

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ**

Сборник научных статей

№2 2011

Направления:

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

Казань

2011

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №2 2011г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2011. – 178 с.

ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован в Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте www.ntvp.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).

Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № 12025.

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

И.Н. Дияров – д.т.н., проф.; Б.Н. Иванов – д.т.н., проф.; В.С. Минкин – д.х.н., проф.; В.К. Половняк – д.х.н., проф.; Х.Э. Харлампиди – д.х.н., проф.; Р.Х. Шагимуллин – к.т.н., проф.

В сборнике научных трудов отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы сборника будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

УДК 60

ББК 30-1

ISSN 2079-5920

© Научно-технический вестник Поволжья, 2011 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Обращение Главного редактора – Р.Х. Шагимуллина 7

СЕКЦИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Р.В. Лебедев, С.А. Лившиц* БИФУРКАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ ТЕПЛОПЕРЕНОСЕ ПРИ ТЕЧЕНИИ НЕЛИНЕЙНО-ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ В ТРУБАХ И КАНАЛАХ. 8
- Д.Ю. Моторина, К.В. Пахомов, О.А. Перегудова* ПОСТРОЕНИЕ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ С НАСЫЩЕНИЕМ МОБИЛЬНЫМ КОЛЕСНЫМ РОБОТОМ С НЕТОЧНО ИЗВЕСТНОЙ МАССОЙ ПЛАТФОРМЫ 12
- Г.Н. Романенко* О ПРИМЕНИМОСТИ ПРОЕКЦИОННОГО МЕТОДА К ОДНОМУ ОПЕРАТОРУ В БАНАХОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ 18
- В.А. Степанов, В.В. Трегулов* ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СОСТОЯНИЙ НА ВЫСОТУ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО БАРЬЕРА ДЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ CdS/Si(p) ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ 22

СЕКЦИЯ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

- В.В. Савкин, Ю.М. Серов* ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИИ МЕТАФОСА И ДНОК НА ПОЧВЕ МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ 26

СЕКЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- В.Ф. Бай, А.Н. Краев, А.Н. Краев, А.В. Набоков, Ю.А. Новиков* ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВАНИЯ С ВНЕДРЁННОЙ ПЕСЧАНОЙ АРМИРОВАННОЙ СВАЕЙ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ 30
- А.А. Безродный* СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, МОДЕЛИ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ В СЕТЯХ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ 34
- В.Ф. Беккер, И.Ф. Киссельман* ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОЛОННЫ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ 41
- Д.М. Бенин* ОДИН ИЗ СПОСОБОВ АВТОМАТИЗАЦИИ НАПОРНЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ 49
- В.П. Вибе, В.Я. Котликова, В.Н. Сызранцев* ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕДУКТОРА С ПРЕЦЕССИРУЮЩЕЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ 53
- И.В. Волкова, А.В. Жданов* ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ НАСОСНЫХ СИСТЕМ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА 59
- В.И. Воловач* К ВОПРОСУ ПРОВЕДЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СИГНАЛОВ И ИНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОПИСАНИЯ РУО, И ВЫБОРА ИХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ 64
- В.В. Воронцов, Т.В. Крижанивская, Т.В. Мальцева, А.В. Минаева* МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СЛАБОГО ВОДОНАСЫЩЕННОГО ОСНОВАНИЯ 69
- Д.А. Гензе* ЗАВИСИМОСТЬ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ГРУНТОВ ОТ ИХ ВЛАЖНОСТИ 74

<i>Д.Ю. Гужва</i> СИНТЕЗ ТОПОЛОГИИ VPN-СЕТЕЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ МЕТОДОМ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ	78
<i>И.Н. Егоров, Д.А. Кадхим</i> УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО РОБОТА В ТРУБОПРОВОДАХ С ПЕРЕМЕННЫМ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ	82
<i>А.В. Жданов, А.В. Степенькин, А.З. Шаламберидзе</i> ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ПО ВИТКАМ РЕЗЬБЫ РОЛИКОВИНТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ	87
<i>А.В. Замятин, А.Н. Шуваев</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРУНТОВЫХ МАССИВОВ ВОЗВЕДЕННЫХ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ПРИ ЗАМОРАЖИВАНИИ И ОТТАИВАНИИ	91
<i>А.С. Згурский, Е.В. Корбаинова</i> АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ПОТРЕБНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО АКТИВА В СВОЙСТВАХ БЕЗОПАСНОСТИ	95
<i>Б.Р. Исакулов</i> ГИПСО-ХРОМОШЛАМОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ ИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ	99
<i>И.С. Коновалов, В.И. Матюхин, О.В. Матюхин</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ КУСКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ НАЛОЖЕНИИ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ	103
<i>Г.В. Маврин, И.Ф. Сулейманов, Д.А. Харлямов</i> ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЕТНОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ	107
<i>И.И. Магомедов, Р.И. Магомедов</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ ФИРМЫ С ПОМОЩЬЮ СТОХАСТИЧЕСКИХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ	112
<i>В.Г. Манжула</i> ИСКЛЮЧЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ, ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ И СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ ПРИ СИНТЕЗЕ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ В КОРПУСЕ	123
<i>Е.А. Маринин, А.М. Чирков</i> ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАСЫЩЕНИЯ СТАЛИ УГЛЕРОДОМ ИЗ ПЛАЗМЫ НЕПРЕРЫВНОГО ОПТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ПАРАХ МЕТАЛЛА	128
<i>В.А. Матвеев</i> КОНУСНАЯ ОПТИМАЛЬНОСТЬ В ДВУХКРИТЕРИАЛЬНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧЕ	131
<i>О.Н. Медведева</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ	135
<i>А.С. Мешков, В.И. Суздорф</i> СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ СКОРОСТИ ОДНОФАЗНЫМ КОЛЛЕКТОРНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С НЕЛИНЕЙНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ	139
<i>Д.И. Прошин</i> ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ	144
<i>И.А. Прошин, Е.А. Сапунов</i> АНАЛИЗ ШЕСТИСТЕПЕННОГО ДИНАМИЧЕСКОГО СТЕНДА АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА КАК ОБЪЕКТА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	153
<i>А.З. Тахо-Годи</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШАХТНЫХ ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОВЕТРИВАНИЯ	158
АННОТАЦИИ	164

THE RELEASE MAINTENANCE

The reference of the Editor-in-chief – R.H. Shagimullin 7

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

<i>R.V. Lebedev, S.A. Livshic</i> THE BIFURCATION PHENOMENA IN HEAT-TRANSFER AT CURRENT NONLINEAR VISCOUS LIQUIDS IN PIPE AND CHANNELS.	8
<i>D.Yu. Motorina, K.V. Pahomov, O.A. Peregodova</i> CONSTRUCTION OF DELAYED CONTROL WITH SATURATION FOR MOBILE WHEELED ROBOT WITH UNKNOWN INERTIA MATRIX	12
<i>G.N. Romanenko</i> APPLICABILITY OF THE PROJECTION METHOD TO ONE OPERATOR IN BANACH SPACE	18
<i>V.A. Stepanov, V.V. Tregulov</i> THE EFFECT OF SURFACE STATES ON THE POTENTIAL BARRIER HEIGHT FOR ELECTRONS IN THE HETEROSTRUCTURES CdS/Si(p) GROWN BY HYDROCHEMICAL DEPOSITION	22

CHEMICAL SCIENCES

<i>V.V. Savkin, Yu.M. Serov</i> STUDY OF METAPHOS AND DINITRO-KREZOL'S ADSORPTION ON SOIL BY GAS CHROMATOGRAPHY	26
---	----

ENGINEERING SCIENCE

<i>V.B. Bai, A.N. Krayev, A.N. Krayev, A.V. Nabokov, Yu.A. Novikov</i> STUDY ON STRESS-STRAIN CONDITION OF THE SOIL WITH NATURALLY EMBEDDED SANDY REINFORCED PILE	30
<i>A.A. Bezrodnny</i> SYSTEM ANALYSIS, MODELS AND METHODS TO CONTROL GAS STATION	34
<i>V.F. Becker, I.F. Kisselman</i> OPTIMIZATION OF DESIGN PARAMETERS OF COLUMNS WITH A ROTATING NOZZLE MOBILE	41
<i>D.M. Benin</i> ONE WAY AUTOMATION PRESSURE CULVERTS	49
<i>V.P. Vibe, V.Y. Kotlikova, V.N. Syzsantse.</i> DESIGNING OF THE REDUCER WITH PRECESSING TOOTH GEARING	53
<i>I.V. Volkova, A.V. Zhdanov</i> DESIGN ACTUATOR PUMP SYSTEMS ASSIST CIRCULATION AND ARTIFICIAL HEART	59
<i>V. I. Volovach</i> TO THE QUESTION OF CARRYING OUT OF THE STATISTICAL ANALYSIS OF SIGNALS AND OTHER INFLUENCES APPLIED TO THE DESCRIPTION OF RDP, AND THE CHOICE OF THEIR MATHEMATICAL MODEL	64
<i>V.V. Vorontsov, T.V. Krizhanivskaya, T.V. Maltseva, A.V. Minayeva</i> MATHEMATICAL MODELLING OF WEAK WATER-SATURATED SOIL DESORMED CONDITION	69
<i>D.A. Genze</i> DEPENDENCE OF DIELECTRIC PERMEABILITY SOIL'S ON THEIR HUMIDITY	74
<i>D.Y. Guzhva</i> SYNTHESIS OF VPN-NET TOPOLOGY IN AUTOMATED INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS BY GENETIC OPTIMIZATION TECHNIQUE	78
<i>I.N. Egorov, D.A. Kadhim</i> CONTROL APPLICATIONS ROBOT FOR DIAGNOSTIC INSIDE PIPELINES BY APPLIED VARIABLE CROSS-SECTION	82
<i>A.V. Zhdanov, A.V. Stepenkin, A.Z. Shalamberidze</i> THEORETICAL INVESTIGATION OF LOAD DISTRIBUTION ON THREAD TURNS SCREWROLL MECHANISMS	87
<i>A.V. Zamyatin, A N. Shuvaev</i> RESULTS OF RESEARCHES OF SOIL FILES ERECTED	91

DURING THE WINTER PERIOD AT FREEZING AND THAWING	
<i>A.S. Zgurskiy, E.V. Korbainova</i> THE ALGORITHM FOR APPRAISAL INFORMATION ASSETS REQUIREMENTS IN THE SECURITY PROPERTIES	95
<i>B.R. Isakulov</i> HYPRO-CHROME STICKS FROM PRODUCING TRESH	99
<i>I.S. Konovalov, V.I. Matyukhin, O.V. Matyukhin</i> MODELLING OF INTERACTION PROCESS OF ACUSTIC RADIATION WITH DENSE LAYER OF BULK MATERIALS	103
<i>G.V. Mavrin, I.F. Suleimanov, D.A. Kharlyamov</i> APPLICATION OF CALCULATED MONITORING FOR EVALUATON OF ATMOSPHERIC CITY POLLUTON	107
<i>I.I. Magomedov, R.I. Magomedov</i> MATHEMATICAL MODELING OF FIRM POWER WITH THE HELP OF STOCHASTIC DIFFERENTIAL EQUATIONS	112
<i>V.G. Manzhula</i> EXCEPTION STRUCTURAL, FUNCTIONAL AND CIRCUIT REDUNDANCY IN SYNTHESIS OF ANALOG SYSTEMS IN PACKAGE	123
<i>E.A. Marinin, A.M. Chirkov</i> PHYSICAL BASIS SATURATION CARBON STEEL WITH LASER PLASMA FROM CONTINUOUS OPTICAL DISCHARGE IN METAL VAPORS	128
<i>V.A. Matveev</i> CONE OPTIMALITY IN TWOCRITERIA DYNAMICAL PROBLEM	131
<i>O.N. Medvedeva</i> IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE DISTRIBUTION OF GAS SUPPLY	135
<i>A.S. Meshkov, V.I. Syzdorf</i> STATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE STABILIZATION VELOCITY SYSTEM OF SINGLE-PHASE COMMUTATOR MOTOR WITH A NONLINEAR FEEDBACK	139
<i>D.I. Proshin</i> EDUCATIONAL SYSTEM AS AN OBJECT OF COGNITIVE PERFORMANCE	144
<i>I.A. Proshin, E.A. Sapunov</i> ANALYSIS OF FLIGHT SIMULATOR 6-DOF DYNAMIC TEST STAND AS AN OBJECT OF MATHEMATICAL MODELING	153
<i>A.Z. Takho-Godi</i> THE FINDINGS OF THE RESEARCH OF STATIC AND DINAMIC CHARACTERISTIC OF AUTOMATIC AIRING MINE OBJECTS ACCORDING	158
ABSTRACTS	164

Слово Главного редактора



Уважаемые коллеги, здравствуйте!

Мы продолжаем публикацию результатов научно-технической, исследовательской мысли.

В данном номере представлены статьи по новейшим разработкам в химической, физико-математической и технической отраслях науки.

Надеемся, что журнал будет полезен науке России.

С уважением к читателям,

Главный редактор журнала

Р.Х. Шагимуллин

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

01.04.14

Р.В. Лебедев, С.А. Лившиц к.т.н.

Казанский государственный энергетический университет,
Россия, Казань,
sun-2007@list.ru

БИФУРКАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ ТЕПЛОПЕРЕНОСЕ ПРИ ТЕЧЕНИИ НЕЛИНЕЙНО-ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ В ТРУБАХ И КАНАЛАХ.

Результаты численных исследований бифуркационных явлений при ламинарном течении нелинейно-вязких жидкостей в трубах и каналах с использованием разработанных математических моделей стационарного теплопереноса.

Ключевые слова: теплообмен; уравнения движения и сохранения энергии; реологические сложные среды; тепловой взрыв; характеристическое уравнение; бифуркация.

В 1928 году академик Н.Н. Семенов опубликовал работу, в которой описывалось явление, в последствии получившее название «тепловой взрыв в газовых средах». В 1965 году Бостанджиняном С.А., Мержановым А.Г. и Худяевым С.И. были получены уравнения, аналогичные уравнениям, предложенным Семеновым, но уже для течения вязкой ньютоновской жидкости. Большинство исследователей, принимается постановка задачи, при которой в потоке жидкости возникает высокая плотность энергии, которая приводит к резкому нарастанию температуры. Рассматривая конденсированные системы необходимо отметить, что более корректно говорить не о самом явлении теплового взрыва (интерпретация данного явления предполагает рассмотрение газовых систем), а об области возможного возникновения резкого изменения температуры и физических параметров среды, которая характеризуется неоднозначностью решения системы уравнений движения и сохранения энергии.

В связи с необходимостью решения различных прикладных проблем возникающих при проектировании и эксплуатации теплоэнергетических установок задача исследования процессов теплопереноса при ламинарном течении ньютоновских, дельтатантных и псевдопластичных химически реагирующих жидкостей в трубах и каналах выдвинулась на передний план. Для решения поставленной задачи при аналитическом исследовании, направленном на выявлении возможности возникновения области бифуркации были приняты следующие допущения:

Рассматривается несжимаемая жидкость, $\rho = \text{const}$; течение жидкости стационарное, ламинарное со сформировавшимися профилями скорости и температуры, обладающее или симметрией относительно плоскости (для щели), или осевой симметрией (для круглой трубы и коаксиального канала); массовые силы пренебрежимо малы; теплофизические характеристики жидкости, за исключением вязкости, меняются незначительно; перенос теплоты вдоль основного направления движения среды за счет теплопроводности мал по сравнению с вынужденным переносом в этом же направлении; реологическое поведение сред определяется наличием нелинейно-вязких свойств.

В качестве реологической модели рассматривается модель Кутателадзе-Хабахпашевой, позволяющая в зависимости от меры структурной стабильности $\tilde{\theta}$ описывать реологическое

поведение неньютоновских структурно-вязких сред со свойствами ($\tilde{\theta} > 0$) вязкопластичности, ($\tilde{\theta} < 0$) дилатансии. Кроме того, при $\tilde{\theta} = 0$ модель описывает ньютоновскую вязкую жидкость.

$$\mu = e^{\frac{B}{RT}} \frac{1}{A_{\infty} - (A_{\infty} - A_0) \cdot e^{-\tilde{\theta}_0 \frac{\tau}{A_{\infty} - A_0}}}. \quad (1)$$

где $\tau = \mu(I_2)\sqrt{I_2}$ – напряжение сдвига; $A_0, A_{\infty}, \tilde{\theta}_0$ предэкспоненты; $B = \frac{B_0 + B_{\infty}}{2}$ –

среднее значение между энергией активаций вязкого течения B_0 и B_{∞} при $\tau \rightarrow 0$ и $\tau \rightarrow \infty$ соответственно. R – газовая постоянная; T – значение абсолютной температуры потока; I_2 – второй инвариант тензора скоростей деформации.

Для проведения исследований в щелевом канале была получена система уравнений совместно с граничными условиями.

$$\begin{cases} \frac{d}{dx} \left(\mu \frac{dV}{dx} \right) = \frac{dP}{dz} = const, & x \in (-h, h) \\ \lambda \frac{d^2 T}{dx^2} + \mu I_2 + Q_0 \cdot k_0 \cdot \text{Exp}(-E/RT) = 0, & x \in (-h, h) \end{cases} \quad (2)$$

Тепловые граничные условия первого рода:

$$x = -h \quad V = 0, \quad T = T_1 = const, \quad (3)$$

$$x = h \quad V = 0, \quad T = T_1 = const \quad (4)$$

Тепловые граничные условия третьего рода:

$$x = -h \quad V = 0, \quad \lambda \cdot \left(\frac{dT}{dx} \right) = -\alpha_1 (T - T_1), \quad (5)$$

$$x = h \quad V = 0, \quad \lambda \cdot \left(\frac{dT}{dx} \right) = -\alpha_1 (T - T_1), \quad (6)$$

здесь x, z – текущие координаты; $2h$ – ширина щели; V – скорость; T – температура жидкости; λ, μ – коэффициенты теплопроводности и динамической вязкости; I_2 – второй инвариант тензора скоростей деформации; Q_0 – тепловой эффект; k_0 – константа скорости; E – энергия активации химической реакции; R – газовая постоянная.

Для проведения исследований в круглой трубе и коаксиальном канале выбрана цилиндрическая система координат и представлена постановка задачи уже в этих координатах. Система уравнений движения и сохранения энергии имела следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{d\tau}{dr} + \frac{\tau}{r} = \frac{dP}{dz} = const \\ \lambda \left(\frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} \right) + \mu I_2 + Q_0 \cdot k_0 \cdot \text{Exp}(-E/RT) = 0 \end{cases}, \quad (7)$$

Здесь r, z – текущие координаты; T – температура; P – давление; τ – напряжение сдвига; λ, μ – коэффициенты теплопроводности и динамической вязкости; Q_0, k_0, E – тепловой

эффект, константа скорости и энергия активации химической реакции соответственно; R – газовая постоянная.

Тепловые граничные условия первого рода:

$$r = r_i \quad v = 0, \quad T = T_i = \text{const} \quad (i = \overline{1,2}), \quad (8)$$

Тепловые граничные условия третьего рода:

$$r = r_i \quad v = 0, \quad \lambda \cdot \left(\frac{dT}{dr} \right) = -\alpha_1(T - T_i) \quad (i = \overline{1,2}), \quad (9)$$

На границе каналов были приняты гидродинамические условия прилипания.

$$V|_{\text{ок}} = 0, \quad (10)$$

Метод решения представленных систем уравнений основывался на разложении температурных функций в ряды Тейлора и составлении соответственно вместо системы дифференциальных уравнений системы алгебраических, которая методом подстановки, преобразовывалась в одно характеристическое уравнение.

Графическая интерпретация решения характеристического уравнения, описывающего течение полиметакрилата марки В2 10% в круглой цилиндрической трубе, коаксиальном и плоском щелевом канале, представлена на рис.1 - 3.

Для полиметакрилата марки В2 10%, в рассматриваемом диапазоне изменения температур определены следующие размерные параметры: $\rho = 790 \text{ кг/м}^3$, $c_p = 3,134 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°К)}$, $\lambda = 0,4443 \text{ кДж/(м} \cdot \text{°К} \cdot \text{с)}$, $J_0 = 0,5 \text{ мас.}\%$, $M_0 = 100 \text{ мас.}\%$, $k_0 = 1,91 \cdot 10^{-4} \text{ 1/(мас.}\% \cdot \text{с)}$, $E = 23,95 \text{ кДж/(моль)}$, $m = 2,02$, $n = 1,05$, $Q_0 = 13,1 \text{ кДж/моль}$, $A_0 = 96000 \text{ 1/(Па} \cdot \text{с)}$, $A_\infty = 96000 \text{ 1/(Па} \cdot \text{с)}$, $K_{A_0} = 67800 \text{ 1/(Па} \cdot \text{с)}$, $K_{B_0} = 14,8 \text{ кДж/моль}$, $D_M = 9,76 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$, $D_J = 2,126 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$, $k_{i_0} = 16,8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/(мас.}\% \cdot \text{с)}$, $E_i = 38,32 \text{ кДж/(моль)}$, $K_{A_\infty} = 13600 \text{ 1/(Па} \cdot \text{с)}$, $K_\theta = 3,01 \text{ 1/(Па}^2 \cdot \text{с)}$, $B_0 = 10,4 \text{ кДж/(моль)}$, $B_\infty = 10,4 \text{ кДж/(моль)}$, $K_{B_\infty} = 13,7 \text{ кДж/(моль)}$, радиус трубного сечения принят $r = 0.01 \text{ м}$, коэффициент теплоотдачи $\alpha = 1310 \text{ Дж/(м}^2 \cdot \text{°К)}$, T_0 – начальная температура потока и $T_1 = T_2$ – температуры стенок канала.

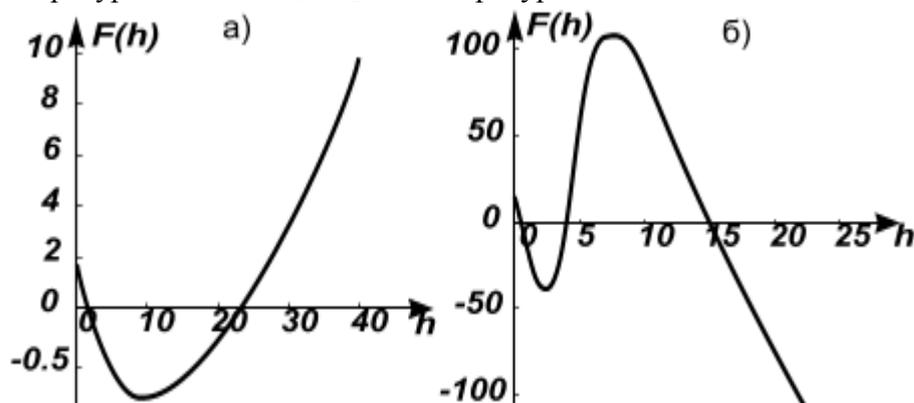


Рис.1 –Графическое решение системы (7) для полиметакрилата марки В2 10%, с учетом диссипативного и химического источника тепловыделения для круглой трубы $T_0 = 413 \text{ К}$, $T_1 = 418 \text{ К}$; а) при тепловых граничных условиях первого рода
б) при тепловых граничных условиях третьего рода.

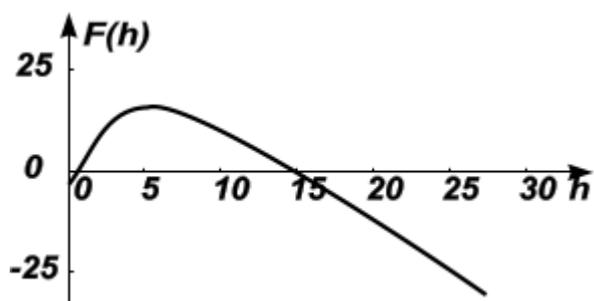


Рис.2 - Графическое решение уравнения (7) для полиметакрилата марки В2 10%, с учетом диссипативного и химического источника тепловыделения при задании на обеих границах канала тепловых граничных условий первого рода для коаксиального цилиндрического канала. $T_0=403$ К, $T_1=415$ К

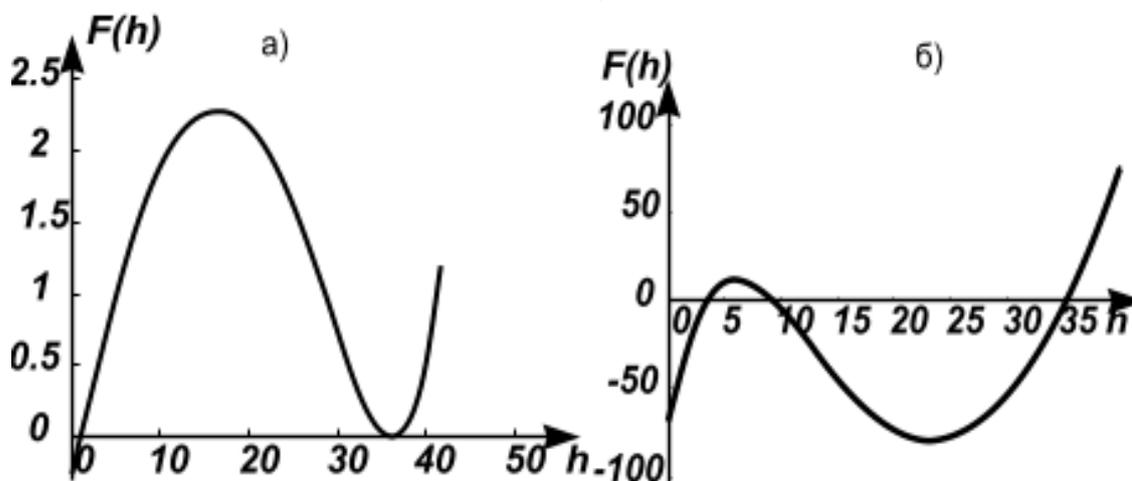


Рис. 3. Графическое решение системы (2) для полимеров метакрилата марки В2 10%, с учетом диссипативного и химического тепловыделения, для случая плоскопараллельного течения в зазоре между двумя пластинами. $T_0=423$ К, $T_1=428$ К

а) при тепловых граничных условиях первого рода б) при тепловых граничных условиях третьего рода.

Представленные результаты свидетельствуют о наличии критических режимов течения, которые характеризуются неоднозначностью решения характеристических уравнений, что может приводить при определенных наборах параметров к нерасчетным режимам работы теплотехнологического оборудования.

Результаты численных расчетов проведенных в работе и представленных на рисунках (1 – 3) хорошо согласуются с литературными данными [1-2].

Список литературы:

1. Бостанджинян С.А., Мержанов А.Г., Худяев С.И. «О Гидродинамическом тепловом взрыве» // Доклады Академии наук СССР 1965, т. 163 №1 с. 133-136
2. Назмеев Ю.Г., Лившиц С.А. «Бифуркационный анализ уравнения энергии при ламинарном течении вязкой жидкости в коаксиальном канале» //Труды Академэнерго Казань, 2005. № 1 С. 3-7.

Д. Ю. Моторина, К. В. Пахомов, О. А. Перегудова д. ф-м. н.,

Ульяновский государственный университет,
факультет математики и информационных технологий,
кафедра информационной безопасности и теории управления,
Россия, Ульяновск,
peregudovaoa@sv.ulsu.ru

ПОСТРОЕНИЕ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ С НАСЫЩЕНИЕМ МОБИЛЬНЫМ КОЛЕСНЫМ РОБОТОМ С НЕТОЧНО ИЗВЕСТНОЙ МАССОЙ ПЛАТФОРМЫ

В работе предложен непрерывный закон управления с запаздыванием для отслеживания нестационарной траектории мобильного робота с тремя роликонесущими колесами и неточно известной матрицей инерции. На основе метода функций Ляпунова получены оценка области начальных отклонений и ограничения на максимальную величину запаздывания, неизвестную часть матрицы инерции.

Ключевые слова: мобильный колесный робот, управление с насыщением, неизвестная матрица инерции, запаздывающая обратная связь, роликонесущее колесо.

Актуальной проблемой исследований в связи с развитием робототехники и автоматизации является синтез управления мобильными роботами с роликонесущими колесами. В работах [1-3] построены динамические модели, описывающие управляемые движения робота под действием электродвигателей постоянного тока, рассмотрены задачи о стабилизации стационарных движений робота. В работах [4,5] применяются методы управления движением таких систем на основе ПИ- и ПД-регуляторов. В частности, в [5] для решения задачи отслеживания заданной траектории робота получен закон управления на основе метода вычисляемого момента («computed torque control»). В ряде работ [6,7] активно применяется процедура метода бэкстеппинга для построения адаптивных и робастных нелинейных (релейных) управлений движением в условиях действия неопределенных возмущений, неизвестных параметров системы. На данный момент построение запаздывающего управления для мобильных колесных роботов является малоизученным вопросом. В работе [8] построено дискретное управление с постоянным запаздыванием для кинематической модели робота. При этом остается открытым вопрос о построении управления с переменным запаздыванием, в том числе, для динамических моделей.

Целью настоящей работы является решение задачи об отслеживании траектории мобильного робота с тремя роликонесущими колесами при условии, что в структуре управления присутствует неопределенное изменяющееся запаздывание и масса платформы неизвестна. Задача решена при помощи непрерывного управления с функцией насыщения. На основе метода функций Ляпунова и применения преобразований типа Б.С. Разумихина [9] получены: ограничения на параметры системы, максимальную величину запаздывания и оценка области начальных отклонений.

1. Постановка задачи. Уравнения управляемого движения по горизонтальной плоскости мобильного робота с тремя омни-колесами (рис. 1) под действием моментов, развиваемых электродвигателями постоянного тока, при отсутствии проскальзывания колес имеют вид [1]

$$\begin{cases} (m + \Delta m)\ddot{\xi} + h\dot{\xi} + m_d\dot{\psi}\dot{\eta} = \sin\psi u_1 + \sin(\psi + \frac{2\pi}{3})u_2 + \sin(\psi + \frac{4\pi}{3})u_3 \\ (m + \Delta m)\ddot{\eta} + h\dot{\eta} - m_d\dot{\psi}\dot{\xi} = -\cos\psi u_1 - \cos(\psi + \frac{2\pi}{3})u_2 - \cos(\psi + \frac{4\pi}{3})u_3 \\ (I + \Delta I)\ddot{\psi} + 2a^2h\dot{\psi} = -a(u_1 + u_2 + u_3) \end{cases} \quad (1.1)$$

Здесь ξ и η – координаты центра платформы робота в неподвижной декартовой системе координат $O\xi\eta\zeta$; ψ – угол поворота платформы вокруг вертикали, отсчитываемый от оси ξ ; u_1 , u_2 и u_3 – управляющие напряжения, подаваемые на электродвигатели; a – расстояние от центра платформы до центра каждого колеса; постоянная h определяется коэффициентом момента противоэлектродвижущей силы и радиусом колеса; m , I и m_d – известные составляющие массо-инерционных параметров системы; Δm и ΔI – неизвестные составляющие массы платформы и ее момента инерции соответственно, удовлетворяющие ограничениям: $|\Delta m| < \Delta m_0 = \text{const}$, $|\Delta I| < \Delta I_0 = \text{const}$, причем будем предполагать, что: $\Delta m_0 < m$, $\Delta I_0 < I$.

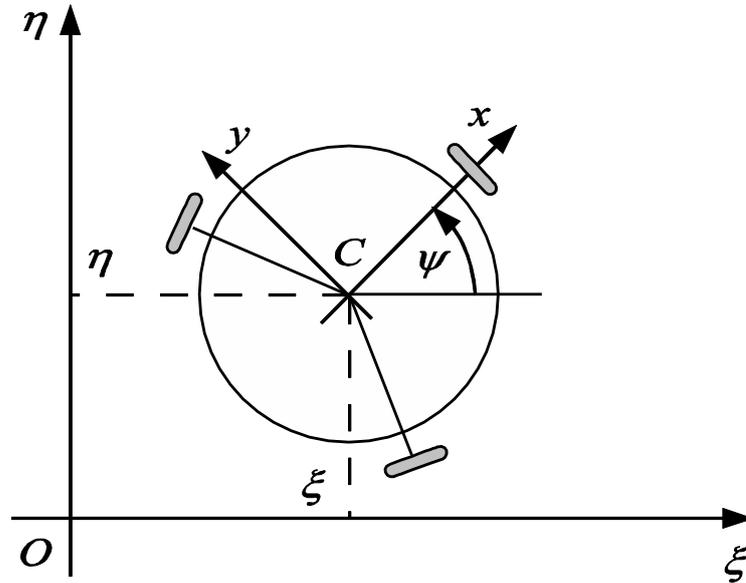


Рис. 1

Будем считать, что в структуре обратной связи присутствует некоторое неизвестное переменное запаздывание $\tau(t) \leq \tau_0 = \text{const} > 0$, которое возникает вследствие задержек в работе устройств системы управления и конечной скорости передачи сигналов по сети. Пусть $\mathbf{q}_0(t) = (\xi_0(t), \eta_0(t), \psi_0(t))^T$ – некоторая дважды непрерывно дифференцируемая ограниченная функция, определенная при всех $t \geq -\tau_0$. Далее будем предполагать, что функция $\psi_0(t)$ удовлетворяет следующему ограничению: $\ddot{\psi}_0(t) \equiv 0$. Данное ограничение позволит сократить некоторые дальнейшие выкладки.

Задача об отслеживании траектории $\mathbf{q}_0(t)$ робота в общей постановке состоит в следующем. Требуется найти управление $\mathbf{u}(t - \tau(t))$ ($\mathbf{u} = (u_1, u_2, u_3)^T$, $|\mathbf{u}| < u_0 = \text{const}$) и указать ограничения на параметры системы и траектории, при которых для некоторого числа $\varepsilon > 0$ (погрешности слежения) найдутся число $\delta > 0$ и момент времени $t^* > 0$, что для любой начальной функции $\varphi(s)$, $-\tau_0 \leq s \leq 0$, удовлетворяющей ограничению

$$\max_{-\tau_0 \leq s \leq 0} |(\varphi(s) - \mathbf{q}_0(s), \dot{\varphi}(s) - \dot{\mathbf{q}}_0(s))| < \delta$$

для всех решений системы (1.1) с начальным условием $\mathbf{q}(s) = \varphi(s)$, $-\tau_0 \leq s \leq 0$, при всех $t \geq t^*$ будет иметь место неравенство $|\mathbf{q}(t) - \mathbf{q}_0(t)| < \varepsilon$. Здесь символом $|\bullet|$ обозначена некоторая векторная норма в действительном пространстве соответствующей размерности.

2. Решение задачи. Для решения задачи слежения будем искать закон управления $\mathbf{u} = \mathbf{u}(t - \tau(t))$ следующего вида

$$\mathbf{u} = P^{-1}(\psi(t - \tau(t)) - \frac{\tau_0}{2} \dot{\psi}_0) [\text{diag}(hk_1, hk_1, 2a^2hk_3) \text{sat}(\mathbf{z}(t - \tau(t))) + \mathbf{g}_0(t - \tau(t))] \quad (2.1)$$

здесь матрица $P^{-1}(\bullet)$ – обратная матрице коэффициентов при управлении \mathbf{u} в правой части системы (1.1); $y_3 = \psi - \psi_0(t)$; k_1, k_3 – коэффициенты управления, выбор которых при соответствующих ограничениях на отслеживаемую траекторию должен обеспечивать выполнение условия ограниченности управления: $|\mathbf{u}| \leq u_0 = \text{const}$ и достаточной скорости сходимости к заданному движению; вектор-функция насыщения $\text{sat}(\mathbf{z}) = (\text{sat}(z_1), \text{sat}(z_2), \text{sat}(z_3))^T$ имеет следующие компоненты:

$$\text{sat}(z_i) = \begin{cases} \text{sign}(z_i), & |z_i| \geq \gamma, \\ \frac{z_i}{\gamma}, & |z_i| < \gamma, \end{cases} \quad i = 1, 2, 3, \quad \gamma = \text{const} > 0$$

$$z_1(t) = c \left(\xi(t) - \xi_0(t) + \frac{m(\dot{\xi}(t) - \dot{\xi}_0(t))}{h} \right) \quad z_2(t) = c \left(\eta(t) - \eta_0(t) + \frac{m(\dot{\eta}(t) - \dot{\eta}_0(t))}{h} \right) \quad (2.2)$$

$$z_3(t) = c \left(\psi(t) - \psi_0(t) + \frac{I(\dot{\psi}(t) - \dot{\psi}_0(t))}{2a^2h} \right)$$

Здесь $c > 1$ – некоторое число.

Функция насыщения с большим углом наклона линии переключения (при достаточно малой постоянной γ) является непрерывной аппроксимацией релейной функции. Тем самым, выбор закона управления в виде (2.1), с одной стороны, позволит уменьшить амплитуду колебаний, возникающих при наличии запаздывания в структуре релейного управления, а с другой стороны, обеспечит свойство робастности по отношению к вариациям параметров системы.

Вектор-функция $\mathbf{g}_0(t)$ в выражении (2.1) имеет следующее выражение:

$$\mathbf{g}_0(t) = (m\ddot{\xi}_0(t) + h\dot{\xi}_0(t) + m_d\dot{\eta}_0(t)\dot{\psi}_0, m\ddot{\eta}_0(t) + h\dot{\eta}_0(t) - m_d\dot{\xi}_0(t)\dot{\psi}_0, 2a^2h\dot{\psi}_0)^T.$$

Введем следующие обозначения:

$$\begin{aligned}
q_1(t, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) &= \frac{1+c}{m-\Delta m_0} \left[\frac{\Delta m_0 h}{m} + m_d \left(|\dot{\psi}_0| + \frac{2a^2 m |\dot{\eta}_0(t)|}{I} \right) \right] x_1 + \\
&+ \frac{2(1+c)^2 m_d a^2 h}{(m-\Delta m_0) I c^2} x_2 + \frac{ck_1 m \sin(\frac{2(1+c)a^2 h \tau_0 x_5}{Ic} + \frac{\tau_0}{2} \dot{\psi}_0)}{m-\Delta m_0} x_3 - \frac{ck_1 m \cos(\frac{2(1+c)a^2 h \tau_0 x_5}{Ic} + \frac{\tau_0}{2} \dot{\psi}_0)}{m+\Delta m_0} x_4 + \\
&+ \frac{mc |\ddot{\xi}_0(t)|}{h} \left(1 - \frac{m}{(m+\Delta m_0)} \cos(\frac{2(1+c)a^2 h \tau_0 x_5}{Ic} + \frac{\tau_0}{2} \dot{\psi}_0) \right) + \\
&+ \frac{mc |h\dot{\xi}_0(t) + m_d \dot{\eta}_0(t) \dot{\psi}_0| \left| 1 - \cos(\frac{2(1+c)a^2 h \tau_0 x_5}{Ic} + \frac{\tau_0}{2} \dot{\psi}_0) \right|}{h(m-\Delta m_0)} + \\
&+ \frac{mc |m\ddot{\eta}_0(t) + h\dot{\eta}_0(t) - m_d \dot{\xi}_0(t) \dot{\psi}_0(t)| \left| \sin(\frac{2(1+c)a^2 h \tau_0 x_5}{Ic} + \frac{\tau_0}{2} \dot{\psi}_0) \right|}{h(m-\Delta m_0)} + \\
&+ \frac{mc}{h(m-\Delta m_0)} \cos(\frac{2(1+c)a^2 h \tau_0 x_5}{Ic} + \frac{\tau_0}{2} \dot{\psi}_0) \left| \int_{t-\tau_0}^t (m\ddot{\xi}_0(t) + h\ddot{\xi}_0(t) + m_d \ddot{\eta}_0(t) \dot{\psi}_0) dt \right| + \\
&+ \frac{mc}{h(m-\Delta m_0)} \left| \sin(\frac{2(1+c)a^2 h \tau_0 x_5}{Ic} + \frac{\tau_0}{2} \dot{\psi}_0) \right| \left| \int_{t-\tau_0}^t (m\ddot{\eta}_0(t) + h\ddot{\eta}_0(t) - m_d \dot{\xi}_0(t) \dot{\psi}_0) dt \right|,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
q_2(t, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) &= \frac{1+c}{m-\Delta m_0} \left[\frac{\Delta m_0 h}{m} + m_d \left(|\dot{\psi}_0| + \frac{2a^2 m |\dot{\xi}_0(t)|}{I} \right) \right] x_1 + \\
&+ \frac{2(1+c)^2 m_d a^2 h}{(m-\Delta m_0) I c^2} x_2 + \frac{ck_1 m \sin(\frac{2(1+c)a^2 h \tau_0 x_5}{Ic} + \frac{\tau_0}{2} \dot{\psi}_0)}{m-\Delta m_0} x_3 - \frac{ck_1 m \cos(\frac{2(1+c)a^2 h \tau_0 x_5}{Ic} + \frac{\tau_0}{2} \dot{\psi}_0)}{m+\Delta m_0} x_4 + \\
&+ \frac{mc |\ddot{\eta}_0(t)|}{h} \left(1 - \frac{m}{(m+\Delta m_0)} \cos(\frac{2(1+c)a^2 h \tau_0 x_5}{Ic} + \frac{\tau_0}{2} \dot{\psi}_0) \right) + \\
&+ \frac{mc |h\dot{\eta}_0(t) - m_d \dot{\xi}_0(t) \dot{\psi}_0| \left| 1 - \cos(\frac{2(1+c)a^2 h \tau_0 x_5}{Ic} + \frac{\tau_0}{2} \dot{\psi}_0) \right|}{h(m-\Delta m_0)} + \\
&+ \frac{mc |m\ddot{\xi}_0(t) + h\dot{\xi}_0(t) + m_d \dot{\eta}_0(t) \dot{\psi}_0| \left| \sin(\frac{2(1+c)a^2 h \tau_0 x_5}{Ic} + \frac{\tau_0}{2} \dot{\psi}_0) \right|}{h(m-\Delta m_0)} + \\
&+ \frac{mc}{h(m-\Delta m_0)} \left| \sin(\frac{2(1+c)a^2 h \tau_0 x_5}{Ic} + \frac{\tau_0}{2} \dot{\psi}_0) \right| \left| \int_{t-\tau_0}^t (m\ddot{\xi}_0(t) + h\ddot{\xi}_0(t) + m_d \ddot{\eta}_0(t) \dot{\psi}_0) dt \right| + \\
&+ \frac{mc}{h(m-\Delta m_0)} \cos(\frac{2(1+c)a^2 h \tau_0 x_5}{Ic} + \frac{\tau_0}{2} \dot{\psi}_0) \left| \int_{t-\tau_0}^t (m\ddot{\eta}_0(t) + h\ddot{\eta}_0(t) - m_d \dot{\xi}_0(t) \dot{\psi}_0) dt \right|,
\end{aligned}$$

$$a_0 = \frac{ck_3 I}{I - \Delta I_0}, \quad b_0 = \frac{2(1+c)a^2 h \Delta I_0}{I(I - \Delta I_0)}, \quad \gamma_0 = \frac{1}{b_0} [(a_0 + b_0 \gamma) e^{b_0 \tau_0} - a_0]$$

$$a_1 = \max_{t \geq 0} |q_1(t, 0, 0, 1, -1, \gamma_0)|, \quad a_2 = \max_{t \geq 0} |q_2(t, 0, 0, 1, -1, \gamma_0)|$$

$$b_1 = \max_{t \geq 0} \{|q_1(t, 1, 1, 1, -1, \gamma_0) - q_1(t, 0, 0, 1, -1, \gamma_0)|\},$$

$$b_2 = \max_{t \geq 0} \{|q_2(t, 1, 1, 1, -1, \gamma_0) - q_2(t, 0, 0, 1, -1, \gamma_0)|\},$$

$$\gamma_1 = \max \left\{ \frac{1}{b_1} [(a_1 + b_1 \gamma) e^{b_1 \tau_0} - a_1], \frac{1}{b_2} [(a_2 + b_2 \gamma) e^{b_2 \tau_0} - a_2] \right\} < 1$$

В принятых обозначениях имеет место следующая теорема об отслеживании заданной траектории робота.

Теорема 1. Пусть найдется число $c > 1$, такое, что:

$$2(1+c)a^2 h \Delta I_0 \gamma < \frac{ck_3 I(I(\gamma - \tau_0 ck_3) - \Delta I_0 \gamma)}{I(\gamma + \tau_0 ck_3) + \Delta I_0 \gamma}$$

и выполняются следующие условия:

1) существуют числа $\delta_0 > \gamma_0$ и $\delta_1 > \gamma_1$, такие, что:

$$\frac{2(1+c)a^2 h \Delta I_0 \delta_0}{Ic} < k_3, \quad q_i(t, \delta_1, \delta_0 \delta_1, 1, 1, \delta_0) \leq -\varepsilon_1 = \text{const} < 0, \quad i = 1, 2, \quad t \geq 0$$

2) справедливы неравенства:

$$2(1+c)a^2 h \Delta I_0 \gamma_0 < \frac{ck_3 I(I(1 - \tau_0 ck_3) - \Delta I_0)}{I(1 + \tau_0 ck_3) + \Delta I_0},$$

$$q_i(t, \gamma_1, \gamma_0 \gamma_1, 1, 1, \gamma_0) + \frac{ck_1 \tau_0 m \cos\left(\frac{2(1+c)a^2 h \tau_0 \gamma_0}{Ic} + \frac{\tau_0}{2} \dot{\psi}_0\right)}{\gamma(m - \Delta m_0)} \max_{t - \tau_0 \leq s \leq t} |q_i(s, \gamma_1, \gamma_0 \gamma_1, 1, -1, \gamma_0)| \leq -\varepsilon_1,$$

$$\varepsilon_1 = \text{const} > 0, \quad i = 1, 2, \quad t \geq 0$$

3) найдется такое положительное число $\varepsilon < \gamma$, что $\forall t \geq 0$ справедливы неравенства:

$$q_i\left(t, \varepsilon, 0, \frac{\varepsilon}{\gamma}, \frac{\varepsilon}{\gamma}, 0\right) + \frac{ck_1 \tau_0 m \cos\left(\frac{\tau_0}{2} \dot{\psi}_0\right)}{\gamma(m - \Delta m_0)} \max_{t - \tau_0 \leq s \leq t} \left| q_i\left(s, \varepsilon, 0, \frac{\varepsilon}{\gamma}, -\frac{\varepsilon}{\gamma}, 0\right) \right| \leq -\varepsilon_1,$$

$$\varepsilon_1 = \text{const} > 0, \quad i = 1, 2, \quad t \geq 0$$

Тогда управление (2.1) решает задачу об отслеживании траектории $\mathbf{q}_0(t)$ робота с погрешностью слежения, не превышающей числа ε . При этом множество начальных возмущений $\varphi(s) = (\varphi_1(s), \varphi_2(s), \varphi_3(s))^T$, $-2\tau_0 \leq s \leq 0$, будет удовлетворять ограничениям:

$$\begin{aligned} & \max \left\{ \max_{-2\tau_0 \leq s \leq 0} |\varphi_1(s) - \xi_0(s)|, c \max_{-2\tau_0 \leq s \leq 0} \left| \varphi_1(s) - \xi_0(s) + \frac{m}{h} (\dot{\varphi}_1(s) - \dot{\xi}_0(s)) \right| \right\} < \delta_1 \\ & \max \left\{ \max_{-2\tau_0 \leq s \leq 0} |\varphi_2(s) - \eta_0(s)|, c \max_{-2\tau_0 \leq s \leq 0} \left| \varphi_2(s) - \eta_0(s) + \frac{m}{h} (\dot{\varphi}_2(s) - \dot{\eta}_0(s)) \right| \right\} < \delta_1 \\ & \max \left\{ \max_{-2\tau_0 \leq s \leq 0} |\varphi_3(s) - \psi_0(s)|, c \max_{-2\tau_0 \leq s \leq 0} \left| \varphi_3(s) - \psi_0(s) + \frac{I(\dot{\varphi}_3(s) - \dot{\psi}_0(s))}{2a^2 h} \right| \right\} < \delta_0. \end{aligned}$$

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ (проект МД-7549.2010.1), АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект № 2.1.1/11180), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт П/2578) и РФФИ (11-01-00541).

Список литературы:

1. Мартыненко Ю.Г., Формальский А.М. О движении мобильного робота с роликонесущими колесами // Известия РАН. Теория и системы управления. 2007. № 6. С. 142-149.

2. Зобова А.А., Татаринов Я.В. Свободное и управляемое движение некоторой модели экипажа с роликонесущими колесами // Вестник МГУ. Сер. 1. Математика, механика. 2008. № 6. С. 62-66.
3. Мартыненко Ю.Г. Устойчивость стационарных движений мобильного робота с роликонесущими колесами и смещенным центром масс // ПММ. 2010. Т. 74. Вып. 4. С. 610-619.
4. Liu Y., Zhu J.J., Williams II R.L., Wu J. Omni-directional mobile robot controller based on trajectory linearization // Robotics and Autonomous Systems. 2008. V. 56. P. 461-479.
5. Vazques J.A., Velasco-Villa M. Path-Tracking Dynamic Model Based Control of an Omnidirectional Mobile Robot // Proceedings of the 17th World Congress "The International Federation of Automatic Control". Seoul, Korea, July 6-11, 2008. P. 5365-5370.
6. Huang H.C., Tsai C.C. Adaptive Trajectory Tracking and Stabilization for Omnidirectional Mobile Robot with Dynamic Effect and Uncertainties // Proceedings of the 17th World Congress "The International Federation of Automatic Control". Seoul, Korea, July 6-11, 2008. P. 5383-5388.
7. Tsai C.C., Huang H.C., Wang T.Y. Simultaneous tracking and stabilization of an omnidirectional mobile robot in polar coordinates // Journal of the Chinese Institute of Engineers. 2009. V. 32. № 4. P. 569-575.
8. Velasco-Villa M., B. del-Muro-Cuellar and Alvarez-Aguirre A. Smith-predictor compensator for a delayed omnidirectional mobile robot // Proceedings of the 15th Mediterranean Conference on Control & Automation, Athene-Greece, July 27-29, 2007.
9. Разумихин Б.С. Устойчивость эредитарных систем. М.: Наука, 1988. 106 с.

Г.Н. Романенко

Шахтинский институт (филиал)
 ГОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет»
 (Новочеркасский политехнический институт),
 кафедра «Информационные технологии и управление»,
 Россия, Шахты,
 Romanenko_GN@mail.ru

О ПРИМЕНИМОСТИ ПРОЕКЦИОННОГО МЕТОДА К ОДНОМУ ОПЕРАТОРУ В БАНАХОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

В работе введён проектор P_h . Оператор умножения на ограниченную почти всюду функцию, действующий в пространстве $L_2(\mathbb{R})$, исследуется на применимость проекционного метода по системе проекторов (P_h, P_h) .

Ключевые слова: проектор, оператор, проекционный метод.

Пусть X, Y – банаховы пространства. Обозначим через $L(X, Y)$ множество всех линейных ограниченных операторов, действующих из X в Y , при этом $L(X, X) = L(X)$. Следуя [1], будем пользоваться следующим определением проекционного метода.

Определение. Пусть $\{P_\tau\}, \{Q_\tau\}$ ($P_\tau \in L(X), Q_\tau \in L(Y), \tau > 0$) – семейства проекторов, $A \in L(X, Y)$. Приближенный метод решения уравнения

$$Ax = y \quad (y \in Y), \quad (1)$$

состоящий в отыскании решения x_τ , принадлежащего $P_\tau X$, уравнения

$$Q_\tau A P_\tau x = Q_\tau y, \quad (2)$$

будем называть проекционным методом.

Если при $\tau \leq \tau_0$ для любого $y \in Y$ уравнение (2) имеет единственное решение x_τ и при $\tau \rightarrow 0$ векторы x_τ стремятся к решению уравнения (1), то будем говорить, что к оператору A применим проекционный метод по системе (P_τ, Q_τ) . Через $\Pi\{P_\tau, Q_\tau\} \subset L(X, Y)$ обозначим класс всех операторов, к которым применим проекционный метод по системе (P_τ, Q_τ) .

В [2] дано достаточное условие применимости проекционного метода к оператору A .

Теорема 1. Если оператор $A \in L(X, Y)$ и проекторы $P_\tau \in L(X), Q_\tau \in L(Y)$ удовлетворяют следующим условиям:

1. A обратим;
2. проекторы P_τ, Q_τ при $\tau \rightarrow 0$ поточечно сходятся к единичным операторам в X и Y соответственно;
3. $\lim_{\tau \rightarrow 0} \|Q_\tau A - A P_\tau\| = 0$.

тогда $A \in \Pi(P_\tau, Q_\tau)$.

Рассмотрим пространство $L_2(\mathbb{R})$, где \mathbb{R} – вещественная прямая. Определим оператор $P_h (h > 0)$. Пусть $f \in L_2(\mathbb{R})$, тогда

$$(P_h f)(t) = \frac{1}{h} \int_{kh}^{(k+1)h} f(x) dx,$$

если $t \in [kh, (k+1)h)$, $k \in Z$.

В [3] доказано, что $P_h \in L(L_2(R))$ и $P_h^2 = P_h$, следовательно, P_h – проекторы. Легко проверить, что $(P_h f, g) = (f, P_h g)$ для всех $f, g \in L_2(R)$, значит P_h – самосопряженные проекторы, т.е. $(P_h)^* = P_h$. Если $f \in L_2^{(1)}(R)$, где $L_2^{(1)}(R)$ – множество функций $f \in L_2(R)$ таких, что f – абсолютно непрерывна и $f' \in L_2(R)$, то имеет место оценка $\|P_h f - f\| \leq h \|f'\|$.

Нетрудно проверить, что для всех $h > 0$ $\|P_h\| = 1$. Множество $L_2^{(1)}(R)$ всюду плотно в $L_2(R)$, тогда на основании теоремы Банаха-Штейнгауза проекторы P_h поточечно сходятся к единичному оператору при $h \rightarrow 0$.

Заметим, что операторы P_h можно рассматривать как операторы, действующие в пространстве $L_\infty(R)$.

