

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Первичная организация Российского химического общества
им. Д.И. Менделеева

ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет
имени Д.И. Менделеева» Новомосковский институт (филиал)

ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»
ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I»

Всероссийская научно-техническая конференция
«ПРОБЛЕМЫ НАУКИ»,
посвященная году науки и технологий в России

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ
Технические науки



Новомосковск, 2021 г.

УДК 378:082.2(043.2)

ББК 74.58

В 85

В 85 Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы науки». Материалы конференции. Технические науки.
/ ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева, Новомосковский институт (филиал). Новомосковск, 2021. – 152 с.

ISBN 978-5-237-1512-7

Работа конференции проводилась в семи секциях, на которых обсуждались вопросы химии и технологии неорганических веществ, органической химии и полимерных композиционных материалов, инженерной механики и материаловедения, кибернетики технологических процессов и технических систем, гуманитарных наук, экономики и управления, энергетики, образования.

Текст репродуцирован с оригиналов авторов.

УДК 378:082.2(043.2)

ББК 74.58

ISBN 978-5-237-1512-7

© Оргкомитет конференции. 2021

© ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический
университета им. Д.И.Менделеева»,

Новомосковский институт (филиал), 2021

Содержание

**СЕКЦИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ**

<i>Сафонов Б.П.</i> К вопросу повышения несущей способности элементов оборудования, работающих на изгиб.....	5
<i>Лобанов Н.Ф.</i> Модификация сложных никель-алюминиевых композиций при плазменном напылении.....	8
<i>Сафонов Б.П., Бегова А.В.</i> Оценка абразивной износостойкости сталей по механическим свойствам.....	13
<i>Клочков В.И.</i> Исследование защитных свойств анодных окисных пленок на сплаве алюминия Д16 в условиях воздействия потока агрессивной среды с абразивом.....	21
<i>Калугин И.А., Каменский М.Н.</i> К вопросу обеспечения минимального зазора между концом лопатки и воздуховодом на вентиляторных установках.....	25
<i>Зимин А.И., Суменков А.Л.</i> Расчет движения механической системы, моделирующей полет метательного ножа.....	29
<i>Козлов А.М.</i> Особенности формирования структуры переходной зоны борированного слоя на хромистых сталях.....	37
<i>Каменский М.Н.</i> Исследование напряженно-деформированного состояния зубчато-реечных передач.....	43
<i>Суменков А.Л., Зимин А.И.</i> Методика определения характеристик внутреннего трения нанопорошков.....	46

СЕКЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

<i>Исаев А.С., Лагуткин О.Е.</i> Моделирование релейной защиты и автоматики.....	49
<i>Колесников Е.Б.</i> Преобразователь однофазного напряжения в трехфазное.....	53
<i>Колесников Е.Б.</i> Удвоитель частоты гармонического сигнала.....	57
<i>Ошурков М.Г., Бирюков К.Р.</i> Оптимизация платы за электроэнергию на уличное освещение г. Новомосковска.....	61
<i>Ползиков М.Н.</i> Использование возможностей онтологических систем управления электрохозяйством.....	69
<i>Стебунова Е.Д., Чиркова Т.Ю.</i> Особенности проектирования цеповых сетей при наличии электроприемников с низким коэффициентом мощности.....	75
<i>Ребенков Е.С., Майорова Н.Д.</i> Формула передаточной функции для многомассового электропривода.....	79
<i>Макрушин В.В., Золотарева В.Е., Обыденков А.А.</i> Современный уровень исследований, касающийся реализации явления скачка	

уплотнения в пароводяном инжекторе.....	86
<i>Зайцев Н.А., Чермошенцев Е.А.</i> Экспериментальный стенд для исследования распределения нелетучих примесей между фазами при конденсации пара.....	89
<i>Золотарева В.Е., Макрушин В.В., Обыденов А.А., Кольчугина Л.И.</i> Исследование причин шумной работы пароструйных инжекционных смесительных теплообменников в условиях промышленной эксплуатации.....	93
<i>Чермошенцев Е.А., Зайцев Н.А.</i> Установка для исследования поверхностного натяжения растворов электролитов.....	98
<i>Ошурков М.Г., Лагуткин О.Е.</i> Повышение энергоэффективности черной металлургии как фактор улучшения экологической ситуации.....	102
СЕКЦИЯ КИБЕРНЕТИКИ, АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ, МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	
<i>Лопатин А.Г., Брыков Б.А., Лопатина С.В.</i> Об одном подходе к синтезу асимптотического наблюдателя состояния полного порядка.....	108
<i>Брыков Б.А., Камынин В.А., Шеремет И.И.</i> Экспериментальное исследование структуры нечеткого адаптивного супервизора.....	111
<i>Беляев Ю.И., Предместын В.Р., Гавриленко А.И.</i> Причины низкого качества систем регулирования и пути его повышения.....	116
<i>Ляшенко А.И., Лопатин А.Г.</i> О роли систем ПАЗ в составе АСУ ТП на химически опасных производственных объектах.....	120
<i>Смольянинов Н.И., Силин А.В., Силина И.В.</i> Внедрение ipv6 и почему мы не можем отказаться от ipv4.....	124
<i>Смольянинов Н.И., Силин А.В., Силина И.В.</i> Проблема внедрения WI-FI 6E в России.....	127
<i>Шабанова Н.Ю., Ефремова О.А.</i> Развитие предикативной аналитики.....	131
<i>Шабанова Н.Ю., Ефремова О.А.</i> Роль BPM-систем в цифровой трансформации компании.....	135
<i>Соболев А.В., Корольков П.В., Маслова Н.В.</i> Оценка состояния работы колонны синтеза аммиака.....	138
<i>Азима Ю.И., Сидельников С.И., Фомин К.С.</i> Метод определения коэффициента диффузии на базе второй интегральной формы уравнения Фика.....	146
<i>Сидельников С.И.</i> Разработка модели системы логического управления с дисциплиной обслуживания по порядку готовности аппаратов.....	149

**СЕКЦИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ**

УДК 66.02(075.8)

**К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
ЭЛЕМЕНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩИХ НА ИЗГИБ**

Сафонов Б.П.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: bsafonov@nirhtu.ru

Выполнен анализ конструктивного совершенства прокатных профилей типа двутавра по ГОСТ 8239-89 по показателю удельной несущей способности; показана возможность повышения несущей способности профиля данного типа за счёт изменения соотношения размеров его элементов.

Ключевые слова: осевой момент сопротивления, погонная масса, удельная несущая способность, коэффициенты гармоничности профиля.

**ON THE QUESTION OF INCREASING THE LOADING CAPACITY
OF EQUIPMENT ELEMENTS WORKING IN BENDING**

Safonov B.P.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

The analysis of the structural perfection of I-beam type rolling profiles according to GOST 8239-89 in terms of specific bearing capacity has been carried out; the possibility of increasing the bearing capacity of a profile of this type by changing the ratio of the profile section.

Key words: axial moment of resistance, linear mass, specific bearing capacity, coefficients of harmony of the profile.

Фасонный прокат – двутавры предназначен для элементов конструкций, работающих на изгиб в случае, когда изгибающая нагрузка расположена в плоскости YOZ сечения. Несущая способность профиля в этом случае характеризуется осевым моментом сопротивления W_x . Для исследования были выбраны двутавры стальные горячекатаные по ГОСТ 8239-89.

Исследуем взаимосвязь несущей способности двутавров и конфигурации сечения профиля с точки зрения рациональности. Для оценки рациональности профиля введем коэффициенты $k_1 = t/s$, $k_2 = H/B$, которые назовём коэффициентами гармоничности профилей. Здесь t –

средняя толщина полки двутавра, s – толщина стенки, H – высота профиля, B – длина полки профиля. Исследуем приближение коэффициентов k_1 и k_2 к пропорции золотого сечения – числу Фибоначчи $\varphi=1,618$.

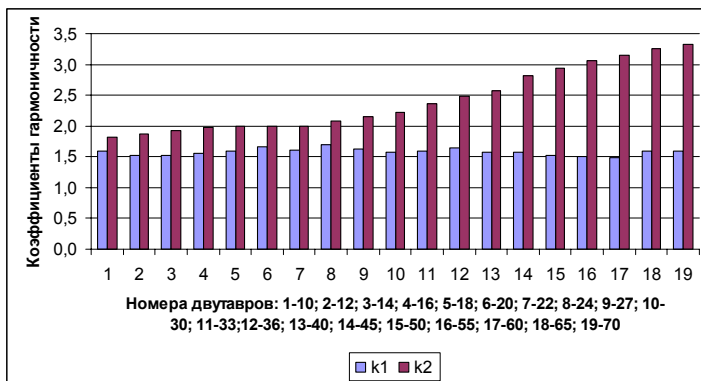


Рис. 1. Значения коэффициентов гармоничности профилей двутавров по ГОСТ 8239-89

Из рисунка 1 видно, что отклонение коэффициента k_1 от число Фибоначчи не превышает 8% (двутавры №17 $k_1=1,483$), в то время как отклонение коэффициента k_2 от число Фибоначчи достигает более 100% (двутавры №65 $k_2=3,25$, двутавры №70 $k_2=3,33$). Следовательно, соотношение t/s для всех рассматриваемых двутавров является гармоничным, в то время как соотношение H/B для двутавров №№27-70 далеки от соотношения золотого сечения.

Были синтезированы профили – аналоги двутавров ГОСТ. Аналог двутавра имеет длину полки B^*

$$B^* = H/\varphi \quad (1)$$

Характеристики аналога двутавра, отличные от аналогичных характеристик двутавров ГОСТ будем обозначать с верхним индексом (*). Аналог двутавра состоит из двух прямоугольных полок $H \times B^*$ и стенки $(H-2 \cdot t) \times s$. Площадь сечения аналога двутавра F^*

$$F^* = 2 \cdot t \cdot B^* + (H-2 \cdot t) \cdot s \quad (2)$$

Погонная масса аналога двутавра m^*

$$m^* = \rho \cdot F^*, \quad (3)$$

здесь $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$ - плотность стали.

Момент сопротивления аналога двутавра W_x^* [1]

$$W_x^* = (B^* \cdot H^3 - 2 \cdot b^* \cdot h^3) / (6 \cdot H), \quad (4)$$

здесь $h = (H-2 \cdot t)$; $b^* = 0,5 \cdot (B^* - s)$ – дополнительные линейные размеры аналога двутавра.

Удельная несущая способность профиля, работающего на изгиб, определяется отношением осевого момента сопротивления сечения профиля к его погонной массе ($\text{см}^3 \cdot \text{м} / \text{кг}$)

$$w_{\text{уд}} = W_x / m \quad (5)$$

или для аналога двутавра $w_{\text{уд}}^* = W_x^* / m^*$ (5a)

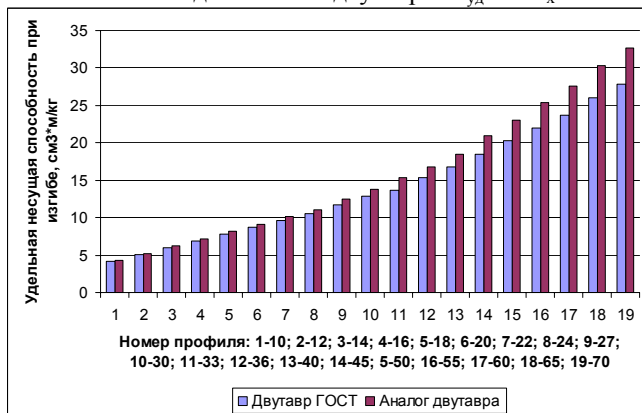


Рис. 2. Удельная несущая способность при изгибе двутавров по ГОСТ 8239-89 и аналогов двутавров

На рисунке 2 представлена столбчатая диаграмма, иллюстрирующая удельную несущую способность двутавров и их аналогов. Из рисунка видно, что аналоги двутавров имеют преимущество в удельной несущей способности по сравнению с двутаврами, выполненными по ГОСТ 8239-89. Причём, для профиля №10 повышение удельной несущей способности аналога двутавра составляет 2,4%, №36 – 9,5%, №70 – 17,6%.

Таким образом, полученные результаты позволяют заключить, что для прокатных профилей, работающих на изгиб, синтез профилей с гармоничным соотношением размеров сечения является существенным резервом увеличения их удельной несущей способности. Учитывая объём использования металлопроката для изготовления элементов оборудования, работающих на изгиб, следует ожидать значительного снижения металлоёмкости силовых элементов технологического оборудования.

Список литературы

1. Любошиц М.И., Ицкович Г.М. Справочник по сопротивлению материалов. Минск, Высшая школа, 1965, 344 с.

УДК 66-5

МОДИФИКАЦИЯ СЛОЖНЫХ НИКЕЛЬ-АЛЮМИНИЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ НАПЫЛЕНИИ

Лобанов Н.Ф.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева,
e-mail: k_ohp@nirhtu.ru

В работе рассмотрены изменения структуры дробленых никель-алюминиевых катализаторов после термохимической переработки и использование их для формирования плазменного покрытия.

Ключевые слова: плазматрон-распылитель, порошковые композиции, оксидные покрытия, порошки из отходов, никель-алюминиевые катализаторы, трансформация структуры, переработка катализаторов.

TRANSFORMATION OF COMPLEX NICKEL-ALUMINUM COMPOSITIONS BY PLASMA SPRAYING

Lobanov N.F.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

The paper considers changes in the structure of crushed nickel-aluminum catalysts after thermochemical processing and their use for the formation of a plasma coating.

Key words: plasma torch sprayer, powder compositions, oxide coatings, powders from waste, nickel-aluminum catalysts, structure transformation, processing of catalysts.

Плазменное напыление оксидных и металлооксидных композиций, полученных путем передела никель-алюминиевых катализаторов, показало высокую адгезию износостойких покрытий, сопоставимую со стандартными оксидными покрытиями на основе оксида алюминия [1]. В то же время наблюдалась повышенная нестабильность процесса прогрева дробленых порошковых материалов, связанная с «пульсацией» расхода твердой фазы.

Для обработки технологических приемов плазменного напыления на базе установки УПУ-3Д были исследованы порошки из отработанных никель-алюминиевых катализаторов трех видов:

- 1 – оксидные системы состава: $\gamma - Al_2O_3, NiO$ (серый порошок);
- 2 – оксидные системы состава: $\alpha - Al_2O_3, NiAl_2O_4$ (голубой порошок);
- 3 – металлооксидная система состава: $\gamma - Al_2O_3, Ni$ (черный порошок).

Порошки первой группы получены путем механической переработки исходного оксидного материала (размол, рассев, просушка при 450 – 550 К).

Порошки второй группы получены прокаливанием порошков первого типа при температуре порядка 1550 К в кварцевой посуде в течение 3÷4 часов. При этом изменился фазовый состав оксида алюминия (γ -форма переходит в α -форму). В результате взаимодействия корунда с оксидом никеля образуется шпинель $NiAl_2O_4$. Примерный состав порошка второго типа: $\alpha - Al_2O_3 \cdot 2 NiAl_2O_4$.

Порошки третьей группы получены из порошка первого типа путем восстановления оксида никеля водородом при 750 – 800 К до металлического никеля на поверхности частиц из оксида алюминия.

На рис. 1 представлены рентгенограммы трех видов порошков, полученные на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3М с монохроматизированным SiK -излучением.

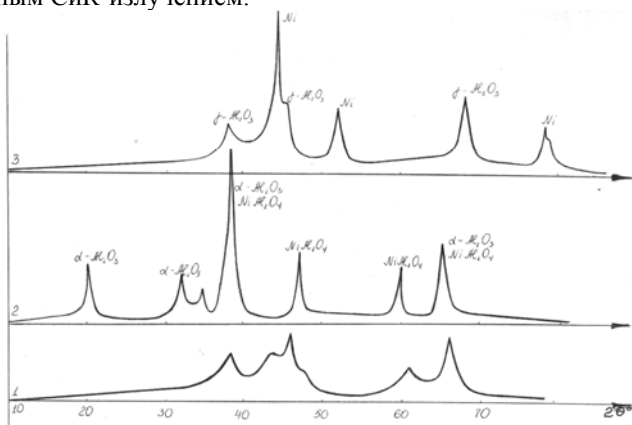


Рис. 1. Рентгенограммы порошков из отработанных алюмоникелевых катализаторов: 1) $\gamma - Al_2O_3 - NiO$; 2) $\alpha - Al_2O_3 - NiAl_2O_4$; 3) $\gamma - Al_2O_3 - Ni$

Комплексные свойства наработанных из никель-алюминиевых катализаторов порошков представлены в таблице 1.

Таблица 1. Комплексные свойства порошков

№ порошка	Насыпная плотность, $кг/м^3$	Плотность материала, $кг/м^3$	Угол естественного скоса, град.
Порошок №1	1700	2960	52
Порошок №2	1980	3360	47
Порошок №3	1750	3010	50

Сравнительную текучесть порошков можно оценить по величине углов естественного откоса, характеризующих равновесное состояние порошка при отсутствии воздействия на него внешних сил. Угловая величина естественного откоса, образованная поверхностью конуса с отверстием у вершины диаметром 5 мм, внутри которого находится свободно насыпанный порошок составляет следующие углы раскрытия: $\alpha_1=52^\circ$; $\alpha_2=47^\circ$; $\alpha_3=50^\circ$. Для сравнения: угол α стандартного порошка ПН-70Ю-30 равен 30° . Следовательно, по текучести порошковые материалы на основе отработанных катализаторов уступают стандартным порошкам, форма частиц которых приближается к сферической. Для компенсации низких реологических свойств искусственных композиций был изготовлен стеклянный порошковый дозатор. Бункер дозатора был выполнен из молибденового стекла с мерными рисками по высоте цилиндрической части. Вдоль вертикальной оси расположена перемещающаяся запорно-регулирующая игла, управляющая дозировкой порошка в транспортирующий газовый поток. Выходной штуцер дозатора связан через фторопластовую трубку с радиальным соплом на среде плазмотрона-распылителя.

При переходе от одного вида порошка к другому очистка и заполнение дозатора осуществляется без его разборки. Другим достоинством стеклянного дозатора является возможность его использования для определения важной характеристики процесса газотермического напыления – коэффициента использования порошка (КИП). Стеклянный бункер был прокалиброван по объему, что позволяет визуально оценить количество израсходованного порошка и, зная насыпную плотность порошкового материала, рассчитать КИП, избегая многочисленных операций взвешивания порошков при напылении каждого нового образца и разборки дозатора.

Для сравнительного анализа результатов плазменного напыления трех видов порошков известного состава (рис. 1) было произведено модельное нанесение покрытий на цилиндрические образцы из стали Ст3 диаметром 40 мм. Указанный размер образцов соответствовал отработанному стенду испытаний покрытий с толщиной не менее 0,6 мм на сдвиг вдоль оси образца.

Условия напыления всех типов порошков №1, №2, №3 на базе установки УПУ-3Д были стабилизированы в пределах $2\pm 6\%$ по параметрам, управляемым напрямую. На сравнительно постоянном уровне сохранялись дистанция напыления ($L=100$ мм) и скорость перемещения распылителя, рабочий ток ($I=360$ А) и соотношение объемных расходов плазмообразующих газов (азот:аргон = 3:1) и транспортирующе-

го азота, а также средняя массовая подача наносимых порошков. Во всех опытах расчетная среднемассовая температура на среде плазмотрона-распылителя мощностью до 25 кВт поддерживалась в диапазоне 3700÷4100 К. Фракционный состав напыляемых порошков поддерживался в диапазоне 60÷100 мкм.

Для определения степени термохимической трансформации напыляемых никель-алюминиевых композиций в процессе формирования защитных покрытий целесообразно сравнить рентгенограммы до (рис. 1) и после (рис. 2) напыления.

На рис. 2 представлены рентгенограммы покрытий, полученных плазменным напылением трех типов исследуемых порошков.

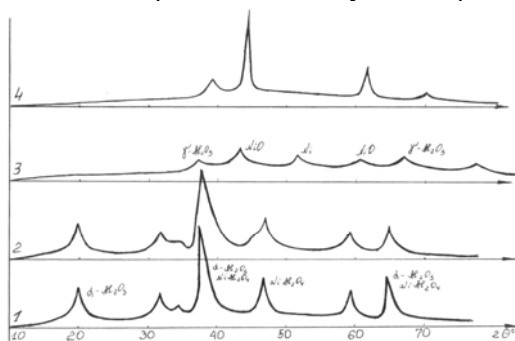


Рис. 2. Рентгенограммы плазменных покрытий и материала подложки: 1) Пк из порошка $\gamma - Al_2O_3 - NiO$; 2) Пк из порошка $\alpha - Al_2O_3 - NiAl_2O_4$; 3) Пк из порошка $\gamma - Al_2O_3 - Ni$; 4) материал подложки (сталь Ст3)

Из рис. 2 следует, что при напылении порошков №1 и №2 на стальную подложку получают близкие по свойству покрытия, содержащие в основном шпинель $NiAl_2O_4$ и $\alpha - Al_2O_3$. Меньшая интенсивность пиков, соответствующих $NiAl_2O_4$ в плазменном покрытии по сравнению с исходным составом порошка №2 свидетельствует об уменьшении кристаллизации данных фаз в материале, подвергнутом воздействию высокоэнтальпийной струи. Увеличение дисперсности, изменение соотношения фазового состава ($\gamma - \alpha$) приводит к увеличению плотности покрытия, что должно оказывать влияние на его прочностные характеристики. Однако, на рентгенограмме, относящейся к порошку №3, не наблюдается явного присутствия фаз $\alpha - Al_2O_3$ и $NiAl_2O_4$. Это, вероятно, связано с защитным действием металлической оболочки из восстановленного никеля, а также с возрастанием дисперсности образующихся фаз.

Рентгенофазный анализ газотермических покрытий представляет значительные трудности. Они связаны с тем, что линии различных фаз накладываются друг на друга, наличие внутренних напряжений приводит к их уширению. Высокая скорость охлаждения расплава при формировании покрытия может вызвать образование рентгеноаморфных структур, а также образование метастабильных фаз типа Ni_2Al_3 .

Плазменные покрытия из порошкового материала, состоящего из оксида алюминия и восстановленного металлического никеля (№3), обладают несколько лучшей адгезией и большей плотностью по сравнению с другими исследованными порошками. Двухфазность керметных покрытий обеспечивает им повышенную износостойкость по сравнению с чисто керамическими. По своим триботехническим свойствам такие покрытия могут приближаться к широко распространенным покрытиям из самофлюсующихся никелевых сплавов.

Определение микротвердости показывает, что при напылении плазменных покрытий на поверхность стальной основы может проявиться эффект поверхностного закаливания. При напылении на полированную поверхность стальной основы в тонком поверхностном слое, состоящем из зерен перлита, в результате нагревания стали выше температуры фазового перехода расплавленными частицами и последующего быстрого охлаждения в непосредственной близости от поверхности, происходят превращения, которые приводят к образованию мартенсита. На некоторых участках переходной зоны оксиды препятствуют непосредственному контакту металлов покрытия и основы. В напыленном покрытии и в металле основы (перпендикулярно границе перехода) образуются зерна размером 0,5–1 мкм. Такой рост зерен, вероятно, представляет собой эпитаксию, т.е. явление роста кристаллов, при котором на поверхности одного кристалла располагается поверхность кристалла другого типа.

Покрытия из порошков, получаемых переработкой отработанных алюмоникелевых катализаторов, можно отнести к многоцелевым и эффективно использовать при одновременной защите рабочих поверхностей деталей от износа и воздействия активных сред при нормальных и повышенных температурах.

Список литературы

1. Лобанов Н.Ф., Козлов А.М. Применение некондиционных и отработанных катализаторов для плазменного напыления износостойких покрытий на основе оксида алюминия // Материалы 7-й международной практической конференции-выставки/ С-П: 2005. С. 179–183.

УДК 620.178.16

**ОЦЕНКА АБРАЗИВНОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ
СТАЛЕЙ ПО МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ**

Сафонов Б.П., Бегова А.В.

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

e-mail: k_ohp@nirhtu.ru

Рассмотрена оценка износостойкости сталей при изнашивании абразивом, на основе прочностной концепции износостойкости получено регрессионное уравнение для оценки сопротивления изнашиванию сталей абразивом без проведения трибологических испытаний. Для проверки корректности предложенной оценки проведены экспериментальные исследования, показавшие удовлетворительное согласование расчетных и опытных данных.

Ключевые слова: износостойкость, прочность, механические свойства.

**EVALUATION OF ABRASIVE WEAR RESISTANCE OF STEELS
BY MECHANICAL PROPERTIES**

Safonov B.P., Begova A.V.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

An assessment of the wear resistance of steels during abrasive wear is proposed, based on the strength concept of wear resistance, a regression equation is obtained to assess the wear resistance of steels with an abrasive without tribological tests. To verify the correctness of the proposed assessment, experimental studies were conducted, which showed a satisfactory agreement of the calculated and experimental data.

Keywords: wear resistance, strength, mechanical properties.

Изнашивание абразивом представляет собой разновидность механического и сводится к съему металла с поверхности трения в основном в условиях микрорезания при сложном нагружении на контакте, поэтому поведение материалов при трибологическом нагружении зависит от механических свойств металла и интенсивности силового воздействия.

Однако, известные [1] попытки выбора сталей для условий изнашивания абразивом по отдельно взятым механическим свойствам, не позволяют ранжировать стали по износостойкости в силу

сложности процессов, развивающихся на контакте металла с абразивом при изнашивании.

Контактное нагружение сталей при абразивном изнашивании имеет ряд особенностей, среди которых следует отметить локализацию нагружения в тонком поверхностном слое (порядка 30-100 мкм), высокий градиент напряжений и деформаций и термическое влияние зоны контакта. Эти особенности условий нагружения объемов металла, ответственных за контактную прочность, обуславливают сложность разработки инженерных критериев выбора сталей для изготовления элементов трибосопрежений, работающих в условиях абразивного изнашивания.

Попытки количественной оценки износостойкости сталей по отдельно взятым механическим свойствам не дают положительного результата, поскольку взаимосвязь износостойкости и механических свойств металла является многофакторной корреляционной связью. В тоже время механические характеристики сталей взаимосвязаны, что необходимо учитывать при разработке статистической модели вида «износостойкость – механические свойства».

С целью иллюстрации комплексного влияния прочности и пластичности сталей на их абразивную износостойкость традиционные зависимости «износостойкость - свойства» представлены в виде триад $I(HRC) - \psi(HRC) - I(\psi)$ (рис.1).

Видна вполне удовлетворительная связь износостойкости отдельно взятой стали с твердостью, в то время как разные стали одинаковой твердости при испытании на абразивное изнашивание имеют различную износостойкость. По-видимому, причина различия износостойкости сталей равной твердости может быть объяснена сложным характером напряженно-деформированного состояния металла на контакте с абразивом при изнашивании, когда внедрившаяся абразивная частица перемещается по поверхности изнашивания, деформируя металл.

В настоящей статье рассматривается методический подход к оценке влияния механических характеристик сталей на их сопротивление изнашиванию абразивом и разработке на этой основе метода оценки абразивной износостойкости сталей.

Суть метода состоит в том, что процесс разрушения стали на контакте предлагается рассматривать протекающим во времени. При этом могут быть выделены три этапа формирования контакта. Отделение частицы износа на контакте является заключительной стадией этого процесса. На каждом этапе формирования контакта ответственными

за сопротивление разрушению будут различные механические свойства сталей.

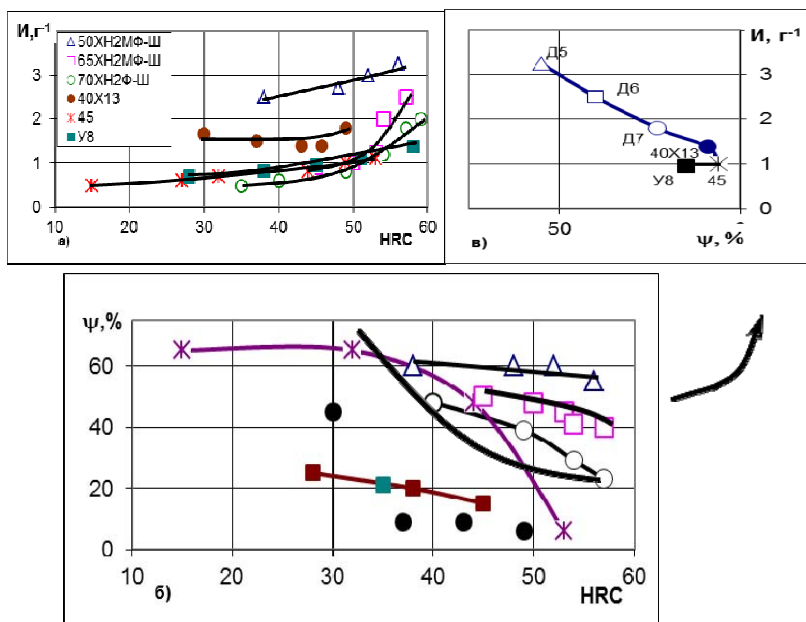


Рис.1. Зависимость износостойкость – твердость – относительное сужение сталей

На первом этапе происходит внедрение частицы абразива в поверхность металла под действием нормальной нагрузки. Данный этап контролируется твердостью металла, преобладающими при этом являются напряжения сжатия. При тангенциальном перемещении внедрившейся частицы абразива ведущую роль в формировании контакта приобретают растягивающие напряжения. По мере истощения металлом запаса пластичности формируется отделяющийся фрагмент металла (частица износа), действующие напряжения снижаются до нуля и цикл нагружения повторяется [2].

Поэтому при разработке критериев выбора сталей для условий абразивного изнашивания по механическим свойствам трибологические исследования, по-нашему мнению, целесообразно проводить таким образом, чтобы роль фактора внедрения абразива в поверхность трения была фиксирована, т.е. проводить изнашивание материалов разной

твердости при постоянной глубине внедрения абразивной частицы в поверхность трения $h = \text{const}$.

Практически это условие можно реализовать либо, проводя изнашивание сталей с удельным давлением, пропорциональным твердости изнашиваемого материала, либо введением поправочного коэффициента, названного коэффициентом внедрения [3], который нивелирует влияние на износ металла переменной глубины внедрения абразива в поверхность трения при исследовании сталей разной твердости.

Введение поправочного коэффициента, в нашем случае, является предпочтительным, поскольку позволяет проводить исследование износа сталей на имеющемся лабораторном оборудовании и, кроме того, позволяет использовать полученные ранее результаты многочисленных исследований абразивного изнашивания сталей и сплавов для анализа и построения статистических моделей.

Среди методов определения твердости метод Роквелла является наиболее технологичным и употребительным в условиях заводских лабораторий. Поэтому, в отличие от ранее выполненных исследований [4], коэффициент внедрения стали определяли, опираясь на HRC.

Учитывая принятое допущение, что твердость эталона HRC_{эт} 15, получим выражение для безразмерного коэффициента внедрения

$$K_h = \frac{85}{100 - HRC} \quad (1)$$

Коэффициент внедрения K_h зависит от твердости стали в исследуемом структурном состоянии, использование его, по нашему мнению, позволяет количественно оценить влияние первого этапа формирования контакта на сопротивление металла изнашиванию

При пластическом оттеснении металла внедрившейся абразивной частицей, сопротивление стали разрушению, по нашему мнению, будет определяться как уровнем прочности металла, так и запасом пластичности. Поэтому для оценки сопротивления металла нагружению на втором этапе формирования контакта целесообразно использовать комплексную характеристику механических свойств стали вида «прочность × пластичность».

В качестве прочностной составляющей в этом энергетическом комплексе используем предел прочности σ_B , как характеристику, широко представленную в нормативной и технической литературе по сталям. Пластическая составляющая комплекса представлена истинным удлинением, которое определяется по формуле [10]:

$$e = \ln \frac{1}{1 - \psi} ; \quad (2)$$

где ψ - относительное сужение металла в относительных единицах.

Предпочтительное использование истинного удлинения в нашем комплексе связано с тем, что исследуемые стали рассматриваются в различном структурном состоянии от перлита до отпущенного мартенсита, где имело место как хрупкое ($\psi < 0,15$), так и вязкое ($\psi > 0,15$) разрушение металла образцов. Поэтому предпочтительным является использование показателя истинного удлинения. Кроме того, использование e позволяет учесть суммарное количество накопленной пластической деформации от момента первоначального нагружения до разрушения образца, т.е. e обладает свойством аддитивности.

С целью выявления корреляционной связи абразивной износостойкости и механических свойств были исследованы стали 30X, 40X13, 45, 50XН2МФАШ, 65XН2МФ-Ш, 70XН2Ф-Ш и У8 в различном структурном состоянии после закалки и отпуска.

Абразивное изнашивание моделировалось скольжением торца цилиндрического образца диаметром 10 мм по поверхности абразивного круга марки 25A25СМ16КБ2 (ОСТ 2МТ71-5-78). Удельная нагрузка – 1,27 МПа, скорость скольжения – 0,28 м/с. Для избежания краевого эффекта и влияния направленной шероховатости образцу сообщалось вращение вокруг собственной оси.

Диапазон изменения твердости 15 – 60 HRC, предела прочности $\sigma_B = 400-2550$ МПа, относительного сужения $\psi = 6 - 70$ %. Для этой выборки сталей был определен комплексный показатель $\sigma_B \cdot e$ и исследована его связь с износостойкостью (рис.2).

Анализ выборки показывает, что в вершине параболы твердость колеблется от 15 до 30 HRC, что соответствует структуре сорбита отпуска. В правой ветви параболы твердость образцов составляет 45 – 60 HRC, что соответствует структурам троостита отпуска и мартенсита.

Наиболее интенсивный рост твердости наблюдается для образцов в правой ветви параболы, где увеличение показателя $\sigma_B \cdot e$ синхронизировано с повышением твердости образцов. При $\sigma_B \cdot e \approx 2000$ МПа твердость образцов составляет 50-55 HRC.

Для обобщения полученных результатов был проведен линейный регрессионный анализ выборки, который позволил получить уравнение регрессии, связывающее комплексный показатель свойств $\sigma_B \cdot e$ и износостойкость стали.

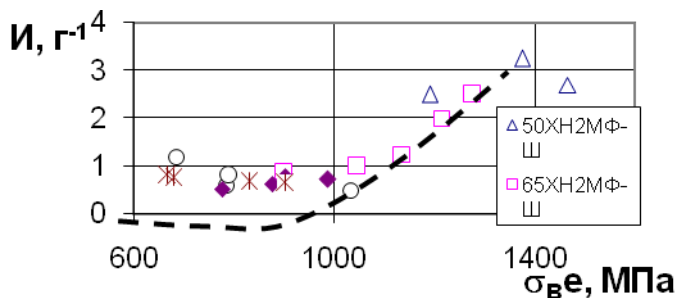


Рис.2. Зависимость износостойкости от энергоемкости $\sigma_B \cdot e$ стали

Совместное использование критериев пластического оттеснения и сопротивления внедрению K_h дало возможность оценить расчетным путем износостойкость закаленной на различные структуры стали по механическим свойствам металла σ_{Bi} , ψ_i , HRC_i

$$I_i = [1,4 \cdot 10^{-3} \cdot \sigma_{Bi} e_i + 10^{-6} \cdot (\sigma_{Bi} e_i)^2] \cdot \left(\frac{85}{100 - HRC_i} \right) (\text{г}^{-1}), \quad (3)$$

где I_i – износостойкость стали в структурном состоянии, характеризующем твердостью HRC_i ; σ_{Bi} – предел прочности стали в данном структурном состоянии, МПа; e_i – истинное удлинение стали, найденное через относительное сужение ψ_i .

С помощью регрессионного уравнения (3) абразивная износостойкость закаленных сталей определяется, минуя трудоемкие и длительные испытания на изнашивание.

Для использования полученных результатов на практике была построена номограмма (рис.3), по которой износостойкость определяется как ордината точки пересечения перпендикуляра, восстановленного из точки $(\sigma_B \cdot e)_I$ на оси абсцисс и линии, характеризующей твердость стали (HRC)_i.

Номограмма позволяет также оценить вклад каждого критерия в величину сопротивления стали изнашиванию. Так, например, при уровне энергетического показателя $\sigma_B \cdot e = 2200$ МПа по номограмме износостойкость сталей будет изменяться от 2,5 г^{-1} (HRC_{15}) до 10 г^{-1} (HRC_{65}). При уровне твердости 55HRC по номограмме износостой-

кость сталей будет изменяться от $2,5 \text{ г}^{-1}$ ($\sigma_B \cdot e = 1400 \text{ МПа}$) до 10 г^{-1} ($\sigma_B \cdot e = 2600 \text{ МПа}$).

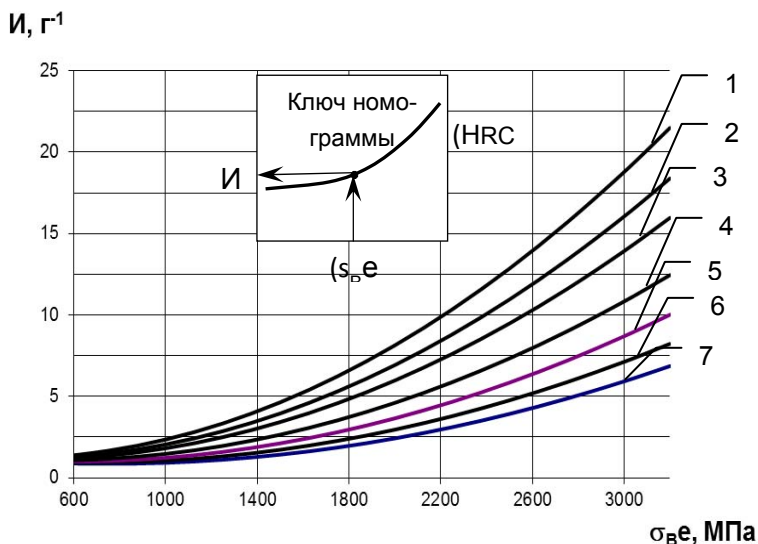


Рис 3. Номограмма для определения износостойкости сталей по механическим свойствам (HRC, σ_B , ψ): 1 – HRC65; 2 – HRC60; 3 – HRC55; 4 – HRC45; 5 – HRC35; 6 – HRC25; 7 – HRC15

Таким образом, используя номограмму можно целенаправленно выбирать стали заданной износостойкости, варьируя критериями $\sigma_B \cdot e$ и HRC. При этом механические свойства рассматриваемой стали назначаются, исходя из функционального назначения деталей.

