а мощность повышается на 18,26 МВт.

Исходно-номинальный УРТ на отпущенную электроэнергию энергоблоком с турбиной К-300-240-6МР оценивается при сжигании: природного газа – 303,0 г/(кВт•ч); мазута – 307,0 г/(кВт•ч). Оценка эффективности модернизации паровых турбин К-300-240 после проведенного анализа представлена в таблице 2.

Таблица 2
Оценка эффективности модернизации паровых турбин К-300-240

Тип турбины	Исходно-номинальный УРТ на отпущенную электроэнергию в блоком зависимости от вида сжигаемого топлива, г/(кВт•ч)		Экономия топлива при работе с установленной мощностью 5000 ч/год, т/год
	газ	мазут	
К-300-240-1	311,0*	315,5*	-
К-300-240-1М	305,0*	309,0*	9 000
К-300-240-6МР	303,0**	307,0**	12 000

Важнейшая характеристика эффективности проточной части паровой турбины – сохранение экономичности в межремонтный период. Основное изменение экономичности имеет место в первый год эксплуатации. Для оценки изменения экономичности модернизированной турбины в межремонтный период электростанция и ОАО «Белэнергоремналадка» провели испытания по определению диаграммных КПД ЦВД ($\eta_{oi}^{ЦВД}$) и ЦСД ($\eta_{oi}^{ЦСД}$) через 13 месяцев после модернизации. На момент испытаний модернизированная турбина отработала 8647 часов при 15 пусках и остановах. По данным испытаний за этот период снижение $\eta_{oi}^{ЦВД}$ составило 0,81%. При этом максимальное значение КПД составляет 86,39%, что практически соответствует гарантии ЛМЗ для модернизированной турбины – 86,6%. Снижение $\eta_{oi}^{ЦСД}$ турбины составило 1,14%. Абсолютная величина $\eta_{oi}^{ЦСД}$ после года эксплуатации находится на уровне 93,8%. После модернизации $\eta_{oi}^{ЦСД}$ оценивался в 94,42% при гарантии 94,23%.

Выводы:

Модернизация проточной части турбины привела к таким положительным эффектам как:

- увеличение номинальной мощности энергоблока на 15 МВт с 300 до 315 МВт;
- увеличение вращающегося резерва мощности в энергосистеме на 15 МВт при гарантийной ОАО «Силловые машины» максимально длительной мощности турбины 330 МВт;
- увеличение срока службы турбины на 40 лет;

~~Энергосберегающие технологии в промышленности~~

– снижение удельных капитальных вложений на единицу вводимой номинальной мощности 531 USD/кВт против 1217 USD/кВт (например на ГРЭС по данным РУП «Белнипиэнергопром»). Абсолютная экономия капитальных вложений составляет при этом более 9,91 млн. долларов США;

– снижение удельного расхода теплоты на турбину на 217,7 кДж/(кВт•ч), вследствие чего:

а) уменьшается удельный расход топлива на 8 г/(кВт•ч);

б) обеспечивается экономия топлива в размере 12 тыс. т/год на одном энергоблоке и 96 тыс. т/год при модернизации всех турбин электростанции.

В целом, полная модернизация паровых турбин К-300-240, как и модернизация ЧНД, – одно из наиболее эффективных энергосберегающих мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Косяк Ю.Ф. Паровая турбина К-300-240 ХТГЗ. – Энергоиздат. – 1982. – 272 с.
2. Бойко Е.А. Баженов К.В. Грачев П.А. Тепловые электрические станции. – Красноярск. – 2006. – 251 с.
3. Щегляев А.В. Паровые турбины. – Энергоатомиздат. – 1993. – 331 с.
4. Огурцова А.П. Рыжкова В.К. Паровые турбины. – 1991. – 243 с.

Түйіндеме

Мақалада К-300-240-1 турбинасының кезенді моделдендірдіруі сипатталады және моделдіру дейінгі және кейінгі көрсеткіштерінің сомыстырмашы анализі көрсетілген.

Resume

In article stage-by-stage modernization of the turbine K-300-240-1 is described and the comparative analysis of indicators before modernization is carried out.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ В СРЕДЕ MATLAB

В.А. Бороденко

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова

Описание звеньев чистого запаздывания (транспортной задержки) и систем с запаздыванием при моделировании систем управления в среде MATLAB [1-3], имеет особенности по сравнению с обычными моделями типа TF (передаточная функция) и ZPK (нули-полюса-усиление). Прежде всего, для этого может быть использована символьная запись экспоненциальной функции (отсутствует в ранних версиях программы).

```
>> s = tf('s'); sys = exp(-2*s)*5/(s^2 + 3*s + 2)
```

Transfer function: % транспортная задержка 2 с

$$\frac{\exp(-2*s) * 5}{s^2 + 3 s + 2}$$

или

```
>> s=zpk('s'); sys=exp(-0.12*s)*3*(s+1)/(s^2+2*s+3)
```

Zero/pole/gain: % транспортная задержка 0.12 с

$$\frac{\exp(-0.12*s) * 3 (s+1)}{(s^2 + 2s + 3)}$$

Логическая функция `hasdelay(sys)` проверяет наличие задержки в системе (результат 1 или 0), функция `totaldelay(sys)` вычисляет суммарные задержки.

Используя `iodelay`, `inputdelay` и `outputdelay` свойства LTI-объектов, можно вводить сквозную, входную и выходную чистую задержку (Transport Delay) без специальных звеньев, причем независимо для каждой пары входов/выходов системы. Воспользоваться этими свойствами можно как в процессе создания модели посредством функций `tf`, `zpk`, `ss` или `frd`, так и позднее с помощью команды `set` или приемов объектно-ориентированного программирования.

Рассмотрим в виде иллюстрации описание системы с разными длительностями задержек для каждой пары вход/выход

$$\begin{bmatrix} X_D(s) \\ X_B(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{12.8e^{-1S}}{16.7s+1} & \frac{-18.9e^{-3S}}{21.0s+1} \\ \frac{6.6e^{-7S}}{10.9s+1} & \frac{-19.4e^{-3S}}{14.4s+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R(s) \\ S(s) \end{bmatrix}$$

После ввода всех числителей, знаменателей, сквозной задержки, имен входов InputName и выходов OutputName

```
>> H = tf({12.8 -18.9;6.6 -19.4},...
{[16.7 1] [21 1];[10.9 1] [14.4 1]},'iodelay',[1 3;7 3],...
'inputname',{'R','S'},'outputname',{'Xd','Xb'})
```

получаем результирующую TF-модель многомерной системы

Transfer function from input «R» to output...

$$\text{Xd: } \exp(-1*s) * \frac{12.8}{16.7 s + 1}$$

$$\text{Xb: } \exp(-7*s) * \frac{6.6}{10.9 s + 1}$$

Transfer function from input «S» to output...

$$\text{Xd: } \exp(-3*s) * \frac{-18.9}{21 s + 1}$$

$$\text{Xb: } \exp(-3*s) * \frac{-19.4}{14.4 s + 1}$$

Для определения групповых (одинаковых) задержек моделей TF, ZPK или FRD удобнее использовать свойства inputdelay и outputdelay. Например, при описании командами

```
>> s = tf('s'); H = [1/s ; 2/(s+1)]; % рациональная часть
>> H. inputdelay = 0.1
```

СИСТЕМЫ

$$H(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{s} \\ \frac{2}{s+1} \end{bmatrix} e^{-0.1s}$$

формируется модель с одинаковыми задержками на всех входах

Transfer function from input to output...

$$\#1: \exp(-0.1*s) * \frac{1}{s}$$

$$\#2: \exp(-0.1*s) * \frac{2}{s+1}$$

Если же использовать в подобных случаях свойство `iodelay`, необходимо указывать задержку отдельно для каждого пути

$$\gg H = [1/s ; 2/(s+1)]; H.iodelay = [0.1 ; 0.1];$$

При разных временных задержках более наглядным может быть описание с использованием переменной Лапласа s , например, для ТФ-модели многомерной системы с передаточными функциями

$$H(s) = \begin{bmatrix} e^{-0.1s} \frac{2}{s} & e^{-0.3s} \frac{s+1}{s+10} \\ 10 & e^{-0.2s} \frac{s-1}{s+5} \end{bmatrix}$$

$$\gg s=tf('s');$$

$$\gg H=[\exp(-0.1*s)*2/s, \exp(-0.3*s)*(s+1)/(s+10);...$$

$$10, \exp(-0.2*s)*(s-1)/(s+5)]$$

Transfer function from input 1 to output...

$$\#1: \exp(-0.1*s) * \frac{2}{s}$$

$$\#2: 10$$

Transfer function from input 2 to output...

$$\#1: \exp(-0.3*s) * \frac{s+1}{s+10}$$

$$\#2: \exp(-0.2*s) * \frac{s-1}{s+5}$$

В этом случае MATLAB автоматически распределяет задержки между `iodelay`, `inputdelay` и `outputdelay` свойствами.

```
>> H.iodelay
ans =
    0    0.2000
    0    0.2000
>> H.inputdelay
ans =
    0
    0
>> H.outputdelay
ans =
    0.1000
    0
>> totaldelay(H)
ans =
    0.1000    0.3000
    0    0.2000
```

Функция `pade()` вычисляет рациональную аппроксимацию чистой задержки для непрерывных ЛТИ-моделей, под которой понимают отношение двух многочленов с единичной АЧХ и ФЧХ, близкой к фазовой характеристике звена чистого запаздывания. При обращении `[num, den] = pade (τ, n)` она возвращает Паде-аппроксимацию n-го порядка задержки $\exp(-\tau*s)$ на время

т в виде передаточной функции. Векторы num и den содержат коэффициенты полиномов числителя и знаменателя, расположенные по убыванию степени s. При отсутствии левой части выражения функция строит переходную и фазовую характеристики приближенной модели и сравнивает их с реакцией звена чистого запаздывания в экспоненциальной форме.

Сформируем звено задержки на время 1 с вида e^{-st} , используя аппроксимацию Паде второго порядка

```
>> [num, den]=pade(1, 2); wd=tf(num,den)
```

Transfer function:

$$s^2 - 6s + 12$$

$$s^2 + 6s + 12$$

На рисунке 1 показано расхождение амплитудных и фазовых характеристик реального звена Pure delay транспортной задержки на 1 с и его аппроксимации Паде второго порядка, которое следует учитывать при моделировании. Чем выше порядок аппроксимации, тем точнее воспроизводятся характеристики звена запаздывания, но тем сложнее становится исследуемая система, увеличивается ее порядок.

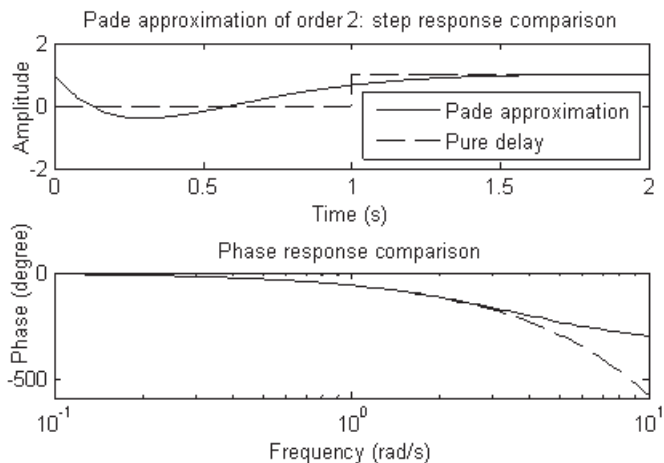


Рисунок 1

При обращении `sysp = pade(sysd, n)` функция заменяет систему `sysd` с задержками в экспоненциальной форме на систему `sysp`, в которой задержки выражены дробью в виде аппроксимации Паде n-го порядка. После такого

преобразования перестают отображать наличие задержки в системе функции `totaldelay()` и `hasdelay()`, зато к разомкнутой системе с задержкой может быть применена функция замыкания обратной связью `feedback()`.

Для модели с множественными задержками, либо размещенными разным образом на входах и выходах, используется более сложное обращение `susp=pade(sysd,ni,no,nio)`, где векторы `ni`, `no` и матрица `nio` определяют порядок аппроксимации независимо для каждого входа (`input`), выхода (`output`) и проходной I/O задержки. При отсутствии задержек на входе, выходе или проходных задержек нужно указывать в пропускаемой позиции пустую матрицу `[]`.

От системы с задержками, имеющую по два входа и выхода

$$H(s) = \begin{bmatrix} \frac{12.8e^{-1s}}{16.7s+1} & \frac{-18.9e^{-3s}}{21.0s+1} \\ \frac{6.6e^{-7s}}{10.9s+1} & \frac{-19.4e^{-3s}}{14.4s+1} \end{bmatrix}$$

перейдем к системе `H` без экспоненциальных функций, задав первый порядок аппроксимации Паде для задержек величиной 1 и 3 с, второй порядок аппроксимации Паде для задержки 7 с.

```
>> W=pade(H,[ ],[ ],[1 1;2 1])
```

Указанная в списке аргументов `H` – это исходная система с задержками в экспоненциальной форме. Новая система `W` не содержит задержек в явном виде, но, тем не менее, воспроизводит их; погрешности воспроизведения зависят от порядка аппроксимации. Размер системы увеличивается на порядок аппроксимации задержки рядом Паде, так, при объекте первого порядка и аппроксимации второго порядка задержки 7 с получается система третьего порядка

Transfer function from input «R» to output...

–12.8 s + 25.6

Xd: -----

16.7 s^2 + 34.4 s + 2

6.6 s^2 – 5.657 s + 1.616

Xb: -----

10.9 s^3 + 10.34 s^2 + 3.527 s + 0.2449

Transfer function from input «S» to output...

$$18.9 s - 12.6$$

Xd: -----

$$21 s^2 + 15 s + 0.6667$$

$$19.4 s - 12.93$$

Xb: -----

$$14.4 s^2 + 10.6 s + 0.6667$$

При преобразовании TF или ZPK объектов в SS модель все матрицы вычисляются с установкой задержки в нуль, а задержка указывается отдельно, при этом ssdata() и dssdata() задержку не отображают.

```
>> s = tf('s'); G = exp(-2*s)*5/(s^2 + 3*s + 2);
```

```
>> gs=ss(G)
```

```
a =
```

```
    x1  x2
x1 -3 -2
x2  1  0
```

```
b =
```

```
    u1
x1  2
x2  0
```

```
c =
```

```
    x1  x2
y1  0 2.5
```

```
d =
```

```
    u1
y1  0
```

Output delays (listed by channel): 2

Модель в пространстве состояний может иметь не только входную InputDelay или выходную OutputDelay, но и внутреннюю InternalDelay задержки. Например, система

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}}(t) &= \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t - \tau) \\ y(t) &= \mathbf{C}\mathbf{x}(t - \theta) + \mathbf{D}\mathbf{u}(t - (\theta + \tau)),\end{aligned}$$

имеет задержку τ между входом и вектором состояний, задержку θ между вектором состояний и выходом.

Внутренняя задержка Internal Delay образуется автоматически при конкатенации подсистем с выходной и входной задержками, охвате элемента с задержкой обратной связью, переводе TF и ZPK моделей с задержкой в пространство состояний. Временные и частотные характеристики систем с внутренней задержкой моделируются точнее, чем при использовании аппроксимации Паде.

Для специального описания подобных систем используется функция `sys = delaysss(a,b,c,d,delayterms)`, в которой структура `delayterms` формирует массив задержек и матриц коэффициентов при задержках дополнительно к обычным матрицам \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} , \mathbf{D}

$$\begin{aligned}\frac{d\mathbf{x}}{dt} &= \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) + \sum_j (\mathbf{A}_j \mathbf{x}(t - \tau_j) + \mathbf{B}_j \mathbf{u}(t - \tau_j)) \\ y(t) &= \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}\mathbf{u}(t) + \sum_j (\mathbf{C}_j \mathbf{x}(t - \tau_j) + \mathbf{D}_j \mathbf{u}(t - \tau_j))\end{aligned}$$

где τ_j , $j=1, \dots, n$ – сами задержки в секундах. Структура `delayterms` содержит поля `a`, `b`, `c`, `d`, `delay`, причем `delayterms(j)` определяет значения τ_j , \mathbf{A}_j , \mathbf{B}_j , \mathbf{C}_j , \mathbf{D}_j . Нулевые матрицы \mathbf{A}_j , \mathbf{B}_j , \mathbf{C}_j , \mathbf{D}_j задаются как пустые `[]`, размеры матриц \mathbf{A}_j , \mathbf{B}_j , \mathbf{C}_j , \mathbf{D}_j и \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} , \mathbf{D} соответствуют друг другу.

Опишем систему с задержками в пространстве состояний

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = -\mathbf{x}(t) - \mathbf{x}(t - 1.2) + 2\mathbf{u}(t - 0.5) \quad y(t) = \mathbf{x}(t - 0.5) + \mathbf{u}(t)$$

Формируем сначала структуру, включающую массив задержек с пустыми (нулевыми) матрицами коэффициентов при задержках

```
>> DelayT = struct('delay',{0.5;1.2},'a',[],'b',[],'c',[],'d',[]);
```

затем заполняем матрицы коэффициентов `a`, `b`, `c`, `d` перед элементами с задержкой, если они не нулевые

```
>> DelayT(1).b = 2; DelayT(1).c = 1; % матрицы при  $\tau = 0.5$  с
>> DelayT(2).a = -1; % матрицы при  $\tau = 1.2$  с
>> sys = delaysss(-1,0,0,1,DelayT) % вводим основные матрицы
```

Можно описывать и сразу матрицы совместно с задержками

```
>> DelayT(1) = struct('delay',0.5,'a',0,'b',2,'c',1,'d',0);
>> DelayT(2) = struct('delay',1.2,'a',-1,'b',0,'c',0,'d',0);
>> sys = delays(-1,0,0,1,DelayT)
```

```
a =
      x1
x1 -2
```

```
b =
      u1
x1  2
```

```
c =
      x1
y1  1
```

```
d =
      u1
y1  1
```

(values computed with all internal delays set to zero)

Internal delays: 0.5 0.5 1.2

Continuous-time model.

Заметим, что матрицы A, B, C, D задержек не содержат, они хранятся отдельно. По указанным матрицам будет построен процесс без запаздывания. Функции `pole`, `zero`, `ssdata`, `get` возвращают значения полюсов, нулей, системных матриц, рассчитанные без имеющейся задержки с использованием аппроксимации Паде нулевого порядка. К командам, не поддерживающим внутренние задержки, относятся `norm`, `isstable`, `initial`, `initialplot`, `balreal`, `balred`, `modred`, `rlocus`, `lqg`, `lqry`, `kalman`, `lqgreg`, `lqgtrack`, `lqi` и `augstate`, с меньшей точностью работают функции `margin` и `allmargin`. Кроме того, для указанных систем не производится преобразование в ZPK и TF модели, не поддерживается работа с SISO Design Tool.

ММО-модели с внутренней задержкой строятся в специальном формате из двух частей – обычной системы в пространстве состояний $H(s)$, снабженной дополнительными выводами, и набора внутренних задержек, связывающих эти выводы (рисунок 2). Число задержек равно числу пар выход/вход дополнительных выводов и ограничено порядком системы, уравнения состояния модели имеют расширенный вид.

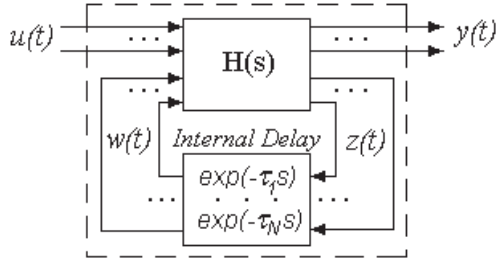


Рисунок 2

$$\begin{aligned}
 E\dot{x} &= Ax + B_1u + B_2w \\
 y &= C_1x + D_{11}u + D_{12}w \\
 z &= C_2x + D_{21}u + D_{22}w \\
 w_i(t) &= z(t - \tau_i)
 \end{aligned}$$

MATLAB переходит к такому представлению MIMO системы автоматически, не требуя участия пользователя, однако можно извлечь модель $H(s)$ и значения матриц A , $B_1 \dots B_2$, $C_1 \dots C_2$, $D_{11} \dots D_{22}$ функцией `getDelayModel()` или изменить некоторые величины функцией `setDelayModel()`. Нельзя изменить число внутренних задержек, так как оно уже заложено в структуре модели, например, в модели w одна внутренняя задержка, но можно изменить ее величину.

```

>> s=tf('s');
>> p = 5*exp(-3.4*s)/(s+1);
>> c = 0.1 * (1 + 1/(5*s));
>> w = feedback(ss(p*c),1);
>> [H,tau] = getDelayModel(w,'lft')
a =
      x1 x2
      x1 -1 0
      x2 1 0

b =
      ? w1
      x1 1 -1
      x2 0 0

```

c =

$$\begin{array}{cc} & x1 & x2 \\ ? & 0 & 0 \\ z1 & 0.5 & 0.1 \end{array}$$

d =

$$\begin{array}{cc} & ? & w1 \\ ? & 0 & 1 \\ z1 & 0 & 0 \end{array}$$

Continuous-time model.

tau =

$$3.4000$$

За счет дополнительных выводов $w1$ и $z1$ для задержки 3.4 с объект H имеет два входа и два выхода, хотя система w в целом имеет по одному входу-выходу. Функции `getDelayModel` и `setDelayModel` (обязательно с прописными M и D в имени, в нарушение заявленного авторами MATLAB правила, что имена функций пишутся только строчными буквами) используются в формах:

```
[H,tau] = getDelayModel(sys,'lft');
```

```
[a,b1,b2,c1,c2,d11,d12,d21,d22,e,tau] = getDelayModel(sys,'mat');
```

`sys = setDelayModel(a,b1,b2,c1,c2,d11,d12,d21,d22,tau)` – без матрицы E , т. е. только для нормированных систем;

`sys = setDelayModel(H,tau)`, где H – специальным образом построенная система $H = ss(a,[b1 \ b2],[c1; \ c2],[d11 \ d12; \ d21 \ d22])$.

Для систем без внутренней задержки часть выведенных командой `getDelayModel` матриц и вектор задержек будут пустыми, вид модели H не будет отличаться от обычного представления.

Поведение системы с внутренней задержкой характеризуется осцилляцией коэффициента усиления (АЧХ) и многократными проворотами вектора $W(j\omega)$ относительно начала координат (рисунок 3).

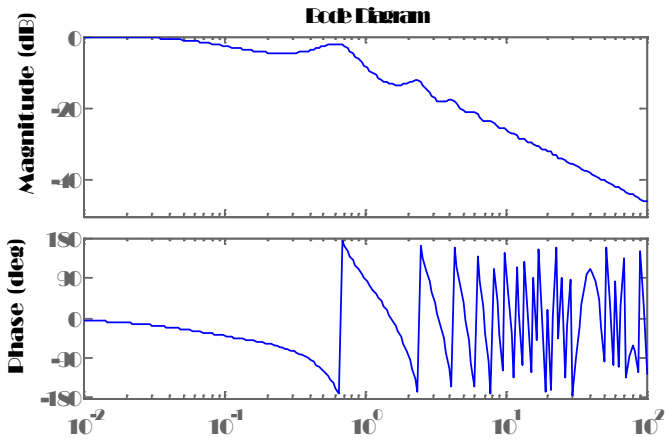


Рисунок 3

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяконов В., Круглов В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. – СПб.: Питер, 2002.
2. Control System Toolbox. Getting Started Guide. – The Math Works, 2010. – 280 с.
3. Бороденко В.А. Практический курс теории линейных систем автоматического регулирования. – Павлодар : Кереку, 2007. – 260 с.