Пусть оператор A действует в пространстве $L_2(R)$ по правилу $(A f)(t) = \alpha(t)f(t)$, где $\alpha \in L_\infty(R)$, $\|A\| = \|\alpha\|_{L_\infty(R)}$.

В данной статье оператор A умножения на ограниченную почти всюду функцию, действующий в пространстве $L_2(R)$, исследуется на почти перестановочность с проектором P_h . Почти перестановочность понимается в смысле выполнения условия:

$$\lim_{h \rightarrow 0} \|P_h A - A P_h\| = 0.$$

Доказана следующая теорема.

Теорема 2. Для того чтобы

$$\lim_{h \rightarrow 0} \|P_h A - A P_h\| = 0, \quad (3)$$

необходимо и достаточно, чтобы

$$\lim_{h \rightarrow 0} \|P_h |\alpha|^2 - |P_h \alpha|^2\|_{L_\infty(R)} = 0. \quad (4)$$

Доказательство. Необходимость. Пусть ε – положительное число. Из (3) существует $\delta(\varepsilon) > 0$ такое, что при $h < \delta$

$$\|P_h A - A P_h\| < \varepsilon. \quad (5)$$

Возьмём $h > 0$, $k \in Z$ и положим

$$\varphi_h^k(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{h}}, & \text{если } t \in [kh, (k+1)h); \\ 0, & \text{если } t \notin [kh, (k+1)h). \end{cases}$$

Легко видеть, что $\|\varphi_h^k\|_{L_2(R)} = 1$.

Имеем:

$$\begin{aligned} \|(P_h A - A P_h)\varphi_h^k\|_{L_2(R)} &= \left(\sum_{l=-\infty}^{+\infty} \int_{lh}^{(l+1)h} |(P_h A \varphi_h^k)(t) - A \varphi_h^k(t)|^2 dt \right)^{\frac{1}{2}} = \\ &= \left(\frac{1}{h} \int_{kh}^{(k+1)h} \left| \frac{1}{h} \int_{kh}^{(k+1)h} \alpha(x) dx - \alpha(t) \right|^2 dt \right)^{\frac{1}{2}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для любого $k \in Z$ из (5) и (6) при $h < \delta$ получим

$$\frac{1}{h} \int_{kh}^{(k+1)h} \left| \frac{1}{h} \int_{kh}^{(k+1)h} \alpha(x) dx - \alpha(t) \right|^2 dt < \varepsilon^2. \quad (7)$$

Так как $P_h |P_h \alpha - \alpha|^2 = P_h |\alpha|^2 - |P_h \alpha|^2$, то

$$\frac{1}{h} \int_{kh}^{(k+1)h} \left| \frac{1}{h} \int_{kh}^{(k+1)h} \alpha(x) dx - \alpha(t) \right|^2 dt$$

есть значение функции $P_h |\alpha|^2 - |P_h \alpha|^2$ в промежутке $[kh, (k+1)h)$.

Из (7) получим

$$\lim_{h \rightarrow 0} \| P_h |\alpha|^2 - |P_h \alpha|^2 \|_{L_\infty(\mathbb{R})} = 0.$$

Достаточность. Покажем, что если условие (4) выполнено, то выполнено условие (3).

Имеем

$$\| P_h A - A P_h \| \leq \| P_h A P_h - A P_h \| + \| P_h A - P_h A P_h \|. \quad (8)$$

Пусть вначале $\alpha \in L_\infty(\mathbb{R})$ – вещественная функция, тогда A – самосопряженный оператор, т.е. $A = A^*$ и

$$(P_h A P_h - A P_h)^* = P_h A P_h - P_h A. \quad (9)$$

Из (8) и (9) получим

$$\| P_h A - A P_h \| \leq 2 \| P_h A P_h - A P_h \|. \quad (10)$$

Пусть $f \in L_2(\mathbb{R})$, тогда

$$\begin{aligned} \| (P_h A P_h - A P_h) f \|_{L_2(\mathbb{R})} &= \left(\sum_{k=-\infty}^{+\infty} \int_{kh}^{(k+1)h} |(P_h A P_h f)(t) - (A P_h f)(t)|^2 dt \right)^{\frac{1}{2}} = \\ &= \left(\sum_{k=-\infty}^{+\infty} \frac{1}{h} \left| \int_{kh}^{(k+1)h} f(x) dx \right|^2 \frac{1}{h} \int_{kh}^{(k+1)h} \left| \frac{1}{h} \int_{kh}^{(k+1)h} \alpha(x) dx - \alpha(t) \right|^2 dt \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (11) \end{aligned}$$

Пусть $\varepsilon > 0$, тогда из (4) существует $\delta(\varepsilon) > 0$ такое, что при $h < \delta$ для любого $k \in \mathbb{Z}$ получим

$$\frac{1}{h} \int_{kh}^{(k+1)h} \left| \frac{1}{h} \int_{kh}^{(k+1)h} \alpha(x) dx - \alpha(t) \right|^2 dt < \varepsilon.$$

Следовательно, при $h < \delta$ из (11) имеем

$$\begin{aligned} \| (P_h A - A P_h) f \| &\leq \varepsilon^{\frac{1}{2}} \left(\sum_{k=-\infty}^{+\infty} \frac{1}{h} \left(\int_{kh}^{(k+1)h} |f(x)| dx \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \leq \varepsilon^{\frac{1}{2}} \left(\sum_{k=-\infty}^{+\infty} \int_{kh}^{(k+1)h} |f(x)|^2 dx \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= \varepsilon^{\frac{1}{2}} \| f \|_{L_2(\mathbb{R})}, \end{aligned}$$

отсюда $\| P_h A P_h - A P_h \| < \varepsilon^{\frac{1}{2}}$ при $h < \delta$.

Ввиду произвольности ε , учитывая (10), получим

$$\lim_{h \rightarrow 0} \| P_h A - A P_h \| = 0.$$

Пусть теперь $\alpha \in L_\infty(\mathbb{R})$ – комплекснозначная функция, тогда

$\alpha(t) = \alpha_1(t) + i\alpha_2(t)$, где α_1, α_2 – вещественные функции.

Легко видеть, что если α удовлетворяет условию (4), то функции α_1 и α_2 также удовлетворяют условию (4).

Положим $A = A_1 + iA_2$, где

$$(A_1 f)(t) = \alpha_1(t) f(t), (A_2 f)(t) = \alpha_2(t) f(t).$$

По доказанному выше

$$\lim_{h \rightarrow 0} \|P_h A_1 - A_1 P_h\| = 0, \lim_{h \rightarrow 0} \|P_h A_2 - A_2 P_h\| = 0.$$

Отсюда, так как

$$\begin{aligned} \|P_h A - A P_h\| &= \|P_h (A_1 + iA_2) - (A_1 + iA_2) P_h\| \leq \\ &\leq \|P_h A_1 - A_1 P_h\| + \|P_h A_2 - A_2 P_h\|, \end{aligned}$$

имеем

$$\lim_{h \rightarrow 0} \|P_h A - A P_h\| = 0.$$

Замечание. Условие (4) равносильно условию

$$\lim_{h \rightarrow 0} \|P_h |P_h \alpha - \alpha|^2\|_{L_\infty(\mathbb{R})} = 0.$$

Список литературы:

1. Гохберг И.Ц., Фельдман И.А. «Уравнения в свёртках и проекционные методы их решения». М., 1971. 352с.
2. Козак. А.В. «Об одном проекционном методе решения операторных уравнений в банаховом пространстве» // Докл. АН СССР. 1973. №5 С.1042-1045.
3. Гапишина Г.Н. «Проекционный метод решения уравнений типа свертки с помощью кусочно-полиномиальной аппроксимации. // Интегральные и дифференциальные уравнения и их приложения. 1983. С.18-33.

В.А. Степанов д.ф.-м.н., В.В. Трегулов к.т.н.

Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,
Физико – математический факультет, кафедра физики,
Россия, Рязань,
trww@yandex.ru

**ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СОСТОЯНИЙ НА ВЫСОТУ
ПОТЕНЦИАЛЬНОГО БАРЬЕРА ДЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ
В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ CdS/Si(p) ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ
ГИДРОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ**

Приведены результаты исследования температурных зависимостей тока при прямом смещении и релаксации фототока гетероструктур CdS/Si(p), изготовленных методом гидрохимического осаждения CdS. Представлен спектр поверхностных состояний и определена высота барьера для электронов. Отмечается, что поверхностные состояния на гетерогранице способствуют снижению высоты барьера.

Ключевые слова: гетероструктура, глубокие уровни, поверхностные состояния, сульфид кадмия, фотоэлектрический преобразователь.

Гетероструктуры CdS/Si(p) могут успешно применяться в качестве фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) солнечной энергии [4]. Применение технологии гидрохимического осаждения для изготовления гетероструктур CdS/Si(p) позволит существенно снизить стоимость ФЭП.

Целью данной работы является исследование влияния ловушек с глубокими уровнями (ГУ) на высоту потенциального барьера для электронов в гетероструктурах CdS/Si(p), изготовленных методом гидрохимического осаждения CdS.

Технология изготовления образцов подробно описана в [2]. В качестве подложек использовались монокристаллические кремниевые пластины р-типа проводимости с удельным сопротивлением 1 Ом·см. Пленки CdS имели проводимость n-типа и толщину 2.5 мкм.

Гетероструктуры, исследуемые в данной работе, отличались от образцов, рассматриваемых в [2], тем, что они были изготовлены при более высоком содержании аммиака. Это позволило увеличить напряжение холостого хода ФЭП на 0.1 В без легирования слоя CdS.

В исследуемой гетероструктуре слой CdS играет роль оптического окна ФЭП. Эффективная фотогенерация носителей заряда в широкозонном слое CdS наблюдается в коротковолновой области спектра. При воздействии солнечного света носители, генерированные в CdS, не вносят существенного вклада в общий фототок. Таким образом, поглощение света и генерация носителей заряда происходят в области пространственного заряда (ОПЗ) или квазинейтральной области кремния [4].

С целью изучения спектра ловушек с ГУ проводилось исследование кинетики релаксации фототока в диапазоне температур 130– 344 К. Гетероструктура освещалась со стороны пленки CdS прямоугольными импульсами света с длиной волны 660 нм (использовался красный светодиод). Длительность световых импульсов составляла $2.0 \cdot 10^{-4}$ с, что было достаточным для достижения стационарного заполнения ловушек во всем диапазоне температур. При этом гетероструктура работала в фотовольтаическом режиме,

характерном для ФЭП. Кривые релаксации фототока $I(t, T)$, измеренные при выключении освещения, в указанном диапазоне температур, состоят из семи экспоненциальных участков:

$$I(t, T) = \sum_{i=1}^N I_{cmi}(T) \cdot \exp(-t/r_i(T)), \quad (1)$$

где I_{cmi} – стационарное значение фототока, r_i – постоянная времени релаксации, T – абсолютная температура; N – количество экспоненциальных участков зависимости $I(t, T)$, $N=7$.

Обработка кривых $I(t, T)$ проводилась по методике токовой релаксационной спектроскопии глубоких уровней (РСГУ) [1] с использованием стандартной корреляционной процедуры:

$$S(T) = \int_{T_0}^{T_0+T_C} I(t, T) w(t, \tau) dt, \quad (2)$$

где T – абсолютная температура; $w(t, \tau)$ – взвешивающая функция, τ – постоянная времени коррелятора; T_0 и T_C – временная задержка и длительность взвешивающей функции.

В результате был получен спектр ГУ $S(T)$ (рис. 1), характерный для поверхностных состояний на гетерогранице CdS/Si(p). Спектр на рис. 1 получен при $\tau = 2.14 \cdot 10^{-5}$ с. Наблюдаемые ГУ являются ловушками электронов. В результате обработки спектра $S(T)$ установлено, что поверхностные состояния локализованы в диапазоне энергий активации 0.31–1.00 эВ (± 0.02 эВ).

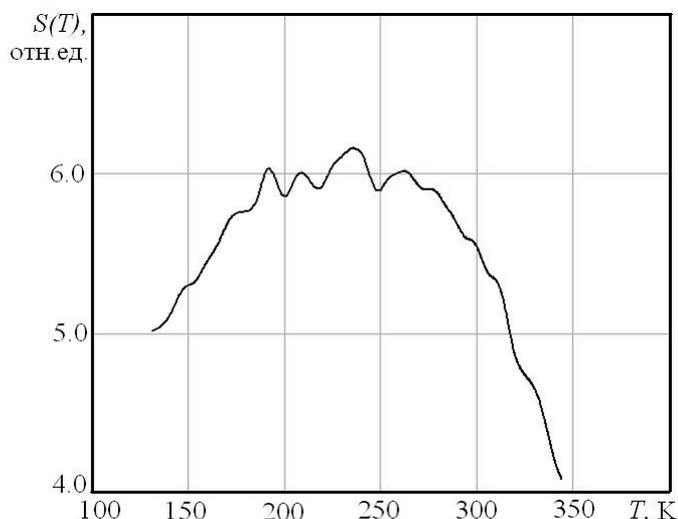


Рис. 1 – Спектр поверхностных состояний гетероструктуры CdS/Si(p)

Существенное отличие способа формирования спектра ГУ, примененного в данной работе от традиционного [1], заключается в использовании фотовольтаического режима гетероструктуры при измерении сигнала релаксации фототока. В традиционной РСГУ сигнал релаксации измеряется при обратном смещении на гетеропереходе [1].

С целью определения высоты потенциального барьера для электронов в гетероструктуре CdS/Si(p) измерялись прямые ветви вольт – амперных характеристик (ВАХ) в диапазоне температур 130–344 К без освещения. Прямая ветвь ВАХ в указанном диапазоне температур описывается зависимостью:

$$I = I_0 \cdot \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{qV}{akT}\right) - 1 \right], \quad (3)$$

где I_0 – ток насыщения; ΔE – высота потенциального барьера для электронов; k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; a – показатель идеальности; q – заряд электрона; V – напряжение, приложенное к гетероструктуре [3], [4]. Во всем диапазоне температур значение показателя идеальности превышало 2, следовательно, преобладающим механизмом токопереноса являются процессы генерации–рекомбинации носителей заряда в ОПЗ с участием ловушек.

Обратная ветвь ВАХ в исследованном диапазоне температур не имеет насыщения.

Значение высоты потенциального барьера ΔE определялось по температурной зависимости прямого I_{np} тока гетероструктуры, измеренной при фиксированном значении постоянного напряжения $V = 0.1$ В (рис. 2). В области низких температур $\Delta E = 0.62$ эВ, при более высоких температурах (252–344 К) высота барьера снижается до 0.34 эВ (рис. 2).

Важно отметить, что величина $\Delta E = 0.62$ эВ, полученная из зависимости $\ln(I_{np}) = f(1/kT)$ при низких температурах, совпадает с высотой барьера, определенной из высокочастотных вольт–фарадных характеристик (ВФХ).

Высокочастотные ВФХ измерялись с помощью цифрового измерителя иммитанса Е7-12. Наблюдаемое совпадение можно объяснить следующим образом. При измерении ВФХ гетероструктуры на высоких частотах (1 МГц) процесс перезарядки ловушек с ГУ не успевает следовать за измерительным сигналом и не дает вклад в измеренную емкость. Поэтому, анализируя высокочастотные ВФХ, мы получаем значение высоты барьера без учета влияния глубоких ловушек.

При измерении тока гетероструктуры с понижением температуры вклад ловушек с ГУ в определенном диапазоне энергий активации снижается, и они перестают существенно влиять на высоту потенциального барьера ΔE .

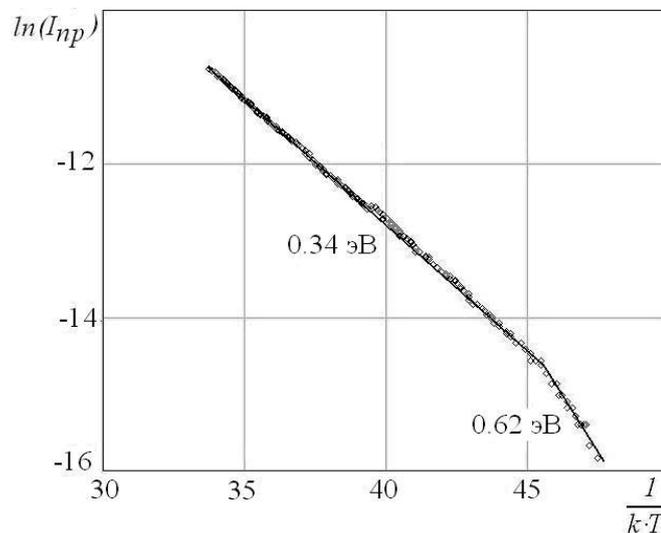


Рис. 2– Температурная зависимость прямого тока гетероструктуры CdS/Si(p), измеренная при $V = 0.1$ В

Значение $\Delta E = 0.34$ эВ, определенное по зависимости $\ln(I_{np}) = f(1/kT)$ в области более высоких температур (252–344 К), близко к величине, полученной из напряжения холостого хода гетероструктуры (0.37 эВ). Напряжение холостого хода измерялось при температуре 298 К в стандартных условиях освещения АМ 1.5.

Установлено, что поверхностные состояния в гетероструктурах CdS/Si(p), изготовленных методом гидрохимического осаждения CdS, способствуют снижению высоты потенциального барьера. Спектр ГУ получен при измерении релаксационного сигнала в фотовольтаическом режиме, являющимся основным для ФЭП и наиболее чувствительным к поверхностным состояниям на гетерогранице.

Список литературы:

1. *Кузнецов, Н.И.* Токовая релаксационная спектроскопия глубоких уровней [Текст]/ Н.И. Кузнецов//ФТП.–1993.–Т.27.–вып.10.–С. 1674– 1679.
2. *Трегулов, В.В.* Исследование фотоэлектрического преобразователя солнечной энергии на основе гетероструктуры CdS/Si(p) [Текст] / В. В. Трегулов // Вестник ТГТУ. – 2010. – Т. 16. - № 4. – С. 892 – 896.
3. *Фаренбух, А.* Солнечные элементы: Теория и эксперимент [Текст]: пер. с англ. / А. Фаренбух, Р. Бьюб. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – с. 280.
4. *Шарма, Б.Л.* Полупроводниковые гетеропереходы [Текст]: пер. с англ. / Б.Л. Шарма, Р.К. Пурохит.– М.: Сов. радио, 1979. – с. 232.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

02.00.04

В.В. Савкин, Ю.М. Серов д.х.н.

Российский университет дружбы народов, факультет физико - математических и естественных наук, кафедра физической и коллоидной химии
Россия, Москва,
vlavkin@ya.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ АДсорбЦИИ МЕТАФОСА И ДНОК НА ПОЧВЕ МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

В работе изложены результаты исследования адсорбционных характеристик пестицидов - метафоса и ДНОК на образце почвы ГСО СДПС-1 методом газо-адсорбционной хроматографии. Представлены изотермы и изостеры адсорбции этих веществ, сделаны предположения о причинах их формы.

Ключевые слова: хроматография, пестициды, адсорбция.

Загрязнение окружающей среды продуктами жизнедеятельности человека – одна из самых важных проблем, вставшей перед человечеством в середине 20-го века. Мониторинг пестицидов предусматривает их количественное определение в широком интервале концентраций. Среди методов анализа, которые применимы к определению пестицидов, в первую очередь относятся высокоэффективные варианты газовой и жидкостной хроматографии. К недостаткам существующих методик следует отнести их специфичность к одному конкретному пестициду (или классу пестицидов), трудоемкость и длительность пробоподготовки, которая включает многочисленные процедуры экстракции пестицидов из почвы различными растворителями с последующим концентрированием, что приводит к их значительным потерям и снижает точность определения. Таким образом, упрощение самой процедуры анализа, повышение точности анализа и снижение его стоимости представляется важной задачей.

Целью данного исследования является нахождение адсорбционных характеристик пестицидов на образце почвы с последующим применением для разработки унифицированной методики определения пестицидов с помощью ГХ.

Адсорбцию пестицидов на стандартном образце почвы ГСО СДПС-1 (почва дерново-подзолистая супесчаная) исследовали методом газо-адсорбционной хроматографии на хроматографе «Кристалл 2000М». Скорость газа-носителя (гелия) составляла 6 мл/мин, температура испарителя и детектора - 250 °С. Температура колонки варьировалась от 130 °С до 220 °С в зависимости от исследуемых веществ. Вторая часть работы заключалась в анализе состава газовой фазы, находящейся в термодинамическом равновесии с нагретым до определенной температуры образцом почвы, содержащем известное количество пестицида. Для осуществления анализа газовой фазы использовался обогреваемый кран-дозатор с петлей известного объема (0,5 мл). После установления в изотермических условиях фазового равновесия газохроматографически измерялась равновесная концентрация вещества в газовой фазе над исследуемым образцом.

Изучение адсорбции модельного вещества (хлорбензола, который часто используется для промышленного производства некоторых пестицидов) показало принципиальную возможность получения адсорбционных зависимостей пестицидов

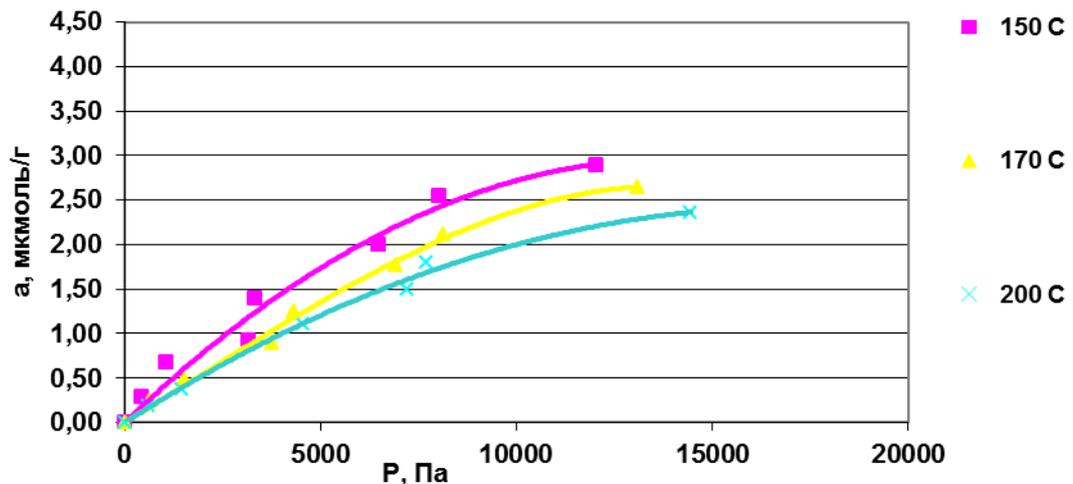


Рис.1 - Изотермы адсорбции хлорбензола.

Таблица 1 - Параметры изотерм адсорбции.

Температура колонки, °С	1/a _m	a _m , МКМОЛЬ/Г	b
200	0,286	3,496503497	0,588477
170	0,245	4,081632653	0,601966
150	0,288	3,472222222	0,993103

Изотермы адсорбции метафоса и ДНОК были получены при следующих температурах: 200 °С, 220 °С и 250 °С. Данные температуры были выбраны, исходя из данных температур кипения этих пестицидов.

Таблица 2 - Значения адсорбции, концентрации и давления метафоса и ДНОКа, полученные из хроматографических данных

Т, °С	Метафос			ДНОК		
	а, нмоль/м ²	с, нмоль/мл	Р, мПа	а, нмоль/м ²	с, нмоль/мл	Р, мПа
200 °С	0,004	0,004	15,1	0,029	0,009	34,4
	0,004	0,006	22,2	0,054	0,012	47,4
	0,007	0,012	46,5	0,084	0,027	106,0
	0,008	0,015	58,2	0,111	0,045	175,5
	0,011	0,023	89,2	0,163	0,076	300,2
	0,012	0,025	97,9	0,181	0,089	351,4
220 °С	0,003	0,002	10,2	0,024	0,006	26,4
	0,004	0,006	26,0	0,050	0,012	47,8
	0,005	0,010	39,2	0,080	0,028	113,6
	0,007	0,017	68,9	0,107	0,048	195,7
	0,008	0,017	71,5	0,130	0,060	246,4
	0,010	0,026	106,0	0,148	0,080	326,0
	0,012	0,033	135,9	0,170	0,096	394,4
250 °С	0,002	0,002	10,8	0,051	0,015	64,8
	0,005	0,003	21,7	0,075	0,031	136,5
	0,012	0,005	50,2	0,099	0,050	217,7
	0,018	0,007	77,3	0,120	0,064	277,0
	0,026	0,008	112,0	0,147	0,082	358,0
	0,031	0,010	133,8	0,158	0,089	386,9

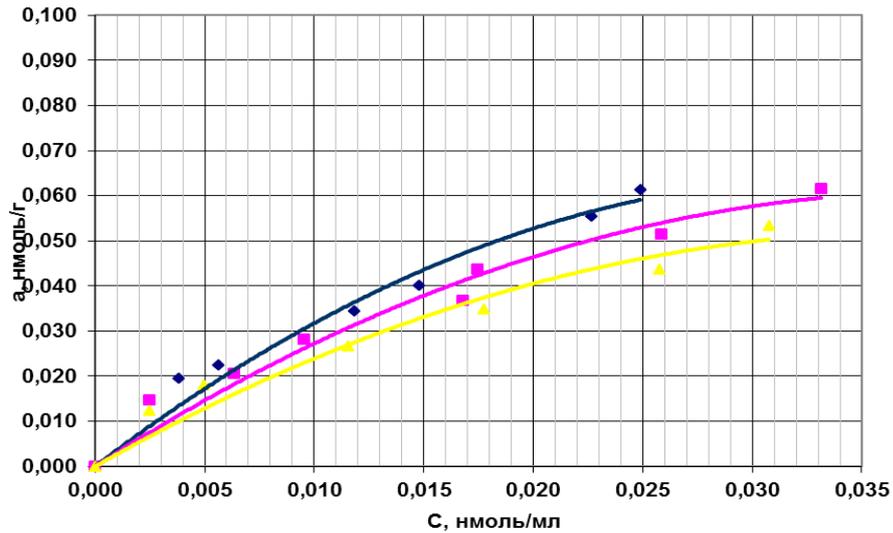


Рис. 2 – Изотермы адсорбции метафоса.

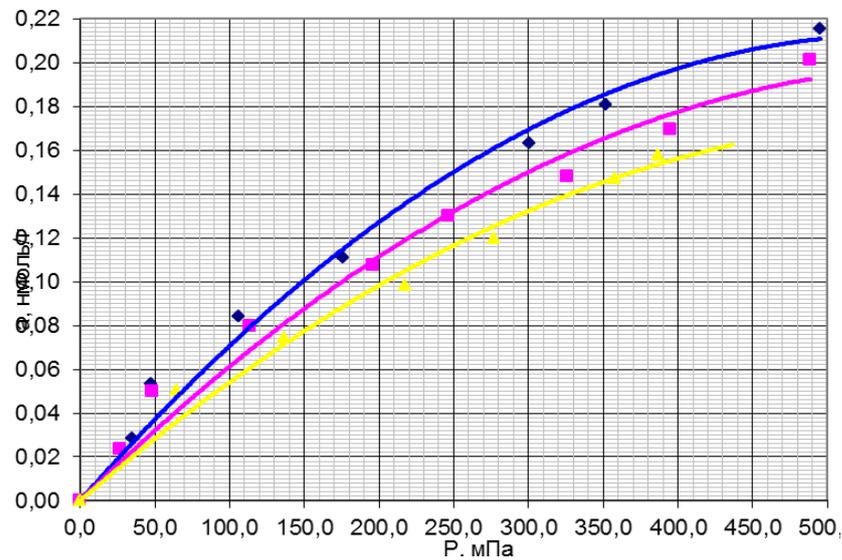


Рис. 3 – Изотермы адсорбции ДНОК.

В нашем случае изотермы адсорбции удовлетворительно подчиняются уравнению Лэнгмюра. В линейных координатах уравнения Лэнгмюра экспериментальные точки со степенью достоверности 0,97-0,98 ложатся на прямую, что дает возможность рассчитать константу адсорбционного равновесия b и емкость мононослоя a_m .

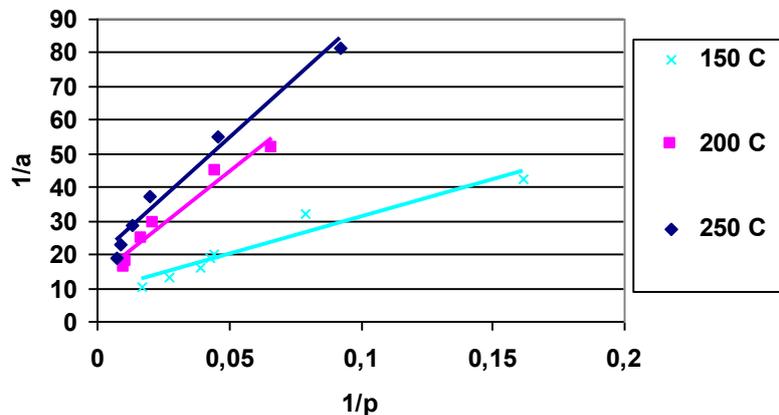


Рис. 4 – Изотермы адсорбции метафоса в линейных координатах уравнения Лэнгмюра

По полученным из изотерм данным были получены значения изостерических теплот адсорбции q_{st} , а затем рассчитаны энтропии адсорбции при разных степенях заполнения.

Таблица 3 – Значения изостерических теплот адсорбции и энтропии метафоса и ДНОК.

Метафос			ДНОК		
a, нмоль/г	q_{st} , кДж/моль	dS, Дж/моль*К	a, нмоль/г	q_{st} , кДж/моль	dS, Дж/моль*К
0,01	29,0	61,79	0,05	11,34	22,73
0,02	31,4	66,80	0,08	12,13	24,32
0,03	31,1	66,18	0,1	12,54	25,16
0,04	32,4	69,01	0,12	13,87	27,83
0,05	33,9	72,26	0,14	15,14	30,38

Зависимости изостерической теплоты и энтропии адсорбции метафоса и ДНОК от заполнения поверхности ведут себя также как и в случае адсорбции хлорбензола, но значения, принимаемые ими выше, что соответствует более сильной адсорбции и меньшей подвижности молекул адсорбата.

Изотермы адсорбции позволяют найти зависимость концентрации пестицидов в газовой фазе от температуры. При высоких значениях величин адсорбции увеличение его концентрации в газовой фазе с ростом температуры происходит более интенсивно чем при низких.

Все полученные изотермы при малых значениях Р (или С) имеют линейный вид, но с ростом давления зависимость величины адсорбированного вещества от давления отклоняется от линейной. Как уже отмечалось, такие изотермы подобны по форме изотермам адсорбции Лэнгмюра. Поскольку полученные результаты указывают на то, что для всех изученных веществ изостерические теплоты адсорбции изменяются в зависимости от количества адсорбата, обработка экспериментальных данных по уравнению Лэнгмюра в определенной степени является условной, так как поверхность почвы неоднородна, и в принципе адсорбция для неоднородных поверхностей не может быть описана уравнением Лэнгмюра. Однако, с ростом степени заполнения, изостерические теплоты адсорбции изменяется незначительно и поэтому можно сделать вывод, что влияние неоднородности поверхности на адсорбцию проявляется в незначительной степени. На основании сказанного можно утверждать, что изотермы, представленные в линейных координатах уравнения Лэнгмюра, дают правильную оценку величинам предельной адсорбции a_m и константе адсорбционного равновесия b .

Теплоты адсорбции хлорбензола, метафоса и ДНОКа при данных степенях заполнения увеличиваются с ростом последних, вследствие латеральных взаимодействий, при которых происходит выделение дополнительной энергии. Несмотря на относительно невысокие степени заполнения поверхности, наличие таких взаимодействий можно объяснить малой удельной площадью поверхности почвы (5,19 м²/г) и объемной пространственной структурой молекул адсорбата.

Ход кривых изменения энтропии адсорбции показывает, что при малых степенях заполнения, то есть в разреженных слоях, возможна относительно большая подвижность адсорбированных молекул, которая уменьшается с ростом заполнения поверхности.

По полученным данным была установлена связь между содержанием пестицида в почве и его концентрацией в газовой фазе при определенной температуре, что позволяет по известной концентрации в газовой фазе найти содержание пестицидов в почве. Относительная ошибка предложенной методики определения составила 5-8%.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

05.23.03

В.Ф. Бай к.т.н., А.Н. Краев к.т.н., А.Н. Краев, А.В. Набоков к.т.н., Ю.А. Новиков

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет,
Архитектурно-строительный факультет, кафедра строительных конструкций,
Россия, Тюмень,
kraev_an@pochta.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВАНИЯ С ВНЕДРЁННОЙ ПЕСЧАНОЙ АРМИРОВАННОЙ СВАЕЙ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

В статье приведены результаты натуральных экспериментальных исследований и численного моделирования напряженно-деформированного состояния песчаной армированной сваи, внедрённой в водонасыщенное глинистое основание. На основе экспериментальных данных дана оценка возможности использования программных комплексов при прогнозе напряженно-деформированного состояния усиленного основания.

Ключевые слова: песчаная, свая, армированный, напряженно-деформированное, экспериментальные, грунт, натурные, моделирование.

Армирование, как способ укрепления основания, получил широкое применение в строительстве, но проблемой развития этого направления является отсутствие опыта использования современных материалов, экспериментальных исследований, норм проектирования и технических условий. Поэтому исследование и разработка новых способов повышения несущей способности водонасыщенных оснований инженерных сооружений путём реализации новых схем армирования является актуальной задачей.

Проведенные исследования в лабораторных условиях помогли выявить эффективность использования песчаных армированных свай в водонасыщенных глинистых грунтах в вариантном сопоставлении [1,2].

Результаты исследований легли в основу постановки натурального эксперимента для определения напряженно-деформированного состояния активной зоны основания, усиленного песчаной армированной сваей.

Проведение полевых экспериментальных исследований основания, усиленного песчаной армированной сваей позволит подтвердить результаты модельных экспериментов и сделать количественную оценку напряженно-деформированного состояния усиленного основания.

При проведении натуральных экспериментов в водонасыщенном глинистом основании устраивалась песчаная армированная свая длиной $L = 3000\text{мм}$ и диаметром $d = 800\text{мм}$. Нагрузка на сваю передавалась через жесткую железобетонную плиту толщиной 500мм .

Вертикальные перемещения грунтового слоя и тела сваи измерялись при помощи глубинных винтовых марок. Перемещения марок фиксировались прогибомерами с ценой деления $0,1\text{мм}$. Для измерения напряжений в грунте использовались тензометрические датчики общего и порового давления. В качестве регистрирующей тензометрической аппаратуры использовался прибор – автоматический электронный измеритель деформаций (ИТЦ-01).

Нагрузка на плиту осуществлялась блоками ФБС-6, которые укладывались рядами для обеспечения равномерной передачи нагрузки на основание. Общий вид передачи

статической вертикальной нагрузки на основание усиленное песчаной армированной сваей представлен на рис.1.



Рис. 1 - Испытание основания усиленного песчаной армированной сваей под статической нагрузкой.

Физико-механические характеристики грунтов экспериментальной площадки приведены в табл.1.

Таблица 1-Физико-механические свойства грунтов

Вид грунта	Супесь	Суглинок	Суглинок	Суглинок	Песок
Глубина, м	0-1,6	1,6-6,2	6,2-10,6	10,6-17,5	17,5-18,2
$W, \%$	17	21	25	25	20
$I_p, \text{д.ед.}$	0,05	0,08	0,11	0,16	
$\gamma, \text{кН/м}^3$	19,1	20,6	19,6	19,7	20,2
$e, \text{д.ед.}$	0,569	0,568	0,703	0,694	0,57
$S_r, \text{д.ед.}$	0,89	0,99	0,95	0,96	0,97
$\varphi, \text{град.}$	17	20,7	19	19	35
$C, \text{кПа}$	26	23	20	20,6	0
$E, \text{МПа}$	5,6	4,4	2,5	2,1	28,4

По результатам данных измерения общих давлений выявлен характер развития вертикальных напряжений в теле песчаной армированной сваи и окружающего грунта.

Прогноз напряженно-деформированного состояния основания с внедренной песчаной армированной сваей выполнялся с использованием метода конечных элементов в программах Plaxis и FEM models. Результаты численного моделирования приведены на рис.2.

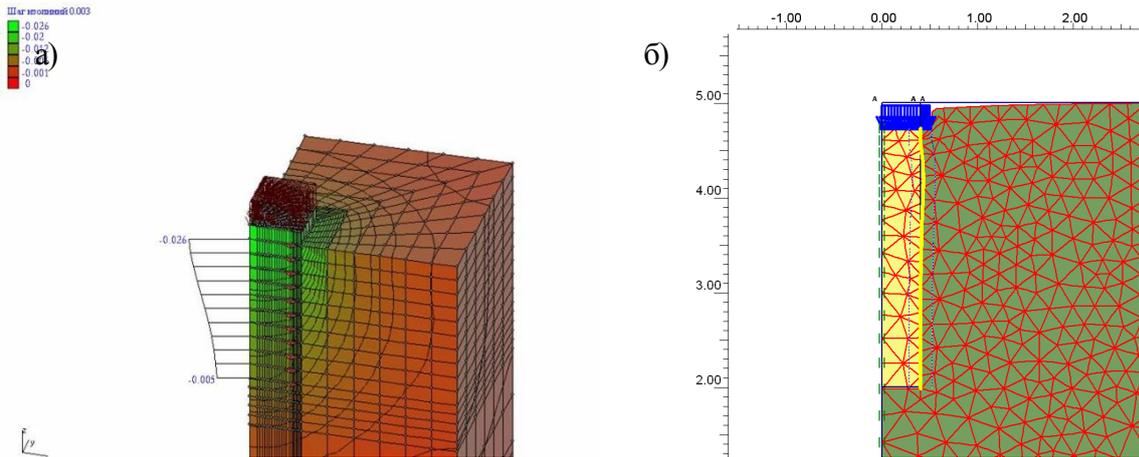


Рис. 2 - Результаты численного моделирования работы песчаной армированной сваи в водонасыщенном глинистом грунте (упругопластическая модель Мора-Кулона):

а) картина распределения вертикальных деформаций (пространственная задача, программа FEM models);

б) картина распределения деформаций (осесимметричная задача, программа Plaxis).

На рис.3 приведено сопоставление экспериментальных данных с результатами расчёта в программах Plaxis и FEM models.

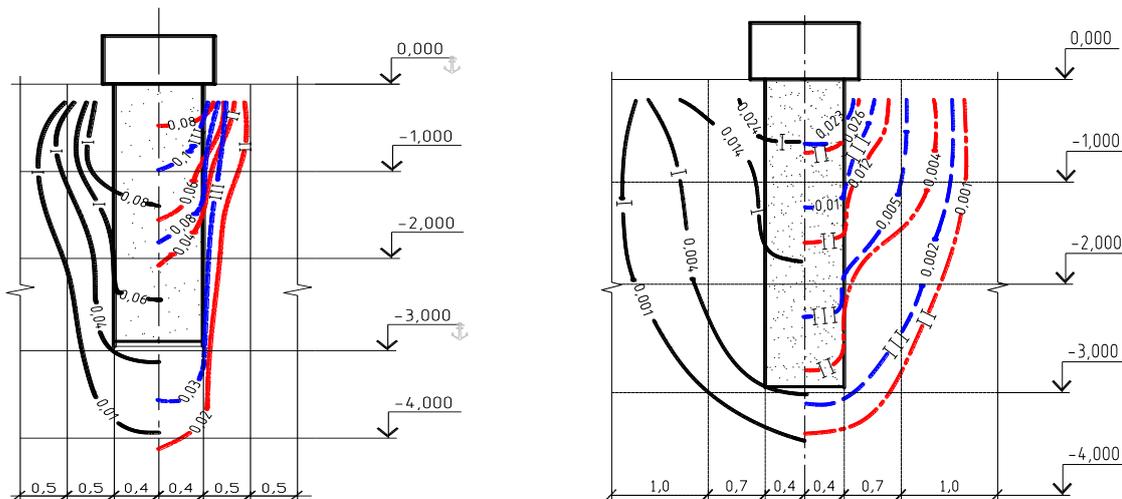


Рис. 3 - Сопоставление экспериментальных (I) и расчётных (II - программа Plaxis, III - программа FEM models) значений напряжений и деформаций в массиве грунта, усиленного песчаной армированной свай:

а) общие давления в массиве грунта (MPa);

б) вертикальные перемещения массива грунта (m).

По результатам натурального эксперимента и расчётов построен график «осадка – давление», приведённый на рис.4.

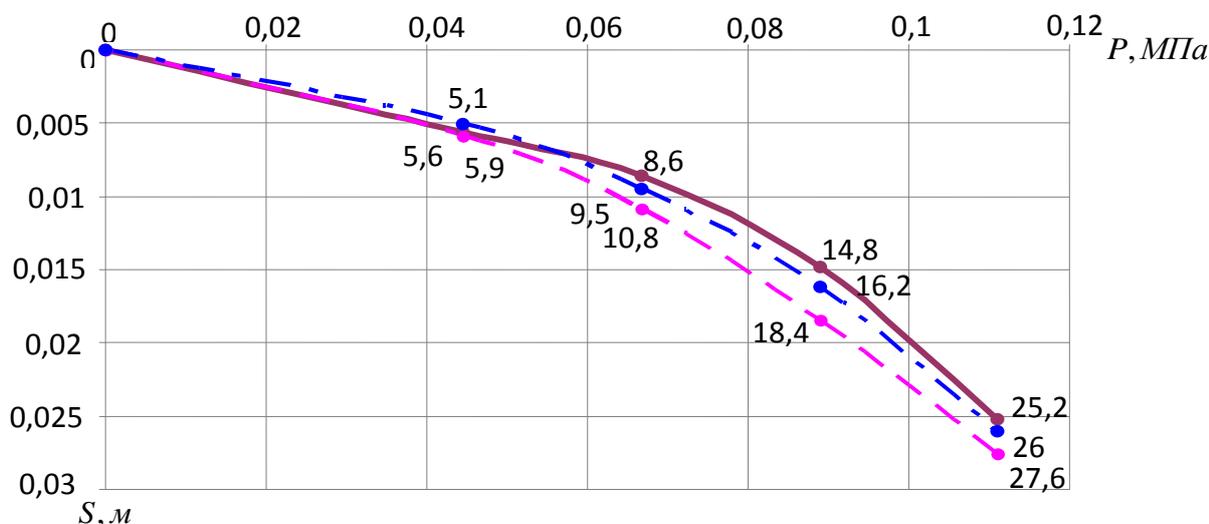


Рис. 4 - График «осадка – давление»:

(—) – экспериментальные данные; (- · - · -) – результаты расчёта в программе FEM models; (- - -) – результаты расчёта в программе Plaxis.

Анализ полученных графиков численного моделирования и результатов натурального исследования позволил сделать следующие выводы:

- полная осадка сваи состоит из деформаций тела сваи и области грунта под пятой сваи, развитие которых приводит к возникновению сдвиговых деформации по боковой поверхности сваи;

- на прямолинейном участке графика «осадка-давление» (рис.4) осадка железобетонной плиты происходит за счет деформирования песчаной армированной сваи, а дальнейшее увеличение нагрузки приводит к возникновению сдвиговых деформаций по периметру сваи и уплотнения грунта, расположенного под её пятой;

- расхождения результатов моделирования со значениями, полученными в эксперименте, составляют 8-14%, что позволяет сделать вывод о возможности использования данной модели при прогнозе напряженно-деформированного состояния усиленного основания.

Список литературы:

1. Краев, А.Н. Экспериментальные исследования влияния гибких армирующих элементов на деформированное состояние основания из водонасыщенного суглинка / А.Н. Краев // Сборник Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири». – Тюмень: 2007. – С.147-150.

2. Краев, А.Н. Способ повышения несущей способности фундаментов на слабых водонасыщенных основаниях / В.Ф. Бай, А.В. Набоков, В.В. Воронцов, А.Н. Краев // Сборник материалов научной конференции молодых ученых, аспирантов и соискателей ТюмГАСУ – Тюмень: 2007. – С. 48-51.

А.А. Безродный к.т.н.

Саратовский государственный технический университет,
факультет электронной техники и приборов, кафедра системотехники
Россия, Саратов,
BezrodnyAA@yandex.ru

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, МОДЕЛИ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ В СЕТЯХ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

В работе рассматриваются результаты системного анализа сетей автозаправочных станций. Представлены новые и усовершенствованы ранее созданные модели и методы повышения эффективности сетей АЗС, обсуждаются итоги их применения на действующих объектах.

Ключевые слова: системный анализ, имитационное моделирование, сложная система, автозаправочная станция, нефтепродуктообеспечение.

Введение

Сети автозаправочных станций (АЗС) как системы обеспечения нефтепродуктами предназначены для реализации моторных топлив конечным потребителям и оказывают существенное влияние на развитие государства и общества в целом [6]. В этой связи вопросы повышения их эффективности или совершенствования являются актуальными. К настоящему времени разработан целый ряд моделей и методов управления сложными системами топливно-энергетического комплекса. Однако в большинстве из них в качестве объекта исследования рассматривались системы межрегионального или общегосударственного уровней или же устройства АСУ ТП [4]. Кроме того, отсутствует единый комплекс взаимосвязанных моделей систем и методов решения задач их совершенствования. Наконец, появление новых видов автозаправочного оборудования, моторных топлив и схем обслуживания потребителей, неуклонный рост автотранспортных потоков, широкое внедрение АСУ и развитие региональных сетей АЗС вызывают необходимость в системном анализе и разработке новых моделей и методов повышения эффективности данных систем.

1. Результаты системного анализа сетей автозаправочных станций

Проблематика сетей автозаправочных станций состоит в сложности целей и требований среды и системы и взаимодействий между ними, многообразии объектов, процессов, событий и явлений различной природы, высокой интенсивности информационных, материальных, финансовых и энергетических потоков и необходимости повышения эффективности управления. Анализ объекта исследования и известных моделей показывает, что сети автозаправочных станций являются сложными человеко-машинными системами высокой размерности, задачи эффективного управления которыми являются задачами многокритериальной оптимизации. При изучении целесообразно выделить трех уровней иерархии: АЗС, обслуживающие потребителей, комплексы АЗС как взаимосвязанные объекты обеспечения функционирования АЗС и предприятия нефтепродуктообеспечения (НПО), поддерживающие долговременное взаимодействие АЗС с внешней средой. Общая задача состоит в создании управления на Δt (в зависимости от периода – построение структур $S = \langle X, U, \Gamma \rangle$ и выбор управляющих воздействий $\langle C, A, X, U, R \rangle$) обеспечивающих достижение максимального значения показателя K

$$K(S, \langle C, A, X, U, R \rangle, \Delta t) \rightarrow \text{extr}$$

1)

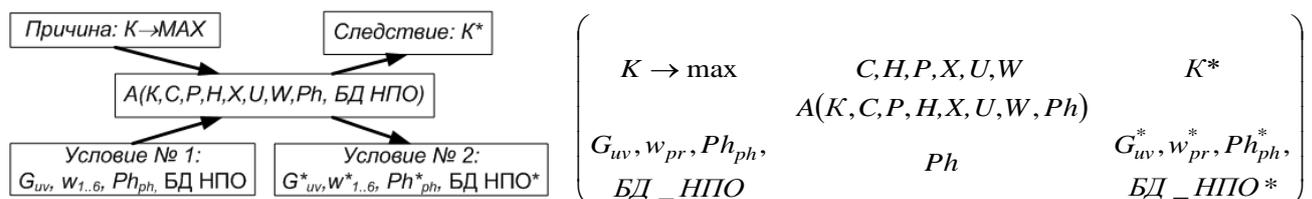
при общесистемных $K \in \bigcup_{u,v=1}^{U,V} G_{uv}$, частных $(K^{uv}, S, \Delta t) \in G_{uv}$, топологических $(K^{xy}, S^{xy}, \Delta t) \in G_{xy}$, структурных $(S, \Delta t) \in G_s$ и связанных с характеристиками средств управления $(K^{pq}, S, X, U, \Delta t) \in G_{pq}$ ограничениях. В (1) $K_{АЗС}$, $K_{Сеть}$, $K_{НПО}$ – векторные компоненты K уровней hi ($hi=1..3$); K^{uv} , K^{xy} , K^{pq} – векторные компоненты K по видам целей и требований среды G_{uv} (u – тип системы, $u=1..U$; v – вид системы, $v=1..V$), пространственным координатам x и y ($x=1..x_{max}$, $y=1..y_{max}$) и характеристикам средств управления X_{pq} (p – вид средства управления, $p=1..P$; q – уровень, $q=1..Q$); S и A – множества функций и алгоритмов управления; $\{U_{pq}\}$ – отношения между средствами управления; S и S^{xy} – множество видов структур; R – множество вариантов управлений; G , G_{uv} , G_{xy} , G_{pq} – множества целей и требований среды и системы, структурированные по видам; Γ – множество графов структур системы. В данной постановке задача не решается из-за высокой размерности, разнородности компонент и нелинейности их взаимодействия, что и обуславливает необходимость разработки новых и усовершенствования известных постановок и методов решения задач, показателей, моделей и структур, а также алгоритмов и информационно-логических схем принятия обоснованных решений и эффективного управления сетями АЗС.

2. Причинно-следственный подход для решения задач сетей АЗС

Для управления современными сложными системами необходимы анализ объектов, процессов, событий и явлений различной природы, моделирование поведения системы и синтез оптимальных управлений.

Для решения используется причинно-следственный подход [7], развитый на рассматриваемую предметную область [2]. Каждый объект, процесс, событие и явление имеет причину своего возникновения, изменения и связи с иными объектами, процессами, событиями и явлениями. Достижение целей управления моделируется цепью причинно-следственных связей. Решение задач в известных ситуациях заключается в задании лицом, принимающим решение (ЛПР), наиболее общей причинно-следственной связи, которая может быть интуитивно понятной, известной или теоретически и экспериментально доказанной. Далее проводится декомпозиция ее компонент с использованием моделей теории систем, теории управления и предметной области вплоть до обзримости ЛПР и возможности решения задач с помощью банка моделей предметной области (БД НПО). При недостаточности данных для решения задач проводится коррекция и последовательное уточнение решений по мере внедрения результатов и развития представлений о системе, среде и их взаимодействии.

Достижение глобальной цели систем нефтепродуктообеспечения «получение прибыли путем обслуживания потребителей» [6] осуществляется посредством приема, хранения и отпуска нефтепродуктов¹, обеспечения, обслуживания, подготовки персонала и т.п. Наиболее общая причинно-следственная связь (рис. 1), формулируется как достижение $K=\max$ на стадии Ph_{ph} ($ph=1..PH$) путем создания управлений по преобразованию ресурсов W_{pr} ($pr=1..Pr$, знания, оборудование, персонал, материалы, финансы, энергия) средствами и объектами управления в условиях G на интервалах H с помощью алгоритма A .



¹ Если не указано особо, под реализацией нефтепродуктов понимается и реализация сопутствующих товаров

Рис. 1 – Причинно-следственная связь выбора направления развития сетей АЗС

На рис. 1 «*» - результат после причинно-следственного взаимодействия

С использованием причинно-следственного подхода разработана методология рационального построения и непрерывного совершенствования структур сетей автозаправочных станций и эффективного автоматизированного управления процессами и объектами в данных системах [1]. В работе более подробно рассмотрены постановки и методы решения задач для комплексов АЗС.

3. Модели и методы решения задач повышения эффективности сетей АЗС

Сети автозаправочных станций в узком смысле или комплексы АЗС представляют собой совокупность объектов приема, хранения, транспорта и отпуска нефтепродуктов и обеспечения функционирования АЗС. Из наиболее общей причинно-следственной связи «обслуживания как можно большего числа потребителей» следует необходимость размещения АЗС с учетом параметров и характеристик потоков автотранспортных средств (АТС), улично-дорожных сетей (УДС) и самих объектов, а также требования минимального перераспределения потоков АТС внутри сети. Последнее положение служит для оценки верхней границы размера сети: ее дальнейший рост может привести к снижению удельных объемов реализации моторных топлив.

Задача размещения АЗС в местах максимальной интенсивности потоков АТС с учетом параметров объектов состоит в построении ориентированного мультиграфа $\Gamma_{Сеть}$, обеспечивающего $K_{Сеть} \rightarrow \max$ на $\Gamma_{УДС}$:

$$R_{Сеть}(\{q_{АТС,i}\}, G_{uv}^*) = \max, K_{Сеть} = (R_{Сеть} - П_{Сеть}) / C_{Сеть} \rightarrow \max, \Gamma_{Сеть} \subset \Gamma_{УДС}(V_i, E_j) \quad (2)$$

где $q_{АТС,i}$ – интенсивность потока АТС в точке $i, i=1..I$; $q_{АТС,n}$ – заданное значение интенсивности, $\Gamma_{УДС}(V_i, E_j)$ – граф УДС, $\{V_i\}$ – множество вершин ($i=1..I$), $\{E_j\}$ – множество ребер ($j=1..J$); q_{1i} и q_{2i} – искомые точки (1) и точки с известными значениями интенсивностей (2); G_{uv}^* – параметры АЗС [4], $R_{Сеть}$, $C_{Сеть}$ и $П_{Сеть}$ – доход, издержки и потери нереализованных вариантов развития. Множество узлов $\{V_i\}$ состоит из подмножеств, определяющих виды перекрестков, множество ребер $\{E_j\}$ учитывает характеристики транспортных потоков, дорожной разметки, наличие существующих АЗС и точек стока, истока и концентрации АТС (автостоянки и т.п.). При моделировании $\Gamma_{Сеть}$ и $\Gamma_{УДС}$ представляются в виде матриц смежности и инцидентий.

Причинно-следственная постановка задачи выглядит следующим образом:

$$\left(\begin{array}{c} K_{Сеть}(R_{Сеть}) \uparrow \\ A(K_{Сеть}, R_{Сеть}, G_{uv}^*, n_{АТС}, \Gamma_{Сеть}, \Gamma_{УДС}) \\ G_{uv}^*, n_{АТС}(t_{int}), \Gamma_{УДС}, I_1 \end{array} \right), \quad \left(\begin{array}{c} K_{Сеть}^* \\ \Gamma_{Сеть} \end{array} \right), \quad (3)$$

Информационно-логическая схема решения задачи дана на рис. 2.