Так, если по условиям эксплуатации и технологии изготовления детали применимы материалы высокой твердости, то могут быть рекомендованы закаленные стали с низким отпускком ($\sigma_B \cdot e = 200 - 300 \text{ МПа}$, HRA = 60 – 90); если же по условиям эксплуатации и технологии изготовления деталей материалы высокой твердости применены быть не могут (растягивающие статические напряжения, ударные нагрузки), то предпочтительными являются высокопрочные стали, сочетающие высокую износостойкость, статическую прочность и достаточную пластичность ($\sigma_B \cdot e = 1100 - 1600 \text{ МПа}$, HRC= 50 -60). Для узлов трения,

работающих в условиях низкой интенсивности силового нагружения, можно ограничиться применением традиционных цементируемых сталей ($\sigma_B \cdot e = 600 - 1100$ МПа, HRC= 56 – 60) [5].

Представленная информация наглядно иллюстрирует возможность ранжирования сталей по износостойкости в заводских и иных производственных условиях без проведения испытаний на изнашивание. Особенно это важно для тех ситуаций, где в практике производства машин и инструмента необходимо выбрать износостойкую сталь из группы имеющихся, но нет соответствующих методических средств для проведения испытаний сталей на изнашивание.

Таким образом, предлагаемые нами методы оценки износостойкости существенно упрощают проблему выбора износостойких сталей из числа имеющихся в производстве и ориентируют металловедов на создание новых износостойких сталей, которые удовлетворяли бы рассмотренным в статье требованиям.

Список литературы

1. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М. Износостойкость сталей и сплавов. М.: Нефть и газ. 1994. 417 с.
2. Марченко Е.А. О природе разрушения поверхности металлов при трении. М.: «Наука», 1979. 118 с.
3. Сорокин Г.М., Ефремов А.П., Ерошкин В.П., Сафонов Б.П. Методика определения абразивной износостойкости стали // Заводская лаборатория. М., 1981, т.47, № 5. С. 81–82.
4. Сафонов Б.П. О методическом подходе к оценке сопротивления сталей изнашиванию абразивом // Трение и износ, 1993, т.14, №1. С. 887–894.
5. Сафонов Б.П., Бегова А.В. Инженерная трибология: оценка износостойкости и ресурса трибосопряжений // РХТУ им. Д.И. Менделеева, Новомосковский ин-т; Новомосковск, 2004. 60с.

УДК 620.193

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ АНОДНЫХ
ОКИСНЫХ ПЛЕНОК НА СПЛАВЕ
АЛЮМИНИЯ Д16 В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОТОКА
АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ С АБРАЗИВОМ**

Клочков В.И.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: k_ohp@nirhtu.ru

Показано влияние толщины защитных пленок на коррозионное и электрохимическое поведение алюминиевого сплава Д16 в условиях воздействия потока агрессивной среды с абразивом.

Ключевые слова: окисные пленки, алюминиевый сплав, абразивные частицы, агрессивная среда.

**INVESTIGATION OF THE PROTECTIVE PROPERTIES OF AN-
ODIC OXIDE FILMS ON ALUMINUM ALLOY D16 UNDER THE
INFLUENCE OF THE FLOW OF AN AGGRESSIVE MEDIUM
WITH AN ABRASIVE**

Klochkov V.I.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

The influence of the thickness of protective films on the corrosion and electrochemical behavior of aluminum alloy D16 under the influence of the flow of an aggressive medium with an abrasive is shown.

Key words: oxide films, aluminum alloy, abrasive particles, aggressive environment.

Проведены исследования стойкости анодных окисных пленок на сплаве алюминия Д16 толщиной 20 и 50 микрометров в 3%-ном растворе NaCl. Исследования проводились на экспериментальной установке и по разработанной методике, показанных ранее [1]. Анодирование осуществляли сернокислотным способом при отрицательной температуре, что позволило получать пленки толщиной до 60 мкм.

Полученные стационарные потенциалы $\varphi_{ст}$ образцов в покоящемся растворе по мере утолщения окисной пленки составляли соответственно:

$\varphi_{ст} = 670$ мВ (воздушная окисная пленка); $\varphi_{ст} = 630$ мВ (пленка в 20 мкм); $\varphi_{ст} = 480$ мВ (пленка в 50 мкм).

Пленка в 50 мкм сдвигает значения стационарного электродного потенциала сплава Д16 в 3%-ном растворе NaCl на 190-200 мВ.

При исследованиях в электролит добавляли абразив (карбид кремния К4-63) в количестве $K_1 > 10\%$ и $K_2 = 20\%$ от общей массы раствора. Скорость движения электролита составляла $V_1 = 2$ м/с и $V_2 = 8$ м/с. В таблице 1 представлены величины сдвигов электродных потенциалов от стационарного значения при зачистке поверхности потоком агрессивной среды сплава Д16 при различных толщинах окисной пленки.

Таблица 1

Сплав с окисной пленкой	Алюминиевый сплав Д16											
	Воздушная окисная пленка				Анодная окисная пленка (20 мкм)				Анодная окисная пленка (50 мкм)			
Параметры испытаний	V_1 K_1	V_1 K_2	V_2 K_1	V_2 K_2	V_1 K_1	V_1 K_2	V_2 K_1	V_2 K_2	V_1 K_1	V_1 K_2	V_2 K_1	V_2 K_2
$\Delta \varphi$ (мВ) ($\varphi_{зач} - \varphi_{ст}$)	-40	-90	-300	-450	+30	-90	-30	-150	0	+15	+20	-45

$V_1 - 4$ м/с, $K_1 - 10\%$, $v_2 - 8$ М/С, $K_2 - 20\%$

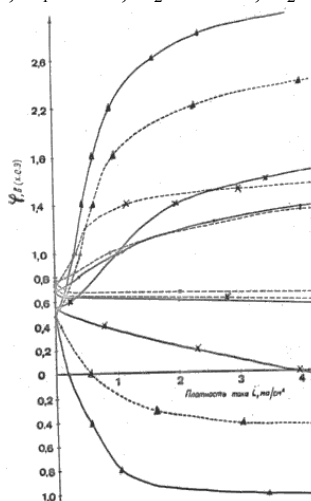


Рис. 1. Влияние толщины защитной окисной пленки на электрохимическое поведение сплава Д16 при воздействии потока раствора 1 с концентрацией абразивных частиц $K - 10\%$

Δ – 50 мкм х – 20 мкм 0 – В.О.П. _____ - 4 м/сек - - - - - 8 м/сек

При скорости движения электролита 4 м/с (V_1) влияние механического фактора еще незначительно, хотя и при этой скорости потока наличие абразивных частиц заметно влияет на значения электродного потенциала и ход поляризационных кривых (Рис. 1 и Рис. 2).

Следует отметить, что воздушная окисная пленка и анодная толщиной 20 мкм уже и в данных условиях малоэффективна.

При увеличении скорости потока электролита до 8 м/с (V_2) происходит заметное повышение активности электродных процессов.

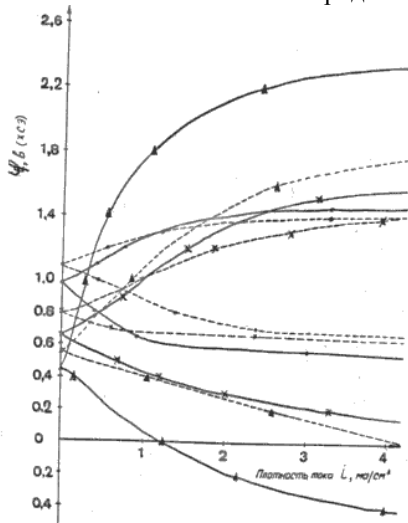


Рис. 2. Влияние толщины защитной окисной пленки на электрохимическое поведение сплава Д16 при воздействии потока раствора I с концентрацией абразива К – 20 %

Δ – 50 мкм х – 20 мкм 0 – В.О.П. _____ - м/сек - - - - - 8 м/сек

Стоит отметить, что с возрастанием интенсивности зачистки происходит значительный сдвиг электродного потенциала для образцов с воздушной окисной пленкой и анодной в 20 мкм. Для анодной пленки в 50 мкм при скорости V_1 имеют место сдвиги электродного потенциала в положительную сторону, т.е. пленка не подвержена зачистке гидроабразивным потоком и имеет место значительная заторможенность электрохимических процессов как в катодной, так и в анодной областях. Изменение концентрации абразивных частиц от 10% (K_1) до 20% (K_2) разрушение анодной пленки в 50 мкм начинается лишь при скоро-

сти V_2 (8 м/сек.) и сдвиг потенциала составляет – 45 мВ, для пленки в 20 мкм – 150 мВ и для воздушной окисной пленки в – 450 мВ.

Анодно-окисленный слой в 50-60 мкм представляет уже значительное омическое сопротивление.

Таким образом, анодные окисные пленки на алюминиевых сплавах толщиной 40-60 мкм могут предохранять основной металл от интенсивного процесса коррозионно-механического разрушения скоростным потоком электролита с абразивными частицами в исследованном диапазоне скоростей потока и концентрации абразивных частиц.

Список литературы

1. Клочков В. И. Приборы и методы исследования коррозии в потоке агрессивной среды. Сборник научных трудов. Инженерная механика, материаловедение и надежность оборудования, выпуск № 5 (13), Новомосковск, 2004. С. 23-29.

УДК 62-712.3

**К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИНИМАЛЬНОГО ЗАЗОРА
МЕЖДУ КОНЦОМ ЛОПАТКИ И ВОЗДУХОВОДОМ
НА ВЕНТИЛЯТОРНЫХ УСТАНОВКАХ**

Калугин И.А.¹, Каменский М.Н.²

¹ООО «Газпром добыча Ямбург»

²Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: mechanic51@yandex.ru

Разработана карта технологического процесса по обеспечению минимального зазора между концом лопатки и воздуховодом на вентиляторной установке аппарата воздушного охлаждения газа.

Ключевые слова: лопатка, вентиляторная установка, зазор, болты крепления.

**ON THE ISSUE OF ENSURING A MINIMUM GAP BETWEEN
THE END OF THE BLADE AND THE AIR DUCT
ON FAN INSTALLATIONS**

Kalugin I.A.¹, Kamensky M.N.²

¹LLC "Gazprom dobycha Yamburg", Russia,

²Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

A map of the technological process has been developed to ensure a minimum gap between the end of the blade and the air duct on the fan installation of the gas air cooling device.

Key words: blade, fan installation, gap, mounting bolts.

При транспортировке секций вентиляторных установках в сборе часто встречаются случаи, когда не закреплены хвостовики лопаток в постелях рабочего колеса. Это приводит к возникновению микротрещин от ударных знакопеременных динамических нагрузок и усталостных трещин, а также расслоению пера лопатки. Если при монтаже аппаратов воздушного охлаждения (АВО) не устранена нецилиндричность (эллипс) воздухопроводов каждого вентилятора аппарата воздушного охлаждения в плоскости вращения рабочего колеса и его несоосность с валом электродвигателя, предположительно возникшая после транспортировки вентиляторных установок (ВУ) с завода изготовителя к месту монтажа и последующей эксплуатации на предприятие, то это приводит к нарушению работоспособности части ВУ. Воздуховоды имеют неправильную форму в своем сечении (нецилиндричность, эл-

липис). Данное отклонение в конструкции затрудняет выполнение требований завода-изготовителя в части соблюдения равномерной величины зазора между лопатками рабочего колеса и воздухопроводом во время эксплуатации оборудования на рабочих режимах.

В процессе визуального осмотра вентиляторных установок АВО газа выявляются сколы, расслоения (трещины) и разрушения лопаток рабочих колес. Результатом данных дефектов явились вышеперечисленные причины.

На основе разработанной ООО «ИнтелНедра» карты технологического процесса для недопущения разрушения остальных лопаток вентиляторов из-за недопустимого зазора при условии строгого выполнения подготовительных и ремонтных работ, производится отпиливание поверхности А (рис. 1) на величину 6-10 мм. Наждачной бумагой зачищается спил и кромка спила, спил и его кромка закрашивается красной краской.

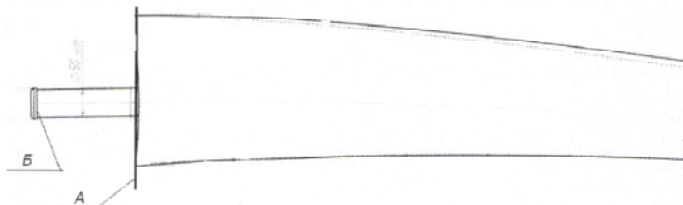


Рис. 1. Эскиз лопатки

Выполнение работ по настоящей карте технологического процесса не ухудшает дальнейшую работоспособность вентиляторных установок, заданные параметры и долговечность работы не ухудшаются.

В процессе подготовительных работ необходимо:

1. Определить количество вентиляторных установок с зазором между концом лопатки и воздухопроводом менее 8 мм.

2. Нарезать трубу внутренним $\varnothing 50$ мм на полукольца толщиной 5 мм, в соответствии с выявленным количеством вентиляторных установок, требующих доработок. Снять фаску с колец, для предотвращения срезания пятки лопатки.

Согласовать со службой эксплуатации порядок и последовательность ремонта вентиляторных установок по месту эксплуатации на предприятии.

Основные ремонтные работы заключаются в следующем:

1. Обесточить электродвигатель вентиляторной установки, по возможности создать видимый разъем, согласно действующей производственной инструкции на предприятии.

2. Убедиться, что вентилятор не вращается, открыть защитные сетки.

Пометить несмываемой краской местоположение лопаток в рабочем колесе и положение крышки рабочего колеса.

3. Ослабить болты крепления лопаток и вытащить лопатки, не нрняя их и снять крышку рабочего колеса.

4. Под руководством шеф-инженера отпилить поверхность А (рис. 1) на величину 6-10 мм. Фактическую толщину реза устанавливает шеф-инженер, исходя из обстановки.

5. Наждачной бумагой зачистить спил и кромки пила. Очистить кромку от пыли. Покрасить кромку пила красной краской.

6. На хвостовик лопатки установить к поверхности Б (рис. 1) полукольца из трубы и заварить в кольцо, после сварки металлическое кольцо в месте сварки зачистить заподлицо со стыковочными поверхностями и покрасить.

7. Произвести осмотр лопатки, в случае обнаружения повреждений, произвести ремонт.

8. Установить лопатки в рабочее колесо согласно маркировке и выставить требуемый угол согласно паспорта завода изготовителя и производственной инструкции предприятия по эксплуатации данного оборудования.

9. Гайки крепления лопаток законтрить с помощью клея-фиксатора для резьбовых соединений.

10. Убедиться, что работы выполнены правильно, углы лопаток выставлены с разницей не более $0,5^{\circ}$, все резьбовые соединения затянуты, зазор между концом лопатки и воздуховодом не менее 8 мм.

Составить Акт и сдать вентиляторные установки службе эксплуатации или службе качества предприятия.

Настоящая карта разработана на основе данных полученных после обследования вентиляторных установок аппаратов воздушного охлаждения газа, входящих в состав дожимной компрессорной станции на установке комплексной подготовки газа ДКС УКПГ-1С нефтегазодобывающего управления ООО «Газпром добыча Ямбург».

Это позволит на сегодняшний день без оформления заказа на новые лопатки и их закупки: быстро, оперативно, без больших затрат общества на приобретение новых лопаток произвести дообработку существующих силами ремонтного персонала установки комплексной подготовки газа, добившись тем обеспечения минимального зазора между концом лопатки и воздуховодом на вентиляторных установках.

УДК 531.53.04

**РАСЧЕТ ДВИЖЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ,
МОДЕЛИРУЮЩЕЙ ПОЛЕТ МЕТАТЕЛЬНОГО НОЖА**

Зимин А.И., Суменков А.Л.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: k_ohp@nirhtu.ru

Выполнен расчет движения механической системы, состоящей из двух тел, получившей в начальный момент времени линейную и угловую скорости. Система моделирует полет так называемого «ртутного ножа» - метательного ножа, имеющего по длине лезвия канал, в котором свободно движется тело, обладающее массой («ртутное тело»). Результаты расчета опровергают легенду.

Ключевые слова: нож для метания, ртутное тело, механическая система, скорость, угловая скорость.

CALCULATION OF THE MOVEMENT OF A MECHANICAL SYSTEM THAT SIMULATES THE FLIGHT OF A THROWING KNIFE

Zimin A.I., Sumenkov A.L.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

The calculation of the motion of a mechanical system consisting of two bodies, which received linear and angular velocities at the initial moment of time, is performed. The system simulates the flight of the so - called "mercury knife" - a throwing knife that has a channel along the length of the blade, in which a body with mass ("mercury body") moves freely. The calculation results refute the legend.

Keywords: throwing knife, mercury body, mechanical system, speed.

Легенда о существовании так называемого «ртутного ножа» существует давно и устойчиво. Приходилось ее слышать еще в начале пятидесятих годов прошлого века, сейчас в сети интернет подробно описывается конструкция этого ножа и даже есть много предложений его купить. Это нож для метания. Считается, что он разработан сугубо для спецслужб и используется подобными подразделениями разных стран. Его уникальное свойство состоит в том, что при броске этого ножа из любого положения и любым способом, он летит в цель острым концом лезвия вперед и поражает мишень, вонзаясь в нее.

Особенность конструкции этого ножа, обеспечивающая его уникальное свойство, заключается в следующем: в теле лезвия по всей его длине сверлится цилиндрическое отверстие, в этот канал помещается, так называемое, «ртутное тело», т.е. некоторое количество ртути. Потом из этого канала откачивается воздух и он герметично закрывается, либо, в других вариантах, просто закрывается без герметизации. Ртутное тело, т.е. ртутный цилиндр, свободно перемещаясь по просверленному каналу внутри лезвия ножа, заставляет его лететь при броске всегда острым концом в мишень. Конструктивно эти ножи отличаются между собой, но принцип их работы неизменен.



Рис 1. Ножи для метания с «ртутным телом» снаружи

На рисунке 1 изображен один из вариантов конструкции современных метательных ножей, в которых «ртутное тело» движется в прорези лезвия, а не в канале внутри его. Как видно из рисунка, масса этого «ртутного тела» может быть довольно значительной, сравнимой с массой самого ножа.

Утверждают, что такие ножи использовались еще во время Великой Отечественной Войны. На рисунке 2 изображен такой нож, в лезвие которого вставлялась капсула с ртутью и закреплялась скобами.



Рис 2. Ртутный нож с капсулой, вставляемой в лезвие

Попробуем разобраться, насколько обоснованными являются рассказы о свойствах такого ножа. Ну, во-первых, почему именно ртуть выбрана в качестве тела, обладающего массой, перемещающегося

внутри канала в теле лезвия ножа. Ответ очевиден: ртуть имеет большой удельный вес (13546 килограммов на кубометр) и может легко перемещаться по каналу, просверленному в лезвии ножа; если говорить о стали, то ее удельный вес примерно 7800 килограммов на кубометр и, кроме того, стальной цилиндр может самопроизвольно stopпориться при движении внутри канала из за неизбежно возникающих сил трения. Остается выяснить – сможет ли нож такой конструкции при броске лететь под действием «ртутного тела» как стрела, пущенная из лука и имеющая на хвосте оперение.

Будем решать задачу о движении механической системы, моделирующей полет «ртутного ножа», полагаясь на законы механики, а точнее, динамики. Сам нож будем считать пластиной, имеющей массу m_1 и длину l , пластина имеет канал, просверленный в ней от центра до края, в канале находится материальная точка массы m_2 (ртутное тело), которая свободно может перемещаться по каналу. Рассмотрим движение механической системы, состоящей из пластины и материальной точки, свободно двигающейся внутри пластины. Будем считать, что бросок ножа выполняется в горизонтальной плоскости, т.е. силы веса направлены перпендикулярно плоскости его движения. В начальный момент ртутное тело находилось в центре пластины (Рис. 3), т.е. центр масс системы находился в центре пластины – в точке C . В начальный момент центру масс системы сообщили скорость \vec{V}_{C_0} , а пластине сообщили угловую скорость ω_0 .

Движение системы свяжем с неподвижной системой координат $X - Y$, начало которой помещается в точке C , которая в начальный момент совпадает с точкой C_1 - центром тяжести пластины 1 и с центром масс системы в начальный момент. Оси X_C, Y_C подвижны, параллельны осям $X - Y$, начало этих координат помещается в центре масс системы – точке C . Ось X_2 берет начало в точке C_1 - центре тяжести пластины, направлена вдоль нее, по этой оси происходит относительное движение тела 2.

Применим для решения задачи теорему о движении центра масс механической системы:

$$M \cdot \vec{a}_C = \sum \vec{F}_K^e, \text{ где } M - \text{масса механической системы;}$$

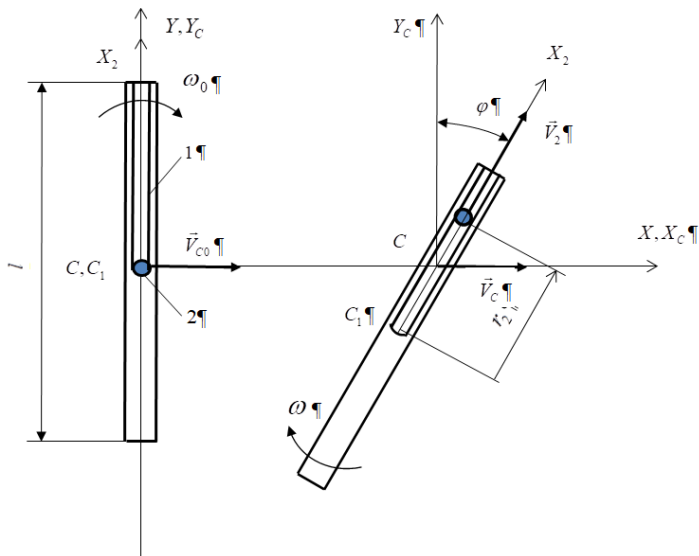


Рис. 3. Механическая система, состоящая из пластины 1 и свободно перемещающейся по каналу внутри пластины материальной точки 2

\vec{a}_C - вектор ускорения центра масс системы; $\sum \vec{F}_K^e$ - векторная сумма внешних сил, действующих на тела системы. Спроецируем данное уравнение в горизонтальную плоскость $X - Y$, т. к. по условию движение системы происходит в горизонтальной плоскости, получим:

$$M \cdot a_{Cxy} = \sum F_{Kxy} = 0;$$

Масса системы не равна нулю $M \neq 0$, проекция внешних сил системы в плоскость $X - Y$ равна нулю $\sum F_{xy} = 0$, следовательно равна нулю проекция ускорения центра масс системы в плоскость $X - Y$; $a_{Cxy} = 0$.

Из вышесказанного следует, что скорость точки C - центра масс нашей механической системы постоянна по величине и направлению, а в начальный момент она равнялась \vec{V}_{C0} , следовательно $\vec{V}_C = \vec{V}_{C0}$, т.е. центр масс нашей механической системы движется равномерно вдоль оси X с постоянной скоростью, равной начальной скорости, сообщенной точке C при броске (Рис. 3).

Теперь будем использовать для дальнейшего решения задачи теорему «Окинетическом моменте механической системы», которую в дифференциальной форме можно представить так:

$$\frac{d\vec{L}_C}{dt} = \sum \vec{m}_C(\vec{F}_K^e),$$

где: \vec{L}_C - момент количества движения механической системы относительно центра масс C ;

$\sum \vec{m}_C(\vec{F}_K^e)$ - сумма моментов внешних сил системы относительно центра масс C .

Запишем уравнение этой теоремы в проекции на ось Z_C , перпендикулярную плоскости $X_C - Y_C$:

$$\frac{dL_Z}{dt} = \sum m_Z(\vec{F}_K^e),$$

где: L_Z - момент количества движения механической системы относительно оси Z_C ;

$\sum m_Z(\vec{F}_K^e)$ - сумма моментов внешних сил системы относительно оси Z_C .

Очевидно, что в нашем случае $\sum m_Z(\vec{F}_K^e) = 0$, т.е. $L_Z = const$, т.е. тела 1 и 2 нашей механической системы движутся, изменяются их скорости, но L_Z - момент количества движения механической системы относительно оси Z_C остается постоянным, равным его значению в начальный момент времени L_{Z0} . Вычислим значения кинетического момента системы в начальный момент и его текущее значение и приравняем их.

$$J_0 \cdot \omega_0 = J_C \cdot \omega, \text{ где:}$$

J_0 – момент инерции механической системы в начальный момент;

J_C – текущее значение момента инерции механической системы относительно оси Z_C , т.е. относительно центра масс системы;

ω_0, ω – угловая скорость вращения пластины 1 в начальный момент и ее текущее значение в процессе движения системы.

$$J_0 = \frac{m_1 \cdot l^2}{12}$$

$$J_C = \frac{m_1 \cdot l^2}{12} + m_1 \cdot \left(\frac{m_2 \cdot r_2}{m_1 + m_2}\right)^2 + m_2 \cdot \left(r_2 - \frac{m_2 \cdot r_2}{m_1 + m_2}\right)^2$$

Теперь вычисляем значение угловой скорости вращения пластины 1 во время полета:

$$\omega = \frac{\frac{m_1 \cdot l^2}{12}}{\frac{m_1 \cdot l^2}{12} + m_1 \cdot \left(\frac{m_2 \cdot r_2}{m_1 + m_2}\right)^2 + m_2 \cdot \left(r_2 - \frac{m_2 \cdot r_2}{m_1 + m_2}\right)^2} \cdot \omega_0$$

После преобразований получим:

$$\omega = \frac{\omega_0}{1 - 12 \cdot \frac{(m_2 \cdot r_2)^2 + m_2 \cdot r_2^2 \cdot (m_1 + m_2)}{(m_1 + m_2) \cdot m_1 \cdot l^2}} \quad (1)$$

Для того, чтобы «ртутный нож» летел прямо, как стрела с оперением, его угловая скорость должна быть равна нулю, т.е. в полученной формуле знаменатель дроби должен стремиться к бесконечности. Исследуем полученную зависимость с помощью программы «MATHCAD». Для определенности, положим вес пластины (ножа) – 0,2 килограмма, вес «ртутного тела», т.е. вес материальной точки – 0,2 килограмма, длина пластины (ножа) равна 0,4 метра. На Рис. 4 показан график изменения угловой скорости ножа при перемещении «ртутного тела» из начальной точки в центре пластины к ее краю. Как видно из графика, угловая скорость уменьшается и достигает значения 0,4 от начальной величины. Далее эта угловая скорость становится постоянной и не меняется в процессе всего полета.

Получилось, что скорость вращения такого ножа уменьшилась более чем вдвое, но все-таки, она далека от нулевого значения и нож в полете продолжает вращаться, хотя и с меньшей угловой скоростью.

Попробуем увеличить вес «ртутного тела» и посмотрим, как изменится угловая скорость. Пусть вес материальной точки будет изменяться от 0 до одного килограмма. На Рис. 5 видно, что угловая скорость уменьшилась более чем в три раза, но нулевого значения все равно не достигла.

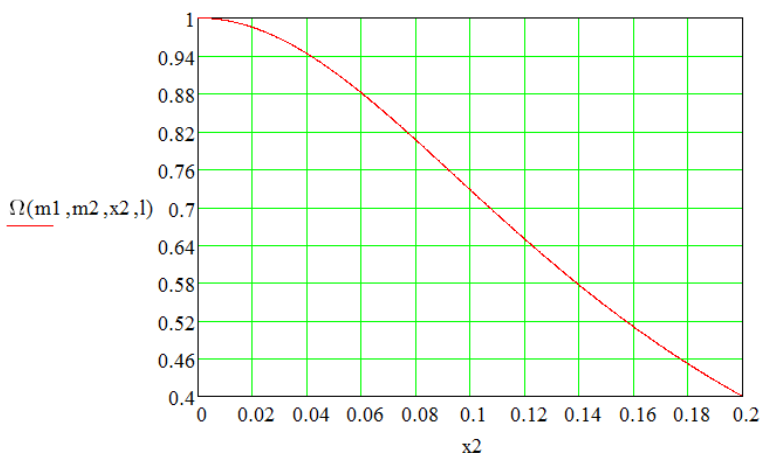


Рис. 4. Зависимость угловой скорости вращения ножа Ω от перемещения «ртутного тела» вдоль оси X_2 . $m_1 = 0,2 \text{ kg}$; $m_2 = 0,2 \text{ kg}$; $l = 0,4 \text{ m}$.

Для того, чтобы выяснить, как влияет длина ножа (пластины) l на изменение его угловой скорости ω в процессе полета, преобразуем выражение 1, учитывая, что в нашем случае при достижении постоянной угловой скорости вращения пластины $r_2 = \frac{l}{2}$. Из полученного выражения (2) видно, что конечное изменение угловой скорости не зависит от длины пластины (ножа), а зависит только от масс пластины и материальной точки (ножа и ртутного тела).

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{\omega_0}{1 - 12 \cdot \frac{(m_2 \cdot \frac{l}{2})^2 + m_2 \cdot \frac{l^2}{4} \cdot (m_1 + m_2)}{(m_1 + m_2) \cdot m_1 \cdot l^2}} = \\ &= \frac{\omega_0}{1 - 3 \cdot \frac{m_2^2 + m_2 \cdot (m_1 + m_2)}{(m_1 + m_2) \cdot m_1}} = \\ &= \frac{\omega_0 \cdot m_1}{m_1 + 3 \cdot m_2 - \frac{3 \cdot m_2^2}{m_1 + m_2}} \end{aligned} \quad (2)$$

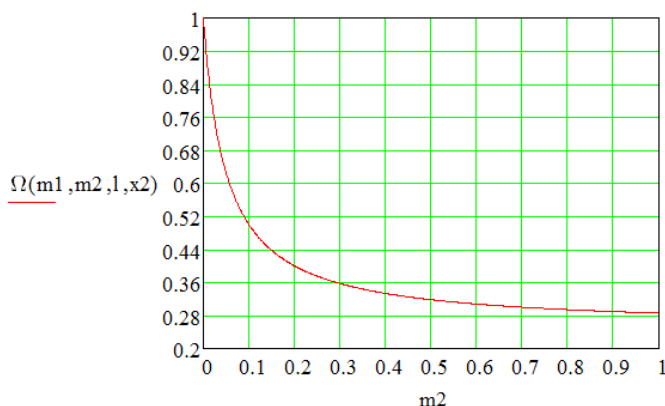


Рис. 5. Зависимость угловой скорости вращения ножа от массы «ртутного тела» $m_1 = 0,2 \text{ kg}$; $x_2 = 0,2 \text{ m}$; $l = 0,4 \text{ m}$.

Если преобразовать выражение (2), введя величину соотношения масс ножа и «ртутного тела» $\psi = \frac{m_2}{m_1}$, получим:

$$\omega = \frac{\omega_0 \cdot (1 + \psi)}{1 + 4 \cdot \psi} \quad (3)$$

Используя выражение (3) легко подсчитать угловую скорость вращения ножа при броске, зная его начальную угловую скорость и соотношение масс ножа и «ртутного тела».

Из всего сказанного можно сделать вывод о том, что уникальные свойства «ртутного ножа» не более чем легенда. Но угловая скорость его вращения в процессе полета действительно уменьшается, при реальных соотношениях масс ножа и «ртутного тела» она может уменьшиться более чем вдвое. Не исключено, что это свойство используют профессионалы для отработки различных приемов метания ножей.

Список литературы

1. Попенко В.Н. Приемы метания холодного оружия. М.: Богучар, 1992. 62 с.
2. Касьянов Т.Р. Наставление по метанию ножей. М.: Терра Спорт, 2000. 48 с.
3. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики. М.: Высш. шк., 1995. 478 с.

УДК 621.787

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ
ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ БОРИРОВАННОГО СЛОЯ
НА ХРОМИСТЫХ СТАЛЯХ**

Козлов А.М.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И.Менделеева

e-mail: k_ohp@nirhtu.ru

Порошковому борированию в контейнерах с плавким затвором подвергались стали лабораторных плавок (размер образцов 10x10x5 мм) с содержанием хрома 6, 13, 17 и 22%, а также железо-армко в качестве модельного материала.

Ключевые слова: борирование, бориды, специальный борид, комплексный борид, боридная прослойка, боридный «язык», железо-армко, хромистая сталь, рентгенография, трековая автордиография.

**FEATURES OF THE FORMATION OF THE TRANSITION ZONE
OF A BORATED LAYER ON CHROME STEELS**

Kozlov A.M.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

Laboratory melting steels (sample size: 10x10x15) with a chromium content, as well as armco iron as a model material, were subjected to powder-pack boriding in containers with a fusible lid.
Key words: boriding, borides, special boride, complex boride, borated interlayer, boride “tongue”, armco iron, chromium steel, X-radiography, track autoradiography.

Как известно из ранее опубликованного [1], на железе-армко образуется слой сплошных боридов – FeB и Fe₂B, представляющих собой столбчатые кристаллы «языки». На стали с 6%Cr слой аналогичен по строению, только боридные «языки» массивнее и несколько короче из-за образования комплексных боридов типа (FeCr)₂B и FeCrB, а в переходной зоне – включения боридов по границам зёрен боридов (по результатам рентгеноструктурного анализа). На сталях с 13, 17 и 22% Cr строение слоя резко меняется. Здесь чётко выделяется зона сплошных боридов с ровной, без боридных «языков», границей, затем следует прослойка часто расположенных строго перпендикулярно поверхности насыщения мелких пластинчатых боридов и переходная зона. Причём на сталях с 22% прослойка уже менее развита (вертикальные пластины

боридов расположены реже), но имеют место крупные пластинчатые образования боридов глубоко внедрённые в переходную зону и ориентированные по определённым кристаллографическим направлениям (ответвления второго порядка). В месте пересечения крупной боридной иглой прослойки уже мелких игл боридов с ровной границей, ориентированных перпендикулярно поверхности насыщения, не наблюдается. По-видимому механизм образования этих крупных игл боридов отличается от образования мелких, составляющих прослойку на сталях с 13 и 17% Cr.

Для более чёткого представления о влиянии хрома на формирование борированного слоя необходимо было выяснить характер перераспределения железа, хрома и бора по слою. Для чего были проведены исследования борированных слоёв методом полуколичественного анализа на рентгеновском микроанализаторе «Камека», а бора – путём фиксации методом трековой автордиографии [2]. Когда поперечные шлифы, изготовленные вырезкой из опытных борированных образцов, покрывались плёнкой ацетобутирата, просушивались и упаковывались в алюминиевый спецконтейнер, а последний помещался в вертикальный канал физического реактора нейтронов (МИФИ) и подвергался в течение 10-30 минут облучению медленными нейтронами при плотности потока $106 - 108 \text{ н}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{сек}^{-1}$.

После облучения, плёнка снималась и подвергалась травлению в течение 15 мин. В 50% родном растворе щёлочи K(OH) при 55°C для выявления треков, оставленных α -частицами (при распаде бора на литий с выделением этой частицы). Характер распределения плотности треков от поверхности к основе свидетельствует о концентрации бора в диффузионном слое.

На основе обсуждения полученных результатов исследования можно сделать следующие предположения о характере формирования диффузионного борированного слоя на хромистых сталях. Малое изменение строения и толщины слоя на сталях с 6%Cr связано с тем, что в бориде Fe₂B может растворяться до 10% Cr [3]. В результате на стали с 6%Cr весь встречающийся на пути диффундирующего бора хром растворяется в формирующихся одновременно со слоем боридов железа. Это подтверждается результатами выполненного нами рентгеновского микроанализа. Можно предположить, что при концентрации 6%Cr в стали идёт процесс снижения скорости диффузии бора и одновременно увеличивается его растворимость в железо-хромистом растворе стальной основы, т.к. растворимость бора в хrome (0,08-1,0 ат. [4]) значительно выше, чем в железе (α -Fe – 0,004%ат, γ -Fe – 0,021% ат. [5]).

Можно считать, что столь характерное строение борированного слоя на стали с 13% Cr (снижение его толщины и образование прослойки с чётко очерченной границей) связано с увеличением содержания хрома в стали сверх его растворимости в бориде. Механизм формирования слоя представляется так: избыточный хром оттесняется в переходную зону и тем самым замедляет диффузию бора и ведёт к сглаживанию границы между слоем боридов и прослойкой. Кроме того, по мере возрастания концентрации хрома в стали относительное содержание высокобористой фазы во внешнем слое сплошных боридов увеличивается от 1/4 до 4/1 (Табл.1)

Табл.1 Относительное содержание высокобористой FeB в зоне сплошных боридов зависимости от концентрации хрома в сталях и модельном материале (Fe-армко)

	Fe-армко	08X6	08X13	08X17	08X22
FeB/Fe ₂ B	0,25	0,30	1,30	1,62	4,0

Таким образом, хром способствует увеличению в слое объёмной доли высшего борида.

Одновременно в прослойке образуются комплексные бориды железа типа(Fe,Cr)₂B, либо легированные железом специальные бориды хрома (Cr,Fe)₂B. Дело в том, что бориды Fe₂B и Cr₂B изоморфны, имеют одинаковый характер связи, т. к. параметры их решёток близки (Cr₂B: a=5,180 Å, c=4,316 Å; Fe₂B: a=5,109 Å, c=4,249 [6], поэтому рентгенографически их разделение затруднительно. Присутствие хрома в стали должно усиливать связь с бором, уменьшать его диффузионную проницаемость и, тем самым, увеличивать количество высокобористой фазы и способствовать образованию самостоятельных боридов хрома.

Уже при краткосрочных выдержках (5 и 30 мин. При t= 1000°C), в слое на стали 08X17 обнаруживаются признаки высокобористой фазы FeB, чего при том же режиме борирования не наблюдалось у Fe-армко. Как известно из литературных источников [3], при соотношении Cr/B =2,16-4,19 образуются только бориды железа, а при Cr/B =6,79 – наряду с боридами железа образуются и бориды хрома, а при соотношении Cr/B =10,1 – 26,3 образуются только бориды хрома Cr₂B. Таким образом, в прослойке на стали 08X17 концентрация хрома увеличена и, следовательно, образующие её иглы боридов являются либо специальными боридами хрома, либо комплексными боридами.

Появление прослойки, состоящей из пластин мелких боридов и их ориентации в направлении диффузии объясняется наличием избыточ-

ного хрома, оттеснённого из зоны боридов, а также тем, что эта область является зоной действия растягивающих напряжений, вызванных разницей в коэффициентах линейного расширения слоя боридов и матрицы. Кроме того, дислокации и дислокационные стенки в поверхностном слое в процессе отжига, а борирование ведётся при температуре 1000°C, располагаются нормально к поверхности [7]. Поле высоких внутренних напряжений от определённым образом расположенных дислокаций способствует образованию зародыша и его росту в направлении ориентации дислокаций по ним идёт интенсивное диффузионное перемещение бора и образуются столбчатые кристаллы прослойки.

