

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

---

*1997 жылы қурылған  
Основан в 1997 г.*



**ПМУ  
ХАБАРШЫСЫ  
ВЕСТНИК ПГУ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СЕРИЯ**

**2011**

---

---

---

Научный журнал Павлодарского государственного университета  
имени С. Торайгырова

### СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на учет средства массовой информации  
№ 4533-Ж

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

-----

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

#### Редакционная коллегия:

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

-----

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

### МАЗМҰНЫ

АБИШЕВ К.К. Резенкелі шынжыр табанның тірек бетімен өзара әсер етуінің математикалық моделі .....	9
АЛИФЕРОВ А.И., БИКЕЕВ Р.А., ГОРЕВА Л.П. Руднотермиялық электрпештерінің шихтовтық қаталдық тоқеткізуінің электрлік көрсеткіштерді зерттеу .....	16
ГЛАЗЫРИН С.А., ГЛАЗЫРИНА Н.С., АНАРБАЕВ А.Е. Сульфокөмірді регенерациялау үшін көмірқышқыл газдың қолдану мүмкіншілігін зерттеу .....	22
ГЛАЗЫРИН С.А., БЕКИШЕВА Г.С., РАМАЗАНОВА А.Е. Каталитикалық крекинг және кететін газдардан тазарту .....	31
ГЛАЗЫРИН А.И., ГЛАЗЫРИН С.А., МЕРГАЛИМОВА А.К., ҚЫРЫҚБАЙ Ө. Жылу механикалық жабдықтан кететін газдарды тазартудың перспективалық күйі .....	38
ГОРШЕНКОВ А.А., КЛИКУШИН Ю.Н., КОШЕКОВ К.Т. Вариабельді дабылдарды және форманы өлшеу әдісі .....	46
ГОРШЕНКОВ А.А., КЛИКУШИН Ю.Н., КОШЕКОВ К.Т. Идентификациялық өлшеу әдістеріп дабылдардық децимациясының автоматтандаруы .....	55
ИНКИН А.И., АЛИФЕРОВ А.И., БЛАНК А.В. Тұрақты магниттік индукциялық жылытудың құрылғылары және олардың күрілдеуікті а-н-жүйелерінің ауыстыру электромагниттік өрістердің есебі.....	64
КИСЛОВ А.П., МЕНДЫБАЕВ С.А., АЙТЕЕВ Д.С. Қазақстан Республикасының салық комитеттінің замануи жағдайы және оның ақпараттық ағынының сипаттамасы .....	74
КИСЛОВ А.П., МЕНДЫБАЕВ С.А., АМРЕНОВ Е.Б. Мұнай өндеу өндірісінде құбырлы пештегі автоматтандырылған басқару жүйесінің анализі және техникалық шешім таңдау .....	79
КИСЛОВ А.П., ЗВОНЦОВ А.С. NGN негізінде желінің өткізу аласына қойылатын талаптар .....	84
КИСЛОВ А.П., ЮСУПОВА А.О., БЕКТАСОВА А.А. Импульсты модуляциясы бар хабарлағыштардың талдауы .....	91
КИСЛОВ А.П., ЗВОНЦОВ А.С. NGN концепциясы негізінде мультсервистік түйіннің жүйеге кіруінің өндірістік есебі .....	97
КЛИКУШИН Ю.Н., КОШЕКОВ К.Т. Дабылдардың бұрмалаған сызықты емес өлшеу әдісі .....	103
КОСОГОРОВ А.П., ГРИГОРЬЕВ М.С., МАШЕВСКИЙ С.А., ШЕЛОМЕНЦЕВ А.С. Ілеспе машиналар көмегімен электрлік қамдау жүйесінің жұмыс тәртібін реттеу .....	107

КУСАНОВ Е.Т., ТИМОШОВ О.Е., АРЫНГАЗИН К.Ш., КАСКЫРБАЕВ К.К., ТЛЕУЛЕСОВ А.К., САМЕНОВА Ж.К., ЖАКИЯНОВА А.Х. «Нефтехим LTD компаниясы» ЖШС-нің айналмалы суды салқындату жүйесінің сенімділігі туралы.....	118
НОВОЖИЛОВ А.Н., ИСУПОВА Н.А. Асинхрондық қозғаушының роторының эксцентриситетінің функционалдық диагностикасы.....	124
СУРАШОВ Н.Т., ГАЗИЗОВ О.Г., БАЖЕНОВ В.Н. Орам қағаздарын ішкі тесігінен тығындалып ұстау жаңа құрылғысын құрастыру.....	127
ШАПКЕНОВ Б.К., МАРКОВСКИЙ В.П., ДРОБИНСКИЙ А.В., ЖЕТПИСБАЕВ Е.К., КАЙДАР А.Б. Пьезоэлектрлік датчиктер параметрлерін техникалық есептеулер үшін тензорлық талдауды қолдану.....	131
ЮСУПОВА А.О., БЕКТАСОВА А.А., АШИМОВА А.К. Электромагниттік экрандау міңездемесі.....	137
ЮСУПОВА А.О., АЛПЫСБАЕВА Д.М. «Hot spot» үлгісімен бойынша сымсыз жүйесін өткізу қабілеттерін бағалауы және оңтайландырылуы .....	143
Біздің авторлар .....	150
Авторлар үшін ереже.....	153

## СОДЕРЖАНИЕ

АБИШЕВ К.К. Математическая модель взаимодействия резиногусеничного движителя с опорным основанием.....	9
АЛИФЕРОВ А.И., БИКЕЕВ Р.А., ГОРЕВА Л.П. Исследование электрических параметров расшихтованного жесткого токоподвода руднотермических электропечей.....	16
ГЛАЗЫРИН С.А., ГЛАЗЫРИНА Н.С., АНАРБАЕВ А.Е. Исследование возможности использования углекислого газа для регенерации сульфогля.....	22
ГЛАЗЫРИН С.А., БЕКИШЕВА Г.С., РАМАЗАНОВА А.Е. Каталитический крекинг и очистка уходящих газов .....	31
ГЛАЗЫРИН А.И., ГЛАЗЫРИН С.А., МЕРГАЛИМОВА А.К., КЫРЫКБАЙ А. Состояние перспективы очистки уходящих газов тепломеханического оборудования.....	38
ГОРШЕНКОВ А.А., КЛИКУШИН Ю.Н., КОШЕКОВ К.Т. Метод измерения формы и варибельности сигналов .....	46
ГОРШЕНКОВ А.А., КЛИКУШИН Ю.Н., КОШЕКОВ К.Т. Автоматизация децимации сигналов на основе идентификационных измерений.....	55
ИНКИН А.И., АЛИФЕРОВ А.И., БЛАНК А.В. Установки индукционного нагрева с постоянными магнитами и их каскадные А-Н-схемы замещения для расчета электромагнитного поля .....	64
КИСЛОВ А.П., МЕНДЫБАЕВ С.А., АЙТЕЕВ Д.С. Анализ современного состояния налогового комитета Республики Казахстан и описание информационных потоков .....	74
КИСЛОВ А.П., МЕНДЫБАЕВ С.А., АМРЕНОВ Е.Б. Технический анализ решения автоматизированной системы управления трубчатой печи нефтеперерабатывающего производства .....	79
КИСЛОВ А.П., ЗВОНЦОВ А.С. Требования к полосе пропускания сети на основе концепции NGN.....	84
КИСЛОВ А.П., ЮСУПОВА А.О., БЕКТАСОВА А.А. Анализ передатчиков с импульсной модуляцией .....	91
КИСЛОВ А.П., ЗВОНЦОВ А.С. Расчет производительности мультисервисного узла доступа сети на основе концепции NGN .....	97
КЛИКУШИН Ю.Н., КОШЕКОВ К.Т. Метод измерения нелинейных искажений сигналов .....	103
КОСОГОРОВ А.П., ГРИГОРЬЕВ М.С., МАШЕВСКИЙ С.А., ШЕЛОМЕНЦЕВ А.С. Регулирование режима работы системы электроснабжения с помощью синхронных машин .....	107

КУСАНОВ Е.Т., ТИМОШОВ О.Е., АРЫНГАЗИН К.Ш., КАСКЫРБАЕВ К.К., ТЛЕУЛЕСОВ А.К., САМЕНОВА Ж.К., ЖАКИЯНОВА А.Х. К вопросу надежности системы охлаждения оборотной воды ТОО «Компания нефтехим LTD» .....	118
НОВОЖИЛОВ А.Н., ИСУПОВА Н.А. Функциональная диагностика эксцентриситета ротора асинхронного двигателя .....	124
СУРАШОВ Н.Т., ГАЗИЗОВ О.Г., БАЖЕНОВ В.Н. Разработка новой конструкции внутреннего захвата бумажных рулонов.....	127
ШАПКЕНОВ Б.К., МАРКОВСКИЙ В.П., ДРОБИНСКИЙ А.В., ЖЕТПИСБАЕВ Е.К., КАЙДАР А.Б. Применение тензорного анализа для технических расчетов параметров пьезоэлектрических датчиков .....	131
ЮСУПОВА А.О., БЕКТАСОВА А.А., АШИМОВА А.К. Характеристика электромагнитного экранирования.....	137
ЮСУПОВА А.О., АЛПЫСБАЕВА Д.М. Оценка и оптимизация пропускной способности беспроводной сети на примере «hot spot» .....	143
Наши авторы .....	150
Правила для авторов .....	153

## CONTENT

ABISHEV K.K. Mathematical model of interaction between the rubber-caterpillar mover and substructures .....	9
ALIFEROV A.I., BIKEEV R.A., GOREVA L.P. Investigation of the electrical specifications of the blended rigid current leads of the ore-smelting electric furnaces.....	16
GLAZYRIN A.S., GLAZYRINA S.N., ANARBAEV E.A. Investigation of the use of carbon dioxide to recovery ionitesand .....	22
GLAZYRIN S.A., BEKISHEVA G.S., RAMAZANOVA A.E. Catalytic cracking and cleaning of getting gases.....	31
GLAZYRIN A.I., GLAZYRIN S.A., MERGALIMOVA A.K., KYRYKBAY A. State of prospect of cleaning of waste gases of the termomechanical equipment. ....	38
GORSHENKOV A.A., KLIKUSHIN YU.N., KOSHEKOV K.T. Method for measuring the form and variability of signals .....	46
GORSHENKOV A.A., KLIKUSHIN YU.N., KOSHEKOV K.T. The automatization of signals decimation(thinning) with the help of means and methods or identification measurement.....	55
INKIN A.I., ALIFEROV A.I., BLANK A.B. Plants of induction heating with permanent magnets and their replacement cascade A-H-schemes for calculating of the electromagnetic field.....	64
KISLOV A.P., MENDYBAYEV S.A., AYTEEV D.S. The present state of the Tax committee of Kazakhstan and the characteristics of information flow in it.....	74
KISLOV A.P., MENDYBAYEV S.A., AMRENOV E.B. Automated control system for the oil refinery tubular furnace and selection of the required engineering solutions .....	79
KISLOV, A.S. ZVONTSOV A.P. Requirements to the network passband on the basis of NGN concept.....	84
KISLOV A.P., USSUPOVA A.O., BEKTAPOVA A.A. The analysis of transmitters with pulse modulation .....	91
KISLOV A.P., ZVONTSOV A.S. Calculation of the capacity of multiservice network access node based on the NGN concept.....	97
KLIKUSHIN YU.N., KOSHEKOV K.T. METHOD FOR MEASURING NONLINEAR DISTORTIONS OF SIGNALS .....	103
KOSOGOROV A.P., GRIGORIEV M.S., MASHEVSKY S.A., SHELOMENTSEV A.S. Regulation of the power system operating mode by means of synchronous machinery.....	107
KUSANOV E., TIMOSHOV O., ARYNGAZIN K., KASKIRBAYEV K., TLEULESSOV A., SAMENOVA Z., ZHAKIJANOVA A. To the question of reliability of system of cooling of turnaround water of LLC "Company Neftehim LTD".....	118

NOVOZHILOV A.N., ISUPOVA N.A. Functional diagnostics of eccentricity of the induction motoris rotor.....	124
SURASHOV N.T., GASISOV O.G., BAHENOV V.N. Development of a new design of internal capture of paper rolls.....	127
SCHAPKENOV B.K., MARKOVSCI V.P., DROBINSKI A.V., CHETPISBAEV E.K., KAI DAR A.B. Using tenzornogo analysis for technical calculation of the piezoelektrical sensor parameter .....	131
USSUPOVA A.O., ASHIMOVA A.K., BEKTASSOVA A.A. Characteristics of electromagnetic shielding .....	137
USSUPOVA A.O., ALPISBAEVA D.M. Evaluation and optimization bandwidth wireless networks such as «hot spot» .....	143
Our authors.....	150
Rules for authors .....	153

УДК 629.3.03

**К.К. АБИШЕВ**  
**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**  
**РЕЗИНОГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ**  
**С ОПОРНЫМ ОСНОВАНИЕМ**

В настоящее время одним из направлений снижения вредного воздействия ходовых систем тягово-транспортных машин на грунт и улучшения их тягово-сцепных качеств является использование резиногусеничного движителя [1]. Экспериментальные исследования [2, 3] показали, что резиновая гусеница по сравнению с металлической обеспечивает более равномерное распределение создаваемых тягово-транспортной машиной удельных давлений и снижает пиковые нагрузки на грунт.

При взаимодействии гусеничного движителя с грунтом сила тяжести машины передается на грунт через опорную ветвь движителя. Со стороны грунта на движитель действуют силы реакции грунта. Значения этих реакций и закономерности их распределения по опорной поверхности отражают физическую сущность процессов взаимодействия движителя с грунтом. Именно от этих закономерностей зависят параметры взаимодействия гусениц с опорной поверхностью, а также показатели эффективности работы гусеничных машин.

Математические модели, которые раскрывают механизм взаимодействия гусеничного движителя с основанием и характер распределения удельных давлений разработаны для металлогусеничного движителя и не учитывают такую особенность резиновых гусениц, как их деформируемость [4].

Для выявления закономерностей распределения давления примем схему, предложенную профессором В.В. Кацыгиным [5], и рассмотрим часть резиногусеничного движителя, состоящего из двух опорных катков и резиновой гусеницы. Действие натяжной пружины направляющего колеса заменим подрессоренным первым катком (рисунок 1). Примем также, что гусеничная машина движется равномерно по горизонтальной поверхности пути.

Пусть на участок гусеницы АВ действует нагрузка  $G_1$ , равная силе тяжести машины, приходящейся на выделенную часть движителя. Примем, что гусеница представляет собой гибкую ленту, скорость движения ее равна нулю. Положение ленты зависит от ее натяжения и напряжений грунта. В свою очередь, напряжения грунта зависят от степени осадки различных участков ленты.

Построим на рисунке 1 координатные оси так, чтобы ось абсцисс была расположена горизонтально (на уровне поверхности пути до деформации

грунта движителя), а ось ординат проходила бы вертикально вниз через середину участка АВ.

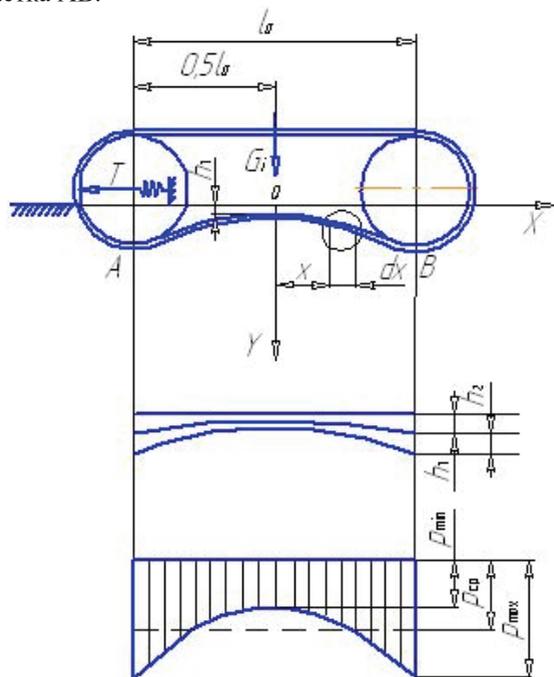


Рисунок 1 – Схема к выводу закона распределения давления по длине опорной ветви резиногусеничного движителя

Прогиб резиновой гусеницы между катками, а значит, и нормальное давление, действующее на резиновую гусеницу между катками, обусловлены упругими деформациями грунта и элементов резиновой гусеницы и определяются линейными закономерностями:

– для грунта

$$p = kh_1, \tag{1}$$

где  $P$  – удельное давление;

$k$  – коэффициент объемного смятия грунта;

$h_1$  – осадка грунта.

– для резиновой гусеницы

$$p = c_z h_2, \tag{2}$$

где  $c_z$  – нормальная жесткость резиновой гусеницы;

$h_2$  – нормальная деформация элементов резиновой гусеницы.

При совместном решении уравнений (1) и (2) принимаем  $y = h_1 + h_2$ . В результате получим

$$p = k_{np} y, \tag{3}$$

где  $k_{np}$  – коэффициент приведенной жесткости;

$y$  – суммарная деформация грунта и элементов резиновой гусеницы;

Коэффициент приведенной жесткости зависит от коэффициента объемного смятия грунта и нормальной жесткости элементов резиновой гусеницы

$$k_{np} = \frac{kc_z}{k + c_z}. \tag{4}$$

Используя полученную линейную зависимость (3) определим закон распределения нормального давления по длине опорной поверхности резиновой гусеницы.

Рассмотрим равновесие элементарной полоски (рисунок 2), отстоящей на расстоянии  $x$  от начала координат (ширина  $b$  равна ширине гусеничной ленты, а длина  $dx$ ). Эта полоска находится в равновесии под действием сил натяжения ленты  $F$  и  $dF$ , а также силы  $dN_x$  со стороны грунта

$$dN_x = p_x b dx,$$

где  $P_x$  – давление на участке  $b dx$ .

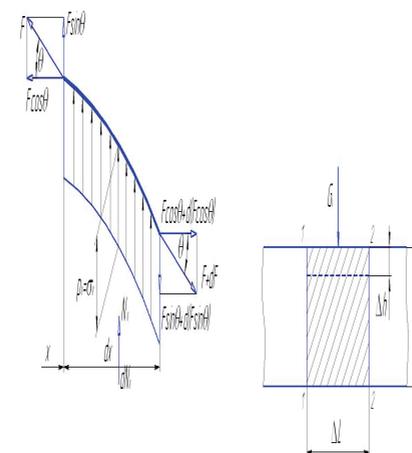


Рисунок 2 – Равновесие элементарной полоски гусеничной ленты

Проектируем указанные силы на оси  $OX$  и  $OY$  (рисунок 2). Сумма проекций этих сил на оси равна нулю, то есть

$$F \cos \theta + d(F \cos \theta) - F \cos \theta = 0,$$

или

$$d(F \cos \theta) = 0 \quad (5)$$

$$F \sin \theta + d(F \sin \theta) - F \sin \theta - p_x b dx = 0,$$

или

$$dF(\sin \theta) - p_x b dx = 0. \quad (6)$$

Из уравнения (5) следует, что  $F \cos \theta = \text{const}$  то есть горизонтальная составляющая натяжения ленты постоянна и равна половине усилия натяжной пружины  $\frac{T}{2}$ . Подставим в уравнение (6) значение  $F = \frac{T}{2 \cos \theta}$ . После сокращения на  $dx$  получим

$$\frac{T}{2} \frac{d(\tan \theta)}{dx} - p_x b = 0.$$

Тангенс угла наклона ленты равен первой производной осадки  $y$  по  $x$ , то есть  $\frac{dy}{dx}$ . Кроме того,  $p_x = k_{np} y$ . Таким образом,

$$\frac{T}{2} \frac{d^2 y}{dx^2} - b k_{np} y = 0. \quad (7)$$

Полученное выражение представляет собой однородное дифференциальное уравнение второго порядка и определяет закон распределения давлений по длине опорной ветви гусениц.

Найдем его решение в виде  $y = ce^{\lambda x}$ .

Найдем частные решения дифференциального уравнения (7).

Дифференцируя два раза  $y = f(x)$ , получим  $\frac{d^2 y}{dx^2} = ce^{\lambda x} \lambda^2$ . Подставляя полученное выражение в уравнение (7), получаем

$$\frac{T}{2} ce^{\lambda x} \lambda^2 - k_{np} b ce^{\lambda x} = 0,$$

отсюда

$$ce^{\lambda x} \lambda^2 - \frac{2k_{np} b}{T} ce^{\lambda x} = 0$$

После соответствующих преобразований получаем

$$ce^{\lambda x} \left( \lambda^2 - \frac{2k_{np} b}{T} \right) = 0,$$

откуда

$$ce^{\lambda x} = 0 \text{ и } \lambda^2 - \frac{2k_{np} b}{T} = 0.$$

Из последнего равенства найдем  $\lambda = \pm \sqrt{\frac{2k_{np} b}{T}}$ . Следовательно, частные решения дифференциального уравнения (7) следующие

$$y_1 = c_1 e^{x \sqrt{\frac{2k_{np} b}{T}}}; \quad y_2 = c_2 e^{-x \sqrt{\frac{2k_{np} b}{T}}}.$$

В нашем случае перед координатой  $x$  нужно всегда ставить плюс, так как при отрицательном значении показателя степени с увеличением  $x$  осадка уменьшается, что противоречит действительности.

Найдем постоянные  $c_1$  и  $c_2$  при следующих начальных условиях  $x=0$ ,  $y=h_1$ . Тогда  $h_1 = c_1 e^0 = c_1$  и  $h_1 = c_2 e^0 = c_2$ , то есть  $\tilde{h}_1 = \tilde{h}_2 = h_1$ . Отсюда

$$y = h_1 e^{x \sqrt{\frac{2k_{np} b}{T}}}.$$

Учитывая что, давление на грунт пропорционально осадке запишем

$$p_x = k_{np} h_1 e^{x \sqrt{\frac{2k_{np} b}{T}}}. \quad (8)$$

Чтобы судить о значении давлений, необходимо определить осадку  $h_1$  между опорными катками. Для этого просуммируем элементарные силы грунта на гусеничную ленту между точками А и В (рисунок 2) и приравняем эти силы к силе тяжести  $G_1$ , которая приходится на тот же участок

$$G_1 = \int_A^B dN_x = \int_A^B N(x) dx;$$

на половину участка

$$\frac{G_i}{2} = \int_0^{l_0/2} b k_{np} h_1 e^{x \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}}} dx = h_1 \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}} \left( e^{\frac{l_0}{2} \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}}} - 1 \right)$$

$$h_1 = \frac{G_i}{2 \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}} \left( e^{\frac{l_0}{2} \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}}} - 1 \right)}$$

Подставив значение  $h_1$  в формулу (8), получим уравнение, характеризующее распределение давлений под опорной ветвью гусеничной ленты между катками

$$p_x = \frac{G_i k_{np} e^{x \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}}}}{2 \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}} \left( e^{\frac{l_0}{2} \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}}} - 1 \right)} \quad (9)$$

Из уравнения (9) следует, что давление зависит от силы тяжести, расстояния между опорными катками, ширины гусеницы, натяжения, а также физико-механических свойств грунта.

Для определения неравномерности распределения давления по длине опорной поверхности гусеницы использован коэффициент относительной неравномерности

$$\xi_p = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\text{ср}}} \quad (10)$$

где  $P_{\max}$  – максимальное давление при  $x = \frac{l_0}{2}$ ;

$P_{\min}$  – минимальное давление при  $x = 0$ ;

$P_{\text{ср}}$  – среднее давление.

Среднее давление определяется по формуле

$$P_{\text{ср}} = \frac{G_i}{b l_0},$$

где  $G_i$  – часть массы машины, приходящаяся на рассматриваемый участок резиновой гусеницы;

$b$  – ширина резиной гусеницы;

$l_0$  – расстояние между катками.

Подставляя значение  $x$  в уравнение (9) получим выражения для определения максимального и минимального давления

$$P_{\max} = \frac{G_i k_{np} e^{\frac{l_0}{2} \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}}}}{2 \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}} \left( e^{\frac{l_0}{2} \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}}} - 1 \right)} \quad (11)$$

$$P_{\min} = \frac{k_{np} G_i}{2 \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}} \left( e^{\frac{l_0}{2} \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}}} - 1 \right)} \quad (12)$$

Подставив значения  $P_{\max}$ ,  $P_{\min}$  и  $P_{\text{ср}}$  в формулу (10), получим

$$\xi_p = \frac{l_0}{2} \sqrt{\frac{2k_{np}b}{T}} \quad (13)$$

где  $T$  – усилие натяжения резиновой гусеницы.

Из этой формулы следует, что неравномерность давления возрастает, если расстояние между катками и ширина гусеничной ленты увеличиваются, и, наоборот, уменьшается с увеличением натяжения гусеницы.

Подставив значение  $k_{np}$  в предыдущие формулы, получим

$$\xi_p = \frac{l_0}{2} \sqrt{\frac{2k c_z b}{T(k + c_z)}} \quad (14)$$

$$P_{\max} = \frac{G_i k c_z e^{\xi_p}}{2(k + c_z) \sqrt{\frac{2k c_z b T}{2(k + c_z)} \left( e^{\xi_p} - 1 \right)}} \quad (15)$$

$$P_{\min} = \frac{G_i k c_z}{2(k + c_z) \sqrt{\frac{2k c_z b T}{2(k + c_z)} \left( e^{\xi_p} - 1 \right)}} \quad (16)$$

Эти выражения характеризуют закон распределения нормального давления по длине опорной поверхности резиновой гусеницы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Русанов В.А. Проблемы переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения. – М. : РАСХН, ВИМ, 1998. – 368 с.
- 2 Скотников В.А., Янцов Н.Д. Сохранение плодородия почв при воздействии на них ходовых систем // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1982. – №8 – С. 43-44.
- 3 Turner R.J. Comparison of two and four track machines to rubber tire tractors in prairie soil conditions // Belt and Tire Traction in Agricultural Vehicles. SP-1291, SAE, 1997.

4 Абишев К.К. Создание сменного гусеничного движителя строительно-дорожных машин и обоснование его основных параметров: дисс. канд. техн. наук. – Алматы, 2010. – 130 с.

5 Гуськов В.В. Тракторы. Ч. II. Теория. – Минск : Вышэйшая школа, 1977. – 384 с.

Павлодарский государственный университет имени С.Торайгырова, г.Павлодар. Материал поступил в редакцию 11.12.2011.

Қ.Қ. ӘБІШЕВ  
РЕЗЕНКЕЛІ ШЫНЖЫР ТАБАНЫҢ ТІРЕК БЕТІМЕН ОЗАРА ӘСЕР  
ЕТУІНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ  
K.K. ABISHEV  
MATHEMATICAL MODEL OF INTERACTION REZINOГУСЕНИЧНОГО  
ДВИЖИТЕЛЯ WITH THE BASIC BASIS

#### Түйіндемe

Мақалада резенкелі шынжыр табанның тірек бетінің ұзындығы бойымен нормальды қысымының тарауы заңдығын сипаттайтын теңдеулер келтірілген.

#### Resume

In the article the expressions characterizing the law of distribution of normal pressure on the length of a basic surface of a rubber caterpillar are resulted.

УДК 621.3.01

### **А.И. АЛИФЕРОВ, Р.А. БИКЕЕВ, Л.П. ГОРЕВА ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАСШИХТОВАННОГО ЖЕСТКОГО ТОКОПОДВОДА РУДНОТЕРМИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ**

Современные мощные руднотермические печи в конструкции вторичного токоподвода имеют жесткий неподвижный участок (рисунок 1), выполняемый в виде пакета водоохлаждаемых трубошин. Зачастую он является самым протяженным из всех участков короткой сети.

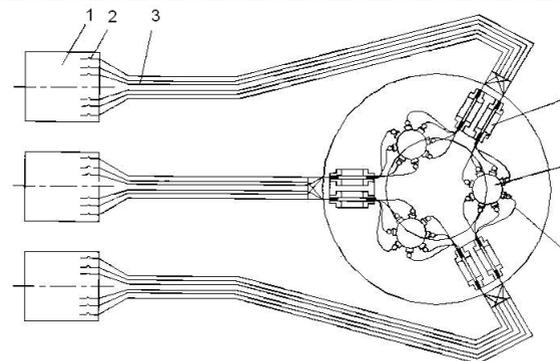


Рисунок 1 - Схема цепи электропитания трехэлектродной руднотермической печи: 1 – трансформатор; 2 – компенсаторы; 3 – трубчатый шинопакет; 4 – гибкий токоподвод; 5 – электрод; 6 – трубки электрододержателя.

Параметры короткой сети оказывают большое влияние на технико-экономические показатели работы печи: коэффициент мощности, симметрию нагрузки фаз, удельный расход электроэнергии, электрический КПД и т.д. По проводникам короткой сети протекают весьма большие токи промышленной частоты, которые создают вокруг проводников сильные магнитные поля. Вследствие этого большое значение приобретают такие явления, как поверхностный эффект, эффект близости, неравномерное распределение тока по отдельным проводникам, перенос мощности между отдельными проводниками и фазами, потери энергии в металлических конструкциях и др.

Реактивное сопротивление короткой сети в значительной степени ухудшает электрические показатели печи и приводит к загрузке источников ее питания большой реактивной мощностью. Активное сопротивление вторичного токоподвода определяет величину электрического КПД печи.

С целью снижения индуктивного сопротивления жесткие участки коротких сетей (позиция 3 рисунка 1) по возможности выполняются сбиблированными. На практике библиация осуществляется перешихтовкой проводников в пакете. Применяемые варианты перешихтовки проводников в трубчатом шинопакете приведены на рисунке 2.

В таблице 1 представлены индуктивные сопротивления цепи электропитания установки РКЗ-80 [1].

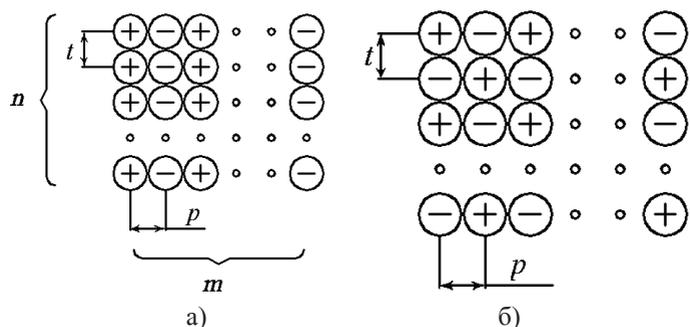


Рисунок 2 - Варианты перешихтовки многофазных пакетов трубошин:  
а) коридорный, б) шахматный

Таблица 1

Индуктивное сопротивление цепи электропитания установки РКЗ-80.

Трансформатор		Короткая сеть		Электроды и ванна		Всего на фазу	
x, мОм	%	x, мОм	%	x, мОм	%	x, мОм	%
0,09	7,4	0,39	32,0	0,74	60,6	1,22	100

По таблице 1 видно, что сопротивление короткой сети от полного индуктивного сопротивления составляет 32%, это значительная часть. Следовательно, большое значение имеет задача проектирования вторичного токопровода с рациональными параметрами, а значит, необходимы эффективные методы расчета этих параметров на этапе проектирования.

Существующая на данный момент методика [1] была разработана на основе математического аппарата и программного обеспечения, существовавшего до 1980-х годов. Практика использования этой методики показывает, что индуктивное сопротивление еще можно рассчитать при некотором упрощении геометрии. При расчете же активного сопротивления возникает существенная неточность в определении поправочных коэффициентов.

В настоящий момент разработан ряд прикладных программ, базирующихся на решении системы дифференциальных уравнений, описывающих электромагнитное поле. В настоящей работе использовался прикладной пакет ANSYS Multiphysics v 11.0 [2]. Процесс создания модели в ANSYS и расчета по ней был запрограммирован на языке APDL, поддерживаемом системой ANSYS. Это позволило параметризовать задание исходных данных при построении модели и организовывать циклические расчеты большого числа вариантов.

Для фиксированной геометрии медных трубошин (наружный диаметр 50 мм, толщина стенки трубы 10 мм) были проведены многовариантные расчеты активного и индуктивного сопротивлений для каждого случая перешихтовки (рисунок 2) на численной модели, созданной с помощью прикладного пакета ANSYS. В расчетах варьировались: количество проводников в вертикальных и горизонтальных рядах  $n=1, 2, \dots, 8$  и  $m=2, 3, \dots, 8$ , расстояния между горизонтальными и вертикальными рядами  $t=0,055 \cdot 0,1$  м и  $p=0,055 \cdot 0,1$  м. Ниже приведены результаты этих расчетов.

Как показали расчеты, для всех вариантов перешихтовки трубошин, активное и индуктивное сопротивление уменьшается с увеличением количества рядов проводников в пакете в горизонтальном направлении- $m$  и вертикальном- $n$  (рисунки 3, 5). Такое поведение активного и индуктивного сопротивления связано с увеличением количества параллельно соединенных проводников. Следует отметить, что при  $n \cdot 6$  и  $m \cdot 2$  (наиболее применяемое соотношение в реальных установках) активное сопротивление становится соизмеримым с индуктивным сопротивлением ( $r < x$  менее, чем в 2.5 раза), хотя принято считать, что активное сопротивление настолько мало, по сравнению с индуктивным сопротивлением, что его можно не учитывать.

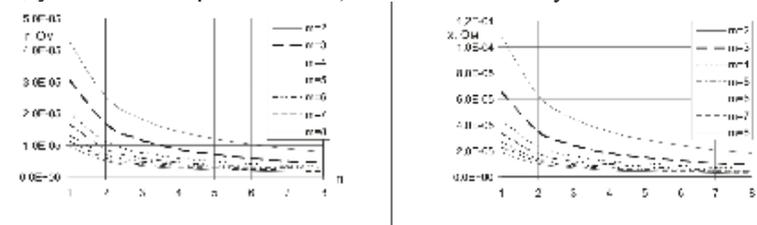


Рисунок 3. Зависимость активного (а) и индуктивного (б) сопротивления перешихтованного коридорным способом шинопакета при изменении числа трубошин  $n$  в вертикальном ряду при фиксированных значениях числа трубошин  $m$  в горизонтальном ряду ( $t = 0,08$  м,  $p = 0,06$  м).

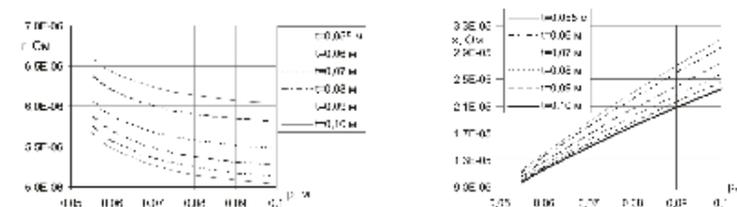


Рисунок 4. Зависимость активного (а) и индуктивного (б) сопротивления перешихтованного коридорным способом шинопакета при изменении горизонтального расстояния  $p$  между трубошинами при фиксированных значениях вертикального расстояния  $t$  между трубошинами ( $n = m = 4$ ).



Рисунок 5. Зависимость активного а) и индуктивного б) сопротивления перешихтованного шахматным способом шинопакета при изменении числа трубокшин  $n$  в вертикальном ряду при фиксированных значениях числа трубокшин  $m$  в горизонтальном ряду ( $t = 0,08$  м,  $p = 0,06$  м).

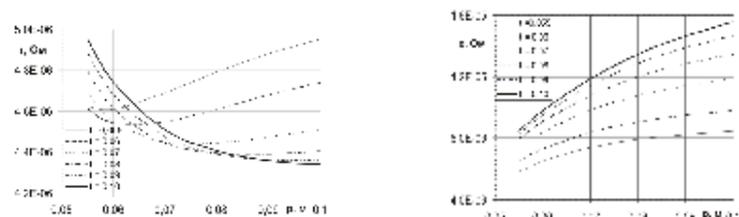


Рисунок 6. Зависимость активного а) и индуктивного б) сопротивления перешихтованного шахматным способом шинопакета при изменении горизонтального расстояния  $p$  между трубокшинами при фиксированных значениях вертикального расстояния  $t$  между трубокшинами ( $n = m = 4$ )

Рис. 4, б показывает, что с увеличением расстояния между рядами проводников в пакете в горизонтальном направлении -  $p$  индуктивное сопротивление возрастает, в то время как при увеличении расстояния в вертикальном направлении -  $t$  оно уменьшается. Описанное поведение сопротивлений характерно для шинопакета, изображенного на рисунке 2, а. Это связано с тем, что при увеличении параметра  $p$  отрицательная взаимоиנדуктивность уменьшается по абсолютной величине, что приводит к росту индуктивного сопротивления. Увеличение параметра  $t$  приводит к уменьшению положительной взаимоиנדуктивности проводников соседних горизонтальных рядов, что вызывает уменьшение индуктивного сопротивления фазы шинопакета.

В шахматном же варианте перешихтовки (рис. 2,б) каждый проводник окружен проводниками с противоположно направленными токами. Поэтому увеличение как горизонтального расстояния  $p$ , так и вертикального  $t$  должно приводить к увеличению индуктивного сопротивления пакета, что и

демонстрирует рис. 6,б. Также очевидно, что при одинаковых геометрических параметрах индуктивное сопротивление пакета, перешихтованного шахматным способом заметно меньше, чем для коридорного способа (рис. 4,б и 6,б).

Выполнен сравнительный анализ результатов, полученных численным моделированием и рассчитанных по традиционной методике [1]. Они приведены в таблице 2. Следует отметить, что результаты расчета активного сопротивления дает только метод численного моделирования. Отсутствие результатов в некоторых ячейках для индуктивного сопротивления связано с узостью границ применимости существующей методики. Сравнение показывает, что количественные различия индуктивных сопротивлений, полученных по традиционной методике и численному моделированию, составляют от 10 до 50%.

Таблица 2

Сравнение результатов расчетов сопротивлений пакетов трубокшин по разным методикам

Вариант шихтовки	$m$	$t$ , м	$p$ , м	$r$ , $10^{-6}$ Ом	$x$ , $10^{-6}$ Ом	
					численный расчет	традиционная методика [1]
коридорный	4	0,08	0,06	5,677	12,04	19,76
	2	0,08	0,06	14,38	34,82	44,22
	4	0,1	0,06	5,474	11,45	18,14
	4	0,08	0,08	5,360	19,28	27,25
шахматный	4	0,08	0,06	4,600	9,047	10,49
	2	0,08	0,06	9,511	21,15	23,77
	4	0,1	0,06	5,728	9,774	-
	4	0,08	0,08	4,383	11,98	12,48

На основе полученных результатов предполагается создать методику расчета активного и индуктивного сопротивлений шихтованных шинопакетов.

Работа выполнена в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009 – 2011 годы)», пресект № 2.1.2 /11944.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Данцис Я.Б. Короткие сети и электрические параметры дуговых электропечей. Справ. изд./ Я. Б.Данцис, Л. С.Кацевич, Г. М. Жилов и др./ 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия.- 1987.- 320 с.

2 ANSYS, <http://www.ansys.com>.

А.И. АЛИФЕРОВ, Р.А. БИКЕЕВ, Л.П. ГОРЕВА  
 РУДНОТЕРМИЯЛЫҚ ЭЛЕКТРПЕШТЕРІНІҢ ШИХТОВТЫҚ  
 КАТАЛДЫҚ ТОҚӨТКІЗУІНІҢ ЭЛЕКТРЛІК КӨРСЕТКІШТЕРДІ ЗЕРТТЕУ  
 A.I. ALIFEROV, R.A. BIKEEV, L.P. GOREVA  
 INVESTIGATION OF THE ELECTRICAL SPECIFICATIONS OF THE  
 BLENDED RIGID CURRENT LEADS OF THE ORE-SMELTING ELECTRIC  
 FURNACES

### Түйіндемe

Бұл мақалада руднотермиялық электрпештерінің шихтовтық қаталдық тоқөткізуінің электрлік көрсеткіштері қарастырылған.

### Resume

The authors dwell upon the main methods of measuring nonlinear distortion of signals on the basis of identification measurement. There is described a virtual device that measures nonlinear distortion of the sine signals with calibration characteristic in their analytical form, which serve as the intellectual database.

ӨОЖ 621.182.12

## С.А. ГЛАЗЫРИН, А.Е. АНАРБАЕВ, Н.С. ГЛАЗЫРИНА СУЛЬФОКӨМІРДІ РЕГЕНЕРАЦИЯЛАУ ҮШІН КӨМІРҚЫШҚЫЛ ГАЗДЫҢ ҚОЛДАНУ МҮМКІНШІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

Суды өзірлеуде басты процесс ион алмасу материалдарының қолдану технологиясы болып табылады, бірақ ион алмасу сүзгілерінде периодты регенерация болғанын талап етеді. Мұндай сүзгілерді пайдалануда негізгі есепке олардың техника-экономикалық табысты жұмыс көрсеткіштерінің жоғарлығы болып табылады, атап айтқанда: меншікті мұқтажға ең төменгі су мен тұз шығының есептеп, жоғарғы айырбастау сыйымдылығын, СДҚ ағынсыз схемасында қолдану мүмкіншілігін ұйымдастыру.

Осындай жағдайларда жаңа қымбат емес және бір қалпына келтірілетін регенерацияланатын агенттер және су дайындаудың жаңа технологиялары және ионитті регенерациялардың өңдеуі белгілі реагенттер сақтайтын болады.

Дүниежүзілік бірлестікте жыл сайын өндіріс және отын-энергетикалық қорлардың тұтынуының өсуінен табиғатқа негативті әсерлері өседі. Ең үлкен басты қауып соңғы 20 жылдарда атмосфераға көмірқышқыл газдардың лақтырындысының көлемі 40% үлкеюнен «парникті газдардың» атмосфераға лақтырулары болып табылады.

Кальций және магний иондары судың ең маңызды сапа көрсеткіштерінің бірі болып табылады, әр түрлі қажеттіліктер үшін қолдану мүмкіншілігін анықтайды (бу қазандарының қоректенуі үшін, суыту максаттары үшін, тұрмыстық мұқтаждықтар үшін және т.б.).  $Ca^{2+}$  және  $Mg^{2+}$  иондары қиын еритін электролиттерді құрайды және соның қасында әдетте аниондар табиғи суларда болады. Аниондар олармен қиын еритін электролиттерді құрайды.

Табиғи сулардың химиялары үшін кальций иондары  $CO_3^{2-}$ -нің (кальций карбонаты  $CaCO_3$ ) иондарымен қиын еритін тұздар құрастырғанда осы жағдайдың мәні зор және жеткілікті  $HCO_3^-$  тің иондарымен жақсы ериді (магний иондары бұл аниондардың екеуімен жеткілікті жақсы еритін тұздарды құрастырады).  $HCO_3^-$  және  $CO_3^{2-}$  иондары (судың рН өзгерісімен) бір-біріне оңай өтеді, нәтижесінде кальций иондары ( $CaCO_3$  қатты фаза түрінде) судан ыдырап бөлінеді, немесе ( $CaCO_3$  еріп) суға түседі. Қиын еритін  $CaCO_3$  пайда болуы, су дайындау процесінде, кальцийдің иондарының судағы концентрациясын төмендету үшін жиі қолданылады.