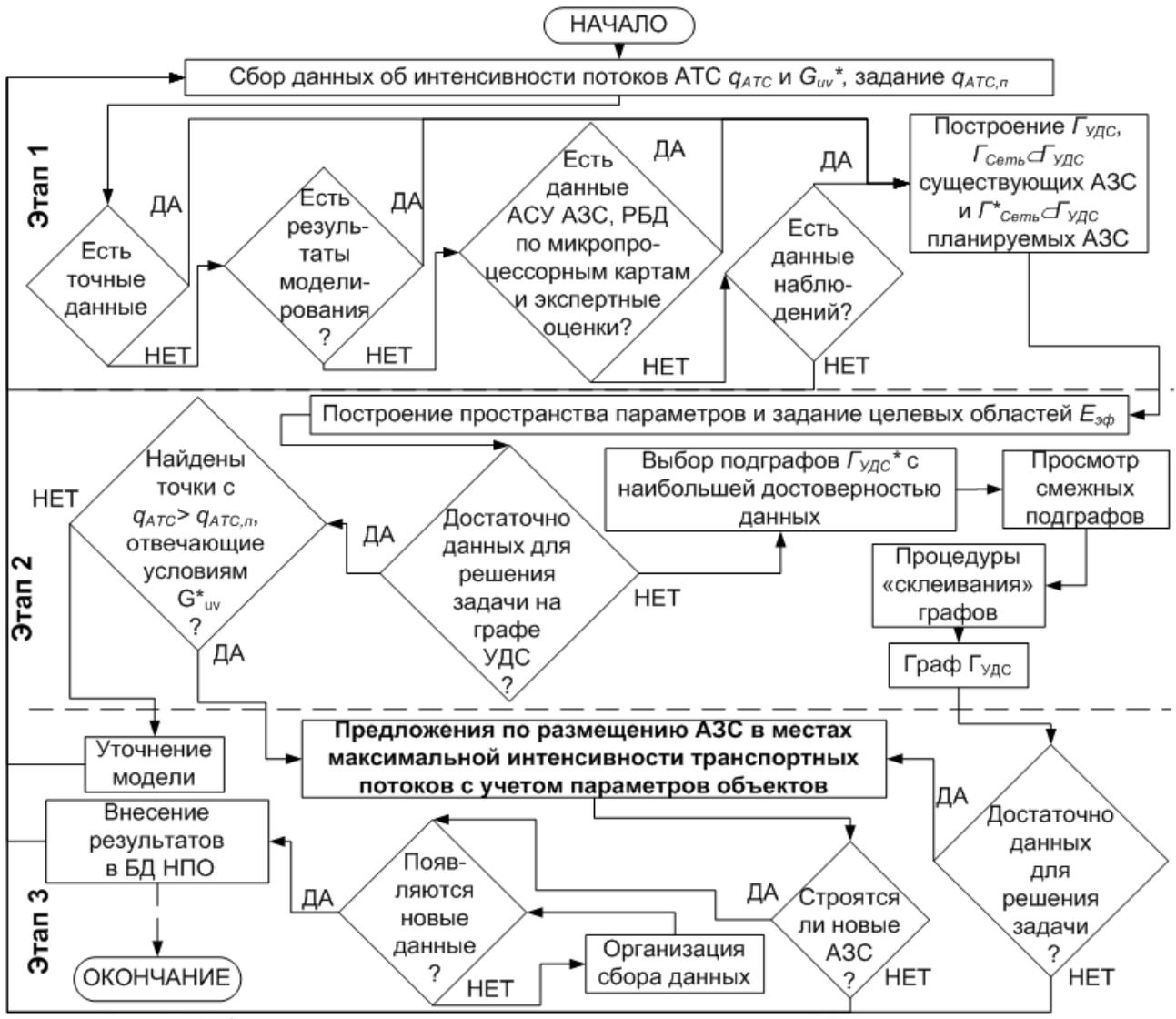


Рис.2. Информационно-логическая схема размещения АЗС в местах максимальной интенсивности потоков АТС с учетом параметров АЗС

Задача размещения АЗС с учетом характеристик УДС состоит в определении числа узлов $V_{i \leftrightarrow АЗС}$ графа $\Gamma_{УДС}$ и длин его линейных элементов $E_{j \leftrightarrow АЗС}$ между (\leftrightarrow) АЗС, обеспечивающих минимальные потери $\Pi_{Сеть}$ от перераспределения потоков АТС между объектами сети АЗС и $K_{Сеть} \rightarrow \max$:

$$\Pi_{Сеть}(V_{i \leftrightarrow АЗС}^*, E_{j \leftrightarrow АЗС}^*) \rightarrow \min, K_{Сеть} = (R_{Сеть} - \Pi_{Сеть}) / C_{Сеть} \rightarrow \max, \Gamma_{Сеть} \subset \Gamma_{УДС}$$

$$\exists \partial^k K / \partial V_{i \leftrightarrow АЗС}^k, \exists \partial^k K / \partial E_{j \leftrightarrow АЗС}^k, k > 2; K_{Сеть}(V_{i \leftrightarrow АЗС}) = \sum_{k=1}^K a_k V_{i \leftrightarrow АЗС}^k,$$

$$K_{Сеть}(E_{j \leftrightarrow АЗС}) = \sum_{k=1}^K a_k E_{j \leftrightarrow АЗС}^k; V_{i, \text{гранич}} \in \{V_i\}, E_{j, \text{гранич}} \in \{E_j\};$$

$$\forall \varepsilon > 0 \exists \delta_{1,2} > 0, \Delta V_{i \leftrightarrow АЗС} < \delta_1, \Delta E_{j \leftrightarrow АЗС} < \delta_2, \Delta K < \varepsilon$$

Задача решается путем анализа зависимостей $R_{Сеть}$ и $K_{Сеть}$ от числа равнозначных и неравнозначных перекрестков $V_{i \leftrightarrow АЗС}$ и длин улиц и дорог $E_{j \leftrightarrow АЗС}$, аппроксимации данных зависимостей и нахождения особых точек: точек перегиба, точек $R_{Сеть} / V_{i \leftrightarrow АЗС} = \max$, $R_{Сеть} / E_{j \leftrightarrow АЗС} = \max$ и т.п. Указанные точки обеспечивают $K_{Сеть} \rightarrow \max$ и

$R_{Сеть} = \max$, то есть минимальные потери $\Pi_{Сеть} = \min$ от перераспределения потоков между объектами одноименной сети. Соответствующие им $V_{i, \leftrightarrow АЗС}^*$ и $E_{j, \leftrightarrow АЗС}^*$ для различного числа АЗС r являются характеристиками графа $\Gamma_{Сеть}$, обеспечивающие наилучшее по $K_{Сеть}$ размещение АЗС.

Информационно-логическая схема решения задачи дана на рис. 3.



Рис. 3. Информационно-логическая схема размещения АЗС с учетом характеристик УДС

Задача управления развитием комплексов АЗС состоит в повышении $K_{Сеть}$ с использованием ранее созданных моделей и уточнением по мере развития:

$$K_{Сеть}(q_{АТС}, G_{ув}, r, V_{i \leftrightarrow АЗС}, E_{j \leftrightarrow АЗС}) \rightarrow \max K_{Сеть_АЗС}^* > K_{Сеть_АЗС}, \exists G_{ув}^*, V_{i \leftrightarrow АЗС}^*, E_{j \leftrightarrow АЗС}^*, \quad (5)$$

$$K_{Сеть} = \sum_{k=1}^K a_k r^k, \exists \partial^k K / \partial r^k, k > 2; V_{i, zp} \in \{V_i\}, E_{j, zp} \in \{E_j\}; \forall \varepsilon > 0 \exists \delta_1 > 0, \Delta r < \delta, \Delta K < \varepsilon$$

Информационно-логическая схема решения задачи представлена на рис. 4.

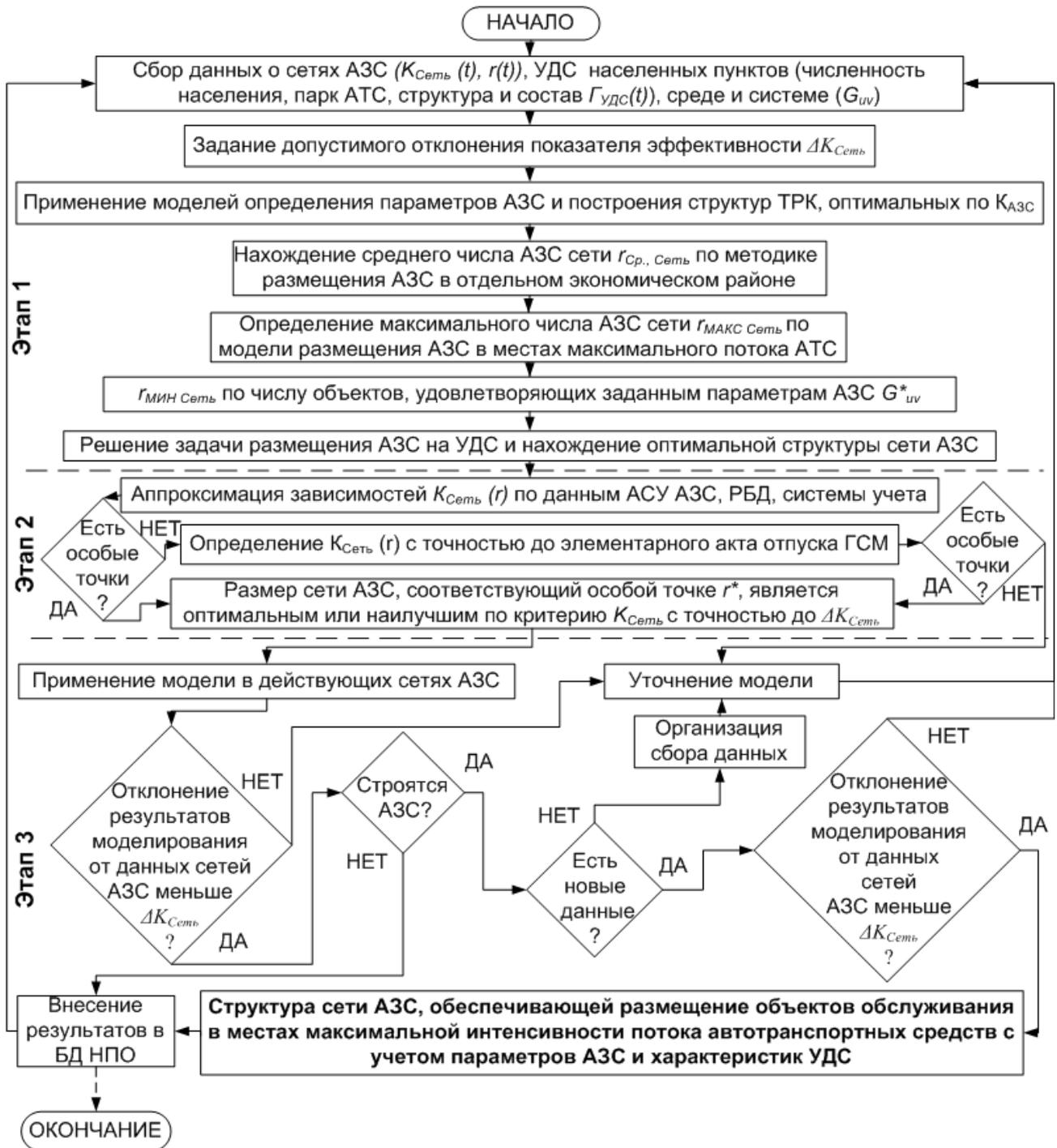


Рис. 4. Информационно-логическая схема решения задачи управления развитием комплексов автозаправочных станций

При решении задачи используются ранее созданные модели, в том числе и рассмотренные в работе. Проводится аппроксимация зависимости $K_{Сеть}(r)$ и определение оптимального или наилучшего по критерию $K_{Сеть}$ числа АЗС, соответствующего особой в заданном выше смысле точке r^* .

4. Результаты применения

Показано [1, 5], что до 80 % потока автотранспортных средств типичной сети автозаправочных станций может быть обслужен меньшим числом объектов. Найдено число объектов и характеристики улично-дорожных сетей, обеспечивающие минимальное перераспределение потоков АТС между объектами сети для малого и среднего (до 1,5 млн.

жителей) городов предприятий НПО, эксплуатирующих менее 25 % АЗС региона. Обосновано размещение сетей АЗС в малых городах новых регионов присутствия предприятия НПО вертикально-интегрированной нефтяной компании. Адекватность подтверждается близостью известных и вновь созданных моделей, достоверность результатов – статистическими данными за 12 летний период наблюдения, обоснованность выводов – многократным применением.

Заключение

1. Для решения проблемы повышения технико-экономических показателей сетей автозаправочных станций при недостаточности известных моделей и методов для решения современных практических задач сформулирован системный причинно-следственный подход, проведено моделирование поведения системы, построены структуры и выбраны управляющие воздействия, оптимальные или наилучшие по заданным критериям.

2. На основе предложенного подхода разработаны взаимоувязанные постановки и методы решения задач рационального размещения сетей АЗС с учетом параметров и характеристик автотранспортных потоков, улично-дорожных сетей и автозаправочных станций.

3. Созданные модели и методы используются на предприятиях нефтепродуктообеспечения и в обслуживающих их сервисных организациях в Саратовской, Пензенской, Воронежской, Белгородской и Тамбовской областях.

Список использованной литературы:

1. Безродный А.А. Методология совершенствования систем нефтепродуктообеспечения / А.А. Безродный // Мехатроника, автоматизация, управление: материалы 7-й науч.-техн. конф. – СПб.: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2010. – С. 70-73.

2. Безродный А.А. Модели комплексов причинно-следственных связей систем нефтепродуктообеспечения / А.А. Безродный // Актуальные задачи управления социально-экономическими и техническими системами. Саратов: Научная книга, 2008. С. 92-113.

3. Безродный А.А. Модели структур и алгоритмы управления автозаправочными станциями / А.А. Безродный, А.Ф. Резчиков. – Саратов: СГТУ, 2004. – 249 с.

4. Безродный А.А. Оценка эффективности автозаправочных станций / А.А. Безродный // Системы управления и информационные технологии. 2009. № 1.1 (35). С. 121-125.

5. Безродный А.А. Повышение эффективности управления сетями автозаправочных станций / А.А. Безродный // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2010. № 2. С. 41-51.

6. Давлетьяров Ф.А. Нефтепродуктообеспечение / Ф.А. Давлетьяров, Е.И. Зоря, Д.В. Цагарели. – М.: ИЦ «Математика», 1998. – 662 с.

7. Резчиков А.Ф. Причинно-следственные комплексы взаимодействий в производственных процессах / А.Ф. Резчиков // Проблемы управления. – 2010. – № 3. – С. 51-59.

05.17.08.

В.Ф. Беккер к.т.н., И.Ф. Киссельман

Пермский государственный технический университет,
Березниковский филиал, кафедра автоматизации технологических процессов,
кафедра технологии и механизации производства
Россия, Березники,
bekker@bf.pstu.ac.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОЛОННЫ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОДВИЖНОЙ НАСАДКОЙ

На основе математического описания физико-химических процессов, сопровождающих абсорбцию в трехфазной гидродинамической структуре потоков, инициируемой в рабочем объеме колонны вращающейся подвижной насадкой, выполнен анализ влияния конструктивных параметров на эффективность технологического процесса. Критерий многопараметрической оптимизации представляет компромисс между интенсивностью и энергозатратами. Получены оптимальные величины конструктивных параметров.

Ключевые слова: абсорбция, подвижная насадка, аммиак, оптимизация, конструктивные параметры.

Объектом исследования является промышленная колонна с вращающейся подвижной насадкой. Корпус колонны изготовлен в виде цилиндрической царги диаметром $D_c = 1,8$ м, секционированной провальными решетками колосникового типа с долей свободного сечения $f = 0,45$ и ограничительной решеткой. Подвижная насадка изготовлена из полиэтилена в виде полых шаров диаметром $d_{\phi} = 0,035$ м со смещенным центром масс относительно геометрического центра насадки [1, 2] и кажущейся плотностью $\rho_{\phi} = 300$ кг/м³. Высота статического слоя насадки в каждой секции $\dot{I}_{\text{нб}} = 0,5$ м. Газовая фаза, объемный расход которой V_a , содержащая y_1 поглощаемого компонента – аммиака, подается под распределительную решетку первой секции. Абсорбент, объемный расход которого V_x , подается на орошение насадки через специальное рассеивающее устройство в верхней части аппарата. Выходной переменной, характеризующей эффективность абсорбции, является концентрация аммиака в газовом потоке на выходе из абсорбера y_2 . Математическая модель такого аппарата и оценка чувствительности этой модели к изменению основных конструктивных параметров приведена в [3].

В качестве режимно-технологических параметров, характеризующих исходное состояние объекта оптимизации, приняты объемный расход газа $V_r = 30000$ м³/ч; объемный расход жидкости $V_{\text{ж}} = 50$ м³/ч; температура в колонне $t = 20$ °С; начальная концентрация аммиака в газе $y_1 = 1,2$ г/м³.

Процедура оптимизации конструкции колонны выбрана в виде прямого поиска методом поочередного изменения переменных (метод Гаусса-Зейделя), который реализует последовательный одномерный поиск, т. е. на каждом этапе ведется поиск по одному параметру при фиксированных значениях всех остальных. В качестве варьируемых конструктивных параметров выбраны основные из параметров, определяющих эффективность процесса абсорбции [5]:

- доля свободного сечения опорно-распределительной решетки f ;

- статическая высота слоя насадки $H_{ст}$;
- плотность материала насадки $\rho_{ш}$;
- диаметра аппарата D_k .

Реализация вычислительного эксперимента проводилась с помощью математического пакета MathCAD.

На первом этапе в качестве целевой функции принята степень извлечения газообразного компонента $\phi(f, H_{ст}, \rho_{ш})$ при фиксированных режимных параметрах: расходе газа $V_r = 30000 \text{ м}^3/\text{ч}$, объемном расходе жидкости $V_{ж} = 50 \text{ м}^3/\text{ч}$, начальной концентрации аммиака в газе $y_1 = 1,2 \text{ г}/\text{м}^3$. Величина гидравлического сопротивления абсорбера на этом начальном этапе оптимизации не учитывалась.

На рис. 1 и 2 представлены результаты варьирования долей свободного сечения в диапазоне $f = 0,25 \div 0,7$ и высотой статического слоя в диапазоне $H_{ст} = 0,1 \div 0,45 \text{ м}$ при постоянной плотности материала насадки $\rho_{ш} = 300 \text{ кг}/\text{м}^3$ и диаметре колонны $D_k = 1,8 \text{ м}$. На рис. 3 приведены результаты варьирования плотностью насадки при постоянных значениях доли свободного сечения $f = 0,45$ и диаметре колонны $D_k = 1,8 \text{ м}$.

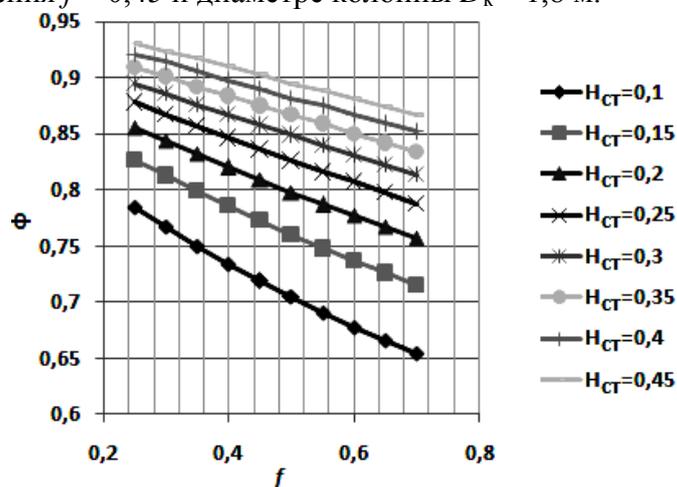


Рис. 1 – Зависимости степени извлечения аммиака от доли свободного сечения решетки при различной статической высоте слоя подвижной насадки.

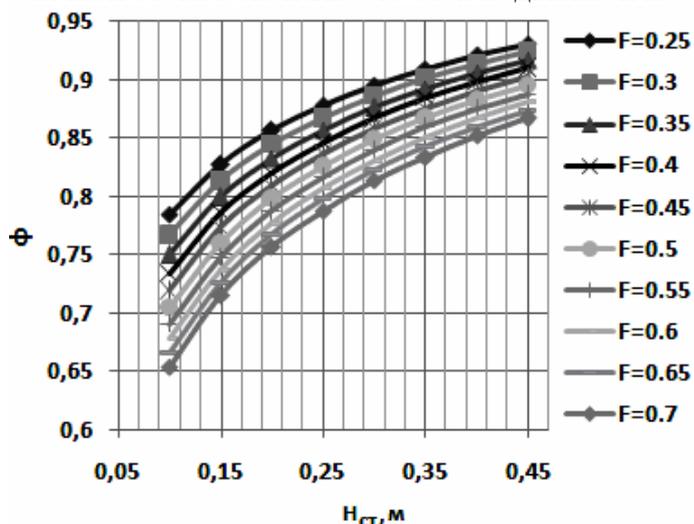


Рис. 2 – Зависимости степени извлечения аммиака от высоты статического слоя насадки при различной доле свободного сечения решетки.

Выявлено, что зависимость $\varphi(f)$ является монотонно убывающей, а зависимости $\varphi(H_{ст})$ и $\varphi(\rho_{ш})$ – монотонно возрастающие функции. Функции $\varphi(f)$, $\varphi(H_{ст})$ и $\varphi(\rho_{ш})$ имеют экстремумы на границах заданных диапазонов параметров: наибольшим значениям степени извлечения соответствуют наименьшие значения доли свободного сечения решетки, наибольшие значения высоты статического слоя и максимальной плотности насадки.

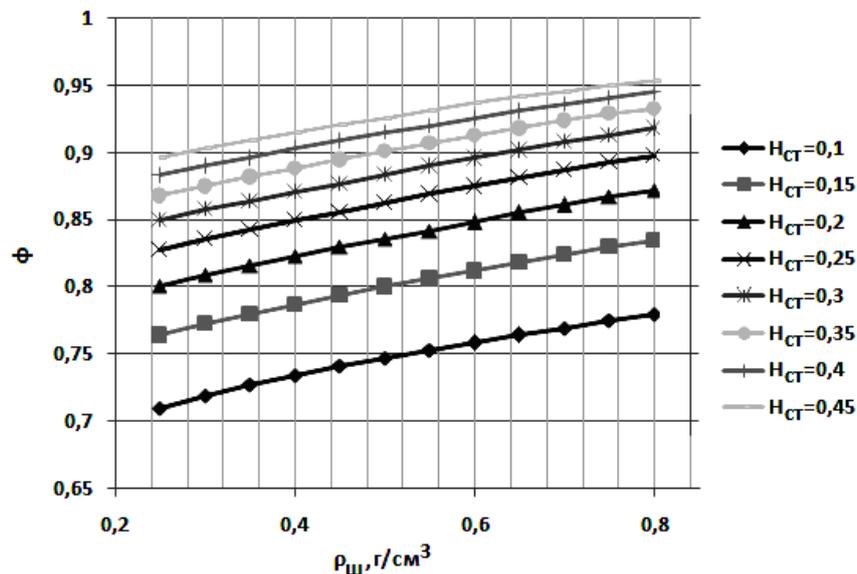


Рис. 3 – Зависимости степени извлечения аммиака от плотности материала насадки при различной статической высоте слоя насадки.

При варьировании долей свободного сечения решетки и высотой статического слоя получено максимальное значение целевой функции $\varphi=0,931$ при $f = 0,25$ и $H_{ст} = 0,45$ м, а при варьировании плотностью насадки максимальное значение $\varphi = 0,954$ соответствует $\rho_{ш} = 800$ кг/м³.

Для максимизации степени извлечения φ исключаются большие доли свободного сечения f . Однако и малые значения f ограничены величиной каплеуноса q , который возрастает с уменьшением доли свободного сечения f решетки в соответствии со следующей зависимостью [4] (здесь w – скорость газа, а U – плотность орошения):

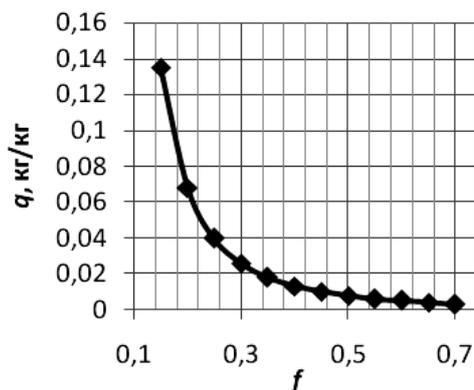
$$q = 0,31 \cdot 10^{-9} \cdot w^9 \cdot U^{0,75} \cdot f^{-2,4}.$$


Рис. 4 – Зависимость каплеуноса от доли свободного сечения опорно-распределительной решетки.

Приведенная на рис. 4 зависимость $q(f)$ свидетельствует о резком росте уноса капель жидкости при значениях $f < 0,3$. Каплеунос для заданного расхода газа $V_r = 40000$ м³/ч при $f = 0,3$ составляет $q=0,026$ кг/кг, т.е. за каждый час работы колонны вместе с газом будет

уноситься около $1,25 \text{ м}^3$ жидкой фазы. Следовательно, каплеунос q , ограничивая снизу величину доли свободного сечения f , ограничивает и степень извлечения аммиака ϕ .

На втором этапе оптимизации конструкции колонны в качестве целевой функции рассматривалось гидравлическое сопротивление $\Delta P(f, H_{ст}, \rho_{ш})$ при фиксированных режимных параметрах $V_r = 40000 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $V_{ж} = 50 \text{ м}^3/\text{ч}$. Степень извлечения ϕ на этом этапе не учитывалась. Результаты вычислительного эксперимента на втором этапе представлены на рис. 5, 6 и 7.

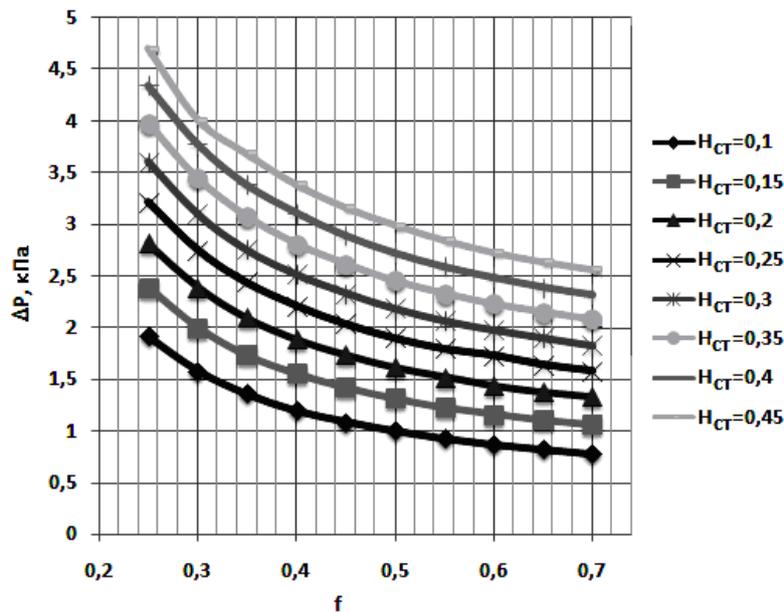


Рис. 5 – Зависимости гидравлического сопротивления от доли свободного сечения при различной статической высоте слоя насадки.

Полученная зависимость $\Delta P(f)$ является монотонно убывающей, а зависимости $\Delta P(H_{ст})$ и $\Delta P(\rho_{ш})$ – монотонно возрастающие функции, не имеющими экстремумов. Минимальные значения гидравлического сопротивления $\Delta P=0,78 \text{ кПа}$ получены при варьировании параметров f и $H_{ст}$. При варьировании плотностью насадки минимальное значение $\Delta P=1,03 \text{ кПа}$ соответствует плотности насадки $\rho_{ш} = 800 \text{ кг/м}^3$, доле свободного сечения $f = 0,45$ и статической высоте слоя насадки $H_{ст} = 0,1 \text{ м}$.

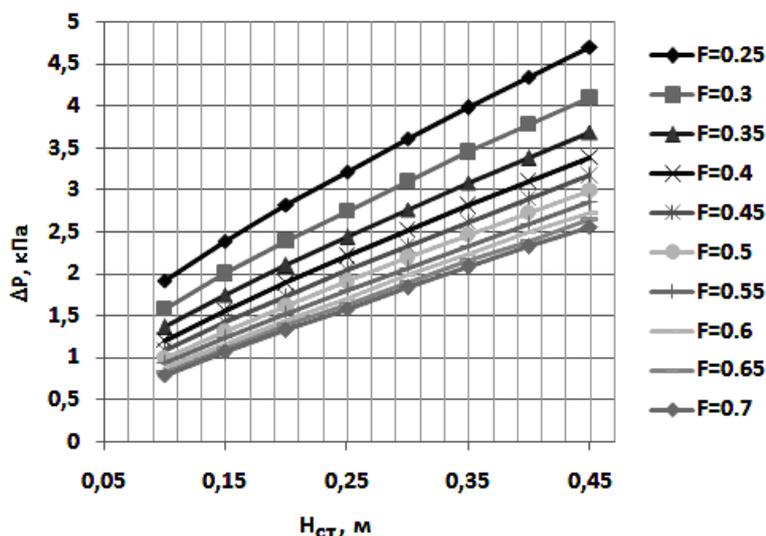


Рис. 6 – Зависимость гидравлического сопротивления от высоты статического слоя насадки для различных долей свободного сечения решетки.

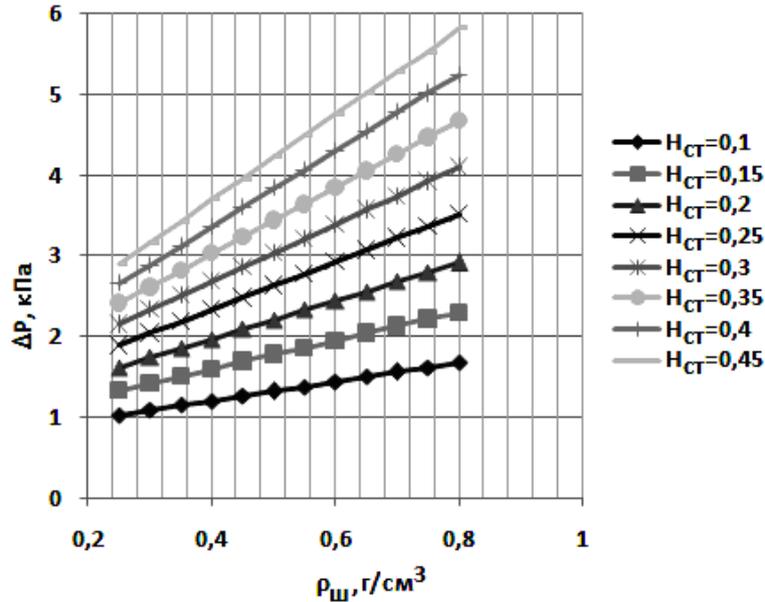


Рис. 7 – Зависимость гидравлического сопротивления от плотности материала насадки при различной статической высоте слоя насадки.

Поиск доли свободного сечения решетки f , статической высоты слоя $H_{ст}$ и плотности материала насадки $\rho_{ш}$, соответствующих максимуму удельной интенсивности абсорбции $a(f, H_{ст}, \rho_{ш})$ дал аналогичные результаты с экстремумами на границах заданных диапазонов изменения параметров f , $H_{ст}$ и $\rho_{ш}$. Результаты вычислительного эксперимента по исследованию зависимости $a(D_k)$ удельной интенсивности абсорбции a варьированием диаметра колонны D_k при $f = 0,4$ и $\rho_{ш} = 300 \text{ кг/м}^3$ приведены на рис. 8.

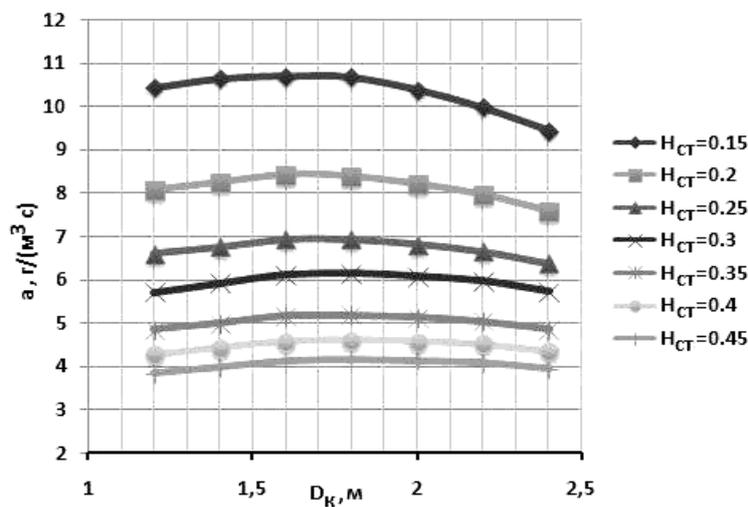


Рис. 8 – Зависимость удельной интенсивности от диаметра колонны при различных значениях статической высоты слоя.

Функция удельной интенсивности абсорбции $a(D_k)$ имеет максимум при значении диаметра колонны $D_k = 1,7 \text{ м}$. Это значение диаметра колонны является оптимальным для выбранного диапазона режимно-технологических параметров и может быть рекомендовано для использования в качестве базового значения при дальнейшем поиске других конструктивных параметров.

Итак, выявлено, что оптимизация как по степени извлечения газообразного компонента $\varphi(f, H_{ст}, \rho_{ш})$, так и по гидравлическому сопротивлению $\Delta P(f, H_{ст}, \rho_{ш})$ дает экстремальные значения на границах диапазонов варьирования доли свободного сечения f , статической высоты слоя $H_{ст}$ и плотности материала насадки $\rho_{ш}$.

Значительно больший интерес представляет компромиссная оптимизация конструкции колонны, обеспечивающая наряду с интенсификацией абсорбции еще и снижение энергетических затрат на продувку псевдоожижающего газового потока через аппарат. В качестве показателей, количественно характеризующих эти две составляющие, выбраны удельная интенсивность абсорбции a и гидравлическое сопротивление ΔP . С учетом обоснованных выше рекомендаций диаметр колонны выбран равным $D_k=1,7$ м.

Обобщенный (компромиссный) критерий оптимизации Φ был найден из условия эквивалентности вклада составляющей эффективности процесса, характеризуемой удельной интенсивностью абсорбции, и составляющей энергопотребления, характеризуемой величиной гидравлического сопротивления аппарата. Учитывая, что диапазон изменения гидравлического сопротивления равен 5 кПа, а диапазон изменения удельной интенсивности – 15 г/(м³с), с помощью весовых коэффициентов составляющие критерия Φ были приведены сначала к одинаковой размерности – Па, а затем выбраны их числовые величины, равные $k_1 = 1$ и $k_2 = 0,33 \cdot 10^3$ (м²/с).

Обобщенный критерий оптимизации Φ был представлен в виде

$$\Phi = k_1 \cdot \Delta P - k_2 \cdot \dot{a},$$

где, $k_1 = 1$ и $k_2 = 0,33 \cdot 10^3$ (м²/с) – весовые коэффициенты для частных критериев оптимальности – удельной интенсивности абсорбции a и гидравлического сопротивление ΔP .

Формулировка задачи оптимизации записана в виде

$$\Phi(\Delta P, \dot{a}) \Rightarrow \min_{\Delta P, \dot{a}} |k_1 \cdot \Delta P - k_2 \cdot \dot{a}|$$

$f_{\min} < f < f_{\max}$
 $\dot{I}_{\text{нò min}} < \dot{I}_{\text{нò}} < \dot{I}_{\text{нò max}}$
 $\rho_{\phi \text{ min}} < \rho_{\phi} < \rho_{\phi \text{ max}}$
 $D_{\hat{e}} = \text{const}$

Поисковая процедура пошаговых итераций в точках расчета была совмещена с найденными на предыдущих этапах поиска оптимальными значениями конструктивных параметров. Зависимости составляющих компромиссного критерия Φ от конструктивных параметров $f, H_{ст}, \rho_{ш}$ представлены соответственно на рис. 9, 10 и 11.

Границы области выполненного поиска и полученные оптимальные значения конструктивных параметров $f, H_{ст}, \rho_{ш}, D_k$ приведены в таблице.

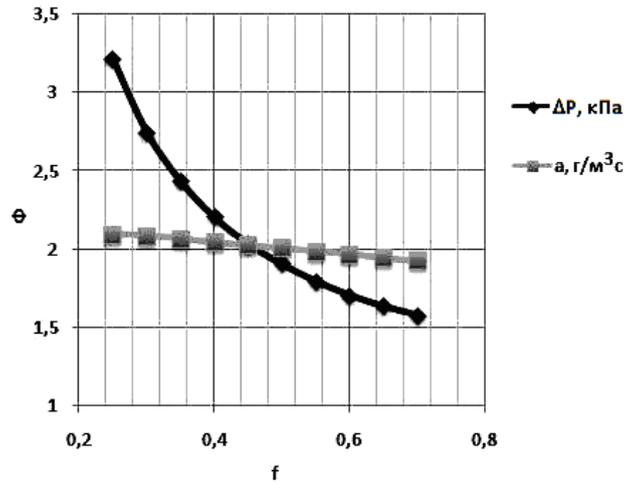


Рис. 9 – Составляющие компромиссного критерия Φ при изменении доли свободного сечения.

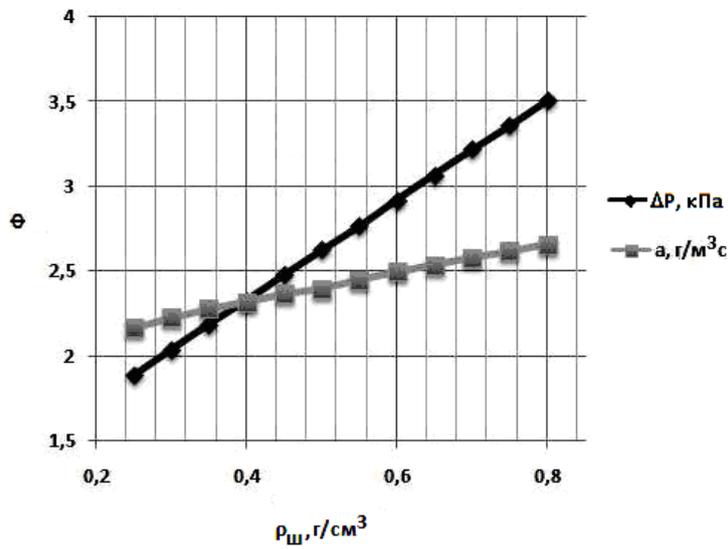


Рис. 10 – Составляющие компромиссного критерия Φ при изменении плотности материала насадки.

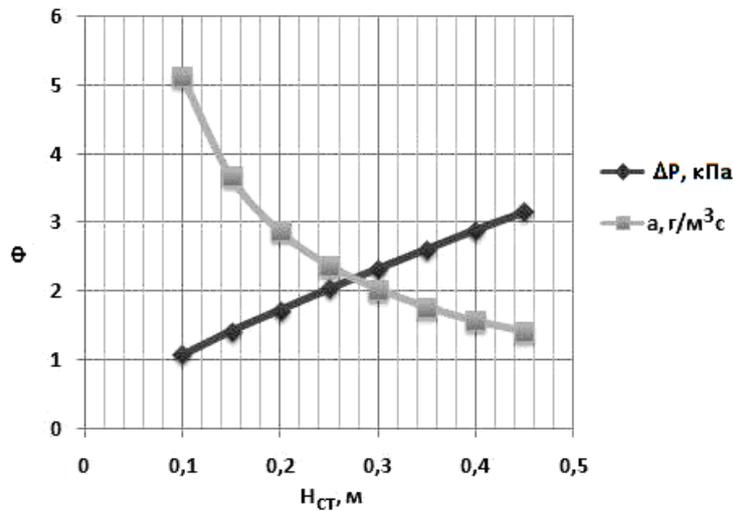


Рис. 11 – Составляющие компромиссного критерия Φ при изменении высоты статического слоя насадки.

Таблица – Результаты оптимизационных исследований конструктивных параметров колонны с вращающейся подвижной насадкой.

Параметр конструкции	Диапазон изменения	Перепад давления, кПа	Удельная интенсивность, г/м ³ ·с	Весовой коэффициент		Оптимальное значение
				k_1	$k_2 \cdot 10^3, \text{ м}^2/\text{с}$	
Диаметр колонны, м	2,40 ... 1,00	1,4 ... 4,7	6,4 ... 6,6	–	–	1,700
Высота статического слоя, м	0,45 ... 0,10	3,2 ... 1,1	4,2 ... 14,9	1,00	0,33	0,275
Доля свободного сечения	0,70 ... 0,25	1,6 ... 3,2	6,5 ... 7,3	1,00	0,33	0,450
Плотность насадки, кг/м ³	800 ... 250	3,5 ... 1,9	8,6 ... 6,7	1,00	0,33	400

Выводы.

1. Выполнен анализ влияния конструктивных параметров на эффективность технологического процесса и на требуемые для его проведения энергозатраты, количественно оцениваемые соответственно степень абсорбции и гидравлическим сопротивлением аппарата.

2. Веден новый критерий эффективности абсорбции в колонне с вращающейся подвижной насадкой – удельная интенсивность абсорбции, показывающий какое количество газа поглощается одним кубическим метром объема псевдооживленного слоя в единицу времени.

3. Предложен критерий многопараметрической оптимизации в виде компромисса между удельной интенсивностью и энергозатратами.

4. Получены оптимальные величины конструктивных параметров.

Список литературы:

1. Беккер В.Ф. Управление структурой потоков в аппаратах химической технологии. Пермь: ПГТУ, – 2010. – 208 с.
2. Беккер В.Ф., Кафаров В.В., Шумихин А.Г., Черепанов А.И. Влияние распределения массы по объему насадочного тела на интенсивность гидродинамических процессов в трехфазном псевдооживленном слое. ТОХТ Том XXII. 1988.– С.581–582.
3. Беккер В.Ф., Киссельман И.Ф. Математическое моделирование абсорбции аммиака в колонне с вращающейся подвижной насадкой. Научно-технический вестник Поволжья, №1, 2011.
4. Заминян А.А., Рамм В.М. Абсорберы с псевдооживленной насадкой. М.: Химия, 1980. – 184 с.
5. Киссельман, И.Ф., Беккер В.Ф. Влияние параметров конструкции на интенсивность абсорбера с вращающейся псевдооживленной насадкой Математические методы в технике и технологиях: Сб. трудов XXII Междунар. науч. конф., Т. 4.– Псков: ПГПИ, 2009. – С.25-26.

Д.М. Бенин

ОАО «Проектный портал», инженер
Россия, Москва,
dmitrij552@mail.ru

ОДИН ИЗ СПОСОБОВ АВТОМАТИЗАЦИИ НАПОРНЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Рассмотрены основные зависимости, определяющие коэффициент расхода гидродинамических стабилизаторов и диапазон стабилизации по напорам. Приведены данные гидравлических испытаний стабилизаторов с улучшенной формой поточной части.

Ключевые слова: водовыпуск, автоматизация, напорные трубопроводы, местные сопротивления

Автоматизация работы водопропускных сооружений позволяет решать задачи, связанные с высвобождением трудовых ресурсов, обеспечением минимума непроизводительных потерь воды и энергетических затрат, а также оптимизации технологических параметров водохозяйственных систем. В настоящее время применение получили автоматические устройства затворного типа, использующие гидравлические свойства струи при истечении из-под щита. К ним относятся стабилизаторы расхода Э.Э. Маковского, коробчатые щиты Я.В. Бочкарева, коробчатые моноблочные стабилизаторы с подвижным дисковым клапаном, стабилизаторы расхода с донным гидроприводом управления. Отказы и повреждения типового механического оборудования часто значительно снижают эксплуатационные качества сооружений.

Наиболее надежными являются гидроавтоматы, в которых отсутствуют как механические подвижные части, так и всевозможные датчики, подающие сигнал для начала процесса регулирования. Впервые исследования в области гидродинамических регуляторов расхода, сигналом для работы которых будут непосредственные колебания одного из бьефов, были начаты во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации им. А.Н.Костякова и затем продолжены в Московском государственном университете природообустройства [1]. Основное условие работы гидродинамических стабилизаторов – наличие двух напорных потоков – управляющего q , подаваемого из любого бьефа, и транзитного Q , подаваемого из верхнего бьефа в нижний. Устройство диффузорной выходной части позволяет не только увеличить пропускную способность водовыпуска (по аналогии с отсасывающими трубами гидротурбин), но и снизить пьезометрическую линию, обеспечив возможность подачи управляющего расхода самотеком из любого бьефа.

Пропускная способность стабилизаторов оценивается формулой:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH},$$

где μ – коэффициент расхода водовыпуска, отнесенный к площади поперечного сечения ω , $\mu = f\left(\frac{q}{Q}\right)$; H – действующий напор.

Относительный коэффициент расхода транзитного потока по сжатому сечению в процессе стабилизации определяется по зависимости:

$$\mu' = \frac{\mu_{m.c.}}{\mu_{m.c.0}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\zeta_{n.c.} \cdot (1+m)^2 + m[(2+m)\zeta_{\delta} + (1+m) \cdot \Delta\alpha]}{\zeta_{m.c.} + \zeta_{\delta}}}}, \quad (1)$$

где $\mu_{m.c.0}$ – коэффициент расхода, вычисленный по сжатому сечению без подачи расхода управления $\mu_{m.c.0} = \frac{1}{\sqrt{\zeta_{ex} + \zeta_n + \zeta_{\delta}}}$, здесь $\zeta_{вх}$ – коэффициент сопротивления на вход в транзитный водовод, ζ_{δ} – коэффициент сопротивления диффузора при работе в бьеф; $\mu_{m.c.}$ – коэффициент расхода транзитного потока при стабилизации. $\zeta_{n.c.}$ – коэффициент сопротивления транзитного потока на проход в камере слияния, принимается по зависимостям для вытяжных тройников; m – относительный регулирующий расход, $m = \frac{q}{Q}$; $\Delta\alpha = \alpha_{c.m.} - \alpha_{c.y.}$ – разница между коэффициентами Кориолиса транзитного $\alpha_{c.m.}$ и управляющего потока $\alpha_{c.y.}$ в сжатом сечении; $\zeta_{m.c.}$ – коэффициент сопротивления транзитного водовода до камеры слияния, как правило $\zeta_{m.c.} = \zeta_{ex}$.

Управляющий расход возникает при приращении напора на величину ΔH , поэтому уровень верхнего бьефа при стабилизации однозначно связан с уровнем воды в управляющей камере полученной зависимостью [2]:

$$\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\zeta_{n.c.} \cdot (1+m)^2 + m[(2+m)\zeta_n + (1+m) \cdot \Delta\alpha]}{\zeta_{T.c.} + \zeta_n} - 1, \quad (2)$$

где H_0 – напор на сооружение при уровне верхнего бьефа, совпадающем с отметкой водослива.

Это основное уравнение, на основании которого выполнялся анализ факторов, влияющих на рост диапазона стабилизации по напорам. Наибольший диапазон стабилизации по напору обеспечивают диффузоры со степенью расширения $n_1=4$ и $n_1=6$, при одинаковой площади подвода потока управления различия между ними незначительны. При равном угле расширения диффузор с меньшей степенью расширения будет более коротким, поэтому целесообразнее выбирать именно его. Увеличение угла расширения для сокращения длины диффузора вызывает наличие отрывного течения в его пределах. Уменьшить сопротивление и предотвратить вихреобразование можно устройством разделительных стенок. В существующих стабилизаторах были использованы диффузоры со степенью расширения 2.25 и менее, что не позволило получить более высокие диапазоны стабилизации по напору.

В качестве оптимальных (технологически простых и имеющих более высокий диапазон стабилизации) предложены конструкции с углом подвода управляющего потока $\beta=90^{\circ}$, отношением площадей управляющего и транзитного водоводов 0,6 при двух вариантах плоских диффузоров со степенью расширения $n_1=4$ – с углом расширения диффузора – 8° и 30° (укороченный диффузор с двумя разделительными стенками). При предлагаемом изменении проточной части достигается повышение пропускной способности водовыпусков до 1.5 раз при отсутствии подачи расхода управления.

Модели стабилизаторов были испытаны в лаборатории гидравлики Московского государственного университета природообустройства (рис.1). Статистическая обработка гидравлического эксперимента выполнялась согласно ГОСТ Р ИСО 5725 – 2002 и включала отсеивание выбросов по критерию Граббса, проверку соответствия полученных экспериментальных значений нормальному распределению по критерию Крамера-Мизеса-Смирнова (что необходимо при выборе способа построения границ доверительных интервалов для средних) и оценку точности результатов измерений [3]. Для доверительной вероятности 95% предельные суммарные (систематические и случайные) ошибки составили:

расход – 1,8%, давление – 1%, скорость – 4,4%, гидравлическое трение – 1,7%, местные сопротивления – 3,3%, коэффициент расхода – 1,1%.

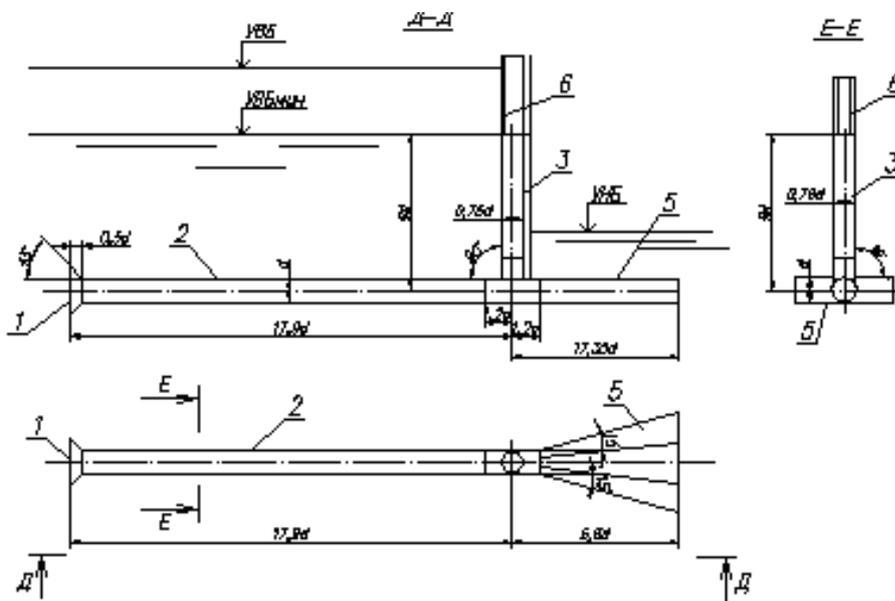


Рис.1. Вариант гидродинамического стабилизатора с подачей расхода управления со стороны верхнего бьефа.

Экспериментальные данные и теоретическая зависимость пропускной способности стабилизаторов ф.(1) показали достаточное совпадение. Управляющий расход при гидродинамической стабилизации выполняет роль «насадка», эффективно сжимающего транзитный поток и снижающего его коэффициент расхода на 50% для укороченных диффузоров с разделительными стенками и на 60% для плоских диффузоров. В стабилизаторах по верхнему бьефу существующих конструкций максимальное снижение μ' при углах подвода потока управления $\beta=90^0$ составляло 40%. Стабилизаторы с улучшенной проточной частью имеют более эффективное снижение пропускной способности.

Сравнение диапазонов стабилизации экспериментально исследованных конструкций приведено на рис.2. Можно проследить удовлетворительное совпадение теоретических ф.(2) и экспериментальных значений. Диапазон стабилизации по напорам составляет $\frac{\Delta H}{H_0} = 1,2$ и

$\frac{\Delta H}{H_0} = 0,8$. В существующих конструкциях стабилизаторов при угле подвода управляющего потока 90^0 и относительной управляющей площади 0,6 предел стабилизации по напорам составил 0,63. Предлагаемое изменение проточной части увеличивает диапазон стабилизации в 1,27...1,9 раз, что подтверждается гидравлическим экспериментом.

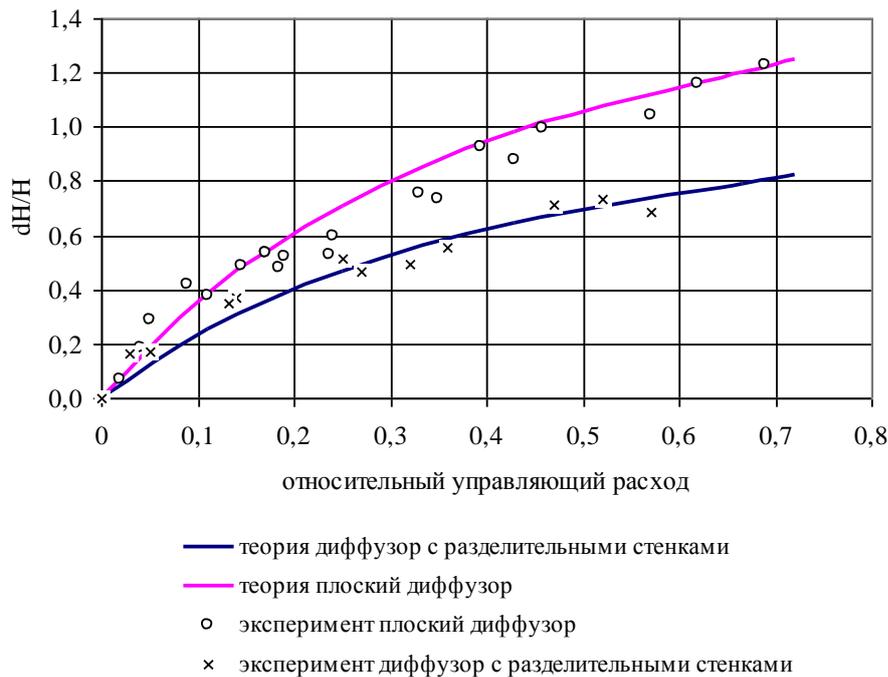


Рис.2. Диапазон стабилизации по напору для различных форм исполнения низового участка.