Наличие крупных боридных образований в прослойке на стали 08X22 и отдельных крупных игл на сталях 08X13 и 08X17 в виде протяжённых пластин, глубоко внедрённых в основу и имеющих вполне определённую кристаллографическую ориентировку, можно объяснить сдвиговыми явлениями в кристаллической решётке α -Fe, вызванными той же разницей в коэффициентах линейного расширения, а также возможным расклинивающим действием эффекта Ребиндера. Сущность которого может быть представлена следующим: бор, являясь горофильным элементом, быстро диффундируя по границам, покрывает поверхность зерна, тем самым снижая поверхностную энергию, что способствует протеканию сдвиговых процессов в кристаллической решётке. Это явление напоминает процедуру двойникования при пластическом деформировании металла, только она протекает при высоких температурах и вызвано дислокационным скольжением. Известно [8], что в ОЦК решётке сдвиг происходит в плоскости (II) при направлении сдвига (III). Таким образом, если плоскость базиса кристаллической решётки переходной зоны слоя близка к направлению, параллельному оси растяжения, то деформация вызывает сдвиг в решётке, а горофильный бор создаёт в зоне несовершенств, ориентированных в направлении диффузии, избыточную концентрацию, что приводит, в конечном итоге, к образованию борида характерной формы. Высокая температура процесса борирования облегчает скольжение дислокаций и образование боридов. Этим можно объяснить столь большую протяжённость и массивность боридных игл в переходной зоне высокохромистых сталей. Кроме того, хром упрочняет решётку металла основы и способствует преимущественному выделению боридов по плоскостям спайности.

Представляет интерес наличие мелкого зерна в сердцевине борированных образцов. Как известно [9], на сталях типа X17 при температурах отжига зерно должно расти. Однако, обнаруженное в нашем слу-

чае мелкое зерно основы может быть объяснено проникновением бора в ходе диффузии вдоль границ зёрен, который и препятствует росту зерна основного металла. По данным трековой автордиографии бор (при 1000°C и 5 минутной выдержке) диффундирует на глубину, значительно превышающую размеры фиксируемого металлографически борированного слоя, может происходить сквозная диффузия в образце толщиной 4 мм. При малом содержании бора в основе – зерно мелкое, а возрастание концентрации бора в стали приводит к укрупнению зерна. Как изложено в работе [10], при объёмном легировании стали бором до концентрации не выше 0,1% зерно измельчается, при 0,6% и выше – зерно крупное. Это явление прослеживается практически на всех подвергаемых борированию сталях: непосредственно под слоем боридов образуется область с повышенной концентрацией бора в растворе и крупным зерном вплоть до сердцевины, где при малом содержании бора – зерно мелкое.

Таким образом, на основе результатов рентгеноструктурного анализа борированных слоёв на хромистых сталях, модельном материале и трековой автордиографии бора было сделано предположение о возможном механизме формирования диффузионных слоёв в ходе порошкового борирования этих материалов в контейнерах с плавким затвором при разной длительности процессов насыщения бором.

Список литературы

1. Козлов А.М. Влияние содержания хрома в составе стали на особенности формирования борированного слоя. Труды НИ РХТУ. Инженерная механика, материаловедение и надёжность оборудования: Выпуск №6, Новомосковск, 2006, С. 90-95.
2. Козлов А.М., Гринберг Е.М. Особенности распределения бора по глубине борированного слоя на высоколегированных сталях, выявленного методом трековой автордиографии. Инженерная механика, материаловедение и надёжность оборудования: межвузовский сборник научных трудов/ Вып. №2. НИ РХТУ. Новомосковск, 1998. С. 15-18.
3. Канеко Хидзо и др. Бориды в нержавеющей сталях. J. Japaninst. Metals. 1966. 30, №2, 157. 163с.
4. Коломыцев П.Т. Исследование структуры сплавов системы Cr – Ni–В, ДАН СССР, 1962., Т 144, №1.
5. Kunst H, Schaaber O. Boriren von den Stahl. Härterai-Technische Mitteilungen. №2, v22, 1967.
6. Енеда Набору и др. Киндзохэменгидаюцу, J. MetaiFinish. Soc. Jap, 1973, 32, №5, С. 440-442.

Проблемы науки. Технические науки. 2021 г.

7. Бокштейн С.З. Диффузия и структура металлов, М., Metallургия, 1973. 375с.
8. Елизаветин М.А., Сатель Э.А. Технологические способы повышения долговечности машин, М., Машиностроение. 1969. 285с.
9. Гуляев А.П. Metalловедение, М., Машиностроение. 1977. 647с.
10. Медовар Е.И. и др. Аустенитно-боридные стали для сварных конструкций. Киев, Нукова думка, 1970. 310с.

УДК 621.83

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ЗУБЧАТО-РЕЕЧНЫХ ПЕРЕДАЧ**

Каменский М.Н.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: mkamensky@yandex.ru

В работе исследовано напряженно-деформированное состояние зубчато-реечных передач с использованием системы автоматизированного проектирования.

Ключевые слова: зубчато-реечные передачи, системы автоматизированного проектирования, напряженно-деформированное состояние.

**INVESTIGATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF RACK
AND PINION GEARS**

Kamensky M.N.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

The paper studies the stress-strain state of rack and pinion gears using an automated design system.

Key words: rack and pinion gears, computer-aided design systems, stress-strain state.

В настоящее время для работы механизмов в сложных условиях при значительных нагрузках, имеющих динамический характер, применяют зубчато-реечные передачи. Это объясняется повышенной надёжностью зубчатых передач, их неприхотливостью в обслуживании, а также возможностью создания необходимого усилия.

В процессе проектирования необходимо провести исследование напряженно-деформированного состояния зубчато-реечных передач с целью обеспечения необходимой и достаточной металлоемкости при соблюдении прочностных ограничений. Ранее для этих целей применялись экспериментальные методы, основанные на тензоизмерениях, предполагавшие значительные материальные, временные и трудозатраты.

Однако наиболее рационально применить современные методы исследования, основанные на существующих САПР, анализ которых показал, что отечественная система APM WinMachine – CAD/CAE система автоматизированного расчета и проектирования механического

оборудования и конструкций в области машиностроения в наибольшей степени отвечает решению поставленных задач [1].

В программном модуле APM Studio с использованием метода конечных элементов проведены исследования напряженно-деформированного состояния зубчато-реечных передач, которые применяются в механизмах подачи машин для бестраншейной прокладки труб, очистных комбайнов, а также в экскаваторостроении (кремальные механизмы).

При исследовании твердотельных моделей реек приняты следующие основные допущения: опоры рейки имеют бесконечную жёсткость, прикладываемая нагрузка распределена равномерно по контактной линии взаимодействия пары «зубчатое колесо-рейка».

При исследовании нагруженности зубчатой рейки избран наиболее сложный случай, когда нагрузка приложена у верхнего сопряжения прямолинейного участка зуба рейки с переходной галтелью, также принято, что зубчатая рейка изготовлена из стали 35ХГСА (ГОСТ 4543-71).

Моделирование процесса перемещения зубчатого колеса по рейке при различной жёсткости опор позволило установить характер распределения напряжений в рейке и диапазон их изменений (рис. 1).

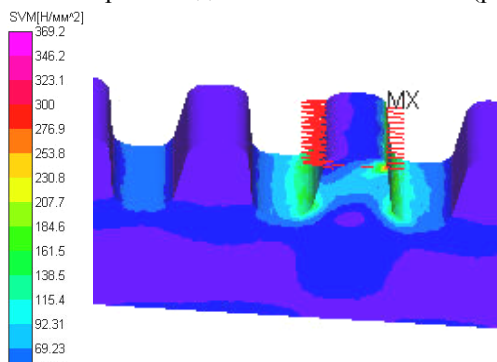


Рис. 1. Распределение эквивалентных напряжений в зубчатой рейке

Установлено, что при продольной жёсткости опор рейки $C_x=100$ Н/мм нагруженными являются зуб, к которому приложено усилие подачи и основания двух соседних зубьев по направлению этого усилия и противоположно ему. Увеличение продольной жёсткости опор в 5 раз приводит к снижению площади распространения эквивалентных напряжений в опорах рейки в два раза.

Исследование напряжённо-деформированного состояния зубчатого колеса (рис. 2, 3) при тангенциальной составляющей усилия, действующей на зуб 200 кН, позволило определить, что при передаче усилия работает не только нагруженный зуб, но и основания двух соседних зубьев.

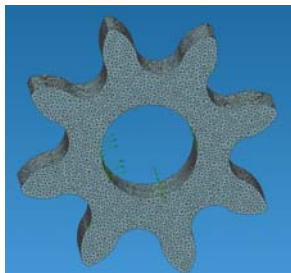


Рисунок 2. Твердотельная модель зубчатого колеса

Проведённые исследования позволили установить, что при проектировании зубчато-реечных передач необходимо обеспечить минимизацию относительной разности действующих напряжений $\Delta\sigma \leq 20\%$, также определено, что определяющее влияние на напряженно-деформированное состояние зубчато-реечного механизма оказывает усилие подачи, параллельное продольной оси реек.

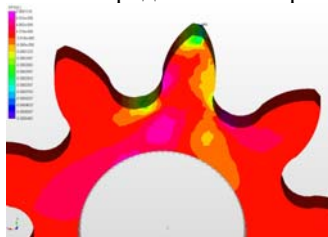


Рисунок 3. Результаты исследования напряжений и перемещений в зубчатом колесе

Таким образом, применение современных САПР позволяет сократить затраты на проектирование механизмов за счет замены физических экспериментов вычислительными.

Список литературы

1. Лукиенко Л.В., Ковалева Т.В., Каменский М.Н. О применении качественных показателей при исследовании тяжело нагруженных зубчато-реечных передач // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Тула: ТулГУ, 2010. Вып. 1. С. 3–8.

УДК 621.762

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ НАНОПОРОШКОВ**

Суменков А.Л., Зимин А.И.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: alsumenkov@nirhtu.ru

Исследована зависимость характеристик внутреннего трения нанопорошков от размера измерительной ячейки прибора для их определения.

Ключевые слова: нанопорошки, характеристики внутреннего трения, прибор линейного плоскостного сдвига.

METHOD FOR DETERMINING THE CHARACTERISTICS OF INTERNAL FRICTION OF NANOPOWDERS

Sumenkov A.L., Zimin A.I.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

The dependence of the internal friction characteristics of nanopowders on the size of the measuring cell of the device for their determination is investigated.

Key words: nanopowders, internal friction characteristics, linear plane shear device.

Качественное осуществление механических процессов с участием порошков основывается на знании и эффективном использовании их структурно-механических характеристик (СМХ). Важнейшими, определяющими характеристиками являются слипаемость (аутогезия), коэффициенты внутреннего и внешнего трения порошков, предельное сопротивление сдвигу. Значение структурно-механических характеристик существенно возрастает для наноструктурных порошковых материалов, имеющих уникальные физические, химические и др. свойства и находящихся в последнее время широкое использование в новых технологиях различных отраслей народного хозяйства.

На сегодняшний день известно достаточно большое количество методов определения СМХ порошков. При этом используются не только различные приборы и ячейки, имеющие разный принцип работы, для определения одной и той же характеристики (хотя сравнивать полученные характеристики, измеренные при помощи разных методов, просто недопустимо), но даже в пределах одного метода измерений

применяют ячейки неодинаковых размеров, что также не дает возможности сравнить полученные результаты. Примером могут служить методы определения коэффициентов внутреннего трения на приборах линейного плоскостного сдвига (имеется несколько модификаций прибора) и кольцевого сдвига [1]. Сравнение и даже сопоставление результатов этих исследований совершенно невозможно.

Цель работы: исследование зависимости структурно-механических характеристик нанопорошков от размера измерительной ячейки прибора линейного плоскостного сдвига.

Испытания проводились на порошках оксида алюминия, имеющих сферическую форму частиц и размеры частиц от 30 до 200 нм. Также использовались порошки Al_2O_3 , состоящие из губкообразных пористых частиц (γ -модификация) и частиц, имеющих вид пространственных спеченных цепочек (α -модификация Al_2O_3). Средний размер частиц в этом случае характеризовался величиной удельной поверхности.

Размеры измерительной ячейки прибора линейного плоскостного сдвига имели площадь поперечного сечения $1,8 \cdot 10^{-4}$; $6,0 \cdot 10^{-4}$; $15,0 \cdot 10^{-4}$; $25,0 \cdot 10^{-4}$ и $78,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Сдвиг осуществлялся при помощи усилия, создаваемого приводом с малым числом оборотов вала на выходе (менее 0,05 об/мин). Для повышения точности усилие измерялось с помощью тензосхемы, в составе которой были тензометрическая рамка, измеритель деформации и пишущий прибор.

Было выяснено, что измеренные величины предельного сопротивления сдвигу и коэффициента внутреннего трения зависят от размеров ячейки прибора линейного плоскостного сдвига. Величины СМХ возрастали с уменьшением размера ячейки, что, видимо, объясняется граничными эффектами. Из зависимостей на рис.1 видно, что измеренная величина коэффициента внутреннего трения обратно пропорциональна площади сечения ячейки прибора. Зависимость справедлива и для порошков со сферическими частицами (линии 1, 2, 3), и для порошков с пористыми частицами (линия 4), т.е. на нее не влияет морфология порошков. Выяснено также, что на величину коэффициента внутреннего трения площадь сечения ячейки практически не влияет, если величина площади не менее 78 см^2 (диаметр ячейки около 100 мм).

По результатам работы можно рекомендовать использование для определения характеристик внутреннего трения ячейки диаметром 100 мм.

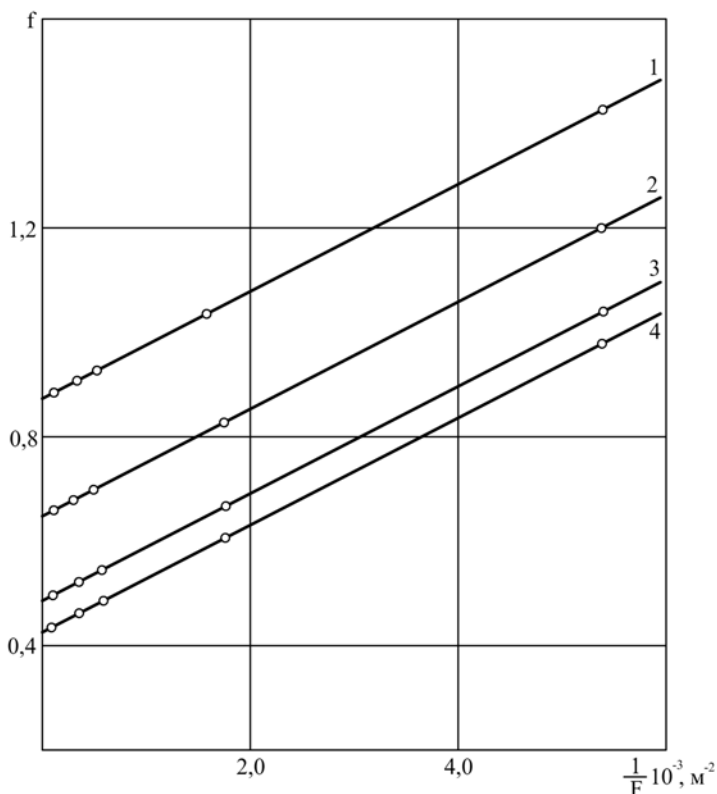


Рис. 1 Влияние площади сечения ячейки сдвигового прибора на величину коэффициента внутреннего трения порошков Al_2O_3 при среднем размере частиц порошка, нм: 1 – 31; 2 – 70; 3 – 157; 4 – удельная поверхность частиц порошков с несферическими частицами $100 \text{ м}^2/\text{г}$ (10% α + 90% γ).

При уменьшении размеров ячейки и необходимости сравнения результатов разных авторов потребуется проведение дополнительных испытаний. Увеличение размеров ячейки практически не меняет величины СМХ порошков, но при этом возрастает расход используемого порошка.

Список литературы

1. Андрианов Е.И. Методы определения структурно-механических характеристик порошкообразных материалов. М.: Химия, 1982. 256 с.

СЕКЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

УДК 621.311.001.57

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

Исаев А.С., Лагуткин О.Е.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: k_epp@mail.ru

В работе показана организация учебного процесса в дистанционном формате обучения. Разработана алгоритмически и реализована программно в Matlab модель релейной защиты. Виртуальный лабораторный стенд внедрен в учебный процесс для дисциплин, связанных с релейной защитой и автоматикой.

Ключевые слова: дистанционное обучение, информационные технологии, математическое моделирование, релейная защита, короткое замыкание, максимальная токовая защита, Matlab, Simulink.

SIMULATION OF RELAY PROTECTION

Isaev A.S., Lagutkin O.E.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

The work shows the organization of the educational process in a distance learning format. A relay protection model has been developed algorithmically and implemented programmatically in Matlab. A virtual laboratory stand is introduced into the educational process for disciplines related to relay protection and automation.

Key words: distance learning, information technology, mathematical modeling, relay protection, short circuit, protection, Matlab, Simulink.

Цифровизация, как максимальное использование информационных технологий, приводит в настоящее время к изменению моделирования технических объектов. Использование пакетов прикладных программ позволяет строить более точные и строгие модели, отказываясь от принятых ранее упрощений. Поэтому подобное направление популярно и вызывает дискуссии в средствах печати, включая создание специализированных ресурсов в Internet [1].

В электроэнергетических системах для ряда задач на рынке присутствует специализированное ПО (программное обеспечение). В частности, для расчета установившихся и аварийных режимов программа «Rastrwin», для диспетчеризации – «Модус», для расчета надежности –

«PowerFactory». Подобного ПО для устройств РЗА (релейной защиты и автоматики) нет. Поэтому необходима авторская алгоритмическая разработка и программная реализация математической модели. В [2] предложено использование программы Matlab (прикладные библиотеки для создания физических моделей Simulink/Simscape). Функции программы приняты согласно справочного пособия [3].

Отличительной особенностью нашей разработки является ориентация на применение в учебном процессе: изучение реле как электрического аппарата (аналогично [4]), принципов построения схем РЗ, функционирование защит при вариации исходных данных и расчетных условий аварийных режимов. Актуальность подобного обусловлена необходимостью в условиях коронавирусной пандемии проведения занятий в дистанционном формате. СДО (система дистанционного обучения) в этом случае ориентирована на усвоение теоретического материала [5]. Проведение лабораторного практикума затруднительно – имеющиеся лабораторные стенды обладают низкой степенью визуализации.

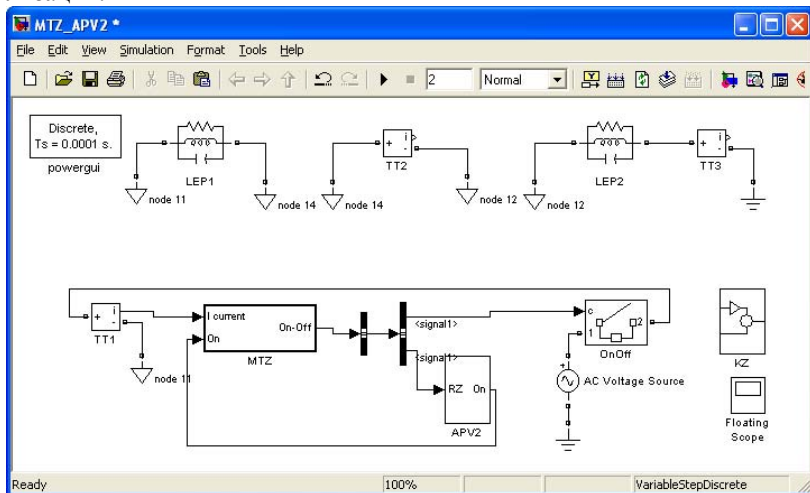


Рис. 1. Модель МТЗ и АПВ двукратного действия.

В Simulink имеются библиотеки элементов. Например, Electrical Sources Library – библиотека источников электроэнергии, Elements Library – линейных и нелинейных электрических элементов, Measurements Library – измерительных приборов. При построении модели необходимо создать модель сети (источник – линия электропередач – трансформатор – нагрузка), модель защиты (рассматриваем в

качестве примера максимальную токовую защиту и автоматическое повторное включение двукратного действия), коммутационные устройства и измерительные приборы. В общем виде базовая схема модели приведена на рис.1. Установлено, что оптимальным типом сигнала является дискретный (задается как «Discrete»), время дискретизации $T_s=10$ мкс, это задается в параметрах блока Povergui.

Базовая модель является структурной (следует рассматривать как блок-схему). Рассмотрим настройку и функционирование ее основных блоков. Для блока МТЗ (рис. 2) необходимо добавить: блок измерения дискретных среднеквадратических величин *Discrete RMS Value* (раздел *Library/Discrete Measurements*) и задать его частоту *Fundamental frequency* (Hz); блок сравнения *Compare To Constant* (раздел *Simulink/Logic and Bit Operations*), задать для него условие срабатывания («>=») и значение порога срабатывания (*Constant value*); логический тип выходной величины (*boolean*); блок выдержки времени *Discrete On/Off Delay*; триггер *S-R Flip Flop* с начальным параметром инициализации *Initial condition*.

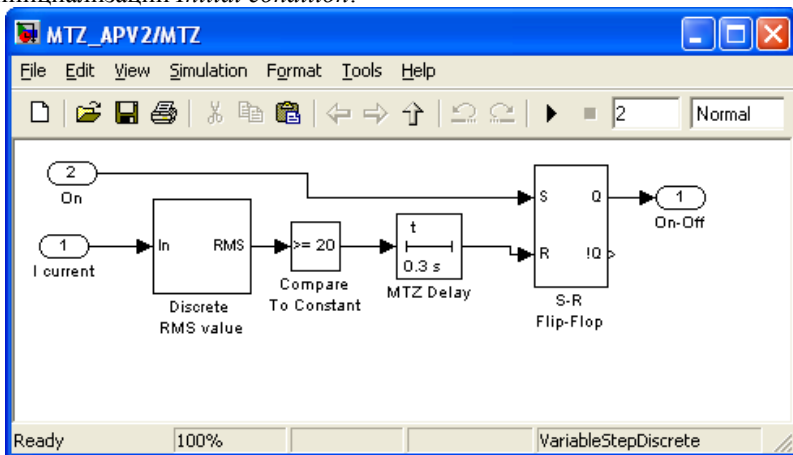


Рис. 2. Модель блока максимальной токовой защиты.

Для блока АПВ (рис. 3) необходимо добавить: 4 логических блока *Logical Operator* с их назначением согласно логике срабатывания АПВ; два блока генераторов прямоугольных однократных импульсов *Monostable*; два триггера S-R (аналогично блоку МТЗ). Перед инициализацией задать задержку срабатывания (в примере 0,3 с). Для имитации КЗ необходимо добавить блок *Ports & Subsystems* и настроить порты; соединить его согласно рис.1, скопировав узел №12.

Моделирование режима осуществляется стандартным для Matlab способом. На рис.3 приведен пример срабатывания МТЗ при трехфазном коротком замыкании – ток (I_a) и напряжение (U_a) фазы А, срабатывание реле (OP).

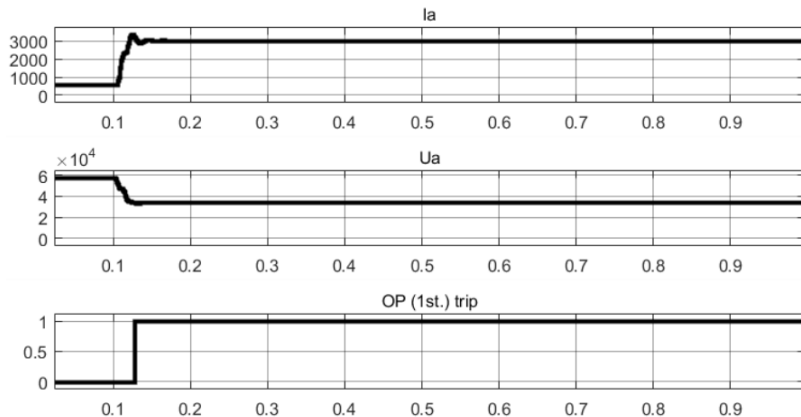


Рис. 3. Результаты моделирования режима при К⁽³⁾.

Таким образом, показана возможность моделирования устройств РЗА в Matlab. Результаты работы внедрены в лабораторный практикум кафедры ЭПП. Дальнейшее развитие представляется в моделировании более сложных защит (применительно к рассмотренному примеру – двухступенчатая защита) и режимов (простое замыкание на землю в сети с изолированной нейтралью).

Список литературы

1. Официальный сайт ЦИТМ «Экспонента». [Электронный ресурс]. – URL: <https://exponenta.ru/> (дата обращения: 01.09.2021).
2. Ершов Ю.А., Киселев Д. Н. Моделирование устройств релейной защиты в среде MATLAB. LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 148 с.
3. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – Саратов: Профобразование, 2017. – 288 с.
4. Форум РЗА «FaultAn» [Электронный ресурс]. – URL: https://faultan.ru/simulation/relay_protection/relay/ (дата обращения: 01.09.2021).
5. Официальный сайт НИ РХТУ. СДО «Релейная защита, автоматика и телемеханика». [Электронный ресурс]. – URL: <https://moodle.nirhtu.ru/course/view.php?id=262> (дата обращения: 01.09.2021).

УДК 621.314.252

**ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ОДНОФАЗНОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО
НАПРЯЖЕНИЯ В ТРЕХФАЗНОЕ**

Колесников Е.Б.

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

e-mail: kolesnikov55@mail.ru

Приводятся результаты разработки преобразователя однофазного синусоидального напряжения в трехфазное. Приведена функциональная схема преобразователя и временные диаграммы напряжений, поясняющие его работу. Преобразователь содержит интегратор, блок деления, аналоговый перемножитель, два пиковых детектора, инвертор и блок преобразования фаз. Принцип работы устройства заключается в формировании ортогональных напряжений путем сдвига фазы входного напряжения и последующего геометрического их суммирования в требуемых пропорциях в преобразователе фаз. Приводится описание работы измерителя. Показано преимущество разработанного измерителя над известными. Предложена аппаратная реализация устройства на отечественных компонентах.

Ключевые слова: интегратор, блок деления, аналоговый перемножитель, пиковый детектор, блок преобразования фаз.

**CONVERTER OF SINGLE-PHASE SINUSOIDAL VOLTAGE TO
THREE-PHASE**

Kolesnikov E.B.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

The results of the development of a single-phase sinusoidal voltage converter into a three-phase one are presented. The functional diagram of the converter and time diagrams of voltages explaining its operation are given. The converter contains an integrator, a division unit, an analog multiplier, two peak detectors, an inverter and a phase conversion unit. The principle of operation of the device consists in the formation of quadrature stresses by shifting the phase of the input voltage and their subsequent geometric summation in the required proportions in the phase converter. The description of the meter operation is given. The advantage of the developed meter over the known ones is shown. The hardware implementation of the device on domestic components is proposed.

Key words: integrator, division unit, analog multiplier, peak detector, phase conversion unit.

При построении систем управления регулируемых электроприводов и инверторов, входящих в состав агрегатов бесперебойного электропитания, требуются различные расщепители фаз, преобразующие однофазное напряжение в трехфазное. Известные преобразователи фаз имеют достаточно высокую сложность схемы из-за большого количества элементов и обладают сравнительно низкой точностью измерения, особенно в переходных режимах. Разработанный преобразователь однофазного синусоидального напряжения в трехфазное свободен от вышеприведенных недостатков.

На рис. 1 приведена функциональная схема преобразователя, который содержит интегратор 1, блок деления 2, аналоговый перемножитель 3, два пиковых детектора 4,5, инвертор 6 и блок преобразования фаз 7 [1].

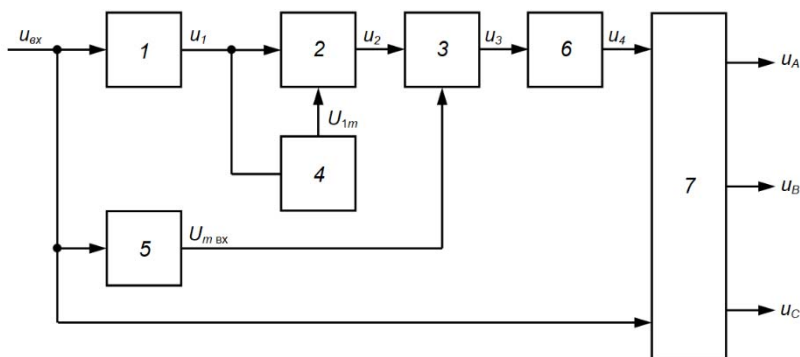


Рис. 1. Функциональная схема преобразователя

Преобразователь работает следующим образом. Входное синусоидальное напряжение переменного тока $u_{вх} = U_{m\ вх} \sin \omega t$ подается на входы интегратора 1 и амплитудного детектора 5 и первый вход блока преобразования фаз 7. На выходе интегратора 1 формируется напряжение u_1 , сдвинутое по фазе относительно $u_{вх}$ на угол 90° в сторону отставания (фиг. 2):

$$u_1 = \frac{1}{RC} \int U_{m\ вх} \sin \omega t = -\frac{U_{m\ вх}}{RC\omega} \cos \omega t = -U_{1m} \cos \omega t,$$

где $U_{m\ вх}$ – амплитуда входного напряжения;

U_{1m} – амплитуда выходного напряжения интегратора;

ω – круговая частота входного напряжения;

R – сопротивление резистора интегратора;

C – емкость конденсатора интегратора.

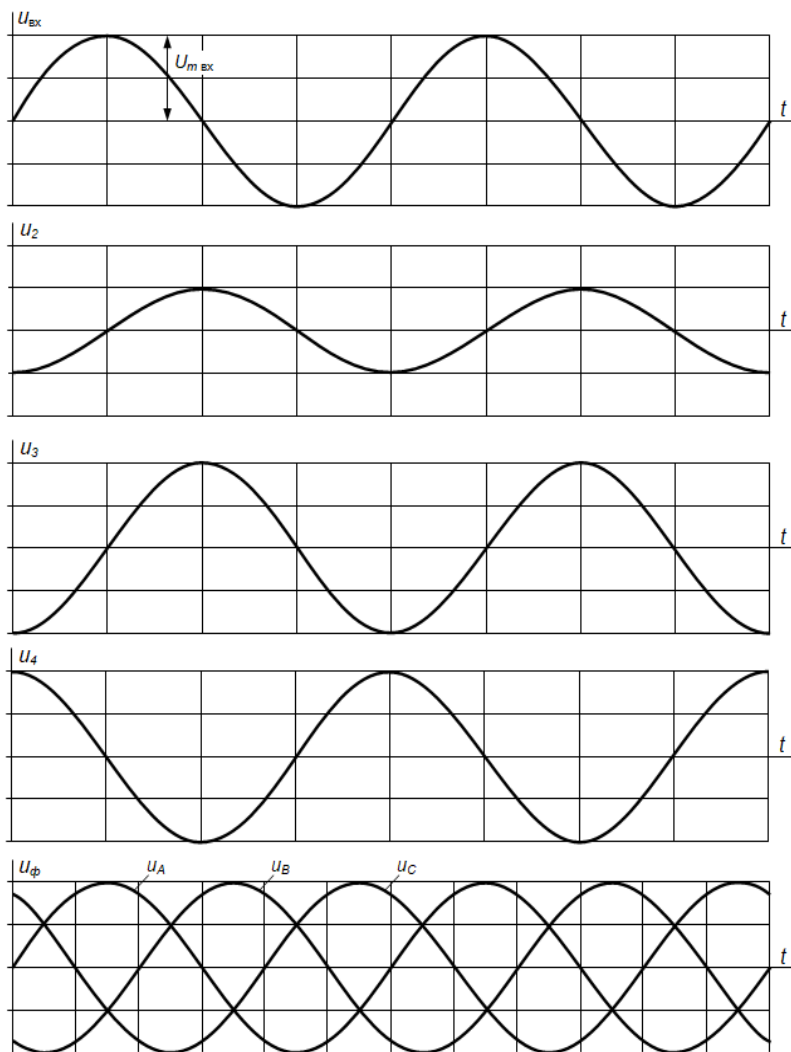


Рис. 2. Временные диаграммы работы измерителя

После деления выходного напряжения интегратора на его амплитуду U_{1m} , формируемую пиковым детектором 4, в блоке деления 2, на его выходе формируется напряжение $u_2 = -\cos\omega t$ с единичной амплитудой, которое поступает на вход аналогового умножителя 3.

В аналоговом перемножителе 3 производится перемножение напряжения u_2 с амплитудным значением входного напряжения $U_{m\text{ вх}}$, поступающим с пикового детектора 5, в результате на его выходе формируется напряжение $u_3 = -U_{m\text{ вх}}\cos\omega t$, тем самым происходит восстановление амплитуды входного напряжения $U_{m\text{ вх}}$.

После инвертирования инвертором 6, на его выходе и на втором входе блока преобразования фаз 7, формируется напряжение $u_4 = U_{m\text{ вх}}\cos\omega t$.

Таким образом, на входах блока преобразования фаз 7 формируются ортогональные напряжения $u_{\text{вх}} = U_{m\text{ вх}}\sin\omega t$ и $u_4 = U_{m\text{ вх}}\cos\omega t$.

В блоке преобразования фаз 7 формируется система трехфазных напряжений u_A, u_B, u_C путем геометрического суммирования в требуемых пропорциях ортогональных синусоидальных напряжений $u_{\text{вх}}$ и u_4 , поступающих на соответствующие его входы. Поскольку амплитуды ортогональных напряжений всегда одинаковы, то на выходах блока преобразования фаз 7 обеспечиваются стабильные межфазовые сдвиги выходных напряжений 120 эл. градусов, при нулевой начальной фазе напряжения u_A .

Таким образом, в разработанном преобразователе по сравнению с известными существенно уменьшено количество операционных блоков и преобразований сигналов, тем самым достигается повышение точности преобразователя.

При практической реализации предлагаемого устройства интегратор 1 можно выполнить по известной схеме на операционном усилителе (ОУ) с времязадающей RC-цепью. Аналоговый перемножитель 3 можно выполнить на микросхеме КР525ПС3. Блок деления 2 можно выполнить на ОУ, включив перемножитель на микросхеме КР525ПС3 в цепь его отрицательной обратной связи. Пиковые детекторы 4 и 5 можно выполнить по одной из известных схем. Инвертор 6 представляет собой обычный инвертирующий усилитель на ОУ с единичным коэффициентом усиления. Блок преобразования фаз 7 можно выполнить по принципу [3].

Список литературы

1. Патент № 204750 РФ, МПК H02M 5/14. Преобразователь однофазного напряжения в трехфазное / Е.Б. Колесников (RU), // Заявка: 2021109336, 5.04.2021. Опубликовано: 9.06.2021. Бюл. №16.

2. А. Дж. Пейтон, В. Волш. Аналоговая электроника на операционных усилителях. – М.: БИНОМ, 1994. – 352 с.

3. Дубровин В.С. Применение фазовращающих цепей при построении многофазных генераторов гармонических сигналов / В.С. Дубровин // Электроника и информационные технологии. – 2011. – №1 (10).

УДК 621.374.4

УДВОИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ ГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Колесников Е.Б.

(Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева)

e-mail: kolesnikov55@mail.ru

Приводятся результаты разработки удвоителя частоты гармонического сигнала. Приведена функциональная схема удвоителя частоты и временные диаграммы напряжений, поясняющие его работу. Удвоитель частоты содержит задающий генератор, управляемый фазовращатель, компаратор, одновибратор, интегратор со сбросом, преобразователь частота-напряжение, источник напряжения смещения и сумматор. Принцип работы устройства заключается в преобразовании синусоидального напряжения в переменное пилообразное с последующим изменением им фазы входного синусоидального напряжения посредством управляемого фазовращателя. Приводится описание работы удвоителя. Показано преимущество разработанного удвоителя над известными. Предложена практическая реализация устройства на отечественных компонентах.

Ключевые слова: удвоитель частоты, управляемый фазовращатель, компаратор, одновибратор, интегратор со сбросом, преобразователь частота-напряжение.

HARMONIC SIGNAL FREQUENCY DOUBLER

Kolesnikov E.B.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

The results of the development of a harmonic signal frequency doubler are presented. A functional diagram of the frequency doubler and time voltage diagrams explaining its operation are given. The frequency doubler contains a master oscillator, a controlled phase shifter, a comparator, a single-vibrator, a reset integrator, a frequency-voltage converter, an offset voltage source and an adder. The principle of operation of the device consists in converting the sinusoidal voltage into an alternating sawtooth, followed by changing the phase of the input sinusoidal voltage by means of a controlled phase shifter. The description of the doubler operation is given. The advantage of the developed doubler over the known ones is shown. The practical implementation of the device on domestic components is proposed.

Key words: frequency doubler, controlled phase shifter, comparator, single-vibrator, integrator with reset, frequency-voltage converter.

Удвоение частоты широко применяется в радиопередающих устройствах с кварцевой стабилизацией частоты задающего генератора с целью получения высокой стабильности частоты выходных колебаний, так как позволяет понизить частоту задающего генератора. Известные удвоители частоты имеют достаточно высокий уровень побочных гармоник в выходном напряжении. Это приводит к искажению формы выходного напряжения и снижению точности преобразования частоты. Разработанный удвоитель частоты гармонического сигнала свободен от вышеприведенных недостатков.

На рис. 1 приведена функциональная схема удвоителя частоты, который содержит задающий генератор 1, управляемый фазовращатель 2, компаратор 3, одновибратор 4, интегратор со сбросом 5, преобразователь частота-напряжение (ПЧН) 6, источник напряжения смещения 7 и сумматор 8 [1].