1 кестеде –  $CaCO_3$ -ін ерігіштігінің әртүрлі температурадағы өзгерісі көрсетілген.

Кесте 1

$CaCO_3$  –тің әртүрлі температурадағы судағы ерігіштігі

Температура, °С	20	75	100	220	263	289	309
Ерігіштік $CaCO_3$ , мг/л	13,0	18,2	23,8	16,6	14,4	13,2	10,9

Кестеде келтірілген 20 °С-дағы  $CaCO_3$  ерігіштігі, негізінде көбейтіндісімен есептелген шамасынан шамамен 2 есе асады. Бұл  $CO_3^{2-}$  иондары су ерігінділерінде гидролиздарға душар болады, нақ сол кезде қиын еритін тұздардың ерігіштігін үлкейтеді.

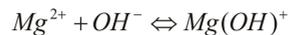
рН төмендеумен  $CaCO_3$  ерігіштігі (әлсіз қышқыл тұздағыдай)  $Ca(HCO_3)_2$ -тың пайда болғандығынан өседі. рН-тың төмендеуімен,  $CO_3^{2-}$  иондары, әлсіз қышқылдардың аниондары сияқты, сутегінің иондарымен әрекеттеседі:



Сонымен бірге,  $CO_3^{2-}$  иондарының концентрациясы төмендейді,  $Ca^{2+}$  және  $CO_3^{2-}$  иондардың концентрациясының көбейтіндісі  $CaCO_3$  ерігіштігінен кішірейіп және кейбір  $CaCO_3$ -тың қосымша мөлшері ерігіндіге өтеді.

Кальций иондары сульфат - иондарымен қиын еритін кальций сульфаттарын құрайды, олардың ерігіштігі күрт көтерілген теріс коэффициентпен сипатталады.

Магний иондары әлсіз ион негіздері сияқты гидролизға душар болады, олар негізгі иондардың пайда болуына жетелейді:



Температура үлкейгенде ( $\approx 100$  оС) гидролиз  $Mg(OH)_2$  пайда болуына ықпалдайды.

Оттық газдарда, көмірқышқыл газдың 15,2%-тен 17% дейін жоғары болғандықтан, катиониттің регенерациясы процесінде оның ықпалдығын тексере отыру керек.

Бикарбонат – иондары  $HCO_3^-$ , әлсіз көмір қышқылы болып табылғандықтан, ол диссоциацияда бірінші сатысы болып табылады. Су ерітінділерінде болатын бикарбонат - иондары, соңғы аниондардың жарқылай диссоциациясы қышқыл тұз сияқты болады (екінші сатысы бойынша қышқылдың диссоциациясы):



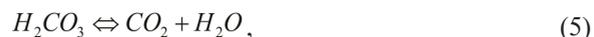
Сутегінің иондары концентрациясының жоғарлауы еркін көмір қышқылының пайда болуына алып келеді:



Көрсетілген процестердің нәтижесінде ерітіндіде бір уақыттағы бикарбонат - иондары, карбонат - иондары және еркін көмір қышқылы бар болуы.

Жоғарыда айтылған бикарбонат - ион гидролизінің процесінің қиындалуы кальций иондарының қатысуымен және олармен қиын еритін карбонат кальцийді  $CaCO_3$  құрастырылған.  $CO_3^{2-}$  иондарының ерітіндіде қала алатын шекті концентрациясы, кальцийдің иондарының концентрациясымен шектеледі.  $CO_3^{2-}$  иондарының молдығы (тыстан көп концентрациясы) кальций карбонаттың қатты фаза түрінде ерітіндіден ыдырап шығуына апарды.

Су ерітінділерінде тепе-теңдік бар болғандықтан



оның күйі оңға қарай көбірек жылжығандықтан, онда әдетте  $H_2CO_3$  концентрациясын есептемей,  $CO_2$  концентрациясының баламалысын есептейді (көмір қышқылының тепе-теңдік).

5-нші теңдеу  $H_2CO_3$  және  $CO_2$  молекулаларының арасындағы концентрациясының тепе-теңдіктігін көрсетеді. Өйткені,  $CO_2$  - газ сияқты өнім болғандықтан, оның судағы ерігіштігі  $CO_2$  -нің ауадағы парциалды

қысымына және температурасына тәуелді болады. Температураның жоғарылауынан және  $CO_2$  аз парциалды қысымында, судағы  $CO_2$  ерігіштігінің шамасы, оның тепе-теңдік концентрация шамасынан кіші болатынын көрсете алады, тек қана  $Ca^{2+}$  және  $HCO_3^-$  концентрацияларымен анықталатын,  $CO_2$  тепе-теңдік күйінде ерітінді жүйесінде болады. Жүйе аумалы болғандықтан және онда тепе-теңдікті қалпына келтіру процестері өздігінен ағымдап, яғни  $CO_2$  концентрациясы жоғарлауына және функционалді оған қатысты  $H_2CO_3$  -ның концентрациясы жоғарылауына апарып, нәтижесінде химиялық реакциялар болуы мүмкін, бикарбонат- иондар гидролизі, жеке алғанда [(3) және (4) теңдеуі]. Бірақ, бұл теңдеулерден бір уақытта карбонат - иондар пайда болады. Атап айтқанда, көмір қышқылының ерітіндідегі концентрациясы жоғарылауынан карбонат-иондардың концентрациясының жоғарлауына апарды.

Өйткені, бастапқы ерітінді  $CaCO_3$  қаныққан болса, онда  $CO_3^{2-}$  -нің концентрациясы жоғарылап, ерітінді  $CaCO_3$  қаныққан болады, соңғы ерітіндіден қатты фаза түрінде шығады.

Қайта орналастырылған тепе-теңдікте  $Ca^{2+}$ ,  $HCO_3^-$  және  $H_2CO_3$  концентрациясының арасындағы сандық байланыстар, келесі пікірлер негізінде шығарылады. (4)-нші теңдеуге сәйкес  $x$ -тың молярлық концентрациясын көмір қышқылының пайда болуына және  $HCO_3^-$  пен  $H^+$  концентрациясының осы шамаға азайуына апарды. (3) теңдеуімен бейнеленген реакция барысында, сутегінің иондарының концентрациясы  $x$ -тың шамасына төмендеп, нәтижесінде реакция тепе-теңдігі оң жағына жылжуына апарып соғады. Ерітінді буферлік болғандықтан (оның буферлік қасиеттері  $HCO_3^-$  ерітіндіде бар болуы шартты және оның концентрациясы  $H_2CO_3$  пен  $CO_3^{2-}$  -тан едәуір аса басым болады), ондағы сутегінің иондарының белсенділігі іс жүзінде тұрақты болып қалады және демек, (4) реакцияның өту ағысында сутегінің иондары концентрациясы  $x$  шамасына төмендеуі, нәтижесінде (3) реакцияның өту ағысы осы шамаға жоғарлауына апарды.

Сонымен бірге, ерітіндіде  $CO_3^{2-}$  иондарының концентрациясы  $x$  шамасына тең болып және  $HCO_3^-$  -тың иондардың концентрациясы қосымша тағы  $x$  шамасына төмендеуіне (барлығы  $2x$  шамаға) апарды.

Бастапқы ерітіндідегі жеке компоненттердің концентрациясы  $C_{HCO_3^-}^{исх}$ ,  $C_{H_2CO_3}^{исх}$ ,  $C_{CO_3^{2-}}^{исх}$ ,  $C_{Ca^{2+}}^{исх}$  арқылы белгілеп, тепе-теңдік орналастырылған күйде  $HCO_3^-$  пен  $H_2CO_3$  келесі концентрациялар болады:

$$C_{H_2CO_3}^{равн} = C_{H_2CO_3}^{исх} + x$$

$$C_{HCO_3^-}^{равн} = C_{HCO_3^-}^{исх} + x \quad (6)$$

$\text{CO}_3^{2-}$  иондарының пайда болуы, оның  $x$  концентрациясы  $C_{\text{CO}_3^{2-}}^{\text{исх}} + x$  дейін жоғарлауына келтіреді. Дегенмен, ерітінді, сонымен бірге,  $\text{CO}_3^{2-}$  -ке қатынасты қаныққан болады, және тепе-теңдікті қалпына келтіру үшін (қанығуға дейін ерітіндіні жеткізу)  $\text{CO}_3^{2-}$  мен  $\text{Ca}^{2+}$  иондары ерітіндіден у-ке тең шамамен эквимолекулярлық концентрациялардан,  $\text{CaCO}_3$  қатты фаза түрінде бөлектеніп шығады.

Сонымен бірге,  $\text{CO}_3^{2-}$  пен  $\text{Ca}^{2+}$  иондарының концентрациялары тепе-теңдік орнаған күйінде, тең болады:

$$C_{\text{CO}_3^{2-}}^{\text{равн}} = C_{\text{CO}_3^{2-}}^{\text{исх}} + x - y \quad (7)$$

$$C_{\text{Ca}^{2+}}^{\text{равн}} = C_{\text{Ca}^{2+}}^{\text{исх}} - y$$

$\text{Ca}^{2+}$  және  $\text{CO}_3^{2-}$  концентрациялары функционалді байланысты екенін есепке ала отырып, және  $\text{CO}_3^{2-}$  концентрациясы  $\text{Ca}^{2+}$  концентрациясынан кемінде 2 ретке аз екенін ( $x$  және  $u$ тің концентрациясы сияқты) біле отырып,

$C_{\text{Ca}^{2+}}^{\text{исх}}$  -тың у шамасына төмендеуі, іс жүзінде  $C_{\text{CO}_3^{2-}}^{\text{равн}}$  онымен салыстырғанда өзгертіпегенін ескере отыру керек, т.е. что  $x \approx y$ .

Тепе-теңдік күйінде мынандай болады:

$$C_{\text{CO}_3^{2-}}^{\text{равн}} \approx C_{\text{CO}_3^{2-}}^{\text{исх}}; \quad (8)$$

$$C_{\text{Ca}^{2+}}^{\text{равн}} = C_{\text{Ca}^{2+}}^{\text{исх}} - x$$

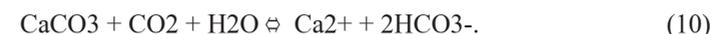
Тепе-теңдік көмір қышқылының концентрациясын есептеу теңдеуіне олардың бастапқы концентрациясы арқылы өрнектелген көмірқышқыл тепе-теңдіктердегі жеке компоненттерінің табылған мәндерін теңдеуге қойып мынаны аламыз:

$$C_{\text{H}_2\text{CO}_3}^{\text{исх}} + x = \frac{K_{\text{H}_2\text{CO}_3}^{\text{II}}}{K_{\text{H}_2\text{CO}_3}^{\text{I}} \cdot PP_{\text{CaCO}_3}} (C_{\text{HCO}_3^-}^{\text{исх}} - 2x)^2 (C_{\text{Ca}^{2+}}^{\text{исх}} - x) f_{\text{I}}^2 f_{\text{II}} \quad (9)$$

Соңғы теңдеуден,  $x$ -тың шамасын есептеп және ол табылған шама бойынша көмірқышқыл тепе-теңдігінің жеке компоненттерінің тепе-теңдік концентрация мәнін табуға мүмкіндік береді.  $X$  шамасы бір уақытта, тепе-теңдіктің орнығу моментіне дейінгі, 1 л судан бөлектелген,  $\text{CaCO}_3$  моль санын көрсетеді.

Тепе-теңдіктің тұрақтануы физикалық факторлардың әсерімен болуы мүмкін, ол десорбция нәтижесінде көмір қышқылының ерітіндідегі концентрациясының төмендеуінен болады, бірақ мұндай жол әрдайым мүмкін емес екен. Мысалы, сулардағы  $\text{Ca}^{2+}$  пен  $\text{HCO}_3^-$  концентрациясы аз болғанда, ол судағы  $\text{CO}_2$  -ның ерігіштігінен аз және  $\text{CO}_2$  -ның тепе-

теңдік концентрациясы соншама аз болып көрінеді. Дәп осындай, егер су тұйықталған жүйеде және одан  $\text{CO}_2$  алып тастауы мүмкін емес немесе қиындау болса, сонымен бірге көмір қышқылының десорбциясы оның концентрациясын азғана азайта алады. Ерітілген көмір қышқылының концентрациясының жоғарлауы, (3) пен (4) теңдеулерімен бағытталған реакциялардың тепе-теңдігінің солдан оңға қарай жылжу нәтижесінде мүмкін болады. Концентрациясының төмендеуі, бұл теңдеулердің тепе-теңдігінің кері бағытта жылжу нәтижесінде болатыны анық. Сонымен бірге, егер ерітіндідегі көмір қышқылының концентрациясының жоғарылауымен бірге,  $\text{CaCO}_3$  қатты фаза түрінде бөлініп шығуы, оның концентрациясының төмендеуі бірізгілікте  $\text{CaCO}_3$ -тің еруімен әкеледі. Мұндай, тепе-теңдіктің жылжуы, суда мольмен ерітілген көмір қышқылының (тепе-теңдік үстінде) бар болуы және ол  $\text{CaCO}_3$ -тың қатты фазасымен жанасады. Кальцийдың карбонатымен мол суда ерітілген көмір қышқылының өзара әрекеттесуі мына теңдеумен бейнелене алады:



$\text{H}_2\text{CO}_3$  пен  $\text{HCO}_3^-$  -тың, ерітіндіде бір уақытта болуы, буферлік жүйе жасайды, рН-тың мәні  $\text{H}_2\text{CO}_3$  пен  $\text{HCO}_3^-$  -тың концентрацияларының қатынасымен анықталады.

Катиониттерді регенерациялау үшін, әдетте, натрий хлоридының немесе күкүрт қышқылының ерітінділері қолданылады. Бұл реагенттерді алуына шығындар жыл сайын үлкеюде, олар дефицит зат болып келеді, өйткені, оларды басқа өнеркәсіп салаларында қолдануға тырысады, ең алдымен каустика, хлор, тынайтқыш өндірістерінде және тағы басқа өнімдер шығаруында қолдануға тырысады.

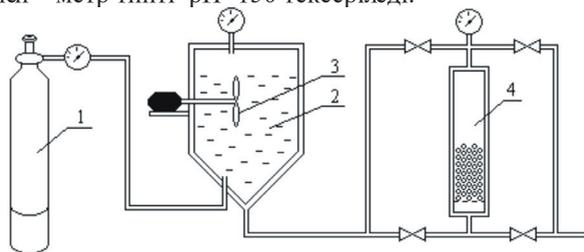
Бұл жағдайда, жаңа қымбат емес және дефицит емес регенерациялау реагенттердің іздестірулері актуалды және су дайындау технологиянысын дамыту және белгілі реагенті сақтайтын, регенерациялар иониттері болып табылады.

Бұл жоспар бойынша, қызықты ұсыныс, ол регенерациялау үшін көмірқышқыл газды қолдану керек, өйткені оның өндірісі аса қымбат емес.

Көмірқышқыл газдың қолдануы, катиониттердің регенерациясында қаншама кең қолдану таппады. Осы жағдай, осы тақырып зерттеуі мүмкіндігінің бірі болып тұрған, су өңдеуде шығатын оттық газдардан шыққан көмір қышқылының қолдануы.

Судағы көмірқышқыл газдың ерітінділерін, лабораториялық жағдайда даярлау үшін, бағытталатын газды қысымымен, тот баспайтын сыйымдылығы 50 литр болаттан жасалған, тазартылған сумен толтырылған, сыйымды ыдысқа жібереді. Сыйымды ыдыстағы су (1-ші сурет) пропеллерлі араластырғышпен араластырды. Сыйымды ыдыстағы қысым манометрдің көрсеткішімен,

арналған баллоннан шығатын газ шығынының өзгерісімен реттеледі. рН ерітіндісінің мәні, сыйымды ыдыстағы кіріктірілген электродтардың және рН, көмегімен – метр типті рН- 150 тексеріледі.



1 - газбен баллон; 2 - газдардың ерітінділерінің даярлауы үшін сыйымды ыдыс; 3 - араластырғыш; 4- катионмен ион алмасу сүзгісі

1-ші сурет - оттық газдармен катиониттер регенерациясы немесе лабораториялық жағдайдағы, көмірқышқыл газы үшін құрылым схемасы

Көмірқышқыл газдың және оттық газдардың ерітінділерінің қалпына келтіру қабілеттілігінің зерттеулері 15 мм диаметрі хроматографиялық бағандарда жүргізілді, ол диаметрі 50 мм ион- алмасу сүзгісінің үлгісімен шыныдан, диаметрі 200 мм тот баспайтын болаттан жасалған сүзгілер, олар РОК жағдайында Ермак қаласында және өнеркәсіптік ион алмасу сүзгісінде әдейі шарт бойынша жасалған. Катионит ретінде сульфокөмір қолданылды.

Оның, толық айырбастау сыйымдылығы 550 – 600 г-экв/м<sup>3</sup>, ал жұмысшы сыйымдылығы 300 г-экв/м<sup>3</sup>. Сонымен бірге сыйымды ыдыстағы қысымы 0,1 интервалдан 0,5 дейін МПа-ға өзгереді. Қысымы 0,1 интервалдан 0,5 дейін МПа-ға өзгергенде көмірқышқыл газдың ерігіштігі екі реттен аса үлкейді, рН-тың ең төменгі мәні 3,7-тен 3,48-ге дейін өзгерген (2-ші кестеде).

2 - Кесте

2-ші кесте - CO<sub>2</sub> пен рН ерітіндісінің ерігіштігі көмірқышқыл газдың қысымына тәуелділігі

Қысым, атм	Ерігіштік, г/л	рН
1	1,7	3,70
2	2,4	3,65
3	3,0	3,55
4	3,5	3,50
5	4,0	3,48

Ерітіндінің рН мәндерінің төмендеуімен оның регенерациялық қабілеттілігі үлкейеді. Дегенмен, регенерация дәрежесі өте аз  $\eta=1-5\%$ , ерітіндінің көлемі сульфокөмірдің ( $K_v$ ) көлеміне қатынасы 100-ге дейін.

Бұл, регенерациялық қабілеттілік сутегінің иондарының ерітіндісінде, болмашы буферлік эффектегі, концентрациясын және регенерациялауда көмір қышқылының диссоциациясының дәрежесінің үлкеюін көрсетіп анықтайды.

Осы кестеден көрінгендей ерітіндідегі қаттылық иондарының концентрациясы регенерациядан кейін өте үлкен емес, және олардың ішінен максимал мәні сутегінің иондарының концентрациясының регенерациялық ерітіндідегі 0,001 г-ион/л немесе рН, 3-ке тең мәніне сәйкес келеді. Регенерацияның дәрежесі - 1% шамасындай.

3 - Кесте

1 атмосфералы қысымдағы көмірқышқыл газ ерітіндісімен сульфокөмірді регенерациялауы (рН=3,7; сульфокөмір көлемі 150 см<sup>3</sup>)

Ерітіндінің көлемі, см <sup>3</sup>	Ортақ қаттылық, мг-экв/л	Құрамы, Ca <sup>2+</sup> , мг/л	Құрамы Mg <sup>2+</sup> , мг/л
1000	1,18	12,82	9,72
2000	0,48	9,61	9,72
3000	0,46	5,61	8,55
4000	0,44	5,61	8,50
5000	0,42	5,60	6,35
6000	0,40	5,00	5,80
7000	0,40	4,62	3,40
8000	0,23	4,20	3,40
9000	0,20	3,81	2,91
10000	0,18	3,20	2,91

4 - Кесте

0,3 МПа қысымдағы көмірқышқыл газ ерітіндісімен сульфокөмірді регенерациялауы (рН=3,55)

Ерітіндінің көлемі, см <sup>3</sup>	Жалпы қаттылық, мг-экв/л	Құрамы Ca <sup>2+</sup> , мг/л	Құрамы Mg <sup>2+</sup> , мг/л
1000	1,28	18,82	6,80
2000	0,94	14,48	4,86
3000	0,70	10,47	4,86
4000	0,68	9,81	3,89
5000	0,66	8,21	3,89
6000	0,54	7,72	3,40
7000	0,52	6,50	3,28
8000	0,52	6,50	3,28
9000	0,48	5,62	3,26
10000	0,46	5,60	3,24

3 және 4-ші кестелердің салыстыруында, ерітіндінің ерігіштігінің өсуі және рН-тың төмендетуі, көмірқышқыл газдың қысымының үлкеюінен, ерітіндінің регенерациялық қабілеттілігін үлкеюіне алып келгенін көрсетеді.

Бұл көрнекілік түрде 10, 5 МПа қысымы үшін бейнеленген (5-ші кесте).

#### 5 - Кесте

5 атм қысымдағы көмірқышқыл газ ерітіндісімен сульфокөмірді регенерациялауы (рН=3, 48)

Ерітіндінің көлемі $V$ , см <sup>3</sup>	Жалпы қаттылық Ж, мг-экв/л	Ерітіндінің көлемі $V$ , см <sup>3</sup>	Жалпы қаттылық Ж, мг-экв/л
500	4,4	13500	0,70
1000	5,2	14500	0,64
2000	5,1	16000	0,60
3000	3,0	17000	0,60
4000	2,2	18000	0,50
5000	1,4	19000	0,48
6000	1,2	20000	0,47
7000	1,2	21000	0,44
8000	1,2	22000	0,40
9000	1,2	23000	0,32
10000	0,8	24500	0,32
11500	0,76	26000	0,30

Сондықтан, регенерациялық ерітінділерді, авариялық (экстремалды) жағдайда, даярлауда Na- катиондалған суда көмір қышқылын қолдануы мүмкін болады. Дегенмен, осы жабдықтың жұмыс тәртіптері эксплуатацияға қолдану кезіндегінен едәуір айырмашылығы болатынын есепке алу керек.

Сонымен бірге, осындай фильтрация кезінде судың өту жылдамдығы эксплуатациялықтан 10-15 есе төмен, фильтроцикл мерзімінде судың орташа қаттылығы бастапқы шамадан тек қана 15% -ке төмендейді.

Судың тазарту дәрежелері жоғарлауында, яғни бастапқы суды қаттылығын орташа сынақтан 35%-ке төмендетсе, фильтроцикл 2 есе төмендейді, фильтраттың сынағында қаттылығын салыстырғанда бастапқыдан 25% азайып төмендейді. Регенерациялау өткізуде 150мкг/л-ден кем қаттылыққа дейін катионитті жууға бола алмайды.

### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 Мещерский Н.А. Эксплуатация водоподготовительных установок электростанций высокого давления:2-\*е изд. перераб. -М.:Энергоатомиздат. 1984.-407 с.

2 Водоподготовка: Справочник. /Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. М.: Аква – Терм, 2007. -240 с.

3 Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка: Учебн. пособие для вузов. М. Издательство МГУ, 1996 г. 680 с; 178 ил.

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ. Инновациялық Еуразия университеті, Павлодар қ. 11.12.2011 ж. редакцияға материал түсті.

С.А. ГЛАЗЫРИН, Н.С. ГЛАЗЫРИНА, А.Е. АНАРБАЕВ  
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ СУЛЬФОУГЛЯ  
A.S. GLAZYRIN, S.N. GLAZYRINA, E.A. ANARBAEV  
INVESTIGATION OF THE USE OF CARBON DIOXIDE TO RECOVERY  
IONITESAND

#### Резюме

*Показаны результаты проведенных исследований по возможности использования углекислого газа для регенерации сульфоиугля, используемого в схемах умягчения воды.*

#### Resume

*Results of studies on the possibility of using carbon dioxide to regenerate ionitesand used in the schemes of water softening.*

УДК 628.538:665.644

### С.А. ГЛАЗЫРИН, Г.С. БЕКИШЕВА, А.Е. РАМАЗАНОВА КАТАЛИТИЧЕСКИЙ КРЕКИНГ И ОЧИСТКА УХОДЯЩИХ ГАЗОВ

Крекинг — это высокотемпературная нефтепереработка и её фракций с целью получения, как правило, продуктов меньшей молекулярной массы — моторных топлив, смазочных масел и т. п., а также сырья для химической и нефтехимической промышленности. Крекинг протекает с разрывом связей С—С и образованием свободных радикалов или карбанионов. Одновременно с разрывом связей С—С происходит дегидрирование, изомеризация, полимеризация и конденсация как промежуточных, так и исходных веществ. В результате последних двух процессов образуются так называемый крекинг-остаток (фракция с температурой кипения более 350 °С) и нефтяной кокс.

Каталитический крекинг — термokatалитическая переработка нефтяных фракций с целью получения высокооктанового бензина.

Каталитический крекинг — один из важнейших процессов, обеспечивающих глубокую нефтепереработку. Внедрению каталитического крекинга в промышленность в конце 30-х гг. XX в. (США) способствовало создание эффективного с большим сроком службы катализатора на основе алюмосиликатов. Основное достоинство процесса — большая эксплуатационная гибкость, возможность перерабатывать различные нефтяные фракции с получением высокооктанового бензина и газа, богатого пропаном, изобутаном и бутенами; сравнительная легкость совмещения с другими процессами, например, с алкилированием, гидрокрекингом, гидроочисткой, адсорбционной очисткой, деасфальтизацией и т. д. Такой универсальностью объясняется весьма значительная доля каталитического крекинга в общем объеме нефтепереработки.

Сырьём для каталитического крекинга служит обычно газойль, из которого получают 30—40% бензина (с содержанием изопарафинов до 50%), 45—55% каталитического газойля, 10—20% газа (в т. ч. 6—9% C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>-бутиленовой фракции, являющейся химическим сырьём) и 3—6% кокса.

Крекинг проводят при 650—800°C в присутствии катализаторов, например окиси никеля, на огнеупоре. Преимущество метода — низкое коксообразование и большой выход олефинов. Основное целевое назначение каталитического крекинга — производство с максимально высоким выходом (до 50% и более) высокооктанового бензина и ценных сжиженных газов — сырья для последующих производств высокооктановых компонентов бензинов изомерного строения. Получающийся в процессе легкий газойль используется обычно как компонент дизтоплива, а тяжелый газойль с высоким содержанием полициклических ароматических углеводородов — как сырьё для производства технического углерода или высококачественного электродного кокса (например, игольчатого).

Каталитический крекинг — процесс каталитического деструктивного превращения тяжелых дистиллятных нефтяных фракций в моторные топлива и сырьё для нефтехимии, производства технического углерода и кокса. Процесс протекает в присутствии алюмосиликатных катализаторов при температуре 450-500 °C и давлении 0,07-0,3 Мпа.

Существует две основные причины для очистки промышленных газов: экономическая выгода и защита окружающей среды в широком смысле этого слова. Так, прибыль может быть получена при использовании отходящих доменных газов для получения тепла и электрической энергии при условии, что из газов будут удалены пылевидные примеси для наиболее полного сгорания. С другой стороны, из отходящих газов можно извлекать оксид серы и восстанавливать

его до серы экономически выгодным путем или, например, выделять германий из летучей золы некоторых углей.

Защита рабочих, занятых в промышленности, и населения вообще от воздействия вредных примесей, а также сохранение чистоты окружающей среды является другой причиной очистки газов. Например, отходящие газы, содержащие такие токсичные примеси, как мышьяк или свинец, представляют серьезную опасность для здоровья окружающего населения. Другие отходящие газы, содержащие фтористые соединения или оксид серы, хотя и не представляют непосредственной опасности для здоровья людей при данной концентрации, но могут уничтожать растительность, постепенно разрушать окружающие нас сооружения, усложняя жизнь в промышленном городе.

Загрязнение воздуха может быть естественным или возникать в результате деятельности человека. Естественное загрязнение обусловлено морскими брызгами, эрозией почвы или низвержениями вулканов. Биологическое разложение, в частности жизнедеятельность почвенных бактерий, ведет к образованию больших количеств сероводорода, аммиака, углеводородов, оксидов азота (N<sub>2</sub>O, NO, NO<sub>2</sub>) и углерода (CO, CO<sub>2</sub>). Во всех этих случаях результаты деятельности природных источников немного превышают результаты «рукотворной» деятельности. Исключением в этой области является эмиссия CO<sub>2</sub> (около 220·10<sup>9</sup> кг ежегодно), которая обусловлена практически полностью выхлопными газами и намного превосходит количества, созданные природными источниками, например, лесными пожарами.

Загрязнение атмосферы вследствие деятельности человека возникает либо при сжигании углеродсодержащих веществ — угля и продуктов его переработки, нефти и древесины, либо как отход производства химических веществ и цемента, металлургической и горнодобывающей промышленности, а также при сжигании бытовых отходов.

В продуктах сгорания, удаляемых в атмосферу из котлов, работающих на топливах, содержащих органическую и колчеданную серу, имеются оксиды серы. В основном они находятся в виде SO<sub>2</sub> и в небольшом количестве, до 1-2%, в виде SO<sub>3</sub>.

Количество оксидов серы в газах, кг/ч, определяется по формуле:

$$M_{SO_2} = \frac{B_p S_{o+k}^p + \kappa m_{SO}}{10^2 m_S} \quad (1)$$

где  $B_p$  - расчетный расход топлива, кг/ч;  $S_{o+k}^p$  - содержание горючей серы в рабочей массе топлива, %;  $m_{SO_2}$ ,  $m_S$  - молекулярные массы сернистого ангидрида и серы.

Возможно применение следующих методов очистки газов от SO<sub>2</sub> и SO<sub>3</sub>:

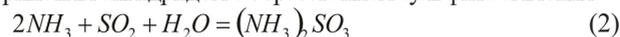
- абсорбция жидкими растворами различных веществ;
- адсорбция с применением в качестве адсорбента твердого вещества;

- поглощение  $SO_2$  и  $SO_3$  различными веществами с образованием при этом других соединений.

Различают методы мокрой и сухой очистки газов.

Известны две группы методов мокрой очистки. Первая основана на осуществлении процессов, при которых сначала происходит удаление  $SO_2$  за счет его физического растворения в различных поглотителях, затем поглощенный  $SO_2$  выделяется из растворителя путем его нагрева или отгоняется под вакуумом, а растворитель может быть снова использован для очистки. Наиболее удобным и дешевым поглотителем является вода, однако она малоэффективна при низких концентрациях  $SO_2$ , и поэтому приходится применять более эффективные и дорогие поглотители.

Во второй группе методов мокрой очистки, более распространенной, в качестве поглотителя применяют водные растворы или взвеси веществ, переводящие оксиды серы в сульфиты и сульфаты. При этом одним из наиболее эффективных абсорбентов оказался аммиак. В такой сероулавливающей установке аммиак вступает во взаимодействие с сернистым ангидридом с образованием сульфита аммония:



а сульфит аммония затем поглощает  $SO_2$  с образованием при этом бисульфита аммония:



Образовавшийся раствор бисульфата аммония может быть затем переработан в товарную продукцию.

Технологическая схема осуществленного в промышленном масштабе метода мокрой очистки продуктов сгорания показана на рисунке 1.

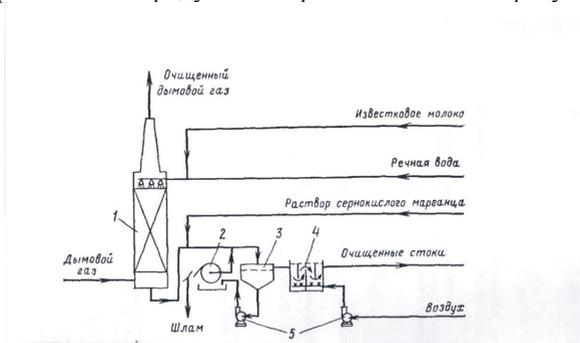


Рисунок 1- Принципиальная технологическая схема мокрой очистки газов от оксидов серы

1 – абсорбер; 2 – Фильтр; 3 – отстойник; 4 – аэраторы; 5 – насос

Существенными недостатками всех мокрых методов очистки являются насыщение очищенных газов водяными парами и снижение их температуры, в результате чего потоки газа опускаются вблизи места их выброса, где концентрация  $SO_2$  может стать больше, чем при выбросе неочищенного газа.

Методы сухой очистки основаны на способности неорганических солей металлов, в основном оксидов серы с образованием сульфитов и сульфатов этих металлов. В присутствии кислорода окисление происходит практически до образования сульфатов. Абсорбентами могут быть оксиды алюминия, марганца, железа, калия, натрия и др.

На 2 рисунке показана схема установки, в которой в качестве абсорбента применен полуккок твердого топлива, очищенной от серы.

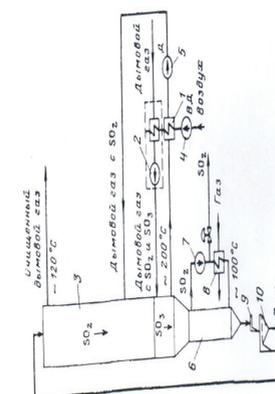


Рисунок 2 - Принципиальная технологическая схема очистки газов от оксидов серы адсорбционным способом с применением полуккока  
1 – воздухоподогреватель; 2 – дымосос; 3 – адсорбер; 4 – вентилятор; 5 – вентилятор высокого давления; 6 – десорбер; 7 – циркуляционная воздуховодка; 8 – подогреватель газа; 9 – выпуск адсорбента; 10 – сито

Методы мокрой и сухой очистки от оксидов серы, удаляемых в атмосферу из котлов, не получили еще широкого промышленного применения вследствие больших капитальных затрат, необходимых для их сооружения, а также значительных расходов на эксплуатацию.

В настоящее время основными мероприятиями для предотвращения загрязнения атмосферы оксидами серы являются методы очистки газа непосредственно в процессе сжигания топлива, а также уменьшения концентрации  $SO_2$  и  $SO_3$ .

Сокращение выбросов в атмосферу оксидов азота дымовыми газами принципиально может быть осуществлено по следующим основным направлениям:

- применение технологии сжигания топлива, предотвращающей значительное окисление азота воздуха и топлива, в частности использование для горения в качестве окислителя кислорода;
- применение жидких или твердых сорбентов, поглощающих из дымовых газов с последующей регенерацией и получением товарных форм связанного азота;
- каталитическое разложение оксида азота на элементарный азот и кислород.

Принципиальная технологическая схема каталитически-абсорбционной очистки дымовых газов от монооксида азота показана на рисунке 3.

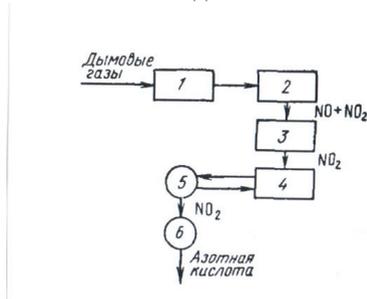


Рисунок 3 - Принципиальная схема адсорбционной очистки газов от оксидов азота

- 1 – охлаждение газов; 2 – сушка газов; 3 – каталитическое окисление NO и NO<sub>2</sub> в кипящем слое; 4 – подача сорбента; 5 – десорбция NO<sub>2</sub>;  
6 – производство азотной кислоты

Практически уменьшение выбросов оксида азота в атмосферу котлами наиболее реально в настоящее время достичь путем применения рациональной технологии сжигания топлива.

Для удаления диоксида серы из дымовых газов можно использовать каталитическое окисление. На первый взгляд кажется, что простейшим методом удаления SO<sub>2</sub> их дымовых газов является ее прямое окисление до SO<sub>3</sub> и последующая абсорбция серной кислоты. Однако на практике возникают затруднения, связанные с относительно высокой температурой, необходимой для проведения каталитического окисления. Это относится и к удалению летучей золы из дымовых газов при высоких температурах до подачи газа в контактный аппарат, а также и к эффективному улавливанию тумана серной кислоты до выброса очищенного газа в атмосферу.

При 400-600°С и избытке воздуха роль катализатора может выполнять стальной газход, причем конечная концентрация SO<sub>3</sub> составляет примерно 1% по отношению к исходному оксиду SO<sub>2</sub>. Чтобы рассматривать конверсию SO<sub>2</sub> и SO<sub>3</sub> как основу метода удаления оксидов серы из дымовых газов, необходимо, чтобы степень конверсии была более 90%.

Мокрые абсорбционные способы очистки дымовых газов от сернистого ангидрида, использующие в качестве сорбента недорогой и недефицитный материал (известь, известняк) получили наибольшее распространение в мире, несмотря на опасность образования в аппаратах трудноудаляемых отложений. Из всего количества действующих на сегодня в мире сероулавливающих установок около 90% составляют установки, использующие этот метод.

В основе метода мокрой абсорбционной очистки дымовых газов лежит нейтрализация сернистой кислоты, получающейся в результате растворения диоксида серы, содержащегося в дымовых газах, гидратом окиси Ca(OH)<sub>2</sub> (известью) или карбонатом кальция CaCO<sub>3</sub> (известняком). Известь более дорогой и дефицитный материал. Однако применение извести в качестве сорбента позволяет почти в 2 раза сократить расход реагента, снизить расход электроэнергии на приготовление суспензии и орошение абсорбера. Поэтому в ряде случаев применение может быть оправдано, несмотря на то, что по сравнению с известняком ее стоимость может быть в 2...2,5 раза выше. С применением извести в США работают около 35% мокрых сероочистных установок, в Германии – 20%, в Японии – 11%.

Преимуществом метода является:

- применением в качестве реагента недорогих и недефицитных природных материалов;
- относительная простота технологии при высокой степени очистки газов от SO<sub>2</sub>, достигающая в современных установках 95...98%;
- получение конечного продукта, пригодного для дальнейшего использования;
- сравнительно невысокие капитальные затраты на сооружение установки.

Промышленные установки сероочистки первого поколения, работающие по мокрому известняковому принципу, появились в начале 70-х годов в США и в Японии и не получили широкого распространения, так как в них происходило зарастание абсорбента трудноудаляемыми отложениями, а в качестве конечного продукта получались смесь золы, сульфита кальция и непрореагировавшего известняка, которая после обезвоживания должна направляться в специальные хранилища.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сурбаев Х.А., Жубанов К.А. Каталитические процессы нефтеперерабатывающей промышленности//Алматы: «Қазақ университеті», 2002.- 153 с.
- 2 Внуков А.К. Защита атмосферы от выбросов энергообъектов // М: Энергоатомиздат, 1992.- 176 с.
- 3 Мазур И.И., Молдаванов О.И., Шишов В.Н. Инженерная экология.: Справочное пособие//Под общ.ред. И.И. Мазура. М.: «Высшая школа», 1996г. - 665 с.

Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова,  
г.Павлодар. Материал поступил в редакцию 11.12.2011.

С.А. ГЛАЗЫРИН, Г.С. БЕКИШЕВА, А.Е. РАМАЗАНОВА  
КАТАЛИТИКАЛЫҚ КРЕКИНГ ЖӘНЕ КЕТЕТІН ГАЗДАРДАН  
ТАЗАРТ

S.A. GLAZYRIN, G.S. BEKISHEVA, A.E. RAMAZANOVA  
CATALYTIC CRACKING AND CLEANING OF GETTING GASES

### Түйіндемe

Бұл мақалада каталитикалық крекинг құрылғысынан кететін газдарды тазарту әдістері қарастырылған.

### Resume

Methods of cleaning of waste gases of setting catalytic cracking are described in this article.

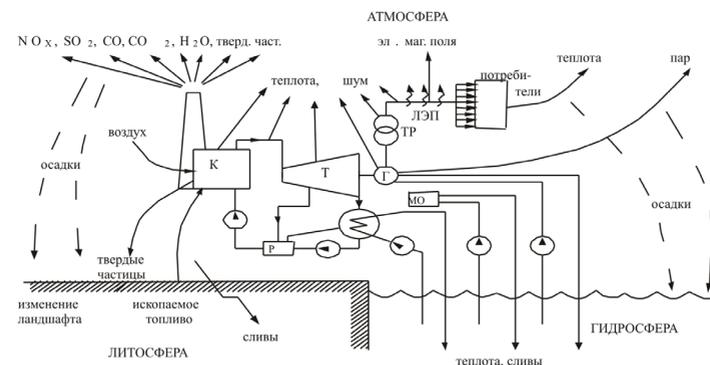
УДК 628.538

## А.И. ГЛАЗЫРИН, С.А. ГЛАЗЫРИН, А.К. МЕРГАЛИМОВА, А. ҚЫРЫҚБАЙ СОСТОЯНИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ОЧИСТКИ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Современная технократическая цивилизация в процессе своего развития меняет облик Земли, и это обстоятельство не может не обратить на себя внимание. Увеличение глобальных катастроф в виде кислотных дождей и утонения озонового слоя и другие подобные явления заставляют человека пристальнее взглянуть как на среду обитания, так и на свою деятельность в ней. Ведь человек в процессе своей жизнедеятельности вступает в непосредственный контакт с окружающей природой. При этом участие и вмешательство человека в природу не всегда благотворно сказывается как на природе, так и, подчас, на самом человеке. В этой связи взаимодействие человека с окружающей средой (средой обитания) представляет непосредственный интерес.

В целом же влияние человека на окружающую среду, которая характеризуется совокупностью физических, химических и биологических факторов, способных при определенных условиях оказывать прямое или косвенное, немедленное или отдаленное воздействие на деятельность или здоровье человека, удобнее всего рассмотреть на примере

практической деятельности человека. То есть на примере его активного и целенаправленного воздействия на окружающую среду, ведь человек - это активная часть природы. Добиваясь своих целей, он использует природу, воздействует на нее, преобразует ее и себя. На рисунке 1 представлена укрупненная схема взаимодействия тепловой электрической станций (ТЭС) с окружающей средой.



К – котел; Т – турбина; Г – электрогенератор; Р – регенерационная система; МО – маслоохладители; ТР – трансформаторные подстанции; ЛЭП – линии электропередач

Рисунок 1- Укрупненная схема взаимодействия ТЭС с окружающей средой

Дымовые газы являются основным источником загрязнения от действия ТЭС. Содержание вредных веществ в них определяет не только состояние атмосферы, но во многом и состояние почвы и водного бассейна, влияет на жизнь флоры и фауны и, конечно, человека. Именно через атмосферные выбросы вокруг крупных городов существуют значительно нарушена структура почв, растительности, био- и микроценозов.

Из всей гаммы токсичных веществ, находящихся в дымовых газах, наибольшую опасность представляют зола, двуокись серы ( $SO_2$ ) и окислы азота ( $NO_x$ ). Выбросы именно этих веществ регламентируются жесткими нормами. Существуют разные способы и системы очистки дымовых газов. Часто (для золы всегда) это аппараты, устанавливаемые после конвективных поверхностей нагрева котлов.