Түйіндеме

MATLAB бағдарламасындағы транспорттық кедергісімен баасқару жүйесінің құрылыс моделдер мәселелері қарастырылды.

Resume

The problems of construction of models of control systems with a transport delay in software product MATLAB are considered.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Н.К. Дроздова, Л.М. Беляева

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

Выполненные в ряде стран мира в последние годы исследования позволяют утверждать, что электромагнитные поля, получаемые в процессе производства, передачи и распределения электрической энергии, могут создавать особое (электромагнитное) загрязнение биосферы. Электромагнитные поля в некоторых случаях приводят к тяжелейшим последствиям, как для живых организмов, так и для растительного мира. Вместе с тем отмечено, что искусственно изменяя электромагнитные условия существования органического мира, можно управлять его жизнеспособностью [1].

До недавнего времени считалось, что электрическая энергия, передаваемая, например, по воздушным ЛЭП, практически не загрязняет окружающую среду, хотя такие факторы, как потеря определенной земельной площади, вырубка лесов, радиопомехи и шумы, сопровождающие транспорт электроэнергии, обязательно учитывают проектировщики. Сегодня, однако, установлено, что электромагнитное поле линий электропередач 3-20 кВ промышленной частоты (50 Гц) неблагоприятно действует на живые организмы и растительный мир [1].

Это влияние на человека пока изучено очень мало. Проведенные исследования показали, что сильное электромагнитное поле вызывает функциональные нарушения сердечно - сосудистой системы. Очень чувствительны к воздействию такого поля кора головного мозга и нервная система человека, функциональные изменения которой влекут за собой напряжение других систем организма, в частности, эндокринного аппарата, а также изменение обменных процессов [1].

Факт скудности растительного и животного мира под воздушными линиями электропередач высокого напряжения красноречиво говорит сам за себя [1].

Ряд научных экспериментов показал, что максимальная напряженность поля под ВЛ - 330 кВ равна 3,5-5 кВ/м, под ВЛ - 500 кВ - 7,5 кВ/м, а под ВЛ - 750 кВ- 10-15 кВ/м.

Неблагоприятное действие электрических полей на организм человека начинает проявляться при напряженности электрического поля 1 кВ/м. Однако пребывание обслуживающего персонала электроустановок промышленной частоты в электрическом поле напряженностью до 5 кВ/м существующими нормами в течение суток не ограничивается [3].

Наряду с биологическим действием, электрическое поле ЛЭП высокого напряжения обуславливает возникновение разрядов между человеком и электрическим предметом, имеющим иной, чем человек, потенциал [1].

Очевидно, что прикосновение человека, изолированного от земли к заземленному предмету (или человека, имеющего контакт с землей, к металлу, изолированному от земли) сопровождается прохождением через человека разрядного тока, который может сопровождаться искровым разрядом [1].

В случае прикосновения к изолированному от земли металлическому предмету большой протяженности (трубопровод, проволочная ограда на деревянных стойках и т.д.) или площади (металлическая крыша деревянного здания) электрический ток, проходящий через человека, может достигать значений, опасных для жизни [1].

Допустимое значение тока, проходящего через человека и обусловленного воздействием электрического поля, составляет 50-60 мкА, что соответствует напряженности электрического поля на высоте роста человека примерно 5 кВ/м [1].

Нормирование электромагнитных полей осуществляют по предельно допустимым уровням напряженности электрического и магнитного полей частотой 50 Гц, в зависимости от времени пребывания в нем, и регламентируются санитарными нормами и правилами выполнения работ в условиях воздействия электрических полей промышленной частоты СанПиН 5802-91 и ГОСТ 12.1.002-84 [4].

Влияние электрических полей переменного тока в условиях населенных пунктов регулируется санитарными нормами и правилами защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемые воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты СанПиН №2971-84 [4].

Уменьшение интенсивности ЭМП на рабочих местах достигается несколькими способами. Прежде всего, при проектировании предусматривается увеличение расстояния между источником излучения и работающими, также устанавливают отражающие или поглощающие экраны между источником и рабочим местом. Применяют сплошные и сетчатые экраны из стали, меди и алюминия. Используются также электропроводные тонкие материалы толщиной 0,01-0,05 мм, а также токопроводящие краски, металлизированные поверхности [4].

В качестве индивидуальных средств защиты применяют экранирующие костюмы, изготовленные из металлизированной защитной ткани. Радиозащитные очки типа ОРЗ-5 ослабляют действие электромагнитного поля в диапазоне длины волн от 1,8 до 150 см. Оправа таких очков изготовлена из губчатого материала и покрыта защитным слоем. Стёкла очков покрыты плёнкой диоксида олова [4].

Для измерения напряжённости электрических и магнитных полей высокой и ультравысокой частот используют приборы ИЭМП-1 и ИЭМП-2.

Измерение напряжённости электрического поля осуществляют с помощью приборов ПЗ-1, ПЗ-16, ПЗ-17 [4].

Измерение напряжённости на рабочих местах производится при аттестации рабочих мест, введении электроустановок в эксплуатацию, реконструкции электроустановок и санитарном контроле условий на рабочих местах [4].

ЛИТЕРАТУРА

1 В. В. Кононенко, В. И. Мишкович, В. В. Муханов, В. Ф. Планидин, П. М. Чеголин. Электротехника и электроника. – Ростов – на – Дону, «Феникс», 2008. – с.559-560, с.778

2 Ливинец Н. П. Справочник энергетика - строителя. – Киев, Будгевэльник, 1988. – с.152-162, с.176

3 Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М., Энергоатомиздат., 2003. – с.160-176, с.287

4 Ю. Г. Сапронов, А. Б. Сыса, В. В. Шахбазян. Безопасность жизнедеятельности. – Москва, Изд-во «Мастерство», 2002. – с.74-76, с. 320.

Түйіндеме

Мақалада электрмагниттік өрісінің қоршаған ортаға әсері

Resume

In article electromagnetic field's influence on environment

ВЗАИМОСВЯЗЬ КАЧЕСТВЕННЫХ И КОЛИЧЕСТВЕННЫХ КРИТЕРИЕВ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ (ЭЭС)

Б.З. Калиев, Г.М. Садвокасова, Н.Б. Байкенова
Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар

Режимы работы электроэнергетических систем, как установившихся, так и переходных, должны соответствовать определенным требованиям.

Важнейшим из них является устойчивое, надежное снабжение потребителей качественной электроэнергией. Поэтому переход электроэнергетической системы от одного режима к другому не должен приводить к резким изменениям напряжения, частоты, т.е. должны выполняться определенное качество переходного процесса [1].

При анализе устойчивости, как известно, переходный процесс должен иметь достаточный запас устойчивости по параметральным показателям:

по напряжению: $\Delta U = U_o - U$;

по углу поворота ротора: $\Delta \delta = \delta_o - \delta$;

по активной мощности: $\Delta P = P_o - P$.

Переходный процесс соответствует устойчивому переходу если:

$$\Delta U^{max} \leq \Delta U_{доп}^{max}; \quad \Delta \delta_{доп} \leq 90^0; \quad \Delta P_{доп} \leq P_{max}$$

При наличии заданных предельных значений можно построить область, в которой должны быть расположены совокупные кривые всевозможных переходных процессов в электроэнергетических системах.

Процесс может быстро заканчиваться и возобновляться новым установившимся режимом или продолжаться длительное время. Здесь следует отметить, что строго установившегося режима не существует. В энергосистеме всегда присутствует флуктуация режимных параметров под воздействием малых возмущений.

С другой стороны, при определенной идеализации, процесс может носить колебательный характер. При колебательном изменении режимных параметров возможны выбросы. Эти выбросы могут привести к относительному изменению числа колебаний.

Как известно, быстрое затухание, малое число колебаний является показателем качества переходного процесса. Из рассмотренного очевидно – не исчерпаны возможные критерии.

Анализ протекания переходного процесса и его качество можно рассматривать при демпферировании условий или с учетом вероятностных факторов. Возможен двойственный подход. Например, на основе функции с гибкой структурой. Однако они все применимы при определенной идеализации.

При использовании интегральных критериев качества переходного процесса рассматриваются среднеквадратичные отклонения напряжения и частоты. Однако и эти критерии требуют определения области, в которой располагаются кривые переходных процессов, определяющие взаимосвязь устойчивого переходного процесса с возможными возмущениями.

При анализе переходного процесса и оценки устойчивого перехода без учета функциональных зависимостей можно использовать следующие показатели:

1. Установившееся значение напряжении: $U_{уст} = \lim_{t \rightarrow \infty} U(t)$;

2. Время затухания переходного $t_{зат.}$ процесса определяется при:

$$|U(t_{зат.}) - U_{уст}|;$$

3. Относительно максимальное отклонение напряжения от установившегося значения:

$$\Delta U^{max} = \frac{U^{max} - U_{уст}}{U_{уст}};$$

4. Относительное максимальное отклонение угла вылета ротора:

$$\Delta \delta^{max} = \frac{\delta^{max} - \delta_0}{\delta_0};$$

5. Относительно максимальный небаланс мощности:

$$\Delta P^{max} = \frac{P^{max} - P_0}{P_0}.$$

При задании предельных значений рассматриваемых показателей несложно построить область, в которой расположены кривые, характеризующие возможные переходы от одного режима к другому. Из них наиболее предпочтительными можно считать те которые обладают лучшей интегральной оценкой. При этом переходный процесс может иметь различный характер. Однако устойчивым переходам должны отвечать определенные значения показателей. При определенном сочетании значений

этих показателей переходного процесса будет иметь колебательный характер. Тем самым, длительность переходного процесса будет определяться, в первую очередь, показателями колебательного процесса. Эти показатели можно определить, составив уравнение регрессии. Затем несложно определить влияние показателей либо отдельных составляющих на качество переходного процесса в целом.

Повысить уровни устойчивости можно применив режимные мероприятия, не изменяя параметров элементов системы и не вводя дополнительных элементов. Целенаправленное изменение параметров режима системы, обеспечение необходимых резервов мощности могут существенно увеличить запасы устойчивости [3].

На устойчивость систем влияют такие режимы работы генератора или двигателя, при которых скорость вращения роторов значительно отклоняется от синхронной. В асинхронном режиме вектор электродвижущей силы синхронной машины, выпавшей из синхронизма, вращается относительно вектора электродвижущей силы машин, работающих синхронно. Восстановление нормальной работы возможно без отключения от сети выпавшего из синхронизма генератора, оставив его на некоторое время в асинхронном режиме, а затем заставить снова войти в синхронизм, осуществив ресинхронизацию.

Современная практика располагает разнообразными средствами, позволяющими восстановить синхронную работу системы, предусматривающими уменьшение небаланса в элементах системы при нарушениях установившихся режимов работы, а также сокращения длительности периода, в течение которого действует такой небаланс [4].

Проблема повышения устойчивости электроэнергетической системы может быть решена посредством подключения в сеть электрической системы установки следящей системы переменного тока с электронным усилителем на лампах или транзисторах, измерителем рассогласования на сельсинах и асинхронным двухфазным двигателем [2].

Установка состоит из одноканальной приборной следящей системы переменного тока, задающего устройства (ЗУ), вольтметра (V) переменного тока и электронного осциллографа (ОСЦ). Упрощенная электрическая схема для следящей установки показана на рис.1. В качестве иммитатора задающего устройства используется механизм синусной заводки, показанном на рис.2.

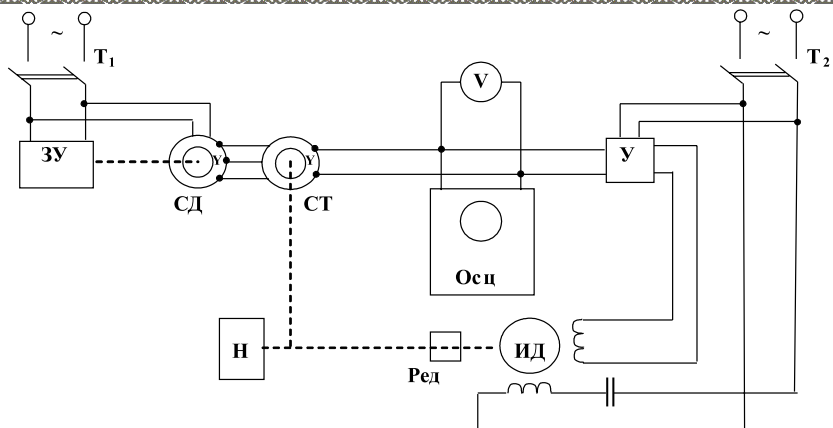


Рис. 1. Принципиальная схема установки для следящей системы

По улучшению значений параметров элементов электрической системы используется взаимосвязанный между собой технологический комплекс устройств: установка для следящей системы и механизм синусной заводки. В процессе работы электроэнергетической системы по показаниям измерительных приборов проводятся наблюдения за ходом согласования механизма синусной заводки и следящей системы, а также определяется статическая ошибка на выходе системы. По фиксированным значениям параметров сигнала ошибки системе задаются контрольные данные.

При вращении управляющего двигателя с постоянной скоростью амплитуда напряжения, снимаемого с однофазной обмотки вспомогательного сельсина, будет изменяться по синусоидальному закону, вследствие чего на выходе фазочувствительного усилителя возникает выпрямленное напряжение изменяющейся полярности, значение которого изменяется по синусоидальному закону. Частота этого напряжения пропорциональна частоте вращения управляющего двигателя, а амплитуда регулируется потенциометром, включенным на выходе усилителя. Двигатель, вал которого механически связан с ротором сельсина-датчика следящей системы, будет при этом вращаться с частотой, изменяющейся по синусоидальному закону (так называемая синусная заводка). Для задания сельсину-датчику постоянной частоты вращения следует остановить управляющий двигатель. При этом с однофазной обмотки вспомогательного сельсина на вход усилителя будет поступать переменное напряжение постоянной амплитуды, значение которой определяется угловым положением ротора вспомогательного сельсина. Таким образом, помощью механизма синусной заводки следящей системе задаются различные законы движения входного вала, которые обрабатываются

исполнительным двигателем (ИД) системы, поворачивающим через редуктор (Ред.) нагрузку (Н).

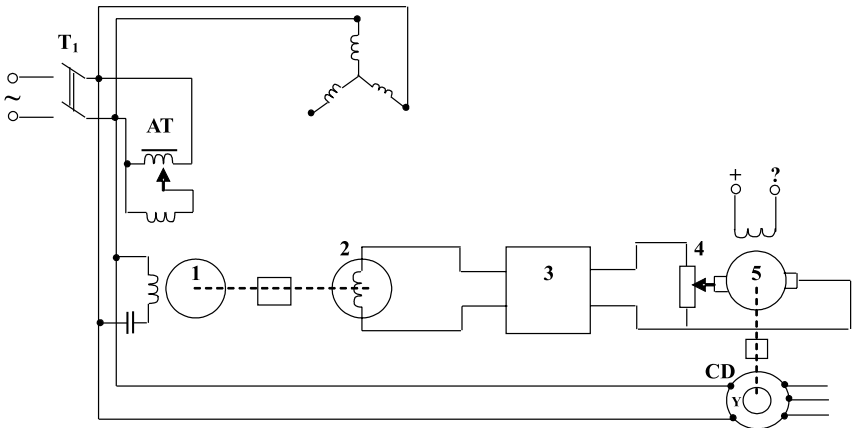


Рис.2. Схема механизма синусной заводки

1—управляющий двигатель; 2—вспомогательный сельсин; 3— фазочувствительный усилитель; 4—потенциометр; 5—двигатель, связанный с ротором сельсина—датчика СД.

ВЫВОД:

Научный подход в исследовании вопросов качественных и количественных критериев режимов работы с эффективным использованием практических мероприятий способствует повышению надежности и уровня устойчивости электроэнергетической системы при переходе от одного режима к другому. Предлагаемый способ повышения устойчивости системы средствами, предусматривающими уменьшение небаланса в элементах системы при нарушениях установившихся режимов работы, а также сокращение длительности периода, в течение которого действует такой небаланс, значителен такими факторами, как применение на всех уровнях электроснабжающей отрасли, так и требованиями надежного и качественного обеспечения потребителей электроэнергией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Венников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. - М.: Высш. школа, 1970. С. 472.
2. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем / под ред. Л.А.Жукова. - М.: Высш. шк., 1979. С. 456.
3. Куликов Ю.А. Переходные процессы в электрических системах. - Новосибирск: НГТУ, 2002. С. 283.

4. Ульянов С.Я. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах, - М.: Энергия, 1964. С. 640.

Түйіндеме

Ғылыми мақалада электр жүйедегі өтпелі үдерістер қаралады. Жүргінің тұрақтылығы және онымен байланысты себептері анықталады. Өтпелі үдерістың көрсетініштері және сапасы талданады. Тұрақтылығын деңгейін көтеретін жақсартатын тәжірибелік шаралар ұсынады.

Resume

The scientific article covers the questions of qualitative transformation of the electric power system from one mode to another, as well as the requirements for power supply system operation. It also highlights the factors influencing the sustainable electric power system work. The author of the article has analyzed the quality indexes of the transmission process and has suggested the practical activities for improving the electric power system sustainability.

УДК 621.31

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ИХ СВЯЗЬ С РАБОТОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

А.П. КИСЛОВ, А.Н. БЕРГУЗИНОВ

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова

подавляющее большинство электротехнологических установок могут работать без существенного снижения производственных показателей при снижении качества подаваемой на электропечи электроэнергии в пределах существующих стандартов. Однако мощные и сверхмощные электропечи являются источниками искажений параметров энергосистем и, следовательно, могут влиять на качество электроэнергии в питающих системах.

Термин «качество электроэнергии» стал одним из ключевых в энергетике, начиная с 1980 года. С этого времени проблемы качества электроэнергии пытаются решать системно, а не в частном порядке. Можно выделить четыре главных причины, которые привели к разработке жестких международных требований по этим показателям:

1. В последние десятилетия существенно увеличилось число энергопотребителей с высокой чувствительностью к снижению качества электроэнергии. Множество новых потребителей применяют микропроцессорное управление и мощные электронные приборы, чувствительные к любым видам искажений. Это касается и электропечей, имеющих автоматизированные системы управления технологическими процессами высокого уровня, включая нейронные и специальные системы управления.

2. Энергопотребители требуют улучшить качество поставляемой энергии, исключить кратковременные прекращения подачи энергии, а также снижение или повышения напряжения или наличие коммутационных перенапряжений.

3. Увеличение разработок новых технологий и оборудования с повышенным влиянием на состояние энергосистем.

4. Развитие аварий и возникновение предаварийных ситуаций в технологическом оборудовании, электронных сетях многофункционального назначения из-за отклонений качества подаваемой энергии от стандартов.

Несмотря на наличие государственных стандартов, особая важность и актуальность рассматриваемой проблемы до настоящего времени не существует однозначного определения качества электроэнергии. Предприятия, поставляющие электрическую энергию, под качеством подразумевают надежность поставки энергии на основе демонстрации статистических данных, свидетельствующих о надежности системы электроснабжения на 99,98%. Потребитель энергии предъявляет к электроэнергии требования, обеспечивающие эффективную работу оборудования. Поэтому наибольшую заинтересованность в качестве электроэнергии проявляет потребитель, но при этом часть потребителей за счет работы технологического оборудования и снижает качество электроэнергии.

Фактически проблемой качества электроэнергии является любое отклонение параметров напряжения, тока или частоты от номинальных значений, в результате которых наблюдается ненормальное функционирование оборудования потребителя. Это общее определение зафиксировано в различных стандартах, выполнение которых практически вызывает много толкований.

При возникновении проблемы качества электроэнергии конечные потребители могут предъявить претензии энергокомпаниям. Однако энергокомпании могут не зафиксировать сбой в качестве электроэнергии, которая передается потребителю. Такие ситуации должны фиксироваться, хотя они никогда не показываются в отчетах энергокомпаний.

Имеющиеся стандарты на качество электроэнергии практически не выполнимы. Для примера, приведем периодическое подключение конденсаторов, которое является обычным явлением в энергосистемах. При этом обязательно возникают изменения напряжений, в том числе до уровней,

нарушающих режимы работы производственных установок. При работе современных дуговых сталеплавильных печей, имеющих диапазон рабочих токов от нуля до номинальных токов порядка 100 кА с возможностью бросков токов до токов коротких замыканий, невозможно полностью исключить или компенсировать техническими средствами их влияние на сети при номинальной мощности одного потребителя до 100 МВА.

При решении рассматриваемой проблемы качества электроэнергии необходимо учитывать экономические аспекты. С экономической точки зрения не всегда выгодно добиваться улучшения качества электроэнергии, так как оптимальным решением проблемы может оказаться создание оборудования, менее чувствительного к изменению параметров энергосетей. Качество энергии, подобно качеству многих других товаров и услуг, трудно определить количественно и одновременно достоверно контролировать покупателем электроэнергии и ее продавцом. Это одна из причин отсутствия однозначного определения понятия «качество электроэнергии».

В такой ситуации для практической деятельности Международная электротехническая комиссия – МЭК [International Electrotechnical Commission (IEC)], Международный конгресс по системам передачи электроэнергии [Congress Internationale des Grand Reseaux Electriques a Haute Tension (CIGRE)] и Международный институт IEEE приняли стандарты для измерения напряжения и других электротехнических величин в системе «сеть – нагрузка». Окончательная оценка качества электроэнергии определяется измеряемыми параметрами, работой и производительностью оборудования, потребляющего эту энергию.

Какие же величины измеряются и контролируются?

Прежде всего, необходимо рассматривать понятие мощности потока энергии, которая является количественной мерой поставляемой (потребляемой) электроэнергии. Мощность же, в свою очередь, пропорциональна напряжению и току. Из этих двух величин система энергопитания (продавец) может управлять только качеством напряжения и не имеет никакого контроля над током, который определяется потребителем. Поэтому стандарты в области качества энергии определяют ограничения на параметры только питающего напряжения.

Энергосистемы переменного тока должны обеспечивать потребителя электроэнергией с синусоидальным напряжением $U = U_m \cdot \sin 2\pi ft$ заданной частоты (обычно $f = 50$ Гц) и конкретной амплитуды U_m . Любое существенное отклонение в форме напряжения (U), амплитуде (U_m) и частоте (f) является проблемой качества электроэнергии.

Генерирующее оборудование энергосистем обеспечивает почти идеальное синусоидальное напряжение с частотой f и амплитудой U_m . Однако ток, проходящий через все сопротивления электрической цепи (включая цепь

нагрузки потребителя) может вызвать различные искажения напряжения (амплитуды, частоты, синусоидальности, в том числе появление постоянной составляющей). Наиболее часто это наблюдается при подключении к энергосетям нагрузок, содержащих дуговые разряды переменного тока. В этих случаях токи нагрузки, содержащие различные гармоники, могут сильно исказить напряжение в энергосистеме. Таким образом, искаженное напряжение подается другим потребителям.