Связь роста уровня верхнего бьефа над кромкой водослива, через который поступает управляющий расход, и подачи водослива, необходимой для стабилизации, описывалась

кривыми вида
$$\frac{q}{Q_0} = k \left(\frac{\Delta H}{H_0} \right)^{3/2},$$

где k – коэффициент, постоянный для каждого из видов проточной формы гидродинамических стабилизаторов.

Точность стабилизации – процентное отклонение расхода, подаваемого стабилизатором, к начальному расходу водовыпуска $\Delta_{\%} = \left(1 - \frac{Q_{\Sigma}}{Q_0} \right) \cdot 100\%$

Значения k были подобраны так, чтобы в каждой точке q/Q_0 точность стабилизации не превышала 5%. Значения k позволяют определить требуемую длину водосливного фронта в

стенке управляющей камеры $b = \frac{k\mu_0\omega}{m_0H_0}.$

Список литературы:

1. Беглярова Э.С., Лысенко П.Е., Снежко В.Л. Автоматические водовыпуски низконапорных гидроузлов с гидродинамическим регулированием расхода // мелиорация и водное хозяйство. 2003. Вып.6., - С.20-22.
2. Бенин Д.М. Влияние формы элементов проточной части на регулируемую способность гидродинамических стабилизаторов расхода / Д. М. Бенин //Перспективы науки – 2010. – №11(13). – С. 59-63.
3. ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Ч.2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений. – Введ.2002-04-23. –М.: Изд-во стандартов, 2002. –33с.

В. П. Вибе, В. Я. Котликова, В. Н. Сызранцев д.т.н.

ГОУ ВПО Тюменский государственный нефтегазовый университет,
Россия, г.Тюмень;
ГОУ ВПО Курганский государственный университет,
Россия, г. Курган
v_syzsantsev@mail.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕДУКТОРА С ПРЕЦЕССИРУЮЩЕЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ

Рассмотрено решение задачи геометрического синтеза конических передач с малыми межосевыми углами, используемых в малогабаритных и высокомоментных редукторах. Методика синтеза передач с локализованным контактом реализована в автоматизированной системе технологической подготовки производства плоско-конических и конических передач с малыми межосевыми углами.

Ключевые слова: плоско-конические прецессирующие передачи, синтез, привод запорной арматуры, редукторные вставки для бурового оборудования.

В подавляющем большинстве бурового и нефтепромыслового оборудования используются различного рода редукторы, позволяющие на конечных звеньях механизмов получить необходимые для реализации технологического процесса бурения или добычи нефти крутящие моменты и скорости вращения. Помимо традиционных требований по нагрузочной способности и долговечности, используемые здесь зубчатые механизмы должны иметь высокую перегрузочную способность, малые радиальные габариты, обеспечивающие размещение в бурильной колонне труб (редукторные вставки для винтовых насосов, редукторные вставки для винтовых забойных двигателей), позволять осуществлять высокую редукцию при высоком к.п.д. в суровых климатических условиях (приводы запорной арматуры). Отмеченным требованиям удовлетворяют редукторы, в которых используются плоско-конические передачи с малыми межосевыми углами и малой разнице чисел зубьев шестерни и колеса, совершающих прецессирующее движение. Для достижения требуемых технических параметров передачи шестерня и колесо имеют торцовые зубья по длине круговые или двояковыпукловогнутые. В то же время методика синтеза параметров таких зацеплений, обеспечивающая необходимые по условиям эксплуатации передачи геометрические характеристики в контакте зубьев, отсутствует. В настоящей работе рассматривается решение таких задач.

Рассмотрим прецессирующий редуктор, предложенный в работе [1]. Высокая нагрузочная способность редуктора достигнута за счет применения плоскоконической передачи, реализующей под нагрузкой многопарное зацепление. Разница чисел зубьев колеса и шестерни равна единице. Для плоскоконического зацепления используется специальная форма зубьев: колесо имеет двояковыпуклые (корсетные) зубья, а шестерня – двояковыпуклые (бочкообразные) зубья.

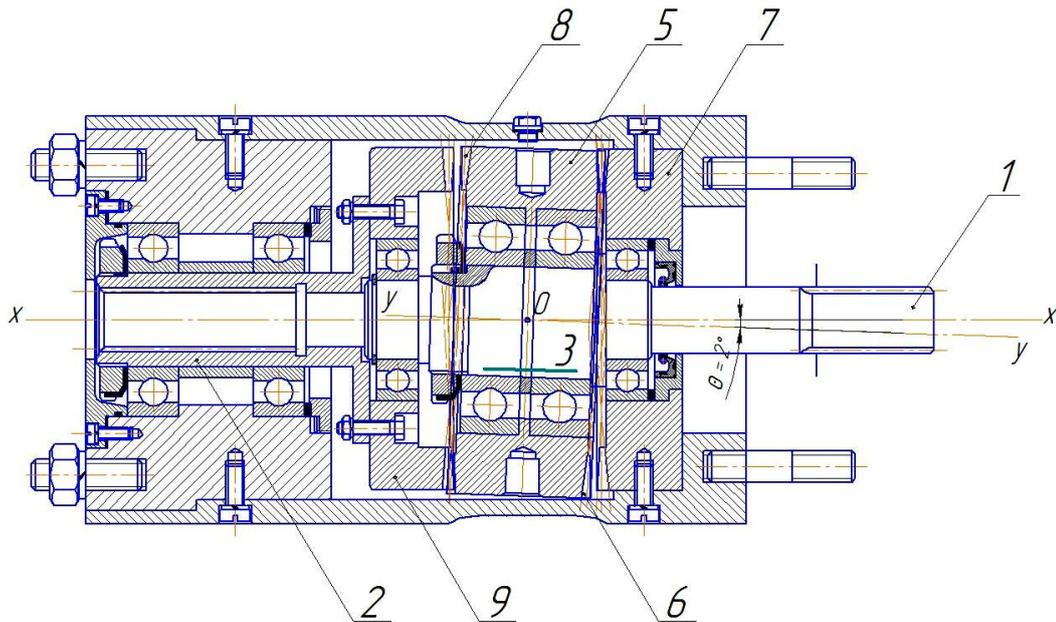


Рис.1 – Прецессирующий редуктор для винтового насоса

Область существования конических передач с малым межосевым углом ($\theta = 2^\circ \dots 10^\circ$) по критерию отсутствия внутреннего зацепления ограничивается интервалом изменения угла начального конуса колеса δ_2 (шестерни δ_1):

$$\theta - \pi/2 \leq \delta_2 \leq \pi/2 \text{ и } \theta - \pi/2 \leq \delta_1 \leq \pi/2$$

при условии $\delta_1 + \delta_2 = \theta$.

Исследуемые плоско-конические передачи являются приближенными с локализованным контактом. Для обеспечения качественного зацепления необходимо решить задачу синтеза: определить наладочные установки станка, обеспечивающие наилучшее приближение критериев качества работы передачи к заданным.

Синтез приближенного зацепления предполагает совместное рассмотрение двух процессов - образование поверхностей зубьев в станочном зацеплении и взаимодействие зубьев в рабочем зацеплении. В общем виде математическая модель процесса формообразования поверхностей зубьев конических колёс описана в работе [2]. При исследовании станочного зацепления определяют зависимости:

$$\begin{aligned} c_c &= c_c(\omega, \mathcal{G}, \varphi_s); & r_c &= r_c(\omega, \mathcal{G}, \varphi_s); & \xi &= \xi(\omega, \mathcal{G}, \varphi_s); \\ \overline{r_j} &= \overline{r_j}(\omega, \mathcal{G}, \varphi_s); & \overline{n_j} &= \overline{n_j}(\omega, \mathcal{G}, \varphi_s); & f(\omega, \mathcal{G}, \varphi_s) &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где ω, \mathcal{G} - криволинейные координаты текущей точки производящей поверхности, φ_s - параметр движения производящего колеса, c_c, r_c, ξ - цилиндрические координаты точки поверхности зуба в системе, связанной с заготовкой, $\overline{r_j}$ - радиус-вектор точки поверхности зуба в декартовой системе координат связанной с заготовкой, $\overline{n_j}$ - орт нормали к поверхности зуба в этой же системе координат, $f(\omega, \mathcal{G}, \varphi_s) = 0$ - уравнение станочного зацепления.

При синтезе плоско-конической передачи требуется обеспечить заданные размеры, форму и расположение инерционной зоны касания относительно границ зуба. Управлять качественными характеристиками передачи целесообразно за счёт варьирования наладочных установок при обработке зубьев шестерни. Требуемое положение центра пятна контакта на активной поверхности зуба колеса достигается за счёт вычисления зависимых наладочных параметров при обработке шестерни.

Наладочные установки при обработке поверхности зуба колеса F_2 заданы и не подлежат изменению в процессе синтеза передачи. Орт нормали к поверхности F_2 в центре пятна контакта $\bar{n}_2^*(\omega_2, \mathcal{G}_2, \varphi_{2s})$ определяется в процессе численного решения системы трёх уравнений с тремя неизвестными параметрами $\omega_2, \mathcal{G}_2, \varphi_{2s}$:

$$c_{c2}(\omega_2, \mathcal{G}_2, \varphi_{2s}) = c_{c2}^*; \quad r_{c2}(\omega_2, \mathcal{G}_2, \varphi_{2s}) = r_{c2}^*; \quad f_2(\omega_2, \mathcal{G}_2, \varphi_{2s}) = 0, \quad (2)$$

где c_{c2}^*, r_{c2}^* - заданные цилиндрические координаты, определяющие положение центра пятна контакта на поверхности F_2 , $f_2(\omega_2, \mathcal{G}_2, \varphi_{2s}) = 0$ - уравнение зацепления при обработке колеса.

В точке касания поверхностей зубьев шестерни F_1 и колеса F_2 должны совпадать координаты точки касания и направления нормалей к поверхностям. Кроме того, в центре пятна контакта мгновенное передаточное отношение u_{12} равно отношению чисел зубьев колеса (z_2) и шестерни (z_1).

Условия касания поверхностей F_1 и F_2 в центре пятна контакта определяют цилиндрические координаты c_{c1}^*, r_{c1}^* центра пятна контакта на поверхности зуба шестерни и орт нормали $\bar{n}_1^*(\omega_1, \mathcal{G}_1, \varphi_{1s})$ к поверхности F_1 . Расположение центра пятна контакта на поверхности F_1 в точке с цилиндрическими координатами c_{c1}^*, r_{c1}^* обеспечивается за счёт вычисления зависимых наладочных параметров при обработке зубьев шестерни (U_1 - радиальной установки и E_1 - гипоидного смещения) из решения системы пяти уравнений с пятью неизвестными $\omega_1, \mathcal{G}_1, \varphi_{1s}, U_1, E_1$:

$$\begin{aligned} r_{c1}(\omega_1, \mathcal{G}_1, \varphi_{1s}, U_1, E_1) &= r_{c1}^*, \quad c_{c1}(\omega_1, \mathcal{G}_1, \varphi_{1s}, U_1, E_1) = c_{c1}^*, \quad n_{x1}(\omega_1, \mathcal{G}_1, \varphi_{1s}, U_1, E_1) = n_{x1}^*, \\ n_{y1}(\omega_1, \mathcal{G}_1, \varphi_{1s}, U_1, E_1) &= n_{y1}^*, \quad f_1(\omega_1, \mathcal{G}_1, \varphi_{1s}, U_1, E_1) = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

В результате преобразований система (3) сведена к трём уравнениям относительно трёх неизвестных ω_1, \mathcal{G}_1 и φ_{1s} , а параметры U_1, E_1 вычисляются как промежуточные величины.

Таким образом, если наладочные параметры U_1 и E_1 определены из решения системы (3), то центр пятна контакта занимает на поверхности зуба колеса положение, заданное цилиндрическими координатами c_{c2}^*, r_{c2}^* независимо от того, какие значения принимают постоянные и варьируемые наладочные параметры.

Из решения системы (3) находятся параметры ω_1, \mathcal{G}_1 и φ_{1s} , они позволяют рассчитать угловую цилиндрическую координату центра пятна контакта $\xi_1^* = \xi_1^*(\omega_1, \mathcal{G}_1, \varphi_{1s})$.

Разработанная математическая модель позволила свести задачу синтеза рабочего зацепления к более простой - синтезу станочного зацепления. Согласно принятому подходу, до начала процесса оптимизации наладочных параметров строится желаемая, удовлетворяющая заданным критериям качества (форма, размеры и расположение инерционной зоны касания), поверхность $F_1^{(o)}$ зуба шестерни. Форма, размеры и расположение инерционной зоны касания определяются видом и величиной локализации контакта зубьев. Количественной характеристикой степени локализации контакта являются приведенные зазоры в зацеплении. Для достижения требуемых качественных показателей работы плоско-конической передачи с малым межосевым углом необходимо обеспечить наперёд заданное распределение приведенных зазоров между поверхностями T_1 и $F_1^{(o)}$. Поверхность T_1 представляет собой огибающую семейства поверхностей F_2 зуба колеса при принудительном вращении звеньев передачи с постоянным передаточным отношением, равным отношению u_{12} .

Контур желаемой инерционной зоны касания удобно задавать в проекции на осевую плоскость колеса или на плоскость, касательную к поверхности F_2 в центре пятна контакта. Не составляет особых сложностей по заданным проекциям определить цилиндрические координаты $r_{c2i}, c_{c2i}, \xi_{2i}$ точек $P_{2i}, i = \overline{1, m}$ инерционной зоны касания на поверхности F_2 , а также орты нормалей к поверхности F_2 в этих точках. Цилиндрические координаты $r_{c1i}, c_{c1i}, \xi_{1i}$ точек $P_{1i}, i = \overline{1, m}$ желаемой инерционной зоны на поверхности T_1 определим, исходя из условий, что поверхность T_1 является огибающей семейства поверхностей F_2 при вращении звеньев с постоянным передаточным отношением $u_{12} = z_2 / z_1$.

Величины приведенных зазоров $\Delta_{ni}, i = \overline{1, m}$ между поверхностями $F_1^{(o)}$ и T_1 в i -х точках поверхности T_1 характеризуют приближение реальной поверхности зуба шестерни к желаемой (требуемой). Оптимальные наладочные параметры при обработке зубьев шестерни будут соответствовать минимуму целевой функции, составленной из суммы квадратов $\Delta_{ni}, i = \overline{1, m}$.

С целью автоматизации расчётов, необходимых для проектирования плоско-конических передач с малыми межосевыми углами, разработан программный комплекс технологической подготовки производства конических передач. Основными принципами при разработке комплекса являлись простота и доступность в эксплуатации. Вся необходимая справочная информация занесена в банк данных. Результаты расчётов геометрических параметров передач и наладочные установки зубообрабатывающих станков могут помещаться в базу данных для хранения и использования при последующих обращениях к комплексу. Разработанный программный комплекс позволяет выполнять расчеты наладок для нарезания колес плоско-конических передач как с круговыми, так и двояковыпукловогнутыми зубьями.

В качестве примера работы комплекса рассмотрим расчет плоско-конической передачи с круговым зубом для прецессирующего редуктора привода крана сферического Ду-300. Геометрические параметры передачи: число зубьев шестерни $z_1 = 64$, число зубьев колеса $z_2 = 65$, средний нормальный модуль $m_n = 5,3$ мм, угол наклона линии зуба $\beta = 35^\circ$, межосевой угол передачи $\theta = 2^\circ$, угол начального конуса колеса $\delta_2 = 89^\circ$, угол профиля $\alpha = 20^\circ$, коэффициент радиального зазора $c_0 = 0,25$. На рис.2 показано головное меню ввода исходных данных. На рис.3 показана инерционная зона касания в передаче после ее синтеза. Зона имеет форму эллипса с относительными размерами: $f_L = 0,7$ и $f_H = 0,68$. Большая полуось эллипса направлена по образующей делительного конуса. Как показали расчеты, погрешности взаимного положения звеньев конической передачи, заданные в пределах допуска, практически не оказывают влияния на расположение и размеры инерционной зоны касания.

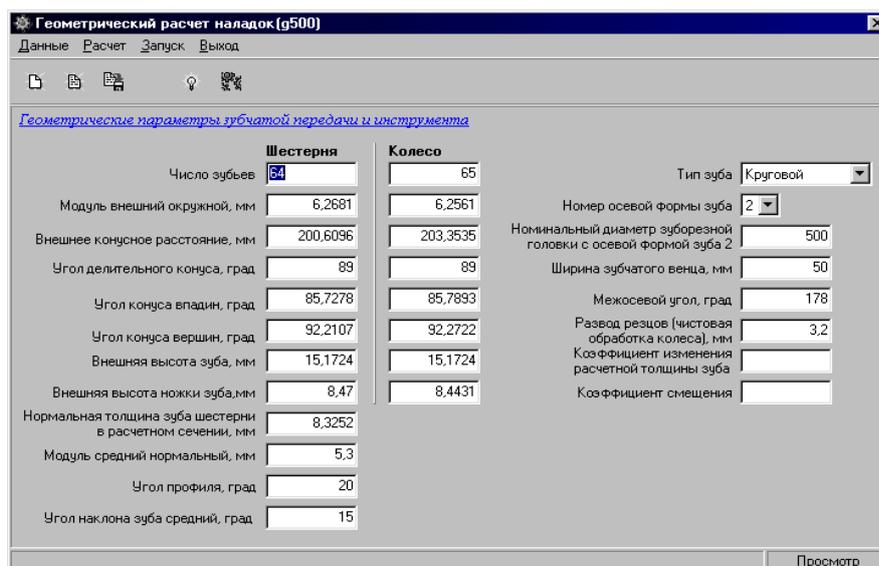


Рис.2 – Головное меню программного комплекса

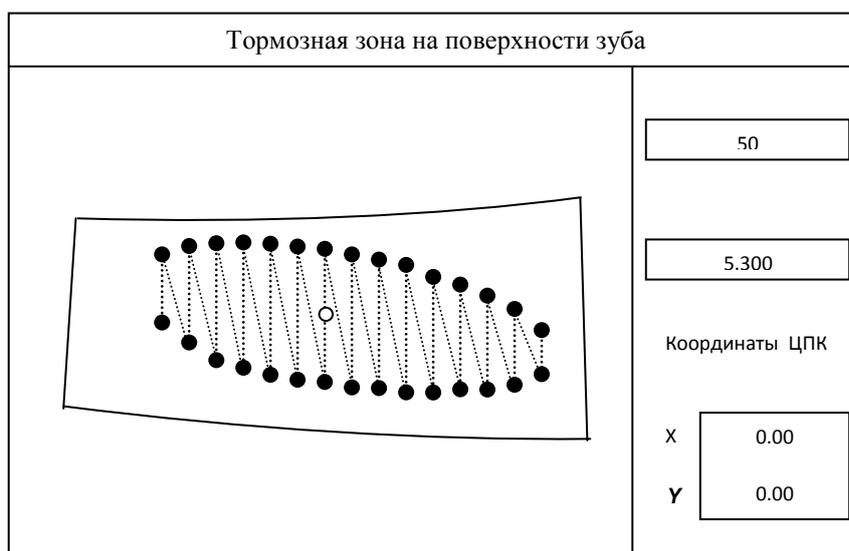


Рис.3 - Тормозная зона касания на поверхности зуба колеса

С использованием созданного программного комплекса были рассчитаны геометрические параметры, наладочные установки зуборезного станка для изготовления плоско-конической передачи с двояковыпуклогогнутыми зубьями прецессирующего редуктора с передаточным отношением $i_{12} = 22$ привода винтового насоса (рис.1). Изготовленные модель передачи и прецессирующий редуктор показаны на рис.4.



Рис.4 - Изготовленные модель и опытный образец редуктора

Список литературы:

1. Патент № 2334125 С1(RU), F04C 2/107, F04B 47/02. Установка скважинного винтового насоса / В.Н.Сызранцев, Д.М.Плотников, Ю.Г.Денисов, Э.В.Ратманов. Опубл. 20.09.2008. Бюл.№26.

2. Конические и гипоидные передачи с круговыми зубьями. Справочное пособие. Изд.2-е, перераб. и доп. М., "Машиностроение", 1977.-424 с

И.В. Волкова, А.В. Жданов, к.т.н.

Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
Россия, Владимир,
tms@vlsu.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ НАСОСНЫХ СИСТЕМ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА

В статье рассматривается проектирование исполнительных механизмов насосных систем вспомогательного кровообращения. Представлены результаты силового синтеза для привода систем вспомогательного кровообращения

Ключевые слова: система вспомогательного кровообращения, роликвинтовой механизм (РВМ), кинематическая передаточная функция (КПФ), мехатронный привод (МП).

В имплантируемых системах вспомогательного кровообращения (ВК) пульсирующего типа используются насосные модули – мехатронные приводы (МП), содержащие многополюсный вентильный двигатель постоянного тока (ДПТ), работающий в реверсивном режиме, и исполнительный механизм (ИМ) преобразования вращательного движения в поступательное [1]. В настоящее время наиболее распространенной и надежной конструкцией ИМ таких модулей являются роликвинтовые механизмы (РВМ), а в качестве ДПТ используются моментные многополюсные двигатели. Примерами таких конструкций могут быть: Baylor LVAD, ТАН, США (РВМ); Yamagata LVAD, ТАН, Япония (РВМ); Hokkaido LVAD Япония (ШВМ); Swiss LVAD, Швейцария (РВМ) и др. [2] Проектирование подобных систем возможно только с учетом совместного влияния ДПТ и ИМ. Для точного определения параметров ИМ и ДПТ необходимо провести синтез по критериям предельных динамических возможностей, минимума потребляемой мощности (ПМ).

Определение допустимого диапазона КПФ ИМ выполняем по формуле:

$$S_1 \leq S_X \leq S_2,$$

$$\text{где } S_{1,2} = \frac{1}{2} \frac{\eta M_{\Pi}}{F_H} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{P_H}{P_0}} \right).$$

Здесь M_{Π} – пусковой момент ДПТ; F_H – силы нагрузки, действующие на выходное звено; η – КПД ИМ; P_H – мощность нагрузки $P_H = F_H v_H / \eta$; P_0 – мощность ДПТ при номинальном напряжении $P_0 = M_{\Pi} \omega_{ХХ} / 4$; $\omega_{ХХ}$ – угловая скорость холостого хода ДПТ; скорость перемещения $v_H(t)$ в фазу изгнания имеет вид: $v_H(t) = v_{sys} [1 - \exp(-t/T_{\gamma})]$; v_{sys} – амплитудное значение систолической скорости, T_{γ} – электромеханическая постоянная времени ДПТ T_{γ} .

Оптимальную КПФ по минимуму ПМ определяем по формуле:

$$S_P = \sqrt{p_{\Pi} v_H T_{\gamma} \frac{\eta M_{\Pi}}{F_H} \frac{U}{U_0}},$$

где p_{Π} – число пар полюсов; T_{γ} – постоянная времени УПУ; U – напряжение на выходе УПУ; $U_0 = 12$ В – напряжение на входе ДПТ.

Выбор двигателя с необходимой мощностью должен обеспечивать требуемый закон перемещения нагрузки в диапазоне КПФ $S_1 \leq S_X \leq S_2$, т.к., технологически не всегда

возможно соблюсти точное значение КПФ, а единственное значение может быть далеко не оптимальным. Для МП ВК необходим вентильный бесконтактный трехфазный ДПТ на постоянных магнитах с конструкцией, оптимизированной по моменту [2, 3]. Для МП с РВМ необходим двигатель с полым ротором. Из выпускаемых машин наиболее полно удовлетворяет ДПТ фланцевого исполнения ЕС 45 Flat (Maxon motor, США), ДПТ с полым ротором 563-06В (Kollmorgen Magnedyne, США) и отечественный ДПТ на базе ДБМ50 (табл. 1).

В табл. 2 приведены сводные результаты силового синтеза для МП ВК по методике [1] на базе двигателей из табл. 1. В качестве основного режима работы выбран режим с характеристиками: частота сердечных сокращений $f = 120 \text{ мин}^{-1}$; отношение систола/диастола $\beta = 1:3$; систолическое давление $p_{\text{sys}} = 120 \text{ мм рт. ст.}$; объем выброса $V = 80 \text{ мл}$; диаметр мембраны $d = 90 \text{ мм}$.

Таблица 1. Технические характеристики ДПТ МП ВК

Наименование двигателя	Число полюсов	Мощность, Вт	Пусковой момент, Н·м	Частота хол. хода, об/мин	Момент инерции ротора, кг·мм ²	Пусковой ток, А	Напряжение, В	Тепловое сопротивление, °С/Вт	Длина, мм	Внешний диаметр, мм	Внутренний диаметр, мм	Масса, г
ДБМ50-мод.	14	11,78	0,3	1500	0,45	2	12	1,4	30	50	29,6	180
563-06В	14	26,5	0,53	1910	14,00	7,9	11,56	3,5	20,3	45,7	25,0	130
ЕС 45 Flat	16	29,95	0,26	4400	9,25	10,2	12	2,4	16,3	45,0	–	88

Двигатели имеют примерно равные коэффициенты потерь, т.е. целесообразность применения по критерию тепловыделения можно проверить только экспериментально. Недостатком двигателя ЕС 45 Flat является большая инерционность, что требует больших энергетических затрат, однако она компенсируется высокой мощностью двигателя. Вариант с двигателем 563-06В представляется наиболее оптимальным (т.к. с одной стороны обеспечивает наибольшее число режимов, а с другой – достаточно экономичен по затратам энергии).

В качестве ИМ МП ВК предлагаются две схемы: (1) РВМ, встраиваемый в полый ротор двигателя, и (2) планетарный винтовой механизм с ременной передачей на базе двигателя фланцевого исполнения. По первой схеме РВМ, полученный на базе простейшей планетарной передачи, состоит из одного центрального колеса и сателлитов, установленных в водиле. Роль центрального колеса выполняет винт с резьбовой винтовой нарезкой, а роль сателлитов – ролики с кольцевой нарезкой, которые установлены в опорах водила.

Таблица 2. Результаты силового синтеза

Параметр	Значение		
Тип двигателя	563-06В	ДБМ50-мод.	ЕС 45 Flat
<i>Параметры нагрузки</i>			
Максимальная скорость, мм/с	113,6	80,27	139,88
Нагрузка, Н	101,493		
Мощность (с учетом КПД), Вт	16,47	11,64	20,28
Требуемое напряжение, В	9,11	11,93	9,87
<i>Параметры механизма и рабочей точки</i>			

Диапазон КПФ, мм/об	4,42 – 18,55	5,78 – 7,22	2,43 – 8,83
Оптимальная КПФ по ПМ, мм/об	4,42	5,78	3,25
Напряжение, В	11,56	12	10,5
Частота в рабочей точке, об/мин	1542	833	2582
Момент в рабочей точке, Н·м	0,102	0,133	0,075
Мощность потерь в рабочей точке, Вт	8,01	7,24	11,23
Температура нагревания, °С	28,0	25,35	31,0

При вращении ведущего звена, которым может быть как винт, так и водило, ведомое звено будет иметь поступательное перемещение в своих направляющих. Если конструктивно предусмотреть возможность осевого регулирования положения роликов при сборке, то число роликов может быть ограничено только условием соседства, а винт может иметь любое число заходов нарезки. Необходимость в соблюдении каких-либо зависимостей между числом заходов винта с числом роликов в этом случае отпадает. Важным преимуществом передачи с кольцевыми роликами является наличие всего одного зацепления у каждого ролика вместо четырех, что резко уменьшает число пассивных связей в передаче. Из конструкции РВМ с кольцевыми роликами следует, что каждому полному обороту ведущего звена соответствует осевое перемещение ведомого звена на величину хода винтовой нарезки винта. КПД РВМ определяется по формуле:

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \rho)}$$

где ρ – угол трения в зацеплении винта и роликов, γ – угол отклонения нормалей в точках приложения сил от оси вращения водила.

На рис. 1 представлены конструкция МП системы ВК на базе РВМ и варианты РВМ для различных двигателей.

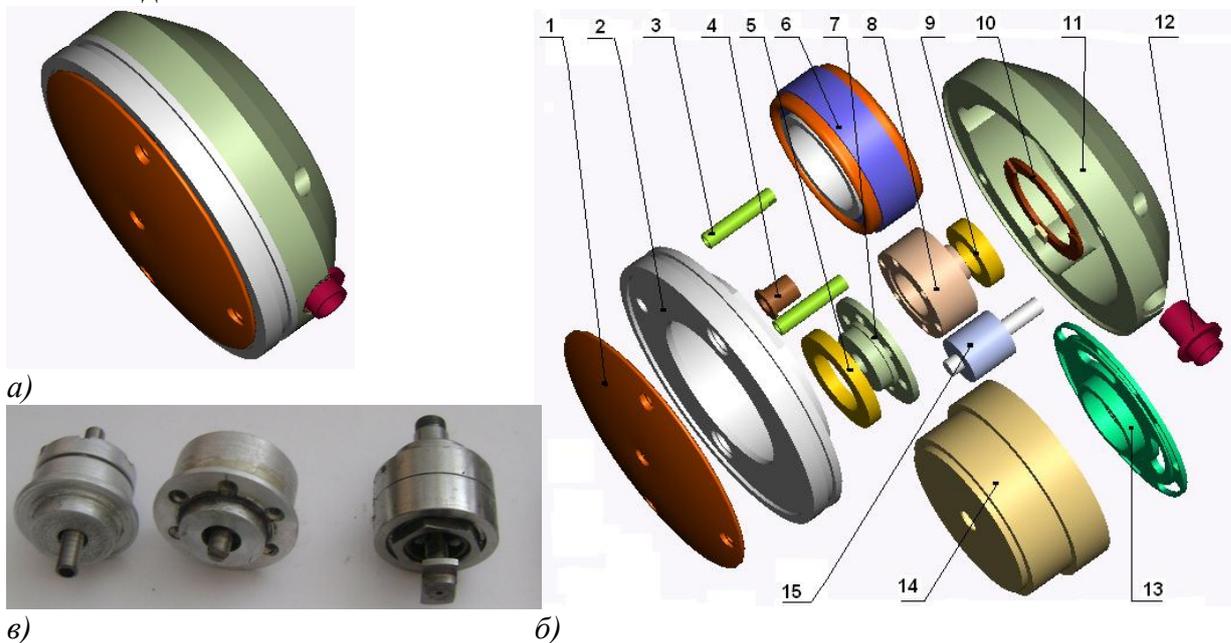


Рис. 1. Конструкция МП системы ВК на базе РВМ: а) САD-модель в собранном виде; б) САD-модель в разобранном виде; в) варианты РВМ

На рисунке обозначено: 1 – толкатель, 2 – корпус МП, 3 – направляющая, 4 – втулка, 5, 9 – подшипники (условное изображение), 6 – ДПТ с полым ротором, 7 – крышка корпуса РВМ, 8 – корпус РВМ, 10 – кольцо датчиков, 11 – крышка МП, 12 – выходной штуцер, 13 – крышка, 14 – корпус, 15 – РВМ

По второй схеме в качестве понижающей передачи «вращение–вращение» в МП используется планетарный редуктор (ПР), выполненный по схеме A_{ha}^b (рис.2). ПР состоит из центрального шевронного вала–шестерни с наружными зубьями, трех сателлитов, центральных колес, имеющих правую и левую нарезки. Сателлиты установлены в водиле и вращаются относительно своих осей, совершая планетарное движение вокруг центрального вала–шестерни. При неподвижных колесах движение может передаваться от вала–шестерни к водилу и наоборот. КПД ПР с рейкой имеет вид:

$$\eta = \eta_{пл} \eta_p,$$

где $\eta_{пл}$ – КПД ПР; η_p – КПД рейки.

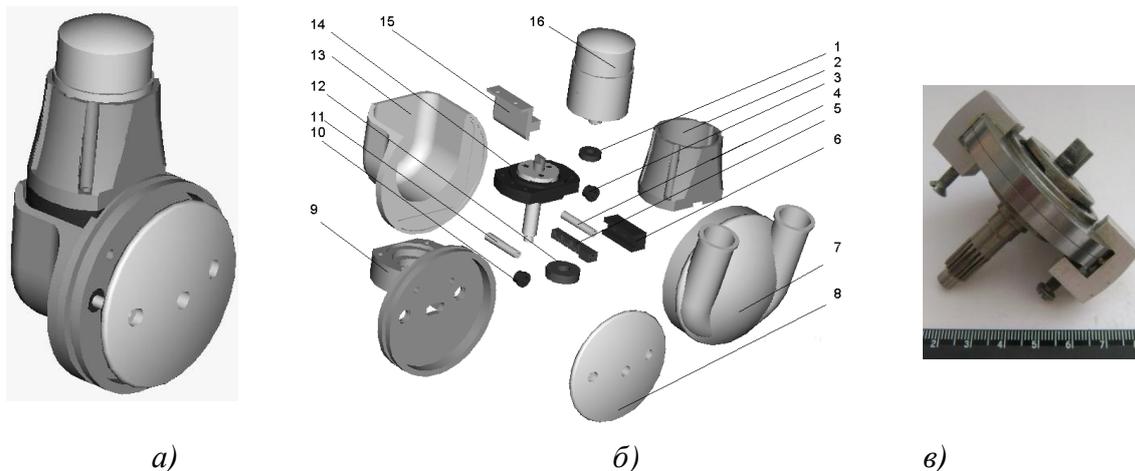


Рис. 2. Конструкция МП системы ВК на базе ПР с рейкой (Pro/ENGINEER WF4)
 а) САD-модель в собранном виде; б) САD-модель в разобранном виде; в) ПР

На рисунке обозначено: 1,12- подшипники; 2- корпус двигателя; 3,10- антифрикционные втулки; 4,11- направляющие; 5- зубчатая рейка; 6- антифрикционная планка; 7- искусственный желудочек сердца (ИЖС); 8- мембрана; 9- сборный корпус; 13- наружная крышка; 14- ПР; 15- прижим; 16- ДПТ

Порядок проектирования ИМ МП систем ВК может быть представлен следующими этапами:

1) *Предварительный этап*, в который входит создание ИМ по известным проектировочным методикам, разработка математических моделей механизма, создание базы данных стандартных элементов и узлов, рядов двигателей.

2) *Этап концептуального проектирования*, представляющий собой структурный синтез МП и ИМ.

3) *Этап параметрического синтеза*, который включает в себя силовой синтез МП, расчет параметров ИМ, детальное конструирование и сборка, геометрический анализ твердотельных моделей.

4) *Анализ конструкции*, состоящий из конечно-элементного анализа конструкции ИМ и анализа динамических характеристик МП.

5) *Синтез и оптимизация по заданным критериям* может включать в себя оптимизацию конструкции по надежности, долговечности, износу, плавности, минимуму потребляемой энергии и др., синтез механических корректирующих устройств, синтез алгоритмов цифровой системы управления МП.

б) *Технологическая подготовка* производства состоит из разработки технологии изготовления и сборки ИМ и МП, а также подготовки конструкторской и технологической документации.

7) *Этап изготовления.*

Предлагаемая новая функциональная компоновка преобразования вращательного движения вала ДПТ в перемещение диафрагмы сердечного насоса позволяет использовать преимущества как ПР с винтовыми звеньями, так и реечной передачи. Использование в передаче винтовых шестерен с большими углами наклона зубьев обеспечивают уменьшение шумности за счет уменьшения зазора в зацеплении и качественного изменения кинематики элементов передачи, при этом увеличивается КПД ИМ, что увеличивает нагрузочную способность и уменьшает габариты передачи. Бесшумность и малые относительные габариты МП позволяют использовать их в устройствах и механизмах, работающих в условиях дефицита веса и объема, т.е. в составе имплантируемой системы ВК. В таблице 3 представлены сравнительные характеристики МП систем ВК на базе различных ИМ.

Таблица 3. Технические характеристики МП систем ВК на базе ИМ

Параметр	Baylor LVAD, Baylor Medical Center, США (PBM)	Yamagata LVAD, Yamagata, Япония (PBM)	ВлГУ (PBM)	ВлГУ (ПР с рейкой)
Диаметр, мм	97	90	92	92
Толщина, мм	70	56	56	50
Объем ИЖС, мл	250	256	250	250
Вес, г	620	380	500	450
Производительность, л/мин	7,5	7,5	7,4	7,2
КПД	45	20	42	56

Список литературы:

1. Имплантируемая система ВК на базе мехатронных модулей: Монография / В.В. Морозов, А.В. Жданов, Е.А. Новикова, Ю.А. Новикова, А.Б. Костерин. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2006. – 134 с. ISBN 5-89368-721-3.

2. Морозов В.В. Роликовинтовые механизмы. Кинематические характеристики: монография / В.В. Морозов; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2005. – 78 с. – ISBN 5-89368-634-9

3. Разработка мехатронного модуля имплантируемой системы искусственного сердца и его лабораторно-стендовые испытания / В.В. Морозов, А.В. Жданов, Л.В. Беляев // Мехатроника, автоматизация, управление / М.: Новые технологии, 2009. - № 5 (98). – С. 58-61. - ISSN 1584-6427.

В.И. Воловач к.т.н.

Поволжский государственный университет сервиса, факультет техники и технологий сервиса,
кафедра «Информационный и электронный сервис»,
Россия, Тольятти,
ssunrise@mail.ru

К ВОПРОСУ ПРОВЕДЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СИГНАЛОВ И ИНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОПИСАНИЯ РУО, И ВЫБОРА ИХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Проведен статистический анализ сигналов, на основе которого осуществлен выбор и обоснованы математические модели возмущающих воздействий на радиотехнические устройства обнаружения с учетом многолучевого характера сигналов, отраженных от протяженных объектов.

Ключевые слова: радиотехнические устройства обнаружения, многолучевой сигнал, плотность распределения вероятностей Накагами.

Радиотехнические устройства обнаружения (РУО), осуществляющие контроль периметров и площадей, могут быть отнесены к радиосистемам ближнего действия [1] и должны описываться рядом иных характеристик, чем те, которые были введены в теории радиотехнических систем дальнего действия. Так, если в них реализуются принципы радиолокации, то должны учитываться специфические особенности ближнего радиуса действия, связанные, например, с протяженным характером объекта, со сравнимостью геометрических размеров объекта с дальностью до него, с многолучевым характером отражения сигналов от подобных объектов, с наличием «блестящих точек» и т. п.

Решение проблемы создания и теоретического анализа любых устройств и систем охраны, использующих радиотехнические принципы обнаружения, сводится к решению нескольких локальных задач, первой из которых является проведение статистического анализа сигналов и возмущающих воздействий на РУО и создание на их основе математических моделей, адекватных реальным физическим явлениям в системах охранной сигнализации.

Априорное знание статистических характеристик сигналов и возмущающих воздействий позволяет сформулировать более точные математические модели, как отраженного сигнала, так и действующих на этот сигнал помех, а также обоснованно подойти к разработке РУО, используемых в системах охраны. До настоящего времени надежных экспериментальных данных, полученных в результате строгой статистической обработки сигналов, отраженных от обнаруживаемых объектов и воздействующих на них помех, не существует.

Имеется достаточно большое количество математических моделей, описывающих сигнал, отраженный от пространственно протяженных реальных радиолокационных целей: самолетов, кораблей, автомобилей и т. п. [2, 3]. Воспользуемся известными результатами с целью их применения для описания сигналов, отраженных от протяженных объектов, в условиях эксплуатации различных охранных систем.

При радиолокации на малых расстояниях лоцируемый объект обычно рассматривается как сложный, протяженный, состоящий из совокупности N отражающих элементов [4–6]. Результирующий сигнал на входе приемного устройства от протяженной цели можно записать в виде:

$$S(t, \vec{\lambda}) = \sum_{i=1}^N \operatorname{Re} S_i(t, \vec{\lambda}), \quad (1)$$

где $S_i(t, \vec{\lambda}) = \operatorname{Re}\{\alpha_i(t)U(t - \tau_i)\exp j[(\omega_0 - \Omega_i)t - \omega_0\tau_i - \theta_i]\}$ – сигнал, принимаемый от произвольной i -ой точки объекта; $\alpha_i(t)$ – коэффициент ослабления «амплитуды» принятого сигнала (по сравнению с излучаемым в момент времени от i -ой точки); $U(t) = f(t)\exp[j\varphi(t)]$ – комплексная огибающая сигнала; $f(t)$ и $\varphi(t)$ – функции, отображающие законы амплитудной и фазовой (частотной) модуляции; $\tau(i)$ – время запаздывания сигнала от i -ой блестящей точки; ω_0 – несущая частота; Ω_i – доплеровское смещение частоты от i -ой блестящей точки; θ_i – фаза сигнала, отраженного от i -ой блестящей точки, обычно равномерно распределенная в интервале $[-\pi, \pi]$; $\vec{\lambda}$ – векторный параметр, характеризующий совокупность параметров $\omega_0, f(t), \varphi(t), \alpha(t), \tau, \Omega$.

Величины $\alpha_i(t)$ и θ_i считаются случайными и взаимно независимыми.

Возможно большое разнообразие частных видов моделей сигналов (1). Так, для описания многолучевого характера отраженного от протяженной цели сигнала в [4] рассмотрена модель:

$$S_c(t, \vec{\lambda}) = \operatorname{Re}\{U(t)\exp j[\omega_0 t + \theta(t)]\} = \operatorname{Re}\left\{\sum_i U_i(t)\exp j[\omega_0 t + \theta_i(t)]\right\}, \quad (2)$$

в которой в явном виде введена огибающая принимаемого сигнала $U(t)$ и результирующая фаза $\theta(t)$. Наибольший интерес представляют плотность распределения вероятностей (ПРВ) мгновенных значений, огибающей (ПРВА) и фазы (ПРВФ), принимаемого сигнала.

Используя результаты [7], можно показать, что отраженный от протяженного объекта сигнал (2) может быть хорошо описан обобщенной моделью ПРВА $W_{об}(A, \alpha, r_{xy}, a, \theta_0)$, где $\varepsilon_n = 1$ при $n = 0$; $I_n(\cdot)$ – функция Бесселя 1-го рода n -го порядка; $\varepsilon_n = 2$ при $n \neq 0$; $I_{2n}(\cdot)$ – функция Бесселя 2-го рода n -го порядка; $A = U/(\sigma_x^2 \sigma_y^2)^{0,5}$, $a = U_0/(\sigma_x^2 \sigma_y^2)^{0,5}$ – нормированные величины; $U_0 = (X_0^2 + Y_0^2)^{0,5}$, $\theta_0 = \operatorname{arctg}(Y_0/X_0)$ – модуль и аргумент детерминированной составляющей сигнала; $\sigma^2 = \sigma_x^2 = \sigma_y^2$ – дисперсия квадратурных составляющих сигнала; X_0 и Y_0 детерминированные квадратурные составляющие сигнала; $\alpha = (\sigma_x^2 - \sigma_y^2)/(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)$ – параметр нестационарности изменяющихся в пределах $[1, -1]$; r_{xy} – коэффициент взаимной корреляции между квадратурными составляющими компонент сигнала $S(t, \lambda)$.

Как видно, ПРВ огибающей в общем случае зависит от четырех параметров: α, r_{xy}, a и θ_0 , при изменении которых меняется форма кривой ПРВА.

Числовые характеристики ПРВА описываются значением $m^v_A(\alpha, r_{xy}, a, \theta_0)$ [8].

Введенные сложные аналитические выражения для ПРВА и ν -ых начальных моментов огибающей могут быть аппроксимированы более простыми выражениями [7]. Хорошие результаты в частности дает ПРВ Накагами и его начальные моменты

$$W(U) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m U^{2m-1} \exp\left\{-\frac{mU^2}{\Omega}\right\}, \quad U \geq 0, \quad (3)$$

где $\Gamma(\cdot)$ – гамма функция; m и Ω – параметры распределения.

Параметр формы m определяется выражением $m = \left[\Omega^2 / \langle (U^2 - \Omega^2) \rangle \right] \geq 0,5$, а параметр Ω задают параметром масштаба U : $\Omega = \langle U^2 \rangle$.

Параметры распределения m и Ω определяют значения начальных моментов ПРВ

$$m_U^v = \Gamma\left(m + \frac{v}{2}\right) / \left[\Gamma(m) \left(\frac{\Omega}{m}\right)^{-\frac{v}{2}} \right].$$

Формулы, связывающие параметры m и Ω с параметрами α , r_{xy} , a и θ_0 , имеют вид

$$m = \frac{(1+a^2)^2}{1 + [r_{xy}^2(1-\alpha^2) + \alpha^2]} + 2a^2 \left[1 + (r_{xy}^2(1-\alpha^2) + \alpha^2)^{0,5} \cos \frac{2\theta_0 - \text{arctg} [r_{xy}(1-\alpha^2)^{0,5}]}{\alpha} \right]$$

$$; \Omega = \sigma^2(1+a^2).$$

Значение ПРВ Накагами $W(U)$ возрастает с увеличением параметра формы m распределения (рис. 1); U является параметром масштаба. Используя данные выражения, можно определить связь между параметрами m , Ω с одной стороны и α , r_{xy} , a , θ_0 с другой стороны (и наоборот), которую необходимо знать при переходе от одного распределения к другому.

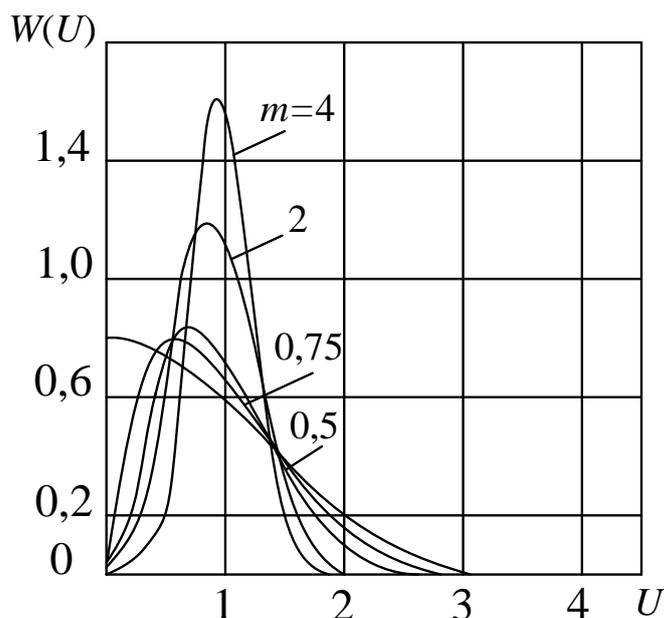


Рис. 1. Зависимости ПРВ Накагами при различных значениях параметра m

В [8] представлены результаты аппроксимации огибающих сигнала (2) распределением Накагами, где без нарушений общности фаза детерминированной составляющей принята равной нулю $\theta_0 = 0$.

При использовании распределения Накагами (3) вопрос о выборе распределения фаз остается открытым. В большинстве исследований обычно предполагают, что фазы отдельных компонент отраженного сигнала независимы от их огибающих и распределены либо равномерно в интервале $[-\pi, \pi]$, либо по нормальному закону:

$$W(U, \Theta) = W_m(U)W(\Theta), \quad (4)$$

где ПРВ $W_m(U)$ определена соответствующим выражением (3).

В [8] рассмотрены статистические характеристики мгновенных значений негауссовских сигналов (2), амплитуда U которых описывается обобщенной моделью ПРВА.

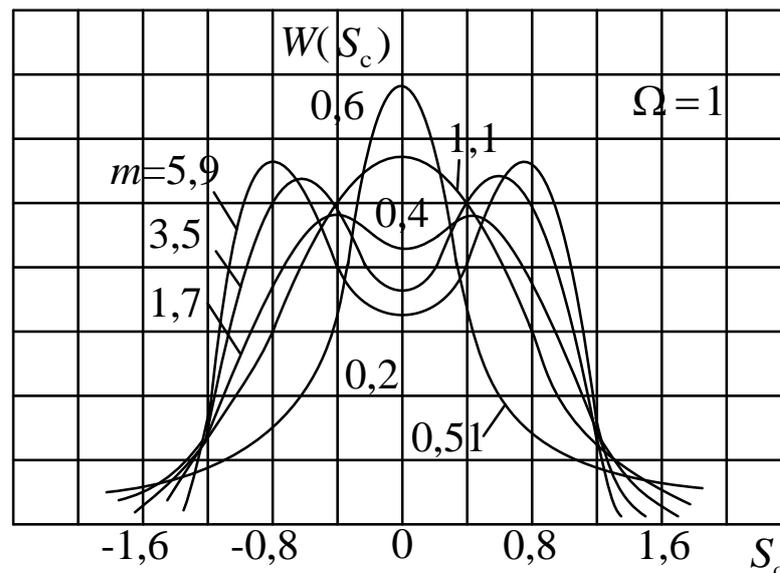
Если величины $U = (x^2 + y^2)^{0,5}$ и $\Theta = \arctg(y/x)$, где x и y квадратурные составляющие сигнала, независимы между собой, а распределение фазы равновероятно, то ПРВ мгновенных значений сигнала $W(S_c)$ определяется соотношением, представленным в [8].

Как видно из анализа приведенной таблицы, выражение $W(S_c)$ является базовым и может служить исходным при определении ПРВ мгновенных значений радиосигнала для широкого класса вероятностных моделей негауссовских процессов $S_c(t)$.

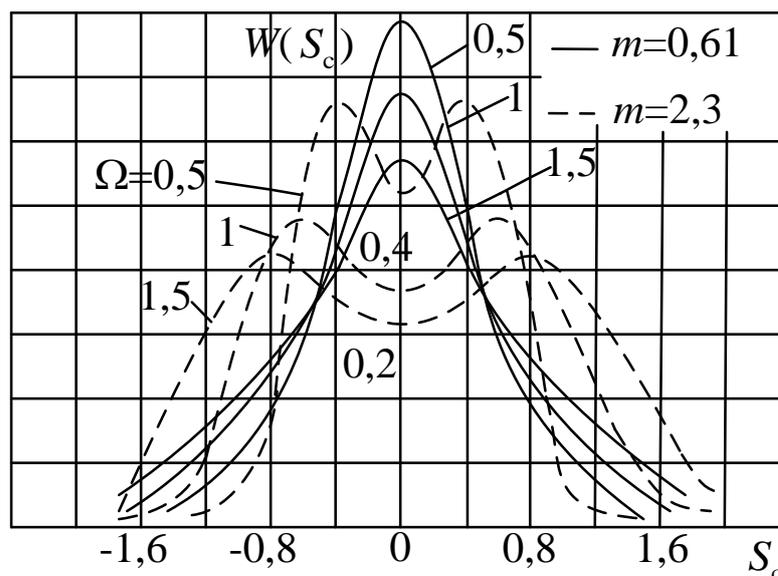
Из графиков ПРВ $W(S_c)$ (рис. 2, а), рассчитанных для случая, когда $W(U)$ подчиняется ПРВ Накагами, видно, что при $\Omega = 1$ и $m \rightarrow 1$ кривая ПРВ нормализуется. При значениях $m > 1$ появляется «провал» вероятностной кривой $W(S_c)$ в точке $S_c = 0$ и кривая ПРВ становится бимодальной с модами в симметричных точках $-S_c$ и S_c .

С увеличением m (рис. 2, б) увеличивается дисперсия и смещение мод от оси ординат. При этом кривая ПРВ остается симметричной относительно оси ординат. Если $m < 1$ (на рисунке $m = 0,61$), то увеличение параметра Ω приводит к уменьшению максимума ПРВ и увеличению дисперсии. Если $m > 1$ (на рисунке $m = 2,3$), то кривая ПРВ становится бимодальной, причем увеличение параметра Ω приводит к увеличению «провала» вероятностной кривой и ее дисперсии.

Таким образом, осуществлен выбор и произведено обоснование моделей сигналов и иных возмущающих воздействий на радиотехнические устройства, используемые в охранных системах периметров и площадей для обнаружения протяженных объектов-нарушителей. Отмечено что, плотность вероятности огибающей такого сигнала хорошо аппроксимируется ПРВ Накагами, а ПРВ мгновенных значений имеет ярко выраженный бимодальный характер.



а)



б)

Рис. 2. Плотность распределения вероятностей $W(S_c)$

Список литературы:

1. *Петраков А.В.* Защита и охрана личности, собственности, информации: Справочное пособие. – М.: Радио и связь, 1997. – 320 с.
2. *Островитянов Р.В., Басалов Ф.А.* Статистическая теория радиолокации протяженных целей. – М.: Радио и связь, 1982. – 232 с.
3. *Артюшенко В.М., Шелухин В.И., Шелухин О.И.* Математические модели статистических характеристик сигналов, отраженных от протяженных объектов железнодорожного транспорта. – Московский институт инженеров железнодорожного транспорта. – М., 1989. – 65 с. – Рус. – Деп. в ЦНИИ ТЭИ МПС, № 5045.
4. *Тихонов В.И., Кульман Н.К.* Нелинейная фильтрация и квазикогерентный прием сигналов. – М.: Советское радио, 1975. – 704 с.
5. *Тихонов В.И.* Статистическая радиотехника. – М.: Радио и связь, 1982. – 624 с.
6. Теоретические основы радиолокации / Под ред. В.Е. Дулевича. – М.: Советское радио, 1978. – 608 с.
7. *Метелицкий В.А., Акиншин Н.С., Михайлов А.В.* Вероятностная модель негауссовского сигнала и ее характеристики // Радиотехника, 1983. – № 9. С. 49-51.
8. *Воловач В.И.* Обоснование моделей возмущающих воздействий на радиотехнические устройства охранной сигнализации // Известия Самарского научного центра РАН. Спец. выпуск «Наука – промышленности и сервису», 2006 г. – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН. С. 71-78.