В производстве используются различные очистки дымовых газов от оксидов серы. При сжигании серосодержащего топлива образуется два вида оксида серы: сернистый ангидрид ( $SO_2$ ) и серный ангидрид ( $SO_3$ ). Оксиды серы, а также образующиеся при соединении в атмосфере с водяным паром кислоты ( $H_2SO_3$  и  $H_2SO_4$ ) оказывают вредное воздействие на здоровье людей,

являются причиной гибели хвойных лесов, плодовых деревьев, снижения урожайности сельскохозяйственных культур, закисления водоемов. Кроме того, оксиды серы являются причиной коррозии стальных конструкций и разрушения различных строительных материалов.

Мировой опыт показывает, что ни одна из технологий сероулавливания не может быть успешно внедрена без опытной проверки в условиях реальной ТЭС. Поэтому длительное отставание с сооружением в нашей стране опытно-промышленных сероулавливающих установок усложняет и без того тяжелое положение с сероулавливанием в энергетике.

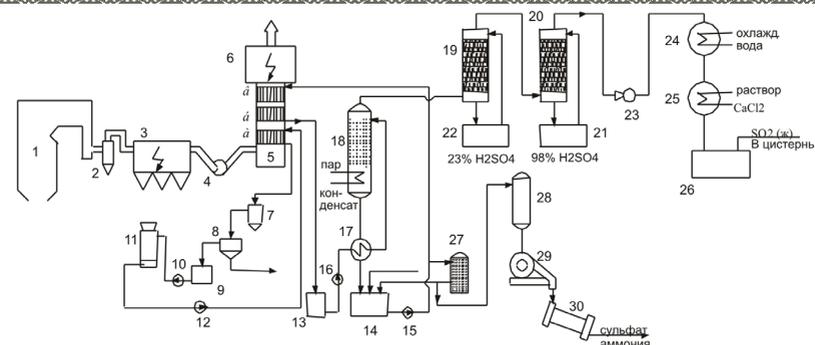
На сегодня можно говорить лишь о нескольких опытно-промышленных установках (ОПУ). В стадии освоения находится установка на Дорогобужской ТЭЦ производительностью 1 млн. м<sup>3</sup>/ч газа работающая по аммиачно-циклическому методу и опытно-экспериментальная установка Губкинской ТЭЦ, производительностью 106 тыс. м<sup>3</sup>/ч газа эксплуатирующая по мокрому известняковому способу. Введена и испытана ОПУ на Молдавской ГРЭС, использующая аммиачно-озонный метод одновременной очистки газов от окислов азота и серы производительностью 10 тыс. м<sup>3</sup>/ч газа. На Северодонецкой ТЭЦ испытывалась установка по магнетитово-циклическому методу. На рисунке 2. приведена схема установки очистки дымовых газов по аммиачно-циклическому методу (Дорогобужская ТЭЦ)

Установка выполнена в виде двух параллельных блоков (ниток), рассчитанных на очистку 1000000 м<sup>3</sup>/ч от четырех котлов ПК-20.

Один из блоков выполнен по схеме с предварительным охлаждением дымовых газов до 28 °С водой специального цикла, включающего в себя бак нейтрализатор, осветлитель, двухсекционную вентиляторную градирню и насосное оборудование.

Нейтрализация закисленной в результате контакта с дымовыми газами охлаждающей воды осуществляется известковым молоком.

Во втором блоке охлаждение дымовых газов перед подачей их для абсорбции SO<sub>2</sub> до 65 °С происходит за счет испарения части циркулирующего раствора (блок без охлаждения).



1 - котел; 2 - циклоны; 3 - сухой электрофильтр; 4 - дымосос; 5 - абсорбер; 6 - мокрый электрофильтр; 7 - нейтрализатор; 8 - осветлитель; 9 - бак осветленной воды; 10, 12, 15, 16 - насосы; 11 - градирня; 13 - сборник насыщенного раствора; 14 - сборник регенерированного раствора; 17 - теплообменник; 18 - десорбер; 19, 20 - сушильная башня; 21, 22 - сборник серной кислоты; 23 вакуум-насос; 24, 25 - теплообменник; 26 - танк жидкого сернистого ангидрида; 27 - фильтр; 28 - выпарной аппарат; 29 - центрифуга; сушильный барабан

Рисунок 2- Схема установки очистки дымовых газов по аммиачно-циклическому методу (Дорогобужская ТЭЦ)

Следует рассмотреть некоторые зарубежные методы «мокрой» сероочистки по методу «Хемико» с конечным продуктом - «на выброс». Дымовые газы после котла очищаются от золы в электрофильтре и дымососом направляются в абсорбер, причем перед абсорбером дымовые газы разделяются на два потока: 80% поступает в абсорбер, а 20% по байпасу поступает в газоход после абсорбера. Сделано это для того, чтобы нагреть очищенные газы, так как они охлаждаются в процессе очистки до температуры точки росы, увеличивая коррозии хвостовых поверхностей нагрева котла.

Метод Саарберг-Хельтер-Лурги (СХЛ) установки сероочистки разработанные фирмами Саарберг-Хельтер Умвельттехник и Лурги (Германия) является типичным мокрым абсорбционным способом сероочистки второго поколения с получением в качестве конечного продукта товарного гипса. В качестве сорбента применяется известняк (CaCO<sub>3</sub>) или гидроксид кальция Ca(OH)<sub>2</sub>.

Существуют и другие методы сероочистные разработки Японской фирмы «Хитачи». Сухие методы сероочистки разработанные фирмой «Бергбау-Форшунг», «УОП-Шелл» и некоторые другие.

Достаточно широко используется сухой аддитивный метод сероочистки, который заключается в том, что тонкоразмолотый известняк вводится в топку

котла. При этом известняк обжигается (кальцинируется) с образованием окиси кальция и углекислоты



Процесс «Лифак», финская фирма «Тампелла» разработала по совмещенный сухой аддитивный и полусухой метод сероулавливания (метод Лифак).

Озонный метод очистки достаточно эффективный и сущность озонного метода заключается в следующем. Дымовые газы после очистки от золы подаются в абсорбционный аппарат, где вступают в контакт с жидкостью, насыщенной озонем. Содержащиеся в дымовых газах низшие окислы серы ( $\text{SO}_2$ ) и азота ( $\text{NO}_x$ ) окисляются до высших ( $\text{SO}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}_5$ ), растворяются в воде и образуют смесь слабоконцентрированных серной и азотной кислот. Очищенные газы освобождаются от влаги в каплеуловителе и выбрасываются в дымовую трубу.

Основные недостатки озонного метода: высокая энергоемкость производства озона, достигающая 6...10% мощности энергоблока и коррозионная агрессивность смеси серной и азотной кислот.

Следует методы и технологии очистки дымовых газов от оксидов азота. Важность проблемы защиты атмосферы от выбросов  $\text{NO}_x$ , стимулировала увеличение объема исследований, направленных на изучение механизмов образования оксидов азота при сжигании топлива и разработку методов снижения их эмиссии. Несколько позднее начаты исследования по разработке методов очистки дымовых газов от  $\text{NO}_x$ , пригодных для энергетических котлов.

Все методы очистки дымовых газов от оксидов азота - процессы денитрификации, как и процессы десульфуризации - можно разделить на сухие и мокрые. Особенностью первых является то, что в большинстве случаев они предназначены для избирательной очистки газов только от  $\text{NO}_x$  с образованием конечного экологически чистого - молекулярного азота.

К основным методам удаления  $\text{NO}_x$  с помощью сухой очистки относятся:

- селективное каталитическое восстановление аммиаком (СКВ);
- селективное высокотемпературное (некаталитическое) восстановление аммиаком;

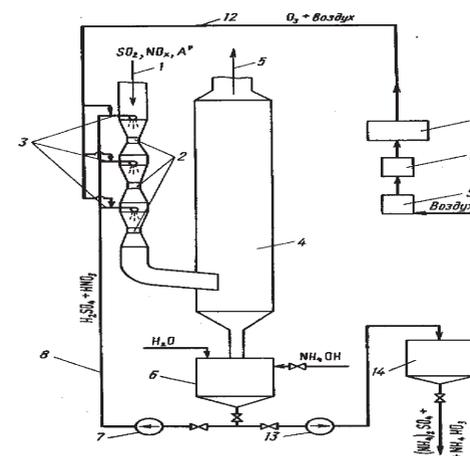
- неселективное каталитическое восстановление;
- адсорбция.

В основе методов удаления  $\text{NO}_x$ , а также  $\text{NO}_x$  и  $\text{SO}_2$  с помощью мокрой очистки, лежат следующие процесс:

- окисление-абсорбция;
- абсорбция- окисление;
- абсорбция-восстановление, а также сочетание первого с последним.

Различными фирмами ведущих в этой области стран: Германии, Японии, США - создано более 50 разновидностей процессов сухой и мокрой очистки дымовых газов. Наибольшее число фирменных разработок приходится на

долю процессов сухой очистки, особенно селективного восстановления с помощью аммиака.



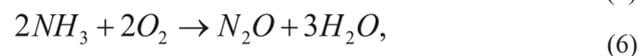
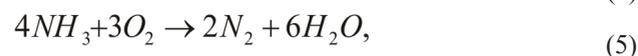
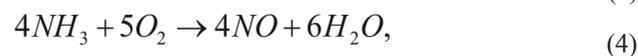
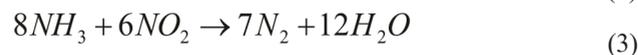
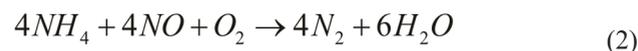
1-подача дымовых газов; 2- трехступенчатый коагулятор Вентури; Рисунок 3-Принципальная схема-опытно промышленной установки (ОПУ) для очистки дымовых газов озонным методом

Общий недостаток, характерный для всех технологий основанных на методах сухой очистки дымовых газов, заключается в том, что на всех стадиях технологической цепочки приходится иметь дело с большими объемами очищаемого газа (1 млн.  $\text{m}^3/\text{ч}$  газа и более). Вследствии этого используются крупногабаритные аппараты, требующие больших капитальных вложений. При использовании жидкофазных методов очистки аппараты больших объемов необходимы только на стадии промывки газа, на последующих стадиях, связанных с утилизацией извлекаемых из дымовых газов продуктов, - относительно небольших объемов.

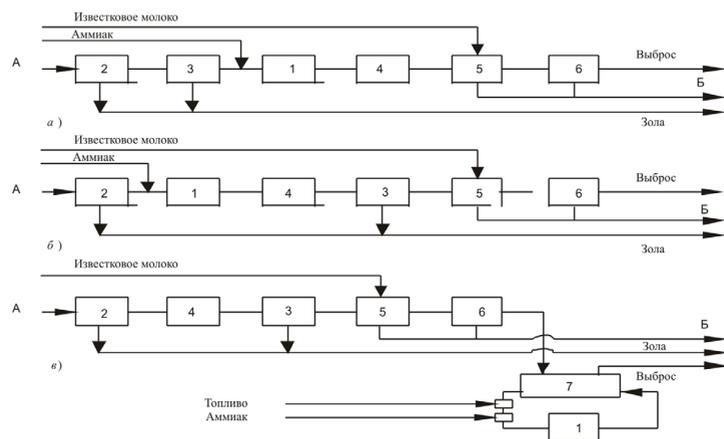
Один из методов селективное каталитическое восстановление (СКВ) получило в последние годы наибольшее распространение для очистки газов от  $\text{NO}_x$ . Особенностью этого процесса является взаимодействие используемого восстановителя с оксидами азота, в присутствии кислорода. Таким восстановителем оксидов азота, широко применяемым в промышленных условиях, является аммиак. Помимо газообразного аммиака в процессах СКВ могут использоваться также аммиакообразующие реагенты. Это растворы аммиака: аммиачная вода, распыляемая в потоке горячего газа, после чего капли находятся в контакте с газом 2...10с до попадания на слой катализатора или просто жидкий аммиак. Аммиак может быть получен также непосредственно перед слоем катализатора за счет конверсии метана. Для

селективного восстановления  $\text{NO}_x$  предложено применять также сероводород. Количество вводимого восстановителя зависит от концентрации оксидов азота и необходимой степени очистки. Кроме того, иногда аммиак вводят в значительном избытке по отношению к  $\text{NO}_x$  (это имеет место при очистке горячих дымовых газов), чтобы одновременно связать присутствующий в газах диоксид серы в сульфат и (или) сульфит аммония.

Основными реакциями, протекающими при восстановлении оксидов азота в кислородсодержащей среде являются следующие:



Для эффективной организации процесса очистки газов используются данные по кинетическим зависимостям скорости восстановления  $\text{NO}_x$  от различных параметров.



1 - реактор; 2 - котел; 3 - электрофильтр; 4 - воздухонагреватель;  
5 - десульфуризационная установка; 6 - рукавный фильтр;  
7 - теплообменник;

Рисунок 4 - Размещения реакторов СКВ в газовом тракте котельной установке

На практике наиболее широко используется схема размещения реактора СКВ после экономайзера (рисунке 4,б). В этом случае высокая температура позволяет обойтись без дополнительного подогрева газов, однако значительное количество пыли и диоксида серы создает трудности для реализации процесса очистки. Наличие в отходящих дымовых газах  $\text{SO}_2$  приводит к дезактивации катализатора в результате блокировки активного компонента сульфатами аммония. Высокая запыленность дымовых газов ведет к эрозионному износу катализатора и его механическому разрушению.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Брылов С.А., Грабчак Л.Г., Комашенко О.П. и др. Охрана окружающей среды. М.: Высшая школа, 1986г. - 272 с.

2 Иванов Б.А. Инженерная экология. Л.: ЛГИ, 1989г.

3 Инструкция по проектированию мероприятий для защиты атмосферы от выбросов рудников и ГОКов Минчермета СССР.: (вторая редакция). Л.: Гипроруда, 1986 г.

4 Мазур И.И., Молдаванов О.И., Шишов В.Н. Инженерная экология.: Справочное пособие/Под общ. ред. И.И. Мазура. М.: «Высшая школа», 1996г. - 665 с.

5 Мазур И.И., Молдаванов О.И. Курс инженерной экологии: Учебник для студ. вузов/ Под ред. И.И. Мазура. М.: «Высшая школа», 1999г. - 447 с.

6 Шешко О.Е. Некоторые вопросы охраны окружающей среды в СНГ и зарубежных странах/ Экологические проблемы горного производства (тезисы докладов конференции). М.: Изд-во МГУ, 1993г.

Павлодарский государственный университет имени С.Торайгырова, г.Павлодар. Материал поступил в редакцию 11.12.2011.

А.И. ГЛАЗЫРИН, С.А. ГЛАЗЫРИН, А.К. МЕРГАЛИМОВА,  
Ә. ҚЫРЫҚБАЙ

ЖЫЛУ МЕХАНИКАЛЫҚ ЖАБДЫҚТАН КЕТЕТІН ГАЗДАРДЫ  
ТАЗАРТУДЫҢ ПЕРСПЕКТИВАЛЫҚ КҮЙІ

A.I. GLAZYRIN, S.A. GLAZYRIN, A.K. MERGALIMOVA,  
A. KYRYKBAY

STATE OF PROSPECT OF CLEANING OF WASTE GASES OF THE  
TERMOMECHANICAL EQUIPMENT.

## Түйіндеме

Жылу механикалық жабдықтың кететін газдарынан тазартуы перспективасы бойынша өзі таралған және жұмыс істейтін әдістер көрсетілген.

## Resume

The most widespread and operating methods are rotined on a prospect to cleaning of waste gases of the thermomechanical equipment.

УДК 621.396

**А.А. ГОРШЕНКОВ, Ю.Н. КЛИКУШИН, К.Т. КОШЕКОВ**  
**МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ФОРМЫ**  
**И ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СИГНАЛОВ**

В настоящее время техника анализа сигналов в основном ориентирована на измерение энергетических, например, амплитудных, и частотно-временных параметров. В то же время, такое важное свойство, как форма сигналов, не измеряется, а лишь идентифицируется в рамках номинальной шкалы, определяющей принадлежность объектов эталону по принципу «похож - непохож», «равен - неравен» [1]. Очевидный недостаток номинальной шкалы связан с невозможностью интерполяции положения объекта в интервале (0; 1), из-за отсутствия знаний об упорядоченности проявлений свойства «форма» для однородных объектов, каковыми, например, являются сигналы. Установление подобной закономерности могло бы иметь как познавательный, так и прикладной эффект. Познавательный эффект связан с решением проблемы измеримости свойств объектов и процессов, для которых нет законодательно установленных эталонов. Прикладное значение обусловлено возможностью создания нового типа средств измерений, позволяющих автоматически получать ранее недоступную для пользователя информацию.

Необходимость создания инструментария (методов, средств, технологий) измерения формы сигналов и их характеристик диктуется следующими обстоятельствами. Во-первых, наиболее полная информация о сигнале (или об объекте, который этот сигнал представляет) заключена в форме его распределения. Во-вторых, в настоящее время в технике измерений отсутствуют методы, которые позволяли бы непосредственно оперировать с формой сигнала, как с некоторой «величиной». В контексте данной статьи понятие «сигнал» отождествляется с понятием «реализация сигнала», как сигнала, наблюдаемого за конечный интервал времени. В-третьих, совместное измерение формы сигналов и их частотно-временных и амплитудных параметров позволило бы перейти к проектированию комплексных средств анализа, учитывающих внутреннюю связь энергетических и структурных свойств сигналов.

Идея предлагаемого метода измерения параметров сигналов основана на понятии «вариабельность», которое определяется как отношение среднего модуля приращений сигнала к среднему модулю самого сигнала  $U(t)$ :

$$V = \frac{|\Delta U(t)|}{|U(t)|}. \quad (1)$$

Уравнение (1) получено в [2] путем «обратного» решения итерационного уравнения, описывающего особенности фрактального процесса изменения численности популяции (процесса Ферхюльста [3]).

Поясним физический смысл этого понятия применительно к теории сигналов на следующем примере. Пусть имеется гармонический сигнал вида:  $U(t) = U_m \sin \omega t$ , где  $U_m$  – амплитуда,  $\omega$  – круговая частота. Определив величины, входящие в (1), получим:

$$V = \omega = \alpha F = 2\pi F, \quad (2)$$

где  $F$  – линейная частота сигнала, измеряемая в герцах, Гц;  $\alpha$  – некоторый коэффициент, имеющий размерность фазы и равный  $2\pi \approx 6,28$  радиан для синусоидального сигнала. Следовательно, физический смысл вариабельности состоит в том, что она описывает угловую скорость вращения вектора сигнала  $U(t)$ .

Введем обобщение, заключающееся в предположении, что вариабельность  $V$  сигнала является комплексным параметром, интегрирующим в себе информацию как о форме (по значению  $\alpha$ ), так и о частоте (по значению  $F$ ) сигнала. Другими словами, два разных по форме сигнала одинаковой частоты  $F$ , должны иметь различные значения параметра  $\alpha$  формы и, соответственно, разную вариабельность.

Следовательно, задача измерения формы и частоты сигнала сводится к тому, чтобы сначала получать информацию о величине  $V$ , например, путем физических измерений, а информацию о величинах  $\alpha$  и  $F$  разделить – путем применения вычислительных процедур. Информация об энергетике сигнала получается естественным образом, поскольку средневыпрямленное значение  $|\overline{U(t)}|$  сигнала входит в качестве знаменателя определения (1). Таким образом, предлагаемый метод относится к косвенным методам измерений.

Для проверки вышеуказанных предположений, авторами была разработана (в среде LabVIEW) модель виртуального прибора (ВП), реализующего алгоритм (1) измерения. Структурная схема данной модели (рис. 1) состоит из двух *K-местеров* [4], модуля *Size* измерения объема  $N$  выборки, модуля *Sort* сортировки исходного массива сигнала  $U(t)$ , и блоков умножения и деления, с помощью которых осуществляется разделение переменных ( $\alpha$ ,  $F$ ) и формирование выходных параметров: формы ( $A$ ), частоты ( $F$ ) и амплитуды.

Основными блоками ВП являются *K-местеры*, измеряющие вариабельность  $V$  и построенные по схеме, содержащей дифференцирующее

устройство, измерители модуля, усредняющие устройства, выполненные, например, в виде фильтров нижних частот (ФНЧ) и делитель (ДУ). На выходе верхнего по схеме *K-тестера* формируется значение варибельности  $V1=AF/N$ , пропорциональное частоте  $F$ , параметру формы  $A$  и обратно пропорциональное объему  $N$  выборки сигнала.

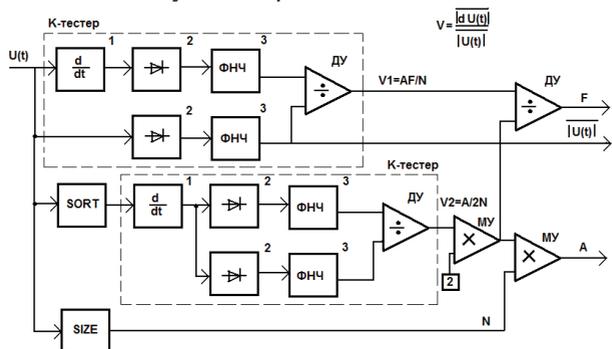


Рисунок 1 - Структурная схема измерителя параметров сигналов

Значение варибельности  $V2=A/2N$  на выходе второго *K-тестера* от частоты  $F$  не зависит, так как на вход этого тестера поступает ранжированная (например, по возрастанию) функция сигнала с выхода блока (Sort) сортировки. Оценка измеренного значения частоты  $F = \frac{V_1}{2V_2}$  поступает на выход  $F$ . Оценка значения  $\alpha = 2V_2N = A$ , представляющая форму сигнала, формируется на выходе  $A$ .

Программа исследований модели ВП (рис. 1) для случайных сигналов включала изучение зависимостей параметров  $V=\omega$ ,  $\alpha=A$  и  $F$  от формы распределения (2mod – двумодальное, asin – арксинусное, even – равномерное, simp – треугольное, gaus – нормальное, lapl – двустороннее экспоненциальное, kosh – Коши). Соответствующие результаты представлены в табл. 1 и отражены на графиках рис. 3-5.

Таблица 1

Параметры формы и варибельности для случайных сигналов

N=10000 – объем выборки	Вид распределения случайного сигнала						
	2mod	asin	even	simp	gaus	lapl	kosh
rank	1	2	3	4	5	6	7
$\omega$	1	1,273	1,334	1,4	1,414	1,5	1,73
$\alpha$	4	6,28	8	12	20	36	3000
$F_0$	2500	2027	1667	1167	707	417	6

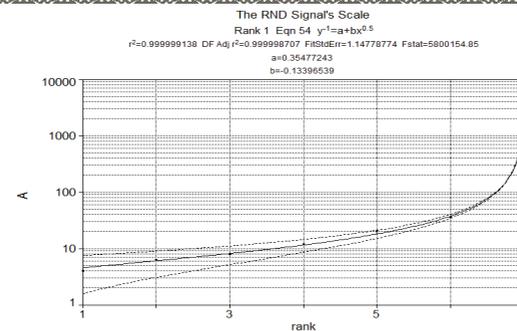


Рисунок 3 - Зависимость параметра формы от порядковых номеров распределений случайных сигналов (табл. 1)

Интерпретация полученных результатов заключается в следующем. Во-первых, графики (рис. 3 и 4) указывают на то, что случайные сигналы в отношении формы их распределений не являются независимыми, а связаны между собой функционально, как на уровне параметра формы  $\alpha$ , так и на уровне частоты  $F$ . Подобные зависимости относятся к классу порядковых идентификационных шкал [5].

Во-вторых, физический смысл частоты  $F$  для случайных сигналов состоит в том, что она характеризует частоту появления экстремальных значений сигнала за время наблюдения. Это хорошо видно на графиках (рис. 6) временных функций случайных сигналов с 2mod и kosh распределениями, имеющими, соответственно,  $F=2500$  и  $F=6$ , и расположенных на противоположных концах идентификационной шкалы (табл.1). Такую частоту в дальнейшем будем называть *характеристической частотой* и обозначать  $F_0$ .

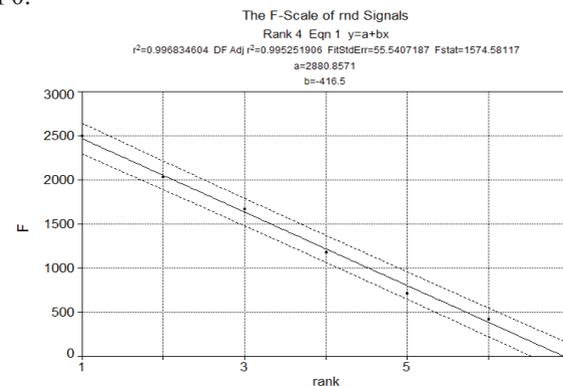


Рисунок 4 - Зависимость параметра варибельности от порядковых номеров распределений случайных сигналов (табл. 1)

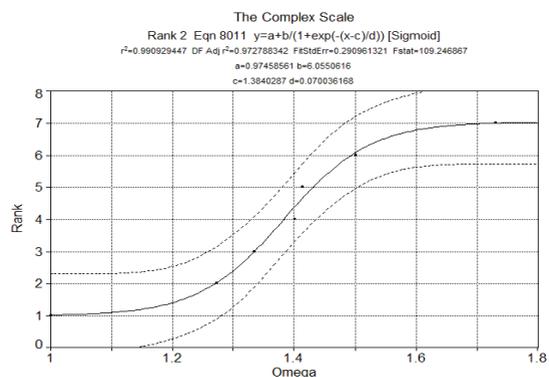


Рисунок 5 - Зависимость порядковых номеров распределений (табл. 1) от измеренного значения угловой частоты

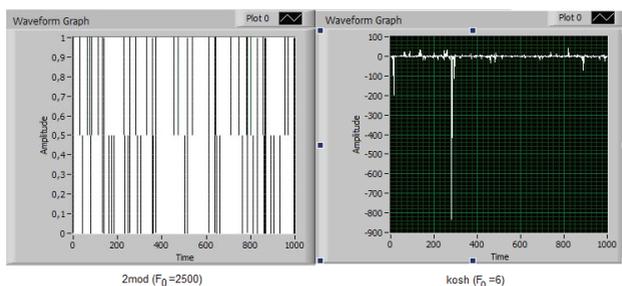


Рисунок 6 - Графики временных функций случайных сигналов с двумодальным (2mod) и Коши (kosh) распределениями

В-третьих, свойство (точнее, одно из его проявлений), обозначаемое как «форма сигнала», может быть количественно оценено в единицах фазы (радианы, градусы) и логически сопоставлено с системой эталонов, в качестве которых выступают симметричные распределения случайных сигналов (табл. 1). В частности, для пользователя подобные измерения могут выглядеть, как измерения с помощью аналогового прибора, оцифрованные отметки которого в единицах  $\alpha$  дополнительно поименованы в терминах распределений (рис. 7).

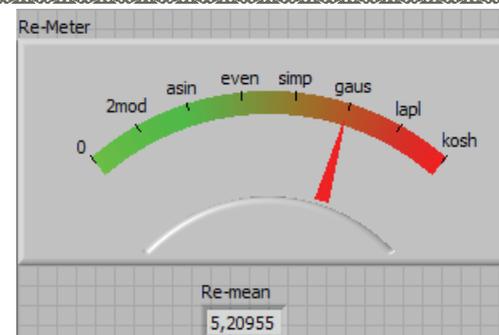


Рисунок 7 - Аналоговая шкала измерителя формы сигналов

Данный пример иллюстрирует результат измерения некоторого неизвестного сигнала, форма которого приблизительно на 79% принадлежит отметке с именем *gaus* и на 21% - отметке с именем *lapl*. Таким образом, использование порядковой шкалы (табл. 1) распределений позволяет интерполировать положение исследуемого сигнала в системе принятых эталонов, в качестве которых выступают формы распределений симметричных случайных сигналов.

В-четвертых, использование в структуре ВП К-тестеров позволяет получить информацию не только о форме и частоте исследуемого сигнала, но и о его амплитуде в виде средневыврямленного значения. Следовательно, на основе рассмотренного способа можно решить еще одну важную прикладную задачу – задачу комплексной оценки всех основных свойств сигналов: вариационных, энергетических, структурных (табл. 2). При этом, непосредственно, физически можно измерять (с помощью АЦП) лишь мгновенные значения отсчетов входного сигнала. Остальные величины оцениваются путем вычислений, например, с помощью встроенного в измерительный прибор, микропроцессора.

Таблица 2

Измеримые свойства сигналов

№ п/п	Свойства	Измеряемые величины		Модель измерения
		Название	Обозначение	
1	Вариационные	Угловая скорость вращения вектора сигнала U(t) - вариабельность	$\omega$ , рад/с	$r = \frac{ \Delta U(t) }{ U(t) }$
2	Энергетические	Средневыврямленное значение сигнала U(t)	$ \overline{U(t)} $ , В	$ \overline{U(t)}  = \frac{ \Delta U(t) }{\omega}$

3	Структурные	Форма распределения сигнала U(t)	$\alpha$ , радианы	$\alpha = \omega/F$
		Характеристическая частота сигнала U(t)	$F_0$ , Гц	$F_0 = \omega/\alpha$

Особенности измерения периодических сигналов прямоугольной (SQU), синусоидальной (SIN), треугольной (TRI) и пилообразной (SAW) формы отражены в табл. 3. Как и ожидалось, идентификационный параметр формы ( $\alpha$ ) сигналов от частоты не зависит.

Таблица 3

Идентификационные параметры периодических сигналов

Частота F сигнала	Параметр форма ( $\alpha$ ) периодических сигналов (N=10000)			
	SQU	SIN	TRI	SAW
1...4999	4	6,28	8	8

Характеристическая частота  $F_0$  для периодических сигналов совпадает с их физической частотой. Но, в отличие от характеристической частоты  $F_0$  случайных сигналов, не несет информации о форме распределения.

По результатам измерения формы можно установить следующее соответствие (идентификационную эквивалентность) периодических и случайных сигналов: Squ  $\rightarrow$  2mod, Sin  $\rightarrow$  asin, (Tri = Saw)  $\rightarrow$  even. В тех случаях, когда необходимо разделить указанные периодические сигналы от случайных, можно использовать условие: «IF  $\alpha \leq 8$  AND  $R \geq 6$  THEN U(t)  $\rightarrow$  Period ELSE U(t)  $\rightarrow$  Chaotic». Здесь символом R обозначена величина, характеризующая разрешение и определяющая количество отсчетов, приходящееся на один период сигнала:  $R=N/F_0$ . Фактически данное условие постулирует правило: «Чем сложнее форма сигнала, тем большее количество отсчетов необходимо иметь на одном периоде». В свою очередь, это правило приводит к такой формулировке теоремы о дискретизации, которая учитывает форму сигнала. Например, чтобы правильно восстановить сигналы прямоугольной, синусоидальной, треугольной и пилообразной формы с помощью полинома первой степени, частоту дискретизации следует выбирать в 6-8 раз больше, чем максимальная частота в спектре сигнала.

Перспектива использования рассмотренных инструментов связана с возможностью измерения формы распределений любых массивов значений, например, спектров или корреляционных функций.

Рассмотренный комплексный метод измерения параметров сигналов является методологической основой для развития нового направления в теории и практике измерений – идентификационных измерений сигналов. В этом названии отражены

все основные компоненты данной области знаний: цель – идентификация объекта исследований; объекты исследований – сигналы (а также данные, представленные числовыми массивами) и инструменты исследований – методы, средства и технологии измерений. Содержанием этого направления является измерение формы и варибельности сигналов и установление закономерностей, связывающих их энергетические, вариационные и структурные свойства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пиотровский Я. Теория измерений для инженеров: Пер. с польск. - М.: Мир, 1989.
- 2 Кликушин Ю.Н., Кошек К.Т. Модель роста популяции в задаче автоматической классификации сигналов // Омский Научный Вестник. - Омск: Изд-во ОмГТУ, №4(33), 2005.- с.160-163.
- 3 Пайтген Х.-О., Рихтер П.Х. Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1993. - 176 с.
- 4 Кликушин Ю.Н. Библиотека виртуальных инструментов анализа и синтеза формы сигналов // Свидетельство о государственной регистрации, №50200601945, Министерство образования и науки РФ, ОФАП, М.: 2006.
- 5 Кликушин Ю.Н., Кошек К.Т. Методы и средства идентификационных измерений сигналов: монография. – Петропавловск, Изд-во СКГУ им. М. Козыбаева, 2007. – 186 с.

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

Северо-Казахстанский государственный университет, г. Петропавловск.

Материал поступил в редакцию 11.12.2011.

А.А. ГОРШЕНКОВ, Ю.Н. КЛИКУШИН, К.Т. КОШЕКОВ  
ВАРИАБЕЛЬДІ ДАБЫЛДАРДЫ ЖӘНЕ ФОРМАНЫ ӨЛШЕУ ӘДІСІ  
A.A. GORSHENKOV, YU.N. KLIKUSHIN, K.T. KOSHEKOV  
METHOD FOR MEASURING THE FORM AND VARIABILITY OF  
SIGNALS

## Түйіндемe

Бұл мақалада жеткізілім желісің трафиғін пайдалану арқылы жол бағыттауыш өнімділігінің қажетті есептемелері жасалады, қажетті жіберілім жолаға мен кезектегі кідірісі бағаланады.

## Resume

The authors dwell upon the main methods of measuring nonlinear distortion of signals on the basis of identification measurement.



на выходе отличается от формы сигнала на входе при наступлении условия идентификационной эквивалентности:  $S_x = S_y [1 \pm \delta]$ .

Для сравнения с другими, подобными устройствами предлагается также использовать интегральный, комплексный показатель эффективности  $\theta$ , равный отношению фактора сжатия ( $C$ ) и погрешности ( $\delta$ ) адекватности. В соответствие с этим показателем, тот алгоритм прореживания лучше, у которого показатель эффективности больше. В свою очередь, эффективность больше тогда, когда фактор сжатия больше, а погрешность адекватности – меньше.

NF-ClassDecimator.vi - Инструмент, построенный на библиотечном модуле (Decimate 1D Array.vi), прореживает сигнал, удаляя четные (нечетные) отсчеты. Процесс децимации заканчивается, если нарушилось условие идентификационной эквивалентности ( $N_{Fin} = N_{Fout}$ ). По умолчанию погрешность сравнения установлена на уровне 0,05 или 5%. Индицируются: исходный (Input Graph), сжатый (Decim Graph) массивы и массив (IdPArray) числовых параметров сжатия и погрешность адекватности.

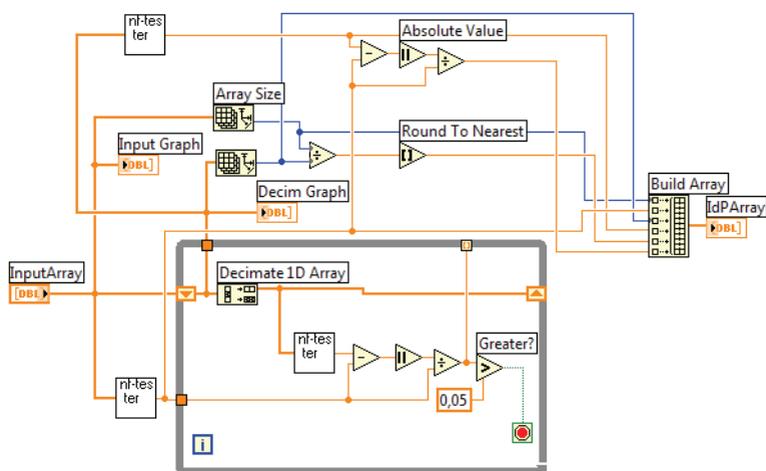


Рис. 2. Структура программного кода идентификационного дециматора

Алгоритм работы идентификационного дециматора представлен в виде программного кода (рис. 2) виртуального прибора (ВП), выполненного в среде LabVIEW. Основу ВП составляют два идентификационных тестера NF-типа [4] и дециматор, построенный на библиотечном модуле Decimate 1D Array.vi. Компаратор, осуществляющий сравнение идентификационных чисел входного и децимируемого сигналов, построен на элементах вычитания и сравнения. С помощью переменной цикла While-Loop формируется число, задающее текущее значение ( $i$ ) степени децимации так, что фактор сжатия определяется через это число, как  $2^i$ . Следовательно, при  $i=0$  фактор сжатия равен 1 (компрессия отсутствует), а при  $i = \max = \log_2(N)$

- компрессия максимальна и объем выборки выходного сигнала равен 1. Количественные параметры работы устройства: объем выборки ( $N$ ) входного сигнала, идентификационное число ( $N_{Fin}$ ) входного сигнала, объем выборки ( $N_{out}$ ) выходного сигнала, идентификационное число ( $N_{Fout}$ ) выходного сигнала, фактор сжатия и погрешность адекватности ( $\delta$ ) выводятся в виде массива IdP Array.

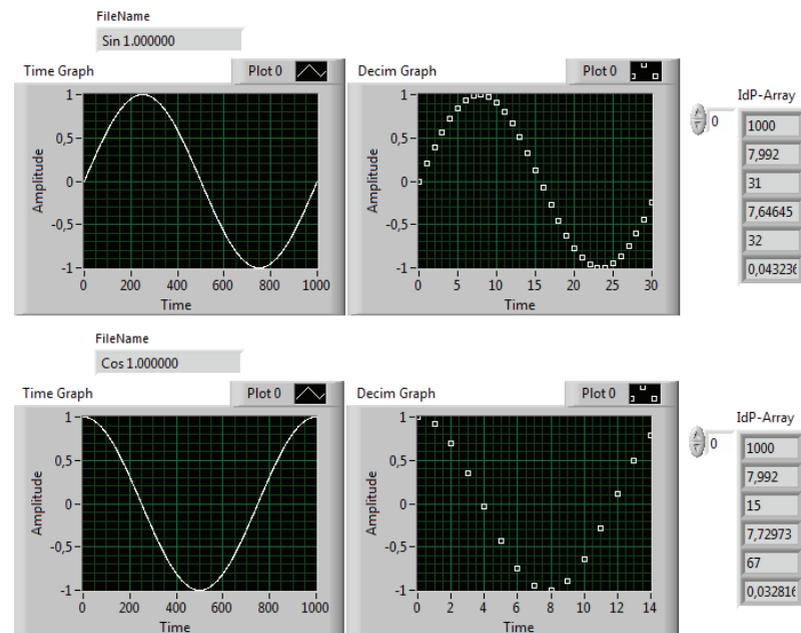


Рис. 3. Тестовый пример результатов работы идентификационного алгоритма прореживания

На рис. 3 представлены данные анализа тестовых синусоидального и косинусоидального сигналов с помощью предлагаемого идентификационного метода. Полученные результаты, во-первых, подтверждают, выдвинутое ранее, предположение о зависимости фактора сжатия (пятое окно массива IdPArray) от формы ( $C[\sin] = 32$ ,  $C[\cos] = 67$ ) сигнала. Во-вторых, погрешность адекватности (шестое окно массива IdPArray), хотя и не превышает допустимого значения в 5% (0,05), но зависит от формы сигнала ( $\delta[\sin] \approx 4,3\%$ ,  $\delta[\cos] \approx 3,3\%$ ) сложным образом. В частности, вместо ожидаемой корреляции вида «больше  $C$  – больше  $\delta$ », в данном случае имеем соотношение «больше  $C$  – меньше  $\delta$ » для косинусоидального сигнала. В-третьих, наблюдается явная связь результатов компрессии с начальной фазой сигналов. Это, в свою

очередь, свидетельствует о наличии частотной зависимости фактора сжатия.

Представленную на рис. 2 структуру, можно усовершенствовать введением еще одного канала измерения формы прореживаемого сигнала. Идея состоит в том, что измеряя форму распределения и четных, и нечетных отсчетов, можно на следующий этап прореживания направлять ту часть, которая имеет меньшую погрешность адекватности. Таким образом, можно попытаться увеличить число циклов децимации. Данная идея реализована в структуре (рис. 4) программного кода модифицированного идентификационного дециматора. Все усовершенствования идентификационного дециматора сосредоточены в цикле While-Loop.

NF-ClassDecimator\_3.vi - Инструмент, построенный на библиотечном модуле (Decimate 1D Array.vi), прореживает сигнал, удаляя либо четные, либо нечетные отсчеты, в зависимости от того, где больше погрешность. Процесс децимации заканчивается, если нарушилось условие идентификационной эквивалентности как по четным, так и по нечетным отсчетам. По умолчанию погрешность сравнения установлена на уровне 0,05 или 5%. Индицируются: исходный (Input Graph) и сжатый (Decim Graph) массивы и массив (IdPArray) числовых параметров.

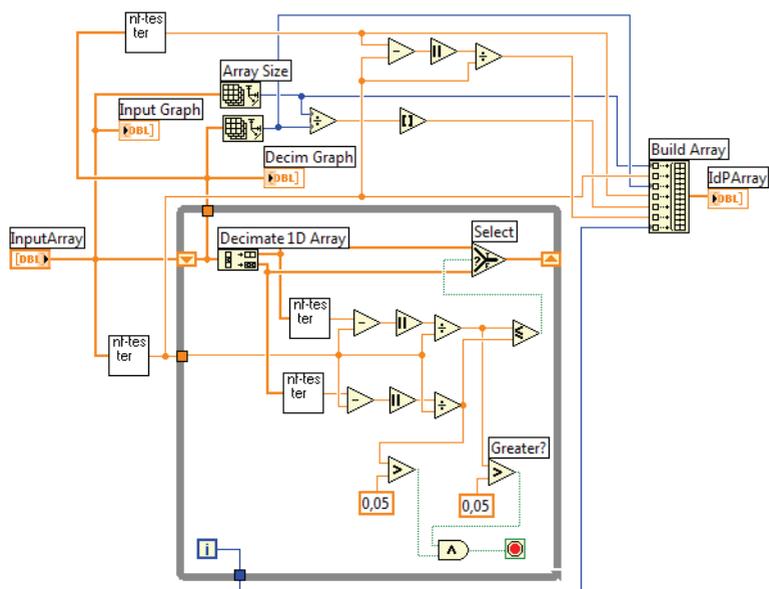


Рис. 4. Структура программного кода модифицированного идентификационного дециматора

Дополнительный канал измерения распределения четных отсчетов содержит идентификационный тестер, схему вычисления погрешности адекватности, схему сравнения погрешностей двух каналов и коммутатор (Select). Добавлен также

компаратор сравнения форм входного сигнала и формы сигнала дополнительного канала. Остановка процесса прореживания наступает, когда погрешности обоих каналов, совместно, превысят допустимое значение 0,05.

Изучение особенностей обоих методов и алгоритмов идентификационного прореживания проводилось по следующей программе. Во-первых, исследовалась возможность компрессии сигналов разных типов (периодические, случайные, фрактальные, модулированные, аддитивные смеси) и разной формы. Во-вторых, изучались свойства алгоритмов при варьировании значения допустимой погрешности сравнения. В-третьих, оценивались частотные характеристики алгоритмов для периодических сигналов.