Международная электротехническая комиссия (МЭК) ввела специальные термины в ИЕС-терминологию. Провал напряжения (sag) используется как синоним слова dip в терминологии ИЕС. Термин кратковременное изменение (short-duration variations) используется для характеристики провалов (dip) напряжения и коротких прерываний. Термин увеличение напряжения (swell) является обратным понятию провал напряжения. Термин шум (noise) введен для характеристики случайных, но повторяющихся, отклонений величин от средних значений, характеризующих энергосистему по большому количеству параметров (флуктуация параметров в сетях). Термин искажение формы (waveform distortion) используется как собирательная категория для гармоник, интергармоник (inter harmonics) и постоянной составляющей в сетях переменного тока, а также для описания дополнительных явлений согласно IEEE стандарта 519, называемых коммутационными явлениями (notching).

Из приведенного перечня терминологии наиболее важным и часто наблюдаемым являются провалы напряжения – внезапное фактическое уменьшение напряжения (ΔU) в узле электрической системы с последующим восстановлением напряжения после короткого фактического промежутка времени (Δt) в пределах от половины частотного периода до нескольких секунд. Реальное уменьшение напряжения по амплитуде может находиться в пределах от 10% до 100% от номинальной величины. Уменьшение напряжения на 100% рассматривается как короткое прерывание питания.

Провалы напряжения происходят в аварийных и рабочих ситуациях, в результате которых во всех фазах или одной фазе начинают протекать большие токи. Это может наблюдаться при подключении электропечей большой мощности, соизмеримой с мощностью сети, при последовательном зажигании дуговых разрядов в фазах дуговых электропечей, при возникновении фазных коротких замыканий в этих же печах при обвалах шихты и др. Если увеличение тока при эксплуатационных коротких замыканиях носит кратковременный характер, то высоковольтный выключатель срабатывает успешно и прерывание тока будет временным. Длительность срабатывания выключателя составляет пять или шесть периодов частоты 50 Гц. В течение этого времени наблюдается изменение напряжения. Выключатель остается разомкнутым от 20 периодов до 2 – 5 секунд. Характеристики возникающих провалов напряжения и кратковременных прерываний (продолжительность, амплитуда, возникающие напряжения

асимметрии, низкочастотные и высокочастотные искажения) всегда зависят от индивидуальных характеристик нагрузки. Мощные и сверхмощные электропечи сопротивления могут оказывать влияние на сети при включении и отключении печей или редко возникающих авариях при повреждении нагревателей или токоподводов. Аналогичные ситуации возникают при эксплуатации электротехнологических установок, имеющих специальные источники питания – индукционных электропечей и высокочастотных установок, плазменных, электроннолучевых, вакуумных дуговых, лазерных систем нагрева.

Наибольшее влияние на энергосети оказывают дуговые сталеплавильные и рудно-термические электропечи. Взаимодействие этих нагрузок с энергосетями является самостоятельной сложной проблемой, изучению которой посвящены последующие главы излагаемой книги.

В настоящее время показатели качества электроэнергии в электрических сетях определяет ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Электромагнитная совместимость. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» (см. табл. 1.2).

Стандарт принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации, включающим республики Армению, Беларусь, Казахстан, Кыргызстан, Молдову, Российскую Федерацию, Таджикистан, Туркменистан и Узбекистан. Содержание стандарта соответствует международным стандартам МЭК 868, МЭК 1000-3-2, МЭК 1000-3-3, МЭК 1000-4-1 и рекомендациям МЭК по уровням электромагнитной совместимости в системах электроснабжения и методам измерения электромагнитных помех (отклонений от нормальных и предельно допустимых).

Рассматриваемый стандарт характеризует нормирование следующих показателей качества электроэнергии.

Отклонение напряжения δU . Значение δU определяется как разность номинального действующего значения межфазного (фазного) напряжения $\sqrt{2}U_{iij}$ и установившегося (в течение более 1 мин) действующего фактического напряжения. Стандарт предусматривает нормальное отклонение действующего значения напряжения на $\pm 5\%$ и ограничивает предельно допустимые значения нормы в диапазоне от $0,9\sqrt{2}U_{iij}$ до $1,1\sqrt{2}U_{iij}$, т.е. в пределах $\square 10\%$.

Отклонение напряжения δU рассчитывается по выражению:

$$\delta U_y = \frac{U_{(1)} - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100 \approx \frac{U_y - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100$$

где $U(1)$ – действующее значение первой гармоники межфазного (фазного) напряжения.

Допускаемое значение колебания напряжения. Характеризуется размахом изменения напряжения δU_1 и дозой фликера P_f . Предельно допустимые значения размаха изменений напряжения δU_1 в точках общего присоединения зависят от количества изменений напряжения в минуту и могут быть рассчитаны по методике, приведенной в стандарте.

Понятие фликера связано с субъективным восприятием человеком колебаний светового потока искусственных источников освещения, вызванных колебаниями напряжения в сети, питающей эти лампы. Ограничение P_{st} за общий интервал времени T_r .

Для определения дозы фликера предварительно для каждой кривой относительного изменения напряжения рассчитывается время восприятия фликера $t_f = 2,3 (F d_{\max})^{3/2}$, где F – коэффициент приведения, зависящий от вида кривых изменения напряжения (приведен в стандарте); d_{\max} – максимальное отклонение напряжения от номинального в %. При этом принято различать кратковременную дозу фликера, для которой T_r принимается длительностью 10 мин, и длительную дозу на интервале времени 2 ч. Предельно допустимые значения в точках общего присоединения в первом случае для напряжения 380 В равны 1,38, а для длительной дозы фликера – 1,0.

Отклонение частоты. Нормально и предельно допустимые отклонения частоты равны $\square 0,2$ и $\square 0,4$ Гц соответственно.

Провал напряжения. Характеризуется внезапным снижением в какой-либо точке электрической сети напряжения ниже $0,9 U_{\text{ном}}$. Восстановление напряжения должно происходить через промежуток времени от десяти миллисекунд до нескольких десятков секунд.

От колебаний напряжения провал отличается большей величиной снижения напряжения, но на более короткий промежуток времени. Нормируемой величиной (параметром) является длительность провала напряжения.

Например, предельно допустимый промежуток времени провала для электрических сетей напряжением 20 кВ не должен превышать 30 сек. Продолжительность этого интервала определяется выдержками времени релейной защиты и автоматики.

Провалы напряжения и кратковременные прерывания происходят из-за нарушений функционирования энергосистем, в результате которых в сетях протекают большие токи, как следствие, возникают провалы напряжения. Поэтому любые аварийные ситуации, связанные с подключением мощных нагрузок (соизмеримых с мощностью сети – дуговые сталеплавильные печи, руднотермические печи и др.), удары молний, короткие замыкания, могут приводить к провалу напряжения.

Характеристики провалов напряжения и кратковременных прерываний (продолжительность, амплитуда, напряжение асимметрии) зависят от типа нарушения функционирования энергосистем, времени восстановления и

автоматических коммутационных систем защиты сетей. Статистически зарегистрированные данные показывают, что провалы напряжения являются наиболее общими и частыми искажениями, большинство из которых имеют продолжительность менее 600 мс и глубину не более 60%. В качестве примера на рис. 1.2 приведены данные мониторинга одной из итальянских компаний на низковольтных шинах распределительных трансформаторов.

На практике пользователи не делают четкого различия между полной потерей напряжения и недонапряжением в однофазных или многофазных системах. Кратковременный провал до 80% номинального напряжения производит тот же видимый эффект, что и мгновенный фликер осветительного прибора, вызванный кратковременной потерей напряжения.

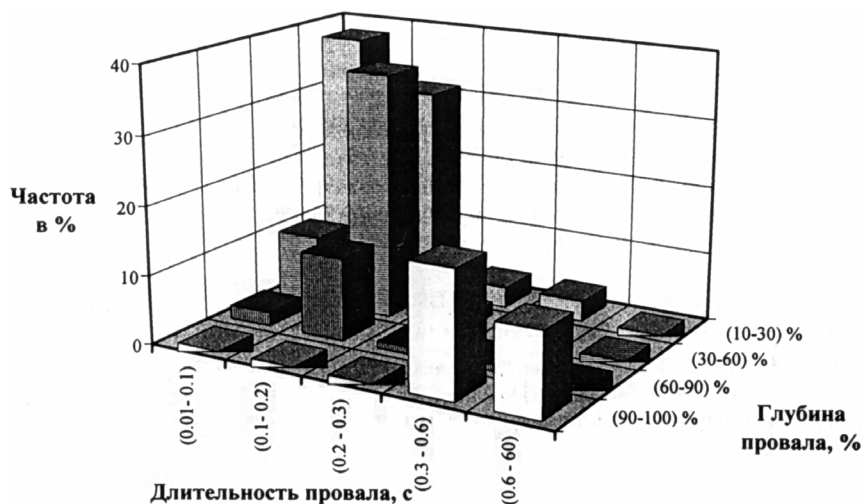


Рисунок 1.2. - Частота провалов напряжения и кратковременных прерываний, ожидаемых за один год

Реальность возникновения таких ситуаций вызывает необходимость установки аварийных систем автономного питания для систем управления оборудованием, информационных систем и других категорий оборудования. Необходимость использования автономных систем аварийного питания определяется степенью чувствительности различных устройств к провалам напряжения.

Типичные характеристики чувствительности к провалам напряжения для устройств и оборудования приведены на рис. 1.3. Как пользоваться этими характеристиками? Устройства не чувствительны к провалам напряжения, когда его уменьшение (ΔU) и продолжительность провала (Δt) находятся соответствующей характеристики $U - t$. Например, уменьшение напряжения в сети на $\Delta U = 40\%$ (параметр $U/U_{ном} = 60\%$) в течение 350 мс воздействует

на программируемые системы логического управления (характеристика 1) и управляемые электроприводы (характеристика 2), а на реле, ключи дистанционного управления и микропроцессоры такой провал напряжения влияния не оказывает.

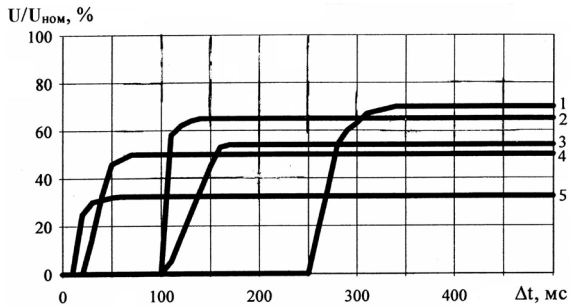


Рисунок 1.3 - Чувствительность некоторых устройств к провалам напряжения:

- 1 – системы логического управления; 2 – управляемый электропривод;
3 – микропроцессор; 4 – ключи дистанционного управления; 5 – реле

Производители компьютеров определили закономерность, называемую СВЕМА (Computer Business Equipment Manufacture Association), которая ограничивает величину провалов и перенапряжений для ЭВМ. Часть закономерности, взятой из стандарта IEEE1* приведена на рис 1.4. На осях представлены величина и длительность искажений. Рабочая область заключена между верхней и нижней кривыми. Ниже этой области возникают неполадки в работе машин из-за недостатка энергии, а выше — происходят сбои в работе в виде пробоев изоляции. Если ЭВМ применяется для решения сложных и деликатных задач, то необходимо использовать системы бесперебойного питания .

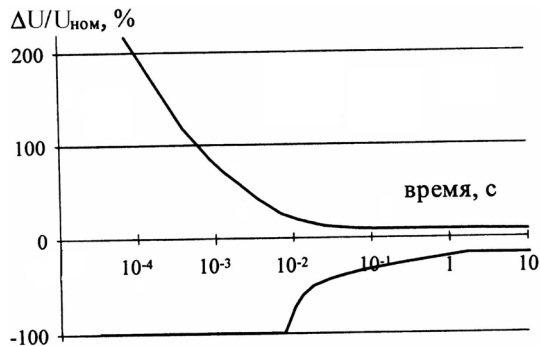


Рисунок 1.4 - СВЕМА - зависимость (Стандарт IEEE 446-87)

¹ * IEEE Standard 100 – 1988, IEEE Recommended Practice for Emergency and Stand-by Power System for Industrial and Commercial Applications.

Несинусоидальность напряжения оценивается коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения K_U и коэффициентом конкретной n -той гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$.

Значение K_U определяется как отношение действующего значения высших гармоник напряжения к действующему значению первой гармоники напряжения.

Нормированные значения коэффициента K_U приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3.

Значения коэффициента искажения синусоидального напряжения

Номинально допустимые значения K_U при $U_{ном}$, кВ				Номинально допустимые значения K_U при $U_{ном}$, кВ			
0,38	6...20	35	110...330	0,38	6...20	35	110...330
8,0	5,0	4,0	2,0	12,0	8,0	6,0	3,0

Коэффициент $K_{U(n)}$ рассчитывается как отношение действующего значения n -й гармоники напряжения к действующему значению первой гармоники.

Нормально допустимые значения n -й гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$ в точке общего присоединения к электрическим сетям с разными номинальными напряжениями $U_{ном}$ приведены в табл. 1.4. Предельно допустимые значения $K_{U(n)}$ задают в 1,5 раза большими указанных в таблице.

Таблица 1.4.

Нормально допустимые значения $K_{U(n)}$ для трехфазных сетей

Нечетные гармоники, кратные трем при $U_{ном}$, кВ				Нечетные гармоники, кратные трем при $U_{ном}$, кВ				Четные гармоники, кратные трем при $U_{ном}$, кВ			
n	0,38	6-20	35	n	0,38	6-20	35	n	0,38	6-20	35
5	6,0	4,0	3,0	3	2,5	1,5	1,5	2	2,0	1,5	1,0
7	5,0	3,0	2,5	9	0,75	0,5	0,5	4	1,0	0,7	0,5
11	3,5	2,0	2,0	15	0,3	0,3	0,3	6	0,5	0,3	0,3
13	3,0	2,0	1,5	21	0,2	0,2	0,2	8	0,5	0,3	0,3
17	2,0	1,5	1,0	>21	0,2	0,2	0,2	10	0,5	0,3	0,3
19	1,5	1,0	1,0	-	-	-	-	12	0,2	0,2	0,2
23	1,5	1,0	1,0	-	-	-	-	>12	0,2	0,2	0,2

Гармоники, кратные трем (*triplen harmonics*) являются нечетными гармониками ($n = 3, 9, 15, 21, \dots$). Они заслуживают специального рассмотрения, так как реакция системы на них часто специфична и отличается от реакции на другие гармоники. Гармоники кратные трем важны для систем с заземленной нейтралью. При этом появляются две типичные проблемы – перегрузка нейтрали и влияние на телефонные линии. Известно, что некоторые виды аппаратуры, плохо работают потому, что фазное напряжение сильно искажается падением напряжения в нейтрали от гармоник кратных трем.

Предположим, что в системе симметричных однофазных нагрузок имеются основная гармоника и гармоники кратные трем. Суммируя токи в узле нейтрали N, получим, что ток основной гармоники близок к нулю, а гармоники кратные трем отличны от нуля, потому что они совпадают по фазе.

При однофазных нелинейных нагрузках соединение обмоток трансформатора имеет существенное влияние на токи гармоник кратных трем. На рис. 1.5 приведены два варианта. В трансформаторе звезда – треугольник токи гармоник кратных трем показаны вытекающими со стороны звезды. Совпадая по фазе. Они суммируются в нейтрали. Соединение в треугольник обеспечивает баланс ампер-витков, при этом токи гармоник кратных трем циркулируют в треугольнике и не попадают в линейные токи. Когда токи сбалансированы, токи гармоник кратных трем ведут себя точно также, как токи нулевой последовательности. Этот тип соединения обмоток трансформатора наиболее целесообразно применять в распределительных подстанциях энергосистем с подключением треугольника к передающему фидеру.

При использовании обмоток с заземленной звездой на обеих сторонах трансформатора происходит беспрепятственное проникновение гармоник кратных трем с низковольтной стороны на высоковольтную. При этом они будут присутствовать в равной пропорции с обеих сторон.

Некоторые важные аспекты, связанные с анализом качества энергии:

- Трансформаторы, особенно подключенные к нейтрали, могут подвергаться перегреву при питании однофазных нагрузок со стороны звезды из-за высокого содержания третьей гармоники.

- Измерение линейного тока на стороне треугольника трансформатора не указывает на содержание гармоник кратных трем и поэтому не дает истинной картины нагрева трансформатора. Путь для токов гармоник кратных трем может быть прерван соответствующим соединением трансформатора.

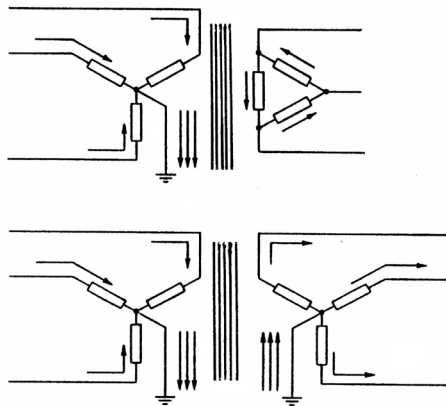


Рисунок 1.5 - Токи гармоник кратных трем в трехфазных системах

Отключение нейтрали от одной или обеих звезд препятствует протеканию токов гармоник кратных трем. При этом нарушается баланс ампер-витков. Аналогично, треугольник препятствует протеканию тока гармоник кратных трем по сети. Следует заметить, что сердечник трехфазного трансформатора ведет себя так, будто он имеет несуществующую третью обмотку. Поэтому соединение звезда – звезда с заземлением только одной нейтрали способно проводить токи гармоник кратных трем. Эти правила относительно токов гармоник кратных трем в трансформаторах относятся только к сбалансированным нагрузкам. Когда фазы не сбалансированы, токи гармоник кратных трем могут обнаруживаться там, где они не ожидаются. Нормальный режим для гармоник кратных трем – нулевая последовательность. В случае небаланса гармоники кратные трем могут иметь прямую или обратную последовательность. Известный случай – дуговая электропечь. Хотя она питается от соединения треугольник – треугольник, при работе печи в несбалансированном режиме третьей гармоники в линейном токе значительны. Если система в основном сбалансирована, гармоники кратные трем ведут себя так же, как описано выше.

Несимметрия напряжений. Характеризуется коэффициентами несимметрии по обратной последовательности K_{2U} и нулевой последовательности K_{0U} .

Эти коэффициенты рассчитываются как отношение напряжений обратной и нулевой последовательностей к напряжению прямой последовательности. Составляющие напряжений определяются по методике, приведенной в стандарте, или методом симметричных составляющих.

Нормально и предельно допустимые значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности нормированы на одинаковом уровне соответственно в 2 и 4% при номинальном напряжении 380 В.

Tүйіндеме

Электр энергия сапасының негізгі түсініктері мен олардың электротехнологиялық қондырғылардың жұмысымен байланысы қарастырылған.

Resume

The main concepts of electric power quality and their connection with operation of electroengineering plants have been considered.

ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЖИМОВ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

А.П. КИСЛОВ, А.Н. БЕРГУЗИНОВ

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова

При описании электрических печей как объектов электроснабжения рассмотрим основные исходные понятия и определения.

Промышленное электротехнологическое оборудование традиционно подразделяется на электрические печи, электротехнологические устройства и электротермические агрегаты.

Электрические печи (электропечи) - это электротехнологическое оборудование, предназначенное для преобразования электрической энергии в тепловую и имеющее нагревательную камеру, в которую помещается нагреваемый продукт.

Электротехнологические устройства отличаются от электропечей отсутствием нагревательных камер.

Электротермические агрегаты представляют собой совокупность конструктивно связанных электропечей или электротехнологических устройств, обеспечивающих проведение комплексного технологического процесса.

Комплект электротехнологического оборудования с элементами сооружений, приспособлениями и коммуникациями (электрическими, транспортными, воздушными, водяными и др.), обеспечивающими его нормальное функционирование, называется электротехнологической установкой ЭТУ.

Электропечной установкой называют ЭТУ, в которой в качестве электротехнологического оборудования используется электропечь. В целях сокращения наряду с термином электропечь будем использовать в дальнейшем также термин «печь».

Как потребитель электроэнергии ЭТУ в общем случае представляет собой совокупность электроприемников, для характеристики которых используются общепринятые показатели: номинальная мощность, род тока, частота, номинальное напряжение, режим работы, категория обеспечения надежности электроснабжения.

За номинальную мощность ЭТУ, оборудованных индивидуальными трансформаторами (дуговые сталеплавильные печи, рудовосстановительные печи, печи электрошлакового переплава, отдельные виды индукционных печей и печей сопротивления), принимается номинальная мощность этих трансформаторов $S_{ном}$, кВ·А или МВ·А (для мощных установок).

За номинальную мощность печей сопротивления, индукционных печей, оснащенных конденсаторными устройствами, электронных и плазменных плавильных печей принимается активная мощность $P_{\text{ном}}$, кВт, которую может выделить нагревательная установка.

При совместном питании электроприемников основного (электротехнологического) оборудования и вспомогательных механизмов от одного источника за номинальную мощность ЭТУ принимается сумма номинальных мощностей всех ее электроприемников. В остальных случаях номинальные мощности основного оборудования и вспомогательных механизмов рассматриваются отдельно.

Паспортную мощность электроприемников повторно-кратковременного режима эксплуатации приводят к номинальной мощности длительного режима ($PВ = 100\%$):

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пасп}} \sqrt{PВ_{\text{пасп}}}; S_{\text{ном}} = S_{\text{пасп}} \sqrt{PВ_{\text{пасп}}} \quad (1.1)$$

где $P_{\text{пасп}}$, $S_{\text{пасп}}$, $PВ_{\text{пасп}}$ - паспортные данные о мощности и относительной продолжительности включения электроприемника.

Групповая номинальная мощность ЭТУ равна сумме номинальных мощностей отдельных установок.

Электротехнологические установки в подавляющем большинстве случаев работают на переменном трехфазном или однофазном токе промышленной частоты 50 Гц. При этом дуговые сталеплавильные печи (ДСП) и руднотермические печи (РТП) являются, как правило, установками трехфазного тока, а дуговые печи косвенного нагрева установками однофазного тока. Индукционные печи (ИП), печи сопротивления (ПС) и печи электрошлакового переплава (ЭШП) выполняются как трехфазными, так и однофазными.

Повышенные частоты используются в некоторых видах индукционных печей и в индукционных установках сквозного и поверхностного нагрева. Переменный ток пониженной частоты (менее 50 Гц) для питания электротехнологического оборудования к настоящему времени не получил большого распространения.

Потребителями постоянного тока в электротехнологии являются дуговые вакуумные печи (ВДП), электронно-лучевые (ЭЛУ), плазменно-дуговые установки (ПДУ) и дуговые сталеплавильные печи постоянного тока (ДСП ПТ).

Для получения переменного тока повышенной частоты и постоянного тока применяются тиристорные преобразователи, силовые выпрямители и параметрические источники питания. С точки зрения электроснабжения указанные установки являются приемниками переменного (в основном трехфазного) тока промышленной частоты.

Рабочие напряжения электропечей во многих случаях не согласуются с номинальными напряжениями питающих сетей. Для согласования этих напряжений, а также для получения возможности регулирования мощности нагрева электропечи оборудуются специальными трансформаторами или автотрансформаторами.

В соответствии с правилами устройства электроустановок (ПУЭ) печными трансформаторами или автотрансформаторами должны быть оборудованы установки промышленной частоты с дугowymi печами прямого, косвенного и комбинированного действия вне зависимости от напряжения и мощности и установки с печами индукционными и сопротивления, работающие на напряжении, отличающемся от напряжения электрической сети общего назначения, или при единичной мощности печей: однофазных - 400 кВт и более, трехфазных - 1600 кВт и более.