**В.В. Воронцов, к.т.н., Т.В. Крижанивская, к.т.н., Т.В. Мальцева, д.ф.-м.н.,
А.В. Минаева**

ГОУ ВПО Тюменский государственный архитектурно-строительный университет,
Архитектурно-строительный факультет, кафедра строительных конструкций,
Тюмень, Россия,
adf@tgasu.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СЛАБОГО ВОДОНАСЫЩЕННОГО ОСНОВАНИЯ

В статье предложена методика расчета деформированного состояния слабого водонасыщенного основания с учетом остаточных поровых давлений. Приведено численное сопоставление экспериментальных и теоретических значений вертикальных перемещений частиц скелета грунта.

Ключевые слова: деформированное состояние, водонасыщенное, основание, грунт, поровое давление, осадка, скелет грунта, функция, ломаная, вязкоупругость.

При проектировании и эксплуатации инженерных объектов, возводимых на слабых водонасыщенных основаниях, необходимо исследование во времени деформированного состояния грунтов.

Водонасыщенные грунты необходимо рассматривать как двухфазную систему (скелет грунта + поровая вода). По классическим моделям механики грунтов поровое давление обращается в ноль по окончании процесса фильтрационной консолидации, после чего грунт рассчитывают как однофазную систему. Однако многочисленные лабораторные и натурные эксперименты свидетельствуют о том, что на удалении от дневной поверхности в сжимаемой толще основания поровая вода в течение длительного времени воспринимает значительную часть напряжений, которые оказывают существенное влияние на деформации грунта. В связи с этим представляется целесообразным учитывать поровые давления при анализе деформированного состояния водонасыщенных грунтов и при определении их механических характеристик как функций времени.

Изменение механических характеристик во времени описывается на основе линейной наследственной теории вязкоупругости [1, 2], согласно которой решение задачи по их определению разбивается на два этапа. На первом этапе выполняется расчет образца как упругой системы (без учета времени), затем путем переобозначений записывается решение в изображениях по Лапласу-Карсону. На втором этапе для фиксированных в пространстве точек осуществляется приближенный переход от известного изображения к оригиналу в виде специальной ломаной линии (сплайн порядка I дефекта I) по методу ломаных [3]. Метод сводится к составлению системы линейных алгебраических уравнений, в результате решения которой определяются искомые параметры ломаной линии.

Для определения механических вязкоупругих характеристик водонасыщенного грунта обрабатывался натуральный эксперимент [4] по вязкоупругому варианту кинематической модели [5]. Натурный эксперимент проводился на опытной площадке в п. Ольгино г. Ленинграда, на которой была сделана песчаная насыпь высотой около 3 метров, что соответствовало нагрузке на подошве насыпи $q = 0,054 \text{ МПа}$, размеры насыпи в основании $18 \times 18 \text{ м}$, в верхней части – $10 \times 10 \text{ м}$. Продолжительность испытания составила 240 сут.

Схема расположения датчиков определения перемещений частиц скелета грунта приведена на рис.1а, экспериментальные кривые изменения перемещений во времени – на рис.1б.

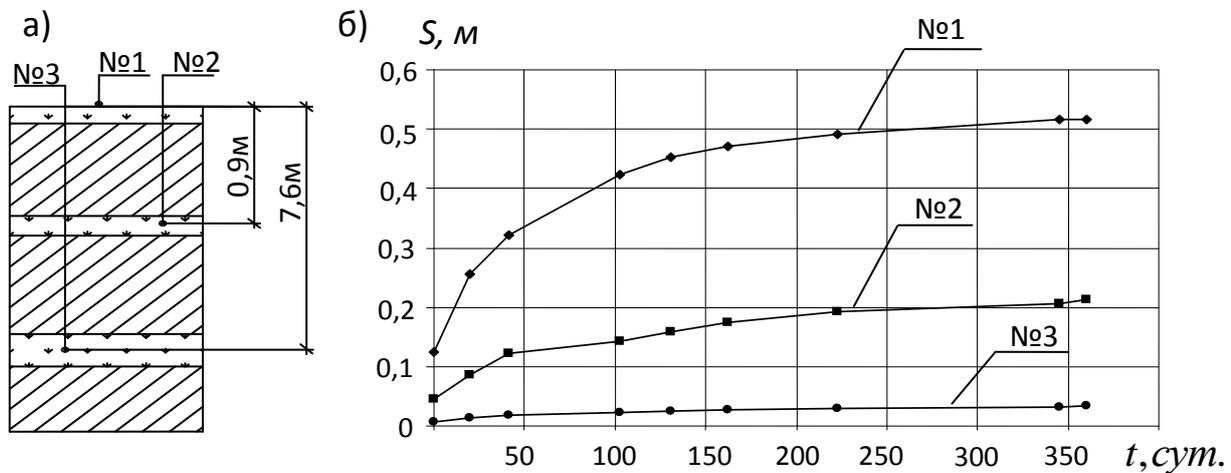


Рис.1. а) схема расположения датчиков на экспериментальной площадке; б) экспериментальные графики изменения во времени перемещений.

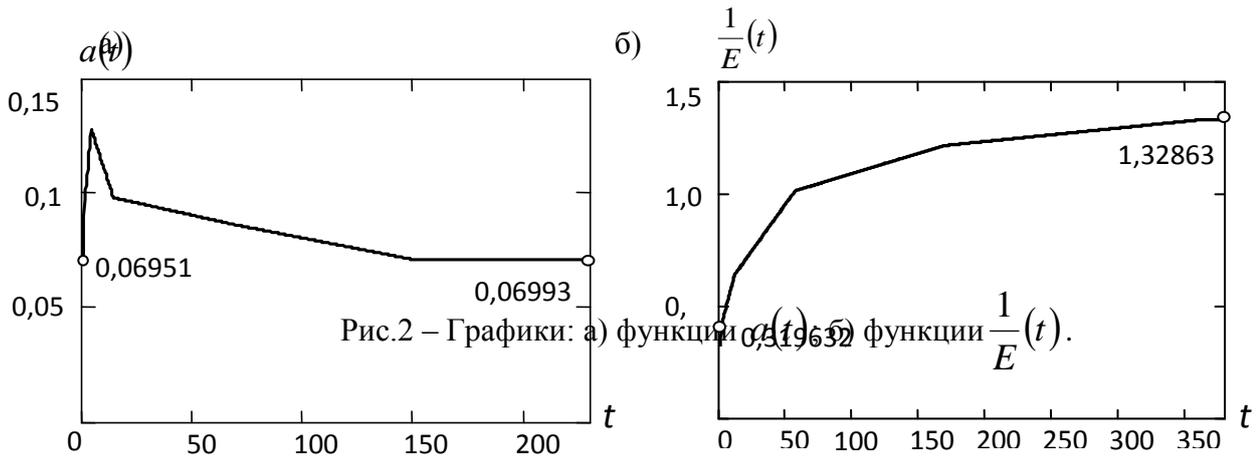
Данному эксперименту соответствует задача о нагружении упругого двухфазного полупространства равномерно распределенной нагрузкой.

На основании известного фундаментального решения задачи Фламана для двухфазного упругого полупространства [5] получена следующая аналитическая зависимость изменения во времени вертикальных перемещений частиц скелета грунта [6]:

$$S_{\theta} = \frac{2 \cdot F \cdot \sin \theta}{\pi} \cdot \frac{1}{E} \cdot [v \cdot (1 + v) + (1 - v \cdot (1 + v)) \cdot a \cdot r] \cdot e^{-a \cdot r} \cdot \left[\ln \frac{R}{r} - \left(a \cdot r + \frac{(a \cdot r)^2}{2 \cdot 2!} + \dots + \frac{(a \cdot r)^4}{4 \cdot 4!} \right) \right] \quad (1)$$

Здесь $r = \sqrt{\eta^2 + z^2}$; v – коэффициент Пуассона; R – радиус окружности, в точках которой радиальные перемещения обращаются в ноль; $\frac{1}{E}$ – механическая характеристика, количественно описывающая свойство частиц скелета грунта накапливать деформацию при постоянной нагрузке; a – универсальный параметр кинематической модели.

По показаниям датчика №1, расположенного на дневной поверхности определим механические характеристики $a(t)$ и $\frac{1}{E}(t)$. Графики полученных функций приведены на рис.2.



Подставим в выражение (1) для функции S_θ вместо постоянных a и $\frac{1}{E}$ функции времени, соответственно $a(t)$ и $\frac{1}{E}(t)$, и перепишем в изображениях по Лапласу-Карсону, используя принцип Вольтерра:

$$[S_\theta]^*(p, r) = \frac{2 \cdot F \cdot \sin \theta}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{E} \right]^*(p) \cdot \left[\nu \cdot (1 + \nu) + (1 - \nu) \cdot (1 + \nu) \cdot [a]^*(p) \cdot r \right] \cdot e^{-[a]^*(p) \cdot r} \cdot \left[\ln \frac{R}{r} - \left(\frac{[a]^*(p) \cdot r}{1 \cdot 1!} + \frac{([a]^*(p) \cdot r)^2}{2 \cdot 2!} + \frac{([a]^*(p) \cdot r)^3}{3 \cdot 3!} + \frac{([a]^*(p) \cdot r)^4}{4 \cdot 4!} \right) \right] \quad (2)$$

По методу ломаных от изображения $[S_\theta]^*(p)$ перейдем к оригиналу $S_\theta(t)$ для фиксированного значения $r = 0,001M$ и построим график полученной функции (рис.3).

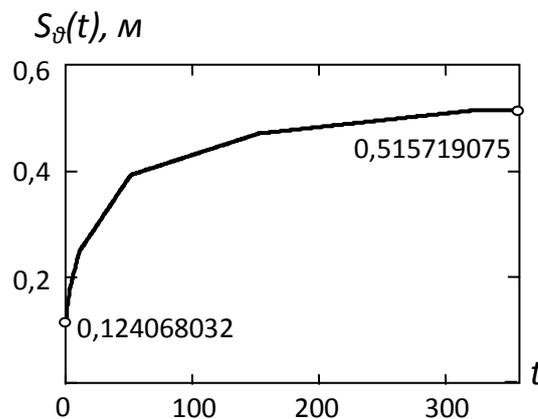


Рис. 3 – График изменения во времени перемещений точек дневной поверхности.

На основе полученных механических характеристик $a(t)$ и $\frac{1}{E}(t)$ для датчика №1 выполним теоретический прогноз по перемещениям для датчиков №2, №3.

Численное сопоставление теоретического прогноза с экспериментальными данными по перемещениям приведено в таблице 1, графики – на рис.4.

Таблица 1 – Сопоставление экспериментальных и теоретических значений

$t, \text{сут.}$	$z = 0,9\text{м}$			$z = 7,6\text{м}$		
	$S_{\text{экспер.}, \text{м}}$	$S_{\text{теор.}, \text{м}}$	$\Delta, \%$	$S_{\text{экспер.}, \text{м}}$	$S_{\text{теор.}, \text{м}}$	$\Delta, \%$
0	0,0444427	0,04830424	-8,69	0,006607974	0,00819996	-24,09
41	0,121146	0,13364611	-10,32	0,018537	0,022364094	-20,65
72	0,1430911	0,15727680	-9,91	0,022422	0,02636894	-17,6
131	0,17428	0,17327922	0,57	0,026253	0,029076733	-10,76
192	0,205288	0,18561664	9,58	0,031265	0,031161294	0,33
253	0,2218	0,19111786	13,83	0,036943	0,032084097	13,15
345	0,23744	0,19941477	16,01	0,044059	0,033475866	24,02
360	0,23744	0,20076753	15,44	0,044059	0,033702784	23,51

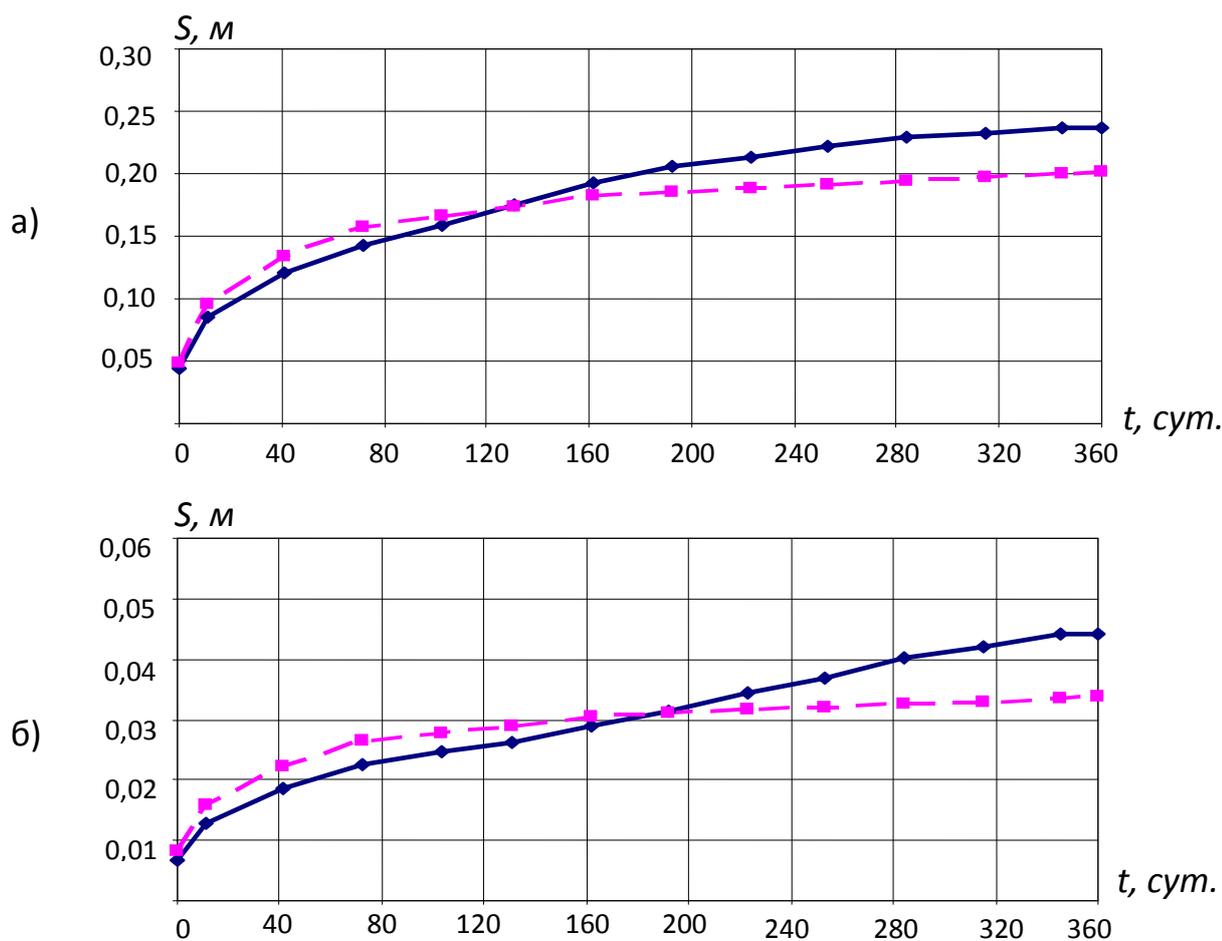


Рис. 4 - Сопоставление теоретических значений перемещений с экспериментальными данными: а) $z = 0,9\text{м}$, б) $z = 7,6\text{м}$, экспериментальные данные (—), теоретический прогноз (- - -).

Из сопоставления следует, что для датчика, расположенного близко к дневной поверхности ($z = 0,9\text{ м}$), максимальное расхождение составляет 16%, а для датчика, удаленного от дневной поверхности на глубину $z = 7,6\text{ м}$ – 24%.

Таким образом, предложенная методика расчета деформированного состояния позволяет, с достаточной для практики точностью, рассчитывать осадку слабых водонасыщенных оснований.

Список литературы:

1. *Огибалов П.М., Ломакин В.А., Кишкин Б.П.* Механика полимеров.-М.:ИМУ, 1975,-528с.
2. *Ильюшин А.А., Победря Б.Е.* Основы математической теории термовязкоупругости.-М.:Наука, 1970,-280с.
3. *Мальцев Л.Е., Карпенко Ю.И.* Теория вязкоупругости для инженеров – строителей. Тюмень, Издательство «Вектор Бук», 1999, 240с.
4. *Зехниев С.С.* Стабилизация оснований с плоскими дренами. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 1988.
5. *Мальцев Л.Е., Бай В.Ф., Мальцева Т.В.* Кинематическая модель грунта и биоматериалов, СПб СИ, 2002, 320с.
6. *Трефилина Е.Р.* Исследование напряженно – деформированного вязкоупругого двухфазного полупространства: диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Тюмень. – 2004.

Д.А. Гензе

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет
Россия, Тюмень
ehre2003@mail.ru

ЗАВИСИМОСТЬ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ГРУНТОВ ОТ ИХ ВЛАЖНОСТИ

Проведен анализ зависимостей диэлектрической проницаемости от влажности, разработанных различными исследователями. Отображены данные лабораторных и полевых исследований, на основе которых уточнена ранее предложенная математическая модель диэлектрической проницаемости в грунте от влажности.

Ключевые слова: математическая модель, диэлектрическая проницаемость, грунт.

Существует ряд зависимостей диэлектрической проницаемости от влажности грунтов, предложенных различными исследователями на основе эмпирических исследований [1-3]. Все они основаны на определении влажности при помощи прибора – георадара.

Проведя анализ зависимостей для песчаных грунтов, было обнаружено значительное отличие результатов полученных по различным методикам (рис.1). Это можно объяснить тем, что грунты на различных территориях имеют свои отличительные характеристики и, соответственно, расчет по предложенным зависимостям будет давать погрешность, в виду отсутствия привязки к местности. Т.е. эти зависимости можно применять только в тех местах, где они разрабатывались, для расчета на различных территориях требуется универсальная зависимость.

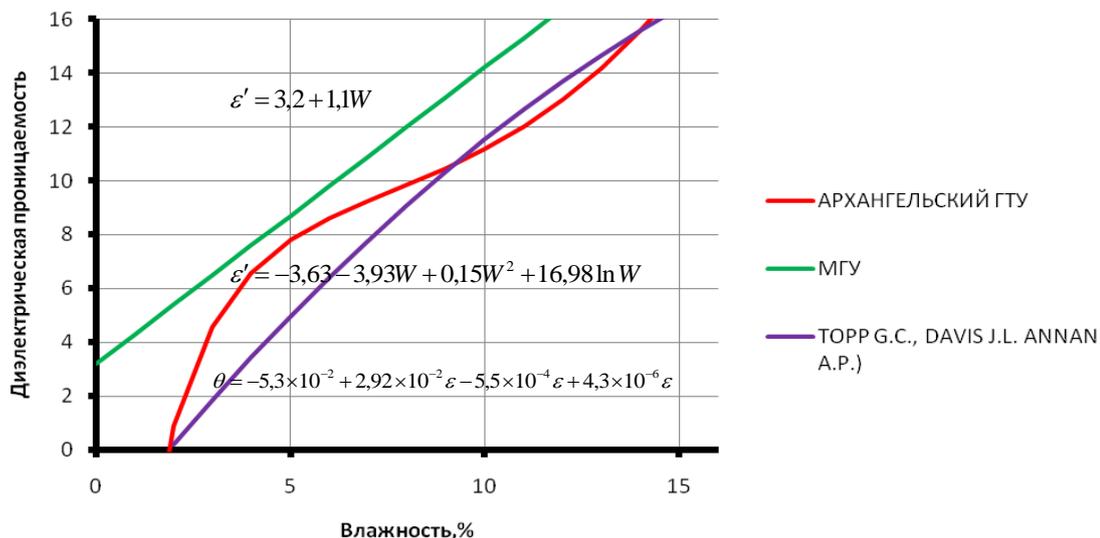


Рис. 1- Сравнительный анализ зависимостей диэлектрической проницаемости грунтов от их влажности

Взяв за основу формулу Лихтенекера, была предложена математическая модель [4] зависимости диэлектрической проницаемости грунта от влажности. При разработке модели были проведены теоретические исследования различных фаз грунта на диэлектрическую проницаемость грунта в целом и выбраны наиболее значимые. В результате получена формула (1).

$$\varepsilon'_{zp} = (k_1 \varepsilon'_{мин})^{(1-W_0)} \times (k_2 \varepsilon'_{вод})^{W_0} \quad (1)$$

где:

K_1 – коэффициент учитывающий плотность минерала;

K_2 – коэффициент учитывающий минерализацию воды.

Для ее уточнения проводились лабораторные и полевые исследования.

В лаборатории был сооружен деревянный лоток размером 1,5x4,5x1м в него закладывался грунт с определенной влажностью, и проводилось уплотнение. Затем производилась съемка георадарами ОКО-М1 с антенными блоками АБ-1200 и АБ-400, после чего брались контрольные пробы на влажность и плотность согласно [5].

В результате анализа лабораторных исследований была подтверждена ранее предложенная математическая зависимость диэлектрической проницаемости грунта от влажности (рис.2)

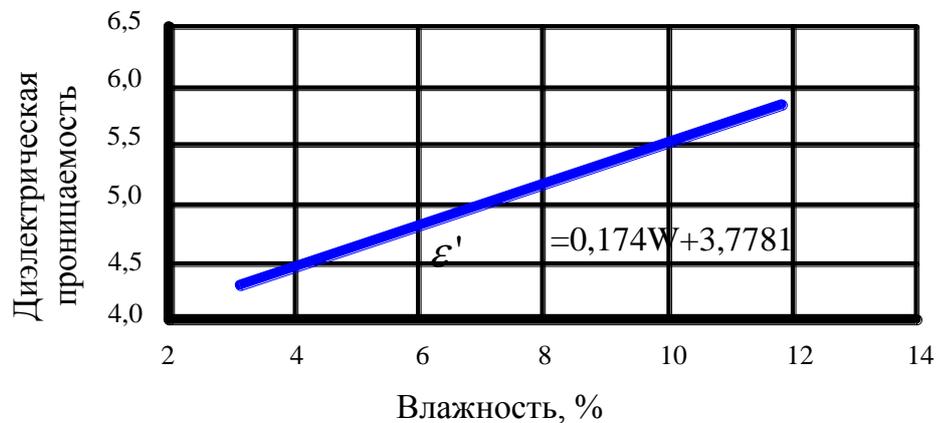


Рис 2- Зависимость диэлектрической проницаемости грунта от его влажности

Подтверждение теоретических данных результатами лабораторных исследований позволило нам перейти к полевым работам, для проверки теории в натуральных условиях. Работы выполнялись на различных объектах в Тюменской области в следующих организациях: Управление автомобильных дорог ХМАО 2005г., ТНК-Уват 2007-2011гг., Salym Petroleum Development 2010г., Администрация г.Тюмени 2010г.

По результатам полевых работ были построены зависимости диэлектрической проницаемости от влажности грунтов, при постоянной плотности (рис.3). Полученные данные подтвердили предложенную математическую модель и зависимости, ранее полученные в лаборатории.

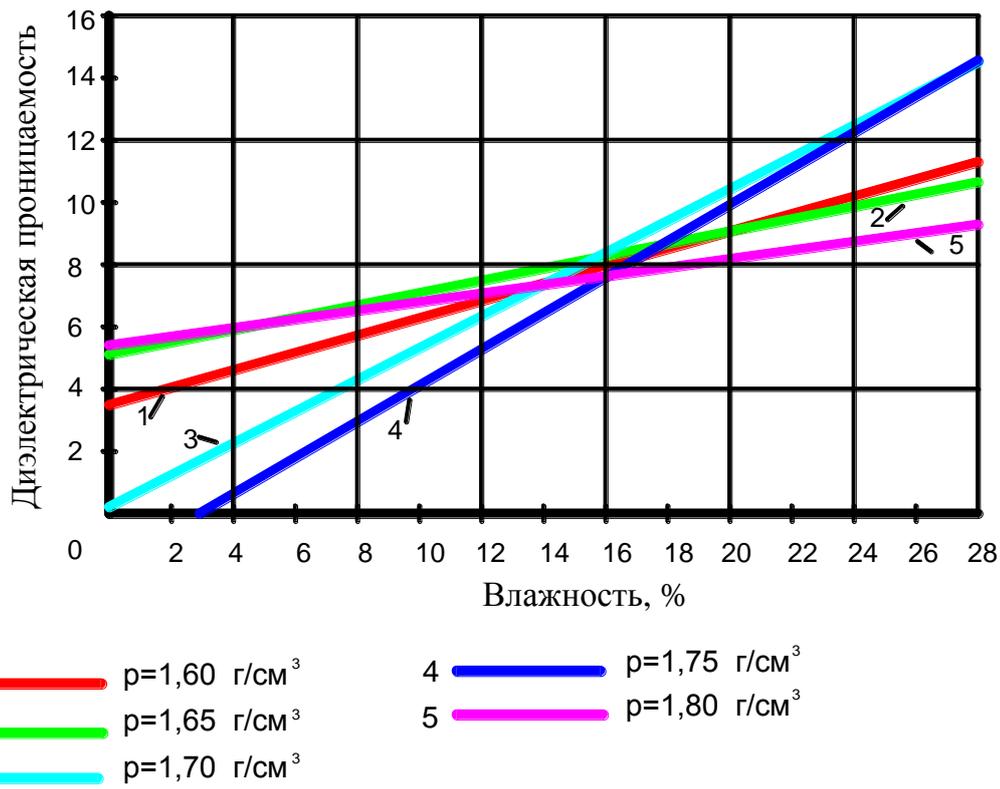


Рис 3- Результаты полевых исследований

Таблица- Подбор коэффициентов

Плотность, г/см^3	K_1 — коэффициент учитывающий плотность	K_2 — коэффициент химического состава воды.
1,50-1,59	1,26	0,24
1,60-1,69	1,25	0,20
1,70-1,79	1,19	0,22
1,80-1,89	1,17	0,33

На основе данных полученных в ходе экспериментов были подобраны коэффициенты для формулы (1) с учетом минимального среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации (таблица). Представленные коэффициенты применимы для района северного приобья.

Даную зависимость можно адаптировать для любой территории путем определения эмпирических коэффициентов после проведения ряда торировочных исследований.

Проанализировав выражение (1) и выражая W_0 , была получена зависимость:

$$(2) \quad W_0 = \log \left(\frac{(k_2 \varepsilon'_{\text{дв}})}{(k_1 \varepsilon'_{\text{дв}})} \right) \frac{\varepsilon'_{\text{дв}}}{k_1 \varepsilon'_{\text{дв}}}$$

Таким образом, определяя влажность, по предложенной формуле (2) и используя известные зависимости [6], косвенным путем получаем значение модуля упругости грунта (рис.4). Данная методика позволяет в полевых условиях при помощи георадара определять прочностные характеристики грунта и оперативно принимать инженерные решения.

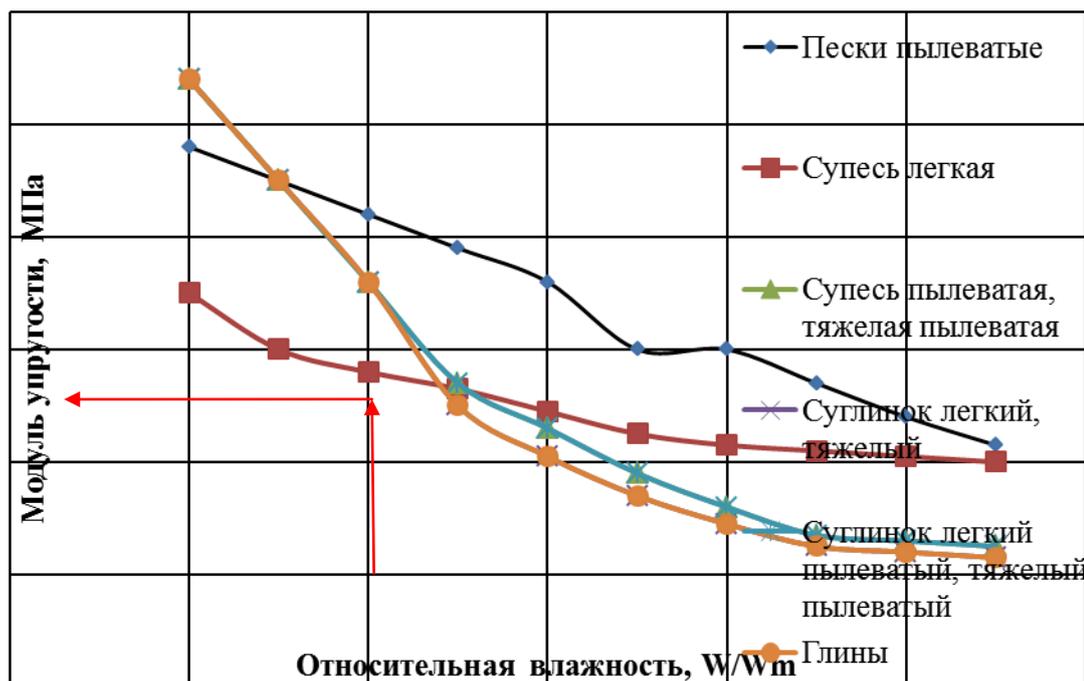


Рис.4. Зависимость модуля упругости от относительной влажности

При проведении дополнительных работ по уточнению эмпирических коэффициентов учитывающих местные грунтовые условия, предложенная математическая модель может быть использована для определения влажности и косвенно прочностных характеристик для любых территорий.

Список литературы:

1. Владов М.Л., Введение в георадиолокацию / Владов М.Л., Старовойтов А.В./Издательство Московского университета, 2004 – с. 153.
2. Кулижников А.М., Георадарные методы определения влажности грунтов земляного полотна/ Кулижников А.М., Белозеров А.А. // Дороги и мосты. - 2005. - Вып.13/1. - с.185-193.
3. Annan A.P., Davis J.L., Gendzwill D. (1988): Radar sounding in potash mines, Saskatchewan, Canada. (Geophysics, vol. 53, pp. 1556-1564). Annan A.P, Davis J.L., Gendzwill D. (1988): Radar sounding in potash mines, Saskatchewan, Canada. (Geophysics, vol. 53, pp. 1556-1564).
4. Гензе Д.А., Математическая модель диэлектрической проницаемости грунтов ненарушенной структуры / Гензе Д.А., Шуваев А.Н.//Нефть и газ №6 2010.- с.111-114
5. Грунты. Методы лабораторного определения: ГОСТ 5180-84 физических характеристик - Взамен ГОСТ 5180-75, ГОСТ 5181-78, ГОСТ 5182-78, ГОСТ 5183-77: введен 01.07.1985, М., 1985. – с. 19.
6. Проектирование нежестких дорожных одежд: ОДН 218.046-01. - Взамен ВСН 46-83: введен 01.01.2001, М., 2001.- с. 98.

Д.Ю. Гужва к.т.н

Военная академия связи, кафедра автоматизированных систем управления,
Россия, Санкт-Петербург,
guzhva00@mail.ru

СИНТЕЗ ТОПОЛОГИИ VPN-СЕТЕЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ МЕТОДОМ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

В работе представлена методика синтеза топологии VPN-сетей, основанная на генетической оптимизации. Рассмотрены базовые операции генетического алгоритма. Предложена модель оценки пропускной способности VPN-сети, основанная на теории массового обслуживания, учитывающая топологию и обрабатываемую нагрузку.

Ключевые слова: генетический алгоритм, VPN-сеть, компьютерная сеть, канал связи, топология сети.

Построение в современных автоматизированных информационно-управляющих системах (АИУС) защищенных каналов связи через сети общего пользования (СОП), в частности, сеть Интернет, осуществляется с использованием технологии виртуальных частных сетей (*virtual private net – VPN*), позволяющей организовывать защищенные «туннели», проходящие через СОП. На концах «туннеля» находятся криптомаршрутизаторы (КМ), осуществляющие шифрацию (дешифрацию) пакетов сообщения. Между КМ организуется обычный *IP*-канал, проходящий через СОП. *VPN*-каналы могут быть простыми либо составными (транзитными), состоящими из последовательно соединенных простых *VPN*-каналов.

Базовыми типами топологии *VPN*-сети, образуемой взаимосвязанными *VPN*-каналами, являются полносвязная, радиальная и кольцевая. Каждый из этих типов имеет свои достоинства и недостатки, отражающиеся на значениях основных показателей качества сети: пропускной способности, устойчивости, безопасности и стоимости. На практике обычно реализуется смешанная топология, при которой достигается компромиссное сочетание значений указанных показателей, отвечающих предъявляемым требованиям.

Задача синтеза топологии *VPN*-сети в АИУС относится к классу *NP*-полных. Целевые функции данной задачи, как правило, являются нелинейными, поэтому применение для ее решения традиционных методов оптимизации весьма затруднительно. Предложим для ее решения подход, известный как эволюционный синтез [1], основанный на применении метода генетической оптимизации.

Сущность данного метода заключается в использовании *генетических алгоритмов оптимизации* (ГАО) [2]. На этапе инициализации ГАО случайным образом формируется некоторое начальное множество решений задачи, или *популяция*. Каждое решение, или *особь*, характеризуется строкой, изоморфно связанной с векторами и матрицами переменных, определяющими это решение. Эта строка называется *хромосомой*, а отдельный символ в ней – *геном*.

На каждом последующем этапе ГАО выполняются следующие базовые операции. Из популяции случайным образом выбираются пары особей, именуемые *родителями*. Между ними происходит процесс скрещивания, или *кроссинговера*, в результате которого появляется пара новых особей-потомков. Хромосома каждого из потомков формируется из двух частей: одна часть берется от хромосомы «отца», а вторая – от хромосомы «матери».

Потомки добавляются в общую популяцию. Популяция имеет количественные ограничения, поэтому особи, имеющие наименьшую *функцию пригодности*, удаляются из популяции («умирают»). Кроме того, на каждом этапе некоторая часть особей подвергается *мутации*, в ходе которой случайным образом изменяются отдельные гены в хромосоме.

Завершение работы ГАО осуществляется тогда, когда популяция выходит на устойчивое состояние, в котором особь с максимальным значением функции пригодности принимается за окончательное решение задачи.

Покажем, каким образом можно применить метод генетической оптимизации к синтезу топологии VPN-сети.

Введем матрицу \mathbf{X} булевых переменных таких, что $x_{ij} = 1$, если между i -м КМ и j -м КМ существует IP-канал, и $x_{ij} = 0$ – в противном случае. Матрица переменных \mathbf{X} , таким образом, полностью определяет конкретный вариант топологии сети.

Матрица \mathbf{X} является симметричной, имеющей нулевые элементы на главной диагонали. Поэтому предложим следующий вид хромосомы:

$$\mathbf{X}_p = \{x_{12}, x_{13}, \dots, x_{1N}; x_{23}, \dots, x_{2N}; \dots; x_{(N-1)N}\}. \quad (1)$$

Для построения функции пригодности будем использовать показатель пропускной способности и покажем, как можно оценить пропускную способность VPN-сети в зависимости значений, которые принимают элементы матрицы \mathbf{X} . При этом исходим из того, что пропускная способность VPN-сети определяется суммой пропускных способностей всех ее составляющих VPN-каналов.

Для этой цели представим простой VPN-канал сетью массового обслуживания (СМО), состоящей из трех последовательно соединенных систем массового обслуживания (СМО): начального КМ (СМО-1), IP-канала (СМО-2) и конечного КМ (СМО-3). На вход СМО-1 поступает нагрузка λ . Нагрузку на СМО-2 и СМО-3 обозначим, соответственно, λ_2 и λ_3 .

Интенсивности обслуживания СМО-1 и СМО-3 равны, так как в них используются одинаковые алгоритмы шифрования. Обозначим их μ . Интенсивность обслуживания СМО-2 обозначим ν . По сути, она представляет собой пропускную способность IP-канала.

Постановка задачи сводится к нахождению интенсивности обслуживания СМО, обозначенной μ_{VPN} , являющейся, по сути, пропускной способностью простого VPN-канала.

Для нахождения μ_{VPN} необходимо рассчитать суммарное время задержки поступающих в СМО заявок.

Для расчета времени задержки $T_{зад1}$ на СМО-1 воспользуемся известной теоремой Литтла [3], в соответствии с которой

$$T_{зад1} = \frac{1}{\mu - \lambda}. \quad (2)$$

Обозначим коэффициент использования СМО-1 через $\rho = \lambda/\mu$. Тогда (2) переписется в виде

$$T_{зад1} = \lambda^{-1} \rho (1 - \rho)^{-1}. \quad (3)$$

Используя ρ , можно следующим образом определить нагрузку λ_2 :

$$\lambda_2 = \lambda(1 - \rho). \quad (4)$$

Обозначим $\eta = \lambda/v$. Тогда, учитывая (3), время задержки $T_{\text{зад}2}$ на СМО-2 будет определяться выражением

$$T_{\text{зад}2} = \lambda^{-1} \eta (1 - \eta(1 - \rho))^{-1}. \quad (5)$$

Обозначим $\rho_2 = \lambda_2/v$. Используя (4), для расчета ρ_2 имеем

$$\rho_2 = (1 - \rho) \eta. \quad (6)$$

В свою очередь с учетом (6) для времени задержки $T_{\text{зад}3}$ на СМО-3 будет справедливым следующее выражение:

$$T_{\text{зад}3} = \lambda^{-1} \rho (1 - \rho(1 - \rho)(1 - \eta(1 - \rho)))^{-1}. \quad (7)$$

Суммарное время задержки заявок в СеМО определяется суммой

$$T_{\text{зад}VPN} = T_{\text{зад}1} + T_{\text{зад}2} + T_{\text{зад}3}. \quad (8)$$

Подставляя в (8) результаты, полученные в (3), (5) и (7), приходим к окончательному виду выражения для суммарного времени задержки

$$T_{\text{зад}VPN} = \lambda^{-1} (\rho(1 - \rho)^{-1} + \eta(1 - \eta(1 - \rho))^{-1} + \rho(1 - \rho(1 - \rho)(1 - \eta(1 - \rho)))^{-1}). \quad (9)$$

Запишем теперь формулу Литтла для простого VPN-канала как СМО, подставляя в нее $T_{\text{зад}VPN}$ и μ_{VPN} :

$$T_{\text{зад}VPN} = \frac{1}{\mu_{VPN} - \lambda}. \quad (10)$$

Обозначим $\rho_{VPN} = \lambda/\mu_{VPN}$. Тогда из (9) и (10) получаем искомое выражение для коэффициента использования простого VPN-канала:

$$\rho_{VPN} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{\rho}{1 - \rho} + \frac{\eta}{1 - \eta(1 - \rho)} + \frac{\rho}{1 - \rho(1 - \rho)(1 - \eta(1 - \rho))}}. \quad (11)$$

Рассмотрим теперь случай с составным VPN-каналом. Обозначим $\rho = \lambda/\mu_{VPN}$. Подставляя в (11) ρ вместо η , получим для коэффициента использования \mathbf{P}_{SVPN-3} составного VPN-канала с двумя транзитами:

$$\mathbf{P}_{SVPN-3} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{\rho}{1 - \rho} + \frac{\rho}{1 - \rho(1 - \rho)} + \frac{\rho}{1 - \rho(1 - \rho)(1 - \rho(1 - \rho))}}. \quad (12)$$

Переходя от (12) к VPN-каналу с $(i+1)$ транзитами, имеем:

$$P_{SVPN-n} = 1 - \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\rho}{\tau_i}}, \quad (13)$$

где $\tau_1 = 1 - \rho$, а τ_i определяется рекурсивно через τ_{i-1} :

$$\tau_i = 1 - (1 - \tau_{i-1})\tau_{i-1}. \quad (14)$$

Таким образом, если известно количество транзитов в составных VPN-каналах и нагрузка в информационных направлениях, то, используя (13) и (14), легко найти пропускную способность всей VPN-сети. Покажем, как, исходя из матрицы \mathbf{X} , можно найти число транзитов в составных VPN-каналах. Введем для VPN-канала понятие *ранга* r таким образом, что простой канал имеет $r = 1$, составной канал с одним транзитом – $r = 2$, с двумя – $r = 3$ и т.д. Перейдем от матрицы \mathbf{X} к *матрице рангов* \mathbf{R} следующим образом: если $x_{ij} = 1$, то $r_{ij} = 1$; если $x_{ij} = 0$, то $r_{ij} = \infty$.

Нахождение матрицы \mathbf{R}_{\min} минимальных рангов путей, существующих между узлами сети, осуществляется путем последовательного возведения в степень исходной матрицы \mathbf{R} , заменяя процедуру перемножения матриц на операцию Δ [4]. Операция Δ над двумя квадратными матрицами $\mathbf{A} = \|\alpha_{ij}\|$ и $\mathbf{B} = \|\beta_{ij}\|$ порядка N задается следующим образом: входение γ_{ij} новой матрицы $\mathbf{C} = \mathbf{A} \Delta \mathbf{B}$ определяется как минимум из почленных сумм i -й строки матрицы \mathbf{A} и j -го столбца матрицы \mathbf{B} :

$$\gamma_{ij} = \min(\alpha_{i1} + \beta_{1j}, \alpha_{i2} + \beta_{2j}, \dots, \alpha_{iN} + \beta_{Nj}).$$

В результате матрица $\mathbf{R}^{2\Delta} = \mathbf{R} \Delta \mathbf{R}$ показывает все пути, имеющие минимальный ранг не выше двух, матрица $\mathbf{R}^{3\Delta} = \mathbf{R}^{2\Delta} \Delta \mathbf{R}$ – все пути ранга, не превышающего три и т.д. Возведение матрицы \mathbf{R} в степень продолжается, пока в результирующей матрице не исчезнут элементы, равные ∞ .

Исходя из матрицы минимальных рангов, определяются число транзитов и коэффициенты использования VPN-каналов согласно (13) и (14). Зная нагрузку $\Lambda = \|\lambda_{ij}\|$, переходим от коэффициентов использования к пропускным способностям вначале VPN-каналов, а затем – всей сети. Тем самым определяется функция пригодности ГАО в зависимости от матрицы \mathbf{X} .

Таким образом, предложенная структура хромосом и рассмотренный порядок определения функции пригодности в полной мере позволяют использовать метод ГАО для синтеза топологии VPN-сетей в АИУС.

Список литературы:

1. Балашов Е.П. Эволюционный синтез систем. – М.: Радио и связь, 1985. – 328 с.
2. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы / Под ред. В.М. Курейчика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 368 с.
3. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 544 с.
4. Давыдов Г.Б. и др. Сети электросвязи. М., «Связь», 1977. – 360 с.

И.Н. Егоров д.т.н., Д.А. Кадхим

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых,
Россия, Владимир,
egorovmtf@mail.ru

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО РОБОТА В ТРУБОПРОВОДАХ С ПЕРЕМЕННЫМ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ

Показана эффективность внутритрубной диагностики газотрубопроводов с переменным поперечным сечением колесными мобильными роботами с адаптивным или интеллектуальным управлением. Описаны механизмы адаптации поджатия колесных модулей к внутренней поверхности трубопровода. Приведены структурные и функциональные схемы слежения мобильного робота за поверхностью трубопровода, нечеткого импедансного управления перемещением мобильного робота в трубопроводе и системы позиционно-силового управления механизмом поджатия колесных модулей.

Ключевые слова: мобильный робот, управление, адаптация, электропривод, дефекты, трубопровод, поперечное сечение, колесные модули.

Одной из особенностей дефектоскопии нефте-газотрубопроводов, является выполнение внутритрубной диагностики в условиях переменности поперечного сечения вследствие наличия: дефектов формы типа овализации, вмятин, гофр; плановых изгибов, сужений и других изменений диаметра трубопровода; внешних включений в виде загрязнения и посторонних предметов. Диагностирование магистральных нефте-газотрубопроводов (МТ), осуществляется с помощью комплекса внутритрубных инспекционных приборов-профилемеров, приборов-дефектоскопов и ультразвуковых дефектоскопов, автономно перемещающихся [1] в заполненном водой трубопроводе с помощью мобильного робота. Подобные устройства относятся к подвижным мобильным роботам (МБР), перемещающихся *в потоке транспортируемого продукта* под действием избыточного давления создаваемого жидкостью или газом внутри трубопровода.

Диагностика газопроводов низкого и среднего давления, также вызывает серьезные технологические трудности. Движение диагностического прибора (магнискана) в газопроводе происходит с многочисленными остановками на сужениях или даже кольцевых сварных швах. В приборах-поршнях традиционной конструкции реализация плавного продвижения через сужения трубопровода невозможна, что приводит к потере диагностических данных на многих участках газопровода. В последнее время в газопроводах для решения проблемы неравномерности движения диагностических средств используются приборы с управляемым байпасным отверстием. Другим способом уменьшения перепада давления, требуемого для прохождения сужения, является применение на приборе подвижных манжет. В ООО «АПРОДИТ» изготовлен действующий прототип прибора с активными манжетами для трубопровода диаметром 150 мм. В ряде случаев, наиболее эффективным средством реализации технологии внутритрубной диагностики газопроводов является применение дефектоскопов, перемещаемых с помощью мобильных роботов (МБР) [2].

Во Владимирском государственном университете им. А.Г. и Н.Г. Столетовых предложено, с целью повышения эффективности операций внутритрубной диагностики применять адаптивные колесные МБР, осуществляющие перемещение и ориентацию диагностических устройств в распределительных газопроводах и газопроводах-отводах.

Для прохождения отводов, наклонных и особенно вертикальных участков трубопровода целесообразно применение колесных МБР с 3-х контактной лучеобразной кинематикой (рис.1) секций системы передвижения, в которой три отдельных ведущих движителя типа мотор-колесо с дифференциальным управлением их скоростью расположены друг относительно друга под углом 120° .

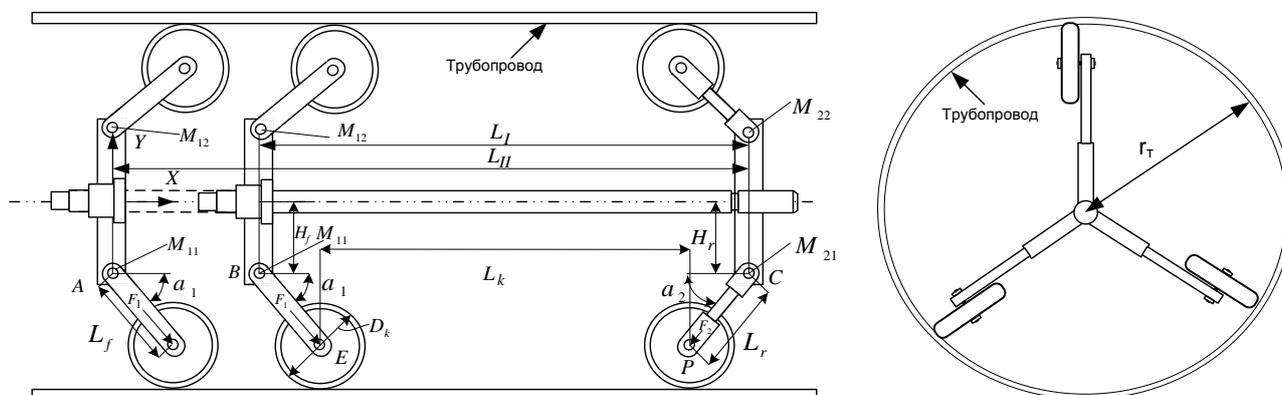


Рис. 1 - Кинематическая схема адаптивного МБР с 3-х контактной лучеобразной системой передвижения: r_T - радиус трубопровода; H_f, H_r расстояние между центральной осью робота и шарнирами В,С; L_r, L_f - длины линейных звеньев колесных модулей (КМ); L_I, L_{II} -длины базы крепления лучеобразных секций системы передвижения; L_k – настраиваемое расстояние между центрами КМ; α_1, α_2 - углы наклона линейных звеньев КМ; F_{1i}, F_{2i} ,(i=1,2,3)- силы в линейных звеньях, создаваемые линейными приводами; M_{1k}, M_{2k} , (k=1,2,3) –моменты, создаваемые электродвигателями M_{1i}, M_{2i} , (i=1,2,3); D_k -диаметр колес.

Рабочее пространство подобных роботов характеризуется многофакторной нестационарностью и неопределенностью. В частности, диаметр и геометрия профиля трубопровода является нестационарными, что приводит к необходимости адаптации размеров, конфигурации и управления колесной системы робота. При небольших изменениях диаметра возможна пассивная адаптация с помощью пружинных устройств, обеспечивающих дополнительное поджатие КМ к стенке трубопровода. Более эффективно применение механизмов комбинированной адаптации поджатия КМ (МАПКМ) на основе дополнительного линейного электропривода (ЭП) с нечетким управлением, наблюдателем сил, самотормозящейся механической передачи (СМП) и параллелограммным подпружиненным механизмом.

Структура системы слежения МБР с автомобильной компоновкой шасси за программной траекторией, в общем случае рассмотрена в известной работе [3]. Программная траектория внутритрубного диагностического МБР определяется, в общем случае неполностью заданной поверхностью трубопровода. Поэтому система управления (рис.2) должна обеспечивать идентификацию этой поверхности с последующей сигнальной и параметрической самонастройкой соответствующих устройств.

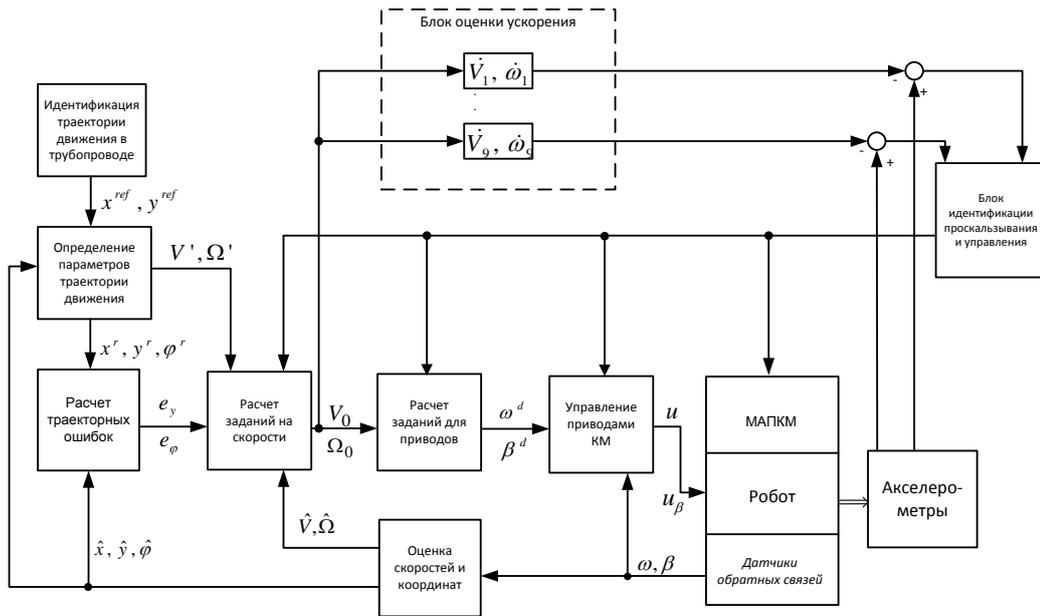


Рис. 2 - Структурная схема слежения мобильного робота за поверхностью трубопровода

С целью исключения проскальзывания применяются: акселерометры, блок идентификации проскальзывания и соответствующие блоки самонастройки. Для получения дополнительной информации о форме и особенностях поверхности трубопровода может быть использована система с многокомпонентным мехатронным датчиком или наблюдателем сил и моментов [2].

При перемещении МБР в трубопроводе реализуется принцип движения в желаемом направлении вдоль наложенных на него удерживающих связей, который позволяет формировать «квазипрограммную» траекторию движения. С точки зрения позиционно-силового управления это нечеткое импедансное управление (рис.3) [2,4,5].

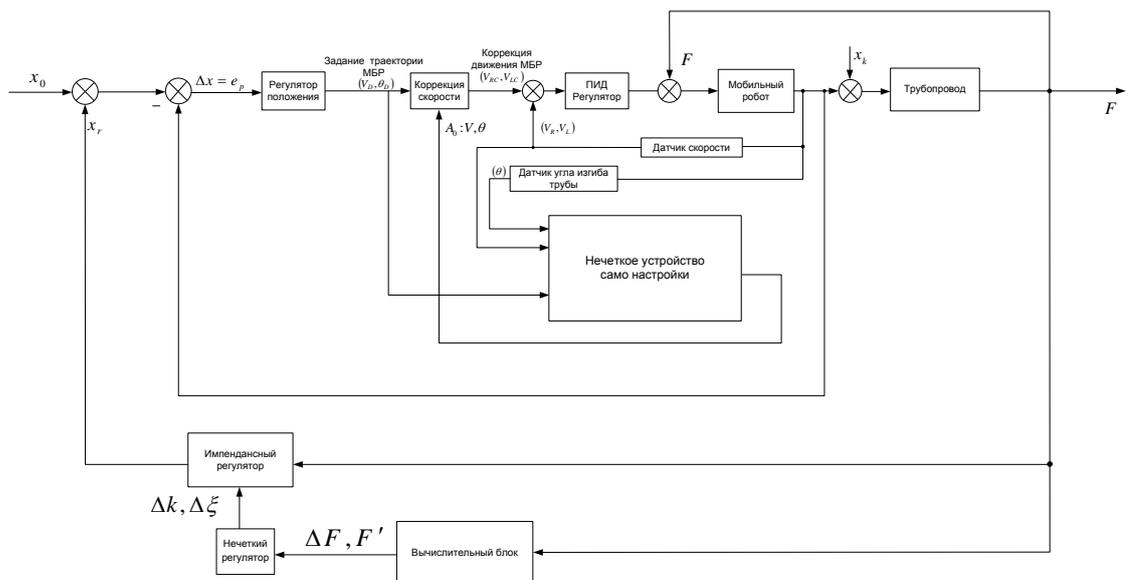


Рис. 3 - Система нечеткого импедансного управления перемещением мобильного робота в трубопроводе

Рассматриваемая система управления имеет три обратных связи: по положению, силе и главную обратную связь с импедансным регулятором. Нечеткий механизм адаптации изменяет импеданс обратной связи в соответствии с невязкой между фактическим и желательным значением силы. Нечеткий регулятор (механизм адаптации) имеет два входа: первый вход ΔF - отклонение текущего значения силы от требуемого значения силы; второй вход – аналог производной от силы F' . Выход нечеткого регулятора - $\Delta k, \Delta \xi$, которые обеспечивают адаптацию параметров импедансного регулятора. Блок нечеткого устройства самонастройки обеспечивает прохождение возникающих в трубопроводе препятствий.