Правильность работы идентификационных методов и алгоритмов оценивалась визуально путем сравнения временных, вероятностных и спектральных функций входного и выходного сигналов. Достоверность результатов дискретизации оценивалась количественно измерениями погрешности адекватности.

Некоторые особенности обработки простых и сложных сигналов с помощью идентификационных алгоритмов децимации представлены на рис. 5-10.

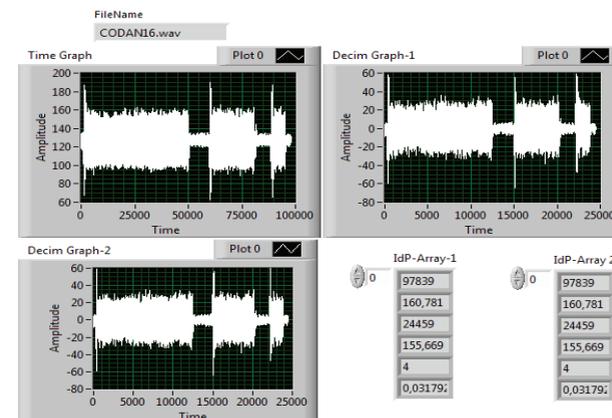


Рис. 5. Результаты анализа сигнала Cdn-16

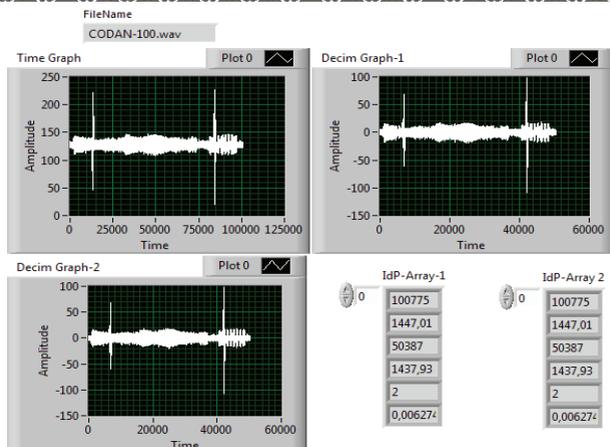


Рис. 6. Результаты анализа сигнала Cdn-100

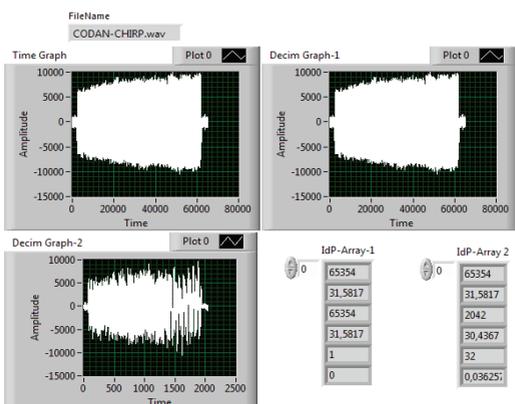


Рис. 7. Результаты анализа сигнала Cdn-Ch

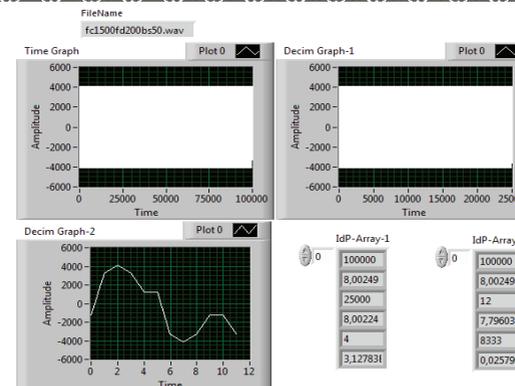


Рис. 8. Результаты анализа сигнала FC1500

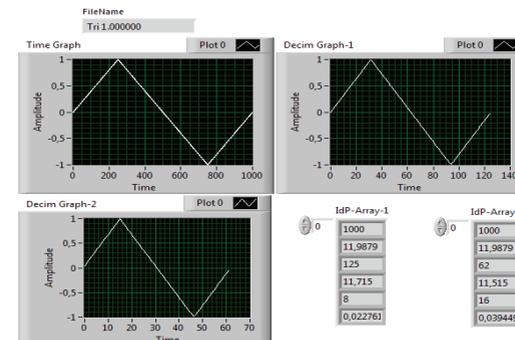


Рис. 9. Результаты анализа треугольного сигнала

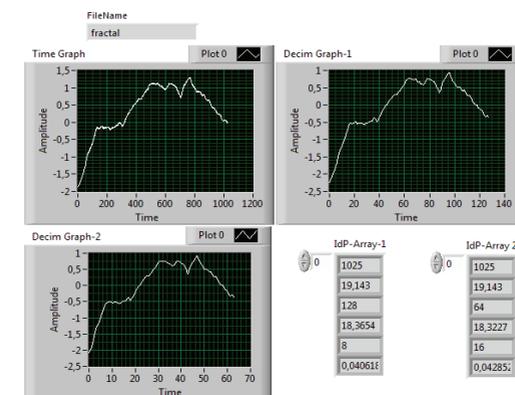


Рис. 10. Результаты анализа фрактального сигнала с показателем Херста H=1

Каждый рисунок состоит из 3-х дисплеев и 2-х цифровых окон. На левом верхнем дисплее отображается временная функция входного сигнала. На правом верхнем и левом нижнем дисплеях изображены временные функции, прореженные с помощью первого и второго идентификационных алгоритмов. В цифровых окнах IdPAttau-1 и IdPAttau-2 отображены результаты измерений следующих основных параметров: объем исходной выборки сигнала, идентификационное число исходного сигнала, объем выборки выходного сигнала, идентификационное число выходного сигнала, фактор сжатия и погрешность адекватности.

Сводные, по шести группам сигналов, результаты сравнительного анализа обоих алгоритмов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты сравнительного анализа сигналов

№п/п	Имя сигнала	Параметры 1-го алгоритма			Параметры 2-го алгоритма			Примечание
		C	$\delta$	$\mu$	C	$\delta$	$\mu$	
1	Sin-1	32	0,043	744	32	0,04	800	Периодические сигналы единичной частоты
2	Cos-1	67	0,033	2030	67	0,033	2030	
3	Tri-1	8	0,023	348	16	0,04	400	
4	Squ-1	32	0,03	1067	32	0,030	1067	
5	Saw-1	8	0,021	381	8	0,021	381	
6	Cdn-16	4	0,032	125	4	0,032	125	Сложно модулированные сигналы
7	Cdn-100	2	0,0063	317	2	0,0063	317	
8	Cdn-ch	1	0	-	32	0,036	889	ЧМ сигналы
9	Fc250	16	0,0003	53333	16	0,0003	53333	
10	Fc1000	8	0,00004	200000	8	0,00004	200000	
11	Fc1500	4	0,00005	80000	8333	0,026	320500	Фрактальные сигналы
12	Fr-1	15±13	0,03	500	18±14	0,03	600	
13	Fr-0,5	5±4	0,02	250	8±6	0,03	267	
14	Fr-0	1,3±0,65	0,008	163	2±2	0,015	133	Аддитивные смеси типа сигнал-шум
15	ОСШ-0,2	1	0	-	8	0,022	364	
16	ОСШ-0,5	1	0	-	2	0,017	118	
17	ОСШ-1	1	0	-	4	0,002	2000	
18	ОСШ-2	2	0,013	154	2	0,013	154	
19	ОСШ-5	1	0	-	8	0,045	178	
20	ОСШ-50	2	0,001	2000	64	0,038	1684	

21	2mod	44±30	0,024	1833	66±38	0,03	2200	Случайные стационарные сигналы (N=1000, L>=1000)
22	Asin	11±15	0,02	550	24±30	0,03	800	
23	Even	6,6±8	0,02	330	14±16	0,02	700	
24	Simp	2,5±2,5	0,02	125	6±5	0,03	200	
25	Gaus	1,5±1	0,014	100	2±2	0,02	100	
26	Lapl	1,2±0,5	0,005	240	1,5±1	0,01	150	
27	kosh	1±0,1	0,01	100	1±0,1	0,0005	2000	
	mean	12,5	0,05	250	397	0,05	7940	

## ВЫВОДЫ

Анализ качественных и количественных результатов проведенных исследований показывает следующее.

Описанные в данной работе инструменты и технологии идентификационной децимации могут быть использованы для построения аппаратно-программных средств ЦОС.

Во-первых, оба рассмотренных идентификационных алгоритма позволяют автоматизировать процедуру компрессии сигналов, вне зависимости от их формы (свойство адаптивности). При этом следует выделить две группы сигналов. Одну группу образуют сигналы, которые сжимаются обоими алгоритмами одинаково. Во вторую группу входят сигналы, которые модифицированным алгоритмом сжимаются сильнее. Каков физический смысл подобной ситуации, предстоит выяснить при проведении дополнительных исследований.

Во-вторых, сжатые с помощью идентификационных алгоритмов сигналы не требуют последующего восстановления, поскольку выходная реализация сохраняет основные особенности исходной, в пределах той погрешности, которая удовлетворяет пользователя. Это обстоятельство особенно хорошо проиллюстрировано примером (рис. 10) анализа фрактального сигнала.

В-третьих, имеет смысл поставить вопрос о том, почему некоторые сигналы не сжимаются ( $C = 1$ ) и можно ли в этом случае утверждать, что идентификационные алгоритмы являются инструментами измерения информационной избыточности.

В-четвертых, модифицированный алгоритм компрессии по совокупности рассмотренных сигналов оказался примерно в 32 раза эффективнее базового идентификационного алгоритма (строка *mean*, табл. 1). Поэтому именно этот инструмент рекомендуется использовать для построения систем цифровой обработки сигналов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Цыганенко В.Н., Белик А.Г. Дискретизация измерительных сигналов на основе прикладных функциональных моделей //Цифровая обработка сигналов. – М.: 2009. - №2. – С.58-60.

2 Кликушин Ю.Н. Идентификационные инструменты анализа и синтеза формы сигналов: Монография. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. – 216 с.

3 Кликушин Ю.Н. Классификационные шкалы для распределений вероятности.// Интернет-статья. - М.: Журнал Радиоэлектроники, ИРЭ РАН, № 11 (ноябрь), 2000 г.: <http://jre.cplire.ru>.

Омский государственный технический университет;  
Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева,  
г. Петропавловск. Материал поступил в редакцию 11.12.2011.

А.А. ГОРШЕНКОВ, Ю.Н. КЛИКУШИН, К.Т. КОШЕКОВ  
ИДЕНТИФИКАЦИЯЛЫҚ ӨЛШЕУ ӘДІСТЕРІП ДАБЫЛДАРДЫҚ  
ДЕЦИМАЦИЯСЫНЫҢ АВТОМАТТАНДАРУЫ  
А.А. GORSHENKOV, YU.N. KLIKUSHIN, K.T. KOSHEKOV  
THE AUTOMATISATION OF SIGNALS DECIMATION (THINNING) WITH  
THE HELP OF MEANS AND METHODS OR IDENTIFICATION MEASUREMENT

#### Түйіндемe

*Идентификациялық өлшеу әдістеріп және құралын қолдану негізінде дабылдардық децимациясының автоматтандаруы – сиретілуі – сипатталған. Ұсынылған алгоритмдермен әдістердің үлгілері және түрлену тиімділігі жағынан саластырымалы анализі келтірілген.*

#### Resume

*The authors dwell upon the automatisation of signals decimation (thinning) with the help of means and methods or identification measurement. The suggested methods and algorithms have been simulated. There is given the comparative analysis with a view to conversion efficiency.*

УДК 621.365

### **А.И. ИНКИН, А.И. АЛИФЕРОВ, А.В. БЛАНК УСТАНОВКИ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ И ИХ КАСКАДНЫЕ А-Н-СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ**

Известные до сих пор традиционные способы повышения КПД (применение многожильных кабелей, многослойных катушек и т. д.) практически исчерпали себя, и решение проблемы возможно только на

основе принципиально новых подходов к разработке систем возбуждения электромагнитного поля.

Одним из наиболее перспективных подходов следует считать вращение нагреваемого изделия в постоянном магнитном поле сверхпроводящих катушек. Полный КПД процесса нагрева в этом случае определяется потерями в двигателе и может достигать 90 %. Основной недостаток такой установки заключается в необходимости поддерживать катушки индуктора при низкой температуре.

Этого недостатка лишены установки, в которых нагреваемое изделие вращается в магнитном поле постоянных магнитов, изготовленных из интерметаллических соединений на основе редкоземельных металлов [1-3].

Анализ отечественных и зарубежных источников свидетельствует, что исследования электромагнитных явлений в установках индукционного нагрева с постоянными магнитами находятся в настоящее время еще на начальной стадии. В связи с этим представляется весьма актуальной проблема изучения электромагнитных полей в таких установках.

Индукционная установка для нагрева изделий цилиндрической формы содержит симметричную многополюсную систему возбуждения на постоянных магнитах и расположенную внутри вращающуюся садку (рис. 1). Существуют системы, в которых вокруг неподвижно закрепленной садки вращаются магниты.

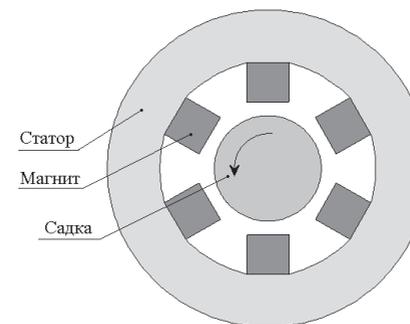


Рисунок 1 - Установка индукционного нагрева с постоянными магнитами

По существу такая установка представляет собой систему возбуждения магнитоэлектрического генератора, совмещенную со встроенным потребителем энергии, что позволяет рассматривать ее в целом как электрическую машину нетрадиционной конструкции специального назначения.

При проведении электромагнитных расчетов электрических машин нетрадиционных конструкций с составными активными объемами хорошо зарекомендовали себя плоские и цилиндрические слоистые модели [4-7], в которых существует единое электромагнитное поле. При

этом источниками поля могут быть электрические токи в обмотках или постоянные магниты.

В ряде случаев при определенных допущениях общие решения уравнений электродинамики в слоях, моделирующих отдельные конструктивные зоны установки индукционного нагрева с постоянными магнитами, сводятся к уравнениям четырехполюсников, что позволяет в дальнейшем с учетом свойства непрерывности компонент векторов поля на смежных границах конструктивных зон сформировать каскадную схему замещения электрической машины. При этом в зависимости от конкретных условий могут синтезироваться E-H-, B-H-, A-H-схемы замещения активных объемов машин.

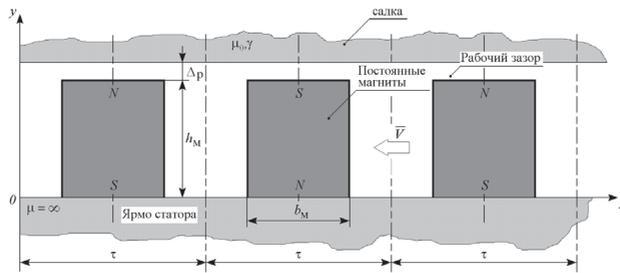


Рисунок 2 - Плоская развертка системы «магниты – зазор – садка»

На рис. 2 представлена трехслойная плоская развертка системы «магниты – зазор – садка». Активная зона модели содержит разноименно-полюсную структуру постоянных магнитов, проводящая немагнитная среда (садка) отделена от активной зоны зазором, далее называемым рабочим зазором Δ<sub>р</sub>. Протяженность модели в направлении координаты z неограниченно велика.

**Типовое A-H-звено дискретно-однородной структуры «паз – магнит»**

При разработке активного четырехполюсника, моделирующего электромагнитное поле, создаваемое дискретно-однородной полосой «паз – магнит» будем руководствоваться следующими соображениями. Кривая размагничивания постоянных магнитов на основе редкоземельных металлов представляет собой линейную зависимость:

$$B = B_r + \frac{B_r}{H_c} H, \tag{1}$$

где  $B_r$ ,  $H_c$  – остаточная индукция и коэрцитивная сила магнита.

Пространственное распределение остаточной индукции магнитов в дискретно-однородной полосе задано функцией  $B_r(x)$  (рис. 3, а).

В направлении намагничивания магнитная проницаемость магнита:

$$\mu_i = \frac{B_r}{H_c}. \tag{2}$$

В направлении, перпендикулярном намагничиванию, магнитная проницаемость магнита равна магнитной постоянной  $\mu_0$ .

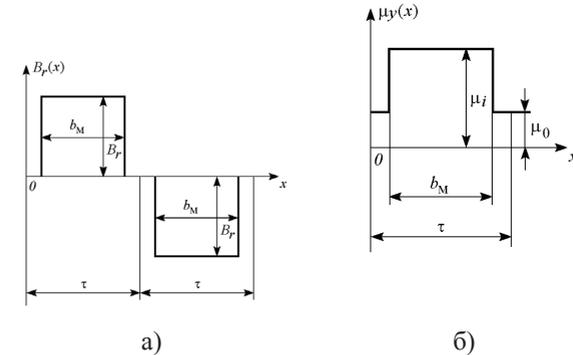


Рисунок 3 - Пространственное распределение остаточной индукции (а) и магнитной проницаемости (б) в дискретно-однородной полосе «паз – магнит»

Если исследуемая область модели представляется в виде кусочно-однородной среды, то для нее остаточная индукция магнита и магнитная проницаемость в направлении оси  $oy$  на полюсном делении математически определяются кусочными функциями (см. рис. 3):

$$B_r(x) = \begin{cases} 0 & \text{паз} \\ B_r & \text{магнит} \end{cases}, \quad \mu_y(x) = \begin{cases} \mu_0 & \text{паз} \\ \mu_i & \text{магнит} \end{cases}. \tag{3}$$

Компоненты вектора индукции в дискретно-однородной полосе связаны с магнитной напряженностью соотношениями:

$$B_x(x, y) = \mu_0 H_x(x, y), \tag{4}$$

$$B_y(x, y) = B_r(x) + \mu_y(x) H_y(x, y). \tag{5}$$

Основные законы магнитостатики

$$\text{rot } \vec{H} = 0, \tag{6}$$

$$\vec{B} = \text{rot } \vec{A}. \tag{7}$$

позволяют сформировать следующее неоднородное дифференциальное уравнение для векторного магнитного потенциала:

$$\frac{\mu_0}{\mu_y(x)} \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} = - \frac{\mu_0}{\mu_y(x)} \frac{\partial B_r(x)}{\partial x}. \tag{8}$$

Решение этого уравнения возможно получить на базе кусочно-непрерывных собственных функций задачи Штурма-Лиувилля в виде бесконечного ряда, каждый член которого соответствует своему собственному числу [5, 6]. Между тем, практика расчета магнитного поля в электрических машинах показывает, что первая кусочно-непрерывная функция весьма слабо зависит от количества кусочно-непрерывных функций, то есть, магнитное поле определяется в основном первой кусочно-непрерывной функцией. На этом основании в [6] предложен приближенный метод расчета магнитного поля, в котором решение формируется на базе одной кусочно-непрерывной функции, соответствующей первому собственному числу. Таким образом, решение уравнения (8) на базе одной кусочно-непрерывной функции имеет вид:

$$A(x, y) = -\int B_r(x) dx + \left[ C_1 \operatorname{ch} ny + C_2 \operatorname{ch} n(h - y) \right] \begin{cases} \cos nx, & 0 \leq x < \frac{\tau - h_1}{2} \\ K \sin n \sqrt{\frac{\mu_i}{\mu_0}} \left( \frac{\tau - x}{2} \right), & \frac{\tau - h_1}{2} < x \leq \frac{\tau}{2}, \end{cases} \quad (9)$$

где собственное число  $n$  является первым положительным корнем трансцендентного уравнения:

$$\operatorname{ctg} n \frac{\tau - h_1}{2} = \sqrt{\frac{\mu_i}{\mu_0}} \operatorname{tg} n \sqrt{\frac{\mu_i}{\mu_0}} \frac{h_1}{2}, \quad (10)$$

а коэффициент  $K$  удовлетворяет соотношению:

$$K = \frac{\cos n \frac{\tau - h_1}{2}}{\sin n \sqrt{\frac{\mu_i}{\mu_0}} \frac{h_1}{2}}. \quad (11)$$

Тогда каскадные схемы замещения индукционной установки формируются для синусоидальных гармонических бегущих волн электромагнитного поля. Поэтому решение (9) разложим в ряд Фурье. Если при этом считать, что дискретно-однородная полоса перемещается в направлении убывания координаты  $x$  со скоростью  $V$ , то каждая гармоника поля для неподвижного наблюдателя будет представляться в виде бегущей волны:

$$f_k(x, t) = F_k \sin(\omega_k t + \alpha_k x + \varphi_k), \quad (12)$$

где  $\omega_k = \frac{k\pi V}{\tau}$ ;  $\alpha_k = \frac{k\pi}{\tau}$ ;  $k = 1, 3, 5, \dots$

Переходя к символическому изображению бегущих синусоидальных волн, определим выражение для комплексной амплитуды  $k$ -ой гармоники векторного магнитного потенциала:

$$\dot{A}_k = j \frac{4B_r \tau}{k^2 \pi^2} \sin \frac{k\pi}{2} \sin \frac{k\pi}{2\tau} b_1 + j \left[ C_1 \operatorname{ch} ny + C_2 \operatorname{ch} n(h_1 - y) \right] Q_k, \quad (13)$$

где

$$Q_k = \frac{4}{\tau} \int_0^{\frac{\tau - h_1}{2}} \cos nx \cos n \frac{k\pi}{\tau} x dx + \frac{4K}{\tau} \int_{\frac{\tau - h_1}{2}}^{\frac{\tau}{2}} \sin n \sqrt{\frac{\mu_i}{\mu_0}} \left( \frac{\tau - x}{2} \right) \cos \frac{k\pi}{\tau} x dx. \quad (14)$$

Первое слагаемое в (13) представляет собой комплексную амплитуду  $k$ -ой гармоники источника поля, в дальнейшем будем обозначать его  $\dot{A}_{0k}$ .

Касательная компонента вектора магнитной напряженности равна:

$$\dot{H}_{xk} = \frac{1}{\mu_0} \frac{\partial \dot{A}_k}{\partial y} = j \frac{n Q_k}{\mu_0} \left[ C_1 \operatorname{sh} ny - C_2 \operatorname{sh} n(h_1 - y) \right]. \quad (15)$$

Если на границах области «паз - магнит» (при  $y = 0$  и  $y = h_1$ , см. рис. 2) заданы значения касательных компонент вектора магнитной напряженности  $\dot{H}_{1k}$  и  $\dot{H}_{2k}$ , то преобразование выражений (13) и (15) приводит к системе уравнений активного четырехполюсника, в котором аналогом напряжения является векторный магнитный потенциал, а аналогом тока – касательная компонента вектора магнитной напряженности:

$$\begin{cases} \dot{A}_{0k} - \dot{A}_{1k} = (\dot{A}_{0k} - \dot{A}_{2k}) \operatorname{ch} nh_1 + \dot{H}_{2k} \frac{\mu_0}{n} \operatorname{sh} nh_1 \\ \dot{H}_{1k} = (\dot{A}_{0k} - \dot{A}_{2k}) \frac{n}{\mu_0} \operatorname{sh} nh_1 + \dot{H}_{2k} \operatorname{ch} nh_1 \end{cases}, \quad (16)$$

где  $\dot{A}_{1k}$  и  $\dot{A}_{2k}$  – значения векторного магнитного потенциала при  $y = 0$  и  $y = h_1$ .

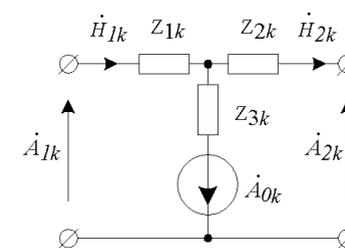


Рисунок 4 - A-H-схема замещения дискретно-однородной полосы «паз - магнит»

Таким образом, движущейся кусочно-однородной полосе с постоянными магнитами в соответствии с теорией электрических цепей может быть сопоставлена трехэлементная активная схема замещения (рис. 4) со следующими параметрами:

$$Z_{1k} = Z_{2k} = \frac{\mu_0}{n} \operatorname{th} \frac{nh_1}{2}; \quad Z_{3k} = \frac{\mu_0}{n \operatorname{sh} nh_1}; \quad (17)$$

$$\dot{A}_{0k} = j \frac{4B_r \tau}{k^2 \pi^2} \sin \frac{k\pi}{2} \sin \frac{k\pi}{2\tau} b. \quad (18)$$

### Каскадная $A$ - $H$ -схема замещения системы «магниты – зазор – садка»

Система «магниты – зазор – садка» (см. рис. 2) состоит из трех конструктивных зон: зоны магнитов, рабочего зазора и садки. В каскадной  $A$ - $H$ -схеме каждой конструктивной зоне соответствует определенный четырехполюсник. На рис. 5 слева направо изображены три четырехполюсника: первый (активный) четырехполюсник соответствует зоне магнитов, второй и третий (пассивные) четырехполюсники – рабочему зазору и садке. Сопротивления этих двух пассивных четырехполюсников определяются выражениями [5]:

$$Z_{\Delta 1} = Z_{\Delta 2} = \frac{\mu_0 \tau}{k\pi} \operatorname{th} \frac{k\pi \Delta_\delta}{2\tau}; \quad Z_{\Delta 3} = \frac{\mu_0 \tau}{k\pi \operatorname{sh} \frac{k\pi \Delta_\delta}{\tau}}; \quad (19)$$

$$Z_{A11} = Z_{A12} = \frac{\mu_0}{p_{Alk}} \operatorname{th} \frac{p_{Alk} h_{Al}}{2}; \quad Z_{A13} = \frac{\mu_0}{p_{Alk} \operatorname{sh} p_{Alk} h_{Al}}, \quad (20)$$

где  $h_{Al}$  – расчетная глубина проводящего слоя, м;  $p_{Alk}$  – корень характеристического уравнения, вычисляемый как

$$p_{Alk} = \sqrt{j\omega_k \mu_0 \gamma + \left(\frac{k\pi}{\tau}\right)^2}; \quad (21)$$

$\gamma$  – удельная электрическая проводимость садки,  $\text{Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$ .

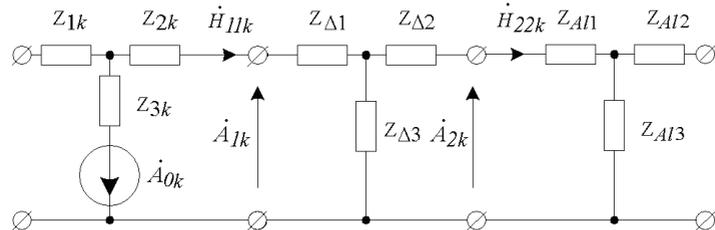


Рисунок 5 - Каскадная  $A$ - $H$ -схема замещения системы «магниты – зазор – садка»

Ярмо, на котором укреплены постоянные магниты, является идеальным ферромагнетиком, на поверхности которого касательная компонента вектора магнитной напряженности равна нулю. Поэтому входные зажимы первого четырехполюсника, соответствующие поверхности ярма, разомкнуты. Величина  $h_{Al}$  выбрана таким образом, чтобы глубина проникновения электромагнитной волны соответствовала ярковыраженному поверхностному эффекту. Это обстоятельство позволяет оставить разомкнутыми выходные зажимы третьего четырехполюсника. Каскадная  $A$ - $H$ -схема рассчитывается

любым известным методом теории цепей. После расчета становятся известны касательные компоненты векторного магнитного потенциала и вектора магнитной напряженности на границах конструктивных зон. Следующий этап расчета заключается в определении электрических напряженностей и нормальных компонент вектора магнитной индукции:

$$\dot{E}_k = -j\omega_k \dot{A}_k = -j \frac{k\pi V}{\tau} \dot{A}_k; \quad \dot{B}_{yk} = -j\alpha_k \dot{A}_k = -j \frac{k\pi}{\tau} \dot{A}_k. \quad (22)$$

Для неподвижной системы ( $V = 0$ ) электрическая напряженность во всем объеме установки исчезает, при этом каскадная  $A$ - $H$ -схема описывает стационарное магнитное поле в системе «магниты – зазор – садка».

### Расчет системы «постоянные магниты – алюминиевая садка»

Для тестовой проверки представленного расчетного метода была проведена серия расчетов электромагнитного поля системы «постоянные магниты – садка» на примере алюминия двумя различными методами: по каскадной схеме (аналитически) и численно. Для численных расчетов использовалась программа *ELCUT 5.5* разработки производственного кооператива «ТОР» (г. Санкт-Петербург).

При численном расчете перемещающиеся постоянные магниты заменялись распределенной в пространстве многофазной системой токов. Каждая гармоника поля рассчитывалась отдельно, и каждой гармонике соответствовал свой многофазный источник. Такой расчетный алгоритм позволил сравнивать численные и аналитические расчеты для каждой гармоники в отдельности и проверить предположение о том, что электромагнитное поле в исследуемой области количественно определяется в основном первой гармоникой.

По каскадной схеме и численно рассчитывались нормальная компонента вектора магнитной индукции и электрическая напряженность на поверхности садки при следующих исходных данных: полюсное деление 20 мм; ширина магнита 10 мм; высота магнита 25 мм; рабочий зазор 5 мм; глубина алюминиевого слоя 10 мм; проводимость алюминия  $3,445 \cdot 10^7 \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$ ; относительная магнитная проницаемость магнита в радиальном направлении 1.083; остаточная индукция магнита 1 Тл; скорость перемещения магнитов 31.42 м/с.

На рис. 6 представлены кривые распределения компонент векторов поля на поверхности садки, построенные по трем гармоникам ( $k = 1, 3, 5$ ).

Кроме этого, по каскадной схеме были построены кривые, дающие наглядное представление о влиянии скорости вращения садки на компоненты векторов (рисунок 7).

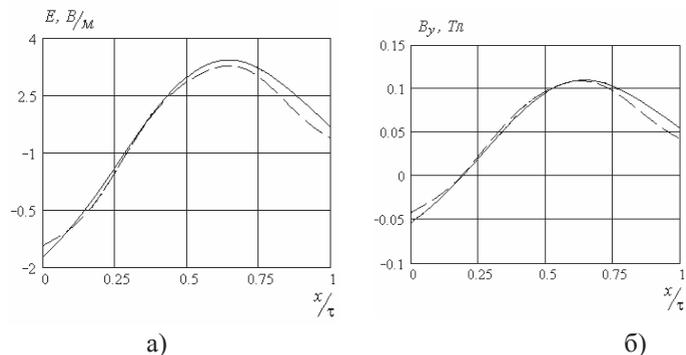


Рисунок 6 - Расчет электромагнитного поля на поверхности садки:

- а) кривая вектора электрической напряженности;  
 б) кривая нормальной компоненты вектора магнитной индукции:  
 — расчет по каскадной схеме; - - - численный расчет

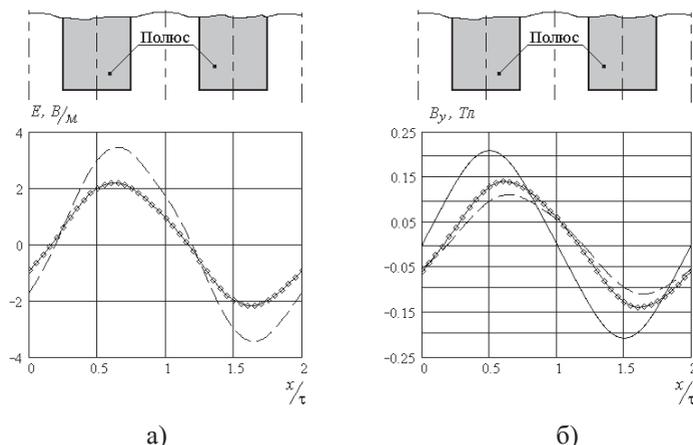


Рисунок 7 - Расчет электромагнитного поля на поверхности садки при изменении скорости вращения:

- а) кривая вектора электрической напряженности;  
 б) кривая нормальной компоненты вектора магнитной индукции;  
 обозначение кривых: —  $V = 0$ ; -Θ-Θ-Θ-  $V = 15.71 \text{ м/с}$ ; - - -  $V = 31.42 \text{ м/с}$

Анализ результатов расчета позволяет сделать вывод о достаточно высокой точности предлагаемого расчетного метода, что дает возможность использовать каскадную  $A-H$ -схему для исследования электромагнитного поля и расчета параметров установок индукционного нагрева с постоянными магнитами.

Работа выполнена в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 гг.)», проект 2.1.2 / 11944

### Выводы

По результатам представленной работы могут быть сделаны следующие выводы:

В настоящей статье задача по расчету электромагнитного поля установки индукционного нагрева с постоянными магнитами сводится к относительно простому аналитическому расчету эквивалентной каскадной схемы замещения, полученной на основании сопоставления общих законов и методов расчета электромагнитного поля и методов теории электрических цепей синусоидального тока.

Предлагаемый аналитический метод хорошо согласуется с результатами численных расчетов электромагнитного поля и может быть использован при разработке методик оптимизационных расчетов установок индукционного нагрева с постоянными магнитами.

Представленную каскадную  $A-H$ -схему по физическим соображениям целесообразно назвать магнитоэлектрической.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Karban P., Mach F., Dolezel I. Higher-order finite element modeling of rotational induction heating of nonferromagnetic cylindrical billets // Heating by electromagnetic sources HES-10. – Padua, 2010 – pp. 515-522.
- 2 Dughiero F., Forzan M., Lupi S., Nicoletti F., Zerbetto M A new high efficiency technology for the induction heating of non magnetic billets // Heating by electromagnetic sources HES-10. – Padua, 2010 – pp. 531-538.
- 3 Михайлов К.А., Ковальский В.В., Кинев Е.С. Математическое и физическое моделирование индукционного нагрева в поле постоянного магнита. // Материалы 4-й научно-технической конференции с международным участием. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009.- С.200-203.
- 4 Инкин А.И. Схемная аппроксимация линейных сред, находящихся под воздействием электромагнитного поля // Электричество. – 1975. – № 4. – С. 64-67.
- 5 Инкин А.И. Электромагнитные поля и параметры электрических машин: Учеб. пособие. – Новосибирск: ЮКЭА, 2002. – 464 с.
- 6 Инкин А.И., Бланк А.В. Приближенный аналитический расчет поля возбуждения электрических машин, основанный на кусочно-непрерывной собственной функции // Электричество. – 2008. – №6. С. 52-56.
- 7 Литвинов Б.В., Давыденко О.Б. Типовые звенья и каскадные схемы замещения электрических машин: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. – 215 с.

Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, Россия. Материал поступил в редакцию 11.12.2011.

А.И. ИНКИН, А.И. АЛИФЕРОВ, А.В. БЛАНК  
ТҰРАҚТЫ МАГНИТТІК ИНДУКЦИЯЛЫҚ ЖЫЛЫТУДЫҢ  
ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ КҮРІЛДЕУІКТІ А-Н-ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ  
АУЫСТЫРУ ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ӨРІСТЕРДІҢ ЕСЕБИ  
A.I. INKIN, A.I. ALIFEROV, A.V. BLANK  
PLANTS OF INDUCTION HEATING WITH PERMANENT MAGNETS  
AND THEIR REPLACEMENT CASCADE A-N-SCHEMES FOR CALCULATING OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD

#### *Түйіндеме*

*Идентификациялық өлшеулер негізінде сигналдардың сызықтық емес бұрмалануларын өлшеудің негізгі әдістері қарастылған.*

#### *Resume*

*At the induction heating of nonmagnetic materials with low resistivity (aluminum, copper and brass), the total efficiency of the system is often low.*

ӨОЖ 681.518..336.22(574)

### **А.П. КИСЛОВ, С.А. МЕНДЫБАЕВ, Д.С. АЙТЕЕВ ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ САЛЫҚ КОМИТЕТТІНІҢ ЗАМАНУИ ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ АҚПАРАТТЫҚ АҒЫНЫНЫҢ СИПАТТАМАСЫ**

Нарықтық қарым-қатынас шарттарында және әсіресе нарық дәуіріне ауысатын, салық жүйесі экономикалық реттеуіштерінің маңызды бір бөлігі, мемлекеттік экономиканың қаражаттық - несие механизмінің реттеушісі болып келеді [2].

Ақпараттық технологиялардың қарқынды дамуына байланысты, ақпараттық селдердің ықшамдау қажеттілігі туындайды, хабар қайталауын болдырмау, жұмысқа қабілеттілігін бақылау және компьютерлік техникалардың күй-жағдайдың жақсарту.

Автоматтандыру тек қана еңбек өнімділігін жоғарылату мүмкіндігін тудырады, сонымен қатар шығындарды төмендетеді, уақытты үнемдетеді.

Автоматтандыру үлкен әлеуметтік мағынаға ие болып тұр, яғни ол еңбек түрін түбімен өзгертеді.

Өткізілген талдау ақпараттық селдерден ақпараттық жүйені алуға көмек берді, ақпараттың жылдам өңдеуін қамтамасыз етті, барлық құжатнамалар

дайындауға кететін уақытты қысқарту арқылы, компьютерлік техникалардың күй-жағдайларын объективті бағалау [4].

Қазақстан Республикасының қаржы министірлік салық комитеті Қазақстан Республикасының қаржы министірлік ведомствомен келеді.

Қазақстан Республикасының кодексімен сәйкестікте мемлекеттің алдында салық міндеттемелердің атқаруының ар жағында салық бақылау қамсыздандыру «салықтар туралы және қаражатқа басқа міндетті төлемде», сонымен қатар міндетті зейнетақылық жарналардың санап шығу дер кезілігінде жүзеге асыратынмен уәкілетілген.

Комитет конституциямен және Қазақстан Республикасының заңдарымен, президент актілерімен сәйкестікте және Қазақстан Республикасының үкіметтері, басқа нормативті заңға сүйінген актілермен өз қызметін жүзеге асырады.

Ол ұйымдық - заңға сүйінген мемлекеттік мекеме түріне заңгерлік бетпен келеді, мемлекеттік тілде өз аты баспалар және штампалар, анықталған үлгі бланкілері.

Сонымен қатар сәйкестікте заң шығарумен қаржы мекемесі органдарында қаражаттық шоттарды Қазақстан Республикасының қаржы министірліктері және банкілерде шоттар бар.

Комитет өз атынан азаматтық – құқықтық қатынасқа, мемлекет атынан азаматтық - құқықтық жағының қатынасына кіреді, егер ол Қазақстан Республикасының заң шығаруымен сәйкестікте уәкілетілгенсе.

Комитет төраға бұйрығымен комитетпен шығарылатын акт түрі болады.

Комитеттің функциялармен болатындардың, комитет міндеттердің орындалу затына кәсіпкерлік субъектілерімен қатынасқа кіру еркінде емес.

Беру оқиғасында заң шығаратын актілермен құқық комитетіне қызмет жүзеге асыруымен, табыстар әкелушінің, сол табыстар, алынғандар сондай қызметтің, республикалық қаражат табысына бағыттайды.

Комитеттің негізгі мақсаттары: қаражатқа салықтардың толық түсуі және басқа міндетті төлемдердің түсуін қамтамасыз ету хабардарлықтары; толық және өз уақытында міндетті зейнетақылық төлеулерді санап шығу; салық төлеушінің міндеттерін атқаруын салық бақылауда жүзеге асыру; айналым және маскүнемділік өнім өндіріс үстінде экономикалық қауіпсіздік қамтамасыз ету және мемлекеттік бақылау.

Комитеттің негізгі функциялары: заң шығару сақтауының бақылау; Қазақстан Республикасының фискальды саясатты құрудың.

Қазақстан Республикасының қаржысы министірлігіне ұсыныстарды салу; Қазақстан Республикасында ұйыммен байланысты және республикада лотереялардың өткізуімен, заң шығарудың анықталған ретте қызметті лицензиялау.

Қаражатқа салықтардың әкімшілік және басқа міндетті төлемдердің методология өңдеу; ақпараттық технологиялар арқасында басқару әдістерін толық жетілдіру және бақылаудың функционал процедураларын жүзеге

асыру; трансфертті бағалардың қолдануы арқасында мемлекеттік бақылауды жүзеге асыру; салық заң шығару атқаруының әрекеттестік орталық және жергілікті мемлекеттік органдармен бақылауын жүзеге асыру; банкротпен бет мойындауы туралы талаптар.

Қазақстан Республикасының заң шығаруымен сәйкестікте акциялардың мәжбүрлік қосымша эмиссиясы туралы соттарға көрсету; кадрлардың мамандық жоғарылауымен шаралар өткізу.

Комитет шапшаң басқару құқығында өзімен-өзі мүлік болады. Мемлекет атынан берілген мүлік комитеттің мүлігі болып қалыптасады, ол негізгі қорлардан және сырт құралдардың түзеледі, сонымен қатар республикалық меншікте жатқан мүлік, құны комитет теңдігінде сәулесі түсетін.

Комитеттің ұйымдық құрылымы тік иерархиялы бағындыруынан тұрады.

Қазақстан Республикасының үкіметімен Қазақстан Республикасының қаржысы министры ұсынуымен тағайындалған лауазымға және азат етілетін лауазымнан комитетте төраға басшылық етеді.

Төраға комитеттің жұмысын ұйымдастырады және басшылық етеді, комитетіне қойылған мақсаттардың орындалудың және өз функцияларын жүзеге асырудың, артынан арнайы жауаптылық алып жүреді.

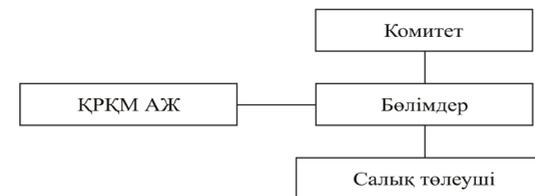
Бұл мақсаттарда төраға өз орынбасар және комитет құрылысты бөлімшелерінің бастықтарының міндеттерін және өкілеттіктерін анықтайды, комитет бөлімшелерінде құрылыстылар туралы жайлар бекітеді, комитеттің бұйрықтарына қол қояды.

Комитет төраға орынбасарлары бекітілген әрбір орынбасар бөлімнің жұмысын бақылауды жүзеге асырайды. Комитет төрағасы жоқ болуында, орынбасарлардың біреуі атқаратын міндет ретінде тағайындалады.

Комитеттің ақпараттық селдері екі топқа бөлінеді: сыртқы (сурет 1.1) және ішкі (сурет 1.2) селі.



1.1 сурет - Сыртқы ақпараттық ағынының схемасы



1.2 сурет - Ішкі ақпараттық ағынының схемасы

КРҚМ АЖ – ҚР қаржы министрлігінің ақпараттық жүйесі.

Сыртқы ақпараттық селдерге салық төлеушілерден және жергілікті басқару органдарынан түсетін деректер жатады.