Выпрямительные и преобразовательные установки, входящие в комплект оборудования ЭТУ, проектируются с учетом подключения их к цеховым или внутризаводским высоковольтным сетям.

Номинальные напряжения установок ДСП и РТП - 6, 10, 35, 110 и 150 кВ, установок ЭШП - 6, 10, 35 кВ, индукционных установок и печей сопротивления, оснащенных печными трансформаторами - 0,38; 6 и 10 кВ. При непосредственном присоединении к цеховым сетям печи сопротивления проектируются на напряжения 220, 380 и 660 В.

По режиму работы основное оборудование ЭТУ согласно действующей классификации разделяют на две группы: установки с продолжительным (длительным) режимом работы и установки с повторно-кратковременным режимом работы.

К первой группе относятся электроплавильные и нагревательные установки непрерывного и непрерывно-циклического действия с длительностью цикла, превышающей 10 мин, ко второй - нагревательные установки периодического действия с длительностью цикла, не превышающей 10 мин.

Электроприемники вспомогательных механизмов ЭТУ работают в длительном, повторно-кратковременном и кратковременном режимах.

В отношении обеспечения надежности электроснабжения ЭТУ относят к приемникам второй и третьей категории. Категорию электроприемников основного оборудования и вспомогательных механизмов, а также объем резервирования электрической части, определяют с учетом особенностей конструкции оборудования ЭТУ и предъявляемых действующими стандартными нормами и правилами требований к такому оборудованию, системам снабжения его водой, газами, сжатым воздухом, создания и поддержания в рабочих камерах давления или разрежения.

К третьей категории относят электроприемники ЭТУ цехов и участков несерийного производства - кузнечных штамповочных,

прессовых, механических, механо-сборочных и окрасочных цехов и участков - инструментальных, сварочных, сборного железобетона, деревообрабатывающих и деревообделочных, экспериментальных, ремонтных, а также лабораторий, испытательных станций, гаражей, депо, административных зданий.

Электропотребление ЭТУ в целом характеризуется графиком электрической нагрузки, режимом включения, производительностью, удельным расходом электроэнергии на единицу выпускаемой продукции и годовым фондом рабочего времени.

Большинство ЭТУ являются потребителями не только активной, но и реактивной мощности. Поэтому для характеристики режимов электропотребления этих ЭТУ используются графики активной и реактивной нагрузки $P(t)$ и $Q(t)$:

$$S(t) = \sqrt{P^2(t) + Q^2(t)}. \quad (1.2)$$

Графики активной нагрузки самостоятельно используются только для характеристики режимов электропотребления печей сопротивления и других электротехнологических установок, имеющих высокий коэффициент мощности, а также при анализе режимов нагрева ЭТУ различного вида.

Графики нагрузки электротехнологических установок подразделяют на индивидуальные и групповые (суммарные), получаемые при питании нескольких ЭТУ от одного ввода (одного силового трансформатора).

Индивидуальные графики получают путем хронометража технологического процесса с записью изменения электрических параметров самопишущими приборами, а также счетчиками электроэнергии. Для получения графиков нагрузки плавильных печей также используются плавильные карты или карты электрического режима, заполняемые операторами на каждую плавку, а также распечатки с ЭВМ АСУ ТП.

Графики нагрузки печей сопротивления в ряде случаев получают с помощью суточных температурных диаграмм, фиксируемых автоматическими потенциометрами по отдельным зонам нагрева, и данных о значениях регулируемых и нерегулируемых мощностей зон нагрева.

Суммарные графики нагрузки получают путем сложения имеющихся индивидуальных графиков или с помощью счетчиков энергии и самопишущих приборов, установленных на вводе, питающем группу ЭТУ. Суммирование осуществляется графически или с помощью микропроцессорной техники.

Первый способ обеспечивает достаточную наглядность и возможность анализа влияния на формирование графика различных сочетаний электрических режимов работы ЭТУ. Второй способ дает большую производительность обработки и позволяет решать комплекс задач -

определение показателей индивидуальных графиков, суммирование графиков и определение показателей полученных суммарных графиков.

Изменения электрической нагрузки ЭТУ в большинстве случаев носят случайный характер. Случайными факторами, определяющими уровень нагрузки, являются изменения напряжения в сети, неоднородность загрузки (шихты, материалов, изделий), колебания температуры нагрева, неточность работы САР, различный профессионализм обслуживающего персонала и др. Поэтому полученные при экспериментальных измерениях графики нагрузки представляют собой реализации случайных процессов.

Для оценки графиков нагрузки используется система статистических показателей, основными из которых принимаются: среднее значение мощности нагрузки; коэффициент включения; коэффициент максимума; коэффициент вариации нагрузки; коэффициент формы графика; коэффициент использования номинальной мощности; коэффициент загрузки печного (для индивидуальных графиков) или силового (для групповых графиков) трансформатора; коэффициент мощности при совместном рассмотрении графиков активной и реактивной нагрузки.

При углубленном анализе определяется также закон распределения случайных значений нагрузки и корреляционная функция. Однако, при решении многих практических задач достаточным является знание лишь отдельных показателей графиков нагрузки, таких как средние мощности, коэффициенты включения, формы и максимума.

Для возможности использования микропроцессора и ввода в него информации графики нагрузки подвергаются квантованию с представлением их в виде дискретных последовательностей случайных чисел.

Необходимую длину реализации графика нагрузки T и шаг квантования Δt определяют с требуемой точностью вычисления статистических оценок. В соответствии со статистической теорией эти параметры определяют по формулам

$$T = 2 / (n_0 z_1^2); \Delta t_k = 2\sqrt{2}\eta_2 / (\pi n_0), \quad (1.3)$$

где T - длина реализации, мин; Δt_k - шаг квантования, мин; n_0 - среднее число пересечений процессом $P(t)$ или $Q(t)$ линии его математического ожидания (средней мощности), 1/мин; η_1, η_2 - максимальные относительные погрешности определения дисперсии и описания корреляционной функции; обычно принимается $\eta_1, \eta_2 = 0,05 \dots 0,1$.

Число случайных значений ординат (массив случайных значений), взятых для статистической обработки, определяют из выражения

$$\eta = T / \Delta t_k. \quad (1.4)$$

Длину реализации принято выбирать кратной суткам, так как сутки наиболее полно отражают общий ритм и цикл производства.

При статистической обработке в компьютер вводят массивы из n частных значений p и n частных значений q , полученных при дискретизации синхронно записанных индивидуальных графиков нагрузки $p(t)$ и $q(t)$. Если в компьютер вводят массивы N индивидуальных графиков $p(t)$ и $q(t)$, то с его помощью предварительно вычисляют массивы суммарных графиков нагрузки:

$$P_i = \sum_1^N p_i; \quad Q_i = \sum_1^N q_i; \quad S_i = \sqrt{P_i^2 + Q_i^2}, \quad (1.5)$$

где i - номера ступеней, полученных при дискретизации графика нагрузки; $i = 1, 2, 3, \dots, n$; p_i - активная мощность i -той ступеньки графика нагрузки; q_i - реактивная мощность i -той ступеньки графика нагрузки.

Затем производят требуемую статистическую обработку индивидуальных и суммарных графиков нагрузки. Алгоритм расчета статистических показателей приведен в таблице 1.1.

Таблица. 1.1.

Алгоритм расчета статистических показателей графиков нагрузки электротехнологических установок.

Статистические показатели	Расчетные формулы
1	2
Число обрабатываемых значений	$n = T / \Delta t$
Средние мощности	$\bar{P} = \sum_i^n p_i / n$; $\bar{Q} = \sum_i^n q_i / n$; $\bar{S} = \sqrt{\bar{P}^2 + \bar{Q}^2}$
Коэффициент включения	$K_B = n_p / n$; n_p – количество включений ($P_i, Q_i, S_i > 0$)
Максимальные значения	$P_{\max} = P_{i \max}$; $Q_{\max} = Q_{i \max}$; $S_{\max} = S_{i \max}$
30-минутные (получасовые) максимумы (определяются по методу скользящей средней)	$P_{\max(30)} = \left(\sum_i^l P_i / l \right)_{\max}$; $Q_{\max(30)} = \left(\sum_i^l Q_i / l \right)_{\max}$; $S_{\max(30)} = \left(\sum_i^l S_i / l \right)_{\max}$; $l = 30 / \Delta t$

Среднеквадратичные мощности	$P_{\text{н\acute{e}}} = \sqrt{\sum_i^n P_i^2 / n}; \quad Q_{\text{н\acute{e}}} = \sqrt{\sum_i^n Q_i^2 / n}; \quad S_{\text{н\acute{e}}} = \sqrt{P_{\text{н\acute{e}}}^2 + Q_{\text{н\acute{e}}}^2}$
Оценка дисперсий	$D_p^* = (P_{\text{ск}}^2 - \bar{P}^2) \frac{n}{n-1}; \quad D_Q^* = (Q_{\text{ск}}^2 - \bar{Q}^2) \frac{n}{n-1};$ $D_S^* = (S_{\text{ск}}^2 - \bar{S}^2) \frac{n}{n-1}$
Оценки среднеквадратичных отклонений	$\sigma_p^* = \sqrt{D_p^*}; \quad \sigma_Q^* = \sqrt{D_Q^*}; \quad \sigma_S^* = \sqrt{D_S^*}$
Коэффициент вариации нагрузки	$K_{\text{вP}} = \sigma_p^* / \bar{P}; \quad K_{\text{вQ}} = \sigma_Q^* / \bar{Q}; \quad K_{\text{вS}} = \sigma_S^* / \bar{S}$
Коэффициент формы графика нагрузки	$K_{\delta P} = P_{\text{н\acute{e}}} / \bar{P}; \quad K_{\delta Q} = Q_{\text{н\acute{e}}} / \bar{Q}; \quad K_{\delta S} = S_{\text{н\acute{e}}} / \bar{S}$
Коэффициент максимума	$K_{\text{maxP}} = P_{\text{max}} / \bar{P}; \quad K_{\text{maxQ}} = Q_{\text{max}} / \bar{Q}; \quad K_{\text{maxS}} = S_{\text{max}} / \bar{S}$
Коэффициент 30-минутного максимума	$K_{\text{max(30)P}} = P_{\text{max(30)}} / \bar{P}; \quad K_{\text{max(30)Q}} = Q_{\text{max(30)}} / \bar{Q};$ $K_{\text{max(30)S}} = S_{\text{max(30)}} / \bar{S}$
Коэффициент использования номинальной мощности	$K_{\epsilon P} = \bar{P} / P_i; \quad K_{\epsilon S} = \bar{S} / S_i$
Коэффициент загрузки трансформатора	$K_{\zeta} = K_{\epsilon S} / K_B = \bar{S} / (K_B S_i)$
Коэффициента мощности	$\cos \varphi = \bar{P} / \bar{S}$
Коэффициент реактивной мощности	$\text{tg } \varphi = \bar{Q} / \bar{P}$

При известных показателях графиков $P(t)$ и $Q(t)$ показатели графика $S(t)$ получают без специальных исследований по формулам

$$\bar{S} = \sqrt{\bar{P}^2 + \bar{Q}^2}; \quad S_{\text{max}} \approx \sqrt{P_{\text{max}}^2 + Q_{\text{max}}^2}; \quad S_{\text{max(30)}} \approx \sqrt{P_{\text{max(30)}}^2 + Q_{\text{max(30)}}^2}; \quad (1.6)$$

$$K_{\delta S} = \sqrt{\frac{K_{\delta P}^2 + K_{\delta Q}^2 \text{tg}^2 \varphi}{1 + \text{tg}^2 \varphi}}; \quad K_{\text{вS}} = \sqrt{K_{\delta S}^2 - 1}, \quad (1.7)$$

где $\text{tg } \varphi = \bar{Q} / \bar{P}$. Знак \approx объясняется одновременностью максимума для P и Q .

На показатели суточных графиков электрической нагрузки ЭТУ большое влияние оказывает режим их включения. Электротехнологические установки эксплуатируются в одну, две, три смены; круглосуточная работа непрерывно от ремонта до ремонта, но с отключением в выходные и праздничные дни.

При работе ЭТУ с перерывами для правомерности использования приведенных выше формул перерывы из полученных реализаций графиков исключают. Полученные при этом статистические показатели графиков нагрузки характеризуют типичный период работы ЭТУ.

Показатели графиков нагрузки с учетом перерывов в работе ЭТУ получают путем пересчета по формулам:

среднее значение за весь период исследования

$$\bar{x} = \bar{x}_0 K_{\hat{a},\delta}; \quad (1.8)$$

коэффициент формы

$$K_{\delta} = K_{\delta,\delta} / K_{\hat{a},\delta}; \quad (1.9)$$

коэффициент максимума

$$K_{\max} = K_{\max p} / K_{в,р}; \quad (1.10)$$

коэффициент 30-минутного максимума

$$K_{\max(30)} = K_{\max(30)p} / K_{в,р}; \quad (1.11)$$

коэффициент вариации

$$K_v = \sqrt{\frac{K_{\delta,\delta}^2}{K_{\hat{a},\delta}^2} - 1}, \quad (1.12)$$

где под x принимают P, Q, S ; $K_{в,р} = T_p / T$ – коэффициент включения ЭТУ в работу за период обследования; T_p – период работы; $x_p, K_{ф,р}, K_{\max p}, K_{\max(30)p}$ – показатели, относящиеся к периоду работы ЭТУ; $T = T_p + T_0$; T_0 – период отключения ЭТУ.

Следующим показателем работы ЭТУ является ее производительность. Она определяется количеством продукции, производимой ЭТУ в единицу времени (час, сутки). При сравнительном анализе работы различных ЭТУ рассматривается часовая производительность

$$\Pi_{ч} = G / t, \quad (1.13)$$

где G – количество материалов, изделий, полученное или обработанное в ЭТУ, т, кг или единицы изделий; t – время, необходимое для получения или обработки данного количества материалов, изделий.

Производительность установки, дающей несколько видов продукции, рассматривается отдельно по каждому виду продукции. Средняя часовая производительность

$$\bar{I}_{\pm} = G_{\Sigma} / T_{\delta}, \quad (1.14)$$

где G_{Σ} – суммарный объем выпуска продукции за рассматриваемый период, т; T_{δ} – фактическое число часов работы ЭТУ за рассматриваемый период.

Годовая производительность ЭТУ определяется по формуле

$$G_{\Gamma} = \bar{P}_{\text{ч}} T_{\text{p,г}} K_{\text{и,о}}, \quad (1.15)$$

где G_{Γ} – годовая производительность, т/год; \bar{I}_{\pm} – средняя часовая производительность, т/ч; $K_{\text{и,о}}$ – коэффициент использования оборудования, учитывающий технологические перерывы на переход с одного вида продукции на другой; если эти перерывы учтены при определении значения $T_{\text{p,г}}$, то коэффициент $K_{\text{и,о}}$ принимается равным единице.

Важной практической задачей является определение годового фонда рабочего времени ЭТУ. В общем случае он равен разнице между режимным фондом времени и суммарной длительностью простоев ЭТУ за год:

$$T_{\text{p,г}} = T_{\text{реж}} - T_{\text{п}}. \quad (1.16)$$

Режимный фонд времени зависит от режима включения ЭТУ в работу. Наиболее характерными режимами являются: работа в три смены без выходных дней, в три смены с выходными днями, в две смены с выходными днями, в две и три смены с выходными днями.

Последний режим используется в ряде производств, на которых в целях улучшения условий труда ограничивают число ночных смен.

Наибольшим возможным временем использования ЭТУ в году является полный календарный фонд времени, ч,

$$T_{\Gamma} = n_{\Gamma} \cdot 24 = 365 \cdot 24 = 8760, \quad (1.17)$$

где n_{Γ} – число календарных дней в году, принимаемое равным 365.

Для предприятий, работающих без выходных дней, $T_{\text{реж}} = T_{\text{г}}$; для остальных режимный фонд времени оказывается меньше календарного на время выходных и междуменных перерывов:

$$n_{\text{реж}} = n_{\text{г}} - n_{\text{вых}}, \quad (1.18)$$

где $n_{\text{вых}}$ - число выходных и праздничных дней в году.

Режимный фонд времени в часах

$$T_{\text{реж}} = n_{\text{реж}} t_p(i), \quad (1.19)$$

где $t_p(i)$ - число часов работы ЭТУ в сутки при трех-, двух- или односменном режиме ($i = 3, 2, 1$).

Суммарная длительность простоев складывается из длительности холодных простоев (длительные плановые и аварийные ремонты и простои с полным охлаждением установки) и горячих простоев (кратковременные и аварийные ремонты и простои, профилактические осмотры):

$$T_{\text{п}} = T_{\text{п,х}} + T_{\text{п,гор}}. \quad (1.20)$$

При одно- и двухсменном режиме холодные простои снижают годовой фонд рабочего времени лишь на величину $t_p(i)$ на каждые сутки простоя. Поэтому в приведенной формуле для указанных режимов берут:

$$T_{\text{п}} = T_{\text{п,х}} t_p(i)/24 + T_{\text{п,гор}}. \quad (1.21)$$

Электротехнологические установки относятся к числу технологических потребителей, как правило, с большим удельным потреблением электроэнергии. Разнообразие ЭТУ по принципу действия, конструктивному исполнению, номинальной мощности и назначению приводит к значительному различию их по удельному расходу электроэнергии на единицу выпускаемой продукции.

Удельный расход электроэнергии ЭТУ измеряют в киловатт-часах на тонну выпускаемой продукции и определяют из соотношения

$$e_{\text{т}} = W/G, \quad (1.22)$$

где $e_{\text{т}}$ - удельный технологический расход электроэнергии ЭТУ, кВт·ч/т; W - потребление электроэнергии установкой за рассматриваемый период (смена, сутки, месяц, год или отдельное число плавов), кВт·ч; G - объем выпуска продукции за рассматриваемый период, т.

Фактический расход электроэнергии на производство единицы продукции называется удельным расходом, а плановый расход - нормой расхода.

В соответствии с разработанными Госэнергонадзором положениями нормирования электрической энергии осуществляется на всех уровнях хозяйственной деятельности. Нормированию подлежит расход электроэнергии на основные и вспомогательные производственно-эксплуатационные нужды - отопление, вентиляцию, освещение, водоснабжение и др., включая потери в сетях.

Основная задача нормирования - обеспечить применение в производстве технически и экономически обоснованных, прогрессивных норм расхода электроэнергии для осуществления режима ее экономии, рационального распределения и наиболее эффективного использования в электротехнологических процессах и установках.

При анализе удельных расходов электроэнергии и их нормировании, связанном с работой ЭТУ, используются индивидуальные и групповые, технологические и общепроизводственные нормы расхода.

Индивидуальные нормы расхода электроэнергии на производство единицы продукции устанавливают по типам ЭТУ или отдельно по каждой ЭТУ.

Групповые нормы расхода электроэнергии определяются на производство заданного объема одноименной продукции согласно традиционной сложившейся номенклатуре.

Технологическая норма расхода учитывает расход электроэнергии на основные и вспомогательные технологические процессы производства определенного вида продукции, на поддержание электротехнологических установок в горячем резерве, на их разогрев и пуск после текущих ремонтов и холодных простоев, а также потерь электроэнергии при работе основного и вспомогательного оборудования ЭТУ.

Общещеховые нормы включают в себя весь расход электроэнергии по технологическим нормам, установленным в цехе для ЭТУ, и все другие внутрицеховые расходы, затрачиваемые на осуществление основных и вспомогательных процессов и на вспомогательные нужды производства, включая освещение, вентиляцию, внутрицеховой транспорт, потери электроэнергии в цеховых сетях, трансформаторах и преобразователях, отнесенные на производство данной продукции.

В общем виде общещеховая норма определяется по формуле

$$e_{ц} = \frac{\sum_i^n e_{тi} G_i + W_{ц}}{G_{ц}}, \quad (1.23)$$

где $e_{тi}$ - технологическая норма расхода электроэнергии i -той ЭТУ, кВт·ч/т; G_i - объем выпуска продукции за рассматриваемый период, т; n -

число ЭТУ, производивших данную продукцию; $W_{ц}$ - все другие расходы электроэнергии, не включенные в технологические нормы, кВт·ч; $G_{ц}$ - объем выпуска продукции цеха, т

$$G_0 = \sum_i^n G_i. \quad (1.24)$$

Общезаводская норма включает в себя весь расход электроэнергии по цеховым нормам и на общезаводские вспомогательные, технологические и подсобные нужды, включая освещение завода, его отопление, вентиляцию, общезаводской транспорт, потери электроэнергии в общезаводских сетях и другие общезаводские расходы, отнесенные к объему производства продукции. По периоду действия нормы расхода устанавливают на месяц, квартал и год.

При обследовании ЭТУ используются три метода разработки норм расхода электроэнергии: расчетно-аналитический, опытный и расчетно-статистический. Первый являлся основным, так как позволяет анализировать влияние отдельных составляющих расхода, использовать при нормировании научные методы и положительный опыт, учитывать технический уровень производства.

Применительно к ЭТУ расчетно-аналитические методы используются для определения технологических норм расхода на стадии проектирования электротехнологического оборудования. При проектировании и эксплуатации систем электропитания ЭТУ используются расчетно-статистические методы, при которых нормы расхода электроэнергии устанавливают на основе отчетно-статистических данных за ряд предшествующих лет о фактических удельных расходах электроэнергии и факторов, влияющих на их изменение.

Опытный метод позволяет определить степень достоверности как расчетно-аналитического, так и расчетно-статистического метода и является наиболее надежным. Однако он требует проведения дорогостоящих экспериментальных работ непосредственно на действующих электротехнологических установках в тяжелых производственных условиях «горячих» цехов.

Түйіндеме

Электр жабдықтау объектісі ретінде электротехнологиялық қондырғылар және негізгі түсініктер мен анықтамалар қарастырылған.

Resume

Electroengineering plants have been considered as objects of power supply. The main initial concepts and definitions have been considered.

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 нагрузок 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.

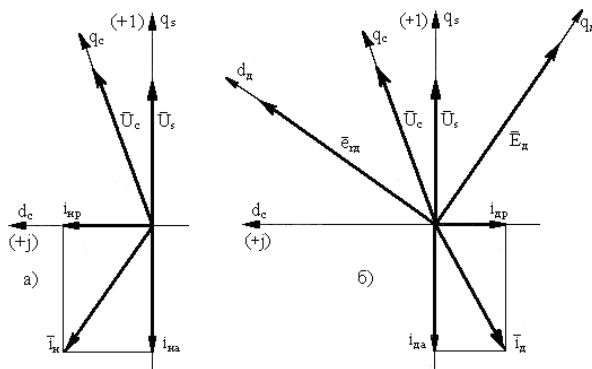


Рисунок 1 - Векторные диаграммы: статической нагрузки (а) и синхронного двигателя (б).

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;

θ - 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 неправомерность 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:

$$Jps_R = M_C(t) - M_{\dot{\gamma}}(t); \quad (3)$$

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

где M_C - момент сопротивления, приложенный к валу машины;

$M_{\dot{\gamma}}$ - 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;

ω_R – угловая скорость ротора электрической машины.