Наиболее простым вариантом управления перемещением МБР в трубопроводе с переменным поперечным сечением является квазисвободное движение с адаптацией положения робота за счет механизма адаптации положения КМ.

Упрощенная функциональная схема предлагаемой системы управления с адаптацией системы передвижения МБР к изменению поперечного сечения трубопровода показана на рис. 4.

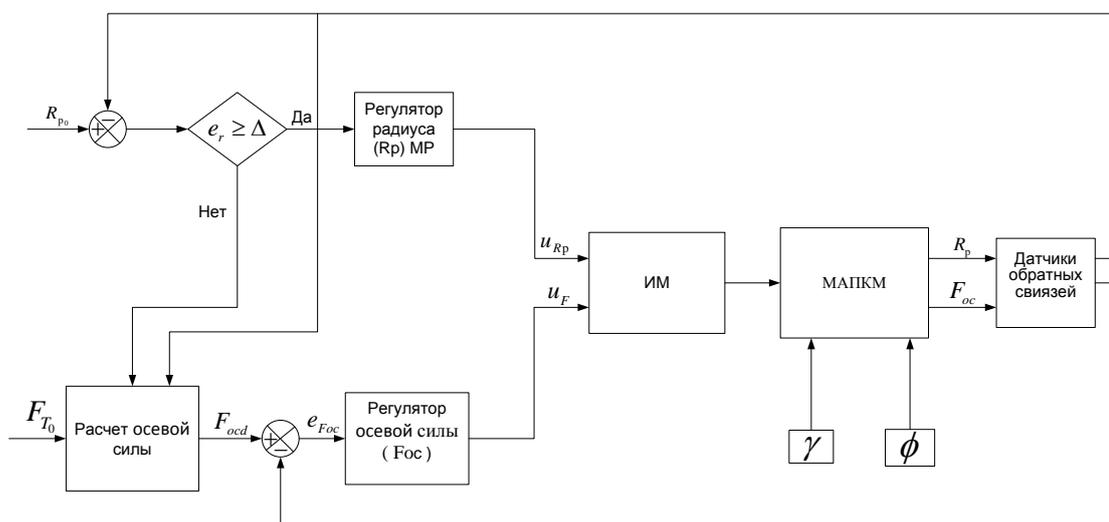


Рис. 4 - Функциональная схема системы позиционно-силового управления МАПКМ:
 R_{T0}, F_{Td}, ϕ - задания диаметра трубы, тяговой силы, угла наклона трубопровода

Система управления ЭП активной адаптации представляет собой двухканальную систему с переменной структурой, реализующей алгоритм независимого и комбинированного позиционно-силового управления [2]. На первом этапе, после измерения диаметра трубы КМ поджимаются к внутренней поверхности трубопровода с силой, обеспечивающей необходимое сцепление. Движение робота осуществляется в режиме нечеткого импедансного управления с одновременной стабилизацией силы поджатия КМ. При появлении препятствий, в т.ч. вследствие разрывности поверхности трубопровода осуществляется переход на чисто силовое управление МАПКМ или управление с силовым доминированием [2].

Одна из проблем диагностики состояния поверхности магистральных и распределительных газотрубопроводов заключается в распознавании движущимся диагностическим роботом круглых дефектов типа «несплошности в виде круглого отверстия и плавного изменения толщины круглой формы с остаточной глубиной» и определении координат их местоположения. Диагностика подобных дефектов в распределительных газопроводах с помощью магнисканов практически невозможна вследствие неравномерности

передвижения снарядов. При ультразвуковой диагностике число датчиков, например для трубы диаметром 720 мм, может достигать 480 датчиков. Вследствие использования большого числа датчиков и сложных алгоритмов обработки информации резко возрастают объем электроники, потребляемая мощность и, как следствие, число секций и длина внутритрубного дефектоскопа.

Поэтому, при решении подобных задач целесообразно применять интеллектуальные автономные МБР [2,6,7], оснащенных системами видеодиагностики и телеинспекции трубопроводов. Применение многофункциональной системы технического зрения позволяет идентифицировать местонахождение, форму и размеры круглых дефектов с помощью визуальных алгоритмов и системы нечеткого управления [6, 7].

Моделирование характерных режимов работы системы управления перемещением МБР с МАПКМ и средствами визуализации в среде осуществлялось в среде Simulink MATLAB. Проведенное цифровое моделирование подтвердило высокую эффективность нечеткого позиционно-силового управления движением и ориентации мобильного робота в условиях нестационарности геометрии и диаметра внутренней поверхности трубопровода.

Список литературы:

1. *Митрохин, М.Ю.* Внутритрубная диагностика труднодоступных участков линейной части МГ / М. Ю. Митрохин, В. А. Спирин, В. А. Александров // Газовая промышленность, 2008, №6.- С . 72-74.
2. *Егоров И.Н.* Позиционно-силовое управление робототехническими и мехатронными устройствами. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2010.-192 с.
3. *Бурдаков С.Ф., Мирошник И.В., Стельмаков Р.Э.* Системы управления движением колесных роботов. – СПб.: Наука, 2001.-229 с.
4. *Surdolovic D., Cojbasic Z.* Robust Compliant Motion Control Using Intelligent Adaptive Impedance Approach. International Conference on Advanced Robotics, Intelligent Automation and Active Systems, 1998.-P.245-250.
5. *Hsu FY., FuL.C.* Intelligent robot deburring using adaptive fuzzy hybrid position / force control // IEEE Trans. Robotics and Automation.- 2000. V. 16 (4).- P.325-335.
6. *Егоров И.Н., Кадхим Д.А.* Управление технологическим оборудованием в условиях нестационарности параметров изображения и положения и подвижного объекта/Проектирование и технология электронных средств, 2009, вып.№3.- С.65-70.
7. *Егоров И.Н., Кадхим Д.А.* Нечеткое позиционно-силовое управление перемещением мобильного робота в трубопроводах с нестационарными геометрическими параметрами. Труды Девятого междунар. симпозиума «Интеллектуальные Системы» (INTELS' 2010)/ Под ред. К.А. Пупкова.- М.: РУСАКИ, 2010. - С. 554.

А.В. Жданов, к.т.н., А.В. Степенькин, А.З. Шаламберидзе

Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых,
Россия, Владимир,
tms@vlsu.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ПО ВИТКАМ РЕЗЬБЫ РОЛИКОВИНТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Решена задача о распределении нагрузки по виткам резьбы роликовинтовых механизмов на примере стержневой модели с двумя упругими контактными слоями. Приведены результаты теоретического расчета распределения нагрузки по виткам роликовинтовых механизмов.

Ключевые слова: роликовинтовой механизм, нагрузка, витки резьбы

Характер распределения нагрузки между витками резьбы планетарных роликовинтовых механизмов (РВМ) необходим для расчета их нагрузочной способности, жесткости, долговечности и других силовых параметров. Классическое решение задачи распределения нагрузки между витками резьбы выполнено Н.Е. Жуковским. Сопряжение винт-гайка им представлялась в виде дискретной модели, на основе которой решалось конечно-разностное уравнение. Подробные исследования вопроса распределения нагрузки по виткам резьбы передач винт-гайка скольжения и шариковинтовых механизмов (ШВМ) проводились в работах И.А. Биргера и Г.Б. Иосилевича [1]. Позднее Г.Б. Иосилевичем был разработан наиболее общий подход, который основывается на понятии условного контактного слоя, что значительно упрощает вывод расчетных зависимостей [2].

В РВМ имеется два пространственных сопряжения: винт-ролики и ролики-гайка. Однако геометрические параметры должны накладывать на решение свои особенности. При проектировочных расчетах, а также исследованиях статической и динамической грузоподъемности неравномерность распределения нагрузки оценивалась коэффициентом k_n , который не учитывает изменение фактической геометрии профилей в результате погрешностей изготовления и износа, а также влияние сил трения в сопряжении. Вопросом распределения нагрузки по виткам резьбы РВМ занимался В.В. Козырев [3], который получил следующее выражение для проектировочных расчетов:

$$k_n = \left(\left(\frac{1}{k_{p,жс}} + \frac{1}{k_{p,м}} + \frac{1}{k_{p,л}} \right) - 2 \right)^{-1},$$

где $k_{p,жс}$, $k_{p,м}$, $k_{p,л}$ - коэффициенты неравномерности, зависящие от жесткостей деталей передачи, опрокидывающего момента в плоскости оси ролика и погрешностей изготовления резьбы соответственно. Данные коэффициенты получаются из известных зависимостей для ШВМ и не учитывают конструктивных и геометрических особенностей РВМ.

Задачу о распределении нагрузки по виткам резьбы РВМ рассмотрим на стержневой модели с двумя упругими контактными слоями. На рис. 1,а показан планетарный РВМ. На рис.1,б представлена расчетная схема для вывода уравнения распределения нагрузки по виткам резьбы. На рис.1,б обозначено: 1 – винт; 2 и 3 - упругие контактные слои, моделирующие контакт в сопряжении винт-ролик или ролик-гайка, а также тело ролика; 4 - гайка.

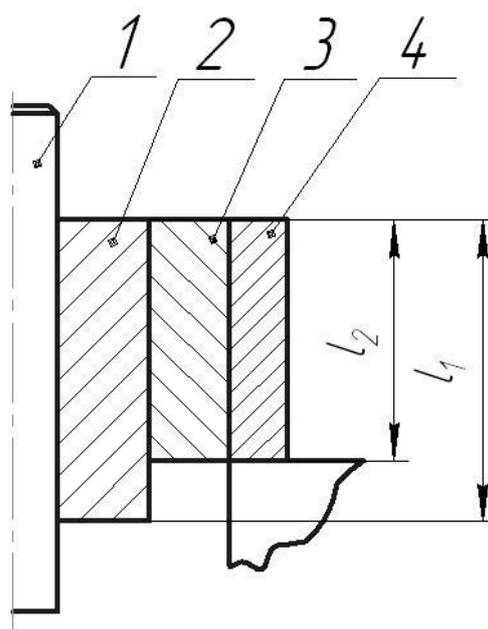
Уравнение совместности деформаций в РВМ имеет вид:

$$\Delta_I(z_1) - \Delta_{II}(z_3) = \delta_1(z_1) + \delta_2(z_1) + \delta_2'(z_3) + \delta_3(z_3) - \left[\delta_1(0) + \delta_2(0) + \delta_2'(0) + \delta_3(0) \right],$$

где $\Delta_I(z_1)$ - осевое смещение точек первого контактного слоя, определяемое координатой z_1 ; $\Delta_{II}(z_3)$ - осевое смещение точек второго контактного слоя, определяемое координатой z_3 ; $\delta_i(z_i)$ - сумма прогибов витков винта, роликов или гайки и контактной деформации в осевом направлении в сечении z_i ; $\delta_i(0)$ - то же в сечении $z_i = 0$; индексы $i = 1, 2, 3$ соответствуют винту, роликам и гайке соответственно.



а) РВМ для привода медицинского назначения



б) расчетная схема

Рис. 1. Планетарный РВМ

Внешняя осевая сила Q , действующая на РВМ, распределяется между двумя контактирующими слоями: винт-ролики (I) и ролики-гайка (II). Величина осевой нагрузки на каждый слой находится следующим образом:

$$Q_j = \int_0^{z_i} q_j(z_i) dz_i,$$

где z_i - длина i -го сопряжения, q_i - элементарное осевое усилие по высоте резьбы i -го элемента.

Решение данного уравнения можно представить в виде:

$$q_I(z_1) = Ach\beta_p z_1 + Bsh\beta_p z_1,$$

где постоянные A и B определяются из граничных условий.

С учетом этого получаем нагрузку на i – м витке:

$$q_i(z_i) = \frac{Q\beta_p}{\alpha sh\beta_p l_i} \left[\frac{ch\beta_p z_i}{E_I A_I} + \frac{nch\beta_p (l_i - z_i)}{E_{II} A_{II}} \right],$$

где l_i - длины частей контактного слоя.

Для расчета необходимо знать упруго-геометрические параметры контактных слоев: $\lambda_{m_1}, \lambda_{m_2}, \beta_p$. После преобразований получаем

$$\lambda_{m_1} = \gamma_I + b_I \gamma_{kI}, \quad \lambda_{m_2} = \gamma_{II} + b_{II} \gamma_{kII},$$

$$\text{где } \gamma_I = \frac{P_x}{\pi \sin \alpha (1 \pm k_{12})} \sum_{i=1}^2 \left(\frac{\lambda_i^*}{D_{i_k} E_i} \right), \quad \gamma_{II} = \frac{P_x}{\pi \sin \alpha (1 \pm k_{23})} \sum_{i=2}^3 \left(\frac{\lambda_i^*}{D_{i_k} E_i} \right),$$

$$\gamma_{kI} = \sqrt[3]{\left(\frac{P_x}{\pi \sin \alpha (1 \pm k_{12})} \right)^2 \frac{1}{\rho_{(1)}} \sum_{i=1}^2 \left[v_i^* \sqrt[3]{\left(\frac{S_{i_p}}{D_{i_k} E_i} \right)^2 \cos \Psi_i} \right]},$$

$$\gamma_{kII} = \sqrt[3]{\left(\frac{P_x}{\pi \sin \alpha (1 \pm k_{23})} \right)^2 \frac{1}{\rho_{(1)}} \sum_{i=2}^3 \left[v_i^* \sqrt[3]{\left(\frac{S_{i_p}}{D_{i_k} E_i} \right)^2 \cos \Psi_i} \right]},$$

Определение β_p производится по формуле и не вызывает затруднений. Для определения γ_{k_i} и λ_{m_i} необходимо знать величины λ_i^* и v_i^* , которые находятся из решения задачи о деформации упругого контактного слоя.

Коэффициенты могут быть найдены теоретически:

$$v_i^* = n_\delta \sin \alpha_k S_p^{2/3},$$

$$\lambda_i^* = ctg \alpha_k \left[2k_\gamma \sum_i (k_{1i} + k_{2i} + k_{3i}) + \frac{1 - \nu^2}{2\pi} \left(\sum_i L_i(l) + \sum_i \delta(y) \chi(x) \right) \right].$$

На рис. 2 представлены результаты теоретического расчета распределения нагрузки по виткам РВМ для сопряжений I и II. Абсолютная величина нагрузки для передач, изготовленных из одинаковых материалов, растет с увеличением приведенного модуля упругости E в сопряжении, достигая $F_{\max} = 1300$ Н при $E = 1 \cdot 10^5$ МПа и уменьшаясь до $F_{\max} = 1050$ Н при $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа.

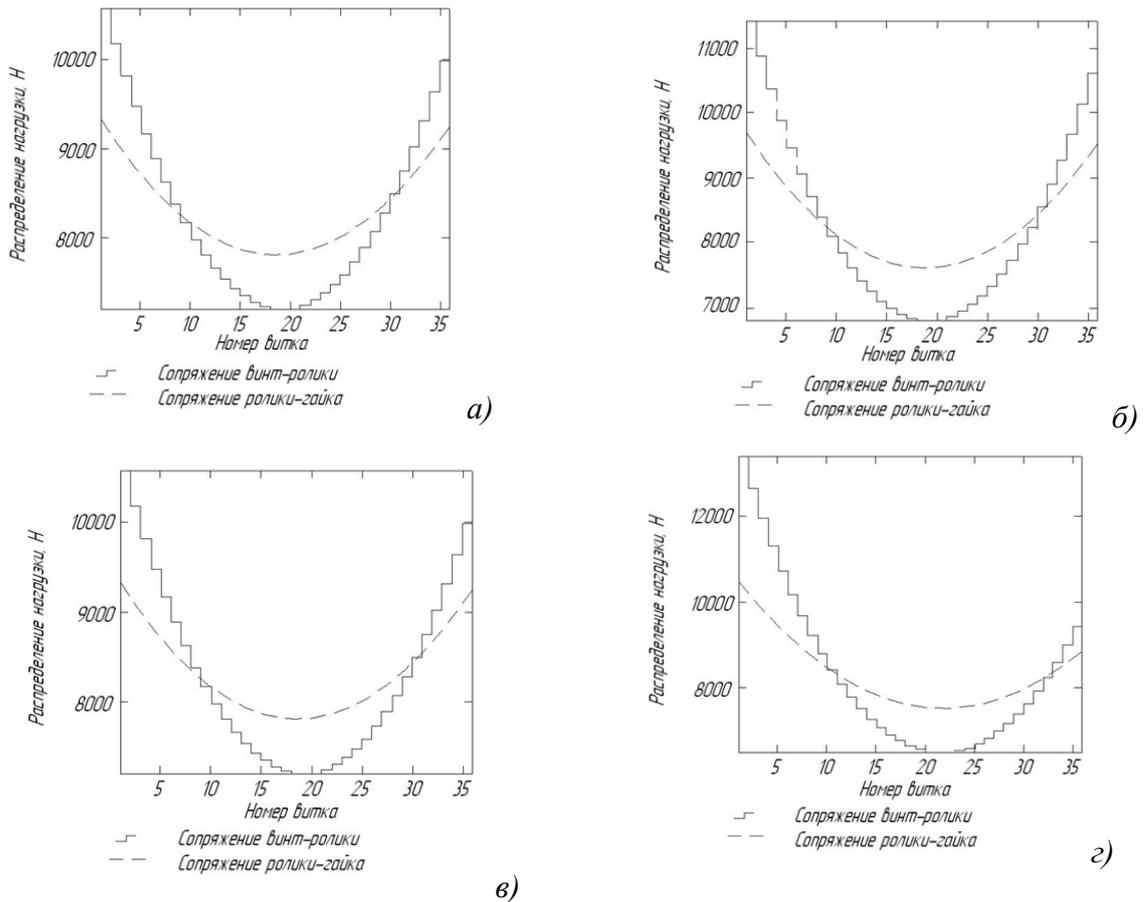


Рис.2. Результаты теоретического расчета распределения нагрузки по виткам РВМ

Для передач, у которых элементы изготовлены из разных материалов (рис.2), нагрузка на первом витке максимальная, если приведенный модуль упругости сопряжения винт-ролики больше, чем модуль упругости сопряжения ролик-гайка ($E_{вр} \geq E_{рг}$), и нагрузка максимальна на последнем витке, если $E_{вр} \leq E_{рг}$. При коэффициенте трения в сопряжении $f = 0.1$ максимальная нагрузка F_{max} на наиболее нагруженном витке составляет 1,67 от средней нагрузки $F_{ср}$ в сопряжении $F_{ср}$; при $f = 0.15$ — $F_{max} = 1.57 \cdot F_{ср}$; при $f = 0.2$ — $F_{max} = 1.48 \cdot F_{ср}$.

При $A_{вр} \approx A_{рг}$ нагрузка на первом и последнем витках близки по значению ($F_1 = 1100$ Н, $F_{36} = 1000$ Н); если $A_{вр} \geq A_{рг}$, то $F_1 = 1300$ Н, $F_{36} = 950$ Н; при $A_{вр} \leq A_{рг}$, $F_1 = 950$ Н, $F_{36} = 1150$ Н. Исследования проводятся в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Список литературы:

1. Биргер И.А., Иосилевич Г.Б. Резьбовые соединения (Библиотека конструктора). М.: Машиностроение, 1973. с.256.
2. Иосилевич Г.Б. Концентрация напряжения и деформаций в деталях машин. М.: Машиностроение, 1981. с.224
3. Козырев В.В. Сравнение шариковых и роликовых передач винт-гайка // Вестник машиностроения. 1983. № 11. с.31-35.

А.В. Замятин, А.Н. Шуваев д.т.н.

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет,
кафедра автомобильные дороги и аэродромы
Россия, Тюмень
ksead@tgasu.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРУНТОВЫХ МАССИВОВ ВОЗВЕДЕННЫХ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ПРИ ЗАМОРАЖИВАНИИ И ОТТАИВАНИИ

В работе представлены результаты изучения деформативного состояния грунтовых насыпей возведенных в зимний период в зависимости от изменения температурных полей в процессе замораживания и оттаивания.

Ключевые слова: грунтовые насыпи, зимний период, мониторинг насыпей.

В течение 2008-10 годов в Тюменском государственном архитектурно-строительном университете были получены математические модели температурного поля и деформаций грунтовых насыпей возводимых в зимний период.

Расчётные формулы получены на основе применения законов Фурье и Ньютона - Рихмана решением методом элементарных тепловых балансов [4].

Процесс распространения теплоты определяется значениями трёх параметров: коэффициента теплопроводности λ , удельной теплоёмкости C и плотности ρ . В результате получена формула по определению температуры в любой расчетной точке элементарного объема Δviz в интересующий момент времени

$$t_{k+1,ix,iy,iz} = \frac{\sum \Delta Q_i}{C\rho\Delta viz} + t_{k,ix,iy,iz} \quad (1)$$

где ρ - плотность материала;

C - удельная теплоемкость материала.

$\sum \Delta Q_i$ общее количество теплоты, вошедшего за время Δt через все грани в элемент.

Для определения деформаций насыпей возведенных в зимние период на основании классических работ [1,2,3,5,6] и результатами наших лабораторных и натурных исследований получена математическая модель деформации грунтов насыпи при их замораживании оттаивании.

Для глинистых грунтов это представлено в виде выражения:

$$D_{общ} = K_T \cdot 0,09(W_c - W_w) \frac{\rho_d}{\rho_w} + K_H - D_0 \quad (2)$$

где W_c – суммарная влажность грунта;

W_w - влажность за счет незамерзшей воды;

ρ_d - плотность сухого грунта;

ρ_w - плотность воды;

K_H - эмпирический коэффициент учитывающий набухание глинистого грунта при оттаивании, (получен по результатам наших лабораторных и полевых исследований)

K_T – коэффициент учитывающий содержания талого грунта после уплотнения насыпи принимается с учетом организации и технологии производства работ).

D_0 - деформации при переходе грунта из мерзлого состояния в талое (получен по результатам наших лабораторных и полевых исследований).

Для деформации песчаных грунтов:

$$D_{\text{общ}} = K_T \cdot 0,09(W_c - W_w) \frac{\rho_d}{\rho_w} - D_o \quad (3)$$

С целью оценки адекватности предложенной модели с практикой в 2008-11 годах кафедрой «Автомобильные дороги и аэродромы», Тюменского государственного архитектурно-строительного университета были проведены полевые работы на площадках и автомобильных дорогах сети месторождений ООО ТНК-Уват.

Полевые исследования были проведены по двум основным направлениям:

1. Изучение динамики осадок насыпей возведенных из глинистого грунта при отрицательной температуре.
2. Изучение изменения температурного режима и физико-механических характеристик в процессе оттаивания грунтов насыпей.

Для мониторинга применялись разрушающие и неразрушающие методы определения физических характеристик грунта и современные методы полевых исследований: георадарное зондирование (рис 1), геодезические GPS, и т.д.



Рис. 1- Определение физических характеристик грунтов георадарным зондированием

Для контроля осадки насыпи были установлены металлические марки, закладываемые на стадии возведения земляного полотна (рис 2).



Рис. 2- Установка марок для контроля деформаций

Для мониторинга температурного состояния грунтовых массивов возведенных в зимний период на тех же участках были заложены температурные датчики DS18S20. Для определения вертикального и горизонтального распределения температурных полей датчики были расположены в основании земляного полотна по оси и по бровкам, далее на поверхности отсыпаемых слоев.

В результате проведенных теоретических, и полевых исследований получены результаты, позволяющие сделать сравнительную оценку между теорией и практикой, а также получить эмпирические данные по уточнению математических моделей.

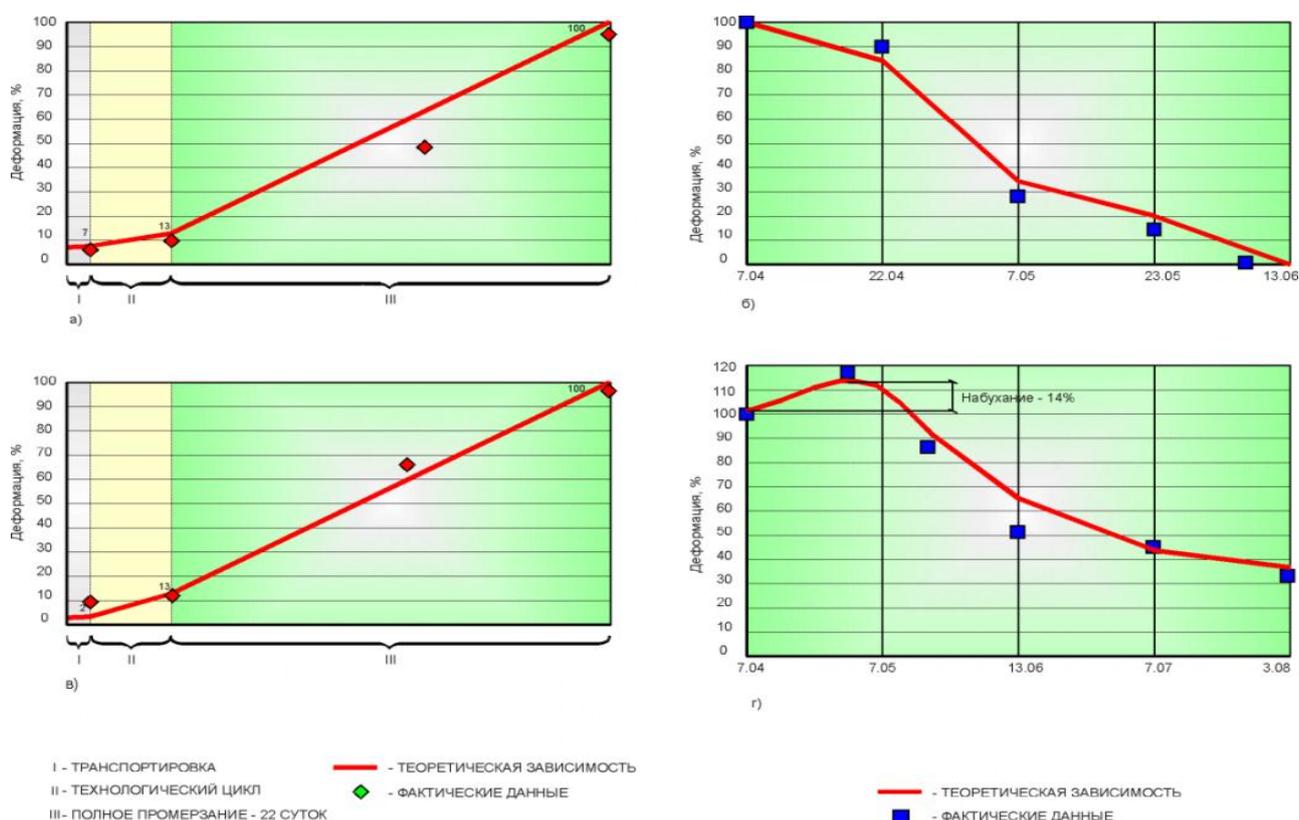


Рис. 3- Сопоставление расчетных и фактических значений деформаций насыпей
 а) зависимость деформации при замерзании грунтовой насыпи из песка от периода;
 б) зависимость деформации при оттаивании грунтовой насыпи из песка от периода;
 в) зависимость деформации при замерзании грунтовой насыпи из суглинка от периода;
 г) зависимость деформации при оттаивании грунтовой насыпи из суглинка от периода.

В процессе технологического цикла, от разработки грунта в карьере до окончательного уплотнения в насыпи происходит образование мерзлого грунта, количество которого прямым образом влияет на однородность насыпей.

Распределение и соотношение объемов мерзлого и талого грунтов являются значимыми факторам на плотность по окончании уплотнения и на деформации насыпи в процессе замораживания и оттаивания.

Для грунтовых массивов при замерзании равномерное увеличение их объемов до максимально возможных плотностей грунта является одним из условий ускорения формирования насыпи.

Второе условие связано с температурой грунта в насыпи. Образующиеся в процессе разработки, транспортировки, разравнивания уплотнения грунта мерзлые комья и агрегаты должны переходить в массивную структуру в первый летний период.

Представленные результаты динамики замерзания-оттаивания грунта насыпи из суглинка, показывают на хорошую сходимость теоретических и фактических данных. При замораживании в процессе морозного пучения происходит увеличение объема насыпи. В начале оттаивания, происходит дальнейшее увеличение объема насыпи в результате набухания грунта, после определенного периода наблюдается осадка насыпи.

Для грунтов различной влажности характерны разные остаточные деформации. Деформации набухания при оттаивании для различных влажностей суглинка одинаковы, соответствуют в нашем случае 0.4%

После обработки получена эмпирическая зависимость остаточных деформаций от влажности грунта.

$$D_0 = 0,11W - 0,65 \quad (4)$$

где W – влажность грунта.

Таким образом, проведенные исследования позволили дополнить представления о деформациях грунтовых насыпей возведенных в зимний период. Выявили необходимость учитывать деформации увеличения объема насыпи при замерзании и начальный период оттаивания и дальнейшей осадки.

Список литературы:

1. *Достовалов Б.Н.* Общее мерзлотоведение. / Б.Н. Достовалов, В.А. Кудрявцев// М.: Изд-во МГУ, 1967. 404 с.
2. *Казарновский В.Д.* Основы нормирования и обеспечения требуемой степени уплотнения земляного полотна автомобильных дорог./ В.Д. Казарновский А.К. Мирошкин, И.В. Лейтланд. - М.:СОЮЗДОРНИИ, 2002. – С.10-20.
3. *Кудрявцев С.А.* Влияние миграционной влаги на процесс морозного пучения сезонно промерзающих грунтов / С.А. Кудрявцев// Реконструкция городов и геотехническое строительство. - 2003.- №7.- С. 233-236.
4. *Носов В.П.* Г. Дарамрагчаагийн. Математическая модель прогнозирования температурного режима штабеля «холодной» асфальтобетонной смеси // Проблемы строительства и эксплуатации автомобильных дорог в начале XXI века. - М.: Сб. науч. тр. МАДИ. 2000. – 2000. - С. 183-186.
5. *СНиП 2.02.04-88.* Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Госстрой СССР. – М. ЦИТП Госстроя СССР, 1990. - 68 с.
6. *Цытович Н.А.* Механика мерзлых грунтов. - М.: Высш. школа, 1973. - 448 с.

А.С. Згурский, Е.В. Корбаинова

Санкт-Петербургский государственный университет
информационных технологий, механики и оптики,
Россия, Санкт-Петербург
zgurskiy@me.com

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ПОТРЕБНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО АКТИВА В СВОЙСТВАХ БЕЗОПАСНОСТИ

В статье представлен алгоритм оценки степени потребности актива центра обработки данных кредитной организации в свойствах безопасности. Оценивается влияние свойства безопасности актива на деятельность центра обработки данных.

Ключевые слова: безопасность, свойство безопасности, информационная безопасность, кредитная организация, центр обработки данных.

Введение

В настоящее время, в условиях непрерывного развития информационных технологий, вопросам обеспечения информационной безопасности уделяется все больше и больше времени и ресурсов. Кредитные организации всего мира стараются максимально обезопасить свои информационные активы от действий злоумышленников и техногенных факторов. В центры обработки данных кредитных организаций внедряется все больше и больше новейших средств защиты от информационных угроз. Для увеличения эффективности использования различных средств защиты информации, необходимо как можно точнее оценить и классифицировать возможные угрозы.

Определение качественных значений степени потребности актива в актуальном свойстве безопасности

Оценка степени потребности актива в актуальном свойстве безопасности осуществляется по совокупности оценок, присвоенных уровню влияния свойства безопасности актива на деятельность центра обработки данных (далее – ЦОД) кредитной организации, уровню объема дополнительных затрат, необходимых для восстановления свойства безопасности актива и уровню ответственности сотрудников ЦОД, путем их сложения. Для этого всем качественным оценкам, полученным для этих уровней, присваиваются количественные значения в соответствии с таблицей 1 в виде баллов. Неактуальные свойства безопасности актива, т.е. имеющие нулевой уровень влияния на деятельность ЦОД, не рассматриваются, и потребность в их обеспечении отсутствует.

Таблица 1 - Перевод качественных значений уровней в количественные значения

Оцениваемый уровень	Качественная оценка	Количественная оценка
Уровень влияния свойства безопасности актива на деятельность ЦОД	Низкий	1
	Средний	2
	Высокий	3
	Критичный	4
Уровень объема дополнительных затрат, необходимых для восстановления свойства безопасности актива	Низкий	1
	Средний	2
	Высокий	3
Уровень ответственности сотрудников ЦОД	Низкий	1
	Средний	2
	Высокий	3

Оценка влияния свойства безопасности актива на деятельность центра обработки данных

Вначале по таблице 2, представляющей собой матрицу оценок, каждый элемент которой соответствует определенным значениям оценок влияния свойства безопасности актива на деятельность ЦОД и оценок объема дополнительных затрат, необходимых для восстановления свойства безопасности актива, оценивается уровень уязвимости деятельности ЦОД от нарушения свойства безопасности актива. Такая оценка проводится для каждого актуального свойства безопасности актива.

Таблица 2 - Матрица оценок уровня уязвимости деятельности ЦОД от нарушения свойства безопасности актива

Уровень влияния свойства безопасности актива на деятельность ЦОД	Уровень дополнительных затрат, необходимых для восстановления свойства безопасности актива		
	Низкий (1)	Средний (2)	Высокий (3)
Низкий (1)	2	3	4
Средний(2)	3	4	5
Высокий (3)	4	5	6
Критичный (4)	5	6	7

Результаты оценки уровня уязвимости деятельности ЦОД от нарушения свойства безопасности актива в виде баллов интерпретируются в соответствии с вербальной шкалой оценок (шкалой суждений) следующим образом:

- если количество баллов равно 2, то имеет место низкий уровень уязвимости деятельности ЦОД от нарушения свойства безопасности актива;
- если количество баллов равно 3, то имеет место средний уровень уязвимости деятельности ЦОД от нарушения свойства безопасности актива;

- если количество баллов равно 4, то имеет место высокий уровень уязвимости деятельности ЦОД от нарушения свойства безопасности актива;
- если количество баллов более 4, то имеет место критический (очень высокий) уровень уязвимости деятельности ЦОД от нарушения свойства безопасности актива.

Определение качественных оценок уровня уязвимости деятельности центра обработки данных

Качественным оценкам уровня уязвимости деятельности ЦОД от потери или нарушения свойства безопасности актива присваиваются количественные значения в соответствии с таблицей 3 в виде баллов.

Таблица 3 - Перевод качественных значений уровня уязвимости деятельности ЦОД от нарушения свойства безопасности актива в количественные значения

Оцениваемый уровень	Качественная оценка	Количественная оценка
Уровень уязвимости деятельности ЦОД от потери или нарушения свойства безопасности актива	Низкий	1
	Средний	2
	Высокий	3
	Критичный	4

Оценка уровня уязвимости деятельности центра обработки данных

Степень потребности актива в свойстве безопасности оценивается по таблице 4, представляющей собой матрицу оценок, каждый элемент которой соответствует определенным значениям оценок уязвимости деятельности ЦОД от потери или нарушения свойства безопасности актива и оценок ответственности сотрудников ЦОД за потерю или нарушение свойства безопасности актива. Такая оценка проводится для каждого актуального свойства безопасности актива.

Таблица 4 - Матрица оценок степени потребности актива в свойстве безопасности

Уровень уязвимости деятельности ЦОД от нарушения свойства безопасности актива	Уровень ответственности сотрудников ЦОД за нарушение свойства безопасности актива		
	Низкий (1)	Средний (2)	Высокий (3)
Низкий (1)	2	1	4
Средний(2)	3	4	5
Высокий (3)	4	5	6
Критичный (4)	5	6	7

Результаты оценки степени потребности актива в свойстве безопасности в виде баллов интерпретируются в соответствии с вербальной шкалой оценок (шкалой суждений) следующим образом:

- если количество баллов равно 2, то степень потребности актива в свойстве безопасности низкая (Н);
- если количество баллов равно 3, то степень потребности актива в свойстве безопасности средняя (С);

- если количество баллов равно 4, то степень потребности актива в свойстве безопасности высокая(В);
- если количество баллов более 4, то степень потребности актива в свойстве безопасности очень высокая (ОВ).

Заключение

Оценка степени потребности актива в свойствах безопасности является одним из ключевых шагов к созданию проекта модели угроз информационной безопасности кредитных организаций. Данный алгоритм показывает, на что, в первую очередь, необходимо обращать внимание при определении факторов, создающих угрозу информационной безопасности кредитной организации.

Список литературы:

1. *Савинская Н.А., Калугин Н.М.* Банковская безопасность. Комплексная система обеспечения безопасности кредитной организации: Учебное пособие, СПбГИЭУ, 2001г.
2. Стандарт Банка России. Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Общие положения : СТО БР ИББС-1.0-2010 : утв. Распоряжением Банка России от 21.06.2010 № Р-705 : взамен СТО БР ИББС-1.0-2008 : дата введ. 21.06.2010.-М. : ЦБ РФ, 2010. – 46 с.
3. *Скотт Бармен.* Разработка правил информационной безопасности, Вильямс, 2002г.
- 4 *Малюк А.А.* Информационная безопасность: концептуальные и методологические основы защиты информации, 2004г

Б.Р. Исакулов к.т.н

Актюбинский университет им. С. Баишева
Казахстан, г. Актобе,
edu_ausb@mail.ru

ГИПСО-ХРОМОШЛАМОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ ИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ

На территории Западного Казахстана расположены главные промышленные предприятия нефтегазовой отрасли РК, комплексы по добыче и переработке хромитовых и боратовых руд, производству строительных материалов и т.д. Мнотоннажные отходы, многие из которых токсичны, практически не утилизируются из-за отсутствия эффективных ресурсо-и природосберегающих способов их детоксикации и вторичного использования. В работе рассматриваются основы новых безотходных технологий обезвреживания и комплексного использования отходов в виде строительных материалов.

Ключевые слова: отходы, бетон, гипсо-хромшламовые вяжущие, арболит

Строительный комплекс является специфической отраслью экономики Казахстана и Средней Азии и требует новых высокоэффективных строительных материалов для народного хозяйства региона. Одним из путей снижения себестоимости строительства является удешевление производства строительных материалов за счет использования местного сырья, в том числе различных отходов промышленности и сельского хозяйства [6].

При этом следует отметить, что применение отходов производства помогает решать одновременно и экологические, и топливно-энергетические проблемы, кроме того, это расширяет сырьевую базу строительных материалов.

Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие (ГЦПВ) на основе строительного гипса (р-полугидрат), изготовленного из природного гипсового камня, характеризуются сравнительно низкой активностью.

Эти вяжущие целесообразно применять для изготовления легких теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных бетонов, например для наружных стен малоэтажных зданий. На основе быстротвердеющих ГЦПВ получены арболиты марок 25-35, выдерживающие 25 и более циклов при стандартном испытании на морозостойкость [1]). В состав этих бетонов входит до 90-100 кг/м³ портландцемента марок 400—600, но можно снизить расход дорогостоящего цемента за счет использования недорогих твердых отходов. Портландцемент в смешанных вяжущих и бетонах на их основе можно заменить вторичными продуктами промышленности — доменными гранулированными шлаками, шламами от переработки хромитовых руд и др.

Нами предложено использовать в качестве гидравлического компонента в смешанных вяжущих отходы промышленного производства хромовых соединений - хромосодержащий шлак Актюбинского завода хромовых соединений (АЗХС, Казахстан). Состав хромосодержащего шлама показан в таблице 1.

Таблица 1

Состав хромосодержащего шлама

№ п/п	Состав	% (весовой)
1	Кварц	30
2	Аморфная стеклофаза	25,02
3	Кальцит	4,6
4	Сфен	1
5	Органика	0,56
6	Окислы и гидроокислы железа	2,3
7	Полевые шпаты	13,7
8	Скаполит	10
9	Хлориды	4,7
10	Окись хрома	2,7
11	Мусковит	1
12	Апатит	0,6
13	Барит	0,27
14	Железа	2,3

В состав смешанных вяжущих входят компоненты, различающиеся по техническим свойствам: быстротвердеющее воздушное вяжущее — полуводный гипс и гидравлическая составляющая — сравнительно медленно твердеющий портландцемент и хромосодержащий шлам. Прочность искусственного камня в раннем возрасте, через 15—60 мин после затворения водой, зависит от расхода и активности полуводного гипса. Водостойкость и прочность образцов при длительном твердении во влажной среде определяются расходом, составом и свойствами гидравлического компонента. Изменяя состав смешанных вяжущих, можно регулировать их физико-химические свойства в соответствии с технологией формования и требованиями, предъявляемыми к изделиям.

В хромосодержащем шламе имеются вещества, замедляющие твердение цементного камня: соли щелочных и щелочноземельных металлов. Мы изучили влияние состава смешанных вяжущих на скорость твердения.

Таблица 2

Свойства ГХСШ вяжущих на основе высокопрочного гипса

Состав вяжущего, % по массе		Нормальная густота теста, %	Сроки схватывания, мин.		Предел прочности образцов водного хранения при сжатии, МПа, в возрасте		Кз
Гипса	Хромо-шлама		Начало	Конец	1,5 ч	28 суток	
80	20	36	7	13	8,7	12,7	0,70
70	30	35	8	13	8,0	14,6	0,78
60	40	34	8	14	7,7	15,0	0,78
50	50	32	8	14	6,7	14,7	0,82
40	60	32	8	14	3,7	15,3	0,82
30	70	32	9	15	2,5	21,1	0,86

В табл. 2 приведены результаты испытаний гипсошламовых вяжущих на основе высокопрочного гипса марки 250 Джамбулского гипсового завода и хромосодержащего

шлама Актюбинского завода хромовых соединений (АЗХС). Удельная поверхность сухого измельченного шлама — 0,6 м²/г. Методика приготовления и испытания образцов приведена согласно работ[2,3,4].

С увеличением расхода хромового шлама, прочность образцов при сжатии через 1,5 ч понижается. При введении 40% хромосодержащего шлама она понижается на 15—20% по сравнению с прочностью образцов из высокопрочного гипса, что свидетельствует об участии шлама в формировании первичной структуры твердения. При повышении содержания хромошлама в смешанном вяжущем, растут прочность образцов через 28 суток твердения в воде и водостойкость искусственного камня.

Т а б л и ц а 3

Свойства гипсохромошлamosодержащих вяжущих (ГХШВ) на основе строительного гипса

Состав вяжущего, % по массе		Нормальная густота теста, %	Сроки схватывания, мин		Предел прочности образцов водного хранения при сжатии, МПа, в возрасте		Кз
Гипса	Хромо-шлама		Начало	Конец	1,5 ч	28 сут	
100	--	55	4	7	4,7	3,1	0,38
80	20	50	4	7	5,3	4,3	0,34
60	40	45	5	8	4,2	11,9	0,82
40	60	40	5	8	2,9	16,7	0,85

В таблице 3 приведены результаты испытаний хромошлamosодержащих вяжущих на основе строительного гипса Чимкентского завода гипсовых и мраморных изделий и хромосодержащего шлама Актюбинского завода хромовых соединений. Увеличение содержания хромового шлама в смешанном вяжущем на основе строительного гипса приводит к значительному снижению водопотребности, тогда как в случае высокопрочного гипса снижение водопотребности не наблюдается. Это обусловлено сравнительно низкой водопотребностью измельченного шлама. Из таблицы 3 следует, что гипсохромошлamosовое вяжущее, содержащее более 30% хромосодержащего шлама, является гидравлическим вяжущим веществом.

Сравнение данных табл. 2 и 3 позволяет сделать вывод, что прочность образцов на ранней стадии гидратации зависит в основном от активности полуводного гипса. В более поздний период при твердении в воде прочность и водопотребление образцов зависят главным образом от содержания хромовосодержащего шлама.

Гипсохромошлamosодержащие вяжущее, содержащее 50—60% полуводного гипса и 40—50% хромосодержащего шлама, в наиболее высокой степени сочетает положительные свойства полуводного гипса (высокую скорость твердения и прочность искусственного камня в раннем возрасте) и хромового шлама (способность к твердению во влажной среде, водопотребление).

Поэтому, эти вяжущие целесообразно применять для изготовления легких теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных арболитов для наружных стен малоэтажных зданий. Следует заметить, что в присутствии природной целлюлозы (опилки, стружек, и др.), входящей в состав арболита, ионы хрома необратимо сорбируются на целлюлозе, т.е. происходит процесс детоксикации этого тяжелого металла[5].

Список литературы:

1. *Волженский А.В., Стамбулко В.И., Ферронская А.В.* Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, бетоны и изделия, М., Стройиздат, 1971.
2. *Гордашевский П.Ф., Бройдо Ц.И.* Разработка технологии производства борогипсовых вяжущих и изделий, — Сборник научных трудов, № 26. М., РОСНИИМС, 1963.
3. *Ломовцева С.Б, Савинкова Е.И, Вильнянский Я.Е.* Использование гипсовых отходов травления трансформаторной стали для получения гипсо- и ангидритошламового вяжущего. – Известия вузов, химия и химическая технология, т. 14, № 4, 1973.
4. *Симановская Р.Э.* Исследования в области химии и технологии воздушных вяжущих материалов, полученных из фосфогипса. – В кн: Гипс и фосфогипс. Сборник научных трудов НИУИФа, вып. 160. М., Госхимиздат, 1958.
5. *Сарсенов А.М.* Экологическая безопасность при гидро и пирохимической переработке хромитов и боратов Западного Казахстана. – Алматы, Актобе – 2010, - 233 с.
6. *Заурбеков Ш.Ш, Муртазаев С-А.Ю, Успанова А.С, Сайдумов М.С.* Использование золошлаковых отходов ТЭЦ г. Грозного для получения строительных композитов. - Экология и промышленность России, январь 2011г.

И.С. Коновалов, В.И. Матюхин, О.В. Матюхин

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
Россия, Екатеринбург,
konovalov96@inbox.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ КУСКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ НАЛОЖЕНИИ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В работе изложен способ улучшения показателей тепловой работы шахтных агрегатов цветной металлургии на примере модели слоя из дробленого известняка определенной крупности. Предложены основные результаты математического планирования с составлением уравнений регрессии и анализом движения экстремумов по поверхности отклика.

Ключевые слова: газоструйный излучатель, коэффициент поглощения звука, гармоника колебаний, коэффициент гидравлического сопротивления.

Применение звуковых и ультразвуковых колебаний для достижения высоких технико-экономических показателей работы шахтных печей цветной металлургии служат основой для их модернизации. Целью данной работы является разработка способа интенсификации тепломассобменных процессов, происходящих в дисперсном слое.

Вследствие колебаний твердых элементов слоя в акустическом поле, применительно к условиям реального технологического процесса, возникающие вибрации отдельных кусков насыпи способствуют разрушению пограничного слоя около колеблющихся частиц и появлению дополнительных конвективных потоков [1, 2]. В разреженных средах запыленных потоков, под действием динамического и статического напора движущихся газов, возникают крупномасштабные контуры циркуляции групп частиц с изменением направления их движения, которые в свою очередь способствуют проявлению поршневого эффекта [3].

Исследования условий взаимодействия периодических колебаний с плотным слоем на модели, имитирующей реальный технологический агрегат, рабочее пространство которого заполнено кусками известняка определенной крупности, проводили с измерением уровня звука и определением коэффициента поглощения обрабатываемой дисперсной системы. Анализ закономерности его изменения проводили при низких (16Гц), средних (125Гц) и высоких (2000Гц) частотах из всего спектра излучения.

Для обобщения полученных данных был использован метод многофакторного планированного эксперимента с применением ротатабельного плана второго порядка.

После обработки экспериментальных данных были установлены уравнения регрессии со степенью вероятности 99%:

Для гармоника 16Гц:

$$\begin{aligned}
 Y = & -63,68 - 3,59x_1 + 0,86x_2 + 9,72x_3 - 1,08x_4 + 21,3x_1^2 + 45,34x_2^2 + 41,58x_3^2 + \\
 & 43,10x_4^2 + 20,21x_1x_2 - 6,76x_1x_3 - 18,35x_1x_4 + 9,46x_2x_3 + 13,53x_2x_4 - \\
 & -26,52x_3x_4
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Для гармоника 125Гц:

$$Y = -144,05 - 3,25x_1 + 8,38x_2 - 15,62x_3 - 7,78x_4 + 10,49x_1^2 + 52,57x_2^2 + 56,53x_3^2 + 49,9x_4^2 + 23,72x_1x_2 - 8,4x_1x_3 - 8,39x_1x_4 + 15,07x_2x_3 + 16,25x_2x_4 - 16,09x_3x_4 \quad (2)$$

Для гармоника 2000Гц:

$$Y = -287,21 + 9,82x_1 + 14,89x_2 - 16,32x_3 - 15,62x_4 + 31,64x_1^2 + 80,66x_2^2 + 81,16x_3^2 + 81,06x_4^2 + 29,53x_1x_2 - 24,53x_1x_3 - 21,95x_1x_4 + 21,1x_2x_3 + 26x_2x_4 - 25,31x_3x_4 \quad (3)$$

Где x_1 – расстояние от среза сопла до среза резонатора, мм; x_2 – расстояние от среза сопла до дна резонатора, мм; x_3 – диаметр резонатора, мм., x_4 – давление компрессорного воздуха, Па.

Анализ уравнений на существование глобального экстремума по всем факторам одновременно показывает наличие минимальных значений исследуемых функций за пределами уровней их варьирования. Отрицательная величина коэффициента поглощения звука означает, что под действием внешних периодических колебаний слой кусковых материалов становится дополнительным источником звука. Поверхность его отдельных кусков начинает вибрировать с определенной амплитудой. Чем больше модуль его отрицательных значений, тем выше амплитуда колебаний элементов слоя.

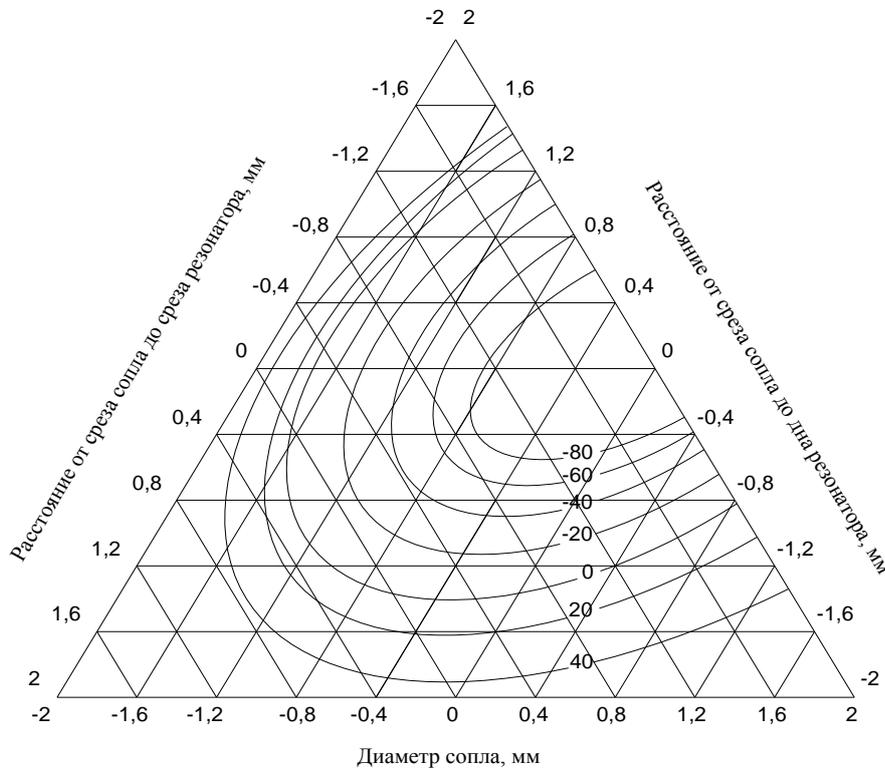


Рис.1 – изменения коэффициента поглощения уровня звука (цифры у кривых) от геометрических размеров акустического излучателя при 125Гц

Эффект вибрации слоя в максимальной степени прослеживается в сочетании со средними и высокими частотами колебаний. Согласно экспериментальным данным, такая область поверхности отклика существует при фиксированных значениях давления компрессорного воздуха ($3,04 \cdot 10^5$ Па).

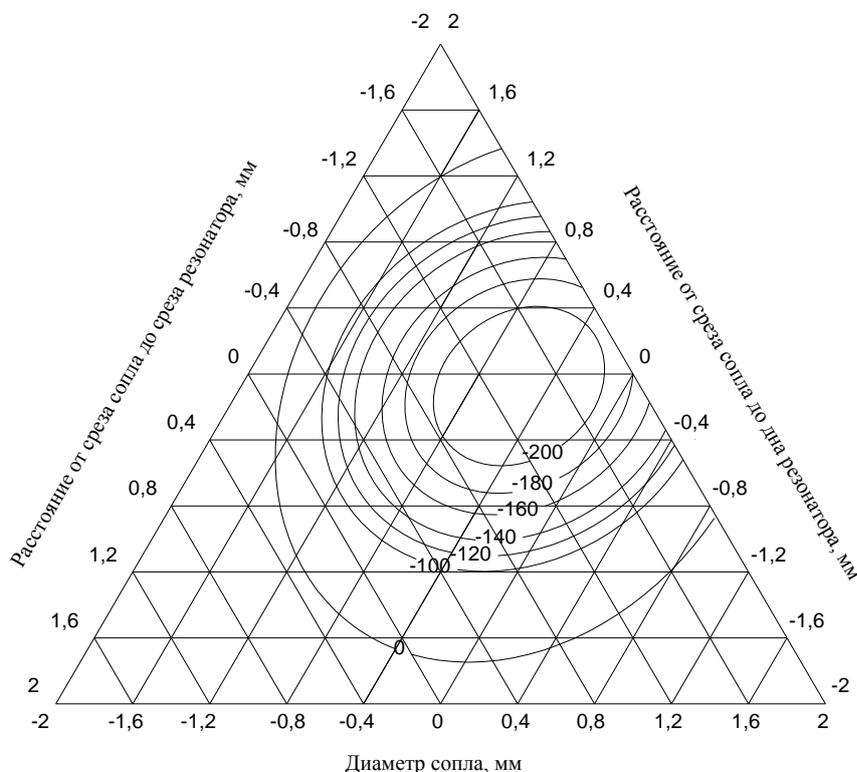


Рис.2 – изменения коэффициента поглощения уровня звука (цифры у кривых) от геометрических размеров акустического излучателя при 2000Гц

Исследования особенностей взаимодействия акустического поля с материалами различного гранулометрического состава показали, что эффект озвучивания слоя дисперсных материалов проявляется в большей степени при повышенных размерах их кусков, который характеризуется наличие значительных объемов свободного межкускового пространства.