Сыртқы ақпараттық селдерінің негізгі хабар қайнарлары Қазақстан Республикасының жергілікті қазынашылық, жер қатынастары комитеті, жылжымайтын мүлікті тіркеу орталығы және мемлекеттік автоинспекция. Негізде берілетін деректер комитет есептелген салықты салық төлеушімен берілетін деректердің сәйкестігін тексереді.

Қазақстан Республикасы жергілікті қазынашылық комитетке тапсырма береді, салық төлеушінің анықталған салық сомаларын төлеуін куәландіратын ПД-4ФЛ квитанция түрін береді. Тапсырмалар және квитанциялар салық төлеуші туралы хабарды алып жүреді (РНН, фамилиясы, аты, әкесінің аты), банкілік шот, қаражаттық таптастыру кодын енгізіледі (салық түрі), төленген сома мөлшері, төлеу тағайындау, төлеу нақты датасы.

Қазақстан Республикасының заң шығаруымен анықталған мерзімдерде салық төлеуші магниттік сақтаушыда немесе қағаз сақтаушыларда комитетке салық есептілікті береді.

Ішкі ақпараттық селдерге Комитеттің бөлімдермен өңделетін және пайдалануға берілетін деректер жатады.

Қазақстан Республикасының жергілікті қазынашылықтан түсетін деректер, есеп және жиынтық талдау бөліміне тиеді. Бөлім мамандары тиген деректерді ИСАЖ (интеграцияланған салық ақпараттық жүйе) кіргізеді.

Жер қатынастары комитеті, жылжымайтын мүлікті тіркеу орталығынан және мемлекеттік автоинспекциясынан алынған деректер базасы жеке тұлғалардың салық есептелігін қабылдау және өңдеу бөліміне беріледі. Бөлім мамандары салық кодексты пайдаланып, қозғатылған немесе қозғалмайтын мүлік иесінің тиісті салық төлеу соманы есептейді.

Салықты уақытында төлемеген бюджетке қарыз болғандарды табу үшін комитеттің деректер базасында, алынған сома төленгенмен сомамен салыстырылады. ИСАЖде іске асырылған аспаптар арқасында тексеру процесі басталады, ол келесі деректерден тұрады: жеке тұлғалардың РНН,

фамилиясы, аты, әкесінің аты, қазынашылықтан түскен құжат үлгінің қысқарған аты, төлем шотқа тарату датасы, төлеу датасы, қаражаттық таптастыру коды, негізгі төлеудің түсуі, өсім және айып пұлдың түсуі.

Егер төленген сома есепті сомадан қисық болса, онда салық төлеушіге бұзуларды жоюы туралы хабарландыруды тапсырады, фамилия, аты, әкесінің аты және төленбеген сома салығы нұсқаумен.

Хабарландыруды алған салық төлеушілер хабарландыруда көрсетілген ақы мөлшерді тиісті анықталған заң мезгілдерде төлеу қажет.

Салыстыру актісін алып салық төлеуші өзінің төлем шотының күй-жағдайын біле алады, салыстырып.

Салыстыру актісі келесі далалардан тұрады: акті алу датасы; салықтың аты; РНН; салық төлеушінің фамилиясы, аты, әкесінің аты; төлеу датасы; құжат аты, негізінде қайсының төлеу туралы болды; қаражатқа қатарға енгізу датасы; салық және басқа міндетті төлемді есеп-қисаптары; өсімнің, айып пұлдың есеп-қисаптары; мәлімдеудің мезгіл өзгертуімен салық міндеттеме атқарулары салық төлеуімен және сомалардың салық тексерулердің нәтижелерімен .

### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 Чекаева Е. Электронные формы налоговой отчетности. Бюллетень бухгалтера –2004 – №18 – б. 9-11.

2 Сапарбаев А.Д. – Информационные технологии в системе налогообложения //Банки Казахстана – 2002 – №7 – б. 9-12.

3 Правительство РК. Положение о комитете финансового контроля Ми4. нистерства РК//САПП РК — 2000 – №11-12 – б.249-257.

4 Инкербаев Ж.Д. Ответственность за совершение правонарушений в сфере налогообложения // Налоговый эксперт – 2001 – №12 – с. 8- 15.

5 Глушков В. М. “Основы безбумажной информатики”,- М.: Наука, 1987 г. 215б.

6 Акодис И.А. Показатели рентабельности и их анализ в условиях АСУ. - М.: Финансы, 1975.

7 «Основы инженерной психологии» под ред. Ломова Б. Ф., М.: Высшая школа, 1986 г. 215б.

8 Гофман В.Э., Хомоненко А.Д. Delphi. 6. Наиболее полное руководство. – СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2002.- 208б.:ил.

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ. 11.12.2011 ж. редакцияға материал түсті.

А.П. КИСЛОВ, С.А. МЕНДЫБАЕВ, Д.С. АЙТЕЕВ  
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ НАЛОГОВОГО  
КОМИТЕТА РЕСПУБЛИКИ

A.P. KISLOV, S.A. MENDYBAYEV, D.S. AYTEEV  
THE PRESENT STATE OF THE TAX COMMITTEE OF KAZAKHSTAN  
AND THE CHARACTERISTICS OF INFORMATION FLOW IN IT

### Резюме

*В статье анализируется современное состояние работы налогового комитета Республики Казахстан и рассматриваются характеристики информационных потоков.*

### Resume

*In the article the modern condition of the functioning of the tax committee of the Republic Kazakhstan is analysed and information flow are considered features.*

ӘОЖ 861.51:665.66.041.454

### А.П. КИСЛОВ, С.А. МЕНДЫБАЕВ, Е.Б. АМРЕНОВ МҰНАЙ ӨНДЕУ ӨНДІРІСІНДЕ КҰБЫРЛЫ ПЕШТЕГІ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ АНАЛИЗІ ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ ШЕШІМ ТАҢДАУ

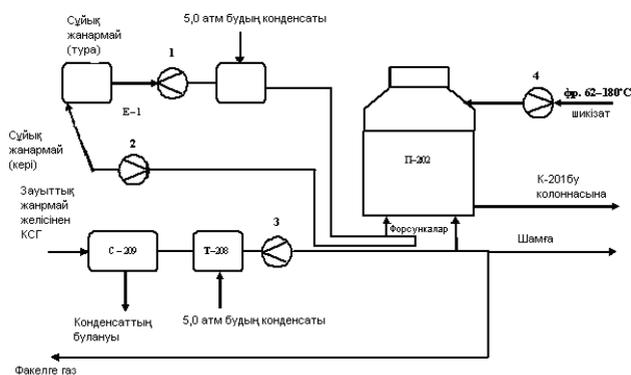
Қазіргі уақытта зауытта өз күшімен жасалған, зауытпен түрлі ұйымдардан сатылып алынған түрлі ақпараттық жүйелер әрекет етеді, SCADA–топтамалар бар және пайдаланылады [1].

Гидротазалауды бензинді, керосинді және дизелді фракцияларды күкірттен, сондай-ақ азот құрамды және оттегі құрамды қоспалардан, металлдардан тазарту үшін қолданады. Гидротазалауды алюмокобальтмолибденді, алюмоникельмолибденді катализаторларда жүргізеді.

Гидротазалау кезінде гидрогенизат шығысы 90–95 %, ал күкіртсіздену дәрежесі 90–99 %. Гидрогенизаттан басқа гидротазалау өнімдеріне құрғақ газ (желдеткіш), тұрақтану газдары және күкіртеутек жатады.

Бензинді гидротазалау үрдісінің аппараттық-технологиялық сызбасына сәйкес бу колоннасында тұрақсыз гидрогенизаттан су мен газды буланудың технологиясын қолданады, гидрогенизатты қыздыру үшін П–202 пешті пайдаланды [3].

Пешке жанармай мен шикізатты беруді автоматтандырудың принципіалды сызбасы 1.1 суретте көрсетілген.



1.1 Сурет – Құбырлы пеш автоматтандыруының принципіалды сызбасы

Мазутты беру Е–1 жанармайлы сыйымдылықтан Н–1 (Н–2) сорғылардан жүзеге асырылады. Мазуттың қатып қалуын болдырмау үшін барлық пештердегі жалпы құбырлар бойынша, сондай-ақ әр пешке және барлық форсункаларға құбырлар бойынша оның циркуляциясы қарастырылған.

Мазутты қыздыру үшін Т–207 қыздырғыш қолданылады. Қондырғының барлық пештеріне мазут шығыны тура және кері мазут сызықтарында бір және екі аспаптармен өлшенеді.

Жанармайлы газ пештерге (КСТ) С–209 сепаратор арқылы ЛК– 6У қондырғысының (зауыттың) жанармайлы желісіне түседі.

С–209 сепараторда бөлінбеген конденсатты буландыру үшін Т–208 қыздырғыш орнатылған. Жанармайлы газ шығыны аспаппен үш тіркеледі.

Қысымды түсіру үшін газ құбырлары факелді сызыққа қосылады, ал жөндеу алдында газдан сызықты желдету үшін шырақтар бар. Зауыттық желіден жедел сөндіру үшін жанармайлы газдың секцияға енгенде электрлік тартпа орнатылған.

Қыздыру үшін шикізатты пешке беру (62–180°С бензинді фракция) 4 аспаппен тіркеледі. Қыздырылған өнім П–202 пештен К–201 бу колоннасына түседі [8].

Пешті автоматты реттеуге жатады: пештен шыққандағы шикізаттың температурасы (62–180°С фракциясы), П–202 пештегі шикізаттың шығыны және жылан түтіктегі қысым (жанармайлы газ құбырында пешке енгенде).

Негізінен барлық ақпарат тек монитор экрандарында көрсетіледі, ал басқару мен реттеу көп жағдайда дистанциялы немесе қолмен жүзеге асырылады.

Бұл технологиялық үрдіс операторлардың жұмысын тежейді, ұзақ уақыт алады [9].

Технологиялық үрдіс пен дербес компьютер көмегімен (қақпашаларды, тартпаларды, шиберлерді ашу мен жабу; атқарушы механизмдермен басқару) басқаруға мүмкіндік беретін басқарудың жайғастырылған жүйесі (БЖЖ) ПМХЗ әлсіз қолданылады.

Болашақта БЖЖ ендіру сутек алу қондырғыларында жоспарланған. Сұйытылған газ паркінде БЖЖ ақпараттық жүйе (АЖ) сияқты ақпаратты көрсету режимінде жұмыс істейді, басқару сондай-ақ шиттерден жүзеге асырылады.

Ақпараттық жүйе мәліметтері текстік файлдар түріндегі мәліметтер базасына (МБ) беріледі және кәсіпорын жұмыскерлері үшін оперативті қол жетімді болып саналады.

ЛК–6У ақпараттық жүйесі дербес компьютер базасында орындалды және пайдаланушы үшін ыңғайлы және оңай түрдегі қолданбалы бағдарламаларда оны әрі пайдалану мен қондырғының технологиялық үрдісінің жүрісі туралы бақылау-өлшеу құралдарының датчиктерінен ақпаратты ұзақ сақтау, өңдеу және жинау үшін арналған бағдарламалық-техникалық кешен ретінде көрсетіледі.

Технологиялық параметрлер күйінің белгілері технологиялық жабдықта тура орнатылған бақылау-өлшеу құралдарының датчиктерінен түседі.

ЛК–6У қондырғыларда АЖ қосылатын температура датиктері ретінде термопаралар қолданылады.

Денгей, шығын және қысымды өлшеу датчиктері ретінде 0,2–1,0 кгс/см<sup>2</sup> пневматикалық шығыс белгісі бар дифманометрлер, манометрлер, денгей өлшеуіштер пайдаланылады.

ЛК–серверде мәліметтер базасы бар, мәндер қоры сақталады, МБ (материалды баланс), ТЭЖ (техникалық-экономикалық көрсеткіш), режимді парақтар есебі жүргізіледі, басқа жүйелер үшін мәліметтерді қалыптастыру, зертханалық талдаулар тығыздығының автоматты енуін жүзеге асырады.

Технологиялық секцияларда жүрген пайдаланушылардың ДК-де (дербес компьютер) операторлықта бағдарламалық қамсыздандыру орнатылған.

Бұл бағдарламалық қамсыздандыру қондырғылардың технологиялық үрдісі параметрлерінің күйін мнемосызбалар, кестелер, трендтер түрінде оперативті және көрнекі көрсетуге және бұзушылықтар хаттамасына жағдайларды жазу арқылы технологиялық регламенттердің бұзылуы туралы белгі беруге мүмкіндік береді.

Құжаттар архивтеледі және зауыттық компьютерлік желі бойынша пайдаланушыларға қол жетімді болуы мүмкін.

Қосымша, мәліметтер базасында бар әр технологиялық параметр бойынша пайдаланушылар уақыттың кез-келген кезеңіне трендтерді алулары мүмкін.

Зертханалық талдаулар мен өлшеулер, технологиялық режим бойынша барлық оперативті ақпарат зауыттың пайдаланушыларына қол жетімді зауыттың технологиялық сайтына шығарылады.

Кез-келген технологиялық үрдіс үрдіс көрсеткіштерімен сипатталады. Бір үрдіске көрсеткіштер тұрақты болуы мүмкін, басқаларына белгілі бір заң бойынша берілген шекте олардың өзгеруіне рұқсат беріледі. Басқару үрдісінде әдейі өзгертін немесе өзгеріссіз қалатын объектінің физикалық көрсеткіштері басқарушы шамалар деп аталады [9].

Басқарылатын объект және басқарушы құрылғы автоматты басқару жүйесін құрайды.

Объектінің күйін анықтайтын әсерлер шығыс деп аталады.

Шығыс айнымалылар ретінде материалды энергетикалық ағындардың (температура, қысым, олардың уақыт бойынша туындысы) физикалық параметрлері, конструкциялық параметрлер, технологиялық үрдіс жылдамдығына әсер ететін технологиялық параметрлер, дайын өнім шығысы мен сапасы жатады. Шығыс айнымалылардың бір бөлігін қадағалау құрылғылардың көмегімен бақылауға болады – олар бақылаушы деп аталады (У). Осы айнымалылар бойынша басқару жүреді.

Жүйенің немесе оның бөлігіне сыртқы әсерді сипаттайтын шама кіріс айнымалылар деп аталады. Оларға басқарушы және қоздырушы әсерлер жатады.

Басқарушы әсерлер dY болып басқарылатын шығындар өзгерісі, материалды және энергетикалық ағындар параметрлері (шикізатты беруді, жылу үрдістерін, жетек айналымының жиілігін реттеу) саналады.

Сыртқы орта әсері деп қоздырушы әсерлер F деп атаймыз. Қоздырушылар бақыланатын және бақыланбайтын жеп бөлінуі мүмкін. Олар жүктеу мен бөгет болып бөлінеді.

Жүктеу – бұл жүйеге басқарушы құрылғыдан басқа түсетін және объектінің айнымалы күйіне әсер ететін жұмыс шартының өзгерісіне қоздырушы әсер.

Бөгет – жүктеу, объектінің күйі мен динамикалық қасиеттері туралы басқарушы құрылғыға түскен ақпаратты бұрмалайтын қоздырушы әсер (құрамның, бастапқы материалдардың энергетикалық күйінің өзгеруі, жабдықтың тоқтауы, сымдардағы дәлдеу, шу және т.б.).

Басқарудың технологиялық объектісі – бұл технологиялық жабдық пен онда іске асатын технологиялық үрдіс жиынтығы.

Сәйкесінше, бізбен қарастырылатын ЛК–6У қондырғысы С–200 секциясының П–202 құбырлы вертикалды-секциялы пеш басқарудың технологиялық объектісі болып саналады.

Құбырлы пештерде жылуды беру және жану үрдісімен басқарудың жалпы міндетіне басқарудың келесі міндет салалары жатады

- қыздырылатын өнімнің температурасы автоматты реттеу;
- пештегі шикізат шығынын автоматты реттеу;
- пешке енгендегі шикізат қысымын автоматты реттеу;

- жанармай, сондай-ақ сұйық жанармайды шашу үшін бу немесе ауа қысымын автоматты реттеу;

- қыздырғыштардан кейін мазут температурасы және жанармай газдың температурасын автоматты реттеу.

Келесі технологиялық параметрлерді қадағалау қажет:

- мазут шығыны, пештегі жанармай газының шығыны;
- пештің түрлі нүктелеріндегі температура;
- жөнелтілген газдар шоғыры.

Вертикалды-секциялы құбырлы пеш П–202 автоматтандыру объектісі ретінде алынды, себебі берілген пештермен БАЖ өзгерістері С–100 секциялы пештердің жұмысын басқару жүйесіне өзгерістерге қарағанда аз кеселді.

## ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 Переработка нефти по топливному варианту: Учеб. пособие для рабочего образования – М.: Химия, 1988. – 96 б.

2 Н.Р. Ентус Технологическое обслуживание и модернизация трубчатых печей – М.: Машиностроение, 1968. – 248б.

3 Н.Р. Ентус Трубчатые печи – М.: Химия, 1977. – 224б.

4 Карманный справочник нефтепереработчика. – Л.: Химия, 1989. – 464б.

5 К.Я. Иванец, А.Н. Лейбо Оборудование нефтеперерабатывающих заводов и его эксплуатация – М.: Химия, 1966. – 344б.

6 Б.З. Барласов, В.И. Ильин Наладка приборов и систем автоматизации: Учебник для сред. проф. – техн. училищ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1980 – 351б.

7 РНД 211.2.01–97. Методика расчёта концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Алматы: Минэкологии, 1997.

8 Тепловая работа и автоматизация печей. (Введение в специальность). Ярошенко Ю.Г. М.: Металлургия, 1984. - 208с.

9 Техническое обслуживание и модернизация трубчатых печей. Ентус Н.Р.М.: Машиностроение, 1968, 192с.

10 Автоматическое регулирование. Клоев А.С. М. Высшая школа, 1986. - 352с.

11 Теория автоматического управления. Ерофеев А.А. Санкт-Петербург, 2005. - 304с.

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ. 11.12.2011 ж. редакцияға материал түсті.

А.П. КИСЛОВ, С.А. МЕНДЫБАЕВ, Е.Б. АМРЕНОВ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕШЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ  
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРУБЧАТОЙ ПЕЧИ  
НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

A.P. KISLOV, S.A. MENDYBAYEV, E.B. AMRENOV  
 AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR THE OIL REFINERY TUBULAR FURNACE AND SELECTION OF THE REQUIRED ENGINEERING SOLUTIONS

**Резюме**

В статье анализируется автоматизированная система управления трубчатой печи нефтеперерабатывающего производства и проводится выбор необходимых технических решений.

**Resume**

In the article, the automated control system for the oil refinery tubular furnace has been analyzed and the required engineering solutions were selected.

УДК 621.395.52

**А.П. КИСЛОВ, А.С. ЗВОНЦОВ**  
**ТРЕБОВАНИЯ К ПОЛОСЕ ПРОПУСКАНИЯ СЕТИ НА**  
**ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ NGN**

Требования к полосе пропускания определяются гарантиями качества обслуживания, предоставляемыми оператором пользователю. Параметры QoS (Quality of service – качество обслуживания) описаны в рекомендации ITU Y.1541. [1-4]

В частности, задержка распространения из конца в конец при передаче речи не должна превышать 100 мс, а вероятность превышения задержки порога в 50 мс не должна превосходить 0,001, т.е.

$$\begin{aligned} \bar{t}_p &\leq 100 \text{ мс} \\ p\{t_p > 50 \text{ мс}\} &\leq 0,001 \end{aligned}$$

Задержка из конца в конец складывается из следующих составляющих

$$t_p = t_{\text{пакет}} + t_{\text{ад}} + t_{\text{core}} + t_{\text{ад}} + t_{\text{буф}} \quad (1)$$

где  $t_p$  – время передачи пакета из конца в конец;

$t_{\text{пакет}}$  – время пакетизации (зависит от типа трафика и кодека);

$t_{\text{ад}}$  – время задержки при транспортировке в сети доступа;

$t_{\text{core}}$  – время задержки при распространении в транзитной сети;

$t_{\text{буф}}$  – время задержки в приёмном буфере.

Таблица 1

Параметры кодеков

Кодек	Технические характеристики				
	Скорость передачи, кбит/с	Длительность датаграммы, мс	Задержка пакетизации, мс	Полоса пропускания, кГц	Теоретическая максимальная оценка MOS
G.711u	64	20	1	174,4	4,4
G.711a	64	20	1	174,4	4,4
G.72632	32	20	1	110,4	4,22
G.729	8	20	25	62,4	4,07
G.723m	6,3	30	67,5	43,73	3,87
G.723a	5,3	30	67,5	41,6	3,69
G.711u	64	20	1	174,4	4,4
G.711a	64	20	1	174,4	4,4
G.72632	32	20	1	110,4	4,22
G.729	8	20	25	62,4	4,07

Из таблицы 1 видно, что применение низкоскоростных кодеков «съедает» основную часть бюджета задержки. Задержка в приёмном буфере также велика, поэтому на сеть доступа и транспортная сеть должны обеспечивать минимальную задержку.

Допустим, что задержка сети доступа не должна превышать 5 мс [8,9].

Время обработки заголовка IP-пакета близко к постоянному.

Распределение интервалов между поступлениями пакетов соответствует экспоненциальному закону. Поэтому для описания процесса, происходящего на агрегирующем маршрутизаторе, можно воспользоваться моделью M/G/1 [1-4].

Для данной модели известна формула, определяющая среднее время вызова в системе (формула Полячека – Хинчина) [6].

$$\bar{\tau}_{\text{ад}} = \frac{\tau \cdot (1 + C_b^2)}{2 \cdot (1 - \lambda \cdot \tau)}$$

где  $\tau$  – средняя длительность обслуживания одного пакета;

$C_b^2$  – квадрат коэффициента вариации,  $C_b^2 \in [0, 2]$ ;

$\lambda$  – параметр потока,  $\lambda = 132700$ ;

$\tau_{ад}$  – среднее время задержки пакета в сети доступа.

$$\bar{\tau}_{ад} = \frac{\tau \cdot (1 + C_b^2)}{2 \cdot (1 - \lambda \cdot \tau)} = 0,0042(с)$$

Ненулевой коэффициент вариации учитывает возможные отклонения при использовании в заголовках IP полей ToS (Top of Stack). Кроме того, время обработки IP-пакета в значительной мере зависит от используемых на маршрутизаторе правил обработки [5].

Из формулы следует зависимость максимальной величины для средней длительности обслуживания одного пакета от среднего времени задержки в сети доступа.

$$\tau = \frac{1}{\lambda + \frac{1 + C_b^2}{2 \cdot \tau_{ад}}} = 7,03 \cdot 10^{-4}$$

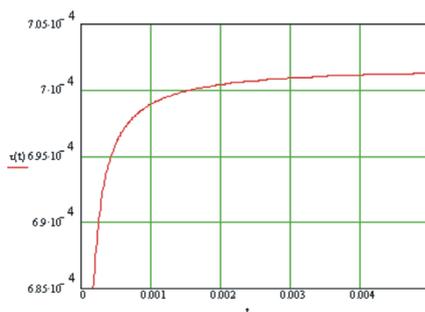


Рисунок 1 – Зависимость максимальной величины для средней длительности обслуживания одного пакета от среднего времени задержки в сети доступа

Интенсивность обслуживания связана со средним временем задержки пакета в сети доступа обратно пропорционально

$$\beta = \frac{1}{\tau} \quad (2)$$

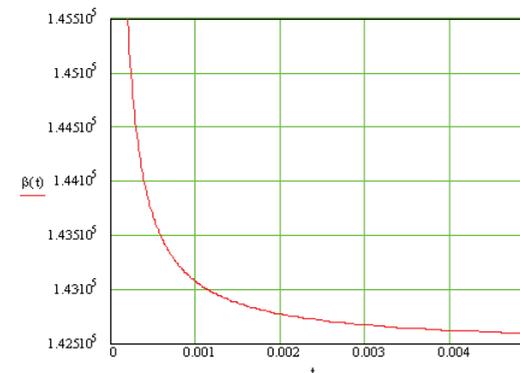


Рисунок 2 – Зависимость интенсивности обслуживания от времени задержки в сети доступа

При норме задержки  $\tau_{ад} = 4,2$  мс среднее время обслуживания пакета (для рассчитанной выше пропускной способности) будет равно

$$\tau(0,0042) = \frac{1}{132700 + \frac{1 + 0,2}{2 \cdot 0,00042}} = 7,03 \cdot 10^{-6} (сек)$$

Время  $\tau$  должно выбираться как минимальное из двух возможных значений. Первое значение – величина, полученная из последней формулы. Второе значение – та величина, которая определяется из условия ограничения загрузки системы –  $\rho$ . Обычно эта величина не должна превышать 0,5.

При среднем значении задержки в сети доступа 5 мс коэффициент использования равен

$$\rho = \lambda \cdot \tau(0,0042) \quad (3)$$

Откуда

$$\rho = 132700 \cdot 7,03 \cdot 10^{-6} = 0,999158$$

При таком высоком использовании малейшие флуктуации параметров могут привести к нестабильной работе системы.

Определим параметры системы при её использовании на 50%.

Средняя длительность обслуживания будет равна

$$\tau = \frac{\rho}{\lambda} \quad (4)$$

$$\tau = \frac{0,5}{132700} = 3,7 \cdot 10^{-6} (сек)$$

Интенсивность обслуживания при этом

$$\beta = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{3,7 \cdot 10^{-6}} = 1,423 \cdot 10^5$$

Задержка в сети доступа

$$\bar{\tau}_{ад} = \frac{\tau \cdot (1 + C_b^2)}{2 \cdot (1 - \lambda \cdot \tau)} = \frac{3,7 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 0,2)}{2 \cdot (1 - 132700 \cdot 3,7 \cdot 10^{-6})} = 4,35 \cdot 10^{-6} \text{ (сек)}$$

Рассчитывать вероятность  $s(t) = 1 - e^{-\frac{1-\lambda}{\tau}t}$  при известных  $\lambda$  и  $\tau$  нецелесообразно, т.к. в Y.1541 вероятность  $p\{t_p > 50 \text{ мс}\} \leq 0,001$  определена для передачи из конца в конец [5-8].

При известном среднем размере пакета  $h$  байт получаем требуемую полосу пропускания

$$\varphi = \beta \cdot h = 1,423 \cdot 10^5 \cdot 200 = 2,84 \cdot 10^7 \text{ (байт / с)} = 2,28 \cdot 10^8 \text{ (бит / с)}$$

Данная пропускная способность обеспечивается системами передач не ниже STM-4 [6-8].

Предположим, что в структурном составе абонентов отсутствуют «новые» группы пользователей. При этом в вышеприведённом анализе следует опустить расчёт числа пакетов, возникающих при использовании сервисов высокоскоростной передачи данных и видеоуслуг.

Число пакетов в секунду

$$N_{\text{мел\_сек}} = \frac{T_{\text{мел}}}{3600} = n \cdot t \cdot f \cdot \frac{N}{3600} \quad (5)$$

$$N_{\text{мел\_сек}} = 50 \cdot 120 \cdot 5 \cdot \frac{4000}{3600} = 33333 \text{ (пак / с)}$$

Среднее время обслуживания одного пакета при норме задержки 4,2 мс

$$\tau(0,0042) = \frac{1}{33333 + \frac{1+0,2}{2 \cdot 0,0042}} = 2,97 \cdot 10^{-5}$$

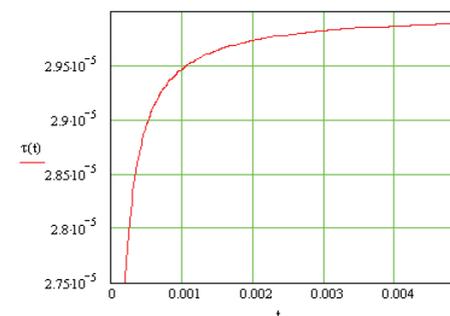


Рисунок 3 – Зависимость максимальной величины для одного пакета от среднего времени задержки в сети доступа без учета «triple play»

При использовании системы на 50%

$$\tau = \frac{0,5}{33333} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ (с)}$$

$$\beta = \frac{1}{\tau} = 6,667 \cdot 10^4$$

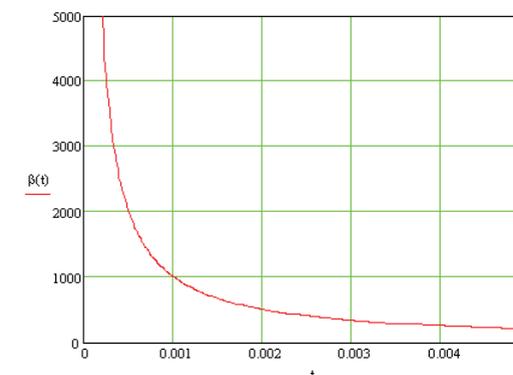


Рисунок 4 – Зависимость интенсивности обслуживания от времени задержки в сети доступа

Такой концентратор можно подключать по интерфейсу 100BaseTX [8-10].

Полученные результаты позволяют судить о том, что при востребованности мультимедийных услуг даже небольшой группой абонентов требования к полосе пропускания изменяются радикально.

Поэтому при планировании сети доступа NGN необходимо, во-первых, провести тщательный анализ потребностей абонентов, и, во-вторых,

предусмотреть значительный запас полосы пропускания на случай изменения абонентского состава сети доступа.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 IETF. RFC 1889. RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. // Lawrence Berkeley National Laboratory, 1996, №2. – p. 12-15.
- 2 ITU-T. General overview of NGN. // Recommendation Y.2001. – Geneva, 2004.
- 3 ITU-T. General overview of the Global Information Infrastructure standards development. // Recommendation Y.100. – Geneva, 1998.
- 4 ITU-T. General principles and general reference model for Next Generation. // Networks Recommendation Y.2002. – Geneva, 2004.
- 5 Гольдштейн Б.С. Пути развития АТС. – М.: «Connect.Мир связи», 2003. – 598 с.
- 6 Л.Клейнрок. Теория массового обслуживания. – М.:Alvares Publishing, 1998. – с.65-69.
- 7 Соколов Н.А. Семь аспектов развития сети доступа. // Технологии и средства связи, 2005, №3. – с.105-111.
- 8 Соколов Н.А. Эволюция местных телефонных сетей. – ТОО “Книга”, Пермь, 1998. – 198 с.
- 9 Соколов Н.А.. Выбор технологии коммутации для сетей следующего поколения. – <http://www.nicksokolov.ru>.
- 10 Соколов Н.А. Принципы построения телекоммуникационных систем. // Телекоммуникационные сети, 2007, №1. – с.71-110.

Павлодарский государственный университет имени С.Торайгырова, г.Павлодар. Материал поступил в редакцию 11.12.2011.

А.П. КИСЛОВ, А.С. ЗВОНЦОВ  
 NGN НЕГІЗІНДЕ ЖЕЛІНІҢ ӨТКІЗУ АЛАСЫНА ҚОЙЫЛАТЫН  
 ТАЛАПТАР  
 A.S. KISLOV, A.P. ZVONTSOV  
 REQUIREMENTS TO THE NETWORK PASSBAND ON THE BASIS  
 OF NGN CONCEPT

#### Түйіндеме

Мақалада NGN желілеріндегі IP пакеттерінде сипатын анықтау міндеті туралы айтылады. Осы міндетті орындау үшін IP пакеттерінің үдерісін бірдей боп кемтік кестелердің имитациялық үлгілері құру қажет. Қолданушысын үш тобына арналған өнімділіктің толық сипаттамасы берілген.

Мәліметтерді өткізгіштер арқылы берудің тиімді кодектері және олардың толық сипаттамасы қарастырылды.

#### Resume

The article considers the task to define the character of flow of IP packets in the NGN networks. The task is solved at the expense of construction of graphics imitation models, which is identical to real exchange process of IP packets. The article also considers the full characteristic of productivity for three groups of users.

The optimal codecs for wire data transfer and their detailed characteristic are dwelled upon.

УДК 621.391.6:621.376.5

### А.П. КИСЛОВ, А.О. ЮСУПОВА, А.А. БЕКТАСОВА АНАЛИЗ ПЕРЕДАТЧИКОВ С ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

В радиолокации, радионавигации и некоторых специальных системах используются ВЧ колебания с прямоугольной огибающей и имеющих скважность Q импульсов десятки, сотни, тысячи. В зависимости от назначения передатчиков длительность импульсов может быть различной – от наносекунд до милсекунд.

Из-за широкой полосы частот передатчики, излучающие более короткие импульсы, работают на более коротких волнах: при наносекундных импульсах – в диапазоне миллиметровых волн, при микросекундных импульсах – в диапазоне сантиметровых и дециметровых и т.д.

Средняя мощность импульсных колебаний ВЧ  $P_{cp}$  определяется отношением энергии, выделенной за время  $\tau_u$ , к периоду T (рисунок 1)

$$P_{cp} = P_{имп} \cdot (\tau_u / T) = P_{имп} / Q;$$

где  $P_{имп}$  – мощность в импульсе.

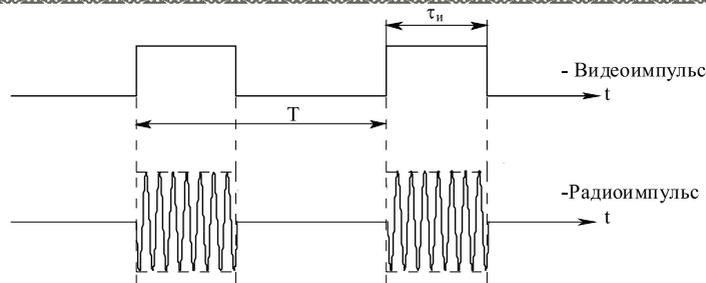


Рисунок 1

Спектр радиои́мпульса определяется длительностью прямоугольной огибающей, т.е. длительностью видеоимпульса.

Верхняя частота спектра определяется соотношением

$$f_B = (0,3 \div 0,4) / \tau_\phi,$$

где  $\tau_\phi$  - длительность фронта видеоимпульса

В среднем  $\tau_\phi = 0,1\tau_u$ , тогда  $f_B = (3 \div 4) / \tau_u$ .

Например, для  $\tau_u = 1 \text{ мкс}$ ,  $f_B = 3 \div 4 \text{ МГц}$ , а полоса спектра, занимаемая радиои́мпульсом при АМ,  $\Delta f = 2f_B = 6 \div 8 \text{ МГц}$ .

Таким образом, импульсные передатчики занимают широкую полосу частот. При этом высокой стабильности средней частоты не требуется, поскольку полоса широкая и уход средней частоты не будет сильно влиять на качество передачи. Схемы не требуют стабилизирующих цепей, т.е. многокаскадности.

В принципе может применяться однокаскадный передатчик, например, на одном магнетроне.

На практике, однако, в связи с повышением требований к качеству передатчиков, используются многокаскадные импульсные передатчики.

Поскольку мощность в импульсе  $P_{\text{имп}}$  в сотни или тысячи раз превышает среднюю мощность, то целесообразно применять генераторные лампы или другие электронные приборы (активные элементы) специальной конструкции, обеспечивающей большие кратковременные импульсы анодного тока при высоких напряжениях анодного питания и относительно малых значениях мощности рассеиваемой на электродах. Оксидные катоды таких ламп могут работать при микросекундных и меньших длительностях импульсов. При значениях  $\tau_u$  в десятки мкс наступает «отравление» катода и лампа теряет эмиссию. Поэтому используются обычные генераторные лампы с тарированными карбидированными катодами, предназначенными для работы в непрерывном режиме.

В импульсном режиме анодное напряжение лампы форсируется до  $25 \div 30 \text{ кВ}$ , а также повышается напряжение возбуждения. Выпускаются для импульсной модуляции и специальные лампы.

Импульсный режим в принципе можно осуществить и методами АМ. Однако усиление импульсных ВЧ колебаний с большой скважностью, без снятия анодного питания во время пауз имеет существенные недостатки. Основной недостаток - увеличивается средняя мощность рассеяния на аноде, что может вывести лампу из строя.

В связи с этим широкое распространение получила импульсная модуляция в анодной цепи лампы.

Импульсная анодная модуляция может осуществляться одновременно в двух и более смежных каскадах ВЧ или в сочетании с манипуляцией в сеточной цепи.

При импульсной анодной модуляции экономически невыгодно использовать источники постоянного напряжения. Поэтому на практике используются схемы питания, в которых реактивность (емкость или индуктивность) длительно накапливает энергию, получаемую от источников постоянного тока, т.е. происходит так называемый заряд накопителя. Затем накопитель отдает энергию кратковременно в виде импульса (разряд накопителя). Подобные устройства, называются импульсными модуляторами.

В самом общем случае в зависимости от того, какой из параметров импульсов меняется, различают три основных вида модуляции:

1. Амплитудно-импульсную (АИМ).
2. Широко-импульсную (ШИМ).
3. Фазово-импульсную (ФИМ).

В генераторах на триодах, используемых в РЛС метровых и дециметровых волн, возможна модуляция на сетку и на анод.

Модуляции на сетку присущи недостатки:

1. Увеличение потерь в анодной цепи в связи с появлением термотока сетки, который в импульсных лампах оказывается значительным вследствие большой мощности накала и близкого расположения сетки к катоду.
2. Уменьшение электрической прочности ламп, т.к. анодное питание не снимается.

Достоинство: требуется меньшая мощность модулятора. На практике, однако, такой способ применяется редко.

Основной в РЛС является модуляция на анод. В момент пауз генерация отсутствует, т.к. напряжение на аноде лампы равно нулю. В моменты работы генератора на анод лампы подается импульс высокого напряжения от модулятора.

Достоинства анодно-импульсной модуляции:

1. Величина импульсного напряжения может быть значительно больше постоянного.

2. Отпадает необходимость в большом отрицательном смещении в цепи сетки.

### Классификация импульсных модуляторов

Приведём структурную схему импульсного модулятора (рисунок 2):

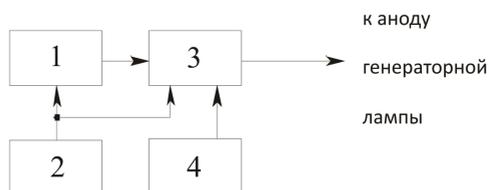


Рисунок 2

1. Накопитель.
2. Источник питания.
3. Коммутатор.
4. Подмодулятор (может отсутствовать).

Различают модуляторы с емкостными, индуктивными накопителями и накопителями на основе длинных линий (наиболее перспективные модуляторы).

1. Емкостные накопители накапливают электрическую энергию при разомкнутом коммутаторе (в паузах между импульсами) и отдают её генератору при замкнутом коммутаторе.

2. В индуктивных накопителях энергия накапливается в магнитном поле катушки при замкнутом коммутаторе и отдается генератору при разомкнутом, когда разрыв тока в катушке вызывает появление большой ЭДС самоиндукции.

3. В длинных линиях при разряде на активное сопротивление, равное её волновому сопротивлению, на нагрузке создается близкий к П-образному импульс напряжения.

В качестве коммутаторов, позволяющих осуществить быструю коммутацию больших токов (сотни ампер) и напряжений (десятки киловольт), используются искровые вращающиеся разрядники, тиратроны и тригатроны, а также нелинейные индуктивности.

При этом их называют «мягкими» коммутаторами, а если в коммутаторе используются электронные лампы, то «жесткими» коммутаторами.

В «мягких» коммутаторах можно управлять только началом процесса разряда. Начавшийся разряд уже нельзя прервать и он продолжается до тех пор, пока напряжение не упадет до величины напряжения затухания. Такой характер работы коммутатора приводит к полному разряду накопителя.

Преимущество «мягких» коммутаторов - простота конструкции, малые габариты и вес.

Недостатки:

1. Невозможность работы на размыкание.
2. Зависимость формы импульса от длительности разряда.

«Жесткие» коммутаторы на лампах могут быть использованы, как и при замыкании, так и при размыкании.

Достоинство: Форма импульса близка к прямоугольной.

Недостаток: Необходимость в больших запирающих напряжениях для сетки. Это снижает КПД.

Требования, предъявляемые к модуляторам РЛС:

1. Минимальное время нарастания и спада импульса.
2. Малое изменение амплитуды в течение длительности импульса.
3. Минимум внутреннего сопротивления.
4. Максимум импульсной и средней мощности.

Высокая крутизна фронта нарастания  $t_H = (0,1 \div 0,2)\tau_n$  увеличивает точность фиксации времени начала импульса, а, следовательно, повышает точность определения координат объекта.

### Модуляторы с частичным и полным разрядом накопителя

Модуляторы с частичным разрядом накопителя. Обычно применяют емкостные накопители или искусственные длинные линии.

Приведём два варианта эквивалентных схем импульсных модуляторов с частичным разрядом накопителя (рисунок 3) и (рисунок 4).

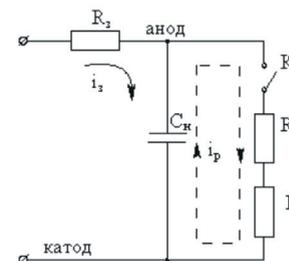


Рисунок 3

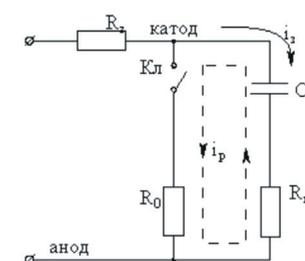


Рисунок 4

На рисунке 3. Сопротивление  $R_r$  генератора не входит в цепь заряда и включено последовательно с ключом  $K_n$ . При этом медленный заряд конденсатора  $C_n$  происходит через сопротивление  $R_3$ , а разряд – через сопротивление  $R_0 + R_r$  (сопротивление  $R_3 \gg R_0 + R_r$  и на разряд не влияет).

На рисунке 4. Заряд конденсатора происходит через сопротивления  $R_3$  и  $R_r$ , а разряд также, как и в первом варианте.

Применение каждого из вариантов связано с тем, какой из электродов генератора заземлён (анод или катод)

Постоянная времени заряда до уровня  $0,9 E_0$  и разряда во второй схеме (рисунок 4):  $\tau_3 = 2.23 \cdot C_H \cdot (R_3 + R_T)$ ;

$$\tau_p = C_H \cdot (R_0 + R_T);$$

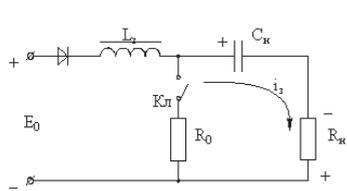


Рисунок 5

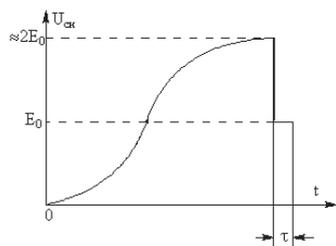


Рисунок 6

При разряде период собственных колебаний зарядной цепи должен быть согласован с периодом следования импульсов.

$$U_{C3} \approx E_0 (1 - e^{-t/\tau_3})$$

Индуктивность зарядного дросселя  $L_3$  с ёмкостью  $C_H$  образуют контур с периодом собственных колебаний

$$U_{CP} \approx E_0 \cdot e^{-t/\tau_p};$$

Изменение напряжения на контуре в течение длительности импульса  $\tau_n$

$$\Delta U = E_0 (1 - e^{-t/\tau_p}) \approx E_0 \cdot (\tau_n / \tau_p).$$

Схемы с частичным разрядом позволяют создавать импульсы напряжения близкие по форме к прямоугольным, но обладают малым КПД (рисунок 6).