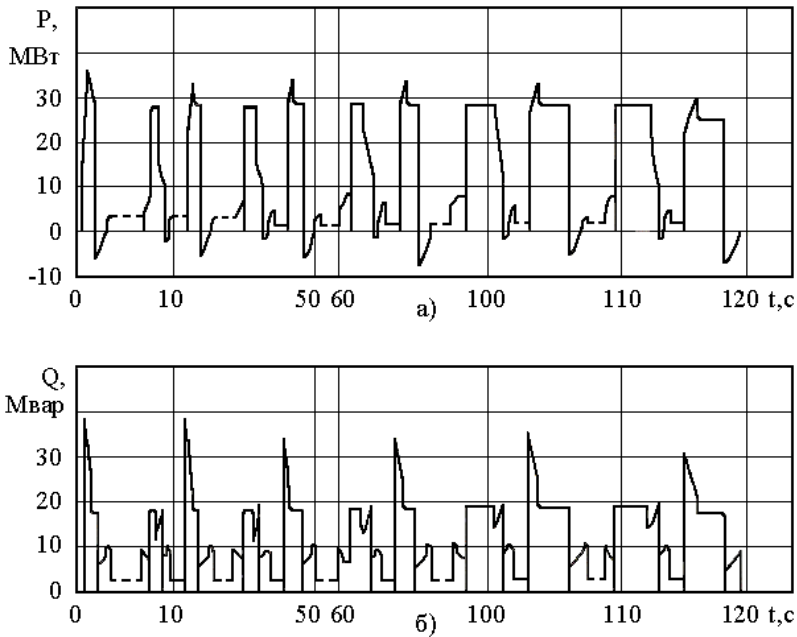


Рисунок 2 - Графики изменения активной (а) и реактивной (б) мощностей прокатного стана (слябинга 1250) за цикл прокатки.

Результаты исследований, проведенные на действующих дуговых сталеплавильных печах [7] показали, что колебания активной и реактивной мощностей печи носят нерегулярный характер и зависит 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:

$$\bar{u}_S(t) = r_1(t)\bar{i}_l(t) + (p + j)x_l(t)\bar{i}_l(t) \quad (7)$$

где \bar{i}_H - вектор тока нагрузки;

r_H , x_H - активное и реактивное сопротивления 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.

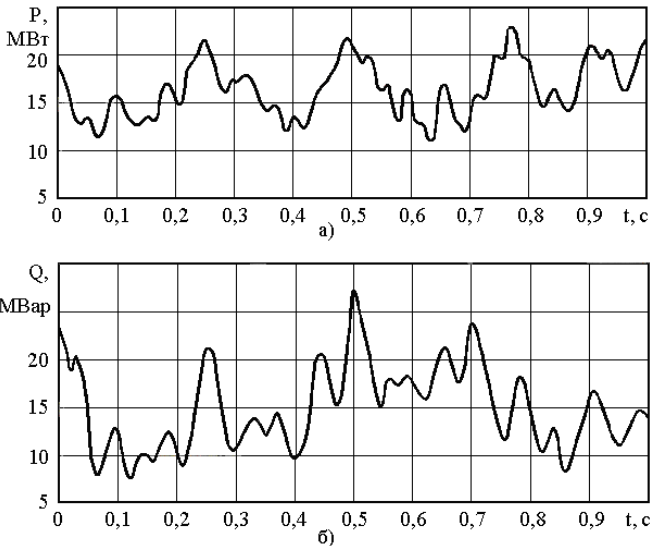


Рисунок 3 - Графики изменения активной (а) и реактивной (б) мощностей дуговой сталеплавильной печи ДСП-100 в период расплавления.

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 станов, 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 Косогоров 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 стр.
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 қуаты өзгерісі графиктерін негізге, электр тораптарының ауыспалы режимді есептеу қасында, кенет ауыспалы электр жүктеме әдістеуімені ұсынды.

Resume

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

УДК 621.313

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

**А.Н. Новожилов, Н.А. Исупова,
Е.Н. Колесников, Д.А. Кудабаяев**

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова

В.А. Черных

Омский государственный технический университет

Актуальность проблемы. Конфигурация электроэнергетических систем постоянно меняется из-за происходящих в ней коммутационных переключений. Коммутационные переключения, в свою очередь, сопровождаются переходными процессами. Одним из характерных коммутационных переключений является включение или отключение присоединения к электрической сети с изолированной нейтралью. И если первое, как правило, не представляет особой опасности, то второе может сопровождаться значительными перенапряжениями. Особенно если коммутация осуществляется вакуумным выключателем.

Моделировать коммутационные переходные процессы можно по-разному. Например, рассчитывать с использованием классических методов изложенных в ТОЭ [1]. Однако, несмотря на внешнюю простоту такой подход не каждому под силу. Дело в том, что расчет в ручную очень трудоемок. А использование для этого ЭВМ требует навыка программирования. Кроме того, подробности моделирования, как правило, в публикациях не излагаются [2,3]. С другой стороны широко известны достаточно простые системы схмотехнического

моделирования Electronics Workbench и Micro-Cap, которые также позволяют моделировать переходные процессы в электрических схемах. Однако точность моделирования таких задач электроэнергетики с их помощью неизвестна. В этой работе делается попытка сопоставить результаты моделирования процесса отключения индуктивной нагрузки от сети, оценить их точность и дать рекомендации по поводу применения.

Математическая модель. Для простоты рассматривается появление перенапряжений в простейшей сети, питающей индуктивную нагрузку, которая изображена на рис.1, а. Эта сеть содержит источник питания переменного тока с угловой частотой ω и напряжением U , кабельную линию длиной l и сечением S , а также нагрузку в виде асинхронного двигателя \dot{I} или трансформатора. Ее эквивалентная схема приведена на рис 1,б, где $R_{\hat{e}}$ и $C_{\hat{e}}$ - активное сопротивление и емкость кабеля; R_i и L_i - активное сопротивление и индуктивность двигателя. Режимов моделирования два. Первый до коммутации, то - есть при замкнутых контактах выключателя QF , а второй при после коммутации – при его разомкнутых контактах.

До коммутации ток электродвигателя

$$\dot{I}_{mm} = \dot{U}_m / (R_k + R_m + j\omega L_m) = \dot{U}_m / Z_1 \quad (1)$$

где \dot{U}_0 и \dot{I}_{mi} - амплитудное значение напряжения питания и тока в цепи двигателя.

Мгновенные значения напряжения на емкости и тока в электродвигателе соответственно равны

$$u_c = U_{mc} \cos \omega t \text{ и } i_m = I_{mm} \cos(\omega t + \varphi_m) \quad (2)$$

где φ_m - сдвиг по фазе тока двигателя относительно питающего напряжения.

Таким образом, энергия, запасаемая в элементах схемы в произвольный момент времени определяют как

$$\begin{aligned} W_1 &= \frac{C_k u_c^2}{2} + \frac{L_m i_m^2}{2} = \frac{C_k U_{mc}^2 \cos^2 \omega t}{2} + \frac{L_m I_{mm}^2 \cos^2(\omega t + \varphi_m)}{2} = \\ &= \frac{U_{mc}^2}{2} \left(C_k \cos^2 \omega t + \frac{L_m \cos^2(\omega t + \varphi_m)}{Z_1^2} \right) = \frac{U_{mc}^2}{2} W_1^* \end{aligned} \quad (3)$$



Рисунок 1 - Схема и эквивалентная схема фидера для питания двигателя

После коммутации контакты выключателя QF размыкаются, двигатель отключается от источника питания, а в его цепи происходит переходной процесс за счет запасенной энергии W_1 . Электрические параметры этого процесса с учетом [1] определяются следующим образом.

Входное сопротивление цепи электродвигателя после коммутации

$$Z_{вх}(\omega t) = (R_{\kappa} + R_{\text{м}}) + j\omega L_{\kappa} + \frac{1}{j\omega C_{\kappa}}.$$

Характеристическое уравнение получают, заменив в этом выражении $j\omega$ на p и приравняв его нулю. В результате

$$Z_{вх}(p) = (R_{\kappa} + R_{\text{м}}) + pL_{\kappa} + \frac{1}{pC_{\kappa}} = 0.$$

В итоге

$$p^2 L_{\kappa} C_{\kappa} + p C_{\kappa} (R_{\kappa} + R_{\text{м}}) + 1 = 0. \quad (4)$$

Обычно при решении квадратных уравнений принимают

$$\lambda = L_{\hat{e}} C_{\hat{e}}, \quad \hat{a} = C_{\hat{e}} (R_{\hat{e}} + R_{\hat{i}}), \quad \hat{n} = 1, \quad \text{а дискриминант } d = b^2 - 2a.$$

Перенапряжение может возникнуть только при колебательном процессе, то есть при $d < 0$. Что соответствует комплексным, попарно сопряженным корням уравнения (4). В этом случае напряжение на емкости после коммутации в соответствии с [1] определяется как

$$u_{c,cv} = U_{mc,0} e^{-\delta t} \cos(\omega_0 t), \text{ где } \delta = \frac{-b}{2a}, \text{ а } \omega_0 = \frac{\sqrt{d}}{2a}. \quad (5)$$

где $U_{m\tilde{n},0}$ - амплитуда напряжения на конденсаторе без учета рассеяния энергии в активном сопротивлении колебательного контура; ω_0 - угловая частота цепи двигателя после коммутации.

Таким образом, мгновенные значения напряжения на емкости и тока в электродвигателе после коммутации

$$\dot{i}_{m\tilde{n},0} = \frac{\dot{U}_{mc,0}}{R_k + R_m + j\omega_0 L_m + 1/j\omega_0 C_k} = \frac{\dot{U}_{mc,0}}{Z_{вх0}}. \quad (6)$$

$$i_{m,0} = \frac{u_{c,0}}{R_k + R_m + j\omega_0 L_m + 1/j\omega_0 C_k} = \frac{u_{c,0}}{Z_0}. \quad (7)$$

Величину $U_{m\tilde{n},0}$ определяют следующим образом. Энергия, запасаемая элементами схемы после коммутации без учета потерь в активных сопротивлениях

$$\begin{aligned} W_0 &= \frac{C_k u_{c,0}^2}{2} + \frac{L_m i_{m,0}^2}{2} = \frac{C_k U_{mc,0}^2 \cos^2 \omega_0 t}{2} + \frac{L_m I_{m\tilde{n},0}^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_{m0})}{2} = \\ &= \frac{U_{mc,0}^2}{2} \left(C_k \cos^2 \omega_0 t + \frac{L_m \cos^2(\omega_0 t + \varphi_{m0})}{Z_0^2} \right) = \frac{U_{mc,0}^2}{2} W_0^*, \quad (8) \end{aligned}$$

где φ_{m0} - сдвиг по фазе тока двигателя относительно напряжения на конденсаторе после коммутации.

Если приравнять энергию, запасаемую контуром до и после коммутации, а затем преобразовать, то амплитуда напряжения на конденсаторе

$$U_{m\tilde{n},0} = U_{m\tilde{n}} \sqrt{W / W_0},$$

а кратность перенапряжения и частоты

$$k_U = \frac{U_{m\tilde{n},0}}{U_{m\tilde{n}}} = \sqrt{W/W_0} \text{ и } k_\omega = \omega_0/\omega. \quad (9)$$

Для определения величины кратности перенапряжения k_U в конкретном случае активное сопротивление $R_{\hat{e}}$ и емкость $C_{\hat{e}}$ кабеля находят, например, по справочнику [4]. Сопротивление $R_{\hat{i}}$ двигателя можно просто измерить, а индуктивность и его индуктивное сопротивление найти из соотношения

$$L_M = \frac{X_M}{\omega} = \frac{U_{ном}^2}{\omega P_M},$$

где $U_{\hat{i}\hat{i}}$ и $P_{\hat{i}}$ - номинальные значения напряжения и мощности двигателя.

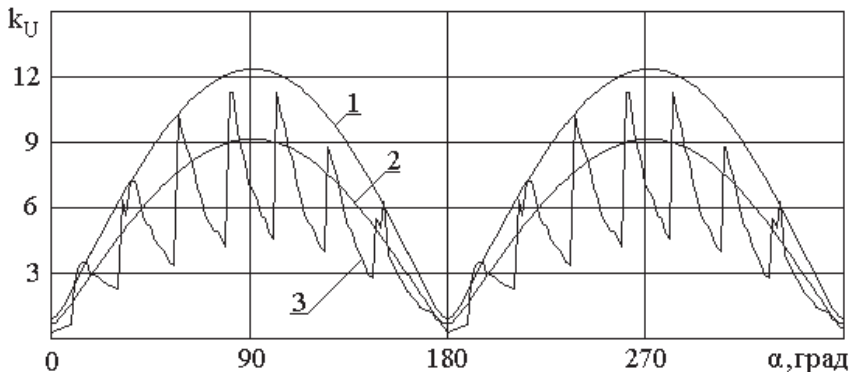


Рисунок 2 - Зависимости кратности перенапряжения в зависимости от ωt

Результаты моделирования зависимости $k_U = f(\omega t)$ с использованием уравнения (9), а также систем схемотехнического моделирования Micro-Cap и Electronics Workbench в виде кривых 1-3 соответственно приведены на **рис.**

2. Они получены для схемы, у которой $U_{\hat{o}} = 100 \text{ В}$, $R_{\hat{k}} + R_{\hat{M}} = 100 \text{ Ом}$, $C_{\hat{e}} = 0,075 \text{ мкФ}$ и $L_{\hat{M}} = 0,75 \text{ Гн}$.

Из рис.2 видно, что величина k_{U} в зависимости от угла отклонения тока, определяемая с помощью Electronics Workbench, изменяется хаотически. Поэтому моделирование коммутационных переходных процессов в электрических сетях с изолированной нейтралью с помощью Electronics Workbench не приемлемо и далее не рассматривается.

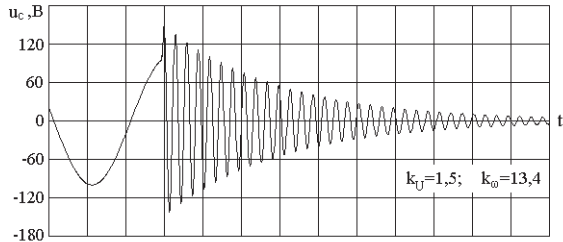
Результаты моделирования. Результаты моделирования максимального значения коэффициента перенапряжения $k_{U,max}$ и частоты свободных колебаний f_0 по уравнению (9) и с помощью прикладной программы Micro – Cap при различных величинах элементов $C_{\hat{e}}$ и L_i схемы приведены в табл. 1.

Из таблицы видно, что частота f_0 , определяемая с помощью Micro – Cap, отличается от рассчитанной по уравнению 5 в приведенном диапазоне изменения частот отличается не более чем 10%. В тоже время, различие величины k_{U} в отдельных случаях достигает 660%. Однако, как показывает анализ схем подключения двигателей и трансформаторов, параметры схемы будут близки к тем которые расположены в первой и второй строках. В этом случае погрешность моделирования будет значительно меньше.

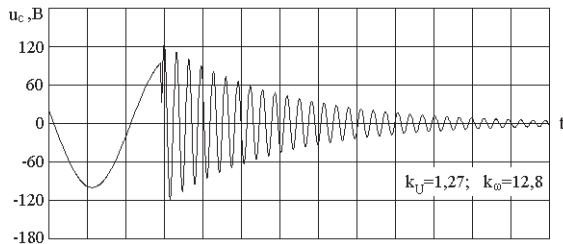
Таблица 1

Параметры элементов	По уравнению 9		Micro – cap	
	k_U	$k\omega$	k_U	$k\omega$
$C_{\hat{e}} = 0,075 \text{ } \hat{i}e\hat{O}$ $L_m = 0,75 \Gamma H$	12,35	13,42	9,74	12,84
$C_{\hat{e}} = 0,075 \text{ } \hat{i}e\hat{O}$ $L_m = 0,075 \Gamma H$	9,76	42,38	3,5	38,68
$C_{\hat{e}} = 0,0075 \text{ } \hat{i}e\hat{O}$ $L_m = 0,75 \Gamma H$	39	42,44	15,48	38,38

$C_{\hat{e}} = 0,0075 \text{ и } \hat{e} \hat{O}$ $L_M = 0,075 \text{ Гн}$	30,79	134,2	4,64	126,58



а)



б)

Рисунок 3 - Зависимости кратности перенапряжения в зависимости от ωt

Полученные выражения для определения кратности перенапряжения характерны для сетей с вакуумными выключателями. Эти выключатели получили широкое распространение в качестве коммутирующих устройств сетей 6-35 кВ из-за высокой надежности и повышенного ресурса. Именно им характерен «срез тока». Под этим явлением понимается способность выключателя практически мгновенно отключать токи до их естественного перехода через нуль. Как правило, для вакуумных выключателей «срез тока» происходит при ωt не более 5° .

На рис.3,а и рис.3,б приведены результаты моделирования зависимостей $u_c = f(\omega t)$ до и после коммутации по уравнениям (9) с помощью системы схемотехнического моделирования Micro-Cap при $\omega t = 5^{\circ}$. Как видно из этих рисунков по кратности перенапряжения и частоты различаются всего на 18% и 4,6% соответственно. Из этого следует, что Micro-Cap позволяет решать задачи этого класса в электроэнергетике с достаточно высокой точностью.

Выводы

1. Моделирование перенапряжений при коммутациях в электрических сетях с изолированной нейтралью с помощью Electronics Workbench не приемлемо из-за хаотичности полученных результатов.

2. Система схемотехнического моделирования Micro-Cap позволяет моделировать кратность перенапряжения и частоты процесса с точностью 18% и 4,6% соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. -М.: Высшая школа, 1967.- 775с.

2. Беляков Н.Н., Кузьмичева К.И. Ограничение перенапряжений при дуговых замыканиях на землю в сети 6 КВ собственных нужд электростанций с помощью ОПН// Электрические станции. – 1991.- №4.- С.78÷84

3. Кузьмичева К.И., Подъячев И.Н., Шлейфман И.Л. Ограничение перенапряжений при отключении вакуумными выключателями пусковых токов электродвигателей с помощью ОПН// Электрические станции. – 1996.- №4.- С.45÷49

4. Крючков И.П., Кувшинский Н.Н., Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанции. – М.: Энергия, 1978.-454с.

Түйіндеме

Нейтральмен ажыратылған электр желілердің коммутационды ауытырулары ток кернуінің ұлғаяымен қатар жүреді. Оларды модельдеудің бірнеше әдістері бар. Осы жұмыста класикалы әдіс пен Electronics Workbench және Micro-Cap түріндегі сызбатехникалық модельдеудің көмегімен, модельдеу үрдісі барысындағы желіден индукция жүктемесінің ошу нәтижесі салыстырылады. Оларды қолдану бойынша ұсынулар беріледі.

Кілт сөздер: нейтральмен ажыратылған желі, коммутационды кернеу, есептеу әдісі.

Resume

Switching switchings of an electric network with the isolated neutral can be accompanied by considerable overvoltage. There are some ways of their modeling. In this work results of modeling of process of switching-off of inductive loading from a network by means of a classical method and systems circuitry modeling in the form of Electronics Workbench and Micro-Cap are compared. Recommendations concerning their application are made.

Keywords: network with the isolated neutral, switching an overvoltage, calculation methods.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ТЯГОВЫХ СЕТЯХ

Е.Т. Оразов

к.ф-м.н., в.н.с., Институт математики МОН РК, г. Алматы,

К.К. Тохтибакиев

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

А.А. Саухимов

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

1 Имитационная модель определения потерь мощности в контактной сети

Расчет потерь энергии в тяговых сетях представляет собой достаточно сложную задачу ввиду непостоянства пространственного положения поездов по отношению к тяговым подстанциям и неравномерного потребления мощности на тягу. В работах [1,2], потери энергии определялись путем интегрирования методом трапеций кривой мощности потерь в тяговой сети в зависимости от времени. Необходимая зависимость была получена путем электрического расчета множества мгновенных схем, формируемых при перемещении поездов по межподстанционной зоне. Для электрического расчета в работе применялась эквивалентная схема участка переменного тока [1,2]. Участки тяговой сети между неоднородностями представляли многополюсниками, описанными уравнениями в Y-параметрах. Коэффициенты каждого многополюсника рассчитывали по методике [2] с учетом магнитных связей всех контуров, образованных проводниками тяговой сети, и конечного переходного сопротивления рельсы — земля. Следует отметить, что в приведенных выше публикациях по расчету потерь в контактной сети основное внимание уделяется оценке влияния технологических факторов на величину мгновенных потерь мощности, расчеты выполняются для конкретных ситуаций прохождения электропоездов по участку контактной сети. Указанные методы относятся к используемым в расчетах электрических сетей схемно-техническим методам. Эти методы используют детерминированные значения нагрузок, подключенных в жесткозакрепленных точках сети, при известных значения параметров в пространственном расположении. Определение энергии путем интегрирования методом трапеций не упрощает задачу оценки потерь в контактной сети и не позволяет найти более общую методику расчету потерь в контактной сети, позволяющую определить ожидаемые потери на перспективу при планировании объема по тяговой нагрузке.

В предлагаемой в данной работе методике предполагается использовать экспериментально-статические данные по оценке фактических потерь на основе

измерения баланса по участкам контактной сети, эти данные используются для построения эквивалентных бесконтактных схем, привязанных к возможному сценарию движения поездов на участке фидера тяговой подстанции. Поясним вкратце, что основные положения, принятые при формировании имитационной модели. Для этой цели определим ряд понятий, используемых для формального описания условий решения задачи. Прежде всего, это понятие пространственно-временной сцены. Зафиксируем некоторый интервал времени, например сутки и обозначим его через T_0 . Зафиксируем далее некоторый интервал одномерного евклидова пространства, интерпретируемый как длина фидера тяговой подстанции. Обозначим его через L_0 .

2 Формализация понятия пространственно-временной сцены

Обозначим далее через: S_{L_0, T_0} - множество точек прямоугольной области:

$$S_{L_0, T_0} = \{s \in T_0 \times L_0\} \tag{1}$$

Зададим на множестве : S_{L_0, T_0} - некоторую булеву функцию:

$$b(s) = \begin{cases} 1, \text{если реализуется в точке } s \text{ некоторое событие } E \\ 0, \text{если это событие не реализуется.....} \end{cases}$$

Определение 1 Пространственно – временной сценой будем называть

пару: $\langle S_{L, T}, E \rangle$. На рисунке 1 изображена пространственно-временная сцена:

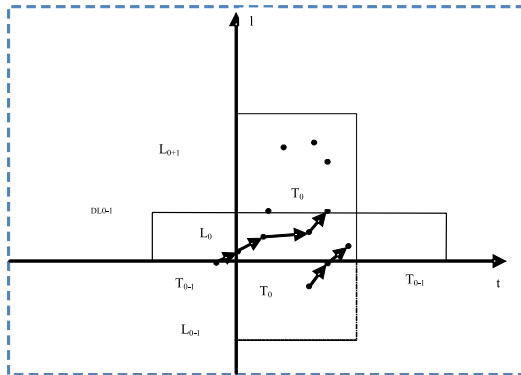


Рисунок.1 - Карта изменения пространственно-временных сцен во времени и в пространстве (стрелками указаны некоторые траектории поездов)

Определение 2 Входными точками пространственно-временной сцены. Будем называть точки принадлежащие прямым $l=0$ или $t=0$. Другими словами это расположение поездов в начальный момент времени и время прибытия поездов на участок. Графически входные точки первого типа будем изображать в виде белого кружочка, а второго- белого прямоугольника.

Определение 3 Выходными точками пространственно-временной сцены будем называть точки принадлежащие прямым $l=L$ или $t = T_0$. Другими словами это время выхода поездов из фидера или расположение поездов в конце суток. Пусть далее поезда движутся с постоянной и одинаковой скоростью. Тогда очевидно траектории движения всех поездов будут параллельными друг другу прямыми. Такой случай будем называть регулярным. На рисунке 2 изображен регулярный случай пространственно-временной сцены.