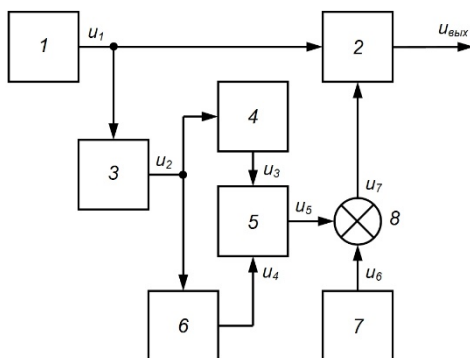


Рис. 1. Функциональная схема удвоителя частоты

Удвоитель частоты работает следующим образом. Входное синусоидальное напряжение $u_{вк} = U_m \sin \omega t$ с частотой $\omega = 2\pi f$ с выхода задающего генератора 1 подается на входы управляемого фазовращателя 2 и компаратора напряжения 3. Компаратор 3 преобразует входное синусоидальное напряжение $u_{вк}$ в напряжение u_2 прямоугольной формы (фиг. 2). Одновибратор 3 формирует узкие импульсы по фронту напряжения u_2 , которые подаются на вход сброса интегратора 5, на вход которого подается напряжение u_3 отрицательной полярности с выхода ПЧН 6. ПЧН 6 исключает влияние частоты входного сигнала $u_{вк}$ утроителя на амплитуду выходного напряжения интегратора 5. Коэффициент передачи ПЧН 6 выбирается равным $K_{п} = 10/f_{max}$.

На выходе интегратора со сбросом 5 формируется пилообразное

напряжение u_5 положительной полярности с частотой f задающего генератора 1, амплитуда которого определяется по формуле:

$$U_{5m} = -\frac{1}{RC} \int U_{4m} dt = -\frac{U_{4m}t}{RC} = -\frac{U_{4m}T}{RC} = -\frac{U_{4m}}{RCf} = \frac{K_n}{RC},$$

где U_{4m} – амплитуда выходного напряжения интегратора со сбросом 5;

T – период входного напряжения u_4 ;

f – частота входного напряжения u_4 ;

R – сопротивление резистора интегратора со сбросом 5;

C – емкость конденсатора интегратора со сбросом 5.

Для выбора параметров времязадающих элементов схемы интегратора R и C необходимо выдержать следующее соотношение $1/RC = f_{max}$.

Таким образом, амплитуда выходного пилообразного напряжения интегратора со сбросом 5 всегда постоянна $U_{5m} = 10$ В и не зависит от частоты f задающего генератора 1.

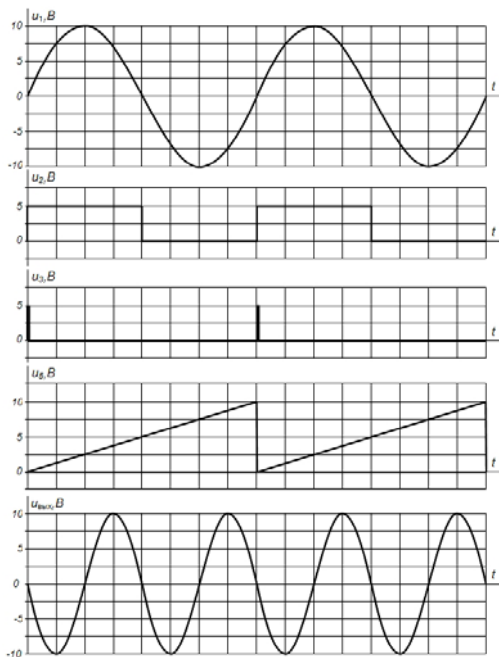


Рис. 2. Временные диаграммы работы измерителя

При этом на выходе сумматора 8 формируется переменное пилообразное напряжение u_7 амплитудой 5 В. Это напряжение подается на управляющий вход управляемого фазовращателя 1 и, воздействуя на него, изменяет фазу φ его входного сигнала от -180° до $+180^\circ$ с частотой f задающего генератора 1 (фиг. 2).

В результате на выходе управляемого фазовращателя 1 и на выходе удвоителя частоты, в соответствии с известными тригонометрическими тождествами, формируется выходное напряжение $u_{\text{ВЫХ}}$:

$$\begin{aligned} u_{\text{ВЫХ}} &= U_{m\text{ВХ}} \sin(\omega t + \varphi) = U_{m\text{ВХ}} \sin(\omega t + \omega t - 180^\circ) = \\ &= U_{m\text{ВХ}} [\sin \omega t \cdot \cos(\omega t - 180^\circ) + \sin(\omega t - 180^\circ) \cos \omega t] = \\ &= U_{m\text{ВХ}} \left[\frac{\sin(\omega t - \omega t + 180^\circ) + \sin(\omega t + \omega t - 180^\circ)}{2} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\sin(\omega t - 180^\circ - \omega t) + \sin(\omega t - 180^\circ + \omega t)}{2} \right] = \\ &= U_{m\text{ВХ}} \left[\frac{\sin(\omega t + \omega t - 180^\circ)}{2} + \frac{\sin(\omega t - 180^\circ + \omega t)}{2} \right] = U_{m\text{ВХ}} \sin(2\omega t - 180^\circ). \end{aligned}$$

Из полученного выражения и временных диаграмм (фиг. 2) видно, что частота выходного напряжения удвоителя частоты равна 2ω , то есть имеет место удвоение частоты ω задающего генератора 1.

При практической реализации предлагаемого удвоителя частоты управляемый фазовращатель 2 можно выполнить по схеме [2]. Компаратор 3 можно выполнить на микросхеме К554СА3. Одновибратор 4 можно выполнить на микросхеме К561АГ1. Интегратор со сбросом 5 можно выполнить на операционном усилителе (ОУ) по схеме [3]. В качестве ПЧН 6 можно использовать преобразователь на микросхеме КР1108ПП1. Источник напряжения смещения 7 представляет собой обычный источник стабильного напряжения. Сумматор 8 представляет собой неинвертирующий сумматор на ОУ.

Список литературы

1. Патент № 206321 РФ, МПК Н03В 19/00. Гармонический удвоитель частоты / Е.Б. Колесников (RU), // Заявка: 2021114842, 25.05.2021. Опубликовано: 6.09.2021. Бюл. №25.

2. Патент № 206198 РФ, МПК G01R 25/04, Н03Н 11/15, Н03Н 17/08. Управляемый фазовращатель / Е.Б. Колесников (RU), // Заявка: 2021113412, 11.05.2021. Опубликовано: 30.08.2021. Бюл. №25.

3. В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. Электроника и микропроцессорная техника. – М.: Высш. шк., 2005. – 790 с.

УДК 621.311

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАТЫ ЗА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ НА
УЛИЧНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ г. НОВОМОСКОВСКА**

Ошурков М.Г., Бiryukov К.Р.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: oshurkovm@mail.ru

Проанализирован режим электропотребления уличного освещения г. Новомосковска. Предложена методика моделирования графика нагрузки с интервалом осреднения один час. На основании смоделированного графика и по тарифам сбытовой компании произведены расчеты платы за электроэнергию по четырем ценовым категориям и сделан вывод о необходимости изменения ценовой категории электроэнергии для уличного освещения, что даст экономию платы за электроэнергию на уровне 10-20 %.

Ключевые слова: моделирование графика нагрузки, плата за электроэнергию, сбытовая компания, тариф, уличное освещение, ценовая категория.

**OPTIMIZATION OF ELECTRICITY CHARGES ON
STREET LIGHTING OF NOVOMOSKOVSK**

Oshurkov M.G., Biryukov K.R.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

The mode of power consumption of street lighting in Novomoskovsk is analyzed. A method for modeling the load schedule with an averaging interval of one hour is proposed. Based on the modeled schedule and according to the tariffs of the sales company, electricity charges were calculated for four price categories and a conclusion was made about the need to change the price category of electricity for street lighting, which will save electricity charges at the level of 10-20%.

Keywords: load graph modeling, electricity payment, sales company, tariff, street lighting, price category.

Администрация МО г. Новомосковск приобретает электроэнергию (ЭЭ) у сбытовой компании ООО "ГП и СЗ Новомосковская энергосбытовая компания" для разных точек учета, рассчитываясь по первой или по второй ценовым категориям (ЦК). В качестве исходных данных для анализа взят акт приема-передачи ЭЭ (мощности) за март 2019 г. Наиболее мощные точки поставки (ТП) рассчитываются по 2ЦК, их коли-

чество – 133, их электропотребление составляет 91 % от общего потребления на уличное освещение (УО) города. Для предварительного анализа платы по разным ЦК взяты эти ТУ. Большинство ТП (129 шт.) питается с напряжения СН2, остальные (4 шт.) – с напряжения НН. Общее месячное потребление ЭЭ по выделенным ТП $W_{\Sigma}=458354$ кВтч.

На основании акта приема-передачи составлена Табл. 1.

Таблица 1 – Месячное электропотребление по ТП (фрагмент)

№	$W_{н},$ кВтч	$W_{пп},$ кВтч	$W_{п},$ кВтч	$W_{\Sigma},$ кВтч	$W_{\Sigma*},$ ое	$P_{ср ч},$ кВт
1	8200	3240	1380	12820	1	36,02
2	6740	1840	2080	10660	0,83	29,95
3	6920	1760	1860	10540	0,82	29,62
4	6440	1640	1720	9800	0,76	27,54
5	6240	1640	1700	9580	0,75	26,92
...
127	120	60	0	180	0,01	0,51
128	30	60	30	120	0,01	0,34
...
133	0	0	0	0	0	0

В таблице: $W_{н}$, $W_{пп}$, $W_{п}$ – соответственно месячное потребление ЭЭ в ночную, полупиковую и пиковую зоны суток; W_{Σ} – суммарное месячное потребление ТП; $W_{\Sigma*}$ – потребление в относительных единицах (в долях от потребления наиболее крупной ТП); $P_{ср ч}$ – средняя часовая мощность ТП.

Потребление ЭЭ по ТП отличаются на два порядка $W_{\Sigma \max} = 12820$ кВтч, $W_{\Sigma \min} = 120$ кВтч (Рис. 1).

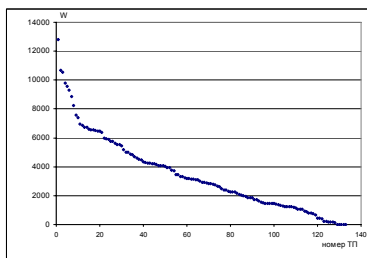


Рисунок 1. Месячное электропотребление по ТП (кВтч)

На розничном рынке ЭЭ потребитель имеет право выбрать выгодную для себя ЦК электроэнергии. Всего их шесть, но мы провели расчеты только для четырех категорий 1ЦК-4ЦК, так как для 5ЦК и 6ЦК требуется планирование почасовых графиков нагрузки на месяц вперед с оплатой отклонений от плановых значений, что усложняет отчетность и расчеты платы за ЭЭ.

Расчеты платы по ЦК проводились в соответствии со следующими положениями [1].

По 1ЦК месячная плата за электроэнергию определяется:

$$П_{1ЦК} = b_{1ЦК} \cdot W_m, \quad (1)$$

где W_m – потребленная за месяц электроэнергия, учтенная счетчиками, МВтч; $b_{1ЦК}$ – тарифная ставка за электроэнергию по 1ЦК в данном месяце, руб/МВтч.

По 2ЦК:

$$П = b_p \cdot W_p + b_{пп} \cdot W_{пп} + b_n \cdot W_n, \quad (2)$$

где b_p , $b_{пп}$, b_n – тарифные ставки за электроэнергию в данном месяце соответственно в пиковую, полупиковую и ночную зоны суток, руб/МВтч; W_p , $W_{пп}$, W_n – месячное потребление электроэнергии в соответствующие зоны суток, МВтч.

По 3ЦК:

$$П = a_{ОРЭ} \times P_{ОРЭ} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{24} (b_{ij} \times W_{ij}), \quad (3)$$

где b_{ij} – тарифная ставка за электроэнергию в i -е сутки, j -й час суток в расчетном месяце, руб/МВтч; W_{ij} – электроэнергия, потребленная в соответствующий час, МВтч; I – число суток в месяце, шт.; $a_{ОРЭ}$ – тарифная ставка за мощность, приобретаемую на оптовом рынке электроэнергии (мощности) (ОРЭ), руб/МВт; $P_{ОРЭ}$ – мощность, приобретаемая на ОРЭ, МВт.

$$P_{ОРЭ} = \frac{\sum_{r=1}^R P_{ОРЭr}}{n_{рд}}, \quad (4)$$

где $P_{ОРЭr}$ – среднечасовая мощность, фиксируемая в отчетный час пиковой нагрузки r -го рабочего дня месяца [2], МВт; R – множество рабочих дней месяца; $n_{рд}$ – количество рабочих дней в месяце, шт.

По 4ЦК:

$$P = a_{OPЭ} \times P_{OPЭ} + a_C \times P_C + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{24} (b_{ij} \times W_{ij}), \quad (5)$$

где P_C – мощность передачи по сетям, кВт; a_C – тарифная ставка за (руб/МВт).

$$P_C = \frac{\sum_{r=1}^R P_{Cr}}{n_{pd}}, \quad (6)$$

где P_{Cr} – максимальная мощность из диапазона плановых часов пиковой нагрузки рабочих суток, задаваемого на каждый месяц текущего года [3].

Для расчета платы по 2ЦК, 3ЦК и 4ЦК нужен месячный график нагрузки по каждой ТП с интервалом осреднения мощности 1 час. Так как почасовое потребление при 2ЦК не фиксируется, то мы смоделировали месячный график нагрузки по имеющимся данным (Табл.1), основываясь на следующих положениях.

1. Светильники УО включаются через 20 мин. после заката солнца и отключаются за 20 мин. до восхода (Табл. 2). За месяц время работы УО уменьшилось с 12ч 38 мин до 10 ч 19 мин [4]. Мы не учитывали изменение времени восхода и заката по годам и пользовались данными 2021 г.

Таблица 2 – Время работы светильников УО в марте (фрагмент)

Дата	Закат	Восход	$t_{вкл}$	$t_{откл}$	t_p
01	18:02	7:21	18:22	7:01	12:38
02	18:04	7:18	18:24	6:58	12:33
03	18:06	7:16	18:26	6:56	12:29
04	18:09	7:13	18:29	6:53	12:24
05	18:11	7:11	18:31	6:51	12:19
06	18:13	7:08	18:33	6:48	12:15
07	18:15	7:05	18:35	6:45	12:10
08	18:17	7:03	18:37	6:43	12:05
09	18:19	7:00	18:39	6:40	12:01
10	18:21	6:58	18:41	6:38	11:56
...
31	19:04	6:03	19:24	5:43	10:19

Проблемы науки. Технические науки. 2021 г.

2. Не учитываем, что часть светильников двухламповые и одна лампа отключается ночью, когда интенсивность движения по улицам минимальна.

3. Учитывая равномерный график нагрузки освещения, среднюю за час мощность по ТП определяем как отношение месячного электропотребления ТП к общему времени работы за месяц.

$$P_{\text{ср ч}} = W_{\Sigma} / t_{\text{р}\Sigma}$$

где $t_{\text{р}\Sigma} = 355:54:16 = 355,9$ ч – общее время работы УО в марте по табл.2.

4. Для формирования месячного графика нагрузки по ТП определялись среднечасовые мощности в относительных единицах $P_{\text{ср ч}}^*$ для каждого часового интервала суток (Табл. 3). Если светильники работают полный час ($t_{\text{рч}} = 1$, ч), то $P_{\text{ср ч}}^* = 1$, если не полный ($t_{\text{рч}} = X$, ч), то $P_{\text{ср ч}}^* = X$. Если светильник отключен – $P_{\text{ср ч}}^* = 0$.

Таблица 3. Месячный почасовой график нагрузки ТП в о.е. (фрагмент)

Дата 01.03				..	Дата 31.03			
Время	$P_{\text{ср ч}}^*$ о.е.	Время	$P_{\text{ср ч}}^*$ о.е.	..	Время	$P_{\text{ср ч}}^*$ о.е.	Время	$P_{\text{ср ч}}^*$ о.е.
00:00 - 01:00	1,0	12:00 - 13:00	0	..	00:00 - 01:00	1,00	12:00 - 13:00	0
01:00 - 02:00	1,0	13:00 - 14:00	0	..	01:00 - 02:00	1,00	13:00 - 14:00	0
02:00 - 03:00	1,0	14:00 - 15:00	0	..	02:00 - 03:00	1,00	14:00 - 15:00	0
03:00 - 04:00	1,0	15:00 - 16:00	0	..	03:00 - 04:00	1,00	15:00 - 16:00	0
04:00 - 05:00	1,0	16:00 - 17:00	0	..	04:00 - 05:00	1,00	16:00 - 17:00	0
05:00 - 06:00	1,0	17:00 - 18:00	0	..	05:00 - 06:00	0,72	17:00 - 18:00	0
06:00 - 07:00	1,0	18:00 - 19:00	0,63	..	06:00 - 07:00	0,00	18:00 - 19:00	0
07:00 - 08:00	0,017	19:00 - 20:00	1,0	..	07:00 - 08:00	0,00	19:00 - 20:00	0,60
08:00 - 09:00	0	20:00 - 21:00	1,0	..	08:00 - 09:00	0,00	20:00 - 21:00	1,0
09:00 - 10:00	0	21:00 - 22:00	1,0	..	09:00 - 10:00	0,00	21:00 - 22:00	1,0
10:00 - 11:00	0	22:00 - 23:00	1,0	..	10:00 - 11:00	0,00	22:00 - 23:00	1,0
11:00 - 12:00	0	23:00 - 24:00	1,0	..	11:00 - 12:00	0,00	23:00 - 24:00	1,0

Проблемы науки. Технические науки. 2021 г.

5. Месячный график нагрузки каждой ТП в именованных единицах формировался умножением $P_{\text{ср ч}}^*$ (табл. 3) на $P_{\text{ср ч}}$ (табл. 1).

Плата за ЭЭ по ценовым категориям определялась по (1)–(6), с использованием тарифных ставок марта 2019 г. и марта 2021 г. [2], данных по плановым, отчетным часам пиковой нагрузки, по интервалам тарифных зон суток [3].

Плановые часы пиковой нагрузки в 2019 г. и в 2021 одинаковые: с 8-го по 21-й. Количество рабочих дней 20 и 22 соответственно. Отчетные часы пиковой нагрузки – Табл. 4.

Таблица 4. Отчетные часы пиковой нагрузки в рабочие дни

Дата	№ часа	Дата	№ часа
01.03.2019	20	01.03.2021	11
04.03.2019	11	02.03.2021	11
05.03.2019	11	03.03.2021	20
06.03.2019	12	04.03.2021	19
07.03.2019	10	05.03.2021	20
11.03.2019	11	09.03.2021	10
12.03.2019	11	10.03.2021	10
13.03.2019	10	11.03.2021	10
14.03.2019	10	12.03.2021	10
15.03.2019	10	15.03.2021	11
18.03.2019	11	16.03.2021	11
19.03.2019	11	17.03.2021	10
20.03.2019	11	18.03.2021	11
21.03.2019	11	19.03.2021	11
22.03.2019	11	22.03.2021	11
25.03.2019	11	23.03.2021	11
26.03.2019	11	24.03.2021	10
27.03.2019	10	25.03.2021	11
28.03.2019	11	26.03.2021	11
29.03.2019	11	29.03.2021	11
		30.03.2021	11
		31.03.2021	11

Проблемы науки. Технические науки. 2021 г.

Интервалы тарифных зон суток в 2019 г. и в 2021 г. одинаковые: ночная (23-07) ч, пиковая (08-12)+(18-21) ч. Полупиковая зона – остальные часы суток.

Тарифы на электроэнергию и мощность – Табл. 5.

Таблица 5. Тарифы на электроэнергию и мощность

Год	2019		2021	
	СН2	НН	СН2	НН
b _{1ЦК}	5674,08	7093,33	6589,03	8100,55
b _п	11125,83	12545,08	12550,08	14061,6
b _{пп}	5881,57	7300,82	6819,03	8330,55
b _н	4496,03	5915,28	5199,52	6711,04
a _{ОРЭ}	768586,92	768586,92	852944,87	852944,87
a _с	1038387,12	1454500,76	1106972,59	1550570,54
b _{3ЦК}	4796,22	6215,47	5568,99	7080,51
b _{4ЦК}	2141,65	2610,20	2756,01	3268,11

Тарифы на ЭЭ в руб/МВтч, на мощность в руб/МВт. b_{3ЦК}, b_{4ЦК} – средние значения по 744 часам в месяце.

Плата за электроэнергию определялась по каждой ТП и в целом на УО г. Новомосковска. Расчеты проводились по авторской программе. Итоговые результаты выводились в виде Табл. 6.

Таблица 6. Плата за электроэнергию на УО в марте 2019 г. по 1ЦК-4ЦК с НДС (фрагмент)

№	П _{1ЦК} руб.	П _{2ЦК} руб.	П _{3ЦК} руб.	П _{4ЦК} руб.
1	87324,87	91754,09	73302,63	77333,37
2	72611,79	76294,74	60952,11	64303,72
3	71794,4	75435,89	60265,97	63579,85
...
127	1226,09	1288,279	1029,21	1085,804
128	817,3935	858,8527	686,1401	723,8693
...
133	0	0	0	0
Итого	3133157	3291515	2631819	2777624

Расчеты показали, что по данным марта 2019 г. принятая 2ЦК не оптимальна. Плата за ЭЭ с НДС по 2ЦК больше, чем для остальных сравниваемых ЦК. Минимальная плата была бы по 3ЦК.

Чтобы учесть тенденции изменения тарифов был проведен аналогичный расчет по тарифам марта 2021 г. (Табл. 7) при том же потреблении ЭЭ и графике нагрузки. Плата по 1ЦК превысила плату по 2ЦК, но минимальная плата осталась за 3ЦК.

Рассчитана экономия платы за ЭЭ при переходе с 2ЦК на другие ЦК (Табл. 8).

Проблемы науки. Технические науки. 2021 г.

Таблица 7. Плата за электроэнергию на УО в марте 2021 г. по 1ЦК-4ЦК с НДС (фрагмент)

	П _{1ЦК} , руб.	П _{2ЦК} , руб.	П _{3ЦК} , руб.	П _{4ЦК} , руб.
Итого	3637320	3500429	3127887	3292744

Таблица 8. Экономия платы за ЭЭ по сравнению со 2ЦК, руб. с НДС

Период	Экономия	П _{2ЦК} -П _{1ЦК}	П _{2ЦК} -П _{3ЦК}	П _{2ЦК} -П _{4ЦК}
март 2019 г.	Э, руб.	158358	659695,8	513890,9
	Э, %	4,8	20,0	15,6
март 2021 г.	Э, руб.	-136890	372542	207685
	Э, %	-3,9	10,6	5,9

Таким образом, для администрации МО г. Новомосковск выгоден переход на 3ЦК при оплате ЭЭ на уличное освещение по выделенным ТП. Ожидаемая экономия платы 10-20 %.

Необходим анализ ТП с целью определения объема их реконструкции. Возможно, потребуются замена счетчиков, которые не предусматривают хранение и передачу профилей мощности в режиме АСКУЭ. Однако, затраты на реконструкцию, несомненно, окупятся экономией платы за ЭЭ. На первом этапе можно реконструировать 10-20 % крупных ТП. Затраты на дальнейшую реконструкцию будут покрываться за счет экономии на этих ТП.

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 N 442 "О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии". – М.: Консультант Плюс, 2013. – 268 с.
2. Нерегулируемые цены [Электронный ресурс]. – <https://www.nesk71.ru/index.php/yuridicheskim-litsam/tseny-i-tarify/nereguliruemye-tseny>.
3. Администратор торговой системы оптового рынка электроэнергии [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.atsenergo.ru/>
4. Солнечный календарь в Новомосковске [Электронный ресурс]. – <https://ru.365.wiki/world/russia/novomoskovsk/sun/calendar/march/>

УДК 621.311

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВОМ

Ползиков М.Н.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И.Менделеева
mnpolzikov@nirhtu.ru

В статье рассмотрена систематизация информационно-документальной базы руководителя электрохозяйства промышленного предприятия и классифицирована документация, используемая электротехническим персоналом для принятия решений на уровне главного энергетика, с целью формирования электронной базы данных документов электрохозяйства.

Ключевые слова: информационная база электрохозяйства, отдел главного энергетика, управление электрохозяйством предприятия.

USING THE POSSIBILITIES OF ONTOLOGICAL SYSTEMS IN THE MANAGEMENT OF ELECTRICAL FACILITIES

Polzikov M.N.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

The article considers the systematization of the information and documentary base of the head of the electric farm of an industrial enterprise and classifies the documentation used by the electrical personnel for decision-making at the level of the chief power engineer, in order to form an electronic database of electric farm documents

Keywords: information base of the electric farm, department of the chief power engineer, management of the electric farm of the enterprise

Современные системы электроснабжения характеризуются большим количеством составляющих элементов, значительным числом контролируемых показателей, широким диапазоном скоростей протекающих процессов, возможностью появления электроопасных ситуаций и поэтому относятся к сложным человеко-машинным комплексам. Эффективным средством автоматизации обеспечения промышленного электроснабжения стали информационные сети, но их наличие не является достаточным условием для эффективного функционирования автоматизированной системы управления электрохозяйством промышленного предприятия. Для этого требуются постоянно совершенствуемая методология и средства управления.

Актуальность внедрения электронных ресурсов в процесс принятия решения менеджментом различного уровня обусловлена сокращением времени решения проблем, возникающих при электроснабжении. Повышение информационной обеспеченности решений руководителя позволит ускорить ликвидацию перерывов в электроснабжении и повысить надежность системы электроснабжения предприятия.

Научная новизна данного направления заключается в формировании единого подхода при создании электронных информационно-документальных баз структуры управления электрохозяйством с целью ускорения поиска информации различного характера (текст, графика, числовые данные) и упрощения процесса обновления данных баз.

Управление вещественными и информационными потоками электрохозяйства стало сложной в кибернетическом смысле задачей, решение которой в современных условиях невозможно без применения передовых информационных технологий.

Количество элементов СЭС и информация о них бывают настолько большими, что при принятии решения невозможно учесть все. Работа главного энергетика основывается зачастую на опыте и не обеспечена точными методиками, разработанными в области электроснабжения. Модернизация схем электроснабжения и замена электрооборудования нередко производится на основе решений, принимаемых на интуитивном уровне. В таких случаях в условиях ограниченности временных ресурсов необходимо наличие систематизированной базы знаний, в доступной форме точно и четко описывающей методы, с помощью которых становится возможным научное обоснование принимаемых решений.

Анализ информации, существующей в виде различных учебников и руководств, и систематизация ее в виде информационной базы позволят качественно повысить уровень восприятия и понимания сложных явлений, процессов, принципов действия и конструкций, описываемых вербально и математически, и требующих высокого уровня абстракции мышления, пространственного воображения, скорости восприятия информации, часто превышающих возможности среднего инженера.

Повышение эффективности функционирования как системы проектирования и эксплуатации технически сложных объектов, так и системы вузовской подготовки инженеров-электриков предполагает решение актуальной задачи: создание информационной и методологической базы управления электрохозяйством промышленного предприятия.

Формирование структуры информационной базы необходимо обновлять на иерархии уровней структуры управления электрохозяйством крупного промышленного предприятия. В данной структуре циркулируют информационные потоки, управление которыми требует больших трудозатрат. Возникает необходимость создания системы управления базами знаний и банками данных, специализированными для системы электроснабжения.

В настоящее время работа менеджера электрохозяйства обеспечена разрозненными электронными ресурсами, решающими узконаправленные задачи и обеспечивающие генерацию локальной информации по отдельным запросам. В результате для принятия решения руководителем приходится использовать несколько поисковых источников информации.

На примере Новомосковской минерально-химической компании, входящей в группу «Еврохим», проанализированы задачи, функции и нормативные документы, используемые отделом главного энергетика [1]. На основании анализа предложена структура базы знаний заместителя главного энергетика по электрохозяйству (рис. 1). Выделены основные составляющие структуры, включающие информационно-программное обеспечение всех задач главного энергетика.

Теоретическая база разработана на основании анализа последних научных исследований, заключенных в учебных пособиях и руководствах, и представляет собой конспективный гипертекст с активными ссылками и словами для более детального изучения того или иного вопроса [2].

Существование базовых нормативных документов, таких как ПУЭ, ПТЭ и ПТБ, ГОСТы и т.д., требует обязательного их использования в базе знаний. Отличие представления этих материалов в базе знаний от традиционного в полной автоматизации работы с текстом (автоматизированный поиск нужного раздела, запоминание пути перемещения по тексту и т.д.)

Комплекс специализированного программного обеспечения позволит автоматизировать сбор, хранение и обработку данных по схемам электроснабжения и установленному и ремонтируемому электрооборудованию [3]. В эту часть структуры также входит автоматизированный расчет различных режимов систем электроснабжения (нормальных режимов, короткого замыкания, уставок релейной защиты). Информационное обеспечение функций структуры управления электрохозяйством приведена в таблице 1.

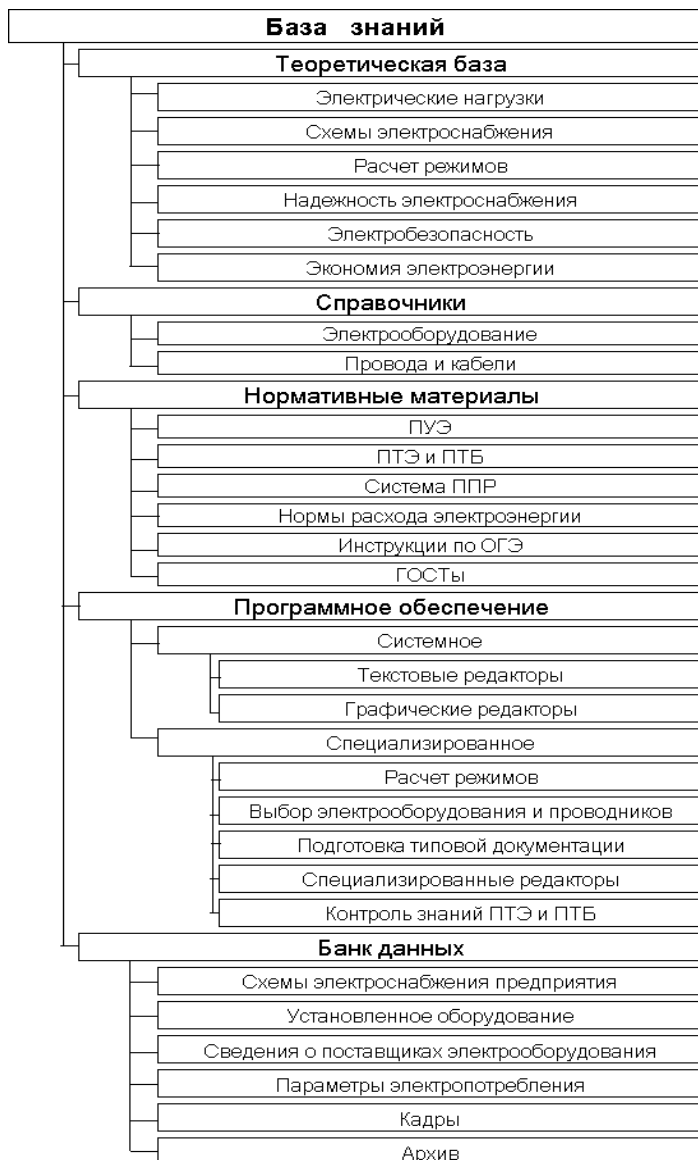


Рисунок 1. Информационная база электрохозяйства предприятия

Проблемы науки. Технические науки. 2021 г.

Таблица 1 - Информационно-программное обеспечение электрохозяйства

	Т	С	Н1	Н2	Н3	Н4	Н5	Н6	П1	П2	П3	П4	П5	П6	Б1	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6
Энергосбережение	•		•		•	•	•	•			•	•			•	•		•		•
Учет электроэнергии	•		•	•		•	•	•			•	•			•	•		•		•
Прогнозирование электропотребления	•					•			•	•						•		•		
Заявка энергоресурсов						•	•			•		•	•		•	•		•		•
Электроремонт	•	•	•	•	•			•	•	•					•	•	•			•
Соблюдение графиков ППР		•			•				•		•					•	•	•		•
Приемка ремонтных работ			•	•			•	•			•				•	•			•	
Учет электрооборудования		•							•		•	•				•				•
Подготовка инструкций							•	•	•		•	•						•		•
Контроль знаний ПТЭ и ПТБ			•	•			•	•			•		•						•	
Подготовка ТУ и заданий		•	•	•	•	•	•	•	•		•				•	•				•
Организация эксплуатации ЭО	•		•	•			•	•			•	•			•	•				•
Обеспечение оперативных переключений							•				•	•			•	•				•
Совершенствование схем ЭС	•		•	•	•					•	•		•	•	•	•	•			
Обеспечение безопасности труда			•	•			•	•											•	

Условные обозначения: Т - теоретическая база; С - справочники; Н1 - ПУЭ; Н2 - ПТЭ и ПТБ; Н3 - система планово-предупредительного ремонта; Н4 - нормы расхода электроэнергии; Н5 - инструкции; Н6 - ГОСТы; П1 - системное программное обеспечение; П2 - расчет режимов; П3 - выбор электрооборудования и проводников; П4 - подготовка типовой документации; П5 - специализированные редакторы; П6 - контроль знаний ПТЭ и ПТБ; Б1 - схемы электроснабжения предприятия; Б2 - установленное оборудование; Б3 - сведе-

ния о поставщиках оборудования; Б4 - параметры электропотребления; Б5 - кадры; Б6 - архив технической документации.

Внедрение автоматизированной информационной базы в работу различных уровней электрохозяйства промышленного предприятия и создание автоматизированного рабочего места главного энергетика и руководителей различных уровней электрохозяйства требует разработки комплекса процедур для поиска необходимой информации по проблеме по заданным условиям. Поиск информации может быть по ключевым словам в формулировке проблемы или задачи или(и) по набору электрических параметров. Пользователю предоставляется список документов, необходимых для принятия решения. Обеспечен свободный выбор пользователем нужной ему информации.

Разработка системы управления базой знаний и базой данных требует разграничения доступа к базе знаний со стороны различных служб. Необходимо категорирование информации: общедоступная - предназначенная для всех подразделений управления электрохозяйством (например, теоретическая база, ПУЭ, ПТЭ и ПТБ, справочники, системное программное обеспечение, специализированные редакторы, установленное оборудование); только для чтения - используемая на одном уровне, может быть предоставлена другому только для ознакомления (например, невозможность изменения норм расхода электроэнергии со стороны электроцеха); недоступная информация - часть базы, закрытая для нескольких уровней (например, инструкции, контроль знаний ПТЭ и ПТБ, складской резерв, кадры). Такое разделение позволит уменьшить объем обрабатываемой базы на конкретном уровне электрохозяйства, что сократит время на поиск и выдачу информации и ограничит число пользователей, имеющих право на изменение базы знаний.

Список литературы

1. Инструкция об отделе главного энергетика Новомосковской минерально-химической компании АО «Еврохим».
2. Кудрин Б.И., Ползиков М.Н. Учебник по электроснабжению и его электронная версия. Новые информационные технологии в электротехническом образовании (НИТЭ-2003): Материалы VI международной научно-метод. конф.- Астрахань, 2003. С.91-95
3. Ползиков М.Н. Разработка автоматизированной системы обработки информации электрохозяйства промышленного предприятия. Промышленная энергетика: сборник научных трудов/РХТУ им. Д.И.Менделеева. Новомосковский институт. Новомосковск, 2000.- 204 с.: 63 ил. С.153-156

УДК 621.311

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦЕХОВЫХ СЕТЕЙ
ПРИ НАЛИЧИИ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ С НИЗКИМ
КОЭФФИЦИЕНТОМ МОЩНОСТИ**

Стебунова Е.Д., Чиркова Т.Ю.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: edstebunova@nirhtu.ru

Рассмотрены вопросы компенсации реактивной мощности в цеховых сетях. Указаны способы компенсации реактивной мощности и эффект от ее применения. Приведены расчеты по выбору сечения кабельных линий в зависимости от способа компенсации реактивной мощности.

Ключевые слова: комплектные трансформаторные подстанции, трансформаторы, приемники электроэнергии, индукционные печи, плазменные установки, коэффициент мощности.

**DESIGN FEATURES OF SHOP NETWORKS
IN THE PRESENCE OF ELECTRIC RECEIVERS WITH
A LOW POWER FACTOR**

Stebunova E.D., Chirkova T.Y.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

The issues of reactive power compensation in shop-floor networks are considered. The methods of reactive power compensation and the effect of its application are indicated. Calculations are given for the choice of the section of cable lines depending on the method of reactive power compensation.

Key words: complete transformer substations, transformers, electric power receivers, induction furnaces, plasma installations, power factor.

Энергетические системы питают потребителей как активной, так и реактивной энергией. Около 80% реактивной мощности поступает к потребителям от генераторов электростанций и около 20% - от собственных источников потребителей, в основном от синхронных электродвигателей и конденсаторных батарей.

Компенсация реактивной мощности, или повышение коэффициента мощности ($\cos\varphi$) электроустановок промышленных предприятий в значительной степени влияет на построение рациональной схемы электроснабжения. [1]

Основными приемниками электроэнергии на промышленных предприятиях являются, как правило, асинхронные электродвигатели. Для их нормальной работы необходима как активная, так и реактивная мощность.

Рост потребления реактивной мощности приемниками электроэнергии приводит к возрастанию тока, а, следовательно, и увеличению сечения питающих кабелей и снижению величины $\cos\varphi$ электроустановки.

Компенсация реактивной мощности в сетях промышленных предприятий как правило выполняется с помощью статических конденсаторов, включаемых обычно параллельно к электроприемникам (поперечная компенсация).

Размещение конденсаторов в сетях напряжением до 1000В и выше должно удовлетворять условию наибольшего снижения потерь активной мощности от реактивных нагрузок. Возможна следующая установка компенсирующих устройств:

- индивидуальная – с размещением конденсаторов непосредственно у токоприемников. В этом случае от реактивных токов разгружается вся сеть системы электроснабжения;

- групповая – с подключением конденсаторов у силовых шкафов и шинопроводов в цехах. В этом случае распределительная сеть до электроприемников не разгружается от реактивных токов, но значительно увеличивается время использования батареи конденсаторов по сравнению с индивидуальной компенсацией;

- централизованная – с подключением батареи на секциях шины 0,38кВ и на шины 6-10кВ подстанции. При этом от реактивных токов разгружаются трансформаторы цеховых подстанций (КТП).

В настоящее время порядок расчета соотношения потребления активной и реактивной мощности определяется приказом Министерства промышленности и энергетики Российской Федерации № 49 от 22.02.07г. В зависимости от напряжения точки присоединения потребителя к электрической сети установлены следующие значения нормированного $tg\varphi$:

- напряжение 110кВ – $tg\varphi = 0,5$;
- напряжение 35кВ – $tg\varphi = 0,4$;
- напряжение 6-20кВ – $tg\varphi = 0,4$;
- напряжение 0,4кВ – $tg\varphi = 0,35$.