Модуляторы с полным разрядом накопителя также получили широкое распространение в РЛС.

В качестве накопительного элемента используется искусственная длинная линия, а управление работой осуществляется «мягким» коммутатором.

Достоинство: Получение больших мощностей, высоких напряжений и большого КПД вследствие уменьшения внутреннего сопротивления коммутатора.

Для реализации этого применяют резонансный метод заряда длинной линии от источника питания ( $\sim$  или  $=$ ). Такой заряд накопителя, в отличие от заряда через активное сопротивление, позволяет получить высокий КПД (до 95%) и, почти, удвоенное напряжение на зарядном элементе.

С помощью индуктивных накопителей заряда также реализуются модуляторы с полным разрядом.

Павлодарский государственный университет имени С.Торайгырова, г.Павлодар. Материал поступил в редакцию 11.12.2011.

А.П. КИСЛОВ, А.О. ЮСУПОВА, А.А. БЕКТАСОВА

ИМПУЛЬСЫ МОДУЛЯЦИЯСЫ БАР ХАБАРЛАҒЫШТАРДЫҢ ТАЛДАУЫ

A.P. KISLOV, A.O. USSUPOVA, A.A. BEKTASOVA

THE ANALYSIS OF TRANSMITTERS WITH PULSE MODULATION

### Түйіндеме

Жұмыста талдаудың нәтижесінде радиоимпульсінің спектрі тік төртбұрышты айналатын ұзақтығымен анықталатыны айқындалған, яғни бейнеимпульстің ұзақтығымен; импульсты хабарлағыштар жиіліктерінің кең жолақтары орналасады. Кең және орташа жиіліктің күтуі жолақ берілуді сапаға ықпал етпейді, сонымен бірге орташа жиіліктің биік тұрақтылығы керек болмайды. Схемалар тұрақтанған шынжырлар талап етпейді, сонымен бірге зарядтың индукциялы жинақтағыштары көмегімен толық дәрежесі бар модуляторларды жүзеге асырады.

### Resume

The analysis of the work revealed that the range of the radio pulse is determined by the length of a rectangular envelope, ie video pulse duration, pulse transmitters occupy a wide band of frequencies. At the same time high stability of the average frequency is not required because the band is wide and the average frequency of care will not greatly affect the transmission quality. Scheme does not require stabilizing chains, ie multistage, with inductive storage charge modulators are also implemented with a full discharge.

УДК 621.395.52.001.24

## А.П. КИСЛОВ, А.С. ЗВОНЦОВ РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МУЛЬТИСЕРВИСНОГО УЗЛА ДОСТУПА СЕТИ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ NGN

Учитывая новые реалии рынка, характерными особенностями которых являются: открытая конкуренция операторов в связи с дерегулированием рынков, взрывной рост цифрового трафика, например, в связи с увеличением использования сети Интернет, повышение спроса на новые мультимедийные услуги, рост потребности в общей мобильности связи, конвергенция сетей и услуг связи и т.д., NGN считают конкретной реализацией ГИИ (глобальной информационной инфраструктуры) [4].

Существует несколько подходов к определению NGN. Однако все они основываются на принципах организации способов предоставления услуг. Одно из наиболее корректных определений звучит следующим образом: «сети следующего поколения – это всеохватывающее понятие для инфраструктуры, реализующей перспективные услуги, которые должны быть в будущем предложены операторами мобильных и фиксированных сетей, одновременно с продолжением поддержки всех существующих на сегодняшний день услуг. Сети следующего поколения используют пакетные технологии передачи и коммутации, базируются на физическом слое оптических каналов, обеспечивают полноценное взаимодействие с существующими сетями» [9].

Очевидно, что требования поддержки широкополосных услуг, мобильности и ряд других подразумевают достаточно высокие тарифы на инфокоммуникационные услуги. Оплачивать такие услуги готовы не все пользователи. Для операторов и поставщиков услуг интересен анализ потенциальной клиентской базы, который позволяет выделить характерные группы с идентичным уровнем платежеспособного спроса.

Всех потенциальных клиентов оператора по уровню приносимого дохода можно условно разделить на 3 группы:

- первая группа («старая», «традиционная») – представляет из всего спектра предоставляемых услуг только телефонию.

- вторая группа пользователей. Кроме телефонной связи, пользуются услугами передачи данных. Количество таких абонентов в процентном соотношении значительно меньше количества «традиционных» пользователей, однако больше числа «продвинутых» абонентов, заказывающих услуги видеоконференций, VoD и т.п.

- третья группа пользователей, использующая весь перечень услуг «triple play» - речь, данные, видеоконференции, VoD (Video on demand – видео по запросу), VoIP (Voice over Internet Protocol – передача голоса поверх протокола межсетевое взаимодействие) и т.д.

Доля абонентов группы 1 составляет  $\pi_1 \approx 80\%$  Это традиционные абоненты, совершающие в среднем  $f_1 = 5$  вызовов в час средней длительностью  $t_1 = 2$  минуты.

Доля абонентов группы 2, использующих голосовые сервисы и сервисы передачи данных, составляет  $\pi_2 \approx 15\%$ . Нагрузка, создаваемая этими абонентами, складывается из двух составляющих: телефония и интернет. Параметры телефонной нагрузки совпадают с аналогичными параметрами для группы  $f_2 = f_1 = 5$  вызовов в час,  $t_2 = t_1 = 2$  минуты.

Доля абонентов группы 3, приносящих наибольший удельный доход, составляет  $\pi_3 \approx 5\%$ . Структура трафика для этих пользователей складывается следующим образом: телефония, интернет, видео.

Параметры трафика телефонии совпадают с аналогичными параметрами для группы 2, т.е.  $f_3 = f_2 = f_1 = 5$  вызовов в час,

$t_3 = t_2 = t_1 = 2$  минуты. При расчёте трафика передачи данных необходимо учесть, что пользователи этой группы, как правило, активнее используют ftp и пиринговые сети. Допустим, что они потребляют до 100 Мбайт трафика. Время просмотра видео в час наибольшей нагрузки достигает 60 минут.

Определим число IP-пакетов, генерируемых каждой группой в час наибольшей нагрузки, при условии, что мультисервисный узел доступа обслуживает  $N = 4000$  абонентов.

Расчёт числа пакетов от первой группы (телефония).

Для расчёта числа пакетов создаваемых пользователями телефонии, необходимо задаться типом используемого кодека. На сегодняшний день в сетях IP-телефонии реально используются кодеки (G.711u, G.723a, G.726-32, G.729, G.723m, G.711a) [1].

Наилучшее качество речи обеспечивает кодек G.711.

Длительность дейтаграммы TPDU равна 20 мс, согласно рекомендации RFC 1889 [2].

При этом в секунду передаётся

$$n_1 = \frac{1}{T_{PDU}} \quad (1)$$

кадров.

где  $T_{PDU}$  – длительность одной речевой выборки (длительность пакета).

$$n_1 = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ (кадров в секунду)}$$

Для определения числа пакетов, генерируемых первой группой абонентов, необходимо учесть их долю в общей структуре пользователей, количество вызовов в час наибольшей нагрузки, среднюю длительность разговора

$$N_1 = n_1 \cdot t_1 \cdot f_1 \cdot \pi_1 \cdot N \quad (2)$$

где  $N_1$  – число пакетов, генерируемое первой группой пользователей в час наибольшей нагрузки.

Подставим данные в формулу (2)

$$N_1 = 50 \cdot 120 \cdot 5 \cdot 0,8 \cdot 4000 = 192 \cdot 10^6 \text{ (пак/час)}$$

**Расчёт числа пакетов от второй группы (телефония и интернет).**

Рассуждения, приведённые для первой группы абонентов, в полной мере можно применить и ко второй группе для расчёта числа пакетов, возникающих в результате пользования голосовыми сервисами.

$$N_{2\_m} = n_1 \cdot t_2 \cdot f_2 \cdot \pi_2 \cdot N \quad (3)$$

где  $N_{2\_m}$  – число пакетов, генерируемое второй группой пользователей в час наибольшей нагрузки при использовании голосовых сервисов.

Подставим данные в формулу (3)

$$N_{2\_m} = 50 \cdot 120 \cdot 5 \cdot 0,15 \cdot 4000 = 18 \cdot 10^6 \text{ (пак/час)}$$

Для расчёта числа пакетов, генерируемых второй группой пользователей при использовании сервисов передачи данных, необходимо задаться размером пакетов. При построении сети NGN, как правило, на одном или нескольких участках сети на уровне звена данных используется та или иная разновидность технологии Ethernet, поэтому использовать пакеты, превышающие максимальную длину поля данных Ethernet, не имеет смысла.[1-3].

Поэтому для расчёта выберем одинаковые размеры пакетов и при передаче данных, и при передаче голосового трафика – полезная нагрузка  $h = 160$  байт.

Для расчёта числа пакетов в час наибольшей нагрузки необходимо задаться объёмом переданных данных. Средний объём данных, переданных за час составит около 10 Мбайт. Число данных, переданных в час наибольшей нагрузки, будет равно

$$N_{2\_o} = \pi_2 \cdot N \cdot \frac{V_2}{h} \quad (4)$$

где  $N_{2\_o}$  – количество пакетов, генерируемых в час наибольшей нагрузки абонентами второй группы при использовании сервисов передачи данных;  
 $h$  – размер поля данных пакета.

Подставив данные получим

$$N_{2\_o} = 0,15 \cdot 4000 \cdot \frac{10 \cdot 10^6}{160} = 37,5 \cdot 10^6 \text{ (пак/час)}$$

Суммарное число пакетов, генерируемых второй группой пользователей в сеть в час наибольшей нагрузки, будет равно

$$N_2 = N_{2\_m} + N_{2\_o}$$

В нашем случае

$$N_2 = (18 + 37,5) \cdot 10^6 = 55,5 \cdot 10^6 \text{ (пак / час)}$$

Расчёт числа пакетов от третьей группы абонентов (triple play).

Все рассуждения, проведённые относительно первых двух групп, остаются в силе и для третьей группы, применительно к сервисам передачи голоса, а именно:

$$N_{3\_m} = n_1 \cdot t_{3\_m} \cdot f_3 \cdot \pi_3 \cdot N \quad (5)$$

где  $N_{3\_m}$  – число пакетов, генерируемое третьей группой пользователей в час наибольшей нагрузки при использовании голосовых сервисов;

$t_{3\_m}$  – средняя длительность разговора в секундах.

$$N_{3\_m} = 50 \cdot 120 \cdot 5 \cdot 0,05 \cdot 4000 = 6 \cdot 10^6 \text{ (пак / сек)}$$

Объём переданных и принятых данных при пользовании интернетом 3-ей группой составляет до  $V_3$  100 Мбайт.

Число пакетов, переданных в час наибольшей нагрузки, будет равно

$$N_{3\_o} = \pi_3 \cdot N \cdot \frac{V_3}{h} \quad (6)$$

$$N_{3\_o} = 0,05 \cdot 4000 \cdot \frac{10 \cdot 10^6}{160} = 12,5 \cdot 10^6 \text{ (пак / сек)}$$

Для расчёта числа пакетов, генерируемых пользователями видео-услуг, воспользуемся соображениями относительно размера пакета, приведёнными в предыдущем пункте. Размер пакета не должен превосходить 160 байт (вместе с накладными расходами) [9].

До мультисервисного узла доходит определённое количество каналов, которые распределяются между заказчиками услуги, причём существует возможность организации широковещательной рассылки.

Допустим, что в мультисервисной сети предоставляется возможность просмотра  $K_{tv} = 40$  каналов вещания. Для обеспечения удовлетворительного качества скорость кодирования должна быть порядка 2 Мбит/с [9].

Итак, при скорости передачи  $v = 2048000$  бит/с и размере полезной нагрузки пакета  $h$  160 байт число пакетов  $n_3$ , возникающих при трансляции одного канала, равно 1600 пак/сек

Количество пакетов, генерируемых 40 каналами в час наибольшей нагрузки, составит

$$N_{3\_o} = n_3 \cdot t_{3\_o} \cdot K_{tv} \cdot 60 \quad (7)$$

где  $N_{3\_o}$  – число пакетов, генерируемое третьей группой пользователей в час наибольшей нагрузки при использовании видео-сервисов;

$n_3$  – число пакетов, генерируемых в секунду одним абонентом при использовании просмотре видео, сжатого по стандарту MPEG2;

$t_{3\_o}$  – среднее время просмотра каналов в час наибольшей нагрузки, мин.

$$N_{3\_o} = 40 \cdot 1600 \cdot 60 \cdot 60 = 230 \cdot 10^6 \text{ (пак / сек)}$$

Суммарное число пакетов, генерируемых третьей группой пользователей в сеть в час наибольшей нагрузки, будет равно

$$N_3 = N_{3\_m} + N_{3\_o} + N_{3\_e} = 248,5 \cdot 10^6 \text{ (пак / сек)}$$

Мультисервисный узел доступа должен обслуживать трафик от всех трёх групп пользователей. Кроме того, именно узел доступа должен обеспечить поддержку качества обслуживания путем приоритизации трафика, которая должна осуществляться независимо от используемой технологии транспортной сети доступа [7-10].

Суммарное число пакетов, которое должен обработать мультисервисный узел доступа, будет равно:

$$N_{\Sigma} = N_1 + N_2 + N_3 = 4,78 \cdot 10^8 (\text{пак} / \text{сек})$$

Среднее число пакетов в секунду равно

$$N_{\Sigma\_сек} = \frac{N_{\Sigma}}{3600} = 132700 (\text{пак} / \text{сек})$$

Данный показатель позволяет оценить требования к производительности маршрутизатора, агрегирующего трафик мультисервисной сети доступа NGN.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 IETF. RFC 1889. RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. // Lawrence Berkeley National Laboratory, 1996, №2. – p. 12-15.
- 2 ITU-T. General overview of NGN. // Recommendation Y.2001. – Geneva, 2004.
- 3 ITU-T. General overview of the Global Information Infrastructure standards development. // Recommendation Y.100. – Geneva, 1998.
- 4 ITU-T. General principles and general reference model for Next Generation. // Networks Recommendation Y.2002. – Geneva, 2004.
- 5 Гольдштейн Б.С. Пути развития АТС. – М.: «Connect.Мир связи», 2003. – 598 с.
- 6 Л.Клейнрок. Теория массового обслуживания. – М.:Alvares Publishing, 1998. – с.65-69.
- 7 Соколов Н.А. Семь аспектов развития сети доступа. // Технологии и средства связи, 2005, №3. – с.105-111.
- 8 Соколов Н.А. Эволюция местных телефонных сетей. – ТОО “Книга”, Пермь, 1998. – 198 с.
- 9 Соколов Н.А.. Выбор технологии коммутации для сетей следующего поколения. – <http://www.nicksokolov.ru>.
- 10 Соколов Н.А. Принципы построения телекоммуникационных систем. // Телекоммуникационные сети, 2007, №1. – с.71-110.

Павлодарский государственный университет имени С.Торайгырова, г.Павлодар. Материал поступил в редакцию 11.12.2011.

А.П. КИСЛОВ, А.С. ЗВОНЦОВ  
 NGN КОНЦЕПЦИЯСЫ НЕГІЗІНДЕ МУЛЬТСЕРВИСТІК ТҮЙІННІ  
 ЖҮЙЕГЕ КІРУНІН ӨНДІРІСТІК ЕСЕБІ  
 A.P. KISLOV, A.S. ZVONTSOV  
 CALCULATION OF THE CAPACITY OF MULTISERVICE NETWORK  
 ACCESS NODE BASED ON THE NGN CONCEPT

### Түйіндеме

Бұл мақалада жеткізілім желісінің трафиғін пайдалану арқылы жол бағыттауыш өнімділігінің қажетті есептемелері жасалады, қажетті жіберілім жолаға мен кезектегі кідірісі бағаланады.

Бұл жұмыста келтірілген есептемелер транзиттік желіге NGN жеткізілім желісінің отырған талаптарына бағалауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер негізі бойынша белгілі бір жағдайларда NGN-ді пайдалану тиімділігі жөнінде айтуға болады.

### Resume

The article deals with calculations of required router working efficiency that uses access network traffic. It also analyses queuing delay and required bandwidth.

The introduced calculation allows estimating the demands of the NGN network access towards pass-through network. On the basis of the received results the expediency of NGN application can be judged accordingly.

УДК 621.317.08: 621.317.1: 621.317.6

### Ю.Н. КЛИКУШИН, К.Т. КОШЕКОВ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛОВ

Ключевые слова: идентификационные измерения, измеритель, нелинейные искажения, цифровая обработка сигналов.

Эффективная работа современных электронных устройств и систем зависит от знания нелинейных искажений обрабатываемых сигналов. Известные методологии их измерения основаны на спектральном представлении сигналов [1]. Если на вход линейной системы подан синусоидальный сигнал  $U1(t) = Um1 Sin \omega t$ , то на ее выходе будет наблюдаться синусоидальный сигнал  $U2(t) = Um2 Sin \omega t$ , Фурье-спектр которого представляет собой единственную гармонику частоты  $\omega$  и амплитуды  $Um2$ . Если система нелинейная, в выходном сигнале появляются дополнительные

гармонические составляющие, измеряя которые можно судить об уровне нелинейных искажений.

Основной недостаток данного подхода заключается в том, что с его помощью нельзя оценивать нелинейные искажения сигналов, форма которых отличается от чисто синусоидальной. В спектре такого неискаженного сигнала уже присутствует ряд гармоник, которые и дают основной вклад в измеренное значение коэффициента гармоник  $K_r$ .

Рассматриваемый в данной работе метод на основе идентификационных измерений [2] лишен указанного недостатка, поскольку измеряют непосредственно форму сигнала. При этом технология измерений достаточно проста и состоит из двух этапов.

*Этап идентификационного измерения.* На данном этапе после равномерной дискретизации сигнала определяется идентификационный параметр отношением размаха сигнала к его среднеквадратическому отклонению (СКО) по уравнению

$$Id_u = \left[ \frac{(\text{Размах сигнала})_N}{\text{СКО сигнала}} \right]^2 = \frac{\left[ \max\{x_i\} - \min\{x_i\} \right]^2}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - X)^2}}, \quad (1)$$

где  $N$  - количество дискретизированных значений  $x_i$  (число выборки);  
 $\max\{x_i\}$  - максимальная величина дискретизированных значений  $x_i$ ;  
 $\min\{x_i\}$  - минимальная величина дискретизированных значений  $x_i$ ;  
 $X$  - среднее значение дискретизированных значений  $x_i$ .

*Этап калибровки.* На данном том этапе устанавливается зависимость между уровнями нелинейных искажений, измеренными традиционным методом, например  $K_r$  с помощью измерителя нелинейных искажений (ИНИ), и идентификационным методом  $Id_u$

$$K_r = f(Id_u), \quad (2)$$

$$\text{где } K_r = \frac{U_r}{U_1} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}}.$$

Полученная таким образом зависимость (2) сохраняется либо в виде градуированной шкалы (для аналоговых приборов), либо в электронном цифровом виде (для цифровых и микропроцессорных приборов).

*Этап измерения.* На этом этапе ИНИ отсутствует. Уровень нелинейных искажений анализируемого сигнала измеряется идентификационным методом  $Id_u$ . Результат измерения переводится в значение отсчета  $K_r$  в общепринятых единицах, например, процентах, либо аналоговой шкалой, либо микропроцессором и индицируется отсчетным устройством. Возможен

вариант, при котором результат измерения формы входного сигнала сравнивается с опорным некоторым значением, соответствующим данной идеальной форме, а их относительное отклонение индицируется.

На рисунке 1 изображен виртуальный прибор (ИНИ.vi), предназначенный для генерации градуировочных характеристик измерителя нелинейных искажений. Градуировочные характеристики представляют собой зависимости коэффициента гармоник (в %), который используется для количественной оценки уровня нелинейных искажений, от значения идентификационного параметра  $NF$  формы сигнала. Данный ВП позволяет получить две характеристики. Первая (на рисунке 1 – нижний левый график) соответствует нелинейным искажениям типа «насыщения», при которых происходит ограничение амплитуды сигнала. Вторая характеристика (на рисунке 1 – нижний правый график) соответствует нелинейным искажениям типа «зоны нечувствительности», при которых положительная и отрицательная полуволны сигнала оказываются разделенными по времени.

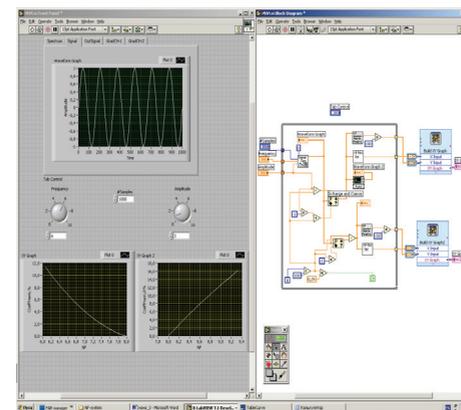


Рисунок 1– Виртуальный прибор, генерирующий градуировочные характеристики измерителя нелинейных искажений

Поскольку известно, что у ИИШ  $NF$ -типа значение идентификационного параметра равно 8 для идеальной синусоиды, то в отсутствие нелинейных искажений, обе градуировочные характеристики сопрягаются в этой точке и где коэффициент гармоник равен 0. Если в сигнале преобладают искажения типа «насыщения», то рабочая точка измерителя будет перемещаться по левому графику, аналитическая форма которого соответствует уравнению:

$$K_r = A + B \times Id_u + C \times (Id_u)^3, \% \quad (3)$$

где  $A \approx 108,5$ ;  $B \approx -19,4$ ;  $C \approx 0,091$ . Если же в сигнале преобладают искажения типа «зоны нечувствительности», то рабочая точка измерителя будет перемещаться по правому графику, аналитическая форма которого соответствует уравнению

$$K_r = A + \frac{B}{I_{dИ}}, \% \quad (4)$$

где  $A \approx 115,2$ ;  $B \approx -921$ . Таким образом, идентификационный метод позволяет не только измерять уровень нелинейных искажений сигналов, но также идентифицировать причину этих искажений.

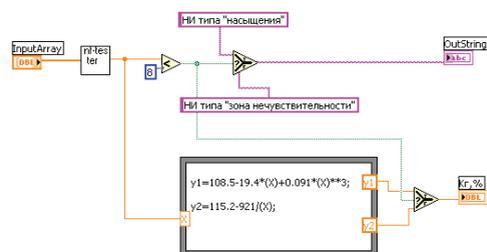


Рисунок 2 – Виртуальный прибор – измеритель нелинейных искажений

Описанный метод измерения нелинейных искажений реализован в виде виртуального прибора (рисунок 2), в котором градуировочные характеристики, сгенерированные виртуальным прибором (рисунок 1), представлены в аналитической форме и выполняют функцию интеллектуальной базы данных.

Чтобы настроить измеритель нелинейных искажений на измерение характеристик периодических сигналов любой другой формы, необходимо изменить эталонный уровень идентификационного параметра и перезаписать градуировочные характеристики по приведенной выше методике.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Аналоговые электроизмерительные приборы: учеб. пособие для вузов / Е.Г. Бишард, Ф.С. Дмитриев, Е.А. Киселева и др. – М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Кликушин Ю.Н., Кошек К.Т. Методы и средства идентификационных измерений сигналов: монография. – Петропавловск: Изд-во СКГУ имени М. Козыбаева, 2007.

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия,  
Северо-Казахстанский государственный университет имени  
М. Козыбаева. Материал поступил в редакцию 11.12.2011.

Ю.Н. КЛИКУШИН, К.Т. КОШЕКОВ  
ДАБЫЛДАРДЫҢ БҰРМАЛАҒАН СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС ӨЛШЕУ ӘДІСІ  
YU.N. KLIKUSHIN, K.T. KOSHEKOV  
METHOD FOR MEASURING NONLINEAR DISTORTIONS OF SIGNALS

### Түйіндеме

Идентификациялық өлшеулер негізінде сигналдардың сызықтық емес бұрмалануларын өлшеудің негізгі әдістері қарастылған. Виртуалды аспап ұсынылған-интеллектуалды берілгендер базасы функциясын отқаратын аналитикалық формада бөлімдеген сипаттамаларымен синусоидалы сигналдардың сызықтық емес бұрмаланулар өлшегіші. Кез келген басқа формадағы периодтық сигналдардың сипаттамаларын өлшеуге әзірленген аспапты баптау мүмкін.

### Resume

The authors dwell upon the main methods of measuring nonlinear distortion of signals on the basis of identification measurement. There is described a virtual device that measures nonlinear distortion of the sine signals with calibration characteristics in their analytical form, which serve as the intellectual database. It is possible to set the device to measure the characteristics of other periodic signals.

УДК 621.311.1

### А.П. КОСОГОРОВ, М.С. ГРИГОРЬЕВ, С.А. МАШЕВСКИЙ, А.С. ШЕЛОМЕНЦЕВ РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ СИНХРОННЫХ МАШИН

Колебания модуля и фазы (частоты) напряжения вызываются работой электроприемников с резкопеременным характером электропотребления, к которым в приоритетном порядке по степени воздействия на ухудшение качества электроэнергии относятся: дуговые сталеплавильные печи, руднотермические печи, электродвигатели большой мощности (главные приводы прокатных станов), мощные сварочные агрегаты и другие электротехнологические

установки. Практически во всех случаях колебания модуля и частоты напряжения сопровождаются друг друга: при этом происходят резкие изменения активной и реактивной мощностей в элементах электрической сети. Изменение продольной составляющей вектора падения напряжения приводит, в основном, к изменению модуля напряжения, а изменение поперечной составляющей - к изменению фазы вектора напряжения. Так, при набросе мощности нагрузки фаза вектора напряжения увеличивается, что приводит к увеличению периода синусоиды в течение наброса, т.е. к снижению частоты, а при сбросе мощности нагрузки - к уменьшению периода синусоиды, т.е. к увеличению частоты [1].

Резкие изменения напряжения вызывают мигание (фликкер), создаваемого колебаниями светового потока искусственных источников освещения (ламп, экранов). На производстве это приводит к снижению производительности труда вследствие физиологической усталости зрения (особенно при работах, связанных со зрительным напряжением), а в быту - к ощущению дискомфорта. Кроме того, фликкер обладает кумулятивным воздействием, эффект от которого тем больше, чем больше размах колебаний и частота их повторения [1, 2].

При размахах колебания напряжения более 10% возможно погасание газоразрядных ламп, при больших размахах (свыше 15%) могут отпадать контакты пускателей. При таких колебаниях напряжения наблюдается выход из строя конденсаторов и вентилях преобразовательных агрегатов [1].

Резкие изменения момента на валах электродвигателей приводят к сокращению срока их службы, нарушениям технологического процесса (особенно на производствах, где требуется стабильная скорость вращения двигателей) [2].

Колебания амплитуды и в большей мере фазы напряжения вызывают вибрации электродвигателей, механических конструкций, трубопроводной арматуры, что приводит к снижению усталостной прочности металла и сокращению срока его службы. Так при размахах изменения напряжения с частотой около 1 Гц, срок службы трубопроводов вследствие пульсаций напора насоса сокращается на 5-7% [1].

Колебания амплитуды и фазы напряжения, возникающие при работе прокатных станов, вызывают колебания электромагнитного момента, активной и реактивной мощностей синхронных генераторов электростанций предприятий, что отрицательно сказывается на экономичности работы ТЭС в целом. Известны случаи неустойчивой работы систем автоматического регулирования возбуждения и реактивной мощности синхронных генераторов и двигателей и ложной работы форсировки возбуждения [1].

Для характеристики этого явления используют понятия колебаний напряжения и частоты. Колебания напряжения характеризуют фактически вид изменения отклонения напряжения во времени. На практике к колебаниям

напряжения относят его изменения, происходящие со скоростью более 1%/с, а к колебаниям частоты - происходящие со скоростью более 0,2 Гц/с. Указанные граничные значения не имеют строгих обоснований и установлены исходя из общих соображений [2].

Теоретически в момент наброса нагрузки должна снизиться частота во всей энергосистеме - для обеспечения принудительного баланса между возрастающей нагрузкой и не успевающей измениться мощностью первичного двигателя. Практически этого влияния на уровень частоты в системе не наблюдается, так как, мощность отдельной резкопеременной нагрузки мала по сравнению с суммарной мощностью системы, а инерционность генераторов сглаживает незначительные колебания. Поэтому колебания частоты, как и колебания напряжения, являются локальными параметрами, имеющими различные значения для различных точек сети, определяемыми не изменениями скорости вращения генераторов, а изменениями поперечной составляющей вектора падения напряжения в сети [1, 3].

Синхронные машины являются эффективным средством уменьшения отклонений напряжения в электрической сети. В некоторых случаях, при переменных графиках нагрузки синхронные машины уменьшают и колебания напряжения.

Вопросу регулирования возбуждения синхронных машин с целью устранения колебаний напряжения в электрической сети уделяется значительное внимание при разработке законов управления и регуляторов возбуждения.

Результаты исследований, выполненных во ВНИИЭ и МЭИ, показывают, что в динамических режимах системы электроснабжения поддержание постоянного напряжения в электрической сети обеспечивают АРВ синхронных двигателей приводов прокатных станов, реализующие законы регулирования с отрицательными обратными связями по токам статора или ротора [4, 5].

Исследования различных законов регулирования и регуляторов возбуждения, проведенные на физической модели ВНИИЭ, показали, что синхронные двигатели оказывают незначительное влияние на колебания фазы вектора напряжения в узле электрической сети. Аналогичные результаты дают и исследования, проведенные в действующих установках промышленных предприятий [6].

Кроме законов регулирования, влияние на уменьшение колебаний напряжения в электрической сети оказывают параметры систем возбуждения синхронных машин, в частности, постоянные времени  $T_f$  и "потолочное" напряжение  $U_{\text{пот}}$  возбуждения.

Так, например, регулирование возбуждения синхронных двигателей общепромышленного назначения, предложенное в [7], позволяет добиться значительного улучшения качества напряжения и переходного процесса в

послеаварийном периоде при двукратном потолочном значении напряжения возбуждения. Но для устранения колебаний напряжения в сети, вызванных резкопеременной нагрузкой, использование этих машин не эффективно, так как параметры их систем возбуждения не обеспечивают необходимую скорость изменения тока статора. Так, «потолочное» напряжение этих двигателей в 2-3 раза меньше чем у синхронных двигателей главных приводов прокатных станов, а постоянная времени обмоток возбуждения значительно больше.

Результаты сравнения влияния на колебания напряжения в системе электроснабжения, схема которой представлена на рисунке 1.

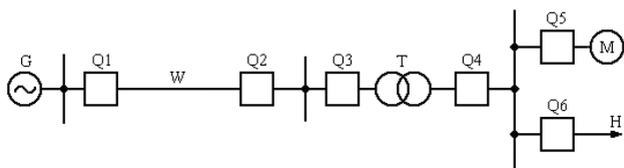


Рисунок 1- Принципиальная схема системы электроснабжения

Мощности синхронного двигателя ( $P_d$  и  $Q_d$ ), синхронного компенсатора ( $P_k$  и  $Q_k$ ) и резкопеременной нагрузки ( $P_n$  и  $Q_n$ ) соизмеримы. Колебания активной и реактивной мощностей в электрической сети ( $P_c$  и  $Q_c$ ) системы электроснабжения задавались колебаниями активной и реактивной мощностей нагрузки в узле сети (рисунок 2).

При моделировании элементов системы электроснабжения (линии - W, синхронных двигателя и компенсатора – ЭМ и нагрузки - H) использовались общеизвестные дифференциальные уравнения в общепринятой идеализации. При записи векторов переменных во времени величин в системе координатных осей x, y целесообразно совмещение оси x с положительным направлением вектора напряжения в узле электрической сети  $\bar{U}$ , при этом ось x принята за действительную, а ось y принята за мнимую ось. При выполнении расчетов, регуляторы возбуждения синхронного двигателя и компенсатора приняты безинерционными.

Для удобства анализа вектор напряжения  $\bar{U}$  в узле сети исследуемой системы в установившемся режиме совмещен с действительной осью x. В этом случае проекции векторов токов и на координатные оси x, y имеют реальный физический смысл и равны, соответственно, активному  $i_x = i_a$  и реактивному  $i_y = i_p$  токам в элементах сети.

Регулирование возбуждения синхронного двигателя не приводит к улучшению качества напряжения, так как колебания активной и реактивной мощностей двигателя (рис. 2) и, как следствие, колебания активной и реактивной мощностей в электрической сети несколько увеличиваются. Так колебания модуля и фазы напряжения достигают соответственно, 17,7% и 14,4,

что в 1,1 и в 1,29 раза превосходит колебания этих параметров при постоянном возбуждении синхронного двигателя, а колебания частоты достигают 0,48 Гц, т.е. практически одинаковы.

Это объясняется тем, что синхронные двигатели и компенсаторы обладают естественным регулирующим эффектом, который проявляется в снижении величины колебаний напряжения при ударной нагрузке. Этот эффект тем значительнее, чем круче фронт изменения реактивной мощности нагрузки, а также чем меньше нагрузка на валу машины. Естественный регулирующий эффект по напряжению проявляется в полной мере при работе электродуговых сталеплавильных печей и вентильных преобразователей главных электроприводов прокатных станов, у которых длительность изменения реактивной мощности и напряжения составляет несколько периодов [2].

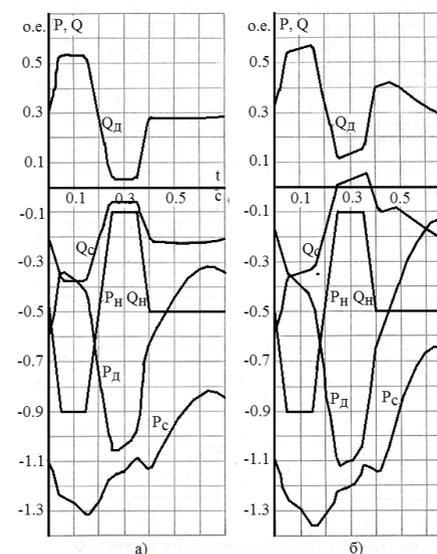


Рисунок 2 - Изменение активных и реактивных мощностей нагрузки, синхронного двигателя и в электрической сети при постоянном (а) и регулируемом (б) возбуждении синхронного двигателя

Снижение колебаний напряжения за счет естественного регулирующего эффекта электродвигателя может быть приближенно определено по выражению

$$k_U = \frac{1}{x'_d} - \frac{1}{x''_d}, \quad (1)$$

где  $k_U$  – коэффициент снижения колебаний напряжения в сети;  
 $x'_d$  и  $x''_d$  – относительные величины переходного и сверхпереходного реактивных сопротивлений синхронной машины по продольной оси.

Как видно из рисунка 3, при набросе мощности в сети, глубина посадки напряжения при регулировании возбуждения синхронного двигателя несколько меньше (в 1,1 раза) чем при постоянном возбуждении, а при сбросе мощности в сети - выброс напряжения больше (в 1,6 раза), что обусловлено недостаточной скоростью развозбуждения машины, т.е. запаздыванием.

Таким образом, вышеприведенные результаты расчетов показывают, что использование серийных синхронных двигателей для улучшения качества напряжения при значительных скоростях изменения реактивной мощности в электрической сети, обусловленных резкопеременной нагрузкой малоэффективно, так как колебания модуля напряжения значительно превышают нормы установленные ГОСТ 13109-97.

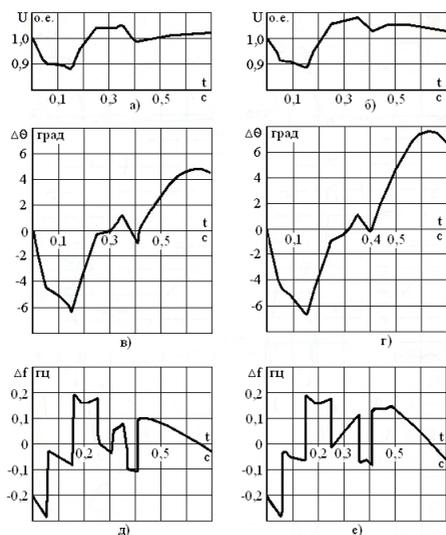


Рисунок 3 - Изменение модуля (а,б), фазы (в,г) и частоты (д,е) напряжения в сети при постоянном (а,в,г) и регулируемом (б,г,е) возбуждении синхронного двигателя

При исследовании влияния синхронного компенсатора на качество напряжения в узле электрической рассматривались две системы возбуждения:

- первая система позволяет изменять напряжение возбуждения в пределах

$$0 < U_{fk} \leq U_{fnot,k}; \quad (2)$$

- вторая система позволяет осуществить знакопеременное регулирование напряжения ротора машины, т.е.:

$$-U_{fnot,k} < U_{fk} \leq U_{fnot,k}, \quad (3)$$

где  $U_{fk}$  и  $U_{fnot,k}$  – соответственно текущее и «потолочное» значения напряжения возбуждения синхронного компенсатора.

Из рисунка 4 видно, что качество напряжения в рассматриваемом узле сети значительно улучшилось по сравнению с аналогичными показателями, полученными при использовании для его улучшения синхронного двигателя. Так, колебания модуля и частоты напряжения уменьшилось в 1,47 и в 1,69 раза, соответственно (в данном случае, колебания модуля напряжения составляют 10,8%, а колебания частоты – 0,29 Гц) благодаря тому, что в результате изменения мощности статора СК (рис. 2.11) уменьшились колебания мощностей статора синхронного двигателя и в питающей сети (рис.2,12). Колебания фазы напряжения, составляющие в этом случае 8,8°, уменьшились в 1,27 раза. Результаты сравнения качества напряжения приведены относительно случая, когда для его улучшения используется синхронного двигателя при его постоянном возбуждении.

Как видно из рисунка 4, в течение времени наброса мощности электрической сети, синхронный компенсатор обеспечивает практически неизменное напряжение, а при сбросе мощности в сети - напряжение в узле сети значительно превышает заданную величину. Это объясняется тем, что применяемая система возбуждения синхронного компенсатора не обеспечивает требуемой скорости изменения реактивной мощности статора машины при сбросе мощности нагрузки.

Применение системы возбуждения, обеспечивающей знакопеременное регулирование напряжения ротора синхронного компенсатора, обеспечивает практически неизменное значение напряжения в течение всего рассматриваемого периода времени (рис. 4).

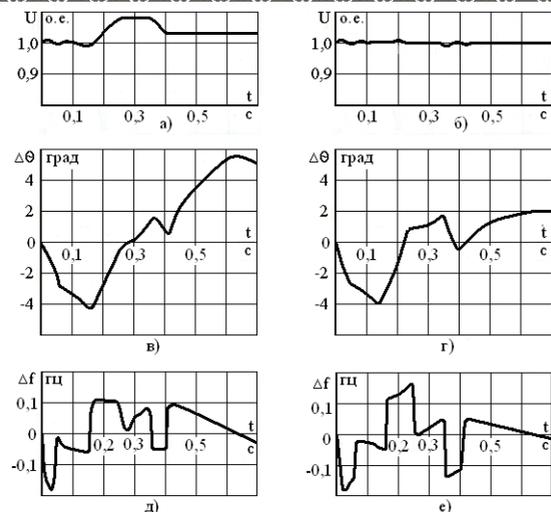


Рисунок 4. Изменение модуля (а,б), фазы (в,г) и частоты (д,е) напряжения в узле электрической сети при регулировании возбуждения синхронного компенсатора: а,в,д - при  $0 < U_{fk} \leq U_{фот,к}$ ; б, г, е - при  $-U_{фот,к} < U_{fk} \leq U_{фот,к}$

Колебания фазы напряжения составляют лишь 0,24%, что в 41 раз меньше, чем при использовании для его улучшения только синхронного двигателя с постоянным возбуждением. Колебания фазы напряжения, составляющие  $6,2^\circ$  уменьшились в 1,42 раза по сравнению с ее колебаниями при применении для возбуждения машины обычной системы возбуждения, что обусловлено уменьшением колебаний активной мощности статора синхронного двигателя и, как следствие, уменьшением колебаний активной мощности в электрической сети. Колебания частоты напряжения достигают 0,34 Гц, т.е. увеличились в 1,17 раза, что объясняется некоторым увеличением скорости изменения активной мощности электрической сети при сбросе мощности нагрузки.

Графики ЭДС статора синхронного двигателя (рис. 5, а, б) показывают, что ее характер изменения при регулировании возбуждения незначительно отличается от ее характера изменения при постоянном возбуждении, что как упоминалось выше обусловлено недостаточными скоростями изменения мощности статора машины.

Некоторый интерес представляют и графики изменения ЭДС статора синхронного компенсатора при применении обеих систем возбуждения (рис. 5 в, г), откуда видно, что при сбросе мощности в питающей сети, знакопеременная система возбуждения обеспечивает более быстрое, по сравнению с обычной системой возбуждения, раз возбуждение машины, обеспечивающее требуемую скорость изменения реактивной мощности

статора машины и, следовательно, заданное значение модуля напряжения в узле электрической сети.

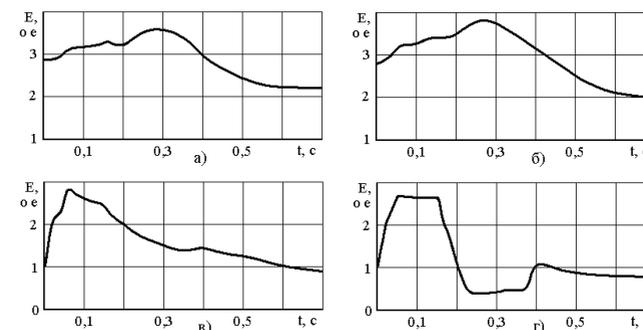


Рисунок 5 - Изменения ЭДС синхронного двигателя (а,в) и синхронного компенсатора (б,г) при постоянном (а) и регулируемом (б, в, г) возбуждении синхронных машин: б, в - при  $0 < U_{fk} \leq U_{фот,к}$ ; г - при  $-U_{фот,к} < U_{fk} \leq U_{фот,к}$

Для обобщенной оценки переходного процесса и качества напряжения в системе электроснабжения может быть применен обобщенный критерий качества  $I(t)$ , сформированный из частных критериев (показателей). За период времени  $T$ , обобщенный критерий качества можно представить в виде интегрального функционала:

$$I(t) = k_U I_U(t) + k_\delta I_\delta(t) = k_U \int_0^T \left[ \frac{U(t) - U_0}{U_0} \right]^2 dt + k_\delta \int_0^T \left[ \frac{\delta(t) - \delta_0}{\delta_0} \right]^2 dt, \quad (4)$$

где  $I_U(t)$ ,  $I_\delta(t)$  – частные критерии (показатели) качества напряжения в узле сети;

$k_U$ ,  $k_\delta$  – весовые коэффициенты;

$U(t)$ ,  $\delta(t)$  – изменения модуля и фазы вектора напряжения в узле сети;

$U_0$ ,  $\delta_0$  – заданные значения модуля и фазы вектора напряжения в узле сети.