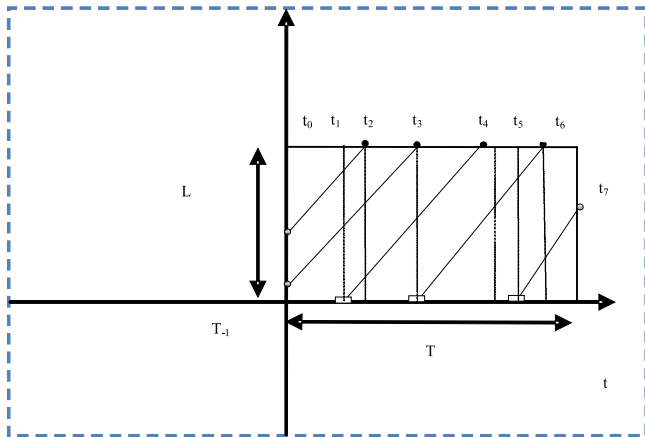


Рисунок 2 - Пространственно-временная сцена движения поездов 1, 2, 3, 4, 5 по фидеру в регулярном случае

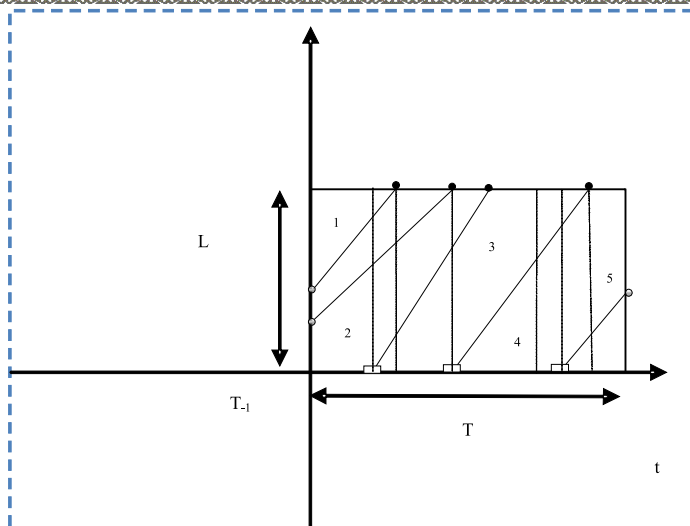


Рисунок 3 - Пространственно-временная сцена в нерегулярном случае

Алгоритм расчета графика потерь в регулярном случае

Регулярный случай изображен на рисунке 2. Здесь траектории движения всех поездов прямолинейные и параллельные друг другу. Проведем через точки входа и выхода прямые линии и обозначим их через: $t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7$. Тогда в каждом полуинтервале (t_i, t_{i+1}) количество поездов постоянное и расстояние между ними не меняется. Отсюда можно сделать вывод, что график потерь в каждом интервале времени растет с постоянной скоростью и изменяется скачком при переходе к следующему интервалу.

Утверждение 1 В каждом полуоткрытом интервале разбиения суток T_0 индуцированного расписанием прибытия и выбытия ЭПС на фидер ТП, число ЭПС остается постоянным, постоянным остается также кортеж их следования по фидеру.

Определим, далее, расстояние между ЭПС картежа $\langle n \rangle = \langle i_1, i_2, \dots, i_n \rangle$ в момент времени $t \in (t_k, t_{k+1}]$. Запишем уравнение движения ЭПС в декартовых координатах $\{T_0 \times L_0\}$, с началом координат в точке расположения ТП.

$$l_{ij} = v_{ij} t + b_{ij}, \quad (2)$$

где l_{ij} -расстояния ЭПС с номером i_j в кортеже $\langle n \rangle = \langle i_1, i_2, \dots, i_j, \dots, i_n \rangle$ от ТП;

v_{i_j} - скорость движения ЭПС с номером i_j ;
 t - рассматриваемый момент времени $t \in (t_k, t_{k+1}]$;

b_{i_j} - расстояние ЭПС с номером от ТП в начальный момент времени. Это число положительное, если ЭПС в начальный момент времени уже находится на фидере. Отрицательное, если ЭПС прибыл на фидер позже и равен 0, если ЭПС прибыл на фидер ровно в 00 часов 00 минут суток T_0 .

Далее, поскольку в регулярном случае все поезда движутся с одинаковой скоростью, уравнение (2.) можно переписать в виде:

$$l_{i_j} = vt + b_{i_j} \quad (3)$$

Для любых двух соседних ЭПС следующих в кортеже $\langle n \rangle = \langle i_1, i_2, \dots, i_j, \dots, i_n \rangle$, обозначим через $d_t(i_j, i_{j+1})$ - расстояние между ними (или точнее, между точками их контактов с фидером) в момент времени t . Ввиду уравнения (3) и определения кортежа это расстояние равно

$$d_t(i_j, i_{j+1}) = |b_{i_j} - b_{i_{j+1}}|$$

для всех $t \in (t_p, t_{p+1}]$. Это означает, что в каждом интервале разбиения суточного времени обусловленного расписанием движения поездов наблюдается эквидистантное движение.

Корректность замены контактной сети мгновенными схемами распределительных сетей отмечались многими авторами схемно-технического подхода [4] к оценке потерь в контактной сети. Однако, неопределенность числа нагрузок и точек их расположения на схеме не позволяет сделать выбор той или иной распределительной схемы.

Другой проблемой эквивалентной заменой является интегрирования точек функции потерь. Дело в том, что функция потерь разрывная в особых точках (точках перестройки кортежа ЭПС). Это обстоятельство требует особой тщательности при выборе пределов интегрирования кусочно-непрерывных функции.

Рассмотрим более подробно задачу эквивалентного замещения с учетом сделанных замечаний. Для этих целей зафиксируем, прежде всего, некоторые интервал разбиения $(t_i, t_{i+1}]$, и точку в нем, $t \in (t_i, t_{i+1}]$. Зафиксируем также некоторый кортеж ЭПС из n поездов:

$$\langle n \rangle = \langle i_1, \dots, i_n \rangle, \quad (4)$$

и соответствующий ему кортеж расстояния –

$$\langle d \rangle = \langle d_{01}(t), d_{12}, \dots, d_{(n-1)n} \rangle \quad (5)$$

Кортежу (2.6) соответствует некоторый кортеж потребляемой мощности –

$$\langle P \rangle = \langle P_1, \dots, P_n \rangle \quad (6)$$

А кортежу расстояния 2.7 – кортеж сопротивлений проводника между точками контактов ЭПС с фидера

$$\langle R \rangle = \langle R_{01}(t), R_{12}, \dots, R_{(n-1)n} \rangle \quad (7)$$

Поскольку проводник однородный по материалу и диаметру то зная удельное сопротивление проводника ρ для данного класса напряжения, можно выражение (7) переписать в следующем виде:

$$\langle R \rangle = \langle \rho \cdot d_{01}(t), \rho \cdot d_{12}, \dots, \rho \cdot d_{(n-1)n} \rangle \quad (8)$$

Утверждение 2 В регулярном случае сопротивление групп ЭПС движущихся по фидеру в интервале эквидистантного времени $(t_i, t_{i+1}]$, зависит только от расстояния первого в кортеже поезда до ТП.

Утверждение 2 позволяет для каждого интервала разбиения суток $(t_i, t_{i+1}]$, однозначно построить однопараметрическое семейство распределительных схем следующего вида. $(t_i, t_{i+1}]$

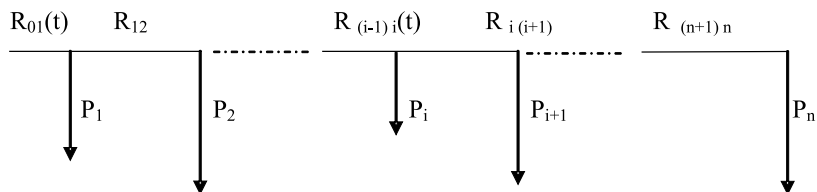


Рисунок 4 - Эквивалентная схема распределительной сети в момент времени $(t_i, t_{i+1}]$

Для мгновенной схема распределительной сети соответствует расчетная формула

$$\Delta P(t) = \frac{(\sum_{i=1}^n P_i)^2}{U^2} \cdot R_{01}(t) + \frac{(\sum_{i=2}^n P_i)^2}{U^2} \cdot R_{12}(t) + \dots + \frac{P_n^2}{U^2} \cdot R_{(n-1)n} \quad (9)$$

Интегрируя функцию (9) в пределах $t \in (t_i, t_{i+1}]$, получим суммарную потерю мощности в контактной сети за промежуток времени $(t_i, t_{i+1}]$

$$\Delta W(t_i, t_{i+1}) = \int_{t_i}^{t_{i+1}} \Delta P(t) dt \quad (10)$$

Просуммировав все потери в промежутках разбиения, получим величину суточных потерь мощности в контактной сети.

$$\Delta W_{T_0} = \sum_{i=0}^n \int_{t_i}^{t_{i+1}} \Delta P(t) dt \quad (11)$$

4 Пример расчета потерь мощности (электроэнергии) в контактной сети

Рассмотрим гипотетическую контактную сеть некоторой ТП, по фидеру которой в течение суток T_0 проходят одиннадцать поездов. Для расчета потери мощности ТП необходимо прежде всего построить пространственно-временную сцену. Такая схема, обусловленная расписанием движения поездов, представлена на рисунке 5.

Зададим, далее следующее исходные данные:

Номера ЭПС: 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11.

Длина фидера: 60 км скорость движения ЭПС: 30 км/час

Интервалы разбиения

$(t_0, t_1^+]$	00.00-00.30	$(t_1^+, t_2^+]$	00.30-01.00
$(t_2^+, t_3^+]$	01.00-02.30	$(t_3^+, t_4^+]$	02.30-04.00
$(t_4^+, t_5^+]$	04.00-06.00	$(t_5^+, t_6^+]$	06.00-08.00
$(t_6^+, t_7^+]$	08.00-08.30	$(t_7^+, t_8^+]$	08.30-09.00
$(t_8^+, t_9^+]$	09.00-10.00	$(t_9^+, t_{10}^+]$	10.00-10.30
$(t_{10}^+, t_{11}^+]$	10.30-11.00	$(t_{11}^+, t_{12}^+]$	11.00-14.00

$(t_{12}^+, t_{13}^+]$	14.00-14.30	$(t_{13}^+, t_{14}^+]$	14.30-15.00
$(t_{14}^+, t_{15}^+]$	15.00-15.30	$(t_{15}^+, t_{16}^+]$	15.30-16.00
$(t_{16}^+, t_{17}^+]$	16.00-16.30	$(t_{17}^+, t_{18}^+]$	16.30-17.00
$(t_{18}^+, t_{19}^+]$	17.00-17.30	$(t_{19}^+, t_{20}^+]$	17.30-22.00
$(t_{20}^+, t_{21}^+]$	22.00-24.00		

Удельное сопротивление на 1 км провода: $\rho=0,8$ Ом/км /2/.

Схема эквивалентной распределительной сети в момент t - в середине интервала $(t_1^+, t_2^-]$:

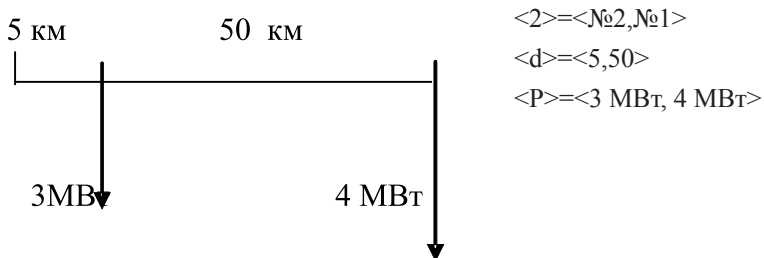


Рисунок 5 - Расписание движения поездов

Сопротивление участков тяговой сети:

$$\rho=0,8 \text{ Ом/км};$$

$$R_{01}=0,8 \times 5=4 \text{ Ом};$$

$$R_{12}=0,8 \times 50=40 \text{ Ом}.$$

Напряжение в сети : $U=25$ кВ

Потери мощности в момент времени $t=00:45$ (середина интервала $(t_1^+, t_2^-]$)

$$\Delta P(t) = \frac{(P_1 + P_2)^2}{U^2} \cdot R_{01} + \frac{P_2^2}{U^2} \cdot R_{12} =$$

$$\frac{7^2 \cdot 10^6}{25^2 \cdot 10^6} \cdot 4 + \frac{4^2 \cdot 10^6}{25^2 \cdot 10^6} \cdot 40 = 1,34 \text{ МВт}$$

что составляет 16 % от отпущенной мощности.

Потери электроэнергии в интервале времени (00:30-01:00) составят

$$\Delta W = \int_{00:30}^{01:00} \Delta P(t) dt \approx 1.23 \cdot 0.5 \approx 0.615 \text{ МВтч}$$

Просчитав потери мощности по всем интервалам разбиения можно получить суточный график потерь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вортницкий В.Э, Железко Ю.С., Казанцев В.Н., Пекелис В.Г., Д.Л. Файбасович «Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистемы» Москва Энергоатомиздат 1983г. Общее число страниц 230 с.
2. Гамм А.З., Розанов М.Н., «Методы решения задач реального времени в электроэнергетики». Новосибирск 1991г. Общее число страниц 110 с.
3. Мельников Н.А., «Матричный метод анализа электрических цепей». Москва «Энергия» 1972. Общее число страниц 140 с.
4. Давыдов Б. И., Заволока О. Г. Потери в тяговой сети переменного тока при пакетном пропуске поездов // Вестник ВНИИЖТ. 2002. № 3. С. 39 – 40.
5. У. Баймуратов, Е.Оразов, К.Тохтибакиев, Моделирование деятельности электро энергетических компаний в различных условиях антимонопольного регулирования. Экономика и статистика 3/2005
6. Справочник по проектированию электроэнергетических систем. ЭнергоАтомИздат, 1985г. стр.227.

Түйіндеме

Мақалада электрлік қозғалмалы құрамның (ЭҚК) тәуліктік электр тұтынуы мәліметтерін пайдалану арқылы имитациялық математикалық моделдер базасында, ЭҚК-мен құралатын электр тартымдық желілерде электр энергия ысырабын есептеу әдістемесі қарастырылады. Есептің математикалық қалыптасуы, шешу әдісі және қандайда бір тартымдық желінің бір бөлігін есептеу мысалы келтірілген.

Resume

The article discusses the method of calculating the energy losses in traction networks created by electric rolling stock (ERS), based on the simulation of mathematical models, using data from daily electricity consumption of ERS. The article shows a mathematical formalization of the problem, solution method and an example calculation for one of the areas of traction network.

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ УЩЕРБА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Д.Ж. Сатыбалдина

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана,

В настоящее время управление информационными рисками представляет собой одно из наиболее актуальных и динамично развивающихся направлений стратегического и оперативного менеджмента в области защиты информации. Его основная задача – объективно идентифицировать и оценить наиболее значимые для бизнеса информационные риски компании, а также адекватность используемых средств контроля рисков для увеличения эффективности и рентабельности экономической деятельности компании [1]. Оценка рисков в общем случае сводится к оценке совокупности факторов вероятности наступления нежелательной ситуации и ее значимости, приводящей к определенной тяжести последствий (или возможного ущерба).

Величина возможного ущерба является также и одним из факторов классификации средств криптографической защиты информации (СКЗИ). В соответствии с общими техническими требованиями стандарта СТ РК 1073-2007, определены четыре уровня безопасности СКЗИ, увязанные с возможным ущербом от разглашения, навязывания или несанкционированного изменения защищаемой информацией [2]. При этом ущерб выражается в месячных расчетных показателях (МРП), введенных законодательством Республики Казахстан [2-3].

В связи с этим является актуальным развитие методических подходов к расчету показателей ущерба от нарушения информационной безопасности (ИБ). Ранее была разработана и представлена автоматизированная система «IT_Риск_Менеджер», предназначенная для построения моделей угроз, защиты от них, проведения анализа уязвимостей, возможных событий и оценки рисков в результате нарушений информационной безопасности [4-5]. В настоящей работе представлена концепция количественной оценки ущерба от воздействия угроз ИБ как один из этапов анализа и управления информационными рисками.

Рассмотрим использованные в концепции понятия.

Виды возможного ущерба от нарушения безопасности информации определяются следующими факторами:

- 1) основными функциями и задачами объекта информатизации (ОИ);
- 2) организацией информационного обмена на ОИ;

3) видом и содержанием информации, подвергшейся воздействию

угроз;

4) видом источника угроз ИБ и видом нарушения ИБ.

На основе анализа указанных выше факторов проведена классификация возможных видов ущерба от нарушения безопасности информации на типовых ОИ.

По виду нарушения ИБ можно выделить следующие виды ущерба на типовых ОИ:

1) ущерб от нарушения конфиденциальности информации;

2) ущерб от нарушения ценности информации;

3) ущерб от нарушения доступности информации.

По характеру проявления ущерб можно разделить на прямой и косвенный. Прямой ущерб связан с воздействием угроз ИБ непосредственно на информацию и ее носители и проявляется как необходимость затрат людских и материальных ресурсов на восстановление информации и/или ее носителей.

Косвенный ущерб связан с последствиями нарушения безопасности информации на типовых ОИ для субъектов информационных отношений (потребителей информации), в качестве которых могут выступать:

1) государство;

2) организации, предприятия (в т.ч. негосударственные);

3) граждане страны.

В этом случае ущерб проявляется как людские, моральные или материальные потери в различных сферах деятельности субъектов информационных отношений (в политической, экономической, военной, научно-технической, социальной сферах).

По величине потерь (масштаба ущерба) ущерб может быть классифицирован как очень значительный, значительный, средний, незначительный и очень незначительный. Для более детального определения вида и величины ущерба необходимо разработать (или использовать существующие) модели ситуаций, приводящие к возникновению ущерба в результате нарушения безопасности информации в различных подсистемах и звеньях типовых ОИ.

Для определения показателей ущерба от нарушения безопасности информации необходимо проанализировать механизм возникновения ущерба от различных угроз ИБ на типовых ОИ. Ущерб от нарушения ИБ на типовом ОИ является следствием следующих событий:

1) воздействия угроз ИБ на технические средства обработки информации;

2) воздействия угроз ИБ посредством физических полей, создаваемых основными и вспомогательными техническими средствами обработки информации и людьми - носителями информации; воздействия угроз ИБ

на людей - носителей информации или имеющих доступ к информации в процессе ее обработки.

Для установления причинно-следственных связей описывающих процесс возникновения ущерба субъектам информационных отношений (ИО) в результате нарушения безопасности информации рассмотрим более подробно последствия воздействия угроз ИБ на элементы ОИ.

Воздействие угроз на аппаратные средства ОИ приводит к ухудшению качества их функционирования, которое может проявляться как ухудшение их тактико-технических характеристик (временных, точностных, энергетических, частотных, и др. в зависимости от типа средства).

Учитывая, что аппаратные средства являются материальной основой процесса обработки информации на ОИ, ухудшение их ТТХ автоматически ведет к снижению эффективности процесса обработки информации, и далее, через снижение эффективности решаемых объектом информатики частных функциональных задач, к снижению эффективности функционирования объекта информатики в целом. В свою очередь, это приводит к потерям, издержкам, которые несут субъекты ИО, вид и масштаб которых определяется следующими факторами:

- 1) содержанием информации, обрабатываемой на ОИ;
- 2) областью применения (использования) результатов обработки информации (выходной информации);
- 3) степенью и видом нарушения ИБ;
- 4) видом источника угроз ИБ и целью его деятельности.

Аналогичные последствия возникают при воздействии угроз ИБ на программные средства, используемые в процессе обработки информации на ОИ, а также при воздействии угроз ИБ на физические поля - носители информации и на людей носителей информации и/или участвующих в процессе обработки информации (персонал ОИ, пользователи ОИ, источники информации).

Такой подход позволяет сформировать иерархию видов ущерба от угроз ИБ и соответствующих им показателей ущерба. В качестве интегрального показателя для оценки ущерба выбран показатель «стоимость потерь в результате нарушения ИБ», который в свою очередь распадается на несколько показателей более низкого уровня, зависящих от вида нарушения ИБ (нарушение целостности, доступности и/или конфиденциальности информации), а также от вида потерь, среди которых можно выделить:

- 1) затраты на восстановление аппаратных, программных средств и качества информации;
- 2) потери в результате снижения эффективности функционирования объекта информатизации.

Более конкретное содержание показателей ущерба на этом уровне зависит от конкретных условий, т.е. от того, какие показатели выбраны для оценки

эффективности функционирования ОИ. Например, для автоматизированных систем управления, в зависимости от их назначения, в качестве показателя эффективности может быть использован один из следующих:

- 1) среднее время цикла управления;
- 2) среднее время обработки информации;
- 3) среднее время выполнения совокупности расчетов;
- 4) среднее время доведения информации до потребителя и др.

Соответственно, в качестве показателей ущерба в этом случае могут быть использованы относительное или абсолютное увеличение среднего времени обработки информации или соответствующая этому событию стоимость потерь для субъектов ИО и т.д.

В 2003 году в нашей стране были введены Правила определения размеров ущерба, который нанесен или может быть нанесен национальной безопасности Республики Казахстан или интересам государственных органов и организаций вследствие разглашения или утраты сведений, составляющих государственные секреты, а также ущерба, наносимого собственнику носителей сведений в результате их засекречивания [3]. В соответствии с ними при определении размера ущерба в стоимостном выражении учитываются такие показатели, как:

- 1) стоимость произведенной продукции;
- 2) непосредственный материальный ущерб;
- 3) затраты на ликвидацию последствий нанесенного ущерба;
- 4) стоимость научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (далее - НИОКР);
- 5) отрицательный эффект от невнедрения результатов НИОКР;
- 6) стоимость производственных технологий и экономический эффект в случае их применения в отраслях экономики страны;
- 7) возможные цены и объемы продажи изделий Республики Казахстан на внешнем рынке;
- 8) дополнительные затраты, связанные с повышением цен на товары, продукцию и сырье и (или) увеличением объемов закупок для компенсации невыполненных государственных задач Республики Казахстан;
- 9) затраты на организацию производства товаров, продукции и производственного оборудования в случае невозможности их приобретения за границей;
- 10) затраты на НИОКР в случае прекращения научно-технического сотрудничества с иностранными государствами;
- 11) иные показатели, характеризующие возможный ущерб;
- 12) стоимость затрат, связанных с определением размеров ущерба при привлечении представителей государственных органов и организаций Республики Казахстан, имеющих специальные познания.

В свою очередь, каждый из этих показателей есть функция от показателей более низкого иерархического уровня:

- 1) от показателей эффективности решаемых объектом частных функциональных задач;
- 2) от показателей эффективности процесса обработки информации;
- 3) от показателей качества исходной и обрабатываемой на объекте информатизации;
- 4) от показателей качества функционирования аппаратных и программных средств.

Каждый из перечисленных показателей также может быть представлен системой показателей еще более низкого уровня. Например, для аппаратных средств в качестве таких показателей могут служить тактико-технические характеристики, вид и допустимые пределы изменения которых указываются в формуляре на эти средства.