Компенсация реактивной мощности в цеховых сетях зависит от состава потребителей, которые имеют разные значения $\cos\varphi$. Основными приемниками электроэнергии многих промышленных предприятий являются асинхронные двигатели. Кроме этого в цехах некоторых от-

раслей промышленности применяются индукционные печи; электродуговые печи, плазменные установки, плазменные стенды для испытаний. Эти установки применяются для сварки, резки, наплавления, напыления. Особенностью их работы является то, что они имеют низкое значение $\cos\varphi$:

- асинхронные двигатели мощностью до $100 \text{ кВт} - \cos\varphi=0.6\div 0.8$;
- асинхронные двигатели мощностью $100\div 240 \text{ кВт} - \cos\varphi=0.8\div 0.9$;
- индукционные печи мощностью $1,5\div 200 \text{ кВт} - \cos\varphi=0.2\div 0.6$;
- плазменные установки мощностью $60\text{-}240 \text{ кВт} - \cos\varphi=0.3\div 0.8$;
- плазменные стенды для испытаний – $\cos\varphi=0.4\div 0.6$.

При наличии в цехе приемников электроэнергии с низким $\cos\varphi$ возникают затруднения с выбором сечения питающих кабелей, так как ток к этим приемникам получается большим.

На рисунке 1 показан один из вариантов схемы подключения электроустановок с низким $\cos\varphi$ и расчеты по выбору сечения питающих кабелей с учетом индивидуальной компенсации и без нее. [2]

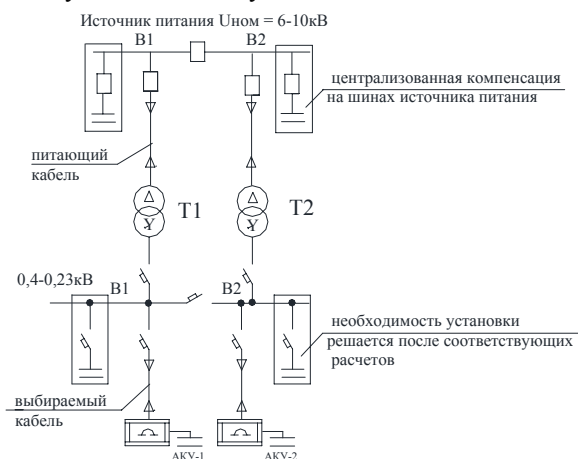


Рисунок 1. Схема подключения плазменной установки

Параметры плазменной установки, подключенной к шинам $0,4 \text{ кВ}$ цеховой подстанции:

$$P_{ном}=240 \text{ кВт}; \cos\varphi=0,35; K_u=0,7.$$

Расчетные значения: $P_p=168 \text{ кВт}$; $Q_p=445,2 \text{ квар}$ до установки индивидуальной компенсации реактивной мощности:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{168^2 + 445,2^2} = 475,8 \text{ кВА}$$

Расчетный ток питающего кабеля:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{475,8}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 723,8 \text{ A}$$

Допустимый ток питающего кабеля должен быть меньше расчетного.

Если в качестве питающего кабеля применять кабель с алюминиевыми жилами, прокладываемый в воздухе то сечение равно:

$$3(4 \times 240) \quad I_{\text{доп}} = 3 \times 260 = 780 \text{ A}$$

Мощность компенсирующих устройств для индивидуальной компенсации равна:

$$Q_{\text{кв}} = P_p (\text{tg} \varphi_{\text{ЕСТ}} - \text{tg} \varphi_{\text{НОРМ}}) = 168 \cdot (2,65 - 0,35) = 386,4 \text{ квар}$$

где $\text{tg} \varphi_{\text{ЕСТ}}$ – тангенс угла, называемый естественным коэффициентом мощности:

$$\text{tg} \varphi_{\text{ЕСТ}} = \frac{Q_p}{P_p},$$

Для компенсации применена конденсаторная установка с 12 ступенями регулирования типа АКУ-1-12-400-33,3. В нормальном режиме должно быть включено 11 ступеней $Q_{\text{кв}} = 11 \times 33,3 = 366,3 \text{ квар}$.

Таким образом, параметры плазменной установки после индивидуальной компенсации:

$$P_p = 168 \text{ кВт}; \quad Q_p = 445,2 - 366,3 = 78,9 \text{ квар}; \quad S_p = 185,6 \text{ кВА}.$$

Расчетный ток питающего кабеля после компенсации:

$$I_p = \frac{185,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 282,3 \text{ A}$$

Сечение питающего кабеля равно:

$$2(4 \times 95) \quad I_{\text{доп}} = 2 \times 165 = 330 \text{ A}$$

Таким образом можно сделать вывод, что при проектировании цеховой сети с наличием приемников электроэнергии с низким значением $\cos \varphi$ необходимо рассматривать возможность установки индивидуальной компенсации. Такое решение в большинстве случаев исключает необходимость в централизованной компенсации на шинах 0,4кВ цеховой подстанции.

Список литературы

1. Князевский Б.А., Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебник для вузов по специальности «Электроснабжение и автоматизация промышленных установок» - М.: Высшая школа, 1986 - 400с.
2. Электроснабжение: учебник/ Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, М.Г. Ошурков. – Ростов–на–Дону: Феникс, 2018. - 382с.

УДК 621.867.2-83

**ФОРМУЛА ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ
ДЛЯ МНОГОМАССОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА
С УПРУГИМИ СВЯЗЯМИ**

Ребенков Е.С., Майорова Н.Д.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: majorovanatasha@mail.ru

Получена формула передаточной функции для скоростей движения множества элементарных масс, соединенных между собой упруговязкими связями при воздействии на массы вращающих моментов сил, возникающих в многодвигательном электроприводе. Разработана методика расчета передаточных функций в многомассовом электроприводе на примере частотно-управляемого привода транспортера. Синтезирован ПИД-регулятор демпфирования колебаний скоростей масс в электроприводе.

Ключевые слова: формула передаточной функции, многомассовый и многодвигательный электропривод, демпфирование колебаний в электроприводе, синтез ПИД-регулятора.

**FORMULA THE TRANSFER FUNCTION FOR
THE MULTI-MASS DRIVE WITH ELASTIC CONNECTIONS**

Rebenkov E. S., Mayorova N.D.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

The formula of the transfer function for the velocities of the set of elementary masses connected by elastic-viscous bonds under the influence on the masses of the torques of the forces arising in the multi-motor electric drive is obtained. The method of calculation of transfer functions in many mass electric drive on the example of frequency-controlled drive of the conveyor is developed. Synthesized PID controller damping of the velocities of the masses in the drive.

Key words: transfer function, multimass and multi-engine electric drive, damping vibrations in the actuator, the synthesis of PID controller.

Многомассовая электромеханическая система (ЭМС), являясь объектом автоматического управления, в своей кинематической схеме может содержать множество элементарных масс, механически соединенных между собой упруго-вязкими связями. В многодвигательных электроприводах, где вращающие моменты действуют на все элемен-

тарные массы или на часть из них, при воздействии возмущающих моментов сопротивления на элементарные массы, получение передаточных функций скоростей масс представляет значительные затруднения [1]. Предложено при расчете передаточных функций многодвигательного электропривода с многомассовой ЭМС предварительно определить передаточную функцию механической части привода, включающую массы роторов электродвигателей. Для кинематической цепи, состоящей из элементарных масс с приведенными моментами инерции I_i и соединенными между собой механическими связями с жесткостью и вязкостью b_{ij} для случая когда каждая масса имеет соединение со всеми другими массами получена обобщенная формула передаточной функции, связывающая приведенную скорость ω_i вращения любой элементарной массы с вращающими M_i и возмущающими M_{ic} моментами действующими на всех массах ЭМС:

$$\omega_i = \sum M_i \frac{D_{ij}}{E} - \sum M_{ic} \frac{D_{ci}}{D}$$

В эту формулу входит характеристическая матрица с компонентами, выраженными в операторной форме и имеющую размеры $\mathbf{K} \times \mathbf{K}$:

$$D(\varphi) = \begin{vmatrix} d_{11} & v_{12} & \dots & v_{1j} & \dots & v_{1k} \\ v_{21} & d_{22} & \dots & v_{2j} & \dots & v_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{i1} & v_{i2} & \dots & d_{ij} & \dots & v_{ik} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{k1} & v_{k2} & \dots & v_{kj} & \dots & d_{kk} \end{vmatrix}$$

Матрицы D_{ij} и D_{cij} получены из матрицы D путем замены в ней столбца с номером соответствующим номеру определяемой скорости ω_i [2,3]. Заменяемый столбец содержит все нулевые компоненты, кроме строки с номером воздействующего и возмущающего момента, этот компонент берется равным оператору P . В общем случае, когда определяется скорость ω_i под воздействием момента M_j , матрица D_{ij} имеет вид:

$$D_{ij}(\varphi) = \begin{vmatrix} d_{11} & v_{12} & \dots & 0 & \dots & v_{1k} \\ v_{21} & d_{22} & \dots & 0 & \dots & v_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{i1} & v_{i2} & \dots & P & \dots & v_{ik} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{k1} & v_{k2} & \dots & 0 & \dots & d_{kk} \end{vmatrix}$$

Каждая компонента матриц зависит от параметров кинематической цепи электропривода:

$$d_{ik} = I_k p^2 - \sum_{l_j=1}^{l_j=k} v_{ij} ; \quad v_{ij} = -(c_{ij} + b_{ij} p)$$

При отсутствии упруго-вязкой связи между элементарными массами I_i и I_j , соответствующие компоненты v_{ij} принимаются равными нулю [4-8].

Применяя обобщенную формулу к трехмассовой кинематической структуре, являющейся моделью ЭМС транспортера с частотно-управляемым электроприводом (рис. 1), получим матрицы в виде:

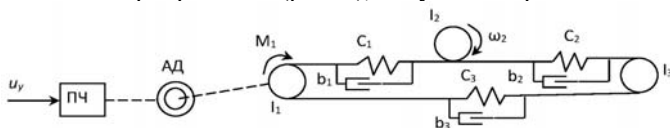


Рис. 1. Частотно-управляемый электропривод транспортера

$$D(p) = \begin{vmatrix} I_1 p^2 + c_1 + c_3 + p(b_1 + b_3) & -(c_1 + p b_1) & -(c_3 + p b_3) \\ -(c_1 + p b_1) & I_2 p^2 + c_1 + c_2 + p(b_1 + b_2) & -(c_2 + p b_2) \\ -(c_3 + p b_3) & -(c_2 + p b_2) & I_3 p^2 + c_3 + c_2 + p(b_3 + b_2) \end{vmatrix}$$

$$D_{11}(p) = \begin{vmatrix} p & -(c_1 + p b_1) & -(c_3 + p b_3) \\ 0 & I_2 p^2 + c_1 + c_2 + p(b_1 + b_2) & -(c_2 + p b_2) \\ 0 & -(c_2 + p b_2) & I_3 p^2 + c_3 + c_2 + p(b_3 + b_2) \end{vmatrix}$$

$$D_{21}(p) = \begin{vmatrix} I_1 p^2 + c_1 + c_3 + p(b_1 + b_3) & p & -(c_2 + p b_2) \\ -(c_1 + p b_1) & 0 & -(c_2 + p b_2) \\ -(c_3 + p b_3) & 0 & I_3 p^2 + c_3 + c_2 + p(b_3 + b_2) \end{vmatrix}$$

По этим матрицам определяются передаточная функция скорости ω_2 массы перемещаемого груза с приведенным моментом инерции I_2 при вращающем моменте силы приложенном к массе с моментом инерции I_1 :

$$W_{21}(p) = \frac{\omega_2(p)}{M_1(p)} = \frac{D_{21}(p)}{D(p)},$$

а также передаточная функция скорости ω_1 массы с моментом инерции I_1 от вращающего момента :

$$W_{11}(p) = \frac{\omega_1(p)}{M_1(p)} = \frac{D_{11}(p)}{D(p)}.$$

Уравнение в операторной форме связывающее напряжение управления u_y преобразователя частоты (ПЧ), скорость ротора асинхронного двигателя (АД) ω_1 и вращающий момент двигателя имеет вид:

$$u_y(p) \cdot A(p) = \omega_1(p) \cdot B(p) + M_1(p) \cdot C(p),$$

где полиномы $A(p)$, $B(p)$ и $C(p)$ определяются параметрами ЭМС «ПЧ-АД»:

$$A(p) = \beta k; \quad B(p) = \beta(T_1 p + 1); \quad C(p) = (T_1 p + 1)(T_2 p + 1),$$

где T_1 и T_2 - постоянные времени соответственно ПЧ и АД; k - коэффициент усиления ПЧ; β - жесткость механической характеристики АД.

Совместное решение двух уравнений передаточных функций механической части электропривода и уравнения для электрической части «ПЧ-АД» дает формулы для расчета скоростей масс с моментами инерции I_1 и I_2 :

$$\omega_1(p) = u_y(p) \frac{D_{21}(p) \cdot A(p)}{D_{11}(p) \cdot B(p) + D(p) \cdot C(p)},$$

$$\omega_2(p) = u_y(p) \frac{D_{21}(p) \cdot A(p)}{D_{11}(p) \cdot B(p) + D(p) \cdot C(p)}.$$

При заданных значениях параметров механической части электро-

привода: $I_1 = I_2 = I_3 = 2$ кг·м²; Нм;
 $b_1 = b_2 = b_3 = 0,4$ Нс/м получены выражения матриц $D(p)$, $D_{11}(p)$
 и $D_{21}(p)$:

$$D(p) = p^2(8p^4 + 9,6p^3 + 195,84p^2 + 115,2p + 1152),$$

$$D_{11}(p) = p(4p^4 + 3,2p^3 + 64,48p^2 + 19,2p + 192),$$

$$D_{21}(p) = p(0,8p^3 + 16,48p^2 + 19,2p + 192).$$

При заданных параметрах системы «ПЧ-АД»: $k = 12$ 1/Вс, $\beta = 58$ Нмс, $T_{z1} = 0,0018$ с, $T_{z2} = 0,014$ с получим выражения для скоростей масс I_1 и I_2 в зависимости от напряжения управления u_y :

$$\omega_{z1}(p) = u_y(p) \cdot W_{z1}(p) =$$

$$\omega_{z1}(p) = u_y(p) \cdot W_{z2}(p) = u_y(p) \cdot \frac{556,8p^3 + 11470p^2 + 13363,2p + 133632}{N(p)}$$

где характеристический полином $N(p)$ имеет вид:

$$N(p) = 2,016 \cdot 10^{-4} p^7 + 0,12664 p^6 + 8,5742 p^5 + 245,03 p^4 + 390 p^3 +$$

Таким образом, предложенная формула и методика расчета передаточных функций многомассовой механической части электропривода позволяет значительно упростить получение расчетных уравнений для скоростей любой элементарной массы в зависимости от возмущающих воздействий со стороны других масс кинематической цепи.

Полученные передаточные функции позволяют оценить качество переходных процессов скоростей масс в электроприводе и разработать регулятор, демпфирующий колебания скоростей, снижающих ресурс и надежность привода.

Рассматривая частотно-регулируемый электропривод транспортера как объект управления с передаточной функцией $W_{z2}(p)$ для демпфирования скорости ω_{z2} разработан ПИД-регулятор (рис. 2).

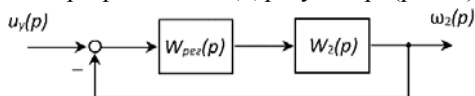


Рис. 2. Система автоматического управления

Коэффициент усиления и постоянные времени регулятора равны:

$$k_D = 1,981, T_{p1} = 0,91 \text{ с}, T_{p2} = 0,17 \text{ с}, \text{ с.}$$

На рис. 3 и рис. 4 показаны графики переходных процессов скорости ω_{z2} при ступенчатом входном сигнале напряжения управления для электропривода без регулятора (рис. 3) и с регулятором (рис. 4). В электроприводе без регулятора переходная характеристика имеет значительную колебательность, перерегулирование, достигающее 70% и время регулирования 16,2 с. В электроприводе с регулятором скорость ω_{z2} имеет аperiодический характер с быстродействием 1,1 с и перерегулированием 13%.

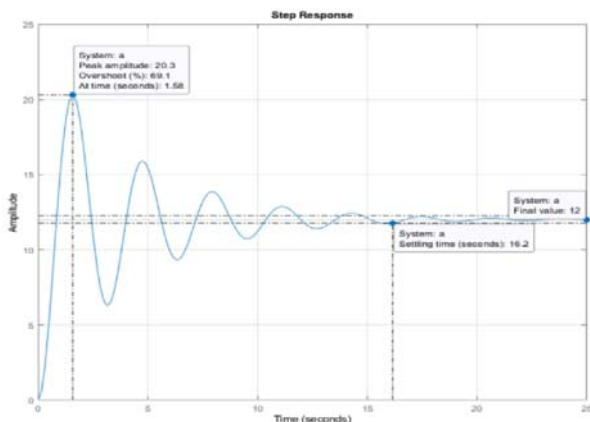


Рис. 3. Переходная характеристика скорости ω в электроприводе без регулятора

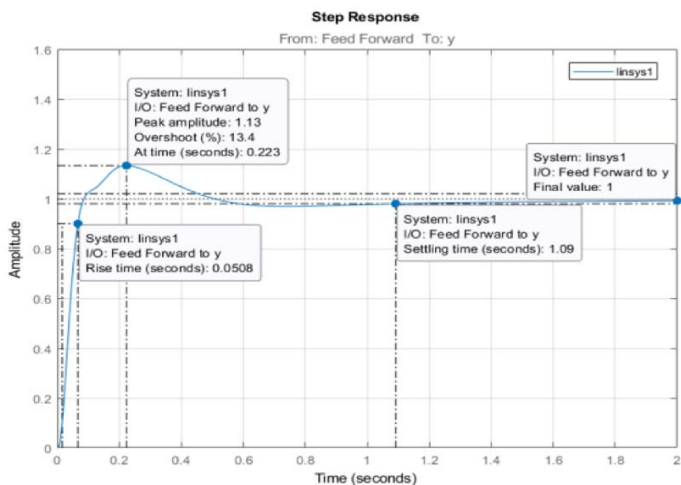


Рис. 4. Переходная характеристика скорости ω в электроприводе с регулятором

Исследования в модели частотно-регулируемого электропривода транспортера проведены с применением интерактивного программного пакета Simulink-Matlab.

Список литературы

1. Ребенков Е.С. Цифровой регулятор демпфирования упругих колебаний в многомассовом электроприводе // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. №2. С. 330 – 335.
2. Поляков А.Е., Чесноков А.В., Филимонов Е.М. Электрические машины, электропривод и системы интеллектуального управления электро-механическими комплексами. М.: Форум: Инфра-М, 2015. 224 с.
3. Чикуров Н.Г. Моделирование систем и процессов. М.: РИОР: Инфра, 2013. 398 с.
4. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление; пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 798 с.
5. Шишмарёв В.Ю. Теория автоматического управления. М.: Издательский центр «Академия», 2012. 352 с.
6. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. Пер. с англ. Б.И. Копылова. М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. 832 с.
7. Leigh J.R (1985) Applied digital control. London. Prentice Hall.
8. Rumelhart A., Mc Clelland I.L. (1986) Parallel Distributed Processing. Cambridge: MIT Press.

УДК 621.176

**СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕНЬ ИССЛЕДОВАНИЙ,
КАСАЮЩИЙСЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЯВЛЕНИЯ СКАЧКА
УПЛОТНЕНИЯ В ПАРОВОДЯНОМ ИНЖЕКТОРЕ**

Макрушин В.В.¹, Золотарева В.Е.¹, Обыденов А.А.²

¹Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

²ОАО «Щекиноазот»

e-mail: vmakrushin@nirhtu.ru

Изучены пароводяные инжекторы, их конструкции и процессы, протекающие в камере смешения пароводяных инжекторов, проведен анализ исследований скачка уплотнения-конденсации

Ключевые слова: пароводяной инжектор, камера смешения, пароводяная смесь, скачок уплотнения, двухфазный поток, давления смеси

**MODERN LEVEL OF RESEARCH CONCERNING THE IM-
PLEMENTATION OF THE PEAK PACKAGE IN A STEAM WA-
TER INJECTOR**

Makrushin V.V.¹, Zolotareva V.E.¹, Obydenov A.A.²

¹Novomoskovsk Institute of Mendeleev University

of Chemical Technology

²OAO "Shekinoazot"

The steam-water injectors, their designs and the processes occurring in the mixing chamber of the steam-water injectors are studied, the analysis of the shock-condensation shock studies is carried out.

Key words: steam-water injector, mixing chamber, steam-water mixture, shock wave, two-phase flow, mixture pressure

Одним из ключевых вопросов при создании и изучении пароводяных инжекторов является вопрос о реализации и целесообразности скачка уплотнения в горловине аппарата с целью улучшения напорных характеристик.

Естественно, для того, чтобы реализовать данный эффект скорость смеси (имеется ввиду смесь конденсата рабочего пара и перекачиваемой воды) в горловине аппарата должна превышать скорость звука в самой смеси.

Для этого смесь должна содержать часть не сконденсировавшегося рабочего пара, так как скорость звука в такой смеси существенно ниже; чем в чистой воде, то есть объемное паросодержание должно быть больше 0. По имеющимся данным [1] наилучшее значение объемного паросодержания, при котором скорость звука в пароводяной смеси

имеет минимальное значение $\approx 0,5$. Тенденция эта сохраняется при любых давлениях.

Если камера смешения достаточна, коротка, то на выходе из нее может иметь место поток смеси воды и парапузырьковой структуры. Скорость звука в таком потоке составляет ≈ 20 м/с или даже ниже. При этом скорость потока может составлять величину, большую (40-50 м/с).

Таким образом, скорость потока может оказаться сверхзвуковой. Если горловина диффузора, в которой поток поступает после камеры смешения, выполнена в виде цилиндрического участка длиной до 2,5 диаметров горловины, то при торможении потока на этом участке, и может реализовываться данное явление.

Идея была выдвинута Морозовым Н.Г. в 1941 г., затем опровергнута и вновь возникла в 60-е годы.

Явление того, что инжектор в условиях полной конденсации пара в проточной части может на выходе создавать давление более высокое, нежели чем давление пара, подаваемого на него, было замечено еще его изобретателем [2]. Позже были получены эпюры распределения давления по длине диффузора. Был отмечен факт того, что давление в диффузоре после горловины растет сначала очень быстро, затем медленнее [2].

В этой связи отмечалось повышенное изнашивание диффузоров в зоне быстрого роста давлений. В более поздних работах авторы [3] изучая диффузионные течения, говорили о скачкообразном изменении давления, по сути, это было одно и то же явление.

Также скачкообразно изменяется давление в аппаратах при условии скачка уплотнения, с той лишь разницей, что, по мнению специалистов [4], давление в последнем на много превышает давление, развиваемое в обычном инжекторе.

Из анализа исследований, приведенных Дейчем М.Е. [4] можно сделать следующие выводы:

1. За скачком уплотнения-конденсации в пароводяном инжекторе смесь имеет однородную структуру.
2. Положение скачка и его интенсивность заметно изменяется в зависимости от режимных параметров аппарата.
3. Скачок уплотнения-конденсации является нестационарным и с некоторой частотой перемещается вдоль проточной части аппарата.
4. Положение скачка зависит от величины противодавления внешней сети: с его увеличением скачок давления перемещается против потока, а при максимальном противодавлении он находится вблизи горловины диффузора и может перемещаться

вдоль камеры смешения.

5. Скачок уплотнения-конденсации во многом определяет эффективность, устойчивость, диапазон рабочих режимов и другие характеристики инжектора.

6. Максимальное значение давления смеси на выходе из инжектора при заданных начальных параметрах обеспечивается оптимальной формой камеры смешения.

7. Движение двухфазного потока в камере смешения парожидкостного инжектора является неоднородным: распределение скоростей и статических давлений по сечениям отличается высокой неравномерностью.

8. Действительные процессы в камере смешения, сопровождающиеся перестройкой структуры потока, скольжением фаз, деформацией полей скоростей и давлений, отличаются большой сложностью.

Появление эффекта скачка уплотнения связано с тремя факторами:

1. Неполной конденсацией пара в проточной части аппарата перед входом в горловину;

2. Наличие участка цилиндрической формы определенной протяженности в горле диффузора;

3. Скорости потока в канале постоянного сечения, превышающей скорость звука в потоке данных параметров и структуры.

Таким образом, сравнивая «обычный» или «классический» инжектор с инжектором, использующим явление скачка уплотнения можно сказать:

- и тот, и другой инжектор имеет скачкообразную эпюру давления в диффузоре;

- при равных входных параметрах коэффициент инжекции аппарата со скачком уплотнения ниже, чем у «обычного»: расход подаваемой смеси меньше, развиваемый напор теоретически выше, количество потребляемого пара больше.

Список литературы

1. Костерин С.И., Семенов Н.И. Результаты исследований скорости звука в движущихся газожидкостных смесях. Теплотехника, №6, 1964
2. Крылов А.М. Теория и расчёт инжектора, Томск: 1908
3. Гек В.И. Исследование процесса нагнетания в инжекционных приборах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н., МИИЖТ, М.:1960
4. Дейч М.Е., Филиппов Г.А. Газодинамика двухфазных сред. М.: Энергоатомиздат, 1981

УДК 621.165

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕЛЕТУЧИХ ПРИМЕСЕЙ
МЕЖДУ ФАЗАМИ ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА**

Зайцев Н.А., Чермошентцев Е.А.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: nzaitsev@nirhtu.ru, kotams@yandex.ru

Описан экспериментальный стенд для исследования кинетики распределения нелетучих примесей между паровой и жидкой фазами при конденсации пара. Такие процессы характерны для цилиндров низкого давления паровых турбин. Стенд позволяет проводить исследования с водными растворами наиболее коррозионно-агрессивных примесей пароводяного тракта турбин в широком интервале температур и давлений насыщения. Использована автоклавная модель процесса. В насыщенном паре над раствором в результате локального охлаждения образуется капля конденсата и в ней непрерывно фиксируется рост концентрации примесей. Измерение концентрации выполняется кондуктометрическим методом.

Ключевые слова: измерительный блок, автоклав, печь-термостат, кондуктометрическая ячейка, проба конденсата парораствора.

EXPERIMENTAL STAND FOR RESEARCH WORKS THE DISTRIBUTION OF NON-VOLATILE IMPURITIES BETWEEN PHASES DURING STEAM CONDENSATION

Zaitsev N.A., Chermoshentsev E.A.

Novomoskovsk Institute of D. Mendeleev University
of Chemical Technology of Russia

An experimental stand for studying the kinetics of the distribution of nonvolatile impurities between the vapor and liquid phases during vapor condensation is described. Such processes are typical for low pressure cylinders of steam turbines. The stand allows research with aqueous solutions of the most corrosive-aggressive impurities in the steam-water path of turbines in a wide range of temperatures and saturation pressures. An autoclave model of the process was used. In saturated steam above the solution, because of local cooling, a condensate drop is formed and an increase in the concentration of impurities is continuously recorded in it. Concentration measurement is performed by conductometric method.

Key words: measurement unit, autoclave, oven thermostat, conductometric unit, steam solution condensate sample.

Разработан экспериментальный стенд, позволяющий проводить исследования с водными растворами наиболее коррозионно-агрессивных примесей пароводяного тракта турбин в широком интервале температур и давлений насыщения.

Образование капелек влаги в проточной части турбин происходит в насыщенном паре на ядрах конденсации или в пересыщенном паре спонтанно. Во всех случаях начальная концентрация капелек соответствует общей концентрации окружающего парораствора. При наличии же растворимых ядер конденсации, концентрация капли имеет начальное значение отличное от концентрации парораствора и определяется, с одной стороны, размером частиц, а с другой – размером образовавшейся капли. Дальнейший рост концентрации примесей в капле происходит по закону межфазного распределения, когда концентрация примесей в капле стремится к равновесному значению относительно пара, с присущими этому процессу кинетическими особенностями, вследствие высоких скоростей течения и снижения параметров пара в проточной части турбин [1, 2]. Учёт кинетических особенностей указанного процесса, возможность прогнозирования концентрации примесей в каплях влаги с учётом времени пребывания пара в турбине является целью создания экспериментального стенда. Проведение таких исследований в турбине сопряжено со значительными трудностями, поэтому была выбрана автоклавная модель процесса, когда в насыщенном паре над раствором выбранной примеси заданной концентрации при требуемой температуре, в результате локального охлаждения образуется капелька конденсата парораствора и в ней непрерывно фиксируется рост концентрации примесей. Измерение концентрации выполняется кондуктометрическим методом, на основании известных данных по концентрационной зависимости электропроводимостей водных растворов изучаемого вещества. Стенд представляет собой совокупность трёх прямоугольных монтажных блоков, изготовленных из листовой стали. Общие габаритные размеры 1400 × 1250 × 820 мм. Первый из блоков играет роль основной опоры, во втором размещены приборы контроля и управления экспериментов. В верхней части третьего блока находятся печи-термостаты с автоклавами, в нижней части на бетонной плите размещён вакуум-насос, используемый при заполнении автоклавов исследуемыми жидкостями.

Основными элементами стенда являются два идентичных высокотемпературных измерительных блока, каждый из которых состоит из электрической печи-термостата и автоклава, изготовленного из титана марки ВТ-4. В один из автоклавов заливается водный раствор исследуемого нелетучего соединения, в другой – обессоленная вода. Над

зеркалами жидких фаз расположены охлаждаемые конусы для получения пробы конденсата пара и кондуктометрические ячейки. Соединительные провода электродов ячейки и термопары выведены из высокотемпературной зоны через электровводы с керамическими изоляторами. Охлаждение конусов осуществляется воздухом, изменяя расход которого можно варьировать интенсивностью конденсации пара на конусе.

В связи с тем, что поддержание идентичных термических условий в автоклавах при высоких температурах (более 523 К) затруднено, проработана методика, использующая один измерительный блок, одну ячейку, с предварительным исследованием поведения растворителя (воды) при условиях аналогичных исследованию раствора.

Автоклав состоит из толстостенного цилиндрического корпуса и крышки. В центре крышки с помощью накидной гайки установлен теплообменник типа труба в трубе, выполненный в виде трубки Фильда, конец которой и играет роль охлаждаемого конуса. К крышке приварен также тонкостенный термокарман, в который помещается термометр сопротивления.

В автоклаве над зеркалом жидкой фазы размещена кондуктометрическая ячейка. Были выполнены и испытаны несколько конструкций электродной системы кондуктометрической ячейки. Постоянная ячейки изменяется в интервале значений 7-16 см⁻¹. Наиболее надёжные, воспроизводимые результаты показала конструкция, изображённая на рис. 1, где по аналогии с ячейкой Джонса [3] сделано максимально возможное для предотвращения влияния краевых эффектов, действие которых наиболее ощутимо при конечных температурах опытов. Ячейка состоит из охлаждаемого конуса (2), используемого для получения пробы (капли) конденсата пара, платиновых электродов (1), помещённых для снижения краевых эффектов в керамические втулки (4) с отшлифованными торцами и столика (5) с плоской поверхностью, изолированной фторопластом. Электроды вместе с втулками, фиксируются в держателях (3), изготовленных из титана.

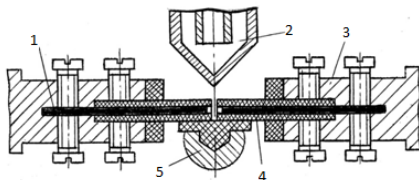


Рис. 1. Кондуктометрическая ячейка

Для предотвращения зависания капли на электродах (1) и подготовки ячейки к очередному измерению разработана система удаления пробы, обеспечивающая подвижность столика под электродами. Между конусом (2) и столиком (5) наряду с электродами (1) размещён один из спаев дифференциальной платинородий-платиновой термопары. Выводы дифференциальной термопары зажимаются винтами в нижних частях предназначенных для них электровводов. Холодный спай термопары помещён в зону исследуемой пробы конденсата пара, а горячий спай расположен непосредственно у стенки термокармана, в котором находится платиновый термометр сопротивления, измеряющий температуру парораствора. Таким образом, зная последнюю и разность температур парораствора и исследуемой пробы, определяемую посредством дифференциальной термопары, можно рассчитать температуру пробы.

Список литературы

1. Мартынова О.И. Влияние водно-режимных факторов на надёжность работы некоторых элементов оборудования электростанций // Энергохозяйство за рубежом. 1982. № 1. С. 7 – 12.
2. Теплоэнергетика и теплотехника: Общие вопросы. Справочник / Под ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. 528 с.
3. Грилихес М.С., Филановский Б.К. Контактная кондуктометрия. (Теория и практика метода). Л.: Химия, 1980. 176 с.

УДК 621.176

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ШУМНОЙ РАБОТЫ
ПАРОСТРУЙНЫХ ИНЖЕКЦИОННЫХ СМЕСИТЕЛЬНЫХ
ТЕПЛООБМЕННИКОВ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Золотарева В.Е.¹, Макрушин В.В.¹, Обыденов А.А.², Кольчугина Л.И.³

¹Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

²ОАО «Щекиноазот»

³ОАО «НИИК»

e-mail: vzolotareva@nirhtu.ru

Рассмотрены причины шумной работы пароструйных инжекционных смесительных теплообменников в качестве подогревателей исходной воды перед водоподготовкой в условиях промышленной эксплуатации.

Ключевые слова: пароводяной инжектор, скорость звука, пароводяная смесь, скачок уплотнения, двухфазный поток.

**INVESTIGATION OF THE CAUSES OF NOISY WORK
STEAM JET INDUCTION MIXING HEAT EXCHANGERS
IN INDUSTRIAL OPERATION**

*Zolotareva V.E.¹, Makrushin V.V.¹, , Obydenov A.A.²,
Kolchugina L.I.³*

¹Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

²OAO "Shchekinoazot"

³OAO "NIK"

e-mail: vzolotareva@nirhtu.ru

The reasons for the noisy operation of steam jet injection mixing heat exchangers as source water heaters before water treatment in industrial operation are considered.

Keywords: steam-water injector, speed of sound, steam-water mixture, shock of compaction, two-phase flow.

Пароструйные инжекционные смесительные теплообменники типа КПВН-С «КОССЕТ» используются в узле подогрева исходной воды в схеме подачи речной (сырой) воды в осветлители отделения ХВО электростанции цеха ТВиК ОАО «Щекиноазот» при параллельном их подключении. Обвязка теплообменников произведена по типовой схе-

ме от производителя с установкой приборов КИП для контроля параметров с целью автоматического регулирования подачи пара.

Теплообменник представляет собой конструкцию, объединяющую в себе 7 пароструйных инжекторов, смонтированных в одном кожухе (рис. 1).

Анализ процессов, происходящих в потоке по длине проточной части пароводяного инжектора, произведен для одного инжектора, считая процессы, происходящие в нём, аналогичными для всех 7 инжекторов теплообменника.

Производители рекомендуют применять теплообменники (КПВН-С) «КОСЦЕТ» в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения, а также при подогреве исходной воды перед водоподготовкой.

В отделении ХВО электростанции ОАО «Щекиноазот» подача воды на инжектор теплообменника осуществляется сразу из реки. Особо отметим, что вода не деаэрирована. Посмотрим, какое влияние на общее объёмное газосодержание и величину числа Маха оказывают растворенные в воде газы, которые выделяются в виде пузырьков из воды при её нагреве.

Допустим, что забор воды из реки осуществляется при атмосферном давлении, до водозабора вода имеет длительный контакт с атмосферным воздухом. Двигаясь от водозабора до теплообменника, вода не нагревается.

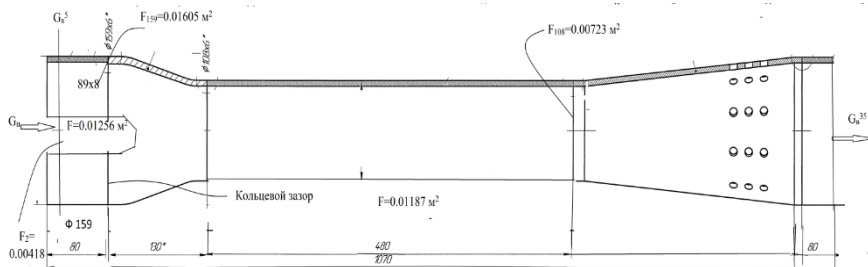


Рис.1. Геометрические характеристики инжектора

Рассмотрим два варианта пароводяного потока в инжекторе: 1) вода (недеаэрированная, смесь воды и пузырьков газов, составляющих воздух и выделившихся из нее) – пар; 2) вода (не содержащая растворенных в ней газов) – пар. Во втором случае состав пароводяной смеси соответствует требованиям проектной документации на теплообменник.

Определим число Маха для пароводяного потока в первом случае. Используя материалы [1], вычислим начальное содержание газов воздуха в воде при температуре воды на входе в инжектор $t_1=5^\circ\text{C}$:

$$\epsilon_{O_2} = P_0 \times K_{O_2} \times r_{O_2}; \quad \epsilon_{N_2} = P_0 \times K_{N_2} \times r_{N_2}; \quad \epsilon_{CO_2} = P_0 \times K_{CO_2} \times r_{CO_2},$$

где P_0 – атмосферное давление, принимается равным 1,0333 ат;
 K_i – температурный коэффициент весовой растворимости газа, принимаем по [2]:

$$K_{O_2} = 60,15; \quad K_{N_2} = 25,45; \quad K_{CO_2} = 2777,5;$$

r_i – объёмная доля данного компонента, принимаем по [2]:
 $r_{O_2} = 0,2090; \quad r_{N_2} = 0,7907; \quad r_{CO_2} = 0,0003.$

$$\epsilon_{O_2} = 1,0333 \cdot 60,15 \cdot 0,2090 \cdot 10^{-3} = 0,01299$$

$$\epsilon_{N_2} = 1,0333 \cdot 25,45 \cdot 0,7907 \cdot 10^{-3} = 0,02079$$

$$\epsilon_{CO_2} = 1,0333 \cdot 2777,5 \cdot 0,0003 \cdot 10^{-3} = 0,00086$$

По рекомендациям [2] вычисляем удельные объёмы кислорода, углекислого газа, азота и инертных газов при температуре смеси $t_{см.}=35^\circ\text{C}$: $V_{O_2}=0,787 \text{ м}^3/\text{кг}$; $V_{CO_2}=0,569 \text{ м}^3/\text{кг}$; $V_{N_2}=0,899 \text{ м}^3/\text{кг}$.