Первое слагаемое обобщенного критерия характеризует колебания модуля напряжения, а второе слагаемое характеризует колебания фазы напряжения в узле электрической сети при воздействии резкопеременной нагрузки.

Общая картина качества напряжения и переходного процесса отражена интегральными показателями  $I_U(t)$  и  $I_\delta(t)$  на рисунке 6. Так, колебательность напряжения при знакопеременном регулировании возбуждения синхронного компенсатора уменьшилась в 5.7 раза по сравнению со случаем, когда для

улучшения качества напряжения используется синхронный двигатель при постоянном возбуждении и в 4.8 раза по сравнению со случаем, когда на синхронном компенсаторе применена обычная система возбуждения.

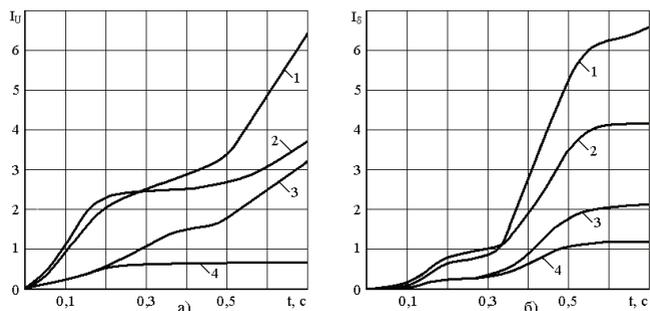


Рисунок 6 – Колебательность модуля (а) и фазы (б) напряжения в узле электрической сети системы электроснабжения: 1 - синхронный двигатель с системой возбуждения при  $0 < U_{fk} \leq U_{пот,к}$ ; 2 - возбуждение синхронного двигателя постоянно; 3 - синхронный компенсатор с системой возбуждения при  $0 < U_{fk} \leq U_{пот,к}$ ; 4 - синхронный компенсатор с системой возбуждения при  $-U_{пот,к} < U_{fk} \leq U_{пот,к}$

Вышеприведенный анализ расчетов качества напряжения в электрической сети позволяет сделать вывод о том, что при принятом характере изменения резкопеременной нагрузки заданное качество модуля напряжения обеспечивается только синхронным компенсатором со знакопеременной системой возбуждения и соответствующих параметрах электрической машины, а колебания частоты напряжения во всех случаях превышают нормированные ГОСТ 13109-87 значения.

В зарубежной практике для снижения влияния на питающую сеть резкопеременных нагрузок нашли применение синхронные компенсаторы с высокой кратностью форсировки напряжения возбуждения и быстродействующей системой регулирования, обеспечивающие компенсацию реактивной мощности практически без запаздывания [1, 9]. Такие компенсаторы нашли широкое применение в прокатных цехах металлургических заводов США и странах Западной Европы.

Так, на блюминге металлургического завода в г. Хунедоара (Румыния) в сети 6 кВ установлены два синхронных компенсатора с номинальной мощностью по 10 МВ А с тиристорными возбудителями, обеспечивающими кратность тока возбуждения около 13,7. Синхронные компенсаторы обеспечили снижение колебаний напряжения с 16 до 1%; при этом скорость изменения реактивной мощности составляет около 100 МВ А/с.

Фирма Siemens (ФРГ) выпускает синхронные компенсаторы мощностью 10 МВ А с ударной мощностью 30 МВ А. Обмотка возбуждения компенсатора питается от нереверсивного тиристорного преобразователя с кратностью форсировки возбуждения по напряжению 13,2.

Фирма Fuji Electric Co совместно с Nisshin Electric Co (Япония) выпускает синхронные компенсаторы мощностью 8 МВ А с ударной мощностью 16 МВ А. Компенсатор имеет бесщеточную систему возбуждения с кратностью форсировки по напряжению, равной 2.

Фирма ASEA (Швеция) выпускает синхронные компенсаторы номинальной мощностью 7,5 Мвар с ударной мощностью 30 Мвар. Обмотка возбуждения питается от тиристорного нереверсивного преобразователя [9].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Управление качеством электроэнергии. Карташев И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г. и др.: Под ред. Ю.В. Шарова. - М.: Издательский дом МЭИ, 2006. - 320 с.
- 2 Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. - М.: ЭНАС, 2009. - 456 с.
- 3 Косоголов А.П. О возможности оценки колебаний фазы и частоты напряжения в электрической сети. Международная научно-практическая конференция «Становление и развитие Экибастузского региона». Экибастуз, 2003. - с. 91-95.
- 4 Каспаров Э.А., Соколов Н.И. Возможность улучшения электромеханических переходных процессов синхронных двигателей, работающих с ударной нагрузкой на валу. Труды ВНИИЭ, вып. 37. - М.: Энергия, 1970. - с. 56-87.
- 5 Литкенс И.В., Погорелов Л.М., Строев В.А. Выбор закона регулирования синхронной машины с продольно-поперечным возбуждением. Электричество, 1977. №8. - с. 23-29.
- 6 Бронштейн Э.Л., Хачатрян Э.А. Испытания автоматических регуляторов возбуждения синхронных двигателей. Труды ВНИИЭ, вып. 42. М.: Энергия, 1973. - с. 138-146.
- 7 Зеленохат Н.И., Косоголов А.П., Шабалин А.Е., Хуан. Б. Уменьшение колебательности напряжения в электрических системах с помощью АРВ синхронных машин. «Известия ВУЗов СССР. Энергетика», 1977, №10, с.8-14.
- 8 Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. - М.: Высшая школа, 1985. 536 с.
- 9 Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1987. - 336 с.

Павлодарский государственный университет имени С.Торайгырова,  
г.Павлодар. Материал поступил в редакцию 11.12.2011.

А.П. КОСОГОРОВ, М.С. ГРИГОРЬЕВ, С.А. МАШЕВСКИЙ,  
А.С. ШЕЛОМЕНЦЕВ

ІЛЕСПЕ МАШИНАЛАР КӨМЕГІМЕН ЭЛЕКТРЛІК ҚАМДАУ  
ЖҮЙЕСІНІҢ ЖҰМЫС ТӘРТІБІН РЕТТЕУ

A.P. KOSOGOROV, M.S. GRIGORIEV, S.A. MASHEVSKY,  
A.S. SHELOMENTSEV

REGULATION OF THE POWER SYSTEM OPERATING MODE BY  
MEANS OF SYNCHRONOUS MACHINERY

#### *Түйіндеме*

*Мақалада ілеспе машиналар көмегімен электрлік қамдау жүйесінің жұмыс тәртібінің әсері, кенет айналымы жүйесімен дәмеленетін тұтынушылары қарастырылған.*

#### *Resume*

*In this article the authors considered the impact of synchronous electric machines on modes of power supply system, supplying consumers with rapidly varying load.*

УДК 66.045.125

**Е.Т. КУСАНОВ, О.Е. ТИМОШОВ,  
К.Ш. АРЫНГАЗИН, К.К. КАСКЫРБАЕВ, А.К. ТЛЕУЛЕСОВ,  
Ж.К. САМЕНОВА, А.Х. ЖАКИЯНОВА  
К ВОПРОСУ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ  
ОБОРОТНОЙ ВОДЫ ТОО «КОМПАНИЯ НЕФТЕХИМ LTD»**

Под надежностью системы охлаждения оборотной воды понимается обеспечение ею регламентных температурных параметров технологического процесса и промышленной безопасности производства.

На нефтехимических предприятиях с их многофакторным воздействием на окружающую среду при нештатных ситуациях, надежность системы охлаждения оборотного водоснабжения воды приобретает особый статус. Она предопределяет устойчивое развитие нефтехимического предприятия, начиная от его экономических показателей и кончая экологической безопасностью. При отказах системы охлаждения оборотного водоснабжения спектр негативных последствий нефтехимического предприятия будет намного

больше и масштабнее, чем спектр негативных последствий нехимических предприятий. В этом плане не составляют исключения системы оборотного водоснабжения ТОО «Компания Нефтехим LTD», производящего в настоящее время метилтретбутиловый эфир (МТБЭ), пропилен и полипропилен с применением передовых технологий и современного оборудования китайских и европейских фирм.

Исходя из этих положений и приоритетности экологической безопасности производства, вопросы надежности системы охлаждения оборотной воды ТОО «Компания Нефтехим LTD» является актуальной задачей. В рамках решения данной задачи начато сотрудничество ТОО «Компания Нефтехим LTD» с Павлодарским государственным университетом им. С.Торайгырова по исследованию работы системы оборотного водоснабжения.

ТОО «Компания Нефтехим LTD» на проектную мощность вышло в сентябре 2010 года и должно ежегодно производить 20 тысяч тонн МТБЭ, 35 тысяч тонн пропилена (промежуточного продукта) и 30 тысяч тонн полипропилена в год.

Сырьем для производства продукции стал попутный (или товарный) газ с установки каталитического крекинга Павлодарского нефтехимического (нефтеперегонного) завода – ПНХЗ.

Полипропилен, получаемый из пропилена, используется как сырье для производства различных видов пластмассовых изделий, а метилтретбутиловый эфир – как кислородсодержащая присадка для получения высокооктанового бензина, соответствующего стандарту Евро-3. По токсикологическому заключению Минздрава РК, МТБЭ относится к четвертому классу опасности.

Исходя из этого, в целом надежность системы охлаждения оборотной воды является важной составляющей устойчивого развития ТОО в будущем, которое должно обеспечиваться как на стадиях его проектирования и строительства, так и в процессе эксплуатации.

В ТОО «Компания Нефтехим LTD» используются две самостоятельные системы охлаждения оборотной воды – БОВ-1 и БОВ-2 (БОВ – блок охлаждения воды). В блок охлаждения воды БОВ-1 входят теплообменники МТБЭ, а в контуре охлаждения БОВ-2 находятся теплообменники технологических оборудования производства полипропилена. Каждый блок из систем охлаждения оборотной воды включает водопроводные сети, градирни, водоприемный резервуар, циркуляционную насосную станцию воды и теплообменники.

В качестве охлаждающего агента используется вода из реки Иртыш, поступающая через коммерческий счетчик из сети ПНХЗ. После запуска системы охлаждения в работу вода в нее подается только на подпитку.

Требования к качеству воды, подаваемой в систему охлаждения, устанавливаются в зависимости от температурного режима технологических процессов. При этом необходимо учитывать функции и виды установленного

технологического оборудования и влияние, которое может оказывать подаваемая на это оборудование вода. В результате многократного нагревания оборотной воды ее химический состав изменяется, и ее состав постоянно должен корректироваться.

В таблице 1 приведены общие требования, предъявляемые к качеству оборотной воды, используемой в качестве теплоносителя для охлаждения продукта через стенку теплообменника. Интенсивность изменения показателей качества оборотной воды зависит от температуры нагретой воды.

Таблица 1

Требования к качеству оборотной воды

Наименование показателей	Нормативное содержание
Температура	до 25-38°С (в летний период)
Взвешенные вещества	25 мг/л
Масла и смолообразные продукты	не более 10 – 20 мг/л
Запах	не более 3 баллов
pH	7,2 – 8,5
Жесткость общая	не нормируется
Жесткость карбонатная подпиточной воды	не более 2,5 – 3 мг-экв/л
Щелочность общая	не более 3,5 – 4 мг-экв/л
Общее соледержание или сухой остаток	не более 2000 мг/л
Хлориды Cl <sup>-</sup>	350 мг/л
Сульфаты (SO <sub>4</sub> ) <sup>-</sup>	500 мг/л
Железо Fe <sup>3+</sup>	1-4 мг/л
Ионы тяжелых металлов	не нормируется
Поверхностно-активные вещества	не нормируется
Окисляемость перманганатная	не более 10-15 в мг O <sub>2</sub> /л
БПК	15 -20 в мг O <sub>2</sub> /л
Биогенные элементы – фосфор, азот (в пересчете на P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> и N)	не более 0,5 мг/л

Использование воды в качестве охлаждающего агента в оборотной системе приводит к возникновению ряда проблем, связанных с загрязнениями. Данные проблемы оказывают отрицательное влияние на технологический процесс производства, снижая эффективность теплопередачи через стенку теплообменника, увеличивая расход энергии и повышая эксплуатационные затраты.

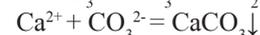
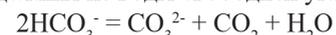
Источниками загрязнений оборотной воды являются взвешенные вещества из неочищенной исходной воды, вторичные продукты деструкции коррозионных и карбонатных отложений, биологических обрастаний, а также пыль минерального и органического происхождения, проникающая в градирни из атмосферного воздуха. Концентрация пыли в воздухе зависит от регионального фактора, степени загрязненности воздуха выбросами промышленных предприятий, почвенно-климатических условий, скорости ветра и т.д.

В системе охлаждения оборотного водоснабжения на омываемых поверхностях теплообменников, трубопроводов и градирен могут

образоваться отложения минеральных и органических примесей из воды, накипи, продуктов коррозий, а также биологические обрастания.

Минеральные отложения образуются вследствие наличия взвешенных веществ в оборотной воде, протекающей с малой скоростью, при которой они осаждаются или прилипают к поверхностям нагрева.

Накипи образуются на поверхностях нагрева, охлаждаемых водой, в теплообменниках и трубах вследствие выделения из нагретой воды различных растворенных в ней веществ. Основную массу накипи составляет карбонат кальция, образованный в результате распада бикарбонатных ионов и выделения из воды свободной углекислоты:



В системах охлаждения коррозию стальных элементов оборотного контура вызывает растворенный в воде кислород, которым насыщается вода в результате разбрызгивания в градирнях. Железистые отложения в теплообменниках и трубах возникают в результате коррозии металла или механических отложений, связанных карбонатом кальция.

Биологические обрастания состоят из массы микроорганизмов, развивающихся на поверхностях нагрева, охлаждаемых водой, или по тракту движения этой воды в трубах и оросительной системе градирни.

Таким образом, механические, солевые и биологические отложения, образующиеся на теплообменных поверхностях оборудования, в коммуникациях и охладителях снижают надежность работы систем охлаждения оборотного водоснабжения, вызывают коррозию металлов, оказывают разрушающее воздействие на материал оборудования, снижая надежность их работы.

Требования к качеству охлаждающей воды устанавливаются в каждом конкретном случае в зависимости от температурного режима технологического процесса с учетом специфики производства. Тем не менее, все они сводятся к обеспечению надежной работы теплообменного оборудования, сооружений и коммуникаций, входящих в систему охлаждения оборотного водоснабжения. Для успешной реализации этой задачи необходимо осуществлять проведение таких водных режимов, при которых на поверхности охлаждающих элементов и в самой системе практически не должно возникать активных коррозионных процессов и образования каких-либо солевых, механических и биологических отложений.

Для предотвращения выпадения солей жесткости и отложения биологических загрязнений в теплообменном оборудовании, а также чтобы обеспечить коррозионную защиту системы охлаждения оборотного водоснабжения в процессе эксплуатации принимаются следующие меры:

- очистка подпиточной воды фильтрацией;

- продувка системы;
- реагентная обработка оборотной воды;
- рекарбонизация оборотной воды.

Выбор оптимальных условий и режимов эксплуатации системы охлаждения оборотного водоснабжения любого предприятия, в том числе ТОО «Компания Нефтехим LTD», при которых оно может работать надежно и эффективно, определяются на всех этапах его жизненного цикла, начиная от проектирования сооружений до их модернизации.

Предварительное ознакомление с системой охлаждения оборотного водоснабжения МТБЭ показало, что на этапе ее проектирования недостаточно учтены меры по предотвращению образования всевозможных отложений в теплообменных и охладительных оборудованьях.

Установленные на линии оборотной воды самопромывающий фильтр «Tekleen» и противонакипное устройство «Hydro Floy» не обеспечивают нормального функционирования системы охлаждения. С установкой их на контуре системы охлаждения оборотной воды МТБЭ, поставленная цель по обеспечению ее надежности не достигнута, о чем свидетельствуют данные о показателях качества оборотной воды в первом квартале 2011 года. Фактические концентрации взвешенных веществ и растворенных солей в оборотной воде, намного (почти в 4–7 раз) превышают их допустимые величины.

Отсутствие прибора учета расхода воды в системе охлаждения оборотной воды ТОО делает ее ненадежной и неэффективной. Недостоверность исходной информации о расходе оборотной воды не позволяет проводить правильный анализ режимов работы насосных агрегатов, держать оптимальный температурный режим в системе, регламентировать технологический режим работы системы охлаждения, определять ее техническое состояние, оценивать соответствие фактических расходов регламентным требованиям, выявлять проблемные места системы и произвести качественные контрольные расчеты. Все это приводит к сложности принятия своевременных и правильных решений о необходимости и сроках модернизации, профилактических работ, организационных мероприятий, связанных с эксплуатацией оборудования.

Недостаточное внимание к вопросам оборудования водопроводной сети оборотной воды запорно-регулирующей арматурой также может привести к нежелательным последствиям вследствие изменения гидравлических параметров системы. В частности, отсутствие вантузов на повышенных участках сети приводит к ее завоздушиванию.

Предварительное ознакомление с системой охлаждения оборотного водоснабжения ТОО «Компания Нефтехим LTD» показало, что в ней имеются определенные проблемы различной степени сложности, игнорирование которых может привести к сбою технологического процесса получения

МТБЭ и полипропилена, а также к появлению определенных трудностей для дальнейшего развития нефтехимического производства.

В связи с возникновением вышеизложенных проблем в системе охлаждения оборотного водоснабжения при эксплуатации технологического оборудования, руководством ТОО принято решение о сотрудничестве с Павлодарским государственным университетом имени С.Торайгырова для их исследования.

Товарищество с ограниченной ответственностью «Компания Нефтехим LTD»;

Павлодарский государственный университет имени С.Торайгырова, г.Павлодар. Материал поступил в редакцию 11.12.2011.

Е.Т. КУСАНОВ, О.Е. ТИМОШОВ, К.Ш. АРЫНГАЗИН, К.К. КАСКЫРБАЕВ, А.К. ТЛЕУЛЕСОВ, Ж.К. САМЕНОВА, А.Х. ЖАКИЯНОВА  
«НЕФТЕХИМ LTD КОМПАНИЯСЫ» ЖШС-НІҢ АЙНАЛМАЛЫ СУДЫ САЛҚЫНДАТУ ЖҮЙЕСІНІҢ СЕНІМДІЛІГІ ТУРАЛЫ

E. KUSANOV, O. TIMOSHOV, K. ARYNGAZIN, K. KASKIRBAYEV, A. TLEULESSOV, Z. SAMENOVA, A. ZHAKIJANOVA

TO THE QUESTION OF RELIABILITY OF SYSTEM OF COOLING OF TURNAROUND WATER OF LLC "COMPANY NEFTEHIM LTD"

### *Түйіндеме*

*Жұмыс жогары октанды бензиндер үшін компоненті – метилтретбутил эфирін (МТБЭ) және полипропиленді өндіретін мұнай химиялық кәсіпорының айналмалы сумен қамтамасыз ету жүйесінің сенімділік мәселесіне арналған. Салқындататын жабдықтардың сенімділігін және тиімділігін жоғарылату жолдары қарастырылған.*

### *Resume*

*The work is devoted to the problems of the reliability of system of recirculated water facilities of the petrochemical enterprise manufacturing polypropylene and methyltertbutyl aether (MTBA) - a reductant for top bracket gasolines. Paths of solution of increase of performance and reliability of cooling machineries were reviewed.*

УДК 621.313.13

**А.Н. НОВОЖИЛОВ, Н.А. ИСУПОВА**  
**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА**  
**ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА РОТОРА**  
**АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Наиболее широкое применение в промышленности и сельском хозяйстве получили асинхронные двигатели переменного тока. При этом они потребляют до 80% всей вырабатываемой электроэнергии [1]. Такая популярность асинхронных двигателей вызвана простой конструкции и изготовления, надежностью в эксплуатации и относительной дешевизной. Несмотря на довольно высокую их надежность, повреждения в процессе эксплуатации некоторых их элементов могут привести к преждевременному выходу асинхронного двигателя из строя. Одной из довольно распространенных неисправностей асинхронного двигателя является эксцентриситет, то есть смещение оси ротора относительно оси расточки статора.

При возникновении эксцентриситета ротора воздушный зазор становится неравномерным. Что приводит к возникновению дополнительных гармоник магнитного поля, ухудшающих эксплуатационные характеристики асинхронного двигателя. Наличие эксцентриситета также вызывает силы одностороннего магнитного притяжения. Эта сила в свою очередь, приводит к прогибу вала и дополнительному увеличению эксцентриситета и повышенному износу подшипников. При максимальном эксцентриситете ротор двигателя начинает задевать за статор. В результате они сильно разогреваются. Это приводит к быстрому выходу из строя изоляции обмотки статора с последующим коротким замыканием в ней. Иногда от высокой температуры выплавляется «беличья клетка» ротора [1-3]. Если эксцентриситет невелик, то эксплуатация асинхронного двигателя сопровождается повышенным расходом электроэнергии [4].

Таким образом, своевременное выявление эксцентриситета ротора представляет собой важную задачу. Ее решение, например, позволит заменить существующую систему планово – предупредительных работ на более целесообразное с технической и экономической точек зрения обслуживание оборудования по его фактическому состоянию. Это означает, что ремонтные работы производятся только при возникновении реальной необходимости.

Для организации такого обслуживания требуются методы и средства диагностирования, позволяющие оценить состояние объекта на текущий момент и прогнозировать его состояние на ближайшее будущее [5]. В зависимости от особенностей взаимодействия средства диагностирования и

объекта различают тестовое и функциональное диагностирование. В первом случае при оценке состояния на объект подаются тестовые воздействия, а сама она находится, как правило, в нерабочем состоянии. Во втором случае, т.е. при функциональном диагностировании, объект всегда находится в рабочем состоянии, а поиск дефектов осуществляется на основе измерений и анализа так называемых диагностических параметров. Следует также учесть серьезную математическую обработку исходной диагностической информации, включающую в себя вычисление спектральных характеристик, цифровую фильтрацию и т.д. Реализовать все эти операции без помощи компьютера невозможно.

Анализ наиболее известных технических решений по определению эксцентриситета ротора асинхронного двигателя позволяет сделать выводы, что:

1. Функциональная диагностика электрических машин должна основываться на сравнительном анализе диагностических параметров испытуемого объекта и объекта, условно принятого за эталон. В качестве последнего обычно принимается объект на начальном этапе его эксплуатации или после капитального ремонта [3].

2. В качестве диагностического параметра эксцентриситета ротора электрической машины могут быть использованы те, которые являются следствием изменения характеристик электромагнитного процесса функционирования при эксцентриситете ротора [2,6]. В частности внешнее магнитное поле машины.

3. Наиболее перспективным вариантом в диагностике асинхронных двигателей является применение электромагнитных датчиков, сигнал с которых поступает на компьютер, что позволит производить диагностику на месте во время работы двигателя [7].

Для подтверждения этого на кафедре «Автоматизация и управление» в экспериментальной лаборатории авторами были проведены экспериментальные исследования на ряде однотипных и разнотиповых, специально оборудованных асинхронных двигателей. Внешний вид одного из них на экспериментальной установке показан на рисунке 1.



Рисунок 1 - Экспериментальный двигатель

Для измерения внешнего магнитного поля машины при эксцентриситете ротора использовался специально изготовленный индукционный преобразователь. Сигнал с индукционного преобразователя поступал на персональный компьютер и обрабатывался с помощью программы «Лариса». Эта программа также разработана на кафедре «Автоматизация и управление» под руководством профессора Новожилова А.Н.

Полученные при проведении экспериментов материалы доказывают возможность разработки простого и чувствительного диагностического комплекса на базе НОУТБУКА с измерительной катушкой, способного с высокой точностью в течении нескольких секунд определять наличие и величину эксцентриситета ротора в режиме эксплуатации асинхронного двигателя.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Корогодский В.И., Кужеков С.П., Паперно Л.Б. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1000 В. -М.: Энергоатомиздат, 1987.- 248с.
- 2 Новожилов А.Н. Токи асинхронного двигателя при статическом эксцентриситете// Электротехника. – 1994.- №11.- С.45÷47.
- 3 Никиян Н.Г., Сурков Д.В. Освещение и оценка методов электромагнитной диагностики эксцентриситета ротора асинхронных двигателей// Вестник ОГУ. – 2005.- №2.- С.163÷166.
- 4 Новожилов А.Н., Исупова Н.А Потери электроэнергии от технологического эксцентриситета ротора асинхронных двигателей// Вестник ПГУ. – 2010.- №3.- С.64÷68.
- 5 Смирнов В.И., Функциональная диагностика электрических машин / В.И. Смирнов// Sensors & Systems. – 2003. - №6.- С.30-32.
- 6 Геллер Б., Гамата В. Высшие гармоники в асинхронных машинах. -М.: Энергия, 1981.- 351с.

7 Новожилов А.Н., Воликова М.П., Андреева О.А., Новожилов Т.А. Особенности конструкции индукционных преобразователей для релейной защиты и диагностики электрических машин переменного тока// Электричество. – 2009.- №4.- С19÷24.

Павлодарский государственный университет имени С.Торайгырова, г.Павлодар. Материал поступил в редакцию 11.12.2011.

А.Н. НОВОЖИЛОВ, Н.А. ИСУПОВА  
 А С И Н Х Р О Н Д Ы Қ Қ О З Ф А У Ш Ы Н Ы Ң Р О Т О Р Ы Н Ы Ң  
 Э К С Ц Е Н Т Р И С И Т Е Т І Н І Ң Ф У Н К Ц И О Н А Л Д Ы Қ Д И А Г Н О С Т И К А С Ы  
 A.N. NOVOZHILOV, N.A. ISUPOVA  
 F U N C T I O N A L D I A G N O S T I C S O F E C C E N T R I C I T Y O F T H E I N D U C T I O N  
 M O T O R I S R O T O R

### Түйіндеме

*Асинхрондық қозғаушының роторының эксцентриситеті функционалдық диагностикасының құралдарын жасау қажеттілігі қарап шыққан. Диагностикалық мәліметтің көзіне электромагнитті датчик болып табылған диагностикалық кешендер ұсыныс жасаған.*

### Resume

*Necessity of creation of means for functional diagnostics of eccentricity of the asynchronous engine rotor was considered. Diagnostic complexes in which a source of the diagnostic information is the electromagnetic gage ware offered.*

УДК 621.928.24

## **Н.Т. СУРАШОВ, О.Г. ГАЗИЗОВ, В.Н. БАЖЕНОВ РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ВНУТРЕННЕГО ЗАХВАТА БУМАЖНЫХ РУЛОНОВ**

Во избежание механических, химических, физических повреждений бумажных рулонов и сохранения их правильной геометрической цилиндрической формы заводы-изготовители, как правило, упаковывают полутвердыми многослойными защитными материалами типа картона, фольги, непромокаемых материалов, синтетических пленок и т.д.

Однако перед загрузкой рулонных бумаг в зарядные устройства рулонной ротационной, многокрасочной или полноцветной печатной машины, на установленном распаковочном участке (участок подготовки бумаги)

снимают их многослойные защитные упаковки бумаги, для дальнейшей их эксплуатации в полиграфическом производстве.

После распаковки рулонные бумаги подаются для дальнейшего захвата, подъема и транспортировки его к рулонным ротационным печатным машинам с последующей его установкой в зарядные устройства. К ним предъявляются следующие основные требования [1,2,3]:

- рулонная бумага должна сохранять идеальную цилиндрическую форму. Радиально недеформированные, намотки не должны быть смещены в поперечном направлении, без механических повреждений (типа вмятин, срезов, надуваний и т.д.);

- рулонная бумага должна обладать определенной прочностью, упругостью, влажностью, т.е. иметь допустимое содержание относительной влажности воздуха в пределах,  $co = 50...60\%$  [1];

- рулонные бумаги должны быть акклиматизированы к рабочей температуре внутри печатного цеха. Особенно в зимний период, т.е. после поступления со склада рулонные бумаги выдерживаются в печатном цехе или в отлаживаемом промежуточном складе несколько дней до выравнивания температуры полосы бумаги, находящейся в рулоне ближе к бобине;

- при транспортировке рулонной бумаги не допускают резких толчков, а при торможении и динамических нагрузок. Из-за сползания рулонных бумаг в поперечном направлении при разматывании в процессе печатания нарушается центровка и ухудшается качество печатания.

Для того чтобы сохранить цилиндрические формы и во избежание радиальной деформации рулонные бумаги предлагается захватить, поднимать и транспортировать только по центральному отверстию бобины, при этом, не трогая внешней стороны бумаги.

Целью данной работы является разработка новой конструкции захвата, позволяющей захватить с внутреннего центрального отверстия бобины рулонной бумаги с последующим подъемом и транспортировкой с помощью подвесных лебедок [4].

Нами был разработан гидравлический внутренний захват, имеющий цилиндрическую форму. Цилиндрическую полую трубу оправку заводят во внутреннюю центральную полость (отверстие) поднимаемого груза. Под действием гидравлических давлений жидкости подвижные плашки вклиниваются в отверстие поднимаемого груза, удерживая этим действием весь груз при его дальнейшем подъеме и перемещении.

На данную конструкцию подана заявка на инновационный патент изобретения №2010/0694.1 от 26.05.2010 г. и также на него получено положительное решение.

Изобретение поясняется чертежами, где на рисунке 1а, показан внешний вид внутреннего захвата, а на рисунке 1б представлен его продольный разрез.

Внутренний захват для бумажных рулонов содержит полый корпус 1, имеющий внутреннюю резьбу 2, выдвижные плашки 3, с ребристой наружной поверхностью, установленные в радиальных каналах 4 тела корпуса 1, хвостовик 5, верхнюю 6 с буртиком 7 и нижнюю 8 крышки, в которых выполнены внутренние пазы 9 и 10 для установки пружин 11 и отверстия 12 для сообщения с атмосферой, причем в центре верхней крышки 6 изнутри резьбой в сквозном отверстии закреплена трубка 13 для подачи рабочей жидкости, а снаружи закреплена штуцер 14 подачи рабочей жидкости, внутри корпуса расположены верхний 15, с продольным отверстием 16 в котором установлено уплотнительное кольцо 17, и нижний 18 поршни, упирающиеся во внутренний буртик 19 полого корпуса 1, в которых с одной стороны, во внутренние пазы 9 и 10 установлены пружины 11, а с другой стороны, в наружных поперечных пазах 20 установлены уплотнительные кольца 21, причем со стороны внутренних пазов 9 и 10 с наружной стороны в теле поршней 15 и 18 на две длины от края под углом  $5...7^\circ$  выполнены пазы 22, расположенные, например, по окружности под углом  $120^\circ$ , в которые через радиальные каналы 4 корпуса 1 установлены выдвижные плашки 3, на наружной стороне которых выполнена канавка 23 для кольцевой пружины 24. Внутренняя поверхность плашек 3 выполнена в виде клина, т.е. имеет наклонную поверхность. Угол наклона внутренней поверхности плашек 3 должен соответствовать углу наклона дна пазов 22 в теле поршней 15 и 18.

Внутренний захват для бумажных рулонов работает следующим образом. Корпус 1 внутреннего захвата поднимают за хвостовик 5 и со стороны нижней крышки 8 заводят во внутреннюю полость картонной втулки (бобины) бумажного рулона до упора в буртик 7 верхней крышки 6, после чего через штуцер 14 по трубке 13 во внутреннюю полость корпуса 1 подается под давлением рабочая жидкость. Под действием давления от рабочей жидкости поршни 15 и 18 начинают двигаться к краям корпуса 1 в сторону крышек 6 и 8 соответственно, сжимая пружины 11 и коническими пазами 22 взаимодействуя с конической внутренней поверхностью плашек 3, выполненные в виде призматических шпонок и стянутых установленной в канавки 23 кольцевой пружиной 24. Увеличивающийся при движении поршней 15 и 18 диаметр пазов 22, соответствующий конической поверхности плашек 3 начинает выдвигать их в каналах 4 наружу, за пределы корпуса 1. Плашки 3, ребристой наружной поверхностью, под углом  $120^\circ$  вклиниваются в тело картонной втулки (бобины) рулона бумаги (не показана), удерживая этим весь рулон бумаги при его дальнейшем подъеме, повороте и транспортировании. При доставке рулона бумаги к месту складирования давление рабочей жидкости оператором прекращается, поршни 15 и 18 под действием

пружин 11 возвращаются в исходное положение внутрь полости корпуса 1 внутреннего захвата до упора во внутренний буртик 19, при этом в исходное положение под действием пружин 24 возвращаются и плашки 3. Излишки воздуха, находящиеся в полости, где расположены пружины 11, т.е. между поршнями 15 и 18 и соответственно верхними 6 с буртиком 7 и нижними 8 крышками воздух удаляются через отверстие 12 в атмосферу. После этого внутренний захват для рулона бумаги свободно, за хвостовик 5 вынимается из рулона бумаги. Цилиндрическая поверхность рулона бумаги во время подъема и транспортировки не подвергается наружной деформации, что значительно улучшает его динамические характеристики при разматывании и подаче бумаги с зарядного устройства к печатным ротационным печатным машинам, что повышает качество оттисков, особенно при многокрасочной печати.

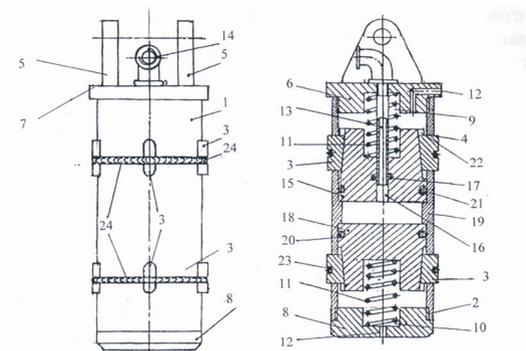


Рисунок 1 – Внутренний захват для бумажных рулонов

Таким образом данная конструкция может использоваться для других симметричных грузов, имеющих в центре отверстия. При этом наружный диаметр внутреннего захвата должен соответствовать с внутренним диаметром отверстия. Поднимаемого груза и одновременно радиальный ход плашки должен обеспечивать вклинивания в их тело.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бирюков В.В. Новые грузозахватные приспособления, устанавливаемые на погрузчиках за рубежом /Обзорная информация // Серия: Организация складского хозяйства, механизация и автоматизация складских работ в материально-техническом снабжении. М.: ЦНИИТЭИМС, 1987.– 21с.
- 2 Козлов Ю.Т. и др. Грузозахватные устройства /Справочник. М.: Транспорт, 1980. – 223с.
- 3 Захваты промышленных захватов /Аннотированный указатель изобретений (1972... 1981 гг.). Новосибирск: АН СССР, 1984. – 245с.

4 Коштарев Н.И., Сытник В.Д., Коштарев С.Н. Метчик ловильный. Патент Российской Федерации №2136842, E21B31/20 /Научно-производственное управление открытого АО "Оренбургнефть". НПУ, 2000.

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева. Материал поступил в редакцию 11.12.2011.

Н.Т. СУРАШОВ, О.Г. ГАЗИЗОВ, В.Н. БАЖЕНОВ  
 ОРАМ ҚАЗАҚДАРЫН ІШКІ ТЕСІГІНЕН ТЫҒЫНДАЛЫП ҰСТАУ  
 ЖАҢА ҚҰРЫЛҒЫСЫН ҚҰРАСТЫРУ  
 N.T. SURASHOV, O.G. GASISOV, V.N. BAHENOV  
 DEVELOPMENT OF A NEW DESIGN OF INTERNAL CAPTURE OF PAPER ROLLS

### Түйіндеме

Орам өнімдерінің ішкі тетігінің жаңа дизайнінде орам қағаздарының әртүрлі ерекшеліктері көрсетілген, бұл көтеру, түсіру және жер астындағы көтергіштер көмегімен тасымалдау үшін арналған. Орам қағаздарымен ішкі тетігінде жұмыс принципі мен элемент құрылымы берілген.

### Resume

A new design of internal capture for lifting, lowering and transporting roll materials in particular pomoschy overhead hoists unwrapped paper rolls. Given the structural elements and principle of operation of the internal capture of paper rolls was given.

УДК 621.316.174

### Б.К. ШАПКЕНОВ, А.В. ДРОБИНСКИЙ, Е.К. ЖЕТПИСБАЕВ, А.Б. КАЙДАР, В.П. МАРКОВСКИЙ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕНЗОРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ПАРАМЕТРОВ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Широкое применение пьезоэлементов в устройствах автоматики в некоторых случаях требует более точных расчетов, результаты которых позволяют исключить нежелательные факторы при проектировании устройств автоматики.

Суть пьезоэффекта состоит во взаимосвязи процессов деформирования кристаллов и возникновения на их поверхностях электрической разности потенциалов. Кристаллы, которым присущи такие свойства, называются пьезокристаллами.

Важно отметить обратимость пьезоэффекта: при деформировании пьезокристалла на его поверхностях возникает разность потенциалов (напряжение), и наоборот, при приложении к противоположным граням электрического напряжения (т.е. при помещении кристалла в электрическое поле) происходит изменение линейных размеров кристалла, деформация.

Пьезокерамика сегодня представлена в основном двумя формами: это пластинки (диаметр 0,5–3 см, высота до 1 мм) и цилиндрические столбики. Для производства пьезоаппаратуры выращиваются большие кристаллы соли, имеющие форму двенадцатигранной призмы.

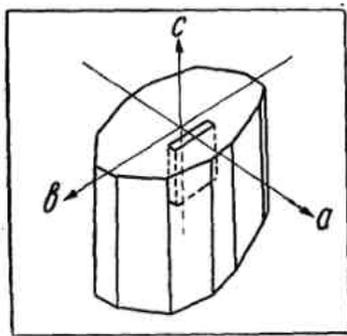


Рисунок 1 - Основные кристаллографические оси кристалла

На рис. 1 показаны основные кристаллографические оси кристалла. В различных направлениях кристалл обладает неодинаковыми пьезоэлектрическими свойствами. Наибольший пьезоэффект получается в пластинке; вырезанной перпендикулярно оси «а» (рис. 1). Если такую квадратную пластинку подвергнуть сжатию по одной из диагоналей, то на ее плоскости появятся заряды, величина которых будет прямо пропорциональна величине механических напряжений в пластинке. Последние пропорциональны силе, действующей на пластинку. Следовательно, заряды на плоскостях пластинки будут прямо пропорциональны действующей силе.

Сложные технические системы состоят из элементов, схема соединения которых образует структуру. В элементах протекают процессы - потоки одних измеримых величин под действием других измеримых величин. Задача расчета состоит в определении откликов в элементах системы на приложенные воздействия с учетом инерции, сопротивления материи элементов. Механическая деформация может вызвать в кристалле электрическую поляризацию (пьезоэлектричество), которая в первом приближении пропорциональна этой деформации.

Если  $p$  - вектор поляризации, то три уравнения для его проекций на оси координат 1, 2, 3 запишутся в виде

$$p_i = \sum_k e_i^k s_k$$

Эта формула вводит тензор  $e$  третьей валентности, симметричный относительно индексов  $j$  и  $k$ , в силу чего число его независимых компонентов сокращается с 27 до 18.

Используя линейные соотношения, связывающие напряжение с деформациями, может написать

$$p_i = \sum_k \delta_i^k t_k$$

Это соотношение определяет новый тензор  $g$ , который называется пьезоэлектрическим тензором. Как и тензор  $e$ , это тензор третьей валентности, симметричный относительно индексов  $j$  и  $k$  с 18 независимыми компонентами.

Если поместить кристалл в электрическое поле  $h$ , то деформации будут в первом приближении пропорциональны составляющим напряжения электрического поля по осям координат  $h_k$ ; при этом получим шесть соотношений:

$$s_j = \sum_k \delta_j^k h_k$$

Тензор  $(\delta_j^k)$ , определяемый последним выражением, тот же, что и предыдущий, поскольку положение индексов в случае прямоугольной системы координат не имеет значения. Это можно показать, используя закон сохранения энергии.

Формулы преобразования компонентов тензоров для случая преобразования прямоугольной системы координат, определяемого матрицей  $\alpha$ , будут

$$\overline{e_i^m} = \sum_{ijk} \beta_j^m \beta_k^n \alpha_i^j e_i^k$$

и

$$\overline{\delta_m^n} = \sum_{ijk} \beta_k^n \alpha_i^j \alpha_m^i \delta_j^k = \sum_{ijk} \beta_i^l \beta_j^m \alpha_n^k \delta_k^j = \overline{\delta_n^m}$$

причем

$$\beta = \alpha^{-1} = \check{\alpha}$$

Можно так же, вместо того чтобы пользоваться формулами тензорного преобразования, использовать шестимерное пространство  $D$ . При этом тензор  $s_{ij}$  становится вектором  $S$  с шестью составляющими. Получим

$$P_k = \sum_q E_k^q S_q$$

Тензор  $e$  третьей валентности будет представлен в пространстве  $D$  прямоугольной матрицей с 18 элементами. Так как последнее выражение связывает вектор  $p$  трехмерного пространства  $d$  с вектором  $S$  шестимерного пространства  $D$ , формула для преобразования компонент тензора  $E$ , отвечающего преобразованию координат, определяемому матрицей  $\acute{a}$ , будет иметь вид

$$\bar{E} = \alpha E A^{-1} = \alpha E \tilde{A}$$

Если использовать преобразование, соответствующее характеру симметрии кристалла, то матрица  $\bar{E}$  и  $E$  будут равны между собой. При этом число независимых компонент уменьшится. Для того чтобы вернуться к обозначениям, отвечающим первоначальному пространству  $d$ , следует использовать соответствие индексов, а именно

$q \sim ij$

иначе говоря,

$$1 \sim 11, 2 \sim 22, 3 \sim 33, 4 \sim 32, 5 \sim 31, 6 \sim 12.$$

Такое же вычисление можно проделать для тензора  $\delta$ , который в пространстве  $D$  представляется прямоугольной матрицей  $\Delta$  с 18 элементами.