Один из предлагаемых вариантов построения методики оценки ущерба от нарушения ИБ представлен ниже. На первом этапе оценивается влияние угроз ИБ на ТТХ аппаратных средств обработки информации. Результатом этого этапа является оценка относительного или абсолютного ухудшения временных, энергетических, частотных, надежности и др. показателей эффективности функционирования аппаратных средств под воздействием угроз ИБ с учетом вероятности осуществления этих угроз.

Исходными данными для этого этапа являются:

- перечень угроз ИБ с указанием вероятностей их осуществления;
- перечень ТТХ средств и предельные значения их изменения.

Кроме того, необходимо иметь аналитические соотношения, позволяющие оценивать влияние угроз на ТТХ средств или методику натурных испытаний для получения экспериментальных данных, позволяющих получить эти зависимости. На этом же этапе оценивается влияние угроз ИБ на качество программных средств и качество исходной информации соответственно. Исходные данные, используемые для оценки, включают перечень возможных угроз и показатели качества программных средств и информации. Учет влияния угроз может осуществляться помимо перечисленных выше методов также экспертным путем, что особенно актуально при оценке влияния угроз на качество информации, т.к. получить аналитические зависимости на основе математического и натурального моделирования в этом случае достаточно сложно.

На втором этапе производится оценка относительного снижения эффективности процесса обработки информации, вызванного ухудшением ТТХ аппаратных средств, качества программных средств, исходной и обрабатываемой информации. Исходными данными для этого этапа являются выходные данные этапа 1 и допустимые значения показателя, выбранного для оценки эффективности процесса обработки информации. Для проведения

оценки на этом этапе необходимо иметь модель процесса обработки и аналитические соотношения, связывающие показатель эффективности процесса обработки с показателями качества аппаратных, программных средств, исходной и обрабатываемой информации.

Третий этап заключается в оценке относительного снижения эффективности решаемых на ОИ частных функциональных задач, вследствие ухудшения эффективности обработки информации. Для проведения оценки необходимо иметь перечень задач решаемых на ОИ, показатели их эффективности и аналитические соотношения, позволяющие учесть влияние эффективности процесса обработки на эффективность решаемых задач.

На четвертом этапе проводится оценка относительного снижения эффективности функционирования ОИ в целом в зависимости от снижения эффективности решения частных задач на ОИ. Для получения аналитических соотношений, устанавливающих зависимость эффективности функционирования ОИ от эффективности решения частных функциональных задач, может быть использован метод анализа иерархий. Данный метод позволяет на основе по парных сравнений с использованием специальной шкалы относительной важности (шкалы Саати) оценить вклад каждой из частных задач в общую эффективность функционирования ОИ. Для получения более наглядных оценок на каждом из этапов производится расчет потерь, связанных с воздействием угроз на эффективность функционирования элементов ОИ, процесса обработки, решаемых задач.

Таким образом, представленная методика оценки возможного ущерба в полной мере учитывает влияние угроз ИБ на качество функционирования аппаратных и программных средств обработки информации и на качество самой обрабатываемой на ОИ информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. СТ РК ИСО/МЭК 17799-06 (ИСО/МЭК 17799-2005, IDT) Информационная технология. Методы обеспечения защиты. Свод правил по управлению защитой информации.– Астана: Госстандарт, 2008. – 107 с.
2. СТ РК 1073-2007 Средства криптографической защиты информации. Общие технические требования. – Астана: Госстандарт, 2008. – 30 с.
3. Правила определения размеров ущерба, который нанесен или может быть нанесен национальной безопасности Республики Казахстан или интересам государственных органов и организаций вследствие разглашения или утраты сведений, составляющих государственные секреты, а также ущерба, наносимого собственнику носителей сведений в результате их засекречивания. – Постановление Правительства Республики Казахстан от 17 июля 2003 года N 701.

4. Сатыбалдина Д.Ж., Холявко А.А. Методы и средства управления рисками// Сборник трудов Второй международной научно-практической конференции «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии». - Алматы, 26-27 февраля 2009 г. – С. 94-98.

5. Сатыбалдина Д.Ж. Проектирование автоматизированной системы управления информационными рисками// Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева.- 2009. - №4.- С. 173-179.

Түйіндемe

Жұмыста ақпараттық қауіпсіздік қауіп-қатерінің әсерінен туындаған шығынды сандық бағалау әдістемесі ұсынылған. Мүмкін болатын немесе келтірілген шығынның шамасы ақпараттық қауіпсіздік тәуекелдерін басқарудың автоматтандырылған жүйесінде тәуекелдерді бағалау үшін қолданылады. Шығынды бағалаудың интегральды көрсеткіші ақпараттық қауіпсіздіктің бүліну түріне тәуелді болатын көрсеткіштерге (ақпараттың бүтіндігінің, қолжетімділігінің және/немесе құпиялылығының бүлінуі) ажыратылады. Әдістеме ақпараттық қауіпсіздік қауіп-қатерінің ақпаратты оңдейтін аппараттық және бағдарламалық жабдықтардың жұмыс сапасына және оңдейтін ақпараттың өзінің сапасына әсерін ескереді.

Resume

In the work the procedure of the quantitative impacts estimation from the information security threats is presented. Value of the possible or superimposed impact is used at the risk estimation in the information system of the information security risk management. The integrated impact score breaks up to the values depending on a kind of information security event (upset of integrity, availability or confidentiality of information). The procedure considers the threats influence on quality of functioning of hardware and software of information processing and on also quality of information.

АНАЛИЗ СПЕКТРА ЧАСТОТНОЙ И ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ НЕСУЩИХ СИГНАЛОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

А.О. Юсупова, А.А. Бектасова

Павлодарский государственный университет им.С. Торайгырова

Частотная модуляция (ЧМ) и фазовой модуляции (ФМ) заключаются в изменении частоты или фазы ВЧ колебания по закону управляющего сигнала.

ЧМ была известна в 20х годах, но практическое применение получила с середины 30х годов, с развитием техники ультракоротких волн (УКВ) связи.

В настоящее время ЧМ широко используется в коммерческой радиосвязи, радиовещании на метровых волнах и телевидении для передачи звукового сопровождения и т.д.

Как известно, периодические колебания можно выразить уравнением

$$i = J_m \cos(\omega_0 t + \varphi),$$

где φ - начальная фаза колебания, характеризующая состояние колебательного процесса в данный момент времени, ω_0 - частота ВЧ колебаний.

Фаза является функцией времени и связана с частотой зависимостью:

$$\varphi = \int \omega dt. \text{ В свою очередь } \omega = d\varphi / dt;$$

Взаимная зависимость фазы и угловой частоты такова, что всякое отклонение фазы от линейного закона приводит к отклонению частоты от начального значения и наоборот.

По этим причинам при ФМ всегда меняется частота, а при ЧМ – фаза.

Несмотря на их тесную связь, частотную и фазовую модуляции можно различать по тому, какой из параметров (частота или фаза) находится под воздействием модулирующего фактора.

Если модулирующий фактор меняет фазу, то модуляцию следует считать фазовой (хотя при этом меняется и частота) и, наоборот, если модулирующий фактор меняет частоту (хотя при этом меняется фаза), то модуляцию следует считать частотной.

Рассмотрим их взаимную зависимость. При ФМ фаза меняется по закону модулирующего напряжения $U_{\Omega}(t)$, т.е. $\varphi = \omega_0 t + \varphi_0$, где $\omega_0 t$ - составляющая фазы, изменяющаяся по линейному закону; $\varphi_0 = k \cdot U_{m\Omega} \cdot \cos \Omega t$ -

составляющая фазы, изменяющаяся по закону напряжения $U\Omega(t)$, где k - коэффициент пропорциональности.

В результате при модуляции по фазе [1, 3]

$$i = J_m \cos(\omega_0 t + k \cdot U_{m\Omega} \cdot \cos \Omega t), \text{ или}$$

$$i = J_m \cdot \cos(\omega_0 t + m_\phi \cdot \cos \Omega t),$$

где $m_\phi = k \cdot U_{m\Omega} = \Delta\phi$ - максимальное отклонение фазы от линейного закона или индекс фазовой модуляции.

Индекс ФМ, как и коэффициент модуляции (при амплитудной модуляции) зависит от амплитуды низкой частоты $U_{m\Omega}$.

Изменение фазы приводит к изменению частоты: при опережении фазы от начального значения частота ω увеличивается, а при отставании фазы - уменьшается.

Закон изменения частоты при ФМ можно определить из уравнения

$$\omega = d\phi / dt = (d(\omega_0 t + m_\phi \cdot \cos \Omega t)) / dt = \omega_0 - m_\phi \Omega \cdot \sin \Omega t = \omega_0 - \Delta\omega \cdot \sin \Omega t$$

где $\Delta\omega = m_\phi \Omega = k \cdot U_{m\Omega} \cdot \Omega$ - максимальное отклонение частоты от начального значения или девиация частоты.

Из этого выражения следует, что при ФМ прямой пропорциональности между девиацией частоты $\Delta\omega$ и амплитудой модулирующего напряжения $U_{m\Omega}$ не наблюдается.

Девиация частоты $\Delta\omega$ зависит от частоты Ω модуляции и различна на различных модулирующих частотах. Эта зависимость объясняется так: чем больше частота модуляции Ω , тем чаще (быстрее) меняется фаза ϕ и, следовательно, больше скорость изменения фазы во времени (т.е. угловая частота выше).

При ЧМ частота колебаний меняется по закону модулирующего напряжения:

$$\omega = \omega_0 + \omega_1$$

где $\omega_1 = k \cdot U_{m\Omega} \cdot \cos \Omega t$ - характеризует отклонение частоты от начального значения.

Величина $\Delta\omega = k \cdot U_{m\Omega}$ - есть максимальное отклонение частоты от среднего значения или девиация частоты.

(Сравните с $m_\phi = k \cdot U_{m\Omega} = \Delta\phi$ при ФМ, когда это называется индекс фазовой модуляции).

В моменты максимума, т.е. $+U_{m\Omega}$, частота увеличивается, а в моменты минимума - $-U_{m\Omega}$ частота уменьшается. При этом меняется фаза колебаний. Определим фазу колебаний для ЧМ.

$$\begin{aligned}\varphi &= \int \omega dt = \int (\omega_0 + \Delta\omega \cdot \cos \Omega t) dt = \\ &= \omega_0 t + (\Delta\omega / \Omega) \cdot \sin \Omega t + \varphi_0.\end{aligned}$$

Полагая для упрощения $\varphi_0 = 0$, получим

$$\begin{aligned}\varphi &= \omega_0 t + (\Delta\omega / \Omega) \sin \Omega t = \omega_0 t + m_f \sin \Omega t, \\ \text{где } m_f &= (\Delta\omega / \Omega) = \Delta\varphi\end{aligned}$$

- максимальное отклонение фазы от линейного закона или индекс частотной модуляции.

Отсюда следует что фаза колебаний при ЧМ меняется по иному закону, чем частота и не пропорциональна амплитуде модулирующего напряжения $U_{m\Omega}$.

На основании выше изложенного, при ЧМ колебания можно представить следующим образом:

$$i = J_m \cdot \cos(\omega_0 t + m_f \sin \Omega t).$$

Форма ЧМ сигнала внешне похожа на ФМ колебания. Однако, законы изменения частоты в них различны. Так, если фаза меняется по закону $\sin \Omega t$, то частота – по закону $\cos \Omega t$ и наоборот.

Взаимная связь частотной и фазовой модуляции позволяет превращать один вид модуляции в другой, что и используется на практике в косвенных методах модуляции, когда ФМ превращается в ЧМ.

ЧМ и ФМ колебания являются сложными сигналами и могут быть представлены бесконечным рядом гармоник (спектральных составляющих). Частотный спектр колебаний много шире, чем при амплитудной (АМ) модуляции и лишь в некоторых частных случаях равен ему.

В частотном спектре при АМ каждой гармонике модулирующего сигнала соответствует пара боковых частот $\omega_0 \pm \Omega$.

При ЧМ и ФМ даже при модуляции одним тоном появляется бесконечно большее число пар боковых частот $\omega_0 \pm n\Omega$, где $n = 1, 2, 3, \dots \infty$. Если же модулирующее колебание $\omega_0 \pm n\Omega$ содержит гармоники, то частотный спектр усложняется, и появляются еще и комбинационные боковые частоты.

Амплитуда несущей и боковых частот зависят от индекса модуляции $m_f = \Delta\omega / \Omega$ (при ЧМ) и номера боковой частоты.

С увеличением индекса модуляции амплитуда несущей частоты уменьшается, но не монотонно, а периодически и при некоторых индексах оказывается равной нулю.

Амплитуда первой боковой частоты при небольших индексах модуляции сначала возрастает, но при дальнейшем увеличении индекса

m_f периодически уменьшается.

Амплитуды высших боковых частот появляются при больших индексах модуляции и периодически изменяются с ростом индекса.

С увеличением порядкового номера боковой частоты ее амплитуда уменьшается, что позволяет ограничить частотный спектр колебаний и определить его ширину, учитывая те частоты, амплитуда которых составляет 5-10% от амплитуды режима молчания. Обычно оказывается, что следует учитывать только те боковые частоты, номер которых меньше индекса модуляции, т.е. при фазовой модуляции $n_{\max} \leq m_\phi$, а при ЧМ $n_{\max} \leq m_f$.

Частотные спектры ЧМ и ФМ, несмотря на принципиальное сходство, имеют некоторые отличия. Так, частотный спектр ФМ колебаний расширяется с увеличением частоты Ω модуляции за счет увеличения интервалов между боковыми частотами.

Ширина частотного спектра ЧМ почти не изменяется с ростом частоты Ω модуляции, но уменьшается индекс модуляции m_ϕ и число боковых частот, а так же меняется соотношение между их амплитудами. Рассмотрим на графиках указанные спектры (рисунок 1, рисунок 2).

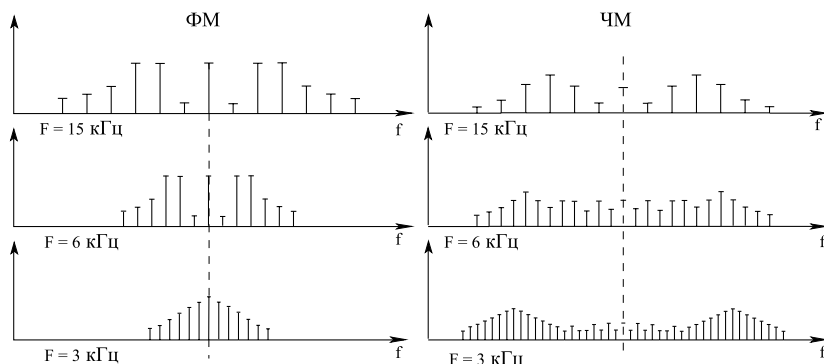


Рисунок 1

Рисунок 2

~~ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ~~

Итак, ширина реального спектра ЧМ и ФМ колебаний зависит от индекса модуляции. Различают два вида модуляции: узкополосную ($m \langle 1$) и широкополосную ($m \rangle 1$).

При узкополосной модуляции необходимо учитывать только первую пару боковых частот $\omega_0 \pm \Omega$. Поэтому ширина полосы будет такой же, как и при АМ, т.е.

$$\Delta F = 2F_B,$$

где F_B - верхняя частота модуляции.

При широкополосной модуляции полоса значительно шире, так как учитывают все боковые частоты, порядковый номер которых меньше индекса модуляции m .

Верхней частотой модуляции является частота $F_B = n_{\max} F = mF$, тогда ширина частотного спектра $\Delta F = 2F_B = 2mF$, где $F = \Omega / 2\pi$.

Для ЧМ колебаний:

$$\begin{aligned} m &= m_f = \Delta\omega / \Omega = \Delta f_{\max} / F = \\ &= (k U_{m\Omega} / F) \cdot \Delta F_{\text{ЧМ}} \approx (2\Delta f_{\max} \cdot F) / F \approx 2\Delta f_{\max} = 2k U_{m\Omega}. \end{aligned}$$

Для ФМ колебаний:

$$m = m_\phi = \Delta\phi; \Delta F_{\text{ФМ}} = 2m_\phi F = 2\Delta\phi F = 2k U_{m\Omega} \cdot F.$$

Зависимость полосы от частоты модуляции – крупный недостаток фазовой модуляции, по сравнению с частотной и делает невыгодным практическое использование модулированных колебаний по фазе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиопередающие устройства /Под ред. В.В. Шахгильдяна. - М.: Радио и связь, 1996.-560 с.
2. Проектирование радиопередатчиков/ Под ред. В.В. Шахгильдяна. – М.: Радио и связь, 2000. – 656 с.
3. Казанцев Г.Д., Бордус А.Д., Ильин А.Г. Проектирование радиопередающих устройств на транзисторах. – Томск.: ТУСУР, 2000.- 43 с.

Түйіндеме

Бапта жиілік және жиілік спектрін жолақтың негізгі енінің жиілік модуляциясының жанында ретінде талдаудың нәтижесінде айқындалған жиілік ауытқуынан тәуелді болатын радиотехникалық

шыңжырдың сигналдарының фазалық модуляцияларын ерекшелік сипатталған, яғни пропорционал модулдалатын кернеуді амплитудаға және модуляцияның жиілігінен тәуелді болмайды.

Жолақтың енінің фазалық модуляциясының жанында модулдалатын кернеуді амплитуда және модуляцияның жиілігінен де тәуелді болады. Жолақтың фазалық модуляциясының жанында жиілік модуляциясының жанындасы кеңірек.

Модуляцияның жиілігінен жолақтың тәуелділігі - фазалық модуляцияны ірі кемшілік, салыстырғанда жиілік және фаза бойынша қолайсыз жаттығу қолдану модульделген тербелістері істейді.

Resume

This article describes the features of frequency and phase modulation signals electronic circuit, as a result of the analysis which revealed that the frequency modulation of the main band width of the frequency spectrum depends on the frequency deviation, ie proportional to the amplitude modulating voltage and is independent of frequency modulation. When the phase modulation bandwidth depends on the amplitude of the modulating voltage and frequency modulation. When the phase modulation bandwidth greater than a frequency modulation. Dependence on the modulation frequency band - a major disadvantage of phase modulation, compared with the frequency and make unprofitable the practical use of modulated waves in phase.

УДК 629.114.2

МАШИНА-ТРАКТОР АГРЕГАТЫ МАССАЛАРЫНЫҢ ТЕРБЕЛІСТЕРІН ЖИІЛІК АЛҚАБЫНДА ЗЕРТТЕУ

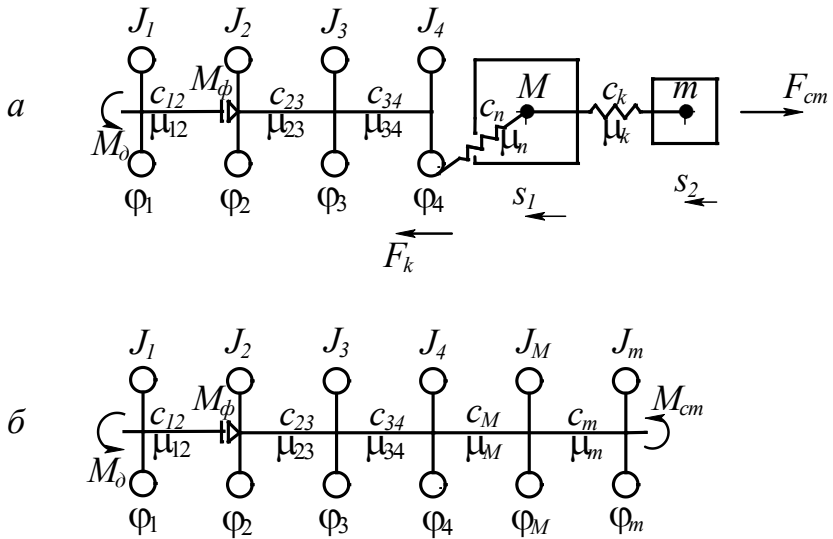
А. Нұржауов

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті

Бұдан бұрынғы еңбектерде [1] трактордың және оның тораптарын тербеліс процестеріне енгізетін факторлардың бірі болып табылатын сыртқы әсер қарастырылған болатын. Бірақ бұл тербеліс процестерінің түрі сыртқы әсерден тәуелді болып қана қоймайды. Сонымен қатар олар динамикалық жүйе өзгешеліктерінің қасиеттеріне де тәуелді болады. Динамикалық жүйенің қасиеттерін уақыт және жиілік алаптарында сәйкесті салмақтық функция және амплитудалық- фазалық жиілік сипаттамалары (АФЖС) арқылы жеткілікті түрде бағалауға болады.

Шынжыр табанды трактор агрегатының қозғалыс процестерін теориялық зерттеу үшін оны эквивалентті динамикалық модельмен алмастырып,

трактор агрегаты көп массалы жүйе деп қарастырамыз (1-сурет) және жүйе қозғалысының дифференциалды теңдеулерін құрастырамыз. Бұл динамикалық модельде инерция моменті J_1 -ге тең болған маховикті масса қозғауыштың қозғалыстағы барлық массаларын бейнелейді. J_2 - бас тіркістің жетектегі массаларының инерция моменті. J_3 - трансмиссияның қозғалыстағы массаларының инерция моменті. J_4 - білікке келтірілген жетекші доңғалақтардың инерция моменті. Соңғысының ішінде шынжыр табандардың және жүріс жүйесіндегі басқа да элементтері де есепке алынған. Трактордың ілгерілеме қозғалыстағы өз массасы M -ге, ал онымен агрегаттағы жұмыс машинасы массасы m -ге тең болады деп ұйғарылған. Қозғауыш моменті M_0 бас тіркістің үйкеліс



1 – сурет

моменті M_ϕ , ал сыртқы әсер – жұмыс машинасына түсетін жүктеуші күш F_C әріптерімен белгіленген. Массалар арасындағы байланыстарының c қатандық және μ саябырлатқыш коэффициенттері индекстері суретте көрсетілген массаларға сәйкестендіріле белгіленген. c_n және μ_n коэффициенттері шынжыр табан, жетекші доңғалақтар және топырақтың шартты қысылғыштық және саябырлату қасиеттерін сипаттайды. s_1 және s_2 әріптері арқылы трактордың және ауылшаруашылық машинасының (ашм) жүріп өтетін жол ұзындықтары, ал φ_i арқылы айналыстағы массалардың бұрылу бұрыштары

белгіленген. 1,б – суретінде қарастырылып отырған динамикалық жүйе толығымен жетекші доңғалақтардың білігіне келтірілген айналмалы жүйе түрінде көрсетілген. Бұл жүйеде ілгерілеме қозғалыстағы трактордың M және ашм-ның m массалары

J_M және J_m инерция моменттеріне ие болған айналыстағы массалар түрінде бейнеленген. Олардың арасындағы байланыстардың c_n , μ_n , c_k және μ_k серпімділік параметрлері c_M , μ_M , c_m , μ_m түріне енеді. Сонда $J_M = M r_k^2$, $J_m = m r_k^2$, $c_M = c_n r_k^2$, $\mu_M = \mu_n r_k^2$, $\mu_m = \mu_n r_k^2$ және $M_{cm} = F_{cm} r_k$ (r_k – жетекші доңғалақтың динамикалық радиусы).