В результате начального эффекта «деаэрации» выделяется примерно до 50% растворенного в воде кислорода и до 10% растворенного в воде углекислого газа, а азот и инертные газы выделяются из воды полностью [2]. Посчитаем объёмные газосодержания всех перечисленных компонентов [3]:

$$\varphi_{O_2} = \epsilon_{O_2} \cdot V_{O_2} \cdot 0,5 = 0,01299 \cdot 0,787 \cdot 0,5 = 5,11 \cdot 10^{-3}$$

$$\varphi_{CO_2} = \epsilon_{CO_2} \cdot V_{CO_2} \cdot 0,1 = 0,00086 \cdot 0,569 \cdot 0,1 = 4,89 \cdot 10^{-5}$$

$$\varphi_{N_2} = \epsilon_{N_2} \cdot V_{N_2} = 0,02079 \cdot 0,899 = 18,69 \cdot 10^{-3}.$$

Суммарное газосодержание по воздуху составит:

$$\varphi_T = \varphi_{O_2} + \varphi_{CO_2} + \varphi_{N_2} = 5,11 \cdot 10^{-3} + 4,89 \cdot 10^{-5} + 18,69 \cdot 10^{-3} = 23,85 \cdot 10^{-3}.$$

Общее объёмное содержание газовой фазы на входе в горловину инжектора, в случае использования недеаэрированной воды составит [3]:

$$\varphi_O = \varphi_T + \varphi = 0,02385 + 0,00697 = 0,09355,$$

где φ – объёмное паросодержание в смеси воды (не содержащей растворенные газы) и пара на входе в горловину инжектора

$$\varphi = \frac{\rho_{ж} - \rho_{см}}{\rho_{ж} - \rho_{п}},$$

где $\rho_{см}$ – плотность смеси (вода-пар) на выходе из камеры смешения при $t_2=35^\circ\text{C}$, $\text{кг}/\text{м}^3$, [3]

$$\rho_{см} = 1100 - 5 \cdot t_2$$

$$\rho_{см} = 1100 - 5 \cdot 35 = 925 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$\varphi = \frac{993,96 - 925}{993,96 - 4,361} = 0,0097$$

Далее вычисляем скорость звука в первом случае потока двухфазной среды [3], при наличии в воде пузырьков выделившихся газов, где X – массовое паросодержание смеси, полученной с участием недеаэрированной воды,

$$X = \frac{\varphi \times \rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{см}}}$$

$$\rho_{\text{п}} - \text{плотность пара, кг/м}^3, \rho_{\text{п}} = 4,361 \text{ кг/м}^3,$$

$$\rho_{\text{см}} - \text{плотность смеси вода - пар, кг/м}^3, \rho_{\text{см}} = 925 \text{ кг/м}^3$$

$$X = \frac{0,09355 \times 4,361}{925} = 0,000441;$$

$a_1 = 0,01635$ м/с – скорость звука в двухфазной среде (вода в присутствии пузырьков газа), [3];

a_2 – скорость звука в паре, $a_2 = 492$ м/с [3].

Определяем число Маха. $W_{\text{с}}$ – скорость пароводяной смеси в горловине инжектора (скорость смеси в любом сечении проточной части камеры смешения может быть определена по уравнению неразрывности. Расход смеси остаётся постоянным по всем сечениям камеры смешения). $G_{\text{см}}$ – суммарный расход смеси (воды G и пара D в горловине инжектора, взятые по условиям эксплуатации теплообменника) $G_{\text{см}} = G + D = 19,84 + 0,8717 = 20,7117$ кг/с;

$F_{\text{КС}}$ – сечение горловины инжектора, $F_{\text{КС}} = 0,00723$ м² (рис. 1)

$\rho_{\text{см}} = 925$ кг/м³ – плотность пароводяной смеси

$$M_{\text{с}} = \frac{20,7117}{925 \times 0,00723} = 3,096 \text{ м/с}$$

Таким образом получаем сверхзвуковой поток! при относительно небольших скоростях рабочего тела в инжекторе.

По аналогии рассчитано число Маха для второго варианта потока, когда вода - однофазная среда без включений газовых пузырьков. Скорость звука смеси такого состава при аналогичных температурах инжектора $a = 32,6$ м/с, а число Маха $M = 0,095!$ Поток получается дозвуковой. Теплообменник работает тихо.

Появление в инжекторе сверхзвукового потока ОДНОЗНАЧНО может являться причиной шума, сопровождающего работу данного теплообменника в условиях эксплуатации на ОАО «Щекиноазот».

Для первого случая пароводяного потока в инжекторе, представляющего собой смесь воды (двухфазной среды: воды (однофазной среды) и пузырьков газов, выделившихся из нее) и пара можно сделать вывод о наличии скачка уплотнения или условий его приближения. В этих условиях особенность конструкции инжектора (наличие цилиндрического канала является конструкционной особенностью теплообменника (КПВН-С) «КОССЕТ VII-100» (рис. 1)) приводит к явлению скачка уплотнения в двухфазной смеси. Это было экспериментально зафиксировано в [4, 5] только в каналах постоянного сечения. Наиболее вероятным местом данного явления может быть горловина инжектора – переход от камеры смешения к диффузору, которая может быть выполнена в виде такого канала

Проанализировав рабочие параметры и геометрические характеристики пароструйного инжекционного смесительного теплообменника типа КПВН-С «КОССЕТ VII-100», можно сделать выводы: наиболее вероятной причиной шума, как показывают расчеты, является образование двухфазной среды, состоящей из собственно исходной воды и выделяющихся растворенных в воде газов, которые выделяются в виде пузырей из воды при её нагреве в процессе эксплуатации, и наличие цилиндрического участка, как особенности конструкции инжектора.

Список литературы

1. Пахомов Г.Т. Инжекторы мягкого пара. – Л.: Труды ЛИИЖТ, вып. 7, 1934.
2. Инструктивные указания по расчету, монтажу и эксплуатации пароструйных тяговых устройств. – М.: Речиздат, 1944.
3. Короткова Т.Ю. Разработка методики расчета пароводяного инжектора. Диссертация на соискание степени кандидата технических наук. – СПб – 2000.
4. Фисенко В.В. Критические двухфазные потоки. – М.: Энергоатомиздат, 1978.
5. Шпильрайн Э.Э и др. Некоторые результаты исследования пульсации давления в конденсационном инжекторе. Теплоэнергетика. №12. 1967.

УДК 621.1: 621.311:621.165

**УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО
НАТЯЖЕНИЯ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ**

Чермошенцев Е.А., Зайцев Н.А.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: etchermoshentsev@nirhtu.ru

Данные по поверхностным свойствам электролитов необходимы для расчета ступеней турбины, работающих в начале конденсации пара, где образуются высоко концентрированные капли и пленки коррозионно активной влаги. Разработана установка по исследованию поверхностного натяжения растворов гидроксида и хлорида натрия в широком интервале температур и давлений. Показаны конструктивные особенности проведения экспериментов в агрессивной среде.

Ключевые слова: Турбина, фазовый переход, гидроксид и хлорид натрия, поверхностное натяжение, экспериментальная установка.

**INSTALLATION FOR STUDYING THE SURFACE TENSION OF
ELECTROLYTE SOLUTIONS**

Chermoshentsev E.A., Zaitsev N.A.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

Data on the surface properties of electrolytes are necessary for calculating turbine stages operating at the beginning of steam condensation, where highly concentrated drops and films of corrosive moisture are formed. An installation has been developed to study the surface tension of sodium hydroxide and sodium chloride solutions in a wide range of temperatures and pressures. The design features of conducting experiments in an aggressive environment are shown.

Key words: Turbine, phase transition, sodium hydroxide and chloride, surface tension, experimental setup.

Анализ причин аварий турбинного оборудования ТЭС показывает, что большое число поломок турбинных лопаток, дисков, роторов и труб пароперегревателей связано с первоначальными появлениями микротрещин в результате коррозии металлов в зоне линии насыщения. Коррозионное растрескивание конструкционных элементов проточной части паровых турбин остается острой проблемой и актуальность ее решения определяется как высокой стоимостью турбин, так и трудоемкостью их ремонта [1]. Одним из определяющих факторов

преждевременного коррозионного и коррозионно-усталостного разрушения элементов проточной части турбин является действие химических соединений, приносимых с паром парогенераторов. Примеси в паре увеличивают и динамическое воздействие потока на поверхность металла за счет увеличения дисперсности образующихся капель. Сочетание эрозионного износа с коррозионным разрушением является наиболее опасным. В условиях высокоскоростных потоков среды эти два фактора действуют одновременно и неразрывно связаны [2]. К веществам, заметно ускоряющим коррозионный процесс, относятся такие примеси как гидроксид, хлорид, сульфат натрия, а также минеральные и органические кислоты. Даже очень малые доли примесей, попадающие в турбину, могут концентрироваться до опасных значений. Самая критическая область находится в ЦНД турбины, т.к. концентрированные примеси образуются перед линией Вильсона из-за их термодинамической стабильности. Наряду с агрессивными воздействиями примесей в паре на коррозию металлов вблизи линии насыщения, необходимо учитывать влияние мелких жидких частиц NaOH и NaCl на гетерогенную конденсацию [3]. Расчет ступеней, работающих в начале конденсации пара, где образуются высоко концентрированные капли и пленки коррозионно активной влаги ведется как правило без учета этого фактора [4]. Все данные по теплофизическим свойствам теплоносителя принимаются такими же как для воды и ее насыщенного пара, что не соответствует реальным условиям. Это относится и к поверхностному натяжению, численные значения которого входят во многие важные расчетные формулы.

Для исследования температурной зависимости поверхностного натяжения водных растворов хлорида и гидроксида натрия в широком интервале концентраций, температур и давлений был применен метод счета капель. Исследование физико-химических свойств и в частности поверхностного натяжения водных растворов электролитов при повышенных температурах связано с преодолением ряда экспериментальных трудностей, как в конструктивном отношении, так и с точки зрения экспериментальных, обусловленных, значительной упругостью паров при высоких температурах, высокой коррозионной активностью воды и водных растворов, особенно таких как гидроксид и хлорид натрия. Схема установки показана на рисунке. Она состоит из рабочей ячейки, помещенной в электрическую печь, а также приборов контроля и управления. Рабочая ячейка состоит из автоклава, который выполнен из титанового сплава ВТ-4. Сплавы титана не подвержены контактной, язвенной коррозии, коррозии под напряжением и применяются при значительных нагрузках по давлению и высоким температурах.

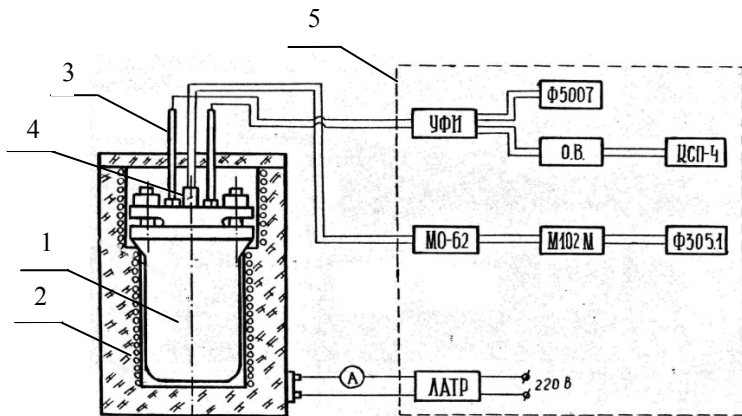


Рисунок. Блок-схема установки

1. Автоклав; 2. Электронагреватель; 3. Электровводы; 4. Термокарман; 5. Блок управления

Автоклав состоит корпуса, выполненного в виде толстостенного цилиндрического сосуда переменного внешнего диаметра и крышки, соединяемых между собой шпильками. Уплотнение между крышкой и корпусом сделано типа металл- металл, т.е. корпус и крышка имеют разные конусности, поэтому обтюрационное кольцо крышки вдавливается в корпус, что обеспечивает надежное уплотнение. На крышке автоклава размещены следующие элементы ячейки: ампула с капилляром, термокарман под термометр сопротивление, датчик счета капель, электровводы, детали крепления.

Датчик счета капель представляет собой две платиновые проволочки (электроды) диаметром 0,4 мм, размещенные в винтах, которыми можно регулировать расстояние между электродами, закрепленными в титановом корпусе.

Электроввод является наиболее важной и ответственной деталью установки, от надежной работы которой зависит успех экспериментов. При этом, под надежностью понимается не только обеспечение поддержание требуемых параметров опытов (давление, температура), но и электроизоляционные свойства, возможные утечки фиксируемых электрических сигналов, их оценка и учет. В качестве изоляторов взяты серийно производимые детали из керамики 22ХС на основе окиси алюминия.

Рабочий раствор заливается в ампулу, которая представляет собой тонкостенный сосуд толщиной 0,2 мм. Она изготавливается из двух

частей, а затем проваривается аргоно-дуговой сваркой. В верхнюю часть ампулы вворачивается штуцер с насадкой, которая состоит из никелевого корпуса, к которому в вакуумной печи припаивается серебром палладиевый капилляр.

В автоклав заливается на одну треть водный раствор исследуемого вещества. В ампулу заливается под вакуумом раствор той концентрации, что и в автоклав. Она размещается таким образом, чтобы полностью находилась в растворе. Сигнал с датчика через электровводы подается на формирователь импульсов, на выходе которого создаются прямоугольные импульсы, необходимые для нормальной работы цифрового счетчика. Для дублирования показаний цифрового счетчика, а также определения времени формирования капли используется самопишущий прибор КСП-4. Температура раствора в автоклаве измеряется платиновым термометром сопротивления, мостом постоянного тока и зеркальным гальванометром. Мощность нагревателя и соответственно температура в ячейке регулируется с помощью автотрансформатора. Оценка погрешности измерений проводилась путем тарировки по воде и сравнения с известными табличными значениями.

Список литературы

1. А.И. Лебедева, П.А. Березинец, А.Б. Тхабисимов. Анализ положения зоны фазового перехода в проточной части паровой турбины ПГУ-450Т при эксплуатационных режимах. //Электрические станции. – 2018.- №5.-с.9-14.
2. В.А. Рыженков, А.И. Лебедев, А.Ф. Медников. Современное состояние и способы решения проблем эрозионного износа лопаток влажно – паровых ступеней турбин //Теплоэнергетика - 2011.- №9.-с.46-51.
3. Г.В. Томаров, А.А. Шипков. Эрозионно-коррозионный износ энергетического оборудования: исследования, прогнозирование и предупреждение. Ч.1. - Процессы и закономерности эрозии – коррозии //Теплоэнергетика.- 2018.- №8.- с. 17-28.
4. А.Л. Шубенко, А.Э. Ковальский. Кинетическая модель каплеударной эрозии рабочих лопаточных аппаратов паровых турбин.// Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1989.- №5. – с.94-102.

УДК 621.311

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЧЕРНОЙ
МЕТАЛЛУРГИИ КАК ФАКТОР УЛУЧШЕНИЯ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ**

Ошурков М. Г., Лагуткин О.Е.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: Oshurkovm@mail.ru, oleg.lagutkin@bk.ru

Предложена методика разработки норм расходов электроэнергии, зависящих от технологических параметров на примере дуговых сталеплавильных печей. Предложены подходы к разработке общецеховых и общепроизводственных норм, что приведет к сокращению расходов электроэнергии и улучшению экологической обстановки.

Ключевые слова: удельный расход электроэнергии, норма расхода электроэнергии, энергоэффективность, электропотребление, черная металлургия, дуговая электросталеплавильная печь.

**IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF FERROUS
METALLURGY AS A FACTOR OF IMPROVING THE
ENVIRONMENTAL SITUATION**

Oshurkov M. G., Lagutkin O.E.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

A method for developing electricity consumption rates depending on technological parameters is proposed on the example of arc steelmaking furnaces. Approaches to the development of general shop and general production standards are proposed, which will lead to a reduction in electricity costs and an improvement in the environmental situation.

Keywords: Specific electricity consumption, electricity consumption rate, energy efficiency, electricity consumption, ferrous metallurgy, electric arc furnace.

Существует тесная взаимосвязь между ростом производства энергии и загрязнением окружающей среды. Ограничение производства, в частности, электроэнергии возможно при внедрении энергосбережения в промышленности.

Черная металлургия (ЧМ) является одним из крупнейших потребителей электроэнергии – ЭЭ – (около 5,3% от общего потребления России). Внутри отрасли по расходу ЭЭ крупнейшие производства: горнорудное, стали, проката, ферросплавов (53,6 % от общепромышленного).

Проблемы науки. Технические науки. 2021 г.

Планируется постепенное снижение удельных расходов ЭЭ ($w_{уд}$) при увеличении общего потребления ЭЭ, в частности, за счет развития электрометаллургии [1].

Энергосбережение и снижение экологического воздействия – приоритетные задачи ЧМ, решение которых повысит экологическую безопасность и конкурентоспособность отрасли на мировых рынках.

Потенциал энергосбережения, в первую очередь, в замене изношенного основного энерготехнологического оборудования и снижении неритмичности работы металлургических комбинатов из-за колебаний на рынке продукции. Но не менее значимый фактор – внедрение современной системы учета и контроля за расходом ЭЭ на всех уровнях производства. Эти факторы определяют до 70 % потенциала энергосбережения.

Индивидуальность удельных расходов электроэнергии предприятий, производств, однотипных агрегатов; работа технологических агрегатов в режимах, отличных от паспортных не позволяют нормировать расходы электроэнергии, опираясь на усредненные (справочные) нормы. Разброс удельных расходов по видам продукции определен из анализа показателей 200 металлургических предприятий из базы данных "Черметэлектро" [2] (Табл. 1).

Таблица 1. Разброс удельных расходов ЭЭ по видам продукции

№	Вид продукции	$w_{уд макс} / w_{уд мин}$ о.е	$w_{уд ср}$ кВтч/т
1	Метизы	112,4	410,9
2	Чугун	36	11,7
3	Трубы	25,5	143,8
4	Руда железная	20,7	67,3
5	Огнеупоры	17,5	88,3
6	Конвертерная сталь	17	41,1
7	Агломерат	14,1	35,1
8	Мартеновская сталь	10,1	13,1
9	Руда марганцевая	8,6	125,9
10	Кокс	7,6	36,1
11	Прокат	3,5	154
12	Окатыши	2,4	68,2
13	Электросталь	1,9	771,4

Такой разброс наблюдается не только для укрупненных показателей по видам продукции. Анализ показал, что даже для одного конкретного прокатного стана средним пользоваться нельзя: стан выпускает более сотни видов продукции с большим разбросом $w_{уд}$ по ним. А учитывая, что работа в рыночных условиях ведется под конкретные заказы, зачастую с загрузкой агрегата отличной от паспортной, разброс $w_{уд}$ еще увеличивается. Даже для одного технологического агрегата при разработке норм следует учитывать плановые технологические параметры. Например, за месяц на Западно-Сибирском металлургическом комбинате Стан-450 выпустил 8 видов продукции (по два: профиль, швеллер, уголок, квадрат) с разбросом объемов выпуска $0,64 \div 17,7$ тыс. т, с разбросом $w_{уд} \quad 54 \div 100$ кВтч/т. Стан-250 – 8 видов продукции (профиль – 3, круг – 4, бунты – 1) с разбросом объемов выпуска $0,25 \div 24,7$ тыс. т, $w_{уд} \quad 45 \div 95$ кВтч/т.

При прогнозировании электропотребления предприятия в целом и разработке норм потребления ЭЭ необходимо в прогнозных математических моделях учитывать не только статистику по основным производствам, но и по вспомогательным подразделениям, так как в настоящее время их электропотребление соизмеримо с основными производствами [3]. Так, на Западно-Сибирском металлургическом комбинате доли в общем потреблении ЭЭ основных производств и подразделений, находящихся в ответственности отдела главного энергетика (ОГЭ) следующие. Основные производства: доменное – 4 %, стали – 6 %, проката – 16 %. Подразделения ОГЭ: кислородное – 59 %, паровоздуховная станция – 16 %, водоснабжение – 14 %, центральная газотранспортная система – 6 %, ТСЦ – 5 %.

Для реализации резервов энергосбережения необходима разработка скользящих норм расхода электроэнергии по крупным технологическим агрегатам, цехам в увязке с технологическими параметрами. Необходимость посуточной заявки параметров электропотребления для оптового рынка ЭЭ также актуализирует задачу нормирования расходов ЭЭ, в том числе для разных технологических состояний производства (ремонт, пуск, работа с загрузкой отличной от паспортной). Задачам нормирования должны соответствовать системы учета и отчетности по параметрам электропотребления и технологическим параметрам.

Система норм $w_{уд}$ для предприятия должна строиться с учетом 6-уровневой иерархической системы электроснабжения, в которой шестой уровень (6УР) – предприятие в целом по границе раздела балансовой принадлежности оборудования и сетей с субъектом электроэнергетики. На этом уровне определяются параметры энергоэффективности

предприятия и говорят не об $w_{уд}$, а об электроемкости w_3 – отношению суммарного объема выпуска продукции в сопоставимых единицах (например, в стоимостном выражении) к общему расходу электроэнергии. Эта величина устойчива и прогнозируема на протяжении времени сохранения состава цехов и технологии. Электрохозяйство предприятия – объект ценологического типа [3], следовательно, оно индивидуально, и сравнение w_3 данного предприятия с другими не имеет смысла. Однако, это важная величина для конкретного предприятия, по которой, наблюдая изменения во времени, можно судить о тенденциях в энергоэффективности.

На 5УР, 4УР, с которых питаются отдельные производства определяют производственные $w_{уд\ n}$ по видам продукции. При этом в $w_{уд\ n}$ интегрируются все расходы ЭЭ производством, включая не только расходы на основную технологию, но и расходы вспомогательного оборудования (освещение, вентиляция, водо- и теплоснабжение, расходы административного корпуса и т.д.). Величина $w_{уд\ n}$ зависит от множества факторов, включая погодные условия, но главные – объемы производства разных видов продукции, сочетание которых определяет технологическое состояние производства. Нами разработана и опробована методика прогнозирования суточного электропотребления производств на примере предприятий химической и металлургической промышленности. Исходные данные – планируемые на сутки объемы выпуска основных (определяющих общее электропотребление) видов продукции и прогноз погоды. Накапливающаяся база данных по электропотреблению и технологическим состояниям позволяет методами кластерного анализа выделить характерные технологические состояния производства и нормировать для них $w_{уд\ n}$.

Разработка норм удельных расходов электроэнергии выделенного технологического цикла (передела) состоит из следующих этапов.

- По статистическим данным суточного электропотребления (или электропотребления за законченный технологический цикл) вычисляются удельные расходы электроэнергии.
- Проверяется распределение удельных расходов на соответствие нормальному.
- При соответствии распределения нормальному за норму в первом приближении принимается математическое ожидание полюс стандартное отклонение.

При не соответствии распределения нормальному нормируется общее электропотребление на n видов продукции с известными объемами выпуска.

Для энергоёмких агрегатов предлагаются методы определения переменной (скользящей) нормы удельного расхода, зависящей от технологических параметров.

Анализ статистики по технологическим агрегатам показывает, что, как правило, распределение $w_{уд}$ не подчиняется нормальному закону. Нормирование электропотребления крупных технологических агрегатов не может опираться на паспортный удельный расход электроэнергии как на матожидание, так как фактический $w_{уд}$ существенно зависит от технологических параметров. При анализе параметров 1000 плавков (табл. 2) на дуговых сталеплавильных печах ДСП-100 в качестве основных нами взяты следующие технологические параметры: максимальная загрузка печного трансформатора в % от номинальной мощности $K_{зт}$. (%); масса жидкой и годной стали $M_{ж}$, $M_{г}$, (т); время подачи тока t , (мин); расход кислорода $V_{к}$, (m^3); расход природного газа $V_{г}$ (m^3).

Разброс удельных расходов по жидкой и годной стали велик и не гауссов: $w_{удж} = 400 \dots 689$ кВтч/т,
 $w_{удг} = 424 \dots 816$ кВтч/т.

Таблица 2. Параметры плавков ДСП-1 (фрагмент)

№ плавки	t, мин	$M_{ж}$, т	$M_{г}$, т	$K_{зт}$, %	$W_{ф}$, кВтч	$W_{м}$, кВтч	ΔW , %
11420	65	99	99	51,2	55500	55596	0,173
11421	76	109,8	106	49,5	62750	62844	0,150
11422	73	110	106	48,2	58630	58778	0,252
11423	72	113,9	96	48,2	57880	57958	0,135
11424	70	112,8	96,3	46,8	54580	54711	0,240
11425	62	94,6	90,7	49,6	51300	51365	0,127
11426	69	109	97,7	49,5	56880	57048	0,296

Применение стандартных процедур регрессионного и корреляционного анализа не позволяют адекватно описать взаимосвязи показателей из-за сложности объекта и, как следствие, невозможности априори представить структуру модели. Поэтому использован математический аппарат многомерного анализа данных [4], в основу которого положены теорема неполноты Геделя и принцип неокончательных решений Д. Габора.

Модель (1) строилась в процессе компьютерного перебора различных комбинаций аргументов. Модель построена в виде полинома с ортогонализацией частных описаний. Она дает возможность опреде-

лить скользящую норму $w_{уд\text{нор}}$ для данного сочетания технологических параметров агрегата.

$$W_{пл} = 71,21 + 16,7 \cdot t_r \cdot K_3 - 267000 \cdot M_{ж} / (M_r \cdot K_{зг}) \quad (1)$$

Анализ показал, что $w_{уд}$ сильно зависят от t , $M_{ж}$ и M_r с тенденцией увеличения $w_{уд}$ при увеличении t и уменьшения при увеличении M . Наблюдается разброс (в среднем 15 %) $w_{уд}$ для конкретных значений t , M . Печи индивидуальны по характеру зависимостей $w_{уд}$ от технологических параметров (рис. 1).

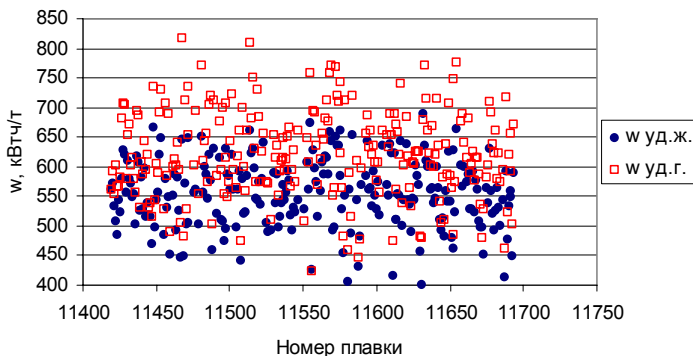


Рис. 1. Разброс значений ($w_{уд\text{ж}}$) и ($w_{уд\text{г}}$) по плавкам

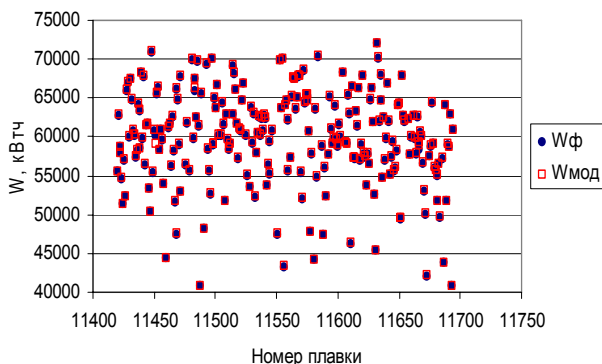


Рис. 2. Фактические ($W_{ф}$) и рассчитанные по (1) расходы ЭЭ на плавки

Полученная модель отражает все эти тенденции и по ней с достаточной точностью рассчитываются удельные расходы для ДСП при

разных сочетаний технологических параметров (рис. 2), что может стать основой для разработки скользящих норм в электросталеплавильных цехах. Аналогичный подход может быть применен для прочих переделов в черной металлургии. Система материального поощрения бригад сталеваров за энергосбережение должна основываться, в числе прочего, и на критерии соблюдения ими норм расхода электроэнергии, определенных с учетом особенностей плавки.

Список литературы

1. Приказ Минпромторга России от 05.05.2014 N 839 Об утверждении Стратегии развития черной металлургии России на 2014 - 2020 годы и на перспективу до 2030 года и Стратегии развития цветной металлургии России на 2014-2020 годы и на перспективу до 2030 года, 2014 г. – 154 с. <https://docplan.ru/Index2/1/4293745/4293745754.htm>.
2. Кудрин Б.И., Авдеев В.А., Якимов А.Е. Информационный банк "Чермет-электро" (© Кудрин Б.И., 1995). – М.: Электрика, 1995. – 400 с.
3. Кудрин Б. И. Организация, построение и управление электрическим хозяйством промышленных предприятий на основе теории больших систем. Вып. 24. Ценологические исследования. М.: Центр системных исследований, 2002. – 368 с.
4. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. Киев: Наукова думка, 1982.- 296 с.

**СЕКЦИЯ КИБЕРНЕТИКИ, АВТОМАТИЗАЦИИ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ, МОДЕЛИРОВАНИЯ И
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

УДК 681.5

**ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К СИНТЕЗУ АСИМПТОТИЧЕСКОГО
НАБЛЮДАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ ПОЛНОГО ПОРЯДКА**

Лопатин А.Г., Брыков Б.А., Лопатина С.В.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: alopatin@nirhtu.ru

Задача наблюдения за поведением объекта управления является классической задачей теории оптимальных систем управления. Решение этой задачи основывается на синтезе асимптотического наблюдателя полного порядка, который по текущим значениям входных и выходных переменных объекта управления восстанавливает значения вектора переменных состояния.

Ключевые слова: наблюдатель состояния, пространство состояний, матрицы, линейные системы, синтез наблюдателей состояния

**ON ONE APPROACH TO THE SYNTHESIS OF A FULL-ORDER
ASYMPTOTIC OBSERVER**

Lopatin A.G., Brykov B.A., Lopatina S.V.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

The problem of observing the behavior of a control object is a classical problem of the theory of optimal control systems. The solution of this problem is based on the synthesis of an asymptotic observer of full order, which, based on the current values of the input and output variables of the control object, restores the values of the vector of state variables.

Key words: state observer, state space, matrices, linear systems, synthesis of state observers

При разработке математических моделей объектов управления в векторно-матричной форме, при ее реализации встает задача восстановления вектора переменных состояния [1-3], так как некоторые переменные состояния являются искусственно введенными и не имеют физических аналогов в реальном объекте управления, поэтому измерить их значение не предоставляется возможным, а так же не возможно измерить производные высокого порядка, которые используются в

качестве переменных состояния.

Данная задача решается при помощи синтеза асимптотического наблюдателя полного порядка, который по текущим значениям входной $u(t)$ и выходной $y(t)$ переменной восстанавливает текущие значения переменных состояния $x(t)$.

Рассмотрим линейную стационарную систему управления вида:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t) \end{aligned} \quad (1)$$

Устройство, описываемое уравнением (2) называется асимптотическим наблюдателем для системы (1):

$$\dot{\hat{x}}(t) = [A - KC]\hat{x}(t) + Ky(t) + [B - KD]u(t) \quad (2)$$

где K – произвольный вектор.

Для устойчивой работы асимптотического наблюдателя полного порядка (2) необходимо и достаточно, чтобы корни характеристического уравнения матрицы $[A - KC]$ выбранные за счет вектора K так, что их вещественные числа отрицательны, то для любых состояний наблюдателя $\hat{x}(t) \rightarrow x(t)$ при $t \rightarrow \infty$. Причем, чем больше модули вещественных частей корней характеристического уравнения тем быстрее оценка $\hat{x}(t)$ стремится к действительному значению вектора состояния $x(t)$.

Рассмотрим методику синтеза наблюдателя полного порядка. Пусть линейный стационарный объект управления задан в виде передаточной функции (3)

$$W(s) = \frac{2s^3 + 24s^2 + 88s + 96}{s^3 + 15s^2 + 71s + 105} \quad (3)$$

которому соответствует векторно-матричное уравнение вида (1), где

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -105 & -71 & -15 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} -6 \\ 36 \\ -228 \end{bmatrix}; C = [1 \ 0 \ 0]; D = [2].$$

Рассчитаем параметры асимптотического наблюдателя полного порядка (2). Для этого зададимся желаемыми корнями характеристического уравнения матрицы $[A - KC]$ (4).

$$\alpha(s) = (s + 1)(s + 2)(s + 4) = s^3 + 7s^2 + 14s + 8 \quad (4)$$

Определяем характеристическое уравнение матрицы $[A - KC]$ (5)

$$|sI - [A - KC]| = \quad (5)$$

где I – единичная матрица

На основании (4) и (5) определяем элементы вектора

$$K = \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -8 \\ 03 \\ -474 \end{bmatrix}$$

Окончательно уравнение асимптотического наблюдателя имеет вид (6):

$$\dot{\hat{x}}(t) = \begin{bmatrix} 8 & 1 & 0 \\ -03 & 0 & 1 \\ 369 & -71 & -15 \end{bmatrix} \hat{x}(t) + \begin{bmatrix} -8 \\ 03 \\ -474 \end{bmatrix} y(t) + \begin{bmatrix} 10 \\ -90 \\ 720 \end{bmatrix} u(t) \quad (6)$$

Результаты имитационного моделирования представлены на рисунке.

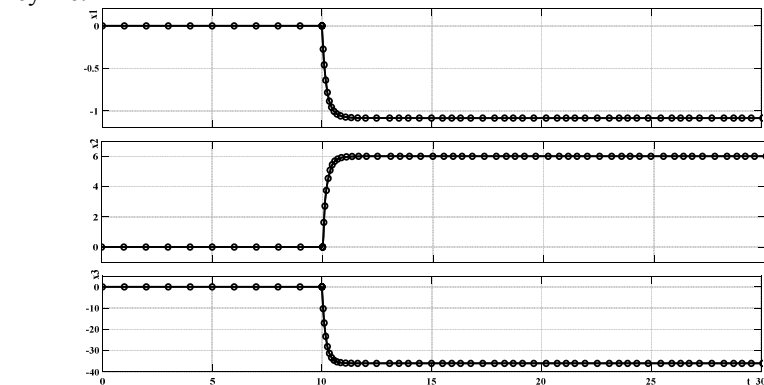


Рис. Результаты имитационного моделирования работы асимптотического наблюдателя полного порядка

—— действительное значение вектора состояния $x(t)$
 ○○○○ оценка вектора состояния $\hat{x}(t)$

Список литературы

1. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов по спец. «Автоматика и телемеханика». В 2-х ч. Ч. II. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления. / А.А. Воронов, Д.П. Ким. В.М. Лохин и др.; Под ред. А.А. Воронова. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 504 с., ил.
2. Воронов А.А. Введение в динамику сложных управляемых систем. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 352 с.
3. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: учебник и практикум для вузов/ Д.П. Ким. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 441 с.

УДК 681.515.8:510.644.4

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ
НЕЧЕТКОГО АДАПТИВНОГО СУПЕРВИЗОРА**

Брыков Б.А.¹, Камынин В.А.², Шеремет И.И.¹

¹Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

²ТГПУ им. Л.Н. Толстого

e-mail: brybogdan@yandex.ru

К рассмотрению предлагается разработанная ранее структура нечеткого адаптивного супервизора, используемого в качестве верхнего уровня системы автоматического регулирования температуры реакционной смеси в промышленном реакторе синтеза полимеров. Цель работы – установление оптимального характера работы супервизора.

Ключевые слова: нечеткая логика, супервизор, адаптивность, ПИД регулятор, химическая технология, синтез полимеров

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE FUZZY ADAPTIVE
SUPERVISOR STRUCTURE**

Brykov B.A.¹, Kamynin V.A.², Sheremet I.I.¹

¹Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

²Tula State Pedagogical University Lev Tolstoy

Previously developed structure of a fuzzy-logical supervisor is proposed for consideration. It is used as the upper level of the automatic control system of the temperature of the reaction mixture in an industrial reactor for the synthesis of polymers. The purpose of the work is to establish the optimal nature of the supervisor's work.

Key words: fuzzy logic, supervisor, adaptivity, PID controller, chemical technology, polymer synthesis

Типовым представителем объектов вида «химический реактор» является реактор синтеза полимеров. Это реактор периодического действия, снабженный мешалкой для перемешивания смеси и рубашкой, необходимой ввиду экзотермического характера протекающих в реакторе химических превращений. Управление таким видом реакторов – задача нетривиальная, поскольку реакция полимеризации характеризуется наличием неизбежно возникающего гелевого эффекта (это справедливо для процессов полимеризации в суспензии). Температурный режим реактора необходимо точно поддерживать на заданном уровне, чтобы получить продукт необходимого качества. Успешное поддержание

температуры при использовании классических систем автоматического регулирования (САР) возможно лишь в случае большого значения водного модуля – соотношения воды и мономера в реакторе.

В связи с современными тенденциями к интенсификации технологических процессов становится актуальной задача усовершенствования технологии синтеза полимеров. Один из путей решения поставленной задачи заключается в синтезе сложных САР, обладающих высокими адаптивными и робастными свойствами, т.е. таких САР, которые способны менять свою структуру в режиме реального времени, обеспечивая высокое качество управления. Разработка такой САР делает возможным проведение синтеза полимеров при пониженном значении водного модуля, что приведет как к уменьшению времени одного цикла производства, так и к повышенному выходу продукта.

В результате проведения комплекса мероприятий по исследованию реактора-полимеризатора как технологического объекта управления установлено, что имеет смысл разработка интеллектуальной робастно-адаптивной САР, в основе которой лежит регулятор, вырабатывающий сигнал управления. Параметры этого регулятора в онлайн-режиме меняются с помощью блока коррекции (супервизора).

Входными величинами блока коррекции в такой САР являются сигналы ошибки регулирования и производной ошибки – скорости ее изменения. На основе различных сочетаний значений этих двух параметров блок коррекции изменяет в большую или меньшую стороны значения коэффициентов регулятора, обеспечивая тем самым адаптивное управление нелинейным объектом.

Блок коррекции в таком случае является супервизором, сложность создания которого заключается в необходимости использования большого количества информации об объекте управления с целью обеспечения подстройки его под каждое состояние переходного процесса путем изменения всех параметров регулятора. Информацию об объекте управления зачастую получить не представляется возможным, например, из-за невозможности установления датчиков внутри реактора, невозможности мгновенного анализа состава реакционной смеси и других ее важных свойств, влияющих на процесс.

Одной из немногих величин, поддающихся непосредственному измерению, является температура компонентов в реакторе. Именно поэтому для супервизора в качестве входных величин принимают отклонение температуры от уставки и ее производные – первую и вторую. Это позволяет определять будущее состояние переходного процесса, когда отклонение еще не меняется, его первая и вторая производная уже увеличивается или уменьшается. Таким образом, нетрудно полу-

чить ряд уникальных состояний переходного процесса, для которых можно задать разные значения коррекции параметров регулятора.