Независимо от способа описания движения газов в плотном слое его гидравлическое сопротивление может быть описано с помощью уравнения Дарси-Вейсбаха. Полученное в результате исследований уравнение регрессии на 99% адекватно описывает изменение коэффициента гидравлического сопротивления ξ , который характеризует долю потерянной кинетической энергии движущегося потока.

$$\xi = 2,295 + 1,417x_3 + 1,165x_4 + 0,093 x_3^2 + 0,194 x_4^2 + 0,187x_1x_2 - 0,187x_1x_3 - 0,057x_1x_4 - 0,074x_2x_4 + 0,614x_3x_4 \quad (4)$$

Исследования уравнения на существование глобального экстремума по всем факторам одновременно указывают на существование его минимального значения, равного 0,049 за пределами исследованных диапазонов изменения параметров излучателя.

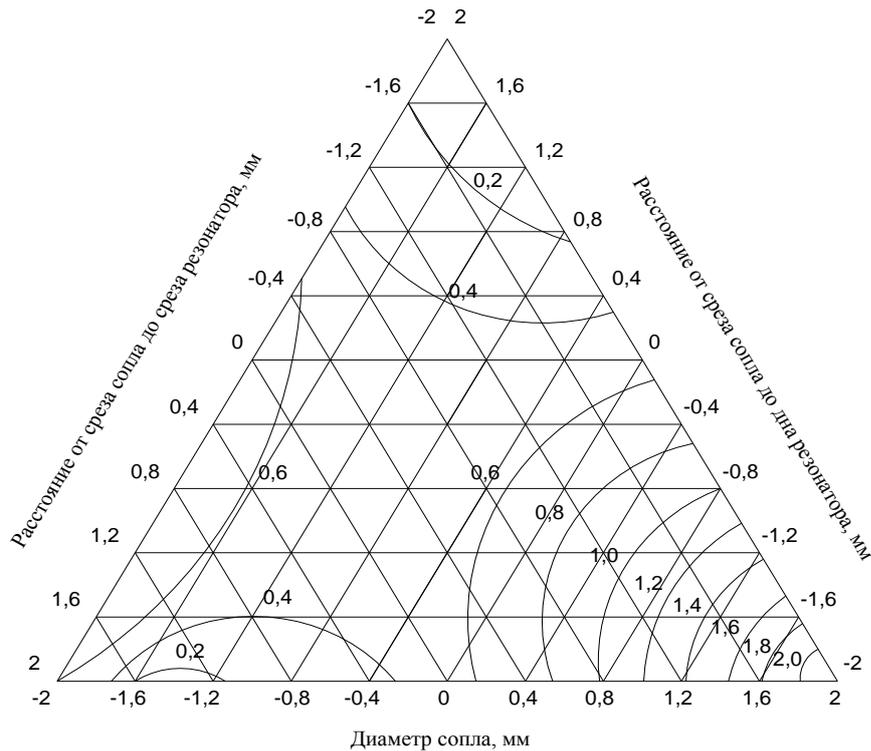


Рисунок 5 – изменения коэффициента гидравлического сопротивления (значения у кривых) от геометрических характеристик акустического излучателя

В то же время существуют области, которым характерно возрастание величины коэффициента гидравлического сопротивления слоя за счет более полного поглощения акустической энергии. Изменение исследуемой величины происходит за счет сокращения потерь давления в насадке при ее озвучивании. Так как в этом случае возрастает по абсолютной величине также и коэффициент поглощения, то это свидетельствует о возможном увеличении амплитуды вынужденных колебаний обрабатываемых материалов. Также была установлена усредненная зависимость изменения коэффициента гидравлического сопротивления с использованием энергии акустического поля

$$\xi = 272,62Re^{-0,804} \quad (5)$$

и без его использования

$$\xi = 30,408Re^{-0,39} \quad (6)$$

Использование этих выражений для определения коэффициентов гидравлического сопротивления слоя описывает реальные значения с ошибкой не более 1,5%.

Список литературы:

1. Ивановский А.И. Теоретическое и экспериментальное изучение потоков, вызванных звуком. Москва, 1959, 117с.
2. Бузник В.М. Интенсификация теплообмена в судовых установках. Л., Судостроение, 1969, 186 с.
3. Членов В.А., Михайлов Н.В. Виброкипящий слой. М.: Наука, 1972. 344с.

Г.В. Маврин к.х.н., И.Ф. Сулейманов, Д.А. Харлямов

Камская государственная инженерно-экономическая академия,
строительный факультет, кафедра «Химия и экология»
Россия, Набережные Челны,
chem_ineka@inbox.ru.

ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЕТНОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

В рамках настоящего исследования реализована система расчетного мониторинга загрязнения атмосферы города Набережные Челны на основании сводных расчетов выбросов промышленных предприятий и автотранспорта, определен перечень приоритетных загрязняющих веществ, рассчитан комплексный индекс загрязнения атмосферы.

Ключевые слова: атмосферный воздух, загрязняющие вещества, расчет рассеивания, предельно допустимая концентрация, карты рассеивания, стационарные источники, передвижные источники.

Выработка и потребление огромного количества энергии, улично-дорожная сеть и транспортный комплекс, предприятия промышленности, размещаемые на территории городов, являются причиной масштабного антропогенного загрязнения всех компонентов городской среды, в первую очередь — атмосферного воздуха [1].

Набережные Челны, где проживает более полумиллиона человек, являются крупнейшим городом Закамского региона Республики Татарстан. Город характеризуется высоким уровнем развития промышленности и транспортных сетей. Уровень загрязнения атмосферного воздуха Набережных Челнов, как и многих других городов Российской Федерации, определяется посредством инструментального мониторинга, включающего регулярные наблюдения за состоянием атмосферного воздуха на стационарных постах и, дополнительно, с помощью передвижных лабораторий. На основании результатов измерений концентрации ЗВ, полученных стационарными постами и передвижными лабораториями, определяется степень загрязнения атмосферного воздуха города. Полученная таким образом информация недостаточна в части описания загрязнения атмосферы города всеми поступающими в нее вредными веществами и не дает полную картину рассеивания ЗВ. Исходя из положения Федерального закона «Об охране атмосферного воздуха» [2], для эффективного решения проблемы обеспечения чистоты воздушного бассейна необходим комплексный подход, предусматривающий проведение сводных расчетов загрязнения воздушного бассейна городов (регионов) выбросами промышленности и автотранспорта.

В представленной работе в соответствии с методическим пособием [3] собраны, обработаны и систематизированы предоставляемые предприятиями города сведения о действующих источниках загрязнения атмосферы, их физических параметрах и объемах эмиссии, качественном и количественном составе выбрасываемых ЗВ.

В целях оценки загрязненности атмосферного воздуха города и определения мест наибольшей концентрации загрязняющих веществ в соответствии с [4, 5, 6] произведены расчеты выбросов передвижных источников. При расчетах использованы данные, полученные по результатам мониторинга структуры и интенсивности автотранспортного потока на магистралях в течение 2009 г.

На основании полученных данных с помощью унифицированной программы расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА) «Эколог» выполнен сводный расчет рассеивания 143

загрязняющих веществ, в том числе образующих 28 групп суммации. Проведенные расчеты позволили получить картину распределения уровня загрязнения атмосферного воздуха по всей территории Набережных Челнов. (На рис. 1 — карта рассеивания марганца и его соединений.)



Рис. 1. Карта рассеивания марганца и его соединений

По итогам расчета рассеивания ЗВ прогнозируется превышение концентрации оксида углерода, диоксида азота и образуемых данными веществами групп суммации в жилой зоне города. Для оксида углерода зоны со значениями максимальных приземных концентраций более 1 ПДК наблюдаются вдоль крупных автомобильных магистралей и развязок. Превышение ПДК диоксида азота ожидается более чем на 70% территории Набережных Челнов. Для ЗВ, содержащихся в выбросах предприятий города, превышения ПДК на границе с селитебной зоной не предполагается. Наибольшие концентрации в долях ПДК прогнозируются по следующим веществам и группам суммаций: марганец и его соединения 0,66 ПДК; натр едкий 0,6 ПДК; углерод (сажа) 0,31 ПДК; диметилбензол (ксилол) 0,7 ПДК; бутан-1-ол 0,35 ПДК; фенол 0,26 ПДК; бутилацетат 0,6 ПДК; ацетон 0,2 ПДК; триэтаноламин 0,22 ПДК; масло минеральное нефтяное 0,8 ПДК; сольвент нефтяной 0,6 ПДК; пыль абразивная 0,2 ПДК; группа суммации 6015 (ацетон, фурфурол, формальдегид и фенол) 0,55 ПДК; группа суммации 6017 (аэрозоли пятиоксида ванадия и оксидов марганца) 0,65 ПДК; группа суммации 6038 (серы диоксид и фенол) 0,35 ПДК; группа суммации 6052 (уксусная кислота, фенол и этилацетат) 0,3 ПДК.

На основании анализа результатов рассеивания определено 5 приоритетных ЗВ: марганец и его соединения, оксид углерода, диоксид азота, ксилол, масло минеральное нефтяное. Далее согласно с методическим пособием [7] выполнен расчет комплексного индекса загрязнения атмосферы (КИЗА) по представленным веществам; пространственное распределение КИЗА отображено на рис. 2.



Рис. 2. Карта пространственного распределения КИЗА

В соответствии с существующими методами [7] оценки загрязнения атмосферы установлено, что значение КИЗА на территории жилой зоны города находится в пределах 4, что в свою очередь характеризует низкий уровень загрязнения воздуха. Максимальные значения КИЗА выявлены в жилых микрорайонах, расположенных в непосредственной близости к промышленной зоне, а также на участке федеральной трассы М-7.

Анализ карт рассеивания выявленных приоритетных ЗВ показывает, что для диоксида азота и оксида углерода наибольшие прогнозируемые концентрации фиксируются в районах с высокой интенсивностью движения автотранспорта. Для марганца и его соединений, ксилола, масла минерального нефтяного характерно уменьшение содержания в атмосферном воздухе по мере удаления от промзоны. Для наглядной оценки была построена диаграмма (рис. 3) изменения концентраций с шагом 300 м по мере удаления от промышленной зоны для веществ: марганец и его соединения, масло минеральное нефтяное, оксид углерода и диоксида азота.

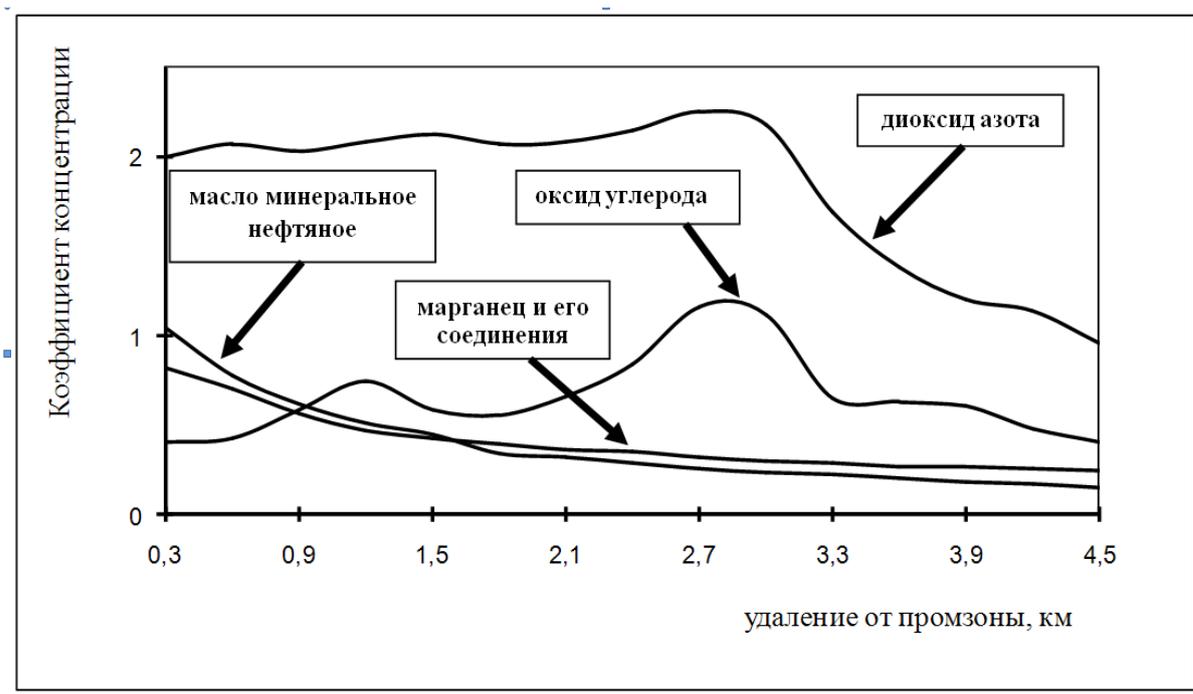


Рис. 3. Концентрации ЗВ в долях ПДК по мере удаления от промышленной зоны

В этой связи ЗВ, поступающие на территорию города, условно можно поделить на 2 группы. К первой группе относятся вещества, преимущественно содержащиеся выбросах промышленных предприятий. Ко второй группе относятся ЗВ, поступающие в атмосферный воздух главным образом с выбросами автотранспорта.

Заключение

В рамках настоящего исследования собраны и проанализированы сведения о действующих стационарных источниках загрязнения атмосферы, их качественных и количественных характеристиках, фактических выбросах, а также проведены натурные обследования структуры и интенсивности движущегося автотранспортного потока на основных магистралях Набережных Челнов.

На основании полученных данных впервые для Набережных Челнов был произведен сводный расчет рассеивания 143 загрязняющих веществ, в том числе входящих в 28 групп суммации, по каждому веществу построены и проанализированы карты распределения уровня загрязнения воздуха по всей территории города.

По результатам расчета рассеивания ЗВ составлен прогноз концентраций ЗВ в жилой зоне города и выявлены вещества и группы суммации, для которых вероятно превышение ПДК: оксид углерод, диоксид азота и образуемые данными веществами групп суммации. Для оксида углерода зоны с ожидаемыми значениями максимальных приземных концентраций более 1 ПДК наблюдаются вдоль крупных автомобильных магистралей и развязок.

По итогам анализа полученных результатов расчета рассеивания ЗВ определено 5 приоритетных поллютантов и рассчитан комплексный индекс загрязнения атмосферы.

По характеру пространственного распределения удалось выделить две четко различающиеся группы ЗВ: 1) преимущественно содержащиеся выбросах промышленных предприятий; 2) поступающие в атмосферный воздух главным образом с выбросами от автотранспорта.

Список литературы:

1. Курбатова А. С, Башкин В. Н., Мягков М. С, Савин Д. С.; *отв. ред. Н. С. Касимов* / Экологические решения в Московском мегаполисе. - Смоленск: Маджента, 2004. - 576 с.
2. Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха». Москва, 1999г. - 30 с.
3. *Миляев В.Б. и др.* / Методическое пособие по выполнению сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий и автотранспорта города (региона) и их применению при нормировании выбросов / утверждена приказом Госкомэкологии России №66 от 16 февраля 1999 года / г. Санкт Петербург 2000г. – 25 с.
5. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах: отраслевой дорожный методический документ: утв. распоряжением Минтранса России № ОС-557-р от 24.06.2002 г. – 284 с.
6. Расчетные инструкции (методики) по инвентаризации выбросов Р24 загрязняющих веществ автотранспортными средствами и дорожностроительными машинами в атмосферный воздух / ОАО НИИАТ. – М.: Автополис-плюс, 2008. – 84 с., табл.
7. *Г.В.Маврин, С.В.Дворяк, Р.М.Падемирова* / Информационные методы в экологическом мониторинге: Учебное пособие к практическим занятиям для студентов специальности 28020165 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов». - Набережные Челны: ИНЭКА, 2007. - 120 с.

И.И. Магомедов, Р.И. Магомедов

Дагестанский государственный университет,
Махачкала, Россия
Neocorpor@ya.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ ФИРМЫ С ПОМОЩЬЮ СТОХАСТИЧЕСКИХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

В статье построена математическая модель развития мощности одного предприятия и на основе этого получено параболическое уравнение с частными производными, которому удовлетворяет функция плотности вероятностей распределения предприятий фирмы по мощностям. Сформулирована краевая задача с неклассическими краевыми условиями и приведено решение такой частной задачи.

Как известно фирма состоит из нескольких предприятий. Пусть их число равно N_0 . Доходы и расходы, определяющие мощности этих предприятий, различные. В зависимости от условий, эти предприятия могут увеличивать или уменьшать свою продукцию.

Под мощностью фирмы понимается выпуск и реализация на рынке, произведенной продукции к промежутку времени и измеряется в $\text{Руб.}/\text{мес.}$

В начале статьи рассмотрен вопрос о получении математической модели изменения мощности одного предприятия, а затем фирмы.

Для составления математической модели, описывающей динамику накопления мощности и получения экономической интерпретации величин, входящих в эту модель, будем придерживаться принципа сплошных сред.

Функции, входящие в модель и сам процесс накопления мощностей будем считать непрерывным, а функции, кроме того, дифференцируемыми, хотя на практике этот процесс носит дискретный характер, т.е. ввод новых мощностей происходит скачкообразно.

1. Пусть предприятие к моменту времени t имело определенную мощность, которую обозначим через $x(t)$; так как надо построить непрерывную модель, то функцию $x(t)$ будем считать непрерывно – изменяющуюся во времени.

Производная $x'(t)$ - будет выражать скорость изменения мощности предприятия.

Предположим, что скорость выражена в виде некоторой функции $F(x, t)$, т.е.

$$\frac{dx(t)}{dt} = F(x, t) \quad (1)$$

Это дифференциальное уравнение первого порядка, которое описывает динамику изменения мощности предприятия: $x(t)$ - неизвестная функция, а $F(x, t)$ - заданная функция. Если в начальный момент времени $t=0$ известна мощность предприятия, то получим начальное условие

$$x(t)|_{t=0} = x_0 \quad (2)$$

В результате получается задача Коши (1) - (2) для обыкновенного дифференциального уравнения.

Вид функции $F(x, t)$ в (2) зависит от конкретного предприятия и от управления экономической и производственно – строительной деятельности.

В экономике мощность предприятия можно оценивать в рублях получаемых предприятием за проделанную работу A за единицу времени, например, за месяц.

Любое предприятие в процессе своей деятельности не только получает доходы от реализации производственной продукции, но и производит расходы. Если обозначим, через $\Phi = \Phi(x, t)$ - функцию, которая описывает доходы предприятия в рублях, а через $R = R(x, t)$ - расходы предприятия в рублях, то функцию $F(x, t)$ из равенства (1) можно записать так

$$F(x, t) = \Phi(x, t) - R(x, t) \quad (3)$$

Если функция $x(t)$ положительна на некотором промежутке времени, то предприятие за этот промежуток времени увеличивает свою мощность, т.е. имеет прибыль: если же $x(t)$ принимает отрицательное значение, то предприятие терпит убытки, мощность уменьшается.

Рассмотрим примеры задания функций Φ и R .

Структура увеличения мощности предприятия $\Phi = \Phi(x, t)$ складывается из мощностей Φ_0 достигнутой предприятием к началу рассматриваемого периода времени и от дополнительных мощностей Φ_1 , вводимых за определенный промежуток времени t_1 .

Φ_0 - это твердые постоянные мощности, в общем случае также зависящие от времени $\Phi_0 = \Phi_0(t)$.

Эти мощности могут колебаться из-за множества положительных и отрицательных факторов, влияющие на процесс развития и работы предприятия.

Если предположить, что предприятие ежемесячно наращивает свои мощности и от этого дополнительно получает $P\%/мес.$, то можно определить коэффициент прироста

$$\alpha = P\%/мес. \cdot \frac{1}{100\%} = \frac{P}{100мес.};$$

Если через $\Theta(x, x_0)$ - обозначить булеву функцию

$$\Theta(x, x_0) = \begin{cases} 0, & \text{при } x < x_0 \\ 1, & \text{при } x > x_0 \end{cases} \quad (4)$$

где x_0 минимальная величина мощности предприятия, позволяющая предприятию наращивать мощности, то можно составить функцию наращивания мощностей

$$\Phi = \Phi_0(t) + \alpha x(t) \Theta(x(t), x_0) \quad (5)$$

Определим теперь структуру расходов предприятия, влияющих на замедление, прекращение роста или уменьшение мощности предприятия.

Эти расходы будут складываться из нескольких слагаемых. Первое слагаемое, обозначим его через R_0 - это необходимые траты на обеспечение существования самого предприятия. Сюда входят налоги, ремонт оборудования (транспортные, накладные) плата за используемую энергию и т.д. Эту величину также можно определить в рублях в месяц и считать постоянной величиной $R_0 = const$ или зависящей также от времени т.е. $R_0 = R_0(t)$.

Второе слагаемое R_1 можно определить как расходы, обеспечивающие прирост мощностей, т.е. средства, вкладываемые в расширение производства, в оснащении предприятия новыми технологиями, изыскательские – исследовательские работы и т.д.

Если обозначить через C_1 ежемесячные средства, обеспечивающие ритмичную работу предприятия, а через y_1 обозначить минимальные средства, позволяющие предприятию начать расширение мощностей, то

$$R_1 = C_1 \frac{x}{x + y_1} \Theta(x, y_1) \quad (6)$$

Если $x = y_1$, то $R_1 = \frac{C_1}{2}$ - усредненное значение.

Третье слагаемое R_2 можно определить как средства инвестиционные, которые вкладываются в другие предприятия и на рассматриваемый промежуток времени прибыль не дают. Сюда же можно отнести и рекреационные расходы, расходы на обучение работников, улучшение медицинского обслуживания и т.д.

Если через z_1 - обозначить средства, инвестируемые на эти цели и $z_1 > x$, то инвестирование прекращается и $R_2 = 0$. Это можно обеспечить за счет булевой функции Θ .

z_2 - расходы на обеспечение дополнительного благополучия работников предприятия.

Тогда R_2 будет прямо - пропорционально выражению $(x - z_1)$ и обратно пропорционально $(x - z_1) + (z_2 - z_1)$, поэтому

$$R_2 = C_2 \frac{x - z_1}{(x - z_1) + (z_2 - z_1)} \Theta(x, z_1), \quad (7)$$

где C_2 - коэффициент пропорциональности, определяющий ежемесячные расходы предприятия, обеспечивающие ей возможность инвестировать и улучшать благополучие работников; при $x = z_2$ следует, что $R_2 = \frac{C_2}{2}$.

В результате получим функцию расходов предприятия

$$R = R_0(t) + C_1 \frac{x(t)}{x(t) + y_1} \Theta(x(t); y_1) + C_2 \frac{x(t) - z_1}{(x(t) - z_1) + (z_2 - z_1)} \Theta[x(t), z_1] \quad (8)$$

Таким образом, равенство (1), определяющее балансовое уравнение скорости накопления мощностей предприятием, можно записать так

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} = & \Phi_0(t) + \alpha x(t) \Theta[x(t), x_0] - C_1 \frac{x(t)}{x(t) + y_1} \Theta[x(t), y_1] - \\ & - C_2 \frac{x(t) - z_1}{[x(t) - z_1] + (z_2 - z_1)} \Theta[x(t), z_1] = \Phi_0(t) + \alpha x \Theta(x, x_0) - \\ & - R_0(t) - C_1 \frac{x}{x + y_1} \Theta(x, y_0) - C_2 \frac{x - z_1}{(x - z_1) + (z_2 - z_1)} \Theta(x, z_1) \end{aligned} \quad (9)$$

В равенствах (6),(7),(8) и (9) Θ - функция ступенчатая. Для того, чтобы уравнение (9) имело решение, будем считать эту функцию монотонной. Заменим $\Theta(x, x_0), \Theta(x, y_0), \Theta(x, z_1)$ на $\tilde{\Theta}(x, x_0), \tilde{\Theta}(x, y_0), \tilde{\Theta}(x, z_1)$ соответственно и последние функции будем считать монотонными, тогда уравнение (9) переписется так

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} = & \Phi_0(t) + \alpha x \tilde{\Theta}(x, x_0) - R_0(t) - C_1 \frac{x}{x + y_1} \tilde{\Theta}(x, y_1) - \\ & - C_2 \frac{x - z_1}{(x - z_1) + (z_2 - z_1)} \tilde{\Theta}(x, z_1) \end{aligned} \quad (10)$$

К сожалению, экономика подвержена инфляции и поэтому величины $\alpha, x_0, y_0, z_1, z_2, C_1, C_2$ будут меняться со временем, следовательно, будут функциями от времени t .

Для различных предприятий эти величины будут различными и для каждого предприятия могут быть уточнены.

Из-за конъюнктурных колебаний в экономике предприятие может иметь незапланированные колебания мощности в ту или в другую сторону. Будем считать эти колебания случайными, зависящими не только от местного рынка, но и от отраслевого и даже мирового рынка. Для математического описания изменения мощности предприятия от случайных колебаний введем случайную величину $Y(t)$, означающую суммарную мощность предприятия, накопленную к моменту времени t от случайных явлений. Тогда $Y(t + \Delta t)$ - суммарные изменения мощности предприятия к моменту $t + \Delta t$, где Δt малый промежуток времени.

Рассмотрим величину

$$\Delta Y = Y(t + \Delta t) - Y(t), \quad (11)$$

означающую случайную мощность предприятия за промежуток времени Δt . Если $\Delta Y > 0$, то мощность увеличивается, если $\Delta Y < 0$, то наоборот, мощность предприятия уменьшается.

Эту величину называют стохастическим дифференциалом случайного процесса $Y(t)$. Обозначим её через dY .

Если уравнение (1) запишем в виде $dx = F(x, t)dt$, то добавив величину dY к правой части получим

$$dx = F(x, t)dt + dY, \quad (12)$$

Уравнение (12) называется стохастическим дифференциальным уравнением.

В общем случае уравнение (12) можно записать в виде

$$dx = F(x, t)dt + G(x, t)dY \quad (13)$$

где $F(x, t)$ и $G(x, t)$ - неслучайные функции, а Y - Марковский стохастический процесс.

В этом уравнении величину $Y(t)$ можно понимать как реализованную случайную величину, которая в момент времени t может принять конкретное значение $Y(t) = y$.

Случайную величину $Y(t + dt) = z$ можно определить с помощью плотности вероятности

$$\rho(z) = \rho(y, t, z, t + dt), \quad (14)$$

так как Y - Марковский процесс.

Уравнение (13) для решения можно записать в конечных разностях в виде

$$x(t + \Delta t) - x(t) = F[x(t); t]\Delta t + G[x(t), t][Y(t + \Delta t) - Y(t)].$$

Если положить $Y(t) = \frac{x}{G[x(t),t]}$, то

$$x(t + \Delta t) = F[x(t),t]\Delta t + G[x(t),t]Y(t + \Delta t).$$

2. Предположим теперь, что у фирмы имеется N_0 предприятий, мощности которых описываются уравнением (12), где $dY = Y(t + \Delta t) - Y(t)$

Так как $Y(t) = y$, то это означает, что предприятие в момент времени t имела y единиц мощности. Причём в это количество единиц мощности включены как детерминированные, так и случайные накопления.

Полагаем $Y(t) = y = x(t)$. Случайная величина $Y(t + \Delta t) = Z$ означает случайно накопленные мощности предприятия в момент времени $t + \Delta t$ при условии, что это предприятие в предыдущий момент времени t имело y накоплений. Эта случайная величина задаётся плотностью вероятностей

$$\rho(x) = \rho(y, t, Z, t + dt) \quad (15)$$

Предположим что стартовые условия

$$x(t) \Big|_{t=0} = x_0$$

для каждого предприятия различные. Тогда эти N_0 предприятий можно расположить на числовой оси. Если теперь N_0 достаточно большое число, то мы можем говорить о целой группе предприятий. В таком случае возникает задача о математическом описании мощностей фирмы при игнорировании динамики накопления мощностей отдельного предприятия. С учетом того, что предприятия в каждый момент времени на числовой оси распределены неравномерно, применим принцип сплошных сред. Для этого введём функцию $Q(x,t)$, которая опишет распределение предприятий по мощностям.

Координаты каждой точки этой оси будут определять количество мощности каждого предприятия в момент времени t . Рассмотрим теперь достаточно малый промежуток $[x, x + \Delta x]$ длины Δx и пусть число точек на этом промежутке в момент времени t равно $\Delta Q(x,t)$. Введем функцию $U(x,t)$ определяемую равенством

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta Q(x,t)}{\Delta x} = U(x,t) \quad (16)$$

Эта функция $U(x,t)$ будет выражать плотность распределения предприятий по накопленным мощностям. Размерность будем определять

$$[u] = \frac{\text{предпр.}}{\text{руб.}}$$

Тогда $\int_{-\infty}^{\infty} u(x,t) dx = N_0$, следовательно число предприятий с накоплениями в момент времени t на отрезке $[x_1, x_2]$ можно определить равенством

$$Q(t) = \int_{x_1}^{x_2} u(x,t) dx \quad (17)$$

Попробуем получить дифференциальное уравнение для функции плотности $U(x,t)$. Для этого рассмотрим произвольный промежуток $[x_1, x_2]$. Обозначим через Ω_0 множество точек вне этого промежутка, т.е.

$$\Omega_0 = (-\infty < x < x_1) \cup (x_2 < x < \infty).$$

С течением времени накопления предприятий меняются, поэтому точки на оси перемещаются по этой оси. Следовательно, за промежуток времени $[t_1, t_2]$ часть предприятий окажутся на отрезке $[x_1, x_2]$, а часть наоборот выйдет из этого промежутка, поэтому для этого отрезка можем написать балансовое уравнение предприятий за промежуток времени $\Delta t = t_2 - t_1$:

$$\Delta Q_{\Delta t} = \Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 \quad (18)$$

где $\Delta Q_{\Delta t}$ – изменение числа предприятий за время Δt , имеющих накопления и попадающих на отрезок $[x_1, x_2]$.

В равенстве (18) означает: Π_1 – число предприятий, которые попадают на отрезок $[x_1, x_2]$ за время Δt за счёт детерминированных прибылей и убытков; Π_2 – за счёт случайных доходов и расходов; Π_3 – число предприятий, которые попадают на отрезок $[x_1, x_2]$ за время Δt из других фирм, т.е. вновь созданных предприятий, если $\Pi_3 > 0$, если же $\Pi_3 < 0$ то это означает число предприятий вышедших за время Δt из этого промежутка $[x_1, x_2]$. Вычислим $\Delta Q_{\Delta t}$ с помощью равенства (17), получим:

$$\Delta Q_{\Delta t} = Q(t_2) - Q(t_1) = \int_{x_1}^{x_2} u(x, t_2) dx - \int_{x_1}^{x_2} u(x, t_1) dx = \int_{x_1}^{x_2} u(x, t) \Big|_{t=t_1}^{t=t_2} dx = \int_{x_1}^{x_2} \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial u}{\partial t} dx dt \quad (19)$$

Вычислим Π_1 . Для этого рассмотрим произвольное предприятие расположенное на оси в окрестности точки x_1 . Так как со временем накопления предприятия меняются, поэтому точка $x(t)$ будет двигаться по оси со скоростью $F(x, t)$ в соответствии с равенством (2), причём точка движется в положительном направлении, если $F(x, t) > 0$ и эта скорость осуществляется за счёт детерминированных накоплений. За промежуток времени Δt точка $x(t)$ пройдёт путь по оси $\Delta S = F(x, t) \Delta t$. При предположении, что $F(x, t) > 0$ такие точки, находившиеся на отрезке ΔS за промежуток времени Δt попадут на отрезок $[x_1, x_2]$ через точку x_1 .

Так как плотность предприятий $U(x, t)$ в окрестности точки x_1 равна $U(x_1, t)$, то количество предприятий, которое за время Δt попадёт на отрезок $[x_1, x_2]$ через точку x_1 определяется выражением:

$$M(x_1) = U(x_1, t) \Delta S = U(x_1, t) F(x_1, t) \Delta t. \quad (20)$$

На отрезок $[x_1, x_2]$ точка x может попасть и справа налево, т.е. через точку x_2 , поэтому по аналогии с (20) получим:

$$M(x_2) = -U(x_2, t) F(x_2, t) \Delta t. \quad (21)$$

так как предполагаем $F(x, t) > 0$.

Просуммируем равенство (20) и (21), получим:

$$\Delta M = - [U(x_2, t) F(x_2, t) - U(x_1, t) F(x_1, t)] \Delta t$$

Получили число предприятий, которое попадает на $[x_1, x_2]$ за время Δt из других отрезков числовой оси.

Теперь разобьём промежуток $[t_1, t_2]$ на интервалы Δt_i ($i=1, \dots, n$). Просуммируем по всем Δt_i величину ΔM и получим:

$$\sum_i \Delta M_i = - \sum_i [U(x_2, t_i) F(x_2, t_i) - U(x_1, t_i) F(x_1, t_i)] \Delta t_i$$

Это интегральная сумма. При переходе к пределу при $\Delta t_i \rightarrow 0$ получим

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_i \Delta M_i = - \int_{t_1}^{t_2} [U(x_2, t) F(x_2, t) - U(x_1, t) F(x_1, t)] dt =$$

$$- \int_{t_1}^{t_2} U(x, t) F(x, t) \Big|_{x=x_1}^{x=x_2} dt = - \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial}{\partial x} (UF) dx dt$$

Таким образом, получили:

$$\Pi_1 = - \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial}{\partial x} (U(x, t) F(x, t)) dx dt \quad (22)$$

Вычислим Π_2 . Для этого рассмотрим два момента времени t и $t+\Delta t$ и две оси OX , изображающие пространства накоплений в эти моменты времени. Тогда к моменту времени $t+\Delta t$ из множества Ω_0 с момента t могут переместиться на отрезок $[x_1, x_2]$ за счёт случайных накоплений определённое количество предприятий. Вычислим это количество, для этого разобьём множество Ω_0 на элементарные отрезки длиной Δy_i . Тогда к моменту времени t на отрезке Δy_i будут находиться $U(y_i, t)\Delta y_i$ предприятий. Эти предприятия за время Δt распределяются во всей оси OX , с плотностью вероятностей $\rho(y_i, t, x, t+\Delta t)$. Тогда вероятность того, что предприятие из точки y_i попадёт на отрезок $[x_1, x_2]$ в момент времени $t+\Delta t$ определяется через интеграл:

$$\int_{x_1}^{x_2} \rho(y, t, x, t + \Delta t) dx,$$

поэтому число предприятий, которое из отрезка Δy_i переместиться на отрезок $[x_1, x_2]$ можно определить по формуле:

$$\Delta L_i = \int_{x_1}^{x_2} \rho(y_i, t, x, t + \Delta t) dx U(y_i, t) \Delta y_i \quad (23)$$

Просуммировав эти величины ΔL_i по всем отрезкам $\Delta y_i \in \Omega_0$ и переходя к пределу получим:

$$\begin{aligned} \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \sum_i \Delta L_i &= \\ &= \lim_{\Delta y} \sum_i \int_{x_1}^{x_2} \rho(y_i, t, x, t + \Delta t) dx U(y_i, t) \Delta y_i = \quad (24) \\ &= \int_{\Omega_0} \int_{x_1}^{x_2} U(y, t) \rho(y, t, x, t + \Delta t) dx dy = I_1 \end{aligned}$$

Но предприятия могут выйти из промежутка $[x_1, x_2]$ и перейти на множество Ω_0 за определённый промежуток времени. Обозначим это количество предприятий через I_2 и вычислим это число. Оно определяется по аналогии с предыдущим I_1 по формуле:

$$I_2 = \int_{x_1}^{x_2} \int_{\Omega_0} U(y, t) \rho(y, t, x, t + \Delta t) dx dy$$

В результате прирост предприятий за время Δt на отрезке $[x_1, x_2]$ определится разностью между I_1 и I_2 , т.е.

$$\begin{aligned} \Delta I &= I_1 - I_2 = \int_{\Omega_0} \int_{x_1}^{x_2} U(y, t) \rho(y, t, x, t + \Delta t) dx dy - \\ &- \int_{x_1}^{x_2} \int_{\Omega_0} U(y, t) \rho(y, t, x, t + \Delta t) dx dy. \end{aligned}$$

Переставим интегралы и преобразуем это выражение, получим:

$$\begin{aligned} \Delta I &= \int_{x_1}^{x_2} \int_{\Omega_0} U(y, t) \rho(y, t, x, t + \Delta t) dy dx + \int_{x_1}^{x_2} \int_{x_1}^{x_2} U(y, t) \rho(y, t, x, t + \Delta t) dx dy - \\ &- \int_{x_1}^{x_2} \int_{x_1}^{x_2} U(y, t) \rho(y, t, x, t + \Delta t) dy dx - \int_{\Omega_0} \int_{x_1}^{x_2} U(y, t) \rho(y, t, x, t + \Delta t) dy dx = \\ &= \int_{x_1}^{x_2} \int_{-\infty}^{\infty} U(y, t) \rho(y, t, x, t + \Delta t) dy dx - \int_{-\infty}^{\infty} \int_{x_1}^{x_2} U(y, t) \rho(y, t, x, t + \Delta t) dy dx. \end{aligned}$$

Если учтём, что $\int_{-\infty}^{\infty} \rho(y, t, x, t + \Delta t) dx = 1$, $-\infty < y < \infty$, то получим:

$$\Delta I = \int_{x_1}^{x_2} \int_{-\infty}^{\infty} [U(y, t) \rho(y, t, x, t + \Delta t) dy - U(x, t)] dx \quad (25)$$

Так как речь идёт о Марковском стохастическом процессе, то имеет место (см [1] стр. 151):

$$\int_{-\infty}^{\infty} U(y) \rho(y, t, x, t + \Delta t) dy - U(x) = \left[-\frac{\partial}{\partial x} (c(x, t)U(x)) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} (b(x, t)U(x)) \right] \Delta t + \bar{O}(\Delta t) \quad (26)$$

После подстановки равенство (25) примет вид:

$$\Delta I = \int_{x_1}^{x_2} \left[-\frac{\partial}{\partial x} (cU) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} (bU) \right] dx \Delta t \quad (27)$$

где $c(x, t)$ и $b(x, t)$ дважды дифференцируемые на всей числовой оси функции. (Если $c=0$, $b=0$ то считается, что стохастический процесс отсутствует).

Просуммируем эти интегралы (27) по всем элементарным интервалам Δt_i и перейдём к пределу при $\Delta t_i \rightarrow 0$, получим:

$$\begin{aligned} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum \Delta I_i &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_i \int_{x_1}^{x_2} \left[-\frac{\partial}{\partial x} (c(x, t_i)U(x, t_i)) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} (b(x, t_i)U(x, t_i)) \right] dx \Delta t_i = \\ &= \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} \left[-\frac{\partial}{\partial x} (c(x, t)U(x, t)) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} (b(x, t)U(x, t)) \right] dx dt = \Pi_2 \end{aligned} \quad (28)$$

Вычислим теперь Π_3 . Для этого введём вспомогательную функцию f . Эта функция определяет число вновь созданных предприятий за промежутки времени Δt и попавших на отрезок $[x_1, x_2]$. Тогда:

$$\Pi_3 = \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} f(x, t) dx dt. \quad (29)$$

Теперь подставим значения из равенств (19), (22), (28), (29) в уравнение баланса (18), получим интегральное тождество:

$$\begin{aligned} \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial u}{\partial t} dx dt &= - \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial}{\partial x} (uF) dx dt + \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} \left[-\frac{\partial}{\partial x} (cu) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} (bu) \right] dx dt + \\ &+ \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} f dx dt. \end{aligned}$$

В этом тождестве можно опустить интегралы в силу теоремы о среднем и произвольности промежутков интегрирования $[t_1, t_2]$, $[x_1, x_2]$ (см [5]). В результате получим параболическое уравнение с частными производными

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} ((c + F)u) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} (bu) + f \quad (30)$$

Этому уравнению удовлетворяет функция плотности предприятий U на пространстве накоплений мощности и называется уравнением накопления мощностей группой предприятий (фирмой).

Теперь сформулируем краевую задачу для уравнения (30).

Пусть в начальный момент времени $t=0$ известна накопленная мощность всей фирмы. Благодаря соотношению (16) определяется функция плотности распределения предприятий фирмы $\varphi(x)$ в начальный момент времени. В результате подучим начальное условие

$$u|_{t=0} = \varphi(x) \quad (31)$$

Совместно с уравнением (30) и начальным условием (31) получим задачу Коши:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}((c+F)u) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2}(vu) + f \quad (32)$$

$$t \in (0; \infty) \quad x \in (-\infty; \infty)$$

$$u|_{t=0} = \varphi(x), \quad x \in (-\infty; \infty) \quad (33)$$

в которой требуется определить решение $u(x, t) \in C^2$ уравнения (32), удовлетворяющее условию (33), которое выражает плотность распределения предприятий фирмы по накоплениям мощности в любой момент времени $t > 0$.

Рассмотрим краевую задачу с неклассическими граничными условиями

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{1}{2} v \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0 \quad (34)$$

получаемую из уравнения (32) при $f=0$ и $\frac{\partial}{\partial x}((c+F)u) = 0$ с начальным условием

$u(x, 0) = \varphi(x) (0 < x < l)$ и граничными условиями

$$\int_0^l u(x, t) dx = N_0 \quad \int_0^l xu(x, t) dx = K_0 \quad t \geq 0$$

Решение ищем в виде

$$u(x, t) = px + q + V(x, t),$$

где $V(x, t)$ удовлетворяет уравнению $V_t - \frac{1}{2} v V_{xx} = 0$ и краевым условиям

$$\int_0^l V(x, t) dx = 0, \quad \int_0^l xV(x, t) dx = 0.$$

Определим p и q , чтобы выполнялись условия согласования

$$U(x, 0) = px + q + V(x, 0) = \varphi(x)$$

$$V(x, 0) = \varphi(x) - px - q = \psi(x)$$

$$\int_0^l u(x, t) dx = \int_0^l (px + q) dx = \frac{pl^2}{2} + ql = N_0$$

$$\int_0^l xu(x, t) dx = \int_0^l (px^2 + qx) dx = \frac{pl^3}{3} + q \frac{l^2}{2} = K_0$$

Решая систему

$$\begin{cases} \frac{pl^2}{2} + ql = N_0 \\ \frac{pl^3}{3} + q \frac{l^2}{2} = K_0 \end{cases}$$

определим p и q .

Теперь решим методом Фурье уравнение

$$V_t - \frac{1}{2} \varepsilon V_{xx} = 0$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \int_0^l V(x,t) dx = \int_0^l xV(x,t) dx = 0 \\ V(x,0) = \psi(x) \end{array} \right.$$

Ищем решение в виде $V(x,t)=X(x)T(t)$

$$\frac{T'(t)}{\frac{1}{2} \varepsilon T(t)} = \frac{x''(x)}{X(x)} = -\lambda, \quad \lambda > 0, \text{ для } \lambda \leq 0 \text{ нет решения.}$$

$$T(t) = Ce^{-\frac{\lambda \varepsilon t}{2}}; \quad X(x) = C_1 \cos \sqrt{\lambda} x + C_2 \sin \sqrt{\lambda} x;$$

$$\int_0^l V(x,t) dx = T(t) \int_0^l X(x) dx = 0$$

$$\int_0^l X(x) dx = 0$$

$$\int_0^l xV(x,t) dx = T(t) \int_0^l xX(x) dx = 0$$

$$\int_0^l xX(x) dx = 0$$

Обозначим $\int_0^l X(x) dx = Y(x); \quad Y(x)|_0^l = 0;$

$$\int_0^l xX(x) dx = \int_0^l x dY(x) = xY(x) - \int_0^l Y(x) dx = 0;$$

Отсюда следует

$$\int_0^l Y(x) dx = 0; \quad \int_0^x \int_0^x X(x) dx = Z(x)|_0^l = 0$$

$$\int_0^l X(x) dx = \frac{C_1 \sin \sqrt{\lambda} x - C_2 \cos \sqrt{\lambda} x}{\sqrt{\lambda}} \Big|_0^l = 0$$

$$\int_0^x \int_0^x X(x) dx = \frac{-C_1 \cos \sqrt{\lambda} x - C_2 \sin \sqrt{\lambda} x}{\lambda} \Big|_0^l = 0$$

Определим C_1 и C_2 из системы

$$\left\{ \begin{array}{l} (C_1 \sin \sqrt{\lambda} x + C_2 \cos \sqrt{\lambda} x) \Big|_0^l = 0 \\ (C_1 \cos \sqrt{\lambda} x + C_2 \sin \sqrt{\lambda} x) \Big|_0^l = 0 \end{array} \right.$$

$$(C_1^2 + C_2^2) \sin \sqrt{\lambda} x \Big|_0^l = 0, \quad C_1^2 + C_2^2 \neq 0.$$

Тогда

$$\begin{aligned} \sin \sqrt{\lambda} x \Big|_0^l = 0 \quad \text{и} \quad \cos \sqrt{\lambda} x \Big|_0^l = 0 \\ \begin{cases} \cos \sqrt{\lambda} x \Big|_0^l = 1 \\ \sin \sqrt{\lambda} x \Big|_0^l = 0 \end{cases} \Rightarrow \lambda_n = \frac{2\pi n}{e}; \end{aligned}$$

Поэтому, общее решение примет вид

$$V(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{-\frac{\lambda n e}{2}} \left(a_n \cos \frac{2\pi n}{e} x + b_n \sin \frac{2\pi n}{e} x \right),$$

$$V(x, 0) = \sum_{n=0}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{2\pi n}{e} x + b_n \sin \frac{2\pi n}{e} x \right) = \psi(x),$$

где $a_0 = \frac{1}{e} \int_0^l \psi(x) dx$; $a_n = \frac{1}{e} \int_0^l \psi(x) \cos \frac{2\pi n}{e} x dx$; $b_n = \frac{1}{e} \int_0^l \psi(x) \sin \frac{2\pi n}{e} x dx$.

В [6] получены априорные оценки для решения задачи

$$\frac{1}{8} \sqrt{\frac{3}{2}} \|\varphi\| \leq \|U(x, t)\| \leq 8 \sqrt{\frac{3}{2}} \|\varphi\|$$

где $\varphi(x) \in L_2$, $\|U(x, t)\|_{C(0,1)} = \max_{0 \leq x \leq l} |U(x, t)|$ и $\frac{3}{4} \|\varphi\|_{L_2}^2 \leq \sum_{n=0}^{\infty} \varphi_n^2 \leq U_0 \|\varphi\|_{L_2}^2$.

В [7] приведена математическая модель изменения мощности предприятия.

Список литературы:

1. Ерофеев В.Т., Козловская И.С. Уравнения с частными производными и математические модели в экономике. М: Изд. УРСС, 2004, 248с.
2. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. М: Наука, 1997
3. Ашманов С.А. Математические модели и методы в экономике. М: Изд. МГУ, 1980
4. Масленникова В.Н. Дифференциальные уравнения в частных производных. М: Изд. РУДН, 1997.
5. Фихтенгольц Г.М. Основы математического анализа т.2. М: Физматлит, 1960.
6. Ионкин Н.И. Решение одной краевой задачи теории теплопроводности с неклассическими граничными условиями. Дифуравнения, 1977, т. XIII, №2, стр 294-304.
7. Магомедова Е.С., Магомедов Р.И. Модель изменения мощности предприятия. Тр. Международного форума по проблемам науки, техники и образования, т2. М. 2008, стр. 43-45.

В.Г. Манжула к.т.н.

ГОУ ВПО «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса», кафедра
«Информационные системы и радиотехника»,
Россия, г. Шахты
manjula@sssu.ru

ИСКЛЮЧЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ, ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ И СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ ПРИ СИНТЕЗЕ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ В КОРПУСЕ

В работе рассмотрены процедуры исключения избыточности аналоговых систем в корпусе на структурном, функциональном и схемотехническом уровнях. Предложены концептуальные и функциональные модели синтеза неизбыточных схем. На основе пакета IBM® Rational® Software Modeler V7.0 разработана диаграмма деятельности.

Ключевые слова: синтез, аналоговая система в корпусе, диаграмма деятельности, структурная схема, функциональная схема

Синтез аналоговых систем в корпусе (SiP), представляющих собой интегральную схему, объединяющую в одном чипе (чипсете) или корпусе все основные функциональные элементы проводится на основе различных маршрутов проектирования. На смену традиционному ниспадающему типу проектирования SiP, в настоящее время, приходит спиралевидная методология синтеза [1]. Для решения задач разбиения и совместного проектирования такие производители, как Aldec, Cadence, Mentor Graphics, Synopsys, LSI Logic, NEC, Tera Systems, Synplicity, Celoxica, Xilinx MicroBlaze на системном уровне используют подход функционально-архитектурного синтеза [2]. Однако указанный подход не исключает возможности получения финального продукта с излишне сложной структурой, при этом целесообразным является введение дополнительной процедуры контроля структурной и параметрической избыточности проектируемых систем. Особенно актуальным является введение данной процедуры при проектировании аналоговых SiP, так как используемые этапы проектирования, в этом случае, имеют очень низкий уровень формализации.

Концептуальная модель функционально-архитектурного подхода модернизированного с учетом включения процедур анализа и исключения структурной и параметрической избыточности представлены на рисунке 1. Введение процедуры анализа структурной избыточности позволяет оценить возможность упрощения структуры, а процедура анализа допустимости позволяет выявить и исключить неработоспособные упрощенные варианты. Для полноценного сокращения маршрута системного проектирования целесообразным является использование процедуры одновременного исключения структурной и параметрической избыточности.



Рис. 1- Концептуальная модель неизбыточного функционально-архитектурного подхода

На рисунке 2 представлена функциональная модель архитектурного уровня концептуальной модели процесса обработки информации на основе SADT диаграммы при синтезе неизбыточных структур аналоговых SiP. Блоками модели являются основные действия, проводимые при исключении структурной избыточности, а дуги отражают связи между этими действиями.



Рис. 2- Функциональная модель обработки информации при синтезе неизбыточных структур

Входными данными модели являются: структура, полученная в результате детализации архитектуры (рисунок 1), или ее начальный вектор; основные переменные. В качестве управляющих воздействий принимаем: условия алгебраизации, правила сравнения сложности структур, условия допустимости и условия выбора для ЛПР [3,4,5]. В качестве механизмов использованы: специализированное программное обеспечение и ЛПР. Основными этапами обработки информации являются выбор метода синтеза, исключение элементов структуры, проверка допустимости синтезируемых структур, окончательный выбор избыточной структуры.

Современные SiP характеризуются многообразием функциональных возможностей, режимов работы и алгоритмов функционирования. Проектирование функциональной схемы конечного устройства, реализующей все требуемые параметры, характеристики и алгоритмы функционирования затруднительно ввиду многообразия факторов, влияющих на финальный состав функциональной и принципиальной схем.

Решение данной задачи синтеза возможно реализовать при помощи подхода, основанного на последовательном использовании операций редуцирования и агрегирования (рисунок 3). Снижения сложности решения исходной задачи предлагается осуществить за счет редукиции, при этом начальная задача разбивается на подзадачи, в соответствие к которым устанавливаются методы их решения. Данный подход предлагается использовать как на этапе синтеза функциональной схемы, так и на этапе синтеза принципиальной схемы SiP.

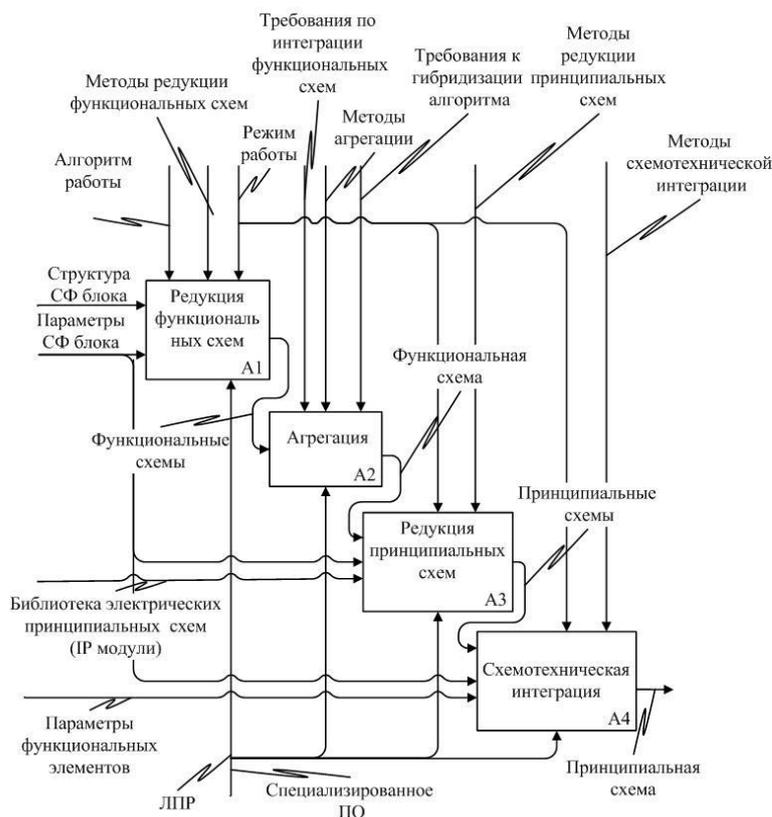


Рис. 3- Функциональная модель подхода синтеза избыточных функциональных и электрических принципиальных схем SiP

На этапе редукиции генерируются решения функциональных подсхем соответствующих различным режимам и, в свою очередь, различным алгоритмам функционирования. В дальнейшем, полученные решения интегрируются в виде единого, функционально-полного решения. Таким образом синтезируется функциональная схема SiP, избыточность которой минимизирована за счет интеграции отдельных элементов функциональных подсхем.