Бұл динамикалық жүйе қозғалысын координаталардың инерциялық жүйесінде қарастырамыз. Статикалық тепе-теңдік жағдайында F_C сыртқы әсерінің өзгеруінің сан мәні де нөлге тең болады деп қарастырамыз. Ал сыртқы әсер тепе-теңдік мәнінен өзгерген кезде, ілмектегі тарту күші өзінің математикалық үміт мәнінен үлкен немесе кіші болады, яғни F_C күші оң немесе теріс мәнге ие болып, өзгеріп отырады. Осының салдарынан трактордың M массасы тепе-теңдік жағдайынан x жалпылама координатасына, ал жұмыс машинасының m массасы h координатасына қозғалады. Сол секілді динамикалық жүйенің айналыстағы массалары тепе-теңдік жағдайынан өздеріне сәйкес болған ϕ бұрыштарына бұралып, тербеліске енеді.

Динамикалық жүйеге әсер етуші F_C күшінің өзгеру сипаты кездейсоқ функция ретінде болады [1]. Ал қозғауыш білігіне әсер етуші M_d моментінің өзгеру сипаты сыртқы әсерге және жүйенің динамикалық қасиеттеріне тәуелді болады және қозғауыштың реттегіштік сипаттамасына сәйкес болуы керек. Қозғауыштың M_d моменті және білігінің ω_d бұрыштық жылдамдығы арасындағы байланысы төмендегіше өрнектеледі [2]:

$$M_d = B_{\omega_1} \omega_x - B_{\phi_1} \dot{\phi}_d \quad (1)$$

Бұл жерде $B_{\ddot{a}_1} = \frac{I_{\ddot{a}}}{B} = const$, $I_{\ddot{a}}$ – иінді білікке келтірілген қозғауыш массаларының инерция моменті, ω_n және ω_x – қозғауыш білігі айналысының

бұрыштық жылдамдығының номинал және бос жүрісі кезіндегі мөндері, M_i – қозғауыштың номинал моменті, $B = I_d \cdot \frac{\omega_x - \omega_n}{M_n} = const$, $\dot{\phi}_d = \omega_d$.

Динамикалық жүйенің математикалық моделін құру үшін екінші текті Лагранж теңдеулерін қолданамыз:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} = - \frac{\partial \Pi}{\partial q_k} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_k} \quad (2).$$

Бұл жерде $k = 1, 2, \dots, n$ – динамикалық жүйенің еркіндік дәрежесінің саны,

T және \dot{T} – жүйенің кинетикалық және потенциалдық энергиялары, \hat{O} – Рэлей функциясы, q_k – k -ші жалпылама координатасы. Қарастырылып отырған динамикалық жүйе алты жалпылама координатамен анықталады, яғни $q_1 = x_k$, $q_2 = x$,

$q_3 = \varphi_1$, $q_4 = \varphi_2$, $q_5 = \varphi_3$ және $q_6 = \varphi_4$. Жүйе массаларының тепе-теңдік жағдайынан аз өлшемді тербелесін қарастырамыз. Лагранж теңдеуінің құраушылары $T = \frac{1}{2} [M\dot{x}^2 + m\dot{x}_k^2 + J_4\dot{\varphi}_4^2 + J_3\dot{\varphi}_3^2 + J_2\dot{\varphi}_2^2 + J_1\dot{\varphi}_1^2]$, $\Pi = -F_c x_k + \frac{1}{2} [c_k(x_k - x)^2 + c_n(x - r_k\varphi_4)^2 + c_{34}(\varphi_4 - \varphi_3)^2 + c_{23}(\varphi_3 - \varphi_2)^2 + c_{12}(\varphi_2 - \varphi_1)^2] - B_0\dot{\varphi}_1$,

$\Phi = \frac{1}{2} [\mu_n(\dot{x} - r_k\dot{\varphi}_4)^2 + \mu_k(\dot{x}_k - \dot{x})^2 + \mu_{34}(\dot{\varphi}_4 - \dot{\varphi}_3)^2 + \mu_{23}(\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2)^2 + \mu_{12}(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1)^2]$

түрінде табылады. Олардың қажет болған дербес туындыларын тауып, (2) теңдеуіне қойсақ, онда Лагранж теңдеулері біртекті алты дифференциалды теңдеулер жүйесі түрінде жазылып шығады [2]. Одан кейін Лаплас бойынша түрлендіріп, t ақиқат айнымалы шамадан s кешенді айнымалы шамаға өтіп,

теңдеулердің екі жағын да сыртқы әсердің $F(s)$ Лаплас бейнесіне бөлсек, онда жүйедегі болатын тербеліс қозғалыстарына сыртқы әсер кедергі күшінен беріліс функциялары белгісіз болған теңдеулер жүйесі келіп шығады. Гаусс әдісін қолданып, жүйенің шешімдерін тауып аламыз. Содан кейін $s = i\omega$ ($i = \sqrt{-1}$ – кешен саны, ω – сыртқы әсердің жиілігі) деп алып, Лаплас түрлендіруінен Фурье түрлендіруіне өтсек, онда тербелістердің амплитудалық – фазалық жиілік сипаттамаларын тауып аламыз. Біздің қарастырып отырған жұмысшы машинаның $W_{x_k}(i\omega)$ және трактор массасының $W_x(i\omega)$ тербелістерінің жиілік сипаттамалары төмендегі түрде келіп шықты:

$$W_{x_k}(i\omega) = \frac{-\frac{1}{m} [(b_{22}c_{32} - b_{23}c_{31})d_{42}e_{53}k_{61} - d_{42}e_{52}k_{62} + (a_{11}b_{22} + a_{12}b_{21}) [(c_{33}d_{41} - c_{32}d_{42}) (e_{52}k_{62} - e_{53}k_{61}) + c_{32}d_{43}e_{51}k_{62}]}{a_{11}b_{22} + a_{12}b_{21} [(c_{33}d_{41} - c_{32}d_{42}) (e_{52}k_{62} - e_{53}k_{61}) + c_{32}d_{43}e_{51}k_{62}]} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{+d_{43}e_{51}k_{62} + b_{22}c_{33}(d_{41}e_{52}k_{62} - d_{41}e_{53}k_{61})}{-a_{11}b_{23}c_{31} [d_{42}(e_{52}k_{62} - e_{53}k_{61}) - d_{43}e_{51}k_{62}]}, \quad (3)$$

$$W_x(i\omega) = \frac{-\frac{1}{m} b_{21} [c_{32} (d_{42} e_{52} k_{62} - d_{43} e_{51} k_{62} - d_{42} e_{53} k_{61}) - (a_{11} b_{22} + a_{12} b_{21} [(c_{33} d_{41} - c_{32} d_{42}) (e_{52} k_{62} - e_{53} k_{61}) + c_{32} d_{43} e_{51} k_{62}]) - c_{33} d_{41} (e_{52} k_{62} - e_{53} k_{61})]}{a_{11} b_{23} c_{31} [d_{42} (e_{52} k_{62} - e_{53} k_{61}) - d_{43} e_{51} k_{62}]} \rightarrow \quad (4)$$

Бұл формулалардағы мүшелер жүйе параметрлеріне тәуелді болған шамалар болып табылады. Мысалы, $a_{11} = a_{11}(i\omega) = \frac{c_k}{m} - \omega^2 + i\omega \frac{\mu_k}{m}$, т.с.с.

Трактор агрегатының ілгерілеме қозғалыстағы массаларының оған әсер ететін кедергі күштерінің әсерінен пайда болатын бойлық бағыттағы тербелістерін ықшамды түрде анықтау үшін агрегатты екі массалы жүйе түрінде қарастырайық. Сонда (4) өрнек ықшамдалып, төмендегі түрге келеді:

$$W_x(i\omega) = \frac{-\frac{1}{M} \cdot (k_m^2 + i\omega h_m)}{\omega^4 - \omega^2 (k_m^2 + k_c^2) + k_1 k_m^2 + i\omega [h_m k_1^2 - \omega^2 (h_m + h_m)]} \quad (5)$$

Бұл жерде $k_m = \sqrt{\frac{c_{\hat{e}}}{m}}$ - ауыл шаруашылық машинасының (тіркемнің) тербелісінің ілмектің серпімді элементіне қатысты дербес (парциал) жиілігі,

$k_l = \sqrt{\frac{c_l}{I}}$ - трактордың келтірілген M массасының топырақ бетінде тербелісінің дербес жиілігі, $k_c = \sqrt{\frac{c_{\hat{e}} + c_l}{I}}$ - трактор массасының жүйенің

қосынды серпімді элементіне қатысты тербелісінің дербес жиілігі, $k_M = \sqrt{\frac{c_{\hat{e}}}{I}}$ - трактор массасының ілмектің серпімді элементіне қатысты тербелісінің

дербес жиілігі, $h_m = \frac{\mu_k}{M}$ - M массасы тербелісінің өшу коэффициенті,

$h_m = \frac{\mu_k}{m}$ - m массасының тербелісінің өшу коэффициенті. Бұл функцияны нақты және жорамал бөліктерге бөлсек, онда

$$W_x(i\omega) = |W_x(i\omega)| \cdot e^{i\varphi_x(\omega)} = U(\omega) + i \cdot V(\omega). \quad (6)$$

Бұл жерде $|W_x(i\omega)|$ - жиілік беріліс функциясының модулі, $\varphi_x(\omega)$ - жиілік беріліс функциясының фазасы, $U_x(\omega)$ - жиілік беріліс функциясының нақты бөлігі, $V_x(\omega)$ - жиілік беріліс функциясының жорамал бөлігі.

Беріліс функциясының модулі оның бөлімі мен алымының модульдерінің қатынасына тең болады, ал, фазасы олардың аргументтерінің айырмасы түрінде анықталады:

$$|W_x(i\omega)| = \frac{1}{M} \cdot \frac{1}{\sqrt{[\omega^4 - \omega^2(k_m^2 + k_c^2) + k_1^2 k_m^2]^2 + \omega^2 [h_m k_1^2 - \omega^2(h_m + h_m)]^2}} \rightarrow \quad (7)$$

$$\varphi_x(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\omega h_m}{k_m^2} - \operatorname{arctg} \frac{\omega [h_m k_1^2 - \omega^2(h_m + h_m)]}{\omega^4 - \omega^2(k_m^2 + k_c^2) + k_1^2 k_m^2} \quad (8)$$

$$U_x(\omega) = |W_x(i\omega)| \cdot \cos \varphi_x(\omega) \quad (9)$$

$$V_x(\omega) = |W_x(i\omega)| \cdot \sin \varphi_x(\omega) \quad (10)$$

Сөйтіп, егер динамикалық жүйенің амплитудалық фазалық жиілік сипаттамасы белгілі болса, онда гармоникалық сыртқы ұйтқу әсерінен пайда болатын еріксіз тербелісін оңай тауып алуға болады. 2-суретте [3] және [4] кітаптарындағы анықталған сандық мәндерді пайдаланып, (7)... (10) формулалары бойынша салынған ДТ-75М тракторы мен ПН-4-35 соқасынан құрылған агрегаттың тың жердегі жеңіл сазды топырақта жұмысы кезіндегі трактордың M массасы тербелісінің амплитудалық-фазалық-жиілік сипаттамасы көрсетілген. Сыртқы ұйтқу кедергі күшінен трактордың массасының бойлық бағытта тербелісіне беріліс функциясының модулі мен фазасының, нақты және жорамал бөліктерінің және x/x_{cm} қатынасының сан мәндері арнайы бағдарлама бойынша есептеліп, кестелерге енгізілді. 2,а-суретінде трактор мен соқа арасындағы серпімді байланыстың μ_k саябырлатқыш коэффициенті тұрақты деп қабылданып, АФЖ сипаттаманың C_k қатандығының әртүрлі мәндері алынған. Ал, 2,б-суретінде МТА-ның аталған жұмысы жағдайында трактор массасының



тербелісінің АФЖ сипаттамасының серпімді байланыстың μ_k саябырлатқыш коэффициентінің әртүрлі мәндерінен тәуелділігін талдау мүмкіндігін беретін графигі салынған.

Суреттердегі қисықсызықтарды талдай отырып, ДТ-75М тракторының жеңіл сазды топырақты тың жерді жырту кезіндегі оның массасының бойлық бағытта тербелісінің амплитудасының ең төмен болуын, [3] еңбекте жазылып шығарылған формулалар бойынша табылған қатандығы $C_{k.omm} = 408,8 \cdot 103 \text{ Н/м}$, саябырлатқыш коэффициенті $\mu_{k.omm} = 20,74 \cdot 103 \text{ Нс/м}$ болған, серпімді байланысы қамтамасыз ететін көреміз. Мысалы, 2,а– суреттен, жүйенің резонанс режимінде $|W_x(i\omega)|$ модулінің максимал мәні серпімді байланыстың қатандығы $C_{k.omm} = 408,8 \cdot 103 \text{ Н/м}$ болғанда, өзінің статикалық мәнінен 4,98 есе үлкен болатынын көреміз. Ал осы шаманың сан мәні $C_k = 30 \cdot 10^3 \text{ Н/м} < C_{k.omm}$ болғанда статикалық мәнінен 5,7 есе және $C_k = 400 \cdot 10^4 \text{ Н/м} > C_{k.omm}$ болғанда 100,8 есе үлкен болады. Сол секілді, 2,б–суреттен серпімді байланыстың қатандығы тұрақты деп қарастырсақ, онда $\mu_k = 2 \cdot 10^3 \text{ Нс/м} < \mu_{k.omm}$ болғанда, сыртқы ұйтқу $\omega = 35,7 \text{ с}^{-1}$ жиілігімен әсер еткен жағдайда $|W_x(i\omega)|$ модулі статикалық мәнінен 19,66 есе үлкен болады. Ал, $\mu_k = 30 \cdot 10^3 \text{ Нс/м} > \mu_{k.omm}$ болса, онда сыртқы ұйтқудың өзгеруінің жиілігі $31,5 \text{ н}^{-1}$ -ке жеткенде, трактор қаңқасының тербеліс амплитудасы статикалық мәніне қарағанда 29,8 есе артық болады. Сонымен қатар, суреттерден сыртқы ұйтқудың жиілігі жоғарылаған сайын трактор массасының тербелісінің жиілік сипаттамасының фазасы да өседі және екі рет 180° -қа ытқып өзгередінін көреміз. Мұндай өзгеру, бірінші рет сыртқы ұйтқудың жиілігі ауыл- шаруашылық машинасы тербелісінің дербес \hat{e}_δ жиілігіне, екінші рет трактор массасының жүйенің қосынды серпімді элементіне қатысты тербелісінің \hat{e}_δ дербес жиілігіне жақын мәндеріне ие болған кезде байқалады. Мысалы, серпімді байланыстың қатандығы $C_k = 30 \cdot 10^4 \text{ Н/м}$ болған жағдайда $k_m = 15,49 \text{ с}^{-1}$ және $k_c = 35,23 \text{ с}^{-1}$. Сонда трактор массасы тербелісінің фазасы сыртқы ұйтқудың жиілігі, бірінші рет $\omega = 15,85 \text{ с}^{-1}$, екінші рет $\omega = 35,48 \text{ с}^{-1}$ аралықтарында болғанда, 180° -қа өзгереді. Сыртқы ұйтқу әсерінің жиілігі әрі қарай өскен сайын трактор массасының тербеліс амплитудасы төмендейді. Серпімді байланыстың қатандығы $C_k = 30 \cdot 10^4 \text{ Н/м} < C_{k.omm}$ болған жағдайда трактор массасы тербелісінің амплитудасы өзінің статикалық мәніне $\omega = 42 \text{ с}^{-1}$ болғанда қайтадан жетеді, ал $C_k = C_{k.omm}$ және $C_k = 4 \cdot 10^6 \text{ Н/м} > C_{k.omm}$ болса, онда оларға сәйкесті ω жиілігінің мәндері $41,73 \text{ с}^{-1}$ және $64,4 \text{ с}^{-1}$. Осы үш түрлі серпімді байланыстарға сәйкес сыртқы ұйтқудың тербеліс жиілігі 47 с^{-1} , $45,9 \text{ с}^{-1}$ және $73,06 \text{ с}^{-1}$ болғанда трактор массасының тербеліс амплитудасы өзінің статикалық мәнінің тек қана 50%-н құрайды.

Суреттегі қисықсызықтарды және кестелердегі есептеу нәтижелерінің талдауларынан, егер $c_k = c_{k.onm}$ және $\mu_k = \mu_{k.onm}$ болса, онда трактор массасы тербелісінің амплитудасының жоғары мәндері сыртқы ұйтқудың жиілігінің $\omega = 0...42c^{-1}$ аралығына сәйкес келеді. Параметрлері басқаша болған серпімді байланыс болса, онда бұл диапазон әжептәуір кеңейеді.

Трактор агрегатының құрамындағы ауылшаруашылық машинасының m массасы да сыртқы ұйтқудың әсері нәтижесінде бойлық бағытта тербелісте болады. Осы массаның x_k тербелісін зерттеу үшін жоғарыда аталып өткен теңдеулер жүйесін Лаплас және Фурье бойынша түрлендірсек m массасының бойлық бағытта тербелістерінің жиілік сипаттамасын табымыз:

$$W_{x_k}(i\omega) = \frac{\omega^2 - k_m^2 -}{m\{\omega^4 - \omega^2(k_m^2 + k_c^2) + k_1^2 k_m^2 + \dots\}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{-k_1^2 - i\omega h_m}{+ i\omega[h_m k_1^2 - \omega^2(h_m + h_m)]}$$
 (11)

Табылған беріліс функциясын нақты және жорамал бөліктерінің қосындысы түрінде өрнектеп, оның модулі мен фазасын төмендегі түрде анықтаймыз:

$$|W_{x_k}(i\omega)| = \frac{\frac{1}{m} \sqrt{(\omega^2 - k_c^2)^2 + \dots}}{\sqrt{[\omega^4 - \omega^2(k_m^2 + k_c^2) + k_1^2 k_m^2]^2 + \dots}}$$

$$\rightarrow \frac{\dots + \omega^2 h_m^2}{\dots + \omega^2 [h_m k_1^2 - \omega^2(h_m + h_m)]^2}$$
 (12)

$$\varphi_{x_k}(\omega) = \arctg\left(-\frac{\omega \cdot h_m}{\omega^2 - k_c^2}\right) - \arctg \frac{\omega[h_m k_1^2 - \omega^2(h_m + h_m)]}{\omega^4 - \omega^2(k_m^2 + k_c^2) + k_1^2 k_m^2}$$
 (13)

Табылған трактор және ауылшаруашылық машинасы массаларының тербелістерінің жиілік сипаттамаларының өрнектерін салыстырсақ ((7) және (12) теңдеулерін кара), онда біріншісінің бөлімі екіншісінікінен тұрақты сан – n есе кем екен. Олардың тербеліс амплитудалары үлкен мәнге ие болуы үшін бөлімдері кішкене болуы керек екендігі белгілі. Демек, егер (12) өрнегінің бөлімі ең кішкентай болса, онда осы қарастырылып отырған қозғалыс жағдайында (7) өрнегінің де бөлімі ең кішкентай мәніне ие болады. Демек, екі массаның да тербеліс амплитудасы ең үлкен мәндеріне ие болады.

Мысалы, қайсыбір қозғалыс жағдайында $x = \infty$ болсын, ал $x_k < \infty$ делік. Бірақ бұл жағдайда серпімді байланыстың деформациясы да, және осының салдарынан, оның серпімді күші де шексіз болып шығады. Демек, шексіз мәні бар күш әсер еткен ауылшаруашылық машинасының массасының тербеліс амплитудасы шекті мәнді болып қала алмайды. Сондықтан, (12) өрнегін жоғарыдағы (7) теңдеуіңдей талдамай ақ, егер серпімді байланыстың катандығы $C_k = C_{k.onm}$ болса, онда m массасы тербелісінің амплитудасы да кішкентай болады деп айта аламыз.

ӘДЕБИЕТТЕР

1. Нуржауов А. Машина-трактор агрегатына әсер ететін сыртқы ұйтқудың сандық сипаттамалары. // Труды международной научно-технической конференции «Современные проблемы механики, строительства и машиностроения». Т. 3. - Павлодар, 2006. – С. 28 -37.
2. Нуржауов А., Темирбеков Ж.Т. Частотные характеристики процессов динамической системы – машинно-тракторный агрегат. Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры. Выпуск 2 (28). Бишкек: 2010 – С. 170 – 175.
3. Нуржауов А. Исследование динамики гусеничного трактора класса 30–40 кН тяги и ресурса его планетарного механизма поворота: монография. – Павлодар: Издательство «Кереку», 2009.– 329 с.
4. Нұржауов А., Чернов А.П. «Қазақстан» шынжыр табанды тракторының жалпы құрылысы және оны пайдалану. Павлодар: С.Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университетінің Ғылыми баспа орталығы. 2003. 325 с.

Резюме

В статье приведены результаты исследований колебательных процессов масс основных звеньев машинно-тракторного агрегата во время работы.

Resume

This article is devoted to the investigation of the oscillation of the bodies of tractor and agricultural mashine in frequentativle region.

НАШИ АВТОРЫ

Абишев Кайратолла Кайрулинович - к.т.н., доцент, кафедра «Транспортная техника и логистика», Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

Андреева Оксана Александровна - к.т.н., доцент, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

Байкенова Норбиба Батырқожаевна - доцент, кафедра «Электроэнергетика» Экибастузского Инженерно-технического института им. академика К. Сатпаева, г. Экибастуз.

Бектасова Асемгуль Айтпаевна - ст. преподаватель, кафедра «РТиТК», Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

Беляева Людмила Михайловна - ст. преподаватель, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

Бергузинов Асхат Нурланович - Павлодарский государственный университет им. С.Торайгырова.

Бороденко Виталий Анатольевич - профессор, д.т.н., кафедра «Автоматизация и управление», Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

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

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

Калиев Бактыбек Зейнель Кабиденович - к.т.н., профессор, кафедра «Электроэнергетика», Инновационный Евразийский университет (ИнЕУ), г. Павлодар.

Кислов Александр Петрович - Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

Колесников Евгений Николаевич - студент, группа АиУ-404, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

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

Кудобаев Даурен Амантаевич - докторант PhD, «Автоматизация и управление», Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

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

~~Аннотация к статье: «Энергетическая безопасность Казахстана в условиях глобализации»~~

Нефтисов Александр Витальевич - студент, 4 курс, 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.

Оразов Е.Т. - к.ф.-м.н в.н.с., Институт математики МОН РК, г. Алматы.

Садвокасова Гаухар Максумовна - магистр техники и технологии «Электроэнергетика», старший преподаватель, кафедра «Электроэнергетика», Инновационный Евразийский университет (ИНЕУ), г. Павлодар.

Сатыбалдина Дина Жагыпаровна - к.ф.-м.н., доцент, докторант, кафедра «Вычислительная техника», Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева., г. Астана.

Саухимов А.А. - м.э. инженер Неком АО «АУЭС» г. Алматы.

Тохтибакиев К.К. - к.т.н доцент Неком АО «АУЭС» г. Алматы.

Черных Вадим Александрович - магистрант ОмГТУ.

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

Юсупова Асель Оразовна - ст. преподаватель, кафедра «РТиТК», Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар.

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,

П а в л о д а р с к и й г о с у д а р с т в е н н ы й у н и в е р с и т е т
им. С.Торайгырова,

Издательство «КЕРЕКУ»

Тел. (8 7182) 67-36-69

E-mail: publish@psu.kz



Теруге 19.12.2010ж. жіберілді. Басуға 25.12.2010 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 № 1655
Сдано в набор 21.05.2010 г. Подписано в печать 04.06.2010 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 № 1655

«КЕРЕКУ» баспасы
С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69
E-mail: publish@psu.kz