Данное исследование ставит целью определение целесообразности коррекции каждой из частей ПИД регулятора с помощью разработанного ранее супервизора. Структурная схема супервизора и особенно его настройки показаны в работе [1].

В качестве объекта управления в этом исследовании используем передаточную функцию вида:

$$W(s) = \frac{0.00069}{(150s + 1)(350s + 1)(850s + 1)}$$

Регулятор вырабатывает сигнал управления $u(t)$ по закону вида:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d de(t)/dt$$

где $e(t)$ – ошибка регулирования, K_p , K_i , K_d – коэффициенты пропорциональной, интегральной и дифференциальной части ПИД регулятора.

Проведем 5 опытов с целью выявления оптимальной структуры супервизора:

1. коррекция только П части регулятора (K_i , $K_d = \text{const}$);
2. коррекция только И части регулятора (K_p , $K_d = \text{const}$);
3. коррекция П и И части регулятора ($K_d = \text{const}$);
4. коррекция П и Д части регулятора ($K_i = \text{const}$);
5. коррекция всех составляющих ПИД регулятора.

Для проводимых опытов построены САР для случая регулирования по заданию (рис. 1) и по возмущению (рис. 2) и проведен ряд имитационных исследований – получены графики переходных процессов и рассчитаны показатели качества. Ключевыми показателями качества при управлении процессами полимеризации являются динамическое отклонение Y_{din} , [-] и перерегулирование σ , %.

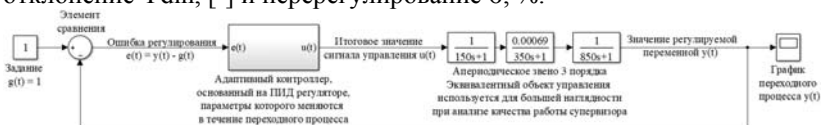


Рис. 1. Структурная схема САР при регулировании по заданию



Рис. 2. Структурная схема САР при регулировании по возмущению

Результаты всех пяти опытов были проанализированы; рассчитанные показатели качества сведены в таблицу 1. На рис. 3 показаны результаты имитационного моделирования опыта с лучшим результатом.

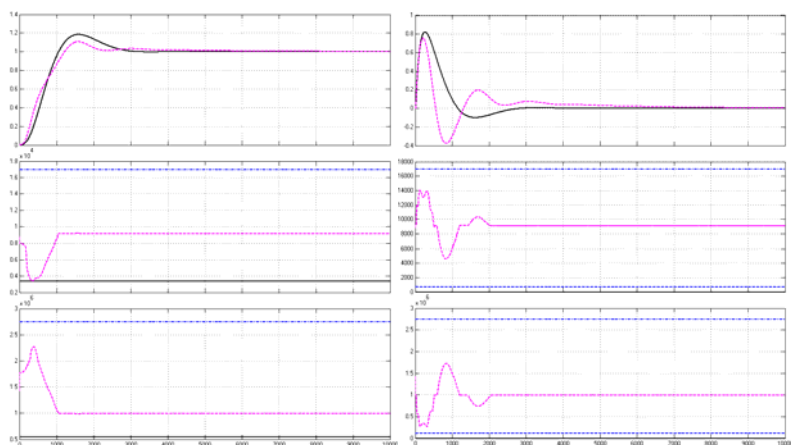


Рис. 3. Переходные процессы по заданию (слева) и по возмущению (справа)

Таблица 1. Показатели качества переходных процессов

Показатель качества	Тип переходного процесса			
	По заданию		По возмущению	
	Тип САР		Тип САР	
	Классическая	Адаптивная с коррекцией П и Д частей	Классическая	Адаптивная с коррекцией П и Д частей
Динамическое отклонение Y_{din} , [-]	0.18	0.14	0.82	0.76
Перерегулирование σ , %	18.38	14.32	12.11	56.79

Наилучшие результаты по качеству регулирования получены в 4 эксперименте, где происходит адаптивная коррекция П и Д части ПИД регулятора совместно, а И часть регулятора неизменна и имеет номинальное значение, изначально рассчитанное по методу Копеловича. Для сравнительного анализа на рис. 3 показан сплошной линией график переходного процесса обычной САР с ПИД регулятором. Нижние 2 графика показывают изменение соответственно K_p и K_d во времени.

Результаты анализа пяти поставленных опытов говорят о нецелесообразности коррекции интегральной части регулятора – это приводит к существенному ухудшению качества переходного процесса.

Список литературы

1. Lopatin A.G., Brykov B.A., Vent D.P. An adaptive control system of a polymerizer based on fuzzy supervisor // 2021 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). — IEEE, 2021. — P. 84–88.

УДК 681.384

**ПРИЧИНЫ НИЗКОГО КАЧЕСТВА СИСТЕМ
РЕГУЛИРОВАНИЯ И ПУТИ ЕГО ПОВЫШЕНИЯ**

Беляев Ю.И., Предместин В.Р., Гавриленко А.И.
Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

В статье рассматриваются основные причины низкого качества работы систем регулирования, а также приводятся методы для решения данной проблемы.

Ключевые слова: регулятор, настройки, система регулирования, характеристики объекта регулирования.

**THE REASONS FOR THE POOR QUALITY OF REGULATORY
SYSTEMS AND WAYS TO IMPROVE IT**

Belyaev Yu.I., Predmestin V.R., Gavrilenko A.I.
Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

The article discusses the main reasons for the poor quality of regulatory systems, as well as methods for solving this problem.

Key words: regulator, settings, regulation system, characteristics of the regulation object.

Основные причин, вызывающие плохие статистические показатели качества систем регулирования – многомерность систем регулирования и малое количество времени у обслуживающего персонала [1].

Поскольку на реальном производстве изменение режима работы системы происходит минимум 2-3 раза в сутки в зависимости от качества материала и для соответствия текущим требованиям производства, на производстве используются «ослабленные» настройки регулятора.

Применение «ослабленных» настроек регулятора позволяет использовать регуляторы, которые позволяют проводить регулирование при изменении режимов работы системы. Применение таких настроек не позволяет достигать оптимального регулирования и получение максимальной экономической эффективности от системы.

Для получения оптимальных настроек необходимо при каждом изменении режима работы системы проводить перенастройку регулятора. Процесс проведения перенастройки может проходить по двум путям:

1. На промышленную установку подается ступенчатое воздействие при неработающем регуляторе и аппроксимировать переходный процесс.

2. Необходимо ввести промышленную установку в режим незатухающих колебаний, параметры которых нужны для расчета настроек регулятора или специального реле.

Применение данных способов на современном производстве нецелесообразно, поскольку отклонение от нормального режима работы установок при проведении эксперимента по настройке регулятора может быть опасно для оборудования и большинство полученных настроек окажется бесполезно при небольших отклонениях режима работы системы, несмотря на обеспечение максимальной экономической эффективности системы.

Подведя итоги вышеперечисленного, сделаем промежуточный вывод: главной причиной ослабления настроек и ухудшения качества работы системы регулирования являются частые изменения режимов работы системы и характеристик объекта регулирования. Так же проведению подобных экспериментов по перенастройке регулятора препятствует отсутствие методических и инструментальных средств для определения ошибок в перенастроенных контурах управления. Единственным выходом из данной ситуации является применение «ослабленных» настроек регулятора, позволяющих регуляторам функционировать в разных режимах работы системы.

Для повышения качества системы управления могут использоваться следующие предложения:

- Повышение сложности управляющего устройства.
- Использование дополнительной информации о возмущениях, воздействующих на контур регулирования.
- Использование модели для выявления изменений и прогноза регулируемой переменной.
- Использование оптимальных нелинейных управляющих устройств.

Использование дополнительной информации о возмущениях, воздействующих на контур совместно с повышением порядка управляющего устройства, позволяет существенно повысить показатели качества системы регулирования, но обслуживание и перенастройка требуют большей квалификации персонала и затрат на применение системы управления.

Применение в системе регулирования модели для прогноза регулируемой переменной является перспективным направлением в системе автоматизации. Пример структуры системы регулирования модели для

прогноза регулируемой переменной приведённый на рис.1. наглядно показывает особенности и преимущества данной системы. Основной особенностью регулирования модели является постепенное изменение настроек регулятора в соответствии с изменением режима и параметров системы.

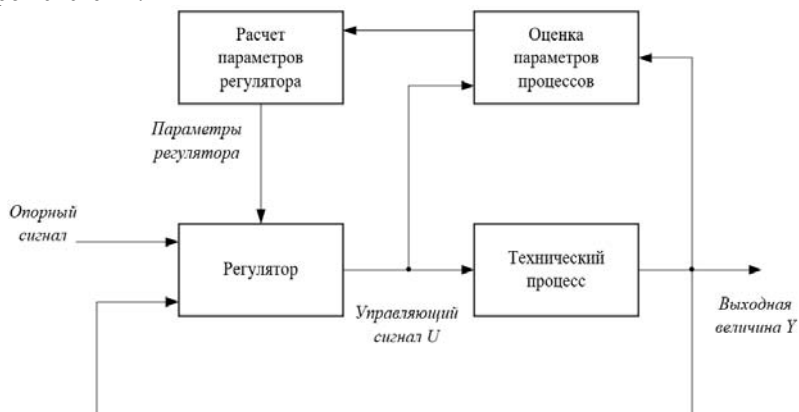


Рис. 1. Структура системы регулирования модели для прогноза регулируемой переменной

В отличие от остальных приведенных подходов к повышению качества систем управления применение прогнозирования и постепенная подстройка параметров системы к изменениям параметров объекта управления данное направление остается малоизученным и имеет малую теоретическую базу.

Подводя итоги данного доклада, стоит заметить, что на данный момент на производстве используются неоптимальные настройки регуляторов из-за частого изменения режимов работы промышленного оборудования и недостатка времени и квалификации персонала для проведения перенастройки оборудования. Для повышения качества регулирования на производстве прибегают к использованию данных о внешних помехах и применению специфических регуляторов для компенсации нелинейностей. Но все приведенные способы не могут подстраиваться под изменение параметров объекта управления при переходе между различными режимами работы. Разработки в области прогнозирования регулируемой переменной и подстройки настроек регулятора непосредственно в процессе работы позволит повысить качество систем управления и их экономическую эффективность, а также

упростит обслуживание систем управления сведя процесс донастройки регуляторов к минимуму.

Список литературы

1. Беляев Ю. И., Предместьин В.Р., Предместьин И. В., Метод управления с прогнозированием для объектов с изменяющимися свойствам и исследование его эффективности. Publisher: LAP LAMBERT Academic publishing is a trademark of International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group.2019

УДК 681.5.09

О РОЛИ СИСТЕМ ПАЗ В СОСТАВЕ АСУ ТП НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Ляшенко А.И., Лопатин А.Г.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: alexlyashenko@live.ru

Рассматриваются системы противоаварийной защиты как важного элемента автоматизированных систем управления технологическими процессами. Обоснована необходимость проектирования оптимальных систем защиты, даны приоритетные направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: противоаварийная защита, ПАЗ, распределенная система управления, РСУ

ON THE ROLE OF SAFETY SYSTEMS AS A PART OF APCs AT CHEMICALLY HAZARDOUS PRODUCTION OBJECTS

Lyashenko A.I., Lopatin A.G.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University

of Chemical Technology

The systems of emergency protection are considered as an important element of automated control systems for technological processes. The necessity of designing optimal protection systems is substantiated, and priority directions for further research are given.

Key words: emergency protection, ESD, distributed control system, DCS

В теории управления большое внимание уделяется системам регулирования и управления. На производстве они относятся к так называемым подсистемам РСУ (распределенным системам управления). Наряду с ними в состав АСУ ТП входят системы ПАЗ (противоаварийной защиты), которые относятся к системам безопасности и должны быть независимы от других подсистем автоматизации, использовать независимые датчики с отдельными точками отбора и собственные исполнительные устройства.

В случае возникновения опасной ситуации для человека, система ПАЗ имеет приоритет перед системой РСУ. На практике блокировки ПАЗ обычно приводят к автоматическому останову процесса, и выполнять их нужно надлежащим образом, т.к. любой останов – экономическая потеря для предприятия. Необходимость применения систем ПАЗ диктуется на федеральном уровне, в связи с чем, на производстве

к системам ПАЗ предъявляется ряд жестких требований, приоритетным из которых является надежность.

Согласно [1, 2] повышение надежности систем ПАЗ должно обеспечиваться аппаратным резервированием различных типов (дублированием, троированием) и функциональной избыточностью, наличием систем диагностики и самодиагностики. Резервирование касается как нижнего уровня (датчиков КИПиА и исполнительных устройств), так и I/O модулей, процессоров ПЛК и интерфейсов.

Достаточность резервирования и расчет соответствующих показателей надежностей систем ПАЗ – сложная комплексная задача системного анализа.

Анализ существующего математического аппарата показывает, что методы создания систем ПАЗ должны определяться в соответствии с требуемым уровнем полноты безопасности (УПБ), определяемым на основании анализа опасности и работоспособности контуров безопасности с учетом риска, возникающего при отказе контура безопасности. По сути УПБ – это средняя вероятность того, что система ПАЗ обеспечит безопасность при всех заданных условиях в течении заданного времени. В иностранной литературе синонимом УПБ выступает термин уровень полноты функциональной безопасности SIL (Safety Integrity Level) – ключевой аспект автоматизации опасных производственных объектов. Он принимает значения от SIL1 до SIL4 в порядке усиления полноты безопасности [2-4].

В терминологии надежности контуров безопасности ПАЗ выделяют два типа отказов: опасный и безопасный [2-4]. Безопасный отказ или «ложное срабатывание» приводит к ошибочному отключению процесса. Опасный отказ или «несрабатывание» приводит к потере функциональной безопасности системы, т.е. в случае реальной аварийной ситуации система ПАЗ не срабатывает. Каждый из двух типов отказов может быть как детектируемым (обнаруживаемый системой самодиагностики), так и не детектируемым [5]. При отказе в работе систем ПАЗ защищаемый технологический процесс должен автоматически переводиться в безопасное состояние. Чаще всего, повышение надежности ПАЗ будет сопровождаться увеличением числа «ложных отказов» системы и простоем.

Общая методика определения и оценки отказов типа «несрабатывание» приведена в [3-4]. Методика определения и оценки отказов типа «ложное срабатывание» изучена недостаточно. В работе [6] рассмотрена ее упрощенная схема, показано влияние выбора архитектур подсистемы датчиков, ПЛК, клапанов на показатели надежности системы ПАЗ в целом. При этом многими авторами и производственниками

отмечается значимость выбора логической архитектуры взаимодействия резервированных датчиков, которая обладает многообразием в сравнении с остальными подсистемами контура безопасности ПАЗ.

Различают однородное и неоднородное резервирование датчиков ПАЗ. При однородном резервировании используется один и тот же принцип измерения и одинаковые датчики. При неоднородном резервировании выбирается несколько разных принципов измерения или разные датчики одного рода действия.

Система ПАЗ должна иметь средства контроля, позволяющие определить нерабочий датчик, выход датчика из допустимого диапазона, неисправность датчика или размыкание цепи, короткое замыкание. Поэтому преобладающим является применение аналоговых интеллектуальных датчиков с поддержкой HART-протокола и выходным сигналом (4-20) мА, т.к. системе ПАЗ в этом случае проще определить отказ.

Проведенный анализ источников показал, что проектирование оптимальных систем ПАЗ является приоритетным в области обеспечения безопасности ведения технологических процессов на химически опасных производственных объектах.

Основными направлениями для дальнейшего исследования можно считать:

1. Изучение и доработка математического аппарата численной оценки SIL контуров безопасности;
2. Исследование и усовершенствование типовых архитектур блокировок, их алгоритмизация;
3. Выбор подходящих принципов измерения и приборов КИП для контуров ПАЗ;
4. Взаимодействие подсистем ПАЗ и РСУ;
5. Создание методологии синтеза и анализа систем ПАЗ.

Список литературы

4. Приказ Ростехнадзора от 07.12.2020 № 500 "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности химически опасных производственных объектов".
5. Приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 № 533 "Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств".

6. ГОСТ Р МЭК 61508-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью.
7. ГОСТ Р МЭК 61511-2018. Безопасность функциональная. Системы безопасности приборные для промышленных процессов.
8. Глизенте Ландрини. Интегральные уровни безопасности в соответствии со стандартами МЭК 61508 и 61511 и анализ их связи с техническим обслуживанием // Современные технологии автоматизации. 2009. №1. С.72-79.
9. Типовые примеры расчета функциональной безопасности систем противоаварийной защиты опасных производственных объектов / И.А. Можаяева, А.А. Нозик, А.В. Струков // Труды XXII Всероссийской научно-практической конференции. Том 2 Актуальные проблемы защиты и безопасности. 2019. С. 486-493.

УДК 678.742.3:621.74.08

**ВНЕДРЕНИЕ IPV6 И ПОЧЕМУ МЫ НЕ МОЖЕМ
ОТКАЗАТЬСЯ ОТ IPV4**

Смольянинов Н.И., Силин А.В., Силина И.В.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: nirhtu-pppm@mail.ru

Изучены свойства протокола, технические особенности и отличия между IPv6 и IPv4, стоимость внедрения и замены старого протокола на новый, а также проблемы перехода на новый сетевой протокол.

Ключевые слова: IPv6, IPv4, сеть, сетевой протокол, IP-адрес, регистратор.

IMPLEMENTING IPV6 AND WHY WE CAN'T OPT OUT OF IPV4

Smolyaninov N.I., Silin A.V., Silina I.V.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

The properties of the protocol, technical features and the difference between IPv6 and IPv4, the cost of introducing and replacing the old protocol with a new one, as well as the problems of switching to a new network protocol are studied.

Keywords: IPv6, IPv4, network, network protocol, IP-address, registrar.

IP адрес является уникальным идентификатором устройства, находящегося в сети интернет, который базируется на стэке протоколов TCP/IP. IPv6 это адрес в формате 128 бит. Он состоит из четырёх цифр и букв в восьми ячейках объёмом 16 бит, которые разделены между собой двоеточием. Данный протокол был разработан для того, чтобы увеличить количество возможных IP адресов, поскольку IPv4 уже не мог обеспечить их достаточное количество. IPv6 позволяет иметь свой собственный уникальный адрес всем устройствам. За счёт этого каждое устройство может выходить в глобальную сеть со своим уникальным «белым» IP адресом. Кроме того, внедрение нового стандарта позволяет снизить нагрузку на маршрутизаторы.

Однако, несмотря на то что протокол был сделан ещё в 1995 году, на сегодняшний день лишь небольшое количество пользователей перешли на новый стандарт. Это связано с тем, что переход на новый тип протокола, по мнению компаний, является трудоёмким по времени процессом, и отчасти это так. Например, группа разработчиков видеоигр – SIE worldwide Studio производит внедрение уже 7

лет. Команде пришлось пересмотреть архитектуру сети, избавиться от NAT и устаревших файрволов. Одной из причин долгого перехода является масштабность сети компании и из-за этого большинство оборудования было несовместимо с новым протоколом. На данный момент ситуация с переходом улучшилась, так как оборудование стало поддерживать IPv6 по умолчанию, а также появилось большое количество литературы по внедрению новой версии протокола. Таким образом они не могут учесть всех возможных трудностей, однако позволяют выполнить переход за гораздо меньший промежуток времени и благодаря этому всё больше компаний начинают переход на новый стандарт. При этом работу с IPv6 упрощают интернет-провайдеры и облачные операторы, которые могут поспособствовать внедрению.

Также одной из важных проблем внедрения является материальная сторона вопроса. Однако крупные IT-компании придумали определённые методы, позволяющие сократить расходы. Например, для того чтобы заменить старое оборудование на новое достаточно просто во время планового обновления парка серверов указать современные модели, а если же компания пользуется услугами облачного провайдера, поставщик может взять часть затрат на себя. В данном случае достаточно заплатить только за подключение нового IP-адреса. У всех провайдеров своя цена на предоставление услуги, но в общей картине сумма не должна превышать стоимости развёртки личной сети.

На самом деле протокол IPv4 был испытательной версией. Винтон Грей Серф, один из основателей интернета и разработчика стека протоколов TCP/IP, объясняет: «Когда создавался IPv4, разработчики не представляли, сколько устройств будет подключаться к сети. Поэтому количество адресов рассчитали исходя из числа жителей планеты. После того как результаты эксперимента показали бы, сколько адресов нужно миру, планировалось запустить «полноценную» версию протокола». Однако IPv4 стал настолько популярен что эксперимент вышел за пределы и стал использоваться повсеместно. Именно поэтому многие компании хотят перейти на новую, более продвинутую версию протокола.

IPv6 это принципиально новое решение с дополнительными функциями. Одним из достоинств данного протокола является возможность отказа от системы NAT. IPv6 позволяет назначать любому устройству в сети свой собственный уникальный адрес, что позволяет исключить сложности с идентификацией пользователей и упрощает маршрутизацию. Например, если в компании, где используют NAT, все работники одновременно зайдут на один ресурс, сервер может воспринять это как DoS-атаку и заблокирует всем устройствам с корпоративным IP доступ

к нему. При переходе на новый протокол такой проблемы не возникнет, поскольку у каждого устройства имеется свой уникальный IP для выхода в глобальную сеть, а также исключает риск проведения «ложной» DoS-атаки. Также одной из причин перехода является повышенная производительность нового протокола. Он работает гораздо быстрее IPv4, однако для этого нужно чтобы все перешли на IPv6 для более быстрого соединения.

В заключение можно сказать, что IPv6 стремительно набирает обороты, однако глобальный переход на новый стандарт всё ещё остаётся открытым. Статистика полагает что к 2022 году более тысячи наиболее популярных сайтов будут его поддерживать. По мнению британского IT-журналиста и редактора PC Pro Дериена Грэма-Смита: «Для массового перехода на IPv6 уже всё готово, компаниям нужно решиться только на первый шаг». IPv6 наиболее удобный протокол по сравнению с предшественником, однако материальная сторона вопроса и масштабность и время замены оборудования вынуждают большие компании длительное время переходить а новый стандарт.

Список литературы

1. Полторак В. П., Волков В. Е. Исследование влияния замещения протокола IPv4 протоколом IPv6 на формирование таблицы маршрутизации протоколом OSPF в ядре сети провайдер // Казань. Молодой ученый. - 2014. - №7. - С. 57-61.
2. Субботина Е. В. Механизмы перехода с IPV 4 на IPV6 // Научное сообщество студентов XXI столетия. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: сб. ст. по мат. XX междунар. студ. науч.-практ. конф. № 5(20). - С. 54-59.

УДК 678.742.3:621.74.08

ПРОБЛЕМА ВНЕДРЕНИЯ WI-FI 6E В РОССИИ

Смольянинов Н.И., Силин А.В., Силина И.В.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: nirhtu-pppm@mail.ru

Изучены свойства стандарта, технические особенности, стоимость внедрения и замены старого стандарта на новый, а также проблемы перехода на новый стандарт связи.

Ключевые слова: WI-FI 6E, диапазон, сеть, стандарт, задержка, устройство.

IMPLEMENTATION PROBLEMS WI-FI 6E IN RUSSIAN

Smolyaninov N.I., Silin A.V., Silina I.V.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

The properties of the standard, technical features, the cost of introducing and replacing the old standard with a new one, as well as the problems of transition to a new communication standard are studied.

Keywords WI-FI 6E, range, network, standard, delay, device.

Wi-Fi 6E это беспроводная технология, которая действует на большом расстоянии, что позволяет применять её внутри помещений. По причине ограничения ресурсов частот и мощности, показатели работы Wi-Fi 6E на большом расстоянии снаружи помещения, где сигналы подвержены интерференции, не так хороши. Сеть 5G управляется и планируется органами государственной власти по единому принципу на базе лицензированных частотных ресурсов. Благодаря тому, что 5G имеет низкую интерференцию сигналов, целесообразно её использование снаружи помещений. При покрытии внутри помещения, высокочастотные сигналы (от 24 ГГц до 52 ГГц) 5G в большей степени подвержены затуханию и, соответственно, развертывание 5G требует планирования сложной сети. Wi-Fi 6E по сравнению с 5G имеет очевидное преимущество по вопросу установки и обслуживания сети внутри помещения. По большей части 5G используется в общественных местах, для доступа к сети общего пользования и в общественной инфраструктуре IoT умных городов. Wi-Fi 6E, напротив, чаще применяется при установке корпоративных встроенных сетей кампусного типа с высокой плотностью доступа внутри помещений.

WI-FI 6E является расширенным стандартом WI-FI 6. Он имеет обратную совместимость как с WI-FI 6, так и с WI-FI 5, однако присутствует одно значительное отличие между ними. Например, новый стандарт работает в диапазоне частот от 2,4 до 5 ГГц, а с появлением нового типа добавляется ещё один диапазон - 6 ГГц. Принцип работы частот заключается в том, что чем они выше, тем большую скорость и объём данных можно отправить без задержек. Также новый стандарт имеет меньшее энергопотребление по сравнению с предшественниками.

Добавление нового диапазона даёт прибавку в четыре раза, увеличивая количество радиоволн. Однако ввиду нововведения диапазоны частот не мешают друг другу, что даёт большие преимущества по сравнению со старшими стандартами. Также важно отметить, что с появлением W-IFI 6E, количество допустимо подключаемых устройств увеличилось относительно предыдущих поколений. Однако с увеличением частоты наступает проблема, поскольку ввиду скорости, волны хуже проходят сквозь стены и быстро затухают. Таким образом можно сделать вывод что данный стандарт может быть использован в доме или на открытых пространствах. Однако одним из главных плюсов WI-FI 6E является то, что ввиду большого количества подключаемых устройств, упрощается использование беспроводных сетей. А так как с каждым годом количество устройств человека только увеличивается благодаря «интернет вещам», то и потребность в новом стандарте увеличивается.

Развертывание сети Wi-Fi на данный момент является не сложным, поскольку точки доступа Wi-Fi становятся все более интеллектуальными (например, Huawei использует адаптивную антенну и технологии ВЧ-калибровки SmartRadio). Работы по планированию, эксплуатации и обслуживанию сети Wi-Fi 6E стали гораздо проще, так как не требует привлечения высококвалифицированных специалистов. Напротив, планирование и развертывание сетей 5G подразумевает обширное планирование и моделирование сети, для чего необходимы знания и опыт профессиональных инженеров-проектировщиков беспроводных сетей, крупные материальные вложения, большой объем работ по развертыванию и значительные затраты на техническое обслуживание.

Стоимость развертывания терминалов Wi-Fi 6E меньше, поскольку требуется лишь обновление чипа, за счёт которого терминалы WI-Fi 5 смогут работать в новом стандарте, при этом не требуется менять её архитектуру. Также имеется возможность быстрого подключения портативных терминалов посредством PCIe-карт, которые ускоряют раз-

витие всей индустрии в целом. В свою очередь для эволюции терминалов до 5G необходима полная реструктуризация продукта с большими инвестициями и усложнениями системы. Именно поэтому сеть Wi-Fi 6E является предпочтительным выбором для некритических терминалов, таких как принтеры, электронные белые доски, системы управления интеллектуальными зданиями, проекционные ТВ-приемники и системы видеоконференцсвязи, работающие в режиме теле присутствия. На первом этапе внедрения WI-FI Alliance сертифицирует массовые устройства, такие как: смартфоны, роутеры и компьютеры. Следующим этапом должны стать телевизоры и периферия VR.

Однако в России данный вид стандарта будет временно недоступен, поскольку диапазоны частот W-IFI 6E и 5G коррелируются. Так как проблема с внедрением 5G в России ещё не решена, то и новый стандарт W-IFI будет иметь задержки в продвижении. Например, согласно дорожной карте диапазонов частот опубликованный в 2018 году согласование должно было прийти к завершению уже в 2019 году. Однако оказалось, что данный вопрос довольно сложен, поскольку международный «золотой» стандарт 3,4 – 3,5 ГГц на котором настаивают операторы, занимают военные. Вследствие этого было принято альтернативное решение, перейти на диапазон частот 24,25 -24,5 ГГц – спектр mmWave, где могут быть доступны большие скорости, но скорость затухания волн также высока, из-за чего потребуется масса дополнительного оборудования и его установка практически в каждый дом, расположенных на малом расстоянии друг от друга, для корректного подключения. Помимо вышеизложенных диапазонов есть и другой. Диапазон 6-7 ГГц, который также занят военными, однако именно его военные могут предоставить в гражданское пользование. Даже при таком условии что диапазон найден, строительство инфраструктуры сетей 5G в России будет крайне дорогим. Стоимость инфраструктуры увеличится на 84% из-за нужного оборудования, поскольку оно не выпускается для нужного диапазона. Также в связи с реализацией «пакета Яровой» внедрение новых технологий обойдётся операторам в 35-60 млрд рублей. В связи с этим можно ожидать что 2027 год — это реальная дата реализации нового стандарта для больших городов.

На данном этапе главной проблемой является диапазон 6-7 ГГц, занятый военными, а также стоимость внедрения. Хотя новый стандарт и позволяет подключать к сети гораздо больше устройств, по сравнению со старыми, обычным пользователям остаётся только ждать.

Список литературы

1. Перспективы развития связи 5G. Олейникова А.В., Нуртай М.Д., Шманов Н.М. Современные материалы, техника и технологии. 2015. № 2 (2). С. 233-235.
2. Сыпь, уэйн. «802.11n: революция WI-FI, никто не заметил». EWeek. 23 ноября 2009г., том 26, выпуск 20, страницы 14-15.
3. Росс Джон «WI-Fi. Беспроводная сеть» (2007 год)
4. «Современные технологии беспроводной связи» / Шахнович И. - М.: Техносфера, 2013
5. «Современные технологии и стандарты подвижной связи» / Кузнецов М.А., Рыжков А.Е. - СПб.: Линк, 2009

УДК 004.832.28

РАЗВИТИЕ ПРЕДИКАТИВНОЙ АНАЛИТИКИ

Шабанова Н.Ю., Ефремова О.А.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: vtit.nirhtu@yandex.ru

Рассмотрены сферы применения и перспективы развития предикативной аналитики.

Ключевые слова: предикативная (предиктивная) аналитика, бизнес-анализ, технология Data Mining, Business Intelligence, корпоративные информационные системы.

DEVELOPMENT OF PREDICATIVE ANALYTICS

Shabanova N.U., Efremova O.A.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

The scope of application and development prospects of predictive analytics are considered.

Key words: Predictive Analytics, Business Analysis, Data Mining, Business Intelligence, Corporate Information Systems.

На сегодняшний день одним из трендов мирового рынка бизнес-анализа является применение продвинутой аналитики (Advanced Analytics), в том числе, построения вариативных моделей, симуляторов, а также применение предикативного анализа.

Наиболее широко распространенный способ применения Advanced Analytics – это банковская сфера, а именно модели оценки платежеспособности потенциального клиента при оформлении кредита. Такого рода модели основываются на имеющихся ранее аналитических данных. Например, если рассматривать некую группу клиентов, которые имеют неблагополучную кредитную историю, а потенциальный клиент по каким-либо параметрам схож с данной группой, то с высокой долей вероятности он получит отказ в предоставлении кредита в данном банке.

Предикативная или прогностическая аналитика (Predictive Analytics) представляет собой комплекс, состоящий из большого числа статистических методов обработки и анализа информации, в том числе и методы теории игр. Данный комплекс методов позволяет осуществлять анализ текущих данных и данных, полученных ранее, для

прогнозирования неких будущих событий на основе анализируемой информации. [1]

Применение предикативной аналитики не ограничивается банковской сферой. Она также может применяться компаниями при разработке новых продуктов, при проведении маркетинговой компании (Next Best Offer) и т.д.

В основе предиктивной аналитики лежит задача определения параметров или сущностей, которые влияют на прогнозируемое событие (одного или нескольких предикторов). Совокупность предикторов представляет собой модель, которая служит для предсказания степени вероятности наступления каких-либо событий.

По своей сути частично схожа с предикативной аналитикой технология Data Mining («добыча» данных), т.к. оба подхода основаны на интеллектуальном анализе данных и используются подобные модели и методы.

Одним из перспективных направлений развития предиктивного анализа является включение его в виде отдельного блока в корпоративные платформы BI (Business Intelligence). [2]

Конечной целью применения всех методов предиктивного анализа является принятие решений и определение возможностей для оптимального прогнозирования, выявления паттернов, процессов и иных закономерностей.

Выделяются основные этапы для успешного проведения предиктивного анализа: определение целей анализа, сбор данных, их подготовка и преобразование, непосредственно разработка модели, ее оценка, внедрение и дальнейшее отслеживание эффективности применения данной предиктивной модели.

В настоящее время во многих кампаниях стоит проблема использования Big Data (больших данных). Все это вынуждает различные организации внедрять более современные способы обработки больших объемов информации. Именно использование предиктивного анализа позволяет решить эту проблему.

Среди основных областей применения предиктивного анализа можно выделить следующие:

1. Промышленное производство – применение предиктивной аналитики позволяет анализировать и прогнозировать выпуск продукции и влияние воздействия различных факторов на ее параметры, прогнозировать отказы и сбои в работе оборудования, также осуществлять прогноз потребления различных ресурсов и электроэнергии, возможна организация он-лайн предупреждений о возможных внештатных ситуациях

2. Direct Marketing – увеличение количества откликов по средствам интеграции сведений о клиентах из различных Web-источников и социальных сетей. Благодаря этому компании могут эффективно проводить различные промо акции, разделив потенциальных клиентов на группы по определенным параметрам, например, территориально, по потребительским предпочтениям или вариантам организации и осуществления доставки.

3. Выявление различных мошеннических схем в разных областях – с помощью предикативных методов и средств возможно сведение к минимуму количества незаконных схем, используемых мошенниками (например, при страховании, получении кредитов и т.п.).

4. Таргетинг рекламы на основе предикативного анализа – выделение наиболее эффективного сообщения в ходе он-лайн демонстрации рекламы.

5. Управление инвестиционными рисками – с помощью средств предикации возможно оценить потенциалы различных инвестиционных проектов, а также выбрать потенциальных партнеров и клиентов.

6. Маркетинговые сервисы – пользователи могут получить необходимые рекомендации при выборе товаров или услуг, основанные на информации из комментариев из социальных сетей и предыдущих просмотров.

7. Работа с постоянными клиентами – благодаря предикативному анализу появляется возможность спрогнозировать спрос на определенный продукт или услугу, принимая во внимание внешние факторы, оказывающие влияние на решения клиента.

8. Торговая сфера – прогнозирование потребительского и акционного спроса, новых товаров, корректировка ценовой стратегии, сегментирование рынка и т.д.

9. Страхование и ипотечное кредитование – на основе предикативного анализа для каждого страхового случая возможно более точно определять сумму денежного покрытия.

10. Медицина – использование предикативного анализа в специализированных экспертных системах позволяет, базируясь на комплексном анализе множества факторов, определить перечень заболеваний, которые могут проявиться в будущем у конкретного человека.

11. Сфера высшего и среднего образования – благодаря применению предикативной аналитики обеспечивается внедрение в процесс преподавания наиболее эффективных методик.

12. Политика – при проведении различных политических мероприятий, например, при проведении выборов можно построить мате-

матическую модель процесса голосования и спрогнозировать результаты голосования. [2]

Следует отметить, что в последние годы отмечается быстрое развитие систем на основе «облачных» технологий для предикативного анализа.

Сейчас, в основном, спрос на прогнозные решения (информационные системы) на основе Predictive Analytics идет со стороны компаний, активно занимающихся решением вопросов работы с Big Data. И на рынок систем с включенным блоком предикативной аналитики выходят все крупные игроки, занимающиеся разработкой корпоративных систем, позволяющих обрабатывать «большие» данные, такие как SAP, Oracle, IBM, SAS Institute, Microsoft и др. [1]

Но, как утверждают эксперты, число проектов различного масштаба и уровня задач будет расти во многих сферах (в ближайшей перспективе – банковский, финансовый, страховой секторы). Поэтому число компаний-разработчиков аналитических и прогнозирующих систем разного уровня на основе предиктивной аналитики будет только увеличиваться.

Все это говорит, что у информационных систем на основе Predictive Analytics большие перспективы в будущем.

Список литературы

1. Predictive Analytics Market by Business Function, Applications, Organization Size, Deployment Model, Vertical, & by Region - Global Forecast to 2020 [Electronic resource] // URL: <http://www.researchandmarkets.com/research/6lw13d/predictive> (accessed: 16.05.2017)
2. Competing on Analytics: The New Science of Winning / Thomas H. Davenport, Jeanne G. Harris – Harvard Business Review Press, 2007. – 240 p.

УДК 004.042

РОЛЬ BPM-СИСТЕМ В ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ КОМПАНИИ

Шабанова Н.Ю., Ефремова О.А.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: vtit.nirhtu@yandex.ru

Рассмотрена роль систем BPM (Business Process Management) в управлении бизнес-процессами при цифровой трансформации компании.

Ключевые слова: цифровая трансформация, бизнес-процессы, BPM-системы, корпоративные информационные системы, внедрение корпоративной информационной системы.

THE ROLE OF BPM SYSTEMS IN DIGITAL TRANSFORMATION COMPANY

Shabanova N.U., Efremova O.A.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University

of Chemical Technology

The role of BPM (Business Process Management) systems in the management of business processes during the digital transformation of a company is considered.

Key words: digital transformation, business processes, BPM systems, corporate information systems, implementation of a corporate information system.

Цифровая трансформация, разворачивающаяся в последнее время в российских компаниях, ведет к кардинальному пересмотру устоявшихся за многие годы основ.

Например, СЭД (системы электронного документооборота) преобразуются в платформы CSP (Content Service Platform) и при этом зачастую охватывают функционал управления бизнес-процессами (BPM, Business Process Management) и иногда систем класса EA (Enterprise Architecture). Процессный подход находит отражение и в корпоративных системах класса ERP (Enterprise Resource Planning), CRM (Customer Relationship Management) и др.[1]

Стоит заметить, что в общей структуре корпоративных IT-систем значительно изменяется роль BPM-систем. Они становятся ведущим звеном корпоративных сервисов, обеспечивающих цифровую трансформацию компаний. [3]

Цифровая трансформация представляет собой преобразование бизнес-модели компании. Это не значит, что просто автоматизируется тот или иной бизнес-процесс, в данном случае речь идет не о цифровой трансформации, а, скорее, об автоматизации того или иного процесса. Если рассматривать процесс цифровой трансформации, то изменения должны носить более фундаментальный характер.