На этапе синтеза принципиальной схемы SiP в соответствие каждому элементу синтезированной избыточной функциональной схемы предлагается вариант ее схмотехнической реализации, как правило, в виде IP модуля. На этапе агрегации, за счет использования принципа схмотехнической интеграции, отдельные схемные блоки объединяются в виде единого схмотехнического решения, выполняющего задачи нескольких функциональных элементов [6,7]. Данный подход позволяет получить схмотехнические решения, имеющие меньшее количество элементов и, как правило, обладающие параметрами, превосходящими простую совокупность элементов неинтегрированных принципиальных схем.

В процессе синтеза избыточных SiP возникает необходимость в моделировании жизненного цикла и визуализации перехода из одного состояния (деятельности) в другое, а также детализации алгоритмических и логических процессов реализации.

Для моделирования процесса выполнения операций широко используются диаграммы деятельности, применяемая в них графическая нотация во многом похожа на нотацию диаграммы состояний, поскольку на этих диаграммах также присутствуют обозначения состояний и переходов. Они позволяют реализовать особенности процедурного и синхронного управления, обусловленного завершением внутренних деятельностей и действий. Одним из современных решений для моделирования и разработки архитектуры программных решений и приложений является использование приложения IBM® Rational® Software Modeler V7.0.

Результатом моделирования процессов при синтезе избыточных аналоговых SiP является диаграмма деятельности, представленная на рисунке 4. Данная многоуровневая диаграмма раскрывает операции, связанные с процессами избыточного синтеза на структурном, функциональном и схмотехническом уровнях. При этом в процедурах анализа и исключения избыточности предлагается использовать модели, методы и алгоритмы, изложенные в [8].

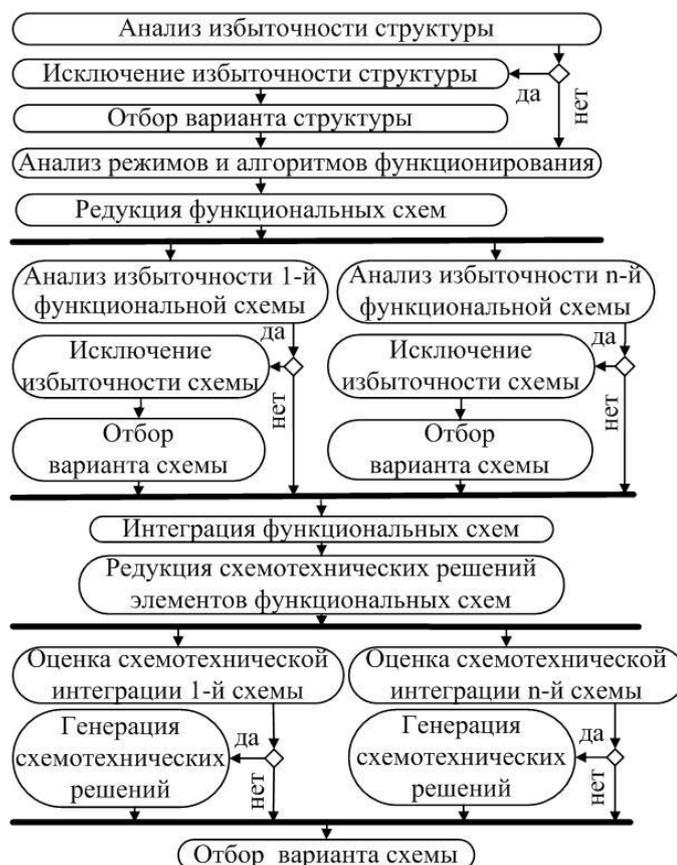


Рис. 4- Диаграмма деятельности при синтезе избыточных смешанных микроэлектронных SiP

Процедуры, связанные с отбором наилучшего варианта предполагают использование интеллектуальных информационных систем [9] или ЛПР.

Таким образом, предлагаемые подходы синтеза избыточных структурных, функциональных и принципиальных схем на основе разработанных концептуальных и функциональных моделей, а также предложенной диаграммы деятельности, позволяют проектировать SiP, использующие меньшее число активных и пассивных элементов интегральных схем, обладающие низким токопотреблением и повышенной функциональной надежностью.

Список литературы:

1. *Henry Chang*, SoC Design Methodologies, Chapter 2 in Grant Martin and Henry Chang (editors), *Winning the SoC Revolution: Experiences in Real Design*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2003.

2. *Немудров В.А., Мартин Г.* Системы на кристалле. Проектирование и развитие. – М.: Техносфера. - 2004. – 216 с.

3. *Манжула В.Г.* Формализация задачи синтеза избыточных архитектур сложных функциональных блоков // Изв. вузов Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2010. – № 4. – С. 7 – 11.

4. *Манжула В.Г.* Методы решения задач синтеза избыточных структур систем управления на основе минимально-факторного подхода // Изв. вузов Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2010. – № 2. – С. 27–31.

5. *Манжула В.Г., Морозов С.А., Федосеев С.В., Аликов А.Ю.* Методы синтеза систем управления на основе формализации сложности структур // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 5. – С. 37–46.

6. *Isakov A.B., Manzhula V.G., Sokolov Yu.M.* Circuitry of heat immunity nodes of power analog IC (1992) *Elektrosvyaz*, (9), pp. 40-41.

7. *Anisimov V.I., Isakov A.B., Manzhula V.G., Sokolov Yu.M.* Circuit design of low-power reference voltage sources (1993) *Telecommunications and Radio Engineering* (English translation of *Elektrosvyaz and Radiotekhnika*), 48 (1), pp. 11-17.

8. *Манжула В.Г.* Модели, методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза избыточных смешанных СФ блоков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 2. – С. 79 – 87.

9. *Манжула В.Г., Федяшов Д.С.* Нейронные сети Кохонена и нечеткие нейронные сети в интеллектуальном анализе данных // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 4. – С. 108 – 114.

Е.А. Маринин, А.М. Чирков, к.т.н.

Вятский государственный университет, факультет автоматизации машиностроения,
кафедра технологии сварки и механики материалов,
Россия, Киров,
truf_evgen@mail.ru

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАСЫЩЕНИЯ СТАЛИ УГЛЕРОДОМ ИЗ ПЛАЗМЫ НЕПРЕРЫВНОГО ОПТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ПАРАХ МЕТАЛЛА

В работе рассмотрены возможные механизмы насыщения жидкой фазы поверхностного слоя стали из лазерной плазмы непрерывного оптического разряда (НОР) в парах металла. Выбрана модель описания процесса насыщения поверхностного слоя.

Ключевые слова: лазерная плазма непрерывного оптического разряда в парах металла, массоперенос, лазерно-плазменная цементация.

Повышение ресурса работы и надежности машин, механизмов и инструментов является одним из основных вопросов в конкурентоспособности выпускаемой продукции. Как показывает практика, разрушение 90% деталей машин и инструмента начинается с поверхности [1]. Поэтому упрочнение поверхности является одним из главных факторов повышения ресурса и надежности. Работоспособность и износостойкость определяются рациональностью выбора марки материала и технологии упрочнения поверхности.

Одним из наиболее распространенных в машиностроении методом упрочнения поверхности является химико-термическая обработка, и в частности, цементация [2]. Она сочетает термическое и химическое воздействия с целью изменения химического состава, структуры и свойств поверхностного слоя металла или сплава.

В целом процессу цементации присущи ряд недостатков [5]: большая длительность технологического цикла; низкая стойкость приспособлений и оборудования вследствие высоких температур процесса; высокая стоимость оборудования ограничение размеров цементуемых партий (деталей) размерами печей; при ведении технологического процесса цементации в газовой, жидкой, твердой фазе могут наблюдаться ряд дефектов [5]: пониженная толщина цементованного слоя, что является следствием пониженной температуры процесса или недостаточным временем выдержки, пониженная концентрация углерода в слое; повышенная концентрация углерода в слое цементитной или карбидной сетки, в результате чего после закалки слой приобретает хрупкость, неравномерная толщина слоя.

Проведенный патентный и литературный анализ способов упрочнения с помощью цементации поверхностного слоя показал, что в настоящее время наиболее перспективными технологическими процессами цементации поверхности являются:

- ионно-плазменная цементация в вакууме;
- цементация в дуговом и тлеющем разряде при атмосферных условиях.

Альтернативой этим процессам является лазерно-плазменная цементация при атмосферных условиях, которая основана на насыщении поверхностного слоя углеродом из лазерной плазмы НОР в парах металла [5].

Наиболее эффективной из вышеуказанных технологических процессов цементации является лазерно-плазменная обработка, так как она обеспечивает наивысшую производительность процесса цементации. Кроме этого лазерно-плазменную цементацию можно сочетать с одновременным ведением технологических процессов:

- лазерно-плазменного легирования поверхностного слоя;
- лазерно-плазменного рафинирования поверхностного слоя;
- лазерно-плазменного полирования поверхности.

Сверхвысокоскоростной нагрев и охлаждение поверхностного слоя, подвергнутого лазерно-плазменной цементации позволяют получить высокодисперсные структуры, обладающие более высокой износостойкостью по сравнению с другими методами цементации.

В рассматриваемом методе предполагается, что насыщение поверхностного слоя углеродом происходит непосредственно из плазмы. Основное отличие массопереноса при лазерно-плазменном насыщении углеродом из плазмы состоит в том, что при насыщении поверхности из плазмы количество легирующего вещества в расплаве непрерывно увеличивается, в то время, как при легировании из предварительно нанесенного покрытия количество его не меняется, а происходит только перераспределение легирующих компонентов, что приводит к различному уровню концентрации легирующего элемента в поверхностном слое.

Порог плазмообразования у поверхности обрабатываемых материалов снижается [4]. Это означает, что вблизи поверхности обрабатываемого материала включаются в действие физические эффекты, которые отсутствуют в чистом газе. Наличие металлической поверхности в зоне фокусировки лазерного излучения приводит к появлению заметной концентрации затравочных электронов, а также обеспечивает качественное разнообразие приповерхностных лазерных процессов. Их последовательность определяется плотностью мощности лазерного излучения, свойствами обрабатываемого материала и окружающей газовой атмосферы.

При описании процессов массопереноса предполагается, что возникающая плазма низкотемпературная, слабоионизированная и равновесная.

Также предполагаем, что приповерхностная лазерная плазма оптического разряда в парах металла квазинейтральна. Это означает, что ее объем $V = \frac{4}{3}\pi \cdot r_D^3$ должен быть больше некоторого критического значения V_D , который носит название дебаевского объема, а суммарный электрический заряд равен нулю [4].

где $r_D = \left(\frac{2\varepsilon_0 k T_e}{n_e q_e}\right)^{1/2}$ - дебаевский радиус

T_e – температура плазмы;

n_e – концентрация электронов;

ε_0 – диэлектрическая постоянная вакуума, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

k – постоянная Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;

q_e – заряд электрона, $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Температура плазмы непрерывного оптического разряда в парах металла по данным различных источников [4] находится в пределах $(1 - 3) \cdot 10^4$ К в зависимости от рода инертного газа в зоне обработки, поэтому минимальный радиус Дебая

$$r_D = \left(\frac{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 2 \cdot 10^4}{5,4 \cdot 10^5 \cdot 10^9 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2}\right)^{1/2} = 5,94 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 0,06 \text{ мм}$$

На практике радиус НОР в парах металла с защитой зоны обработки инертными газами Ar, Ne составляет несколько мм, что значительно превышает r_D . Поэтому можно сказать, что плазма непрерывного оптического разряда в парах металла квазинейтральна.

На основании этого делается вывод, что к описанию термодинамики возникающей плазмы можно применить законы идеального газа [3].

Тогда массоперенос углерода из плазмы НОР в жидкую фазу поверхностного слоя металла можно представить по следующей схеме:

1. Перенос ионов углерода к поверхности расплава;
2. Проход Кнудсеновского слоя у поверхности расплава;
3. Адсорбция углерода поверхностным слоем [3];
4. Химические реакции на поверхности металлического расплава;
5. Протекание процессов хемсорбции и физсорбции на поверхности расплава;
6. Растворение углерода в жидкой фазе за счет процессов диффузии и конвективного перемешивания. [6].

Таким образом задается алгоритм описания процесса насыщения поверхности углеродом из плазмы (НОР) в парах металла.

Список литературы:

1. *Гаркунов Д.Н.* Триботехника. – М.: Машиностроение, 1985. - С. 5–12.
2. *Гуляев А.М.* Металловедение. – М.: Металлургия, 1978. – С. 13-15.
3. *Линчевский Б.В.* Термодинамика и кинетика взаимодействия газов с жидкими металлами.-М.: Металлургия, 1986. – С. 120–122.
4. *Прохоров А.М., Конов В.И. и др.* Взаимодействие лазерного излучения с металлами.- М.: Наука, 1988.-С. 57, 101-102.
5. *Райцесс В.Б.* Термическая обработка.–М.: Машиностроение, 1980. – С. 24-26, 155.
6. *Углов А.А., Смуров И.Ю., Татаров К.И. и др.* Термокапиллярный массоперенос при лазерном легировании металлов //Физика и химия обработки материалов. – 1988 – №6 – С.. 24-29.

В.А. Матвеев к. ф-м.н.

Псковский государственный педагогический университет имени С.М. Кирова,
физико - математический факультет, кафедра алгебры и геометрии,
Россия, Псков,
matveev176@rambler.ru

КОНУСНАЯ ОПТИМАЛЬНОСТЬ В ДВУХКРИТЕРИАЛЬНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧЕ

В работе в двухкритериальной динамической задаче на основе предпочтений экспертов определяется уточнённое по последовательности матриц управление. Нахождение такого уточнённого решения сводится к определению синтезирующей функции динамической задачи оптимального управления. Приводится пример, в котором найден явный вид синтезирующей функции.

Ключевые слова: многокритериальная динамическая задача, оптимальность по конусу, метод динамического программирования.

В сложных задачах управления часто представлены “мгновенные, статические” схемы принятия решения. В них не учитывается изменение объекта управления с течением времени. Это относится и к многокритериальным задачам. Однако в большинстве реальных задач с течением времени изменяется и сама управляемая система и предпочтения ЛПР (лица, принимающего решение), ибо “всё течёт, всё движется и ничего не остаётся неизменным” [2, с.214 – 219]. Процессы, в которых учитываются изменения, связанные с возрастанием времени, называют “динамическими”.

Рассматривается линейно–квадратичная, динамическая двухкритериальная задача

$$\Gamma = \langle \Sigma, U, \{J^{(i)}\}_{i=1,2} \rangle. \quad (1)$$

Здесь динамика управляемой динамической системы Σ описывается системой двух линейных дифференциальных уравнений

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} u(t, x).$$

Вектор состояния системы $x = (x_1, x_2) \in R^2$. Задан промежуток функционирования $t \in [0, 2]$. Скалярное управление с полной обратной связью $u(t, x) = Q(t)x = q_1 x_1 + q_2 x_2$, ограничения на управление отсутствуют. Множество таких управлений обозначается U . На реализованных траектории и управлении динамической системы $(x^*(t), u^*(t, x(t)))$ определены два критерия, заданные квадратичными функционалами, именно,

$$J_1(u, t_0, x_0) = x^T(2)Cx(2), \quad C = \begin{pmatrix} -2 & 0 \\ 0 & -3 \end{pmatrix},$$

$$J_2(u, t_0, x_0) = \int_0^2 u^T(t, x(t)) \cdot D \cdot u(t, x(t)) dt, \quad D = -1.$$

Будем использовать обозначения

$$J_1(u, 0, x_0) = -2x_1^2(2) - 3Cx_2^2(2), \quad J_2(u, 0, x_0) = -\int_0^2 u^2(t, x(t)) dt.$$

На содержательном уровне, цель ЛПР в этой задаче состоит в выборе такого управления $u(t, x) \in U$, при котором оба критерия примут возможно большие значения.

Представленная задача является линейно – квадратичной, динамической двухкритериальной задачей.

Обычно, решением многокритериальной задачи (1) считают оптимальное по Парето решение, как это показано в [6, с.29]. Максимальное по Парето управление обладает свойством: его оценка поддается улучшению по какому-либо критерию, только за счёт ухудшения по какому – то другому критерию. Но, как правило, паретовских решений в многокритериальной задаче достаточно много. Актуальна задача их уточнения.

Многокритериальная задача (1) является задачей с неполной информацией по сравнению со стандартной задачей математического программирования. Неопределённость связана с векторным критерием, т.е. с отсутствием единого целевого функционала. Неопределённость можно сокращать или даже снимать, используя дополнительную информацию.

Оптимальные по Парето решения входят в класс оптимальных по конусу решений. Среди последних можно проводить процедуру уточнения, как это определено в [4, с.169 - 176]. Такая процедура позволяет существенно сократить множество претендентов на наилучшее (оптимальное) решение или даже выделить единственное уточнённое управление.

В качестве решения задачи будем рассматривать управление, уточнённое по последовательности матриц. Такой подход к уточнению решения представлен в [5, с.56 - 62]. Это уточнение можно определять на основе экспертных оценок. Пусть эксперты представили свои предпочтения стохастической матрицей

$$A = \begin{pmatrix} 3/5 & 2/5 \\ 4/5 & 1/5 \end{pmatrix}$$

В этой матрице приведены мнения двух экспертов о критериях: первый эксперт оценивает важность критериев $J^{(1)}$ и $J^{(2)}$ как 3:2, а второй эксперт как 4:1. Такая информация сокращает неопределённость относительно цели операции, но не снимает её полностью. Наилучший компромисс мнений экспертов устанавливает левый собственный вектор матрицы A , именно,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} A_n \cdot A_{n-1} \cdot \dots \cdot A_1 = \lim_{n \rightarrow \infty} A^n = A_0 = \begin{pmatrix} 2/3 & 1/3 \\ 2/3 & 1/3 \end{pmatrix}.$$

Таким образом, компромиссное решение экспертов состоит в оценке важности критериев, как 2:1. В этом случае управление

$$u^*(t) \in \arg \max_{u(t) \in U} \left(\frac{2}{3} J^{(1)}(u(t), 0, x_0) + \frac{1}{3} J^{(2)}(U(t), 0, 0) \right)$$

является уточнённым по последовательности матриц A^n , $n = 1, 2, 3, \dots$ оптимальным (максимальным) решением многокритериальной задачи (1). Именно, уточнённое управление есть решение линейно – квадратичной динамической задачи максимизации

$$\Gamma_{2/3} = \left\langle \Sigma, U, \rho_{2/3}(u, 0, x_0) \right\rangle, \quad \rho_{2/3}(u(t), 0, x_0) = \frac{2}{3} J^{(1)}(u(t), 0, x_0) + \frac{1}{3} J^{(2)}(U(t), 0, x_0). \quad (2)$$

Задача нахождения оптимального позиционного управления в (2) называется проблемой синтеза [1, с.188], а соответствующая функция $u^*(t, x) \in U$ - синтезирующей.

Для функционала $\rho_{2/3}(u(t), 0, x_0)$ выполнены условия

$$C(2/3) = \frac{2}{3} C_1 + \frac{1}{3} C_2 = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} -2 & 0 \\ 0 & -3 \end{pmatrix} + \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -4/3 & 0 \\ 0 & -2 \end{pmatrix} \leq 0,$$

$$D(2/3) = \frac{2}{3} D_1 + \frac{1}{3} D_2 = \frac{2}{3} \cdot 0 + \frac{1}{3} \cdot (-1) = -1/3 < 0.$$

Тогда [3, с. 16-18] в (2) при любом выборе начальной позиции $(t_0, x_0) \in [0, \mathcal{G}] \times R^n$ существует синтезирующая функция, доставляющая максимум функционалу в (2). Для её нахождения составим матричное уравнение типа Риккати [3, с.13]

$$\begin{aligned} \dot{\Theta} + A^T(t) \cdot \Theta + \Theta \cdot A(t) - \Theta \cdot B(t) \cdot D^{-1}(\alpha) \cdot B^T(t) \cdot \Theta &= 0_{n \times n}, \\ \Theta(\mathcal{G}) &= -2C(\alpha). \end{aligned}$$

Согласно [8, с. 207], такая задача имеет единственное решение, продолжимое на промежутки функционирования $t \in [0, 2]$.

Для уменьшения вычислительных трудностей при решении уравнения запишем его относительно неизвестной матрицы $\Theta^{-1} = \Theta^{-1}(t)$, при этом используем тождество $\dot{\Theta}^{-1} = -\dot{\Theta}^{-1}(t) \cdot \Theta(t) \cdot \Theta^{-1}(t)$. Аналогичное преобразование представлено в [7, с.382]. В результате получаем задачу

$$\begin{aligned} \dot{\Theta}^{-1} - \Theta^{-1} A^T - A \Theta^{-1} + B D^{-1} B^T &= O_{2 \times 2}, \\ \Theta^{-1}(\mathcal{G}) &= -\frac{1}{2} C^{-1}(\alpha) \end{aligned}$$

или в матричной форме

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} \dot{q}_{11} & \dot{q}_{12} \\ \dot{q}_{21} & \dot{q}_{22} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} \\ q_{21} & q_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} \\ q_{21} & q_{22} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1/3 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 0 & 1 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \\ \begin{pmatrix} q_{11}(\mathcal{G}) & q_{12}(\mathcal{G}) \\ q_{21}(\mathcal{G}) & q_{22}(\mathcal{G}) \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 3/8 & 0 \\ 0 & 1/4 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

После преобразований получаем начально – краевую задачу

$$\begin{aligned} \dot{q}_{11} &= 2q_{12}, \quad q_{11}(2) = 3/8, \\ \dot{q}_{12} &= q_{22}, \quad q_{12}(2) = 0, \\ \dot{q}_{22} &= -3, \quad q_{22}(2) = 1/4. \end{aligned}$$

Её решение

$$\begin{aligned} q_{11}(t) &= -t^3 + \frac{25}{4}t^2 - 13t + \frac{75}{8}, \\ q_{12}(t) &= -\frac{3}{2}t^2 + \frac{25}{4}t - \frac{13}{2}, \\ q_{22}(t) &= -3t + \frac{25}{4}. \end{aligned}$$

или в матричной форме

$$\Theta^{-1} = \Theta^{-1}(t) = \begin{pmatrix} q_{11}(t) & q_{12}(t) \\ q_{21}(t) & q_{22}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -t^3 + 6,25t^2 - 13t + 9,375 & -1,5t^2 + 6,25t + 6,5 \\ -1,5t^2 + 6,25t + 6,5 & -3t + 6,25 \end{pmatrix}.$$

Найдём обратную матрицу

$$\Theta = \Theta(t) = \frac{1}{\Delta} \begin{pmatrix} q_{22}(t) & -q_{12}(t) \\ -q_{21}(t) & q_{11}(t) \end{pmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{pmatrix} -3t + 6,25 & 1,5t^2 - 6,25t - 6,5 \\ 1,5t^2 - 6,25t - 6,5 & -t^3 + 6,25t^2 - 13t + 9,375 \end{pmatrix},$$

где $\Delta = 0,75t^4 - 6,25t^3 + 19,5t^2 - 28,125t + 16,34375$. Синтезирующее управление определяется по формуле

$$u^* = u^*(t, x) = -D^{-1}(\alpha) \cdot B^T(t) \cdot \Theta(t) \cdot x =$$

$$-\left(-\frac{1}{3}\right)^{-1} \begin{pmatrix} 0 & 1 \end{pmatrix} \frac{1}{\Delta} \begin{pmatrix} -3t + 6,25 & 1,5t^2 - 6,25t - 6,5 \\ 1,5t^2 - 6,25t - 6,5 & -t^3 + 6,25t^2 - 13t + 9,375 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} =$$

$$\frac{4,5t^2 - 18,75t - 19,5}{\Delta} x_1 + \frac{-3t^3 - 18,75t^2 - 39t - 28,125}{\Delta} x_2$$

и $\Delta = 0,75t^4 - 6,25t^3 + 19,5t^2 - 28,125t + 16,34375$.

Таким образом, в данном примере найдено синтезирующее управление, доставляющее наилучшее компромиссное решение с позиций двух экспертов.

В работе рассмотрена линейно – квадратичная, динамическая двухкритериальная задача. Наличие в ней двух критериев является выражением неопределённости в системе, именно неопределённости отношения предпочтения ЛПР. В классификации неопределённостей в задачах управления она выделена в [2, с.24], как “неопределённость, отражающая нечёткость знания игроками своих целей”. Выявление единой целевой функции снимает эту неопределённость.

Рассматриваемый в работе процесс уточнения по последовательности матриц позволяет уменьшить неопределённость, а в пределе выявить единую синтезирующую функцию. Такое уточнение существенно использует знания экспертов по рассматриваемой проблеме. Их мнения формализуются в форме матрицы отношений экспертов к критериям. Эта матрица позволяет свести двухкритериальную проблему к стандартной задаче динамического управления.

Для последней задачи разработаны эффективные методы решения. В частности, в рассматриваемом случае управление осуществляется по принципу обратной связи, т.е. управляющее воздействие зависит от времени и сложившейся позиции. Для нахождения такого оптимального управления можно использовать метод динамического управления Беллмана. Этот алгоритм решения позволяет выявить явный вид синтезирующего управления.

Список литературы:

1. Васильев Ф.П. Лекции по методам решения экстремальных задач. М.: Изд- во МГУ, 1974.
2. Жуковский В.И., Салуквадзе М.Е. Риски и исходы в многокритериальных задачах управления. Тбилиси: Изд - во Интеллекти, 2004.
3. Жуковский В.И., Чикрий А.А. Линейно – квадратичные дифференциальные игры. Киев: Наукова Думка, 1994.
4. Матвеев В.А. Исследование оптимальности по конусу в многокритери - альной задаче // Научно-технические ведомости СПбГТУ. 2009. № 4. С.169-176.
5. Матвеев В.А. Исследование конусной оптимальности в многокритери - альной динамической задаче // Научно-технические ведомости СПбГТУ. 2010. № 5. С.56-62.
6. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. М.: Физматлит, 2002.
7. Пантелеев В.И., Бортакровский А.С. Теория управления в примерах и задачах. Москва: Высшая школа, 2003.
8. Ли Э.Б., Маркус Л. Основы теории оптимального управления. М.: Наука, 1972.

О.Н. Медведева к.т.н.

Саратовский государственный технический университет,
Строительно-архитектурно-дорожный институт,
кафедра «Теплогасоснабжение и вентиляция»,
Россия, Саратов,
medvedeva-on@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

В работе представлены результаты технико-экономического исследования распределительных систем газоснабжения на базе шкафных газорегуляторных установок (ШГРП) и домовых регуляторов.

Ключевые слова: газовая сеть, регулятор давления, целевая функция

Проблема эффективного функционирования распределительных систем газоснабжения населенных пунктов с учетом всех системообразующих факторов является достаточно актуальной. В существующей практике газификации широкое распространение получили двухступенчатые системы газоснабжения, включающие в себя следующие элементы: газовые сети высокого (среднего) давления – газорегуляторные пункты (ГРП) – газовые сети низкого давления. В 50-60-е годы прошлого столетия (в начальный период газификации) в качестве опорных пунктов газораспределительных систем использовались крупные ГРП, размещаемые в отдельно стоящих зданиях. Указанное обстоятельство предопределяло высокую степень централизации систем газоснабжения и соответствующую структуру распределительных газопроводов, сочетающую короткие газопроводы высокого (среднего) давления и протяженные газовые сети низкого давления. Наличие протяженной сети газопроводов низкого давления в сочетании с большими диаметрами труб обуславливает повышенную материалоемкость газораспределительных систем, а, следовательно, высокую стоимость сооружения и эксплуатации систем. Дальнейшее развитие распределительных систем газоснабжения связано с широким использованием шкафных ГРП [1,2].

Вопросы оптимальной централизации многоступенчатых систем газоснабжения освещаются в работах Гофмана-Захарова П.М., Ионина А.А., Левина А.М., Лякониса А.Ю., Скафтымова М.А., Смирнова В.А., Торчинского Я.М. и многих других исследователей. Полученные авторами решения и разработанные на их основе рекомендации отличаются постановкой задачи, полнотой учета определяющих факторов, алгоритмами ее реализации и часто носят весьма противоречивый характер. Следует отметить также, что известные решения привязаны к городским населенным пунктам с квартальной планировкой и многоэтажной застройкой и совершенно неприемлемы к сельским поселкам, характерной особенностью которых является широкое разнообразие планировки и преимущественная застройка малоэтажными (одноквартирными) жилыми зданиями. Вместе с этим, существующие рекомендации не учитывают целый ряд определяющих факторов, существенно влияющих на конечные результаты расчетов. К ним относятся: характер планировки населенного пункта, плотность газоснабжаемого населения, географические и климатические условия эксплуатации, газовое оборудование квартир, режимы его использования. В этой связи эффективное решение задачи требует проведения комплекса научных исследований на базе системного подхода с учетом многообразия определяющих

факторов и специфических особенностей современных газораспределительных систем и оборудования.

Суммарная протяженность газовых сетей в значительной степени определяется структурой застройки населенного пункта [3]. Для современных проектных решений характерны следующие варианты застройки: квартальная – для крупных поселков; тупиковая – с размещением жилых домов вдоль тупиковых проездов – для средних и малых поселков и ленточная застройка, обычно применяемая в малых поселках [4]. В качестве целевой функции задачи примем удельные (на одну газифицируемую квартиру) интегральные затраты по комплексу: сети высокого (среднего) давления, $Z_{c/\partial}$, ШГРП, $Z_{узpn}$, сети низкого давления, $Z_{н/\partial}$. Критерию оптимальности соответствует минимум целевой функции:

$$\frac{Z}{n} = \frac{1}{n} [Z_{c/\partial}(n) + Z_{узpn}(n) + Z_{н/\partial}(n)] = \min, \quad (1)$$

где n - количество газоснабжаемых квартир от одного ШГРП.

В целях разработки расчетной модели системы газоснабжения рассмотрим два варианта застройки населенных пунктов, обеспечивающих наименьшие и наибольшие затраты в распределительные газопроводы: многорядная (квартальная) и ленточная (с двух- и однорядным расположением зданий). Для газопроводов низкого давления работающих в режиме «гладких» труб можно записать:

$$d_{2M} = a_0^{0,21} \cdot (Q_{cp}^{2M})^{0,368} \cdot \left(\frac{l_{2M}}{\Delta P_{2M}} \right)^{0,21}; \quad (2)$$

$$d_{омв} = a_0^{0,21} \cdot (Q_{cp}^{омв})^{0,368} \cdot \left(\frac{l_{омв}}{\Delta P_n - \Delta P_{2M}} \right)^{0,21}, \quad (3)$$

где $d_{2M}, d_{омв}$ – диаметры головной магистрали и ответвления, см; a_0 – коэффициент пропорциональности; $Q_{cp}^{2M}, Q_{cp}^{омв}$ – средний расход газа на головной магистрали и ответвлении, м³/ч; $l_{2M}, l_{омв}$ – протяженности головной магистрали и ответвления, м; ΔP_n – нормативные потери давления в распределительном газопроводе, Па; ΔP_{2M} – потеря давления в головной магистрали; $\Delta P_{омв} = \Delta P_n - \Delta P_{2M}$ – потеря давления в ответвлении.

Материальная характеристика газовой сети определяется по выражению:

$$M = a_0^{0,21} (Q_{cp}^{2M})^{0,368} \left(\frac{l_{2M}}{\Delta P_{2M}} \right)^{0,21} \cdot l_{2M} + a_0^{0,21} (Q_{cp}^{омв})^{0,368} \left(\frac{l_{омв}}{\Delta P_n - \Delta P_{2M}} \right)^{0,21} \cdot l_{омв}. \quad (4)$$

Для нахождения оптимального распределения потерь давления между магистральным участком и ответвлением на расчетной ветке газопровода продифференцируем уравнение (4). В результате имеем:

$$\Delta P_{2M}^{opt} = \frac{\Delta P_n}{1 + \left(\frac{(Q_{cp}^{омв})^{0,368} (l_{омв})^{1,21}}{(Q_{cp}^{2M})^{0,368} (l_{2M})^{1,21}} \right)^{-1,21}}, \quad (5)$$

$$\Delta P_{омв}^{opt} = \Delta P_n - \Delta P_{2M}^{opt}. \quad (6)$$

Для поиска оптимального решения воспользуемся методом вариантных расчетов. Задаваясь рядом значений числа газифицируемых квартир определяем затраты в систему

газоснабжения. Минимальному значению затрат соответствует оптимальное количество газоснабжаемых квартир.

Анализ экономико-математической модели показывает, что оптимальная централизация распределительных газовых сетей зависит от целого ряда факторов: характера застройки поселка; климатических условий эксплуатации систем; оснащенности зданий газовыми приборами; режимов потребления газа; материала и способа прокладки газопроводов и др. В целях оценки влияния указанных факторов на оптимальную централизацию систем газоснабжения были разработаны рекомендации (таблица).

Таблица – Оптимальная централизация систем газоснабжения от ШГРП

Плотность населения q , чел/м ²	Централизация поселковых систем газоснабжения, кв, при характере застройки поселков			
	Многорядная		одно или двухрядная	
	оптимальное значение n_{opt}	допустимый интервал значений	оптимальное значение n_{opt}	допустимый интервал значений
Усадебные здания с существующим уровнем теплозащиты Газовое оборудование – газовые плиты, газовые отопительные котлы				
$0.6 \cdot 10^{-3}$	80	65÷105	7	5÷9
$2.5 \cdot 10^{-3}$	100	83÷132	10	8÷13
$7.5 \cdot 10^{-3}$	120	97÷155	12	10÷16
Усадебные и коттеджные здания с повышенным уровнем теплозащиты: Газовое оборудование – газовые плиты, газовые водонагреватели, газовые котлы				
$0.6 \cdot 10^{-3}$	120	95÷155	8	6÷10
$2.5 \cdot 10^{-3}$	150	120÷182	11	9÷14
$7.5 \cdot 10^{-3}$	170	137÷238	15	12÷20

В таблице представлены как детерминированные значения оптимума, так и допустимый диапазон централизации с учетом зон экономической неопределенности (погрешность исчисления затрат $\pm 3\%$). Как видно из таблицы, оптимальная централизация систем газоснабжения поселков изменяется в достаточно широких пределах от 7 до 170 квартир в зависимости от плотности населения и типа застройки.

Важным резервом повышения экономической эффективности газораспределительных сетей является применение одноступенчатых систем газоснабжения, когда подача газа потребителям осуществляется по газопроводам высокого (среднего) давления. Значительным преимуществом одноступенчатых систем с домовыми регуляторами является возможность стабилизации давления газа перед газоиспользующими установками. Это позволяет эксплуатировать газовое оборудование при давлениях газа, близких к номинальной величине, обеспечивает работу газовых приборов с максимальным КПД и вскрывает значительные резервы газосбережения. Рациональная область применения двухступенчатых и одноступенчатых систем газоснабжения определяется уравнением:

$$\left[\frac{3(q)}{n} \right]_{\partial c}^{\min} = 3_{ocg}, \quad (7)$$

где $\left[\frac{Z(q)}{n} \right]_{\partial c_2}^{\min}$ – минимальные удельные (на одну квартиру) интегральные затраты в

двухступенчатую систему газоснабжения в условиях ее оптимальной централизации, принимаются по таблице, руб/год·кв; Z_{oc_2} – удельные (на одну квартиру) интегральные затраты в одноступенчатую систему газоснабжения, руб/год·кв.

Как показывают конкретные расчеты, одноступенчатые системы газоснабжения экономически целесообразны в поселках с однорядной застройкой при плотности населения до $7 \cdot 10^{-3}$ чел/м² (площадь приусадебного участка более 4 соток). Для поселков с двухрядной застройкой область рационального применения одноступенчатых систем газоснабжения ограничивается плотностью населения до $4 \cdot 10^{-3}$ чел/м² (площадь приусадебного участка более 7 соток). Для поселков с многорядной застройкой одноступенчатые системы газоснабжения экономически оправданы при плотности населения до $2 \cdot 10^{-3}$ чел/м² (площадь приусадебного участка более 15÷20 соток). Во всех остальных случаях целесообразно использовать двухступенчатые системы газоснабжения в условиях их оптимальной централизации.

Внедрение результатов исследований в проектную и эксплуатационную практику снижает интегральные затраты в сооружение и эксплуатацию газораспределительных систем на 20÷25% и на 3÷7% снижает годовое газопотребление зданиями.

Список литературы:

1. Ляуконис А.Ю. Оптимизация городского газоснабжения. – Л.: Недра, 1989.– 302с.
2. Удовенко В.Е. Технологическая структура энергоснабжающих систем// Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: материалы Межд. научн.-техн. конф. – М.: МГСУ, 2005. – С.17-22.
3. Курицын Б.Н., Медведева О.Н. Оптимизация распределительных систем газоснабжения малых населенных пунктов // Инженерные системы, АВОК- Северо-Запад. – 2006. – №3.– С.36-40.
4. Медведева О.Н. Оптимизация систем газоснабжения городов на базе шкафных газорегуляторных пунктов// Найновите научни постижения – 2009: материалы 5-ой Международной научно-практической конференции. – София, Белград: «БялГРАД-БГ», 2008. – С.33-36.

А.С. Мешков, В.И. Суздорф к.т.н.

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет,
электротехнический факультет,
кафедра электропривода и автоматизации промышленных установок,
Россия, г. Комсомольск-на-Амуре,
kepapu@knastu.ru

СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ СКОРОСТИ ОДНОФАЗНЫМ КОЛЛЕКТОРНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С НЕЛИНЕЙНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

В работе представлены модель и результаты моделирования в среде Matlab системы стабилизации скорости однофазным коллекторным электродвигателем электрифицированного инструмента, построенной с использованием нелинейной обратной связи по частному значению от тока и скорости двигателя.

Ключевые слова: стабилизация скорости, однофазный коллекторный электродвигатель, ЭДС самоиндукции, электрифицированный инструмент, статические и динамические характеристики.

Однофазные коллекторные двигатели (ОКД) последовательного возбуждения малой мощности находят широкое применение в электрифицированном инструменте. Наличие таких качеств, как мягкие механические характеристики и большая перегрузочная способность по моменту, по большей части и определяют широкое применение этих электродвигателей.

Известно, что для обеспечения оптимального режима, с точки зрения энергетики, электрифицированного инструмента и повышения срока службы рабочего органа, рабочий процесс (сверление) необходимо производить на определенной установившейся скорости, которая для каждого материала разная [1]. Поэтому, актуальной становится задача разработки системы управления, которая позволила бы не только регулировать скорость ОКД в широком диапазоне, но и обеспечивала бы стабилизацию скорости на необходимом установившемся значении.

При реализации регулируемого электропривода на основе ОКД возникают определённые трудности с формированием требуемых статических и динамических характеристик и, в частности, с созданием систем стабилизации скорости. Ряд разработчиков (Bosch, Merloni Progetti и другие) предложил использовать косвенное измерение скорости двигателя. Для этого, как правило, необходимо измерять внутренние координаты электропривода. Одним из возможных решений было бы использование обратной связи по ЭДС вращения двигателя, но в приводах с ОКД последовательного возбуждения такая связь является трудно реализуемой из-за слабовыраженной зависимости ЭДС от частоты вращения, кроме того, в присущих для данного типа привода режимах прерывистого тока ЭДС равна нулю. По тем же причинам не могут найти применения обратная связь по напряжению двигателя, а также осуществление стабилизации частоты вращения путем отслеживания частоты коллекторных пульсаций напряжения. Удобным является применение положительной обратной связи по току двигателя. Указанная связь проще реализуется либо с помощью шунта, либо трансформатора тока в цепи двигателя. Недостатком такого типа обратной связи служит то, что сигнал на её выходе не несет полной информации о частоте

вращения и её изменениях, вызванных отдельными возмущениями (нагрев обмоток, изменение напряжения сети).

Для решения описанных проблем авторами предлагается использовать структуру, формирующую сигнал обратной связи в виде частного от текущих значений тока и частоты вращения двигателя при импульсном питании последнего. Для этого измеряется время спада ЭДС самоиндукции двигателя до нуля. Это время с большой степенью точности пропорционально значению тока якоря и обратно пропорционально частоте вращения двигателя [2]. Достоинством указанного метода является возможность учесть большое число возмущений, в том числе нагрев обмоток двигателя, изменение напряжения сети и т.д.

Машина постоянного тока последовательного возбуждения в двигательном режиме описывается следующими уравнениями [3]:

$$U_c(t) = (R_{\text{я}} + R_{\text{в}}) \cdot i(t) + (L_{\text{я}} + L_{\text{в}}) \frac{di(t)}{dt} + L_{\text{яв}} \cdot i(t) \cdot \omega(t) \quad (1)$$

$$J \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} = M_{\text{дв}} - M_c - B_m \cdot \omega(t) \quad (2)$$

где $U_c(t)$ - напряжение питания двигателя (сети), В; $i(t)$ - ток двигателя, А; $\omega(t)$ - угловая частота вращения двигателя, 1/с; $R_{\text{я}}$ - активное сопротивление обмотки якоря, Ом; $R_{\text{в}}$ - активное сопротивление обмотки возбуждения, Ом; $L_{\text{я}}$ - индуктивность обмотки якоря, Гн; $L_{\text{в}}$ - индуктивность обмотки возбуждения, Гн; $L_{\text{яв}}$ - взаимная индуктивность между обмотками якоря и возбуждения, Гн; J - суммарный момент инерции электродвигателя и рабочего органа, кг·м²; $M_{\text{дв}}$ - электромагнитный момент двигателя, Н·м; M_c - момент нагрузки и постоянный момент трения двигателя, Н·м; $B_m \cdot \omega(t)$ - переменный момент трения (зависит от скорости вращения), Н·м, B_m - коэффициент трения, Н·м·с.

Время спада ЭДС ОКД до нуля прямо пропорционально электромагнитной постоянной времени двигателя и измерение её производится в момент, когда транзистор ШИП выключен и двигатель отключен от сети, а ток якоря протекает по, шунтирующей якорь, разрядной цепочке.

Постоянная времени двигателя определяется выражением [4]:

$$T_{\text{окд}} = \frac{L_{\text{яц}}}{R_{\text{яц}} + L_{\text{яв}} \cdot \omega}, \quad (3)$$

Из представленных уравнений видно, что для поддержания стабильной скорости вращения двигателя необходимо поддерживать постоянным время спада ЭДС самоиндукции до нуля. Это осуществляется регулированием ширины импульсов питающего напряжения.

В качестве среды разработки и моделирования системы управления ОКД с нелинейной обратной связью использовался пакет инженерных и специализированных вычислений MatLab, как наиболее мощный на сегодняшний день инструмент анализа и синтеза систем автоматического управления. Модель представлена на рисунке 1.

Электропривод подключается к бытовой питающей сети напряжением 220 В (50 Гц), которое выпрямляется неуправляемым выпрямителем. Затем выпрямленное напряжение поступает на вход одноплечевого широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с симметричным законом управления.

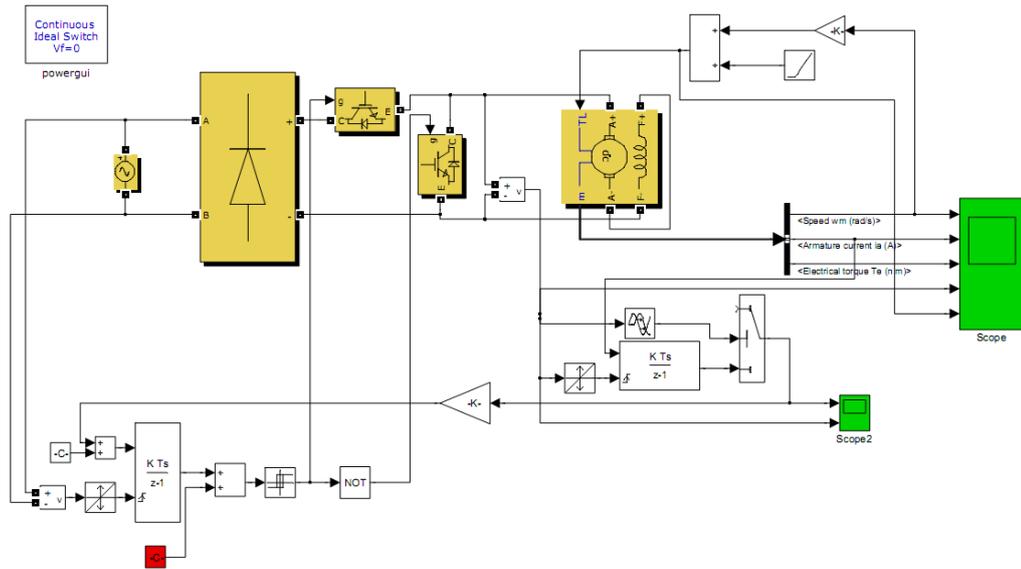


Рис. 1 – Модель системы стабилизации скорости в Simulink

Непосредственно к ШИП подключается ОКД, с которого снимаются значения его внутренних координат. В блоке нелинейной обратной связи, вычисляется значение электромагнитной постоянной времени в каждый период и формируется пропорциональный ей управляющий сигнал для ШИП.

На рисунке 2 представлено семейство механических характеристик разработанной системы управления с нелинейной обратной связью. На представленном рисунке четко видно участки пуска, рабочие участки характеристик, а также основную характеристику. Из рисунка видно, что чем выше скорость работы, тем больше момент потерь двигателя. Это объясняется тем, что основная составляющая момента потерь – момент трения, зависит от скорости двигателя. Основная характеристика имеет гиперболический вид, это объясняется уравнением механической характеристики разомкнутой системы электропривода с ОКД. Поэтому, диапазон нагрузок, на котором возможна стабилизации скорости, будет тем больше чем ниже рабочая скорость.

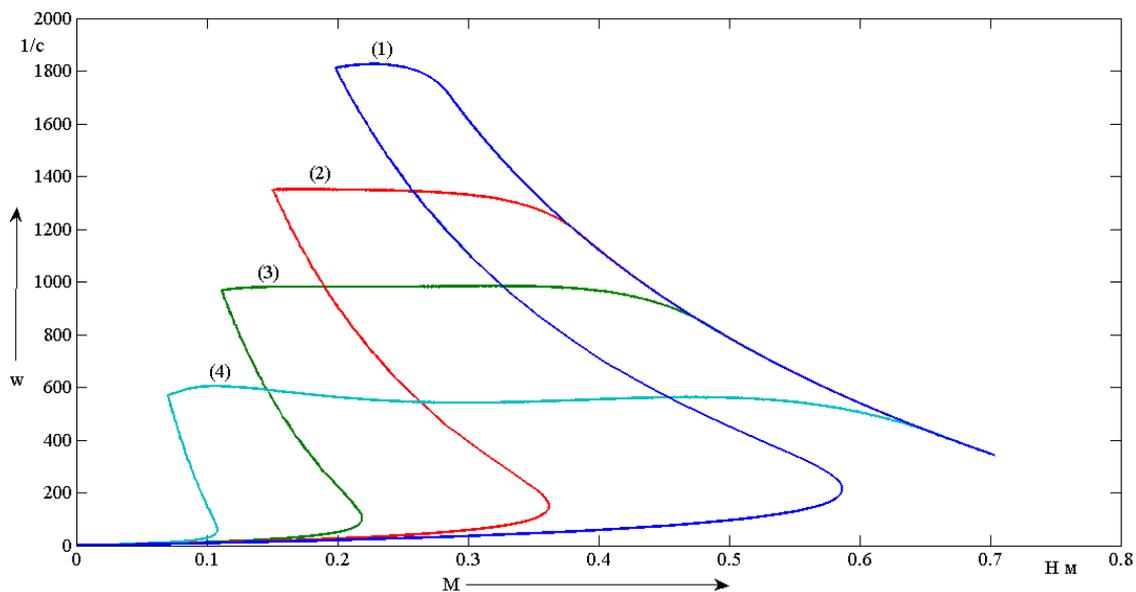


Рис. 2 – Семейство статических характеристик ССС ОКД

Из анализа статических механических характеристик следует, что модуль жесткости лежит в пределах:

$$|\beta| = 1 \cdot 10^6 \div 1 \cdot 10^9$$

Такая величина модуля жесткости удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системам управления двигателем электрифицированного инструмента.

Динамические характеристики представлены на рисунке 3 для механической характеристики (3) при линейно нарастающем моменте нагрузки и начальном угле управления $\alpha_{нач}=90^\circ$. На этом рисунке представлены графики основных координат электропривода: угловая частота вращения, ток двигателя, электромагнитный момент двигателя, момент нагрузки и напряжение питания. В момент времени 3 с. подается линейно нарастающий статический момент.

Как видно, система управления обеспечивает режим стабилизации скорости на промежутке от 0 до 0.45 Н·м, при номинальном моменте двигателя $M_n=0.252$ Н·м.

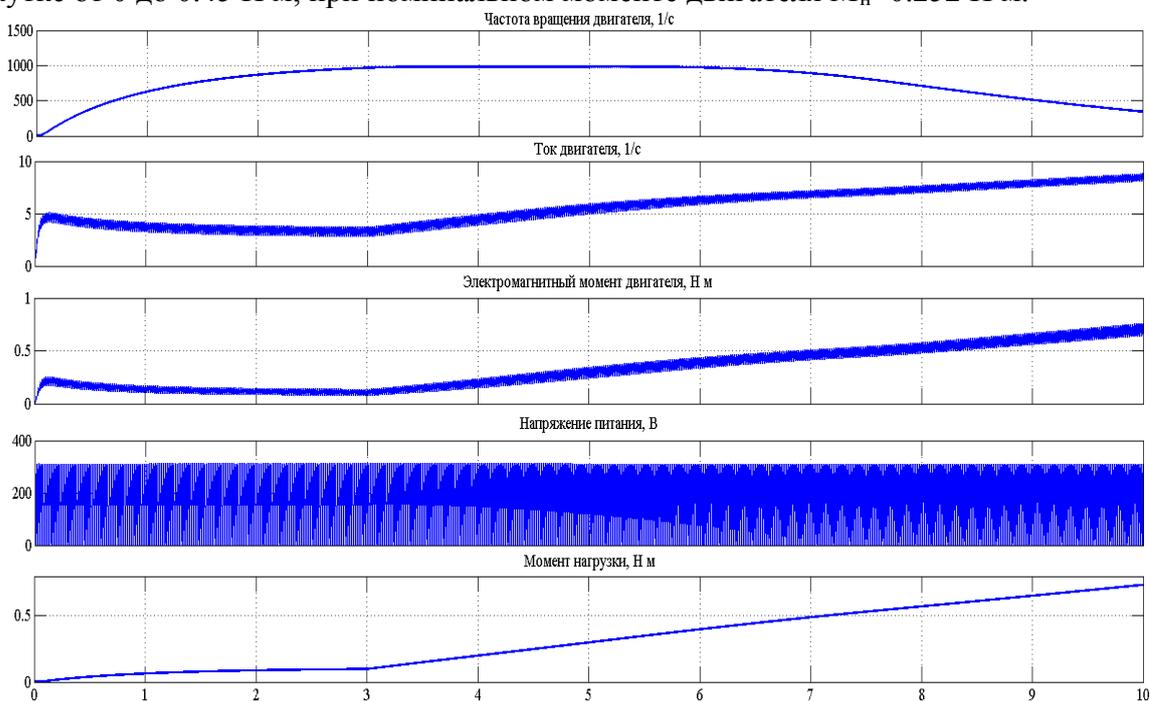


Рис. 3 – Динамические характеристики основных координат ОКД

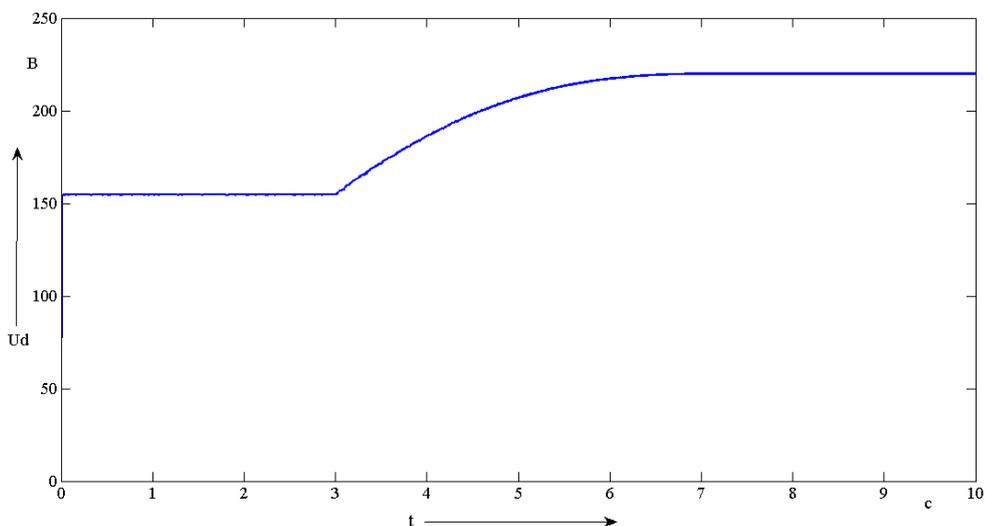


Рис. 4 – Действующего значения напряжения питания

Из анализа рисунков 3 и 4 ясно, что пока момент нагрузки не приложен к валу двигателя, действующее значение напряжения $U_d = 155$ В при начальном угле управления $\alpha_{\text{нач}} = 90^\circ$. Затем с ростом нагрузки угол управления уменьшается и действующее значение прикладываемого напряжения растет. Как показано на рисунке 4 в момент времени $t = 5.4$ с действующее значение