Пример. Рассмотрим кристалл прямоугольно-ромбического типа характеризуемого тремя взаимно перпендикулярными осями симметрии второго порядка. Примем оси симметрии кристалла за оси координат. Поворот на угол  $\pi$  вокруг оси 3 характеризуется матрицей

$$\alpha = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \text{ откуда } \tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Применение формулы

$$\Delta = \alpha \tilde{\Delta}$$

Приводим к равенству

$$\begin{bmatrix} \Delta_1^1 & \Delta_1^2 & \Delta_1^3 & \Delta_1^4 & \Delta_1^5 & \Delta_1^6 \\ \Delta_2^1 & \Delta_2^2 & \Delta_2^3 & \Delta_2^4 & \Delta_2^5 & \Delta_2^6 \\ \Delta_3^1 & \Delta_3^2 & \Delta_3^3 & \Delta_3^4 & \Delta_3^5 & \Delta_3^6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\Delta_1^1 & -\Delta_1^2 & -\Delta_1^3 & \Delta_1^4 & \Delta_1^5 & -\Delta_1^6 \\ -\Delta_2^1 & -\Delta_2^2 & -\Delta_2^3 & \Delta_2^4 & \Delta_2^5 & -\Delta_2^6 \\ \Delta_3^1 & \Delta_3^2 & \Delta_3^3 & -\Delta_3^4 & -\Delta_3^5 & \Delta_3^6 \end{bmatrix}$$

Откуда получается первое упрощение матрицы  $\Delta$ :

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \Delta_1^4 & \Delta_1^5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \Delta_2^4 & \Delta_2^5 & 0 \\ \Delta_3^1 & \Delta_3^2 & \Delta_3^3 & 0 & 0 & \Delta_3^6 \end{bmatrix}$$

Поворот на угол  $\pi$  вокруг оси 2 осуществляется с помощью матриц

$$\alpha = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Применение формулы

$$\Delta = \alpha \tilde{\Delta}$$

К упрощенной после поворота вокруг оси 3 матрице  $\Delta$  приводит к равенству

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \Delta_1^4 & \Delta_1^5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \Delta_2^4 & \Delta_2^5 & 0 \\ \Delta_3^1 & \Delta_3^2 & \Delta_3^3 & 0 & 0 & \Delta_3^6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \Delta_1^4 & -\Delta_1^5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\Delta_2^4 & \Delta_2^5 & 0 \\ -\Delta_3^1 & -\Delta_3^2 & -\Delta_3^3 & 0 & 0 & \Delta_3^6 \end{bmatrix}$$

Откуда получаем окончательный результат

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \Delta_1^4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \Delta_2^5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Delta_3^6 \end{bmatrix}$$

Единственный не равный нулю компонент тензора  $\delta$  в рассматриваемой системе координат в пространстве  $d$  – это

$$\delta_1^{32}, \delta_2^{31}, \delta_3^{12}.$$

Следует учесть что в матрице  $\Delta$  индекс строки отвечает пространству  $d$ , а индекс столбца – пространству  $D$ .

Такое же вычисление приводит к выводу, что не равными нулю компонентами тензора  $e$  является

$$e_1^{32}, e_2^{31}, e_3^{12}.$$

Деформации, соответствующие компонентам  $s_{32}, s_{31}, s_{12}$  представляют собой только деформации скольжения.

Итак, квадратная пластина сегнетовой соли (относящейся к кристаллам рассматриваемого типа), вырезанная параллельно двум осям симметрии второго порядка, не обнаружит никакой электрической поляризации при сжатии, за исключением случая сжатия вдоль направления диагонали квадрата. Если поместить эту пластину в электрическое поле, направление напряжения которого перпендикулярно плоскости пластины, то она не будет испытывать ни растяжения, ни сжатия, но примет форму ромба.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Zhilin P.A., Kolpakov Ya.E. A micro-polar theory for piezoelectric materials // Lecture at XXXIII Summer School - Conference "Advanced Problems in Mechanics", St. Petersburg, Russia, 2005.

2 Крон Г. Применение тензорного анализа в электротехнике, пер. с англ., М.-Л.: Госэнергоиздат, 1955. - 276 с.

3 Шапкенов Б.К., Кайдар А.Б. Бифункциональные системы промышленной и бытовой автоматики. Материалы международной научно-практической конференции «Индустриально-инновационное развитие на современном этапе: состояние и перспективы». Павлодар, 2009 г., с. 75-78.

4 Шехтман Л.И. Системы телекоммуникаций: проблемы и перспективы. (Опыт системного исследования). – М.: Радио и связь, 1998. – 280 с.

5 Дружинин В.В. Конторов Д.С. Системотехника. – М.: Радио и связь, 1985. – 200 с.

6 Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1990. – 540с.

Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар;

Павлодарский государственный университет имени С.Торайгырова, г.Павлодар. Материал поступил в редакцию 11.12.2011.

Б.К. ШАПКЕНОВ, В.П. МАРКОВСКИЙ, А.В. ДРОБИНСКИЙ,  
Е.К. ЖЕТПИСБАЕВ, А.Б. КАЙДАР

ПЬЕЗОЭЛЕКТРЛІК ДАТЧИКТЕР ПАРАМЕТРЛЕРІН ТЕХНИКАЛЫҚ  
ЕСЕПТЕУЛЕР ҮШІН ТЕНЗОРЛЫҚ ТАЛДАУДЫ ҚОЛДАНУ

В.К. SHAPKENOV, V.P. MARKOVSKI, A.V. DROBINSKI,  
E.K. CHETPISBAEV, A.B. K AidAR  
USING TENZORNOGO ANALYSIS FOR TECHNICAL CALCULATION  
OF THE PIEZOELEKTRICAL SENSOR PARAMETER

### Түйіндеме

Мақалада автоматтау құрылғыларында қолданылатын пьезоэлектрлік датчиктер параметрлерін техникалық есептеулер үшін тензорлық талдау зерттелген.

### Resume

In the article tensor analysis for technical calculation of the piezoelectrical sensor parameter, applicable in device of the automation was explored.

УДК 621.315.36

### А.О. ЮСУПОВА, А.А. БЕКТАСОВА, А.К. АШИМОВА ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ

Проблема электромагнитной совместимости (ЭМС) и информационной безопасности (отсутствие нарушения или потери информационного сигнала) к воздействию электромагнитных полей тесно связана с существованием непреднамеренных (паразитных) и преднамеренных электромагнитных связей и помех, наличие которых ухудшает эффективность работы системы.

При этом особое значение в обеспечении требований ЭМС к воздействию электромагнитных помех, особенно на ранних стадиях их разработки, приобретает знание электромагнитной обстановки, создаваемой источниками электромагнитных помех.

Наиболее существенное ослабление воздействиям электромагнитного импульса (ЭМИ) на электронные системы и их элементы можно получить, применяя электромагнитные экраны.

Конструкции, предназначенные для ослабления электромагнитных полей, которые создаются какими-либо источниками в некоторой области пространства, не содержащей этих источников, и широко используемые в современной электротехнике называются электромагнитными экранами.

Электромагнитные экраны в подавляющем большинстве случаев делаются из металла: меди, алюминия, стали.

Принцип действия электромагнитного экрана заключается в следующем. Под действием первичного поля на поверхности экрана индуцируются заряды, а в его толще – токи и магнитная поляризация. Эти заряды, токи

и поляризация создают вторичное поле. От сложения вторичного поля с первичным образуется результирующее поле, которое оказывается слабее первичного в защищаемой области пространства.

Таким образом, можно считать, что электромагнитный экран отражает и направляет поток электромагнитной энергии и отводит его от защищаемой области.

Так как электромагнитный экран – система линейная; отсюда следует, что для него справедлив принцип взаимности перемещений. Сказанное, в частности, означает, что эффективность экрана - коробки сохраняется одной и той же независимо от того расположен ли внутри него источник поля или защищенная область пространства. Это положение имеет большое практическое значение, так как при излучении эффективности экранирования позволяет ограничиться случаем расположения источника поля внутри экрана.

Количественную оценку эффективности электромагнитного экрана (эффективность экранирования) можно характеризовать отношением напряженности поля в защищенной области пространства при отсутствии экрана  $E_0$ ,  $H_0$  и при наличии его ( $E$ ,  $H$ ):

$$\mathcal{E}_E = \frac{E_0}{E}$$

$$\mathcal{E}_H = \frac{H_0}{H}$$

Величина  $\mathcal{E}_E$ ,  $\mathcal{E}_H$  может быть выражена в простых отношениях или в децибелах (дБ).

Эффективность экрана существенно зависит от характера источника поля. Разнообразие возможных источников бесконечно: однако любой реальный источник может быть с необходимой точностью представлен в виде более или менее сложной совокупности электрических диполей и витков (рамок) с током (магнитных диполей).

В основе различия поведения экрана по отношению к разным реальным источникам лежит отличие в его поведении по отношению к электрическому и магнитному диполям. Последнее различие является следствием разной структуры полей этих двух источников. В свободном пространстве при

$$r \gg \frac{\lambda}{2\pi}$$

где  $r$  – расстояние от источника;

$\lambda$  – длина волны, различие в структурах полей обоих источников стирается:

в любой точке пространства  $E$  и  $H$  практически синфазны, а их отношение оказывается почти такими же, как и в плоской волне, т.е.  $E/H = 120\pi$  Ом.

При  $r \ll \lambda/2\pi$  отношение  $E/H$  зависит от положения точки наблюдения. В экваториальной плоскости (плоскости, проходящей через диполя перпендикулярно к его оси) оно приближенно и определяется следующими формулами:

- для электрического диполя:

$$\frac{E}{H} = 120\pi \frac{\lambda}{2\pi r}$$

- для магнитного диполя

$$\frac{E}{H} = 120\pi \frac{2\pi r}{\lambda}$$

Таким образом, с уменьшением  $r$  или увеличением  $\lambda$  (с уменьшением частоты  $f$ ) отношение  $E$  к  $H$  в случае электротехнического поля растет, роль магнитной составляющей убывает, и оказывается возможным рассматривать поле как квазиэлектростатическое.

В общем случае экран не только ослабляет, но и искажает поле источника в защитной области пространства. Поэтому его эффективность различна для электрической и магнитной составляющих поля. Это обстоятельство существенно затрудняет ее количественную оценку.

Только в простейших случаях эффективность экрана определяется однозначно (например, экранирование полупространства от плоской электромагнитной волны бесконечным однородным экраном).

Для последнего случая можно получить формулу, удобную для практических расчетов:

$$\mathcal{E}_{пл} = 60\pi\sigma dx \begin{cases} 1 & \text{при } d/\delta < 0.1 \\ \frac{\delta}{2\sqrt{2}d} e^{d/\delta} & \text{при } d/\delta > 1 \end{cases} \quad (5.12)$$

где  $\sigma$  – удельная проводимость материала экрана, см/м;

$d$  – толщина экрана, м;

$\delta$  – эквивалентная глубина проникновения,

т.е. расстояние, на котором электромагнитная волна ослабевает в  $e$  раз и отстает на  $\pi/2$ .

$$\delta = -\frac{1}{\sqrt{\pi f \mu_a \sigma}} = \frac{A}{\sqrt{f}}$$

где  $A$  – коэффициент материала;

$\mu_a$  – абсолютная магнитная проницаемость;

$f$  – частота электромагнитного излучения, Гц.

На высоких частотах при относительно большой толщине материала  $d > \delta$  эффективность экрана можно определить по приближенному уравнению

$$\mathcal{E} \approx e^{d/\delta} \left( \frac{1}{2} + \frac{D}{2,8m\mu_r\delta} \right) \quad (5.13)$$

где  $d$  – толщина стенок экрана;

$\delta$  – эквивалентная глубина проникновения;

$D$  – ширина прямоугольного экрана или диаметр цилиндрического или сферического;

$\mu_r$  – относительная магнитная проницаемость;

$m$  – коэффициент формы экрана, для прямоугольного  $m = 1$ , для цилиндрического  $m = 2$  и для сферического  $m = 3$ .

Величину  $\mathcal{E}_{\text{пл}}$  можно рассматривать как произведение двух сомножителей:

$$\mathcal{E}_{\text{пл}} = \mathcal{E}_{\text{пл.отр}} \cdot \mathcal{E}_{\text{пл.осл}} \quad (5.14)$$

Первый из сомножителей характеризует эффективность отражения первичной падающей волны электрического поля от поверхности экрана.

Можно получить следующие приближенные зависимости для оценки величины первого сомножителя:

$$\mathcal{E}_{\text{пл.отр}} \approx 60\pi \cdot \begin{cases} d & \text{при } d/\delta < 0,1 \\ \delta & \text{при } d/\delta > 1. \end{cases} \quad (5.15)$$

Из данной формулы видно, что с увеличением толщины экрана величина  $\mathcal{E}_{\text{пл.отр}}$  возрастает до некоторой величины, после чего не меняется. Это и понятно, так как при  $d > \delta$  явления на поверхности практически перестают зависеть от  $d$ .

С повышением частоты эффективность отражения сначала сохраняется неизменной, а потом начинает уменьшаться и при  $d > \delta$  оказывается практически обратно пропорциональной  $\sqrt{f}$ . Причина в том, что из-за поверхностного эффекта возрастает поверхностное сопротивление экрана.

Второй сомножитель у величины  $\mathcal{E}_{\text{пл}}$  характеризует степень ослабления электрической составляющей при проникновении поля сквозь толщу стенки экрана. Приближенно его можно оценить по зависимости

$$\mathcal{E}_{\text{пл.осл}} \approx \begin{cases} 1 & \text{при } d/\delta < 0,1 \\ \frac{1}{2} e^{d/\delta} & \text{при } d/\delta > 1 \end{cases} \quad (5.16)$$

Формулы для величины  $\mathcal{E}_{\text{пл}}$  позволяют сравнивать между собой различные металлы, как материалы для экрана. Действительно, при  $d/\delta < 0,1$  эффективность экрана пропорциональна удельной проводимости  $\delta$  и не зависит от магнитной

проницаемости материала. Следовательно, при равных толщинах медный экран лучше алюминиевого и намного лучше стального. Однако с ростом толщины  $d$  или частоты  $f$  картина изменяется, так как существенную роль при определении  $\mathcal{E}$  начинает играть член  $e^{d/\delta}$ . А так как у стали толщина поверхностного слоя много меньше, чем у меди и алюминия, то стальной экран оказывается более эффективным. Граничная частота  $f_{\text{гр}}$ , при которой эффективность стального и медного экранов одна, зависит от  $d$  и определяется формулой

$$f_{\text{гр}} = \frac{0,48}{\mu d^2}$$

где  $\mu$  – относительная магнитная проницаемость стали.

При произвольной форме экрана и конечных размерах диполя (источника поля) количественная оценка эффективности экранирования сильно затруднена. Поэтому для получения такой оценки обратимся к простейшему случаю – шаровому экрану.

Эффективность шарового экрана с внутренним радиусом  $R$  и толщиной стенок  $d$  по отношению к элементарному диполю, расположенному в его центре, при  $d \ll R \ll \lambda 2\pi$  определяется формулой

$$\mathcal{E} = 4,2 \frac{R}{\lambda} \mathcal{E}_{\text{пл}} \quad (5.17)$$

Электромагнитная волна элементарного диполя не плоская, а сферическая; однако при  $d \ll R$  можно считать поле в толще стенок экрана плоским и воспользоваться для оценки ослабления его предыдущей формулой, а для оценки ослабления поля от экрана следующей приближенной зависимостью:

$$\mathcal{E}_{\text{отр}} = 4,2 \frac{R}{\lambda} \pi \sigma \begin{cases} d & \text{при } \frac{d}{\delta} < 0,1 \\ \delta & \text{при } \frac{d}{\delta} > 1 \end{cases} \quad (5.18)$$

Нетрудно видеть, что с повышением частоты эффективность ослабления уменьшается.

Расчеты и испытания показывают, что на частотах ниже 100 кГц плоский стальной экран менее эффективен, чем медный и алюминиевый, но на частотах выше 1 МГц его эффективность уже на пять порядков выше эффективности плоского медного экрана. Эти соотношения сохраняются и для шаровых экранов при экранировании диполей обоих типов. Напомним, что большая часть энергии ЭМИ излучается в диапазоне частот 15 ÷ 30 кГц.

Эффективность экранирования замкнутыми экранами источников типа электрического диполя очень велика. Даже при толщине стенок 0,1 мм она на всех частотах при всех практически возможных размерах и для всех трех рассмотренных материалов превышает 106 (120 дБ).

При экранировании источников типа магнитный диполь на частотах порядка 10 кГц и ниже для получения большой эффективности экран должен быть толстостенным.

В случае замкнутого экрана поле может проникнуть в экран только через толщину стенок.

Из сказанного ранее следует, что соответствующим выбором материала экрана и толщины стенок принципиально можно получить сколь угодно большую эффективность экранирования. В реальных же экранах неизбежны более или менее значительные отверстия и щели, которые образуют дополнительный канал для проникновения поля. Вследствие этого эффективность экрана уменьшается.

Если стенки очень тонкие, а отверстия и щели незначительны, то поле внутри экрана создается в основном за счет проникновения через стенки. Смена материала и утолщение стенок могут в этом случае повысить эффективность экранирования. Напротив, если стенки относительно толстые, а отверстия и щели значительны, то поле внутри экрана создается в основном за счет проникновения через эти отверстия и щели, так что утолщение стенок малоэффективно.

В большинстве ситуаций свойства экрана часто определяются не толщиной и типом материала, а дефектами – отклонениями от идеальной конструкции. Этими дефектами являются в основном различные отверстия и щели (нарушения однородности экрана).

Анализ проникновения электромагнитного поля через малое отверстие в бесконечно тонком идеально проводящем экране позволяет сделать следующие выводы. Круглое и квадратное отверстие одной и той же площади пропускают электромагнитное поле практически одинаково. Через узкую щель поле проникает слабее, чем через квадратное отверстие той же площади. Особый интерес представляет то обстоятельство, что при данной форме отверстия момент эквивалентности диполя пропорционален площади этого отверстия в степени три вторых. Из этого следует, что замена одного большого отверстия несколькими малыми, общая площадь которых равна площади этого большого отверстия, будет способствовать улучшению эффективности экрана. Расчеты показывают, что замена одного большого отверстия  $N$  малыми с той же общей площадью, ведет к ослаблению поля, проникающего в защищаемую область пространства в  $\sqrt{N}$  раз.

Ориентировочно ослабление поля, проникающего через отверстие, вследствие конечности толщины стенок  $d$  можно учесть, рассматривая отверстие как заперделный волновод – волноводный фильтр. Обозначив коэффициент ослабления такого поля через  $\alpha$ , можно соответственно принять

$$\alpha = e^{\alpha d} \quad (5.20)$$

где  $\alpha$  зависит от характера поля, формы и величины отверстия. Проникновение поля через отверстие может быть существенно ослаблено путем насадки на это отверстие патрубка.

Значительное ослабление проникновения поля через отверстие можно получить, применяя разделение одного большого отверстия на несколько малых с одновременным применением патрубков.

Павлодарский государственный университет имени С.Торайгырова,  
г.Павлодар. Материал поступил в редакцию 11.12.2011.

А.О. ЮСУПОВА, А.А. БЕКТАСОВА, А.К. АШИМОВА  
ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ЭКРАНДАҰ МІҢЕЗДЕМЕСІ  
A.O. USSUPOVA, A.K. ASHIMOVA, A.A. BEKTASSOVA  
CHARACTERISTICS OF ELECTROMAGNETIC SHIELDING

### Түйіндеме

*Электромагнитті өрістердің әсеріне электромагнитті үйлесімдік және (бұзушылықтың жоқтығы немесе ақпараттық белгіні жоғалту) ақпараттық қауіпсіздіктің мәселесі қасақана емес және қасақана электромагнитті байланыстардың болуымен және бар болуы жүйенің жұмысының тиімділігін нашарлататын бөгет тығыз байланған.*

*Электрондық жүйелер және олардың элементтеріне электромагнитті импульстің әсерлеріне өте маңызды әлсірету электромагнитті перделер қолдана алуға болады.*

### Resume

*The problem of electromagnetic compatibility and information security (the absence of a breach or loss of data signal) to the effects of electromagnetic fields is closely related to the existence of unintentional and intentional electromagnetic interference and bonds, whose presence affects the efficiency of the system.*

*The most significant weakening of the effects of electromagnetic pulse on electronic systems and components can be obtained by applying electromagnetic shields.*

УДК 621.398

## А.О. ЮСУПОВА, Д.М. АЛПЫСБАЕВА ОЦЕНКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ НА ПРИМЕРЕ «HOT SPOT»

Чаще всего беспроводные локальные сети используются именно для предоставления услуг мобильного беспроводного доступа к информационным

ресурсам (такие сети часто называют общественными точками доступа, сетями типа «hot spot» или зонами «Wi-Fi»). С развитием рынка телекоммуникаций данная услуга становится все более доступной и востребованной в силу неизменно растущей потребности общества в информационном обмене.

При проектировании беспроводных сетей общественного доступа приходится учитывать множество факторов, необходимых для успешного и эффективного построения сети, предоставления различных услуг доступа к данным и гарантирования соответствующего качества обслуживания. Для конечного пользователя основную роль будут играть реальная скорость передачи данных, доступные сервисы передачи информации – передача данных, голоса (Voice over IP – VoIP), видеоконференции, а также качество и надежность связи. Поэтому для беспроводных сетей в силу их специфики особо остро стоит вопрос обеспечения заданного уровня качества сервиса (Quality of Service – QoS). Параметры пропускной способности являются одной из основных характеристик QoS. Реальная емкость канала передачи данных, предоставляемого пользователю, зависит от используемых сетевых протоколов, внешних условий, в которых развертывается сеть (наличие физических препятствий и источников шума, уровни затухания сигнала), количества активных пользователей в сети, типа информации (мультимедийный трафик, данные) и характера ее передачи. Именно поэтому перед непосредственным развертыванием беспроводной сети должно быть проведено теоретическое исследование ее работы.

На основании вышеизложенного произведем оценку пропускной способности и оптимальных параметров сети для обеспечения равных условий и качества беспроводного доступа для всех станций «hot spot» сети.

В данном разделе показывается эффективность управления пропускной способностью канала передачи данных путем изменения параметров используемого протокола и обосновывается целесообразность аппаратной реализации такой функциональности.

Основными компонентами такой «hot spot» сети являются терминальные станции (ТС) и базовая станция (БС). ТС нестационарны, т.е. могут в процессе функционирования сети подключаться к ней или отключаться от нее, перемещаться в ее пределах и покидать их. ТС представляют собой различные портативные и мобильные устройства, имеющие сетевой адаптер с поддержкой протоколов IEEE 802.11: ноутбуки, карманные компьютеры, мобильные телефоны. ТС «общаются» только с БС, играющей в этом случае роль шлюза между беспроводной и внешней сетями.

Радиус зоны покрытия типичной БС составляет несколько сотен метров при прямой видимости (при большем расстоянии до БС начинает сказываться затухание сигнала, и скорость передачи данных резко падает). Этим значением и ограничены размеры «hot spot»-сети с одной БС. Можно

развертывать беспроводные сети и большей протяженности, используя несколько БС, организуя перекрывающиеся зоны обслуживания. Мобильная станция, оказавшаяся в области действия нескольких БС, регистрируется в одной из зон обслуживания и продолжает затем работу только с одной из БС.

Число пользователей (соответственно, и количество ТС) беспроводной сети обычно составляет несколько десятков человек. При этом, конечно, нужно учитывать среднее число активных абонентов, определяющее в конечном счете пропускную способность всей сети и реальную доступную пользователю скорость передачи данных.

В большинстве беспроводных сетей для передачи данных используется только один частотный канал. Но в последнее время на рынке оборудования беспроводного доступа начали появляться устройства, поддерживающие два независимых частотных канала – один для передачи от БС к ТС, а другой для передачи от ТС к БС. В этом случае БС будет занимать всю возможную емкость выделенного ей канала. Соответственно, ТС будут использовать для своей передачи другой канал, совместно эксплуатируя его ресурсы. В этом случае говорят, что сеть работает в полнодуплексном режиме («full-duplex»).

Ввиду присутствия в системе затухания сигнала каждая станция будет обладать своими собственными вероятностью передачи и пропускной способностью. Причем чем дальше находится станция от БС, тем меньше будет доступная ей реальная емкость канала передачи, что, естественно, несправедливо. Попробуем, подобрав соответствующие параметры станций (минимальное значение конкурентного окна  $CW_{min}$ ), уменьшить  $\tau_i$  для станций, находящихся вблизи БС. Тогда пропускная способность для станций, находящихся около БС, уменьшится, а для тех, что расположены вдали от БС, возрастет. В итоге получим беспроводную сеть с равным качеством обслуживания, т. е. с фиксированной емкостью канала доступа в Интернет для любой станции, независимо от ее физического расположения относительно БС.

Работа сети в режиме «full-duplex». Пусть беспроводная сеть построена на оборудовании, работающем в «full-duplex»-режиме. Оценка пропускной способности частотных каналов в этом случае нужно производить независимо друг от друга.

Далее, при оценке нагрузки на канал передачи БС учитывается передача только самой БС. Вероятности виртуальных слотов будут определяться только лишь вероятностью передачи БС

$$p_c = 1 - \tau_0, p_s = \tau_0, p_c = 0$$

Алгоритм оценки пропускной способности

Для оценки пропускной способности сети применяем следующий итеративный алгоритм:

1. Задаем параметры как всей системы, так и отдельных станций

(например, размер минимального конкурентного окна  $CW_{min} = W_d$ ); определяем начальные значения  $\tau_i$  (например,  $\tau_i = 1/CW_{min}$ ,  $i = 1, N$ ).

2. Для каждой станции и БС, всевозможных длин пакетов  $l$  и количества попыток  $l$  вычисляем вероятности  $\psi_i(i)$ , средние  $\bar{f}_i$  и  $\bar{w}_i$ .

3. Находим новые значения вероятности передачи  $\tau_i$  и сравниваем их с предыдущими. Если разница между ними больше некоторого значения – точности оценки  $\tau_i$ , то возвращаемся к шагу 2 с  $\tau_i$ , равными полусумме старого и нового значений.

Расчет пропускной способности при оптимальных параметрах, реализующих равные пропускные способности для каждой станции, проводим следующим образом.

1. Вычисляем  $\tau$  для наиболее удаленной станции, взяв в качестве  $CW_{min}$  минимальное значение ( $CW_{min} = 32$ ) и используя для оценки вероятностей передачи других станций выражение. Получаем в итоге значения  $\tau$  для всех станций.

2. Перебирая для каждой из оставшихся станций минимальное значение  $CW_{min}$ , вычисляем соответствующее ей  $\tau$  и добиваемся его максимального соответствия тому, что было получено на шаге 1.

3. Проводим перерасчет пропускных способностей станций уже для новых значений вероятностей передачи.

В режиме «full-duplex» качественно меняется характер распределения нагрузки на БС и терминальные станции. В этом случае БС будет занимать всю возможную емкость выделенного канала, и ее производительность будет постоянной (при заданном уровне шума) и равной 5,94 Мбит/с при базовом доступе и 4,99 Мбит/с для RTS-CTS механизма. На рисунке 1 изображена зависимость суммарной пропускной способности терминальных станций (т.е. загруженность в Мбит/с канала «снизу-вверх») такой сети.

Таким образом, в «full-duplex-сетях, помимо большей пропускной способности по сравнению с сетями с общим каналом передачи, наблюдается значительное увеличение эффективности механизма базового доступа. В итоге (рисунк 2) общая пропускная способность сети возрастает до 10 Мбит/с – верхняя пара кривых, в то время как «half-duplex»-сеть (нижняя пара кривых) способна обеспечить двусторонний обмен данными лишь со скоростью около 5 Мбит/с. В этом смысле режим «full-duplex» действительно оправдывает свое название, превышая в два раза по скорости обмена данными режим «half-duplex».

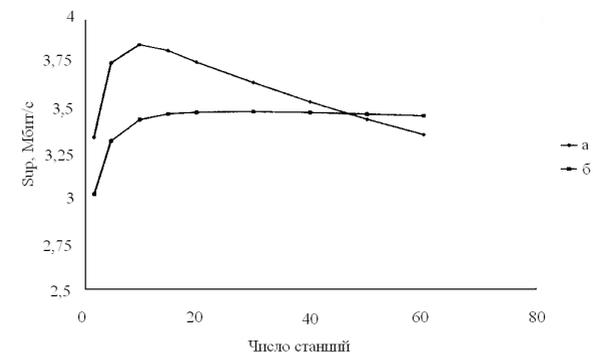


Рисунок 1 – пропускная способность сети в режиме «full-duplex» в направлении к БС

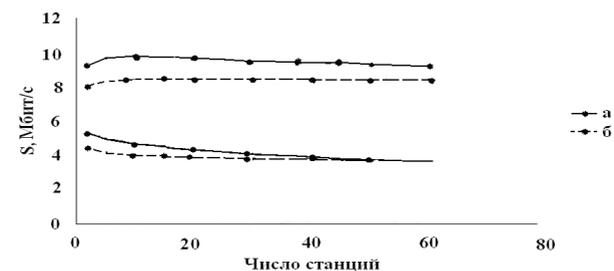


Рисунок 2 - Полная пропускная способность сетей, работающих в режимах «half-duplex» и «full-duplex»

Рисунок 2 – полная пропускная способность сетей, работающих в режимах «half-duplex» и «full-duplex»

Нахождение оптимальных значений минимального конкурентного окна каждой станции для обеспечения равных условий доступа к предоставляемым сервисам проводилось именно для сетей с двумя частотными каналами. Итак, на рисунке 3 изображена зависимость емкости канала передачи  $S_{up}^{[1]}$ , доступной станциям, находящимся на различных расстояниях от БС, до оптимизации и после. Вычисления проводились для  $N = 100$  станций при уровне шума  $BER = 510 \cdot 10^{-5}$  и использовании механизма доступа RTS-CTS (как более эффективного при таком числе активных станций). Оптимизированная общая пропускная способность уменьшается лишь на 2% по сравнению с первоначальной, но при этом каждая станция обладает равными условиями доступа к каналу передачи. Различия пропускных способностей станций после оптимизации не превышает 1,5%.

В результате чего была построена простая, но эффективная аналитическая модель для оценки пропускной способности «hot spot»-сети, позволяющая находить оптимальные параметры протокола, реализующие равные условия и качество беспроводного доступа для всех ТС рассмотренной сети.

Оценена производительность сети типа «hot spot», работающей в двух различных режимах «full-duplex» и «half-duplex». При этом показано, что первый режим работы является более эффективным, чем второй, обеспечивая в два раза большие скорости обмена данными.

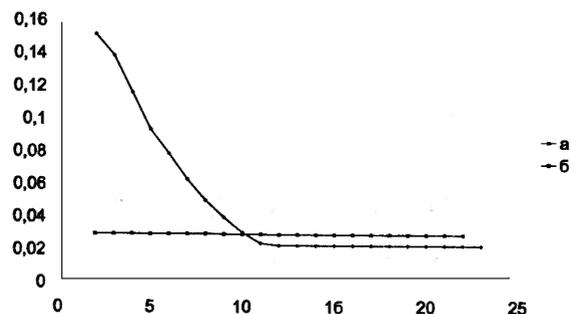


Рисунок 3 – Емкость канала передачи данных  $S_{оп}^{[1]}$  (Мбит/с), приходящаяся на одну терминальную станцию, в зависимости от расстояния до БС: а) до оптимизации, б) после оптимизации

Найдены оптимальные значения минимального конкурентного окна, гарантирующие равное качество сервиса для всех терминальных станций сети независимо от их расположения относительно БС. При этом функция равного качества обслуживания легко может быть реализована в оборудовании беспроводного доступа, поддерживающем спецификацию IEEE 802.11e. Для этого нужно лишь задать дополнительный тип трафика протокола 802.11e, для которого определить возможность изменения минимального значения конкурентного окна согласно полученной зависимости от расстояния до БС.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Баканов А.С., Вишневский В.М., Ляхов А.И. Метод оценки показателей производительности беспроводных сетей с централизованным управлением // – М.: Автоматика и телемеханика, 2000. – 105с.
2. Вишневский В.М., Ляхов Л.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации // – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
3. Шахнович И. В. Современные технологии беспроводной связи // – М.: Техносфера, 2006 – 288с.

Павлодарский государственный университет имени С.Торайгырова, г.Павлодар. Материал поступил в редакцию 11.12.2011.

А.О. ЮСУПОВА, Д.М. АЛПЫСБАЕВА  
 «HOT SPOT» ҮЛГІСІМЕН БОЙЫНША СЫМСЫЗ ЖҮЙЕСІН ӨТКІЗУ  
 ҚАБІЛЕТТЕРІН БАФАЛАУЫ ЖӘНЕ ОҢТАЙЛАНДЫРЫЛУЫ  
 А.О. USSUPOVA, D.M. ALPISBAEVA  
 EVALUATION AND OPTIMIZATION BANDWIDTH WIRELESS NET-  
 WORKS SUCH AS «HOT SPOT»

### Түйіндеме

Электромагнитті өрістердің әсеріне электрмагнитті үйлесімдік және (бұзушылықтың жоқтығы немесе ақпараттық белгіні жоғалту) ақпараттық қауіпсіздіктің мәселесі қасақана емес және қасақана электрмагнитті байланыстардың болуымен және бар болуы жүйенің жұмысының тиімділігін нашарлататын бөгеліс тығыз байланған.

Электрондық жүйелер және олардың элементтеріне электрмагнитті импульстің әсерлеріне өте маңызды әлсірету электрмагнитті перделер қолдана алуға болады.

### Resume

The problem of electromagnetic compatibility and information security (the absence of a breach or loss of data signal) to the effects of electromagnetic fields is closely related to the existence of unintentional and intentional electromagnetic interference and bonds, whose presence affects the efficiency of the system.

The most significant weakening of the effects of electromagnetic pulse on electronic systems and components can be obtained by applying electromagnetic shields.

**НАШИ АВТОРЫ**

**Абишев Кайратолла Кайрулинович** - к.т.н., доцент, кафедра Транспортная техника и логистика, факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Айтеев Д.С.** - Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Алиферов Александр Иванович** - д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Автоматизированных электротехнологических установок, Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия.

**Амренов Ержан Берикович** – магистрант, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

**Алпысбаева Дана Муратбековна** – студент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Анарбаев Алибек Еrsaинович** - магистрант, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

**Арынгазин Капар Шакимович** - к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Ашимова Айгуль Кенжибаевна** -ст. преподаватель кафедра Электроэнергетики, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Баженев В.Н.** – преподаватель, КазНТУ имени К.И.Сатпаева.

**Бекишева Гульден Сансызбаевна**– магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Бектасова Асемгуль Айтпаевна** - старший преподаватель, кафедра РТиТК, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Бикеев Р.А.** - Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия.

**Бланк Алексей Валерьевич**- к.т.н., докторант кафедры Теоретические основы электротехники, Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия.

**Газизов О.Г.** – преподаватель КазНТУ имени К.И. Сатпаева.

**Глазырин Сергей Александрович** - к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Глазырина Наталья Сергеевна** - магистр, старший преподаватель кафедры Автоматизированные системы обработки информации и управления, Инеу, г. Павлодар.

**Глазырин Александр Иванович** - д.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Горева Людмила Павловна** - к.т.н., кафедра Автоматизированных электротехнологических установок, Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия.

**Горшенков Анатолий Анатольевич** - к.т.н., доцент кафедры «Технология электронной аппаратуры», Омский государственный технический университет, г. Омск.

**Григорьев Михаил Сергеевич** – студент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Дробинский А.В.** - к.т.н., профессор, Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар.

**Инкин Алексей Иванович** - д.т.н., профессор кафедры Автоматизированных электротехнологических установок, Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия.

**Исупова Наталья Александровна** - старший преподаватель кафедры «Автоматизация и управление», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Жакиянова Айгерим Хасеновна**- магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Жетписбаев Е.К.** - ст. преподаватель, Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар.

**Звонцов Алексей Сергеевич** - студент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Кайдар А.Б.** - инж. х/д темы, Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар.

**Каскырбаев Кабидулла Кыстаубаевич** – доцент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Кислов Александр Петрович** – к.т.н. профессор, декан энергетического факультета, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Кликушин Юрий Николаевич** - д.т.н., профессор кафедры ТЭА, Омский государственный технический университет, Россия.

**Косогоров Анатолий Павлович** – к.т.н., доцент ВАК, профессор, профессор, кафедра Электроэнергетики, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Кошекков К.Т.** - д.т.н., заведующий кафедрой «Энергетика и приборостроение», Северо-Казахстанский государственный университет, Петропавловск, РК.

**Кусанов Ерлан Тимертасович** - директор ТОО «Компания Нефтехим LTD».

**Кырыкбай Амир** - магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Марковский В.П.** - к.т.н., профессор, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Машевский Сергей Александрович** - техник-программист, студент, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Мендыбаев Сергазы Амиргалиевич** – к.т.н. профессор, преподаватель кафедры «Автоматизация и управление», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Мергалимова Алмагуль Каирбергеновна** – магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Новожилов Александр Николаевич** – д.т.н., профессор кафедры «Автоматизации и управления», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Рамазанова Азелла Ермековна** - магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Саменова Жанар Кабидуллаевна** - магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Сурашов Н.Т.** – д.т.н., профессор, КазНТУ им. К.И. Сатпаева.

**Тимошов Олег Евгеньевич** - главный инженер, ТОО «Компания Нефтехим LTD».

**Тлеулесов Аскар Каримжанович** - старший преподаватель, кафедра БЖДЗСОС, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова. университет им. С. Торайгырова.

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

**Шеломенцев Андрей Сергеевич**- студент, Павлодарский государственный университет.

**Юсупова Асель Оразовна** - ст. преподаватель, кафедра Радиотехники и телекоммуникации, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

### ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

#### («ВЕСТНИК ПГУ», «НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА», «ӨЛЖЕТАНУ- КРАЕВЕДЕНИЕ»)

1. В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям в 1 экземпляре, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с межстрочным интервалом 1,5, с полями 30 мм со всех сторон листа, название статьи: кегль - 14 пунктов и дискета со всеми материалами в текстовом редакторе «Word 7,0 (97, 2000, 2007) для Windows».

2. Общий объем статьи, 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. Для статей, публикуемых в Вестник химико-биологической серии, требуется экспертное заключение.

#### Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

1. УДК по таблицам универсальной десятичной классификации;
2. Название статьи - на казахском, русском и английском языках, заглавными буквами жирным шрифтом, абзац центрованный;
3. Имя, отчество, фамилия (-и) автора(-ов), полное название учреждения;
4. Резюме на казахском, русском и английском языках: кегль - 10 пунктов, курсив, отступ слева-справа — 1 см, интервал 1,0; для Вестников химико – биологической серии требуется также экспертное заключение (см. образец);
5. Текст статьи: кегль - 14 пунктов, гарнитура - Times Nev Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times Nev Roman (для казахского языка).
6. Межстрочный интервал 1,5 (полutorный);
7. Список использованной литературы (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). Список литературы должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ 7.1-84 (см. образец).

#### На отдельной странице

В бумажном и электронном вариантах 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»).

1. Иллюстрации. Перечень рисунков и подрисуночные 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.

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

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

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

5. Оплата за публикацию в Вестнике составляет 5000 (Пять тысяч) тенге.

6. Статью (бумажная, электронная версии, оригинал квитанции об оплате) следует направлять по адресу:

140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, Издательство «Кереку», каб. 137

Тел 8 (718-2) 67-36-69, (внутр. 147; 183) факс: 8 (718-2) 67-37-02.

E-mail: kereku@mail.ru

Наши реквизиты:

РГКП Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова РНН 4 5 1 8 0 0 3 0 0 7 3  
 БИН 990 140 004 654  
 АО «Цеснабанк» ИИК 579 9 8 F T B 0 0 0 0 0 3 3 10  
 Код сектора экономики – 6 БИК T S E S K Z K A  
 Признак резиденства -1

#### ОБРАЗЕЦ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ:

ISSN 1811-1815. Вестник ПГУ. Сер. гум., 2010. № 2  
 УДК 316:314.3

### **А.Б. ЕСИМОВА** **СЕМЕЙНО-РОДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ КАК** **СОЦИАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ** **В РЕАЛИЗАЦИИ РЕПРОДУКТИВНОГО МАТЕРИАЛА**

Одной из актуальных проблем современности является проблема демографическая. Еще в XX веке исследователи активно занимались поиском детерминант рождаемости, выявлением факторов, определяющих реализацию репродуктивных планов семей, индивидов. ....

*Продолжение текста публикуемого материала.*

*Пример оформления таблиц, рисунков, схем:*

Таблица 1

Суммарный коэффициент рождаемости отдельных национальностей

	СКР, 1999 г.	СКР, 1999 г.
Всего	1,80	2,22

Диаграмма 1

Показатели репродуктивного поведения

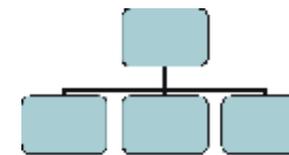
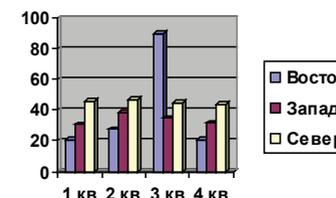


Рисунок 1 – Социальные взаимоотношения

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Этнодемографический ежегодник Казахстана. Статистический сборник. – А., 2006. – С.424.
- 2 Бурдые П. Формы капитала // Экономическая социология. – Т.3, №5. – 2002.-С.66.

*Место работы автора (-ов):*

Международный Казахско-Турецкий университет им. Х.А. Яссави, г. Туркестан.

*А.Б. ЕСИМОВА*

*ОТБАСЫЛЫҚ-ТУЫСТЫ ҚАТЫНАСТАР РЕПРОДУКТИВТІ МІНЕЗ-ҚҰЛЫҚТЫ ЖҮЗЕГЕ АСЫРУДАҒЫ ӘЛЕУМЕТТІК КАПИТАЛ РЕТІНДЕ*

*A.B. YESSIMOVA*

*THE FAMILY-RELATED NETWORKS AS SOCIAL CAPITAL FOR REALIZATION OF REPRODUCTIVE BEHAVIORS*

**Түйіндеме**

*Бұл мақалада автор Қазақстандағы әйелдердің отбасылық –туыстық қатынасы арқылы репродуктивті мінез-құлықында айырмашылықтарын талдайды.*

**Resume**

*In given article the author analyzes distinctions of reproductive behaviour of married women of Kazakhstan through a prism the kinship networks.*

Теруге 11.12.2011 ж. жіберілді. Басуға 12.12.2011 ж. қол қойылды.  
Форматы 70x100 1/16. Кітап-журнал қағазы.  
Көлемі шартты 6,10 б.т. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.  
Компьютерде беттеген М.А. Ескожинова  
Корректорлар: Б.Б. Әубәкірова, М.А. Джумадиева, А.Р. Омарова  
Тапсырыс №1625

Сдано в набор 11.12.2011г. Подписано в печать 12.12.2011 г.  
Формат 70x100 1/16. Бумага книжно-журнальная.  
Объем 6,10 ч.-изд. л. Тираж 300 экз. Цена договорная.  
Компьютерная верстка М.А. Ескожинова  
Корректоры: Б.Б. Аубакирова, Б.В. Нургожина, А.Р. Омарова  
Заказ №1798

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