На нынешнем этапе развития корпоративной информатизации ведущее место ИТ-систем корпоративного уровня занимают бизнес-процессы. Российские компании наконец-то начали осознавать их возможности. Бизнес-процессы – это основа развития бизнеса, так как формализованные, описанные и автоматизированные процессы создают почву для развития компании. [1]

Когда руководство компании понимает, какие существуют на предприятии бизнес-процессы и как они работают, гораздо проще формировать успешные стратегии и выводить свою компанию на доминирующие роли на рынке. Развитие бизнес-процессов создает конкурентное преимущество.

Таким образом, когда компания принимает решение о внедрении какой-либо ИТ-системы, надо всегда понимать, какие бизнес-процессы следует улучшать. Вот почему многие ИТ-системы имеют функционал работы с бизнес-процессами, что улучшает их практическую применимость.

Многokrатно возрастает роль BPM-систем при автоматизации сквозных процессов. BPM-система отслеживает работу и обслуживает бизнес-процесс с самого его начала и до конечного события. Другими словами, BPM-системы дают возможность управления любым бизнес-процессом. При этом во внешних ИТ-системах могут реализовываться отдельные части данного бизнес-процесса.[2]

Это дает очень много положительных эффектов, в частности, повышается гибкость процессов.

Однако сквозная автоматизация бизнес-процессов обостряет некоторые проблемы при BPM-системы в компании. Например, вопрос методологии при внедрении системы BPM. Всегда необходимо учитывать и четко формулировать цель вносимых изменений еще на старте проекта внедрения BPM-системы. Неверным подходом является комплексная автоматизация всех процессов как единого целого.

На первом этапе требуется понимание того, как конкретно необходимо пересмотреть работу, а именно выявить какой сквозной процесс или группа процессов в данный момент наиболее актуальны и требуют улучшения. Поэтому всегда учитывается не только структура бизнес-

процессов, но и масштабы тех изменений, которые, как следствие, будут проходить внутри самих бизнес-процессов.

BPM-система является гибким продуктом, поэтому предоставляет возможность использования различных вариантов и способов работы с бизнес-процессами. Часто используется шкала из трех различных уровней изменений в бизнес-процессах компании:

1) Run – изменения на данном уровне дают возможность компаниям «бежать» быстрее, т.е. компания будет работать, как и всегда, но гораздо быстрее. На этом уровне не меняется логика бизнес-процессов, а процесс будет автоматизирован в BPM-системе и начнет работать быстрее.

2) Change – более фундаментальный уровень изменений, когда внутри компании уже разработан план трансформации процессов. Таким образом, выбранные для трансформации процессы признаны значимыми для компании, и она планирует их развивать с помощью инструментария BPM-систем.

3) Disrupt – компания пытается перестроить свою бизнес-модель путем значительного изменения группы бизнес-процессов, а, возможно, и создания совершенно новых бизнес-процессов, которые также войдут в проект внедрения BPM-системы. [3]

Оценивая необходимый уровень изменений по данной шкале, компания может приступить к реализации проекта внедрения BPM-системы с уже четко определенными целями и, соответственно, методологией внедрения

Таким образом, сама цифровая трансформация – это изменения. Следует отметить, что уровень цифровой зрелости компании – это критически важная особенность для поддержки изменений в компании

Список литературы

1. Цифровая трансформация бизнеса: Изменение бизнес-модели для организации нового поколения / Питер Вайл, Стефан Ворнер ; Пер. с англ. – М.: Альцина Паблишер, 2019. – 258 с.
2. Fahland, D.: Describing behavior of processes with many-to-many interactions. In: Donatelli, S., Haar, S. (eds.) PETRI NETS 2019. LNCS, vol. 11522, pp. 3–24. Springer, Cham (2019). https://doi.org/10.1007/978-3-030-21571-2_1
3. Abouzid, I., Saidi, R.: Proposal of BPMN extensions for modelling manufacturing processes. In: 2019 5th International Conference on Optimization and Applications (ICOA), Kenitra, Morocco, pp. 1–6 (2019). <https://doi.org/10.1109/icoa.2019.8727651>

УДК 62-503.5

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАБОТЫ КОЛОННЫ СИНТЕЗА
АММИАКА**

Соболев А.В., Корольков П.В., Маслова Н.В.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

Предложен подход к анализу свойств катализатора на полках колонны синтеза аммиака и определению концентраций компонентов смеси и потерь эксергии по высоте колонны. Поэтапно рассматривается методика расчёта технологических параметров и обработки показаний датчиков. Составлен алгоритм программы оценивания состояния работы колонны синтеза аммиака.

Ключевые слова: аммиак, математическая модель, активность катализатора, эксергия, алгоритм.

**ASSESSMENT OF THE STATE OF OPERATION OF THE
AMMONIA SYNTHESIS COLUMN**

Sobolev A.V., Korolkov P.V., Maslova N.V.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University
of Chemical Technology

The article considers an approach to analyzing the properties of the catalyst on the shelves of the ammonia synthesis column and determining the concentrations of the mixture components and exergy losses by the column height. The method of calculating technological parameters and processing sensor readings is considered step by step. An algorithm for evaluating the state of operation of the ammonia synthesis column has been developed.

Key words: ammonia, the mathematical model, the activity of the catalyst, exergy, algorithm.

Одна из проблем производства аммиака связана с его высоким энергопотреблением и быстрым износом катализатора на полке, снижением его активности. Активность катализатора влияет на выход целевого продукта и поэтому является важным фактором при управлении процессом синтеза. Причиной её снижения является уменьшение работающей поверхности катализатора адсорбированным азотом. Такие изменения сложно отследить, так как активность изменяется неравномерно по всей ширине и высоте слоя катализатора, поэтому для его определения можно использовать методы нечёткой логики. Кроме того, для нормального синтеза аммиака необходимо поддерживать

определённое значение температуры, что выполняется путем поступления циркуляционного газа после каждой катализаторной коробки. Этот факт оказывает негативное влияние на возможность энергоэффективного (ЭФ) управления колонной. При синтезе аммиака именно соблюдение заданной температуры является одной из важнейших задач. Температурный режим влияет не только на выход целевого продукта, но и на ЭФ всего технологического процесса.

Одним из подходов к повышению ЭФ управления технологическим процессом является применение энергосберегающих систем автоматического управления (ЭСАУ) [1]. Предложенный в [2] способ управления предполагает разделение технологического потока на 4 части, каждая из которых направляется в свою зону катализаторной коробки, как показано на рис. 1. Соответствующую функцию выполняет блок распределения (БР). Благодаря возможности выявить зоны "неэффективного" использования катализатора мы сможем перераспределить охлаждающий поток таким образом, чтобы «максимально» нагрузить зоны с высокой активностью катализатора.

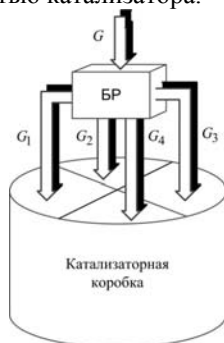


Рис. 1. Схема разделения потока

Вследствие стохастического характера изменения свойств катализатора оценка изменения концентраций компонентов газовой смеси после прохождения катализаторной коробки существенно затруднена. Классическая математическая модель [2] не позволяет в полной мере спрогнозировать значения технологических параметров из-за вероятностного характера изменения свойств катализатора по ширине и высоте слоя. Поэтому для решения этой проблемы предлагается перейти от классической математической модели к нечёткой модели (НМ).

Переход к НМ был произведён путём проведения полного факторного эксперимента (ПФЭ) [3] при различных значениях активности катализатора, которые можно описать с помощью нечёткой логической

переменной и её лингвистического аналога. Основными факторами, влияющими на процесс, являются: концентрация азота (x_1) и водорода (x_2) на входе в слой, объёмный расход (x_3) синтез-газа, подаваемый в конкретную зону катализаторной коробки. Коэффициенты (a), входящие в уравнение регрессии, имеют нечёткий характер и зависят от текущего α -уровня и коэффициента активности катализатора. Уравнение регрессии выбираем в виде:

$$y = \tilde{a}_0 + \tilde{a}_1 x_1 + \tilde{a}_2 x_2 + \tilde{a}_3 x_3 + \tilde{a}_4 x_1 x_2 + \tilde{a}_5 x_2 x_3 + \tilde{a}_6 x_1 x_2 x_3 \quad (1)$$

В качестве отклика выбраны: температура внутри колонны синтеза (T), концентрация аммиака (C_{NH_3}), концентрация азота (C_{N_2}) и водорода (C_{H_2}).

Последующая оценка значений выходных параметров производится по секторам катализаторного слоя и катализаторным коробкам на основе результатов замера температуры с помощью соответствующих датчиков. Покажем, на примере первого сектора первой катализаторной коробки, как производится соответствующая оценка.

Пусть результат измерения температуры на выходе первого сектора первой катализаторной коробки составляет $T_d=875$ К. Используя это значение, производим оценку состояния катализатора. Для этого, считая известными концентрации азота ($C_{N_2}=0,235$), водорода ($C_{H_2}=0,635$) и объёмный расход ($G_n=1500$) на входе в колонну синтеза и выбрав начальный α -уровень, подставляем значения x_1, x_2, x_3 в систему уравнений и рассчитываем температуру по каждому из уравнений. При заданном α -уровне находим разность $\Delta T=T_d-T$ и выбираем то уравнение регрессии для которого величина $|\Delta T|$ минимальна.

Для начала расчёта выбирается α -уровень равным 0,2. Ему соответствуют активности катализатора равные (0,55 0,7 0,8 0,95), причём активностям 0,55 и 0,95 соответствует терм «хорошо», активности 0,7 терм «плохо» и активности 0,8 терм «отлично» как показано на рис. 2.

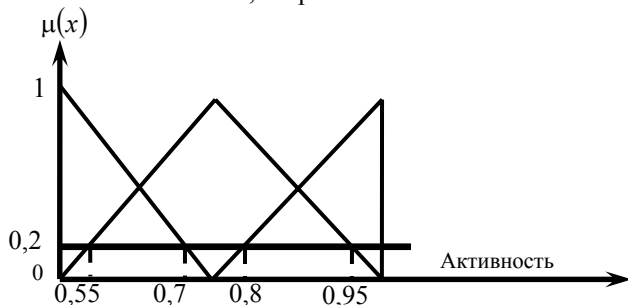


Рис. 2. Определение активности катализатора по заданному α -уровню

НМ, отражающая изменения температуры на выходе сектора, задается системой уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} T_{0,55}^{0,2} &= 3,949_{0,55}^{0,2} - 251,315_{0,55}^{0,2} x_1 + 90,542_{0,55}^{0,2} x_2 - (2,35 \cdot 10^3)_{0,55}^{0,2} x_3 - \\ &- 0,038_{0,55}^{0,2} x_4 + 1,18_{0,55}^{0,2} x_5 + 62,466_{0,55}^{0,2} x_1 x_2 + (5,466 \cdot 10^3)_{0,55}^{0,2} x_1 x_3 + 0,02_{0,55}^{0,2} x_1 x_4 + \\ &+ 0,057_{0,55}^{0,2} x_1 x_5 - (2,467 \cdot 10^3)_{0,55}^{0,2} x_1 x_2 x_3 \\ T_{0,7}^{0,2} &= 126,466_{0,7}^{0,2} - 340,068_{0,7}^{0,2} x_1 + 105,463_{0,7}^{0,2} x_2 - (2,296 \cdot 10^3)_{0,7}^{0,2} x_3 - 0,032_{0,7}^{0,2} x_4 + \\ &+ 1,021_{0,7}^{0,2} x_5 + 39,627_{0,7}^{0,2} x_1 x_2 + (5,044 \cdot 10^3)_{0,7}^{0,2} x_1 x_3 + 0,014_{0,7}^{0,2} x_1 x_4 + 0,198_{0,7}^{0,2} x_1 x_5 - \\ &- (1,906 \cdot 10^3)_{0,7}^{0,2} x_1 x_2 x_3. \\ T_{0,8}^{0,2} &= 203,954_{0,8}^{0,2} - 378,662_{0,8}^{0,2} x_1 + 112,593_{0,8}^{0,2} x_2 - (2,192 \cdot 10^3)_{0,8}^{0,2} x_3 - 0,027_{0,8}^{0,2} x_4 + \\ &+ 0,908_{0,8}^{0,2} x_5 + 22,963_{0,8}^{0,2} x_1 x_2 + (4,543 \cdot 10^3)_{0,8}^{0,2} x_1 x_3 + (9,778 \cdot 10^{-3})_{0,8}^{0,2} x_1 x_4 + \\ &+ 0,274_{0,8}^{0,2} x_1 x_5 - (1,428 \cdot 10^3)_{0,8}^{0,2} x_1 x_2 x_3 \\ T_{0,95}^{0,2} &= 320,461_{0,95}^{0,2} - 554,514_{0,95}^{0,2} x_1 + 119,615_{0,95}^{0,2} x_2 - (1,977 \cdot 10^3)_{0,95}^{0,2} x_3 - 0,019_{0,95}^{0,2} x_4 + \\ &+ 0,733_{0,95}^{0,2} x_5 + 5,303_{0,95}^{0,2} x_1 x_2 + (3,593 \cdot 10^3)_{0,95}^{0,2} x_1 x_3 - (6,307 \cdot 10^{-3})_{0,95}^{0,2} x_1 x_4 + 0,57_{0,95}^{0,2} x_1 x_5 - \\ &- 831,562_{0,95}^{0,2} x_1 x_2 x_3 \end{aligned} \right.$$

Значения, получившиеся при расчёте температуры газовой смеси на уровне – 0,2, равны:

$$T_{0,55}^{0,2} = 858,17 \text{ K}; T_{0,7}^{0,2} = 869,279 \text{ K}; T_{0,8}^{0,2} = 874,625 \text{ K}; T_{0,95}^{0,2} = 880,528 \text{ K}.$$

Видно, что наилучшее приближение к температуре 874,625 К достигается при активности катализатора 0,8 (терм «хорошо»).

Значения, получившиеся при расчёте температуры газовой смеси на уровне – 0,4, равны:

$$T_{0,6}^{0,4} = 862,336 \text{ K}; T_{0,65}^{0,4} = 866,027 \text{ K}; T_{0,85}^{0,4} = 876,807 \text{ K}; T_{0,9}^{0,4} = 878,739 \text{ K}.$$

Из получившихся значений мы выбираем температуру – 876,807 К.

Значения, получившиеся при расчёте температуры газовой смеси на уровне – 0,6, равны:

$$T_{0,6}^{0,6} = 862,336 \text{ K}; T_{0,65}^{0,6} = 866,027 \text{ K}; T_{0,85}^{0,6} = 876,808 \text{ K}; T_{0,9}^{0,6} = 878,739 \text{ K}.$$

Из получившихся значений мы выбираем температуру – 876,808 К.

Значения, получившиеся при расчёте температуры газовой смеси на уровне – 0,8, равны:

$$T_{0,55}^{0,8} = 858,17 \text{ K}; T_{0,7}^{0,8} = 869,279 \text{ K}; T_{0,85}^{0,8} = 874,625 \text{ K}; T_{0,95}^{0,8} = 880,528 \text{ K}.$$

Из получившихся значений мы выбираем температуру – 874,625 К. Значения при расчёте температуры газовой смеси на α -уровне – 1, равны: $T_{0,5}^1 = 853,497 \text{ K}$; $T_{0,75}^1 = 872,132 \text{ K}$; $T_1^1 = 882,384 \text{ K}$.

Из получившихся значений мы выбираем температуру – 872,132 К.

Пройдя все α -уровни для текущего сектора идёт обработка полученных результатов – выбор делается в пользу большей «уверенности» в полученном значении температуры, а именно максимальной величине α -уровня. В итоге мы останавливаем свой выбор на температуре 874,625 К, которой соответствует активность катализатора – 0,85 и лингвистическая переменная «хорошо», описывающая состояние катализатора. Выбранный α -уровень и соответствующая ему активность необходимы для выбора регрессионных зависимостей остальных параметров газовой смеси: концентраций азота (C_{N_2}), водорода (C_{H_2}) и аммиака (C_{NH_3}). Значения получившихся концентраций компонентов газовой смеси на α -уровне – 0,8 при активности – 0,85.

$$C_{N_2} = 0,208; C_{H_2} = 0,653; C_{NH_3} = 0,085.$$

После рассчитываются потери эксергии на выходе из первого слоя первой катализаторной коробки. Для их определения пользуемся следующими формулами:

$$\sum E_{\text{вх}} = \sum_{i=1}^u G_i e_{T_i} + \sum_{k=1}^l e_{X_k}, \quad \sum E_{\text{вых}} = \sum_{j=1}^m G_j e_{T_j},$$

Определим термическую и химическую составляющие эксергии:

$$e_T^k = v \left(c_p^k (T - T_0) - T_0 c_p^k \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) \right), \quad e_X = Q_p \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) - T_0 R \ln(K_p).$$

$$D = \sum E_{\text{вх}} - \sum E_{\text{вых}},$$

$$D = e_T^{N_2} + e_T^{H_2} + e_T^{NH_3} + e_X - (e_T^{N_2})_{n-1} + (e_T^{H_2})_{n-1} + (e_T^{NH_3})_{n-1}$$

$$D = 4,454 \cdot 10^4 \text{ Дж.}$$

После прохождения всех секторов катализаторной коробки газовая смесь попадает в камеру смешения, где охлаждается свежим циркуляционным газом на определенную величину $\Delta T_{\text{ок}}$ (настраиваемый параметр).

Расход холодного циркуляционного газа определяется по формуле:

$$G_x = \frac{(G_{n-1})_p \cdot (T_{n-1})_p - ((\Delta T_{ox})_{n-1})_p - (G_{n-1})_p \cdot (T_{n-1})_p}{T_x - (T_{n-1})_p + ((\Delta T_{ox})_{n-1})_p},$$

где T – температура газовой смеси вышедшей из n -ой катализаторной коробки, [K]; T_x – температура холодного циркуляционного газа, [K].

Приняв изменение температуры равным $\Delta T_{ox}=45$ К и $T_x=463$ К, расход хладагента составил 158 [м³/час].

Помимо охлаждения происходит разбавления концентраций всех компонентов смеси. Итоговая концентрация компонентов газовой смеси, попадающих для дальнейшего превращения в следующую катализаторную коробку, вычисляется по формуле:

$$C^k = \frac{(G_{n-1})_p \cdot (C_{n-1}^k)_p + G_x C_n^k}{(G_{n-1})_p + G_x},$$

где k – выбранный компонент газовой смеси; n – порядковый номер катализаторной коробки; p – порядковый номер сектора катализаторной коробки; G_x – объёмный расход холодного циркуляционного газа, [м³/час]; G_{n-1} – объёмный расход газовой смеси вышедшей из n -ой катализаторной коробки, [м³/час]; C^k – текущая концентрация k -ого компонента смеси, [об%/]; C_n^k – начальная концентрация k -ого компонента смеси, [об%/].

Для нашего случая концентрации компонентов газовой смеси поступающие во вторую катализаторную коробку первого слоя:

$$C_{N_2} = 0,21; C_{H_2} = 0,66; C_{NH_3} = 0,08.$$

Получившиеся итоговые концентрации компонентов газовой смеси попадают на следующую катализаторную коробку и расчёт возобновляется по изложенной выше методике.

Потери эксергии в результате смешения составят:

$$D = ((e_T^{N_2})_{n-1} + (e_T^{H_2})_{n-1} + (e_T^{NH_3})_{n-1}) + (e_T^{N_2})_x + (e_T^{H_2})_x + (e_T^{NH_3})_x - e_T^{N_2} + e_T^{H_2} + e_T^{NH_3}$$

$$D = 1,054 \cdot 10^4 \text{ Дж.}$$

Для повышения эффективности оценки состояния колонны синтеза аммиака разработан программный комплекс, алгоритм работы которого приведен на рис. 3. Результатом работы программы является вывод значений технологических параметров по высоте колонны и секторам, а также общие потери эксергии на получение целевого продукта.

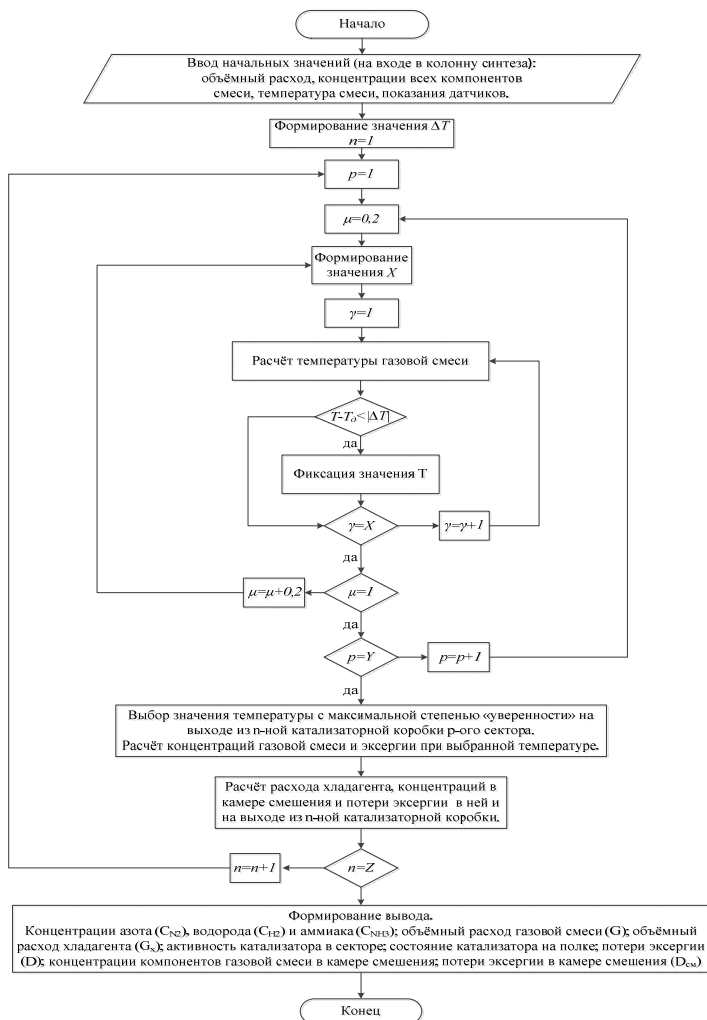


Рис. 3. Блок-схема программы оценки состояния работы реактора синтеза аммиака

На рис. 3 введены обозначения: n – порядковый номер катализаторной коробки, p – порядковый номер сектора, μ – текущий α -уровень, γ – порядковый номер активности катализатора, T_d – показания датчика температуры, X – количество активностей катализатора на текущем

α -уровне, Y – количество секторов в катализаторной коробке, Z – количество катализаторных коробок в колонне синтеза аммиака.

Список литературы

1. Вент Д.П. Разработка и исследование энергосберегающих систем автоматического управления в химической технологии: дис. ... докт. техн. наук. М., 1990. 506 с.
2. Разработка математической модели колонны синтеза аммиака и алгоритм её расчёта / Чл. корр. Соболев А.В., Корольков П.В., акад. Вент Д.П. // Вестник Академии МАСИ. Информатика, экология, экономика. Вып. 21. С. 85-90
3. Соболев А.В., Вент Д.П., Корольков П.В. Разработка нечеткой математической модели колонны синтеза аммиака // Всероссийская научно-техническая конференция "Проблемы науки". Материалы конференции. Ч. 2. Технические науки / ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева, Новомосковский институт (филиал). Новомосковск, 2019. - С.168–172.

УДК 681.2 : 536.083

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФфуЗИИ НА
БАЗЕ ВТОРОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ФОРМЫ УРАВНЕНИЯ ФИКА**

Азима Ю.И., Сидельников С.И., Фомин К.С.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: juia@yandex.ru

Показана общность первого и второго законов Фика (диффузии) и Фурье (теплопроводности). Представлены первая и вторая интегральная форма уравнений теплопроводности и диффузии. Приведена расчетная формула метода определения коэффициента диффузии и условия ее применения

Ключевые слова: диффузия, теплопроводность, интегральная форма, коэффициент диффузии

**METHOD FOR DETERMINING THE DIFFUSION COEFFICIENT
BASED ON THE SECOND INTEGRAL FORM OF FICK EQUATION**

Azima Yu.I., Sidelnikov S.I., Fomin K.S.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University

of Chemical Technology

The generality of the first and second laws of Fick (diffusion) and Fourier (thermal conductivity) is shown. The first and second integral forms of the equations of thermal conductivity and diffusion are presented. The calculation formula of the method for determining the diffusion coefficient and the conditions for its application are given

Key words: diffusion, thermal conductivity, integral form, diffusion coefficient

Математическое описание второго закона Фика аналогично уравнению Фурье, необходимо только заменить «количество растворенного вещества» на «количество тепла», а «концентрацию» на «температуру» [1]. Для одномерного случая и коэффициенте пористости $\alpha=1$, уравнения имеют вид:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2};$$
$$c \frac{\partial t}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}.$$

где D , λ - коэффициент диффузии и теплопроводность;

c , ρ - удельная теплоемкость и плотность;

C , t , x , τ - концентрация, температура, координата и время.

Большинство существующих методов определения коэффициентов данных уравнений базируются на решении обратной задачи соответст-

венно уравнений теплопроводности и диффузии при определенных начальных и граничных условиях. Для многих практических случаев более перспективным являются методы построенные на второй интегральной форме указанных уравнений.

Следует отметить, что для описания процессов теплопроводности и диффузии существует по два уравнения, являющимися первым и вторым законами Фурье и Фика. Для первого закона Фика и Фурье уравнения имеют соответственно следующий вид:

$$\frac{dw}{dx}$$

где $w = 1/S \cdot dW/dt$ - плотность диффузионного потока, равная массе вещества W , протекающего через единицу площади S в единицу времени; $q = 1/S \cdot dQ/dt$ - плотность теплового потока, равная количеству тепла Q , протекающего через единицу S площади в единицу времени

Вторые законы Фика и Фурье представлены соответственно уравнениями, представленными выше.

Подобным образом существуют две интегральные формы уравнений теплопроводности и диффузии. Первая интегральная форма отражает баланс количеств тепла и масс на определенном интервале $[0, L]$ через единицу площади за время τ :

$$\int_0^L [c(x, \tau) - c(x, 0)] dx$$

$$\int_0^L [t(x, \tau) - t(x, 0)] dx$$

где α - коэффициент пористости, равный отношению объема пор к полному объему

Вторая интегральная форма отражает баланс средних на интервале координаты количеств тепла или масс: поступившего, прошедшего и аккумулированного [2]:

$$\int_0^L \int_0^\tau c(x, t) dx dt$$

$$d\theta d [x]] , 0^1 ($$

$$t(x, 0) d\theta d [x]]_0^1]$$

где

$$\int_0^L \int_0^\tau c(x, t) dx dt$$

приращение двукратного интеграла по координате x от концентрации и температуры за время $[0, \tau]$.

Будем считать, что диффузия происходит внутри тонкой трубки, диффундирующее вещество вводится в трубку в точке с координатой $x=0$, на противоположном конце трубки в точке $x=L$ имеется свободное пространство большого объема, обеспечивающее диффузию по трем координатам, позволяющее обеспечить выполнение необходимого условия для определения коэффициента диффузии:

$C(x, 0) - C(x, T) = 0$, где $\tau=0$, $\tau=T$ – начало и окончание измерительного эксперимента; осуществляется измерение концентрации диффундирующего вещества в точках $x=0$ и $x=L$ и масса вещества, поступившего в объект через сечение $x=0$ за время T . Тогда из последнего уравнения получим расчетную формулу метода определения коэффициента диффузии:

$D = (L [W(0, \tau)] / \rho_0 S \tau) / [C(L, \tau) - C(0, \tau)] a^2 (\tau)$
 количество вещества, поступившего в трубку через сечение с координатой $x=0$ за время измерения T ; $C(L, \tau)$, $C(0, \tau)$ – концентрации диффундирующего вещества в сечениях трубки с координатами, соответственно $x=L$, $x=0$.

Очевидно, что при выполнении в измерительном эксперименте условия $C(x, 0) - C(x, T) = 0$ второе слагаемое в уравнении равно нулю. Данная формула и условие ее выполнения аналогичны определению теплопроводности [3].

Список литературы

1. Лобанов М.Л. Методы определения коэффициентов диффузии : учеб. пособие / М.Л. Лобанов, М.А. Зорина.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. 100 с.
2. Азима Ю.И. Вторая интегральная форма уравнения теплопроводности как математическая модель объекта теплофизических измерений// Известия ТулГУ. Сер. Технические науки. Тула: Изд-во Тул.ГУ. 2017. Вып. 7. С.176-189;
3. Азима Ю.И. Метод измерения теплопроводности на основе интегральной формы уравнения Фурье/ Ю.И. Азима// Заводская лаборатория. Диагностика материалов.– 2000.– Т.66, №6.– С.27-32.

УДК 62-529

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ЛОГИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ С ДИСЦИПЛИНОЙ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПО
ПОРЯДКУ ГОТОВНОСТИ АППАРАТОВ**

Сидельников С.И.

Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

e-mail: sidserg11@mail.ru

Разработана и исследована типовая модель система логического управления химико - технологической системой со сложным аппаратурным оформлением, обеспечивающая взаимодействие аппаратов по порядку готовности.

Ключевые слова: система логического управления, сети Петри, аппаратурное оформление, дисциплина обслуживания взаимодействий аппаратов.

**DEVELOPMENT OF A MODEL OF A LOGICAL CONTROL
SYSTEM WITH THE DISCIPLINE OF MAINTENANCE IN THE
ORDER OF READINESS OF DEVICES**

Sidelnikov S.I.

Novomoskovsk Institute of Mendeleev University

of Chemical Technology

A typical model of a logical control system of a chemical -technological system with a complex hardware design, ensuring the interaction of devices in the order of readiness, has been developed and investigated.

Key words: logical control system, Petri nets, hardware design, discipline of maintenance of interactions of devices.

Существующие малотоннажные многономенклатурные производства характеризуются многостадийностью с периодическим способом организации технологических процессов со сложным аппаратурным оформлением. Управление такими производствами носит ярко выраженный организационно - технологический характер, при этом большое значение приобретает управление распределением материальных потоков между аппаратами.

Автором предпринята попытка классифицировать аппаратурное оформление попарно взаимодействующих стадий [1]. Согласно предложенной классификации выявлены типовые взаимодействия аппаратурных стадий и разработаны девятнадцать типовых моделей таких взаимодействий на основе аппарата сетей Петри. Полученные модели

аппаратурных стадий представляют собой модели стохастических, неупорядоченных взаимодействий [1]. Действительно, при освобождении коллектора и в ситуации, когда со стороны приемной и/или подающей группы одновременно к взаимодействию готово более чем по одному аппарату, то встает необходимость выбора аппаратов из числа подготовленных с целью инициации их взаимодействий. Порядок выбора из очереди определяется дисциплиной обслуживания. Для упорядочивания взаимодействий аппаратов из числа подготовленных к работе существуют три возможных дисциплины выбора таких аппаратов, которые связываются с приоритетами аппаратов: по рангу, по порядку готовности (FIFO) и кольцевому порядку. Первая дисциплина направлена на более интенсивную эксплуатацию аппаратов с более высокими рангами. Вторая на минимизацию суммарной длительности простоев аппаратов. Третья - обеспечивает равномерную нагрузку на каждый аппарат приемной и подающей стадии. Для отражения приоритета аппаратов по кольцевому порядку используются специальные позиции, а по рангу и по порядку готовности применяется подкласс сетей Петри - со сдерживающими дугами.

Таким образом, чтобы отразить порядок взаимодействия аппаратов, необходимо в построенные модели включить модели дисциплины обслуживания аппаратов.

При исследовании типовых моделей выяснилось, для типового взаимодействия с дискретной порцией невозможно отразить дисциплину по порядку готовности не изменяя модель смены состояния приемного аппарата. В связи с этим была разработана и исследована новая типовая модель, адекватно описывающая этот тип процесса взаимодействия.

Продемонстрируем это на простейшем примере: системы логического управления (СЛУ) взаимодействия двух подающих аппаратов и одного приёмного, рис. 1.

В сборник 1 объем 100л поступает компонент А, в сборник 2 объем 100л поступает компонент В. В смеситель 3 объем 100л загружается 50л компонента А и 50л компонента В, далее происходит процесс перемешивания и нагревание смеси до определенной температуры, после чего смесь (А+В) выгружается в аппарат следующей стадии. Процесс повторяется циклически. 1,2,3 - аппараты периодического действия. Характер окончания режима взаимодействия аппаратов 1 и 2 с аппаратом 3 - дискретная порция – по 50 литров от 100 литров (дисциплина обслуживания по порядку готовности).

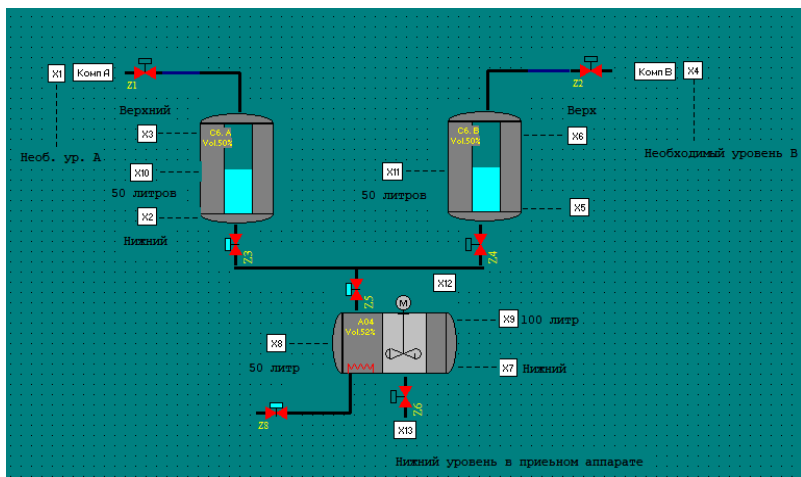


Рис. 1. Виртуальная мнемосхема процесса

Попадание меток в позиции P15 и P14 определяет состояние ожидания загрузки приемного аппарата - смесителя. Если готов первым к взаимодействию первый сборник, метка в позициях P2,P4, срабатывает переход t7, метка попадает в позицию P10, открываются клапаны Z3 и Z5 - осуществляется загрузка компонента А в смеситель, до уровня соответствующего 50 л. (фиксируется датчиком X8), при этом срабатывает переход t14. Если первый сборник взаимодействует со смесителем после взаимодействия второго сборника со смесителем, то срабатывает переход t8, при достижении верхнего уровня в приемном аппарате, фиксируется датчиком X9. Далее при готовности к взаимодействию второго сборника (метка в позициях P6,P8), срабатывает переход t9 и происходит загрузка компонента В (метка в позиции P12) до верхнего уровня – X9 при срабатывании перехода t15.

По достижении температуры смеси заданной - срабатывает датчик X12 и запускается переход t11, при этом смеситель переходит в состояния ожидания выгрузки, позиция P16. Если аппарат следующей стадии готов к загрузке (нижний уровень фиксируется датчиком X13), то срабатывает переход t13 и происходит открытие клапана Z6 выгрузка смеси до нижнего уровня X7, срабатывает переход t18. Наличие метки в позиции P17 обеспечивает загрузку первой порции в смеситель или компонента А или компонента В, в зависимости от того кто первый готов к взаимодействию. Сдерживающие дуги F(p7, t3) и F(p3, t6) запрещают одновременную готовность первого и второго сборника к

взаимодействию, тем самым определяют простое взаимодействие по порядку готовности.

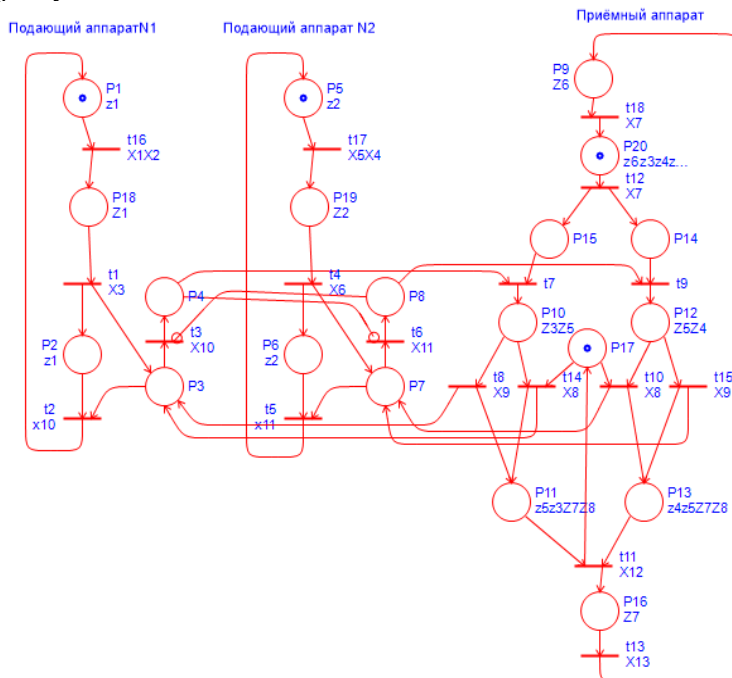


Рис. 2. Модель СЛУ с дисциплиной обслуживания по порядку готовности

Альтернативные срабатывание переходов t_2 , t_3 (t_5 , t_6) когда метка находится в позиции P3 (P7) для соответствующих моделей состояния аппаратов, связана с событием – достаточно порции компонента t_5 (t_6) в аппарате (фиксируется датчиком X10 (X11)) или с событием не достаточно порции компонента t_2 (t_5) в аппарате (фиксируется датчиком x10 (x11)). Проведенное имитационное моделирование СЛУ показало адекватность полученной модели.

Список литературы

1. Сидельников С.И. Модели и алгоритмы логического управления химико - технологическими системами. Монография. Новомосковск, 2011 – 92 с.

Научное издание

**Всероссийская научно-техническая конференция
«ПРОБЛЕМЫ НАУКИ»
Технические науки**

Компьютерная верстка Е.Н. Голубина
Редактор Е.М. Туманова

Подписано в печать 26.10.21 г. Формат 60×84/16
Бумага «Комус». Отпечатано по ризографе
Усл. печ. 9,5 Уч.-изд.л. 6,1
Тираж 100 экз. Заказ №

ФГБОУ ВО Российский химико-технологический университет
имени Д.И. Менделеева
Новомосковский институт. Издательский центр.
Адрес университета: 125047, Москва, Миусская пл., 9
Адрес института: 301665, Тульская обл., Новомосковск, Дружбы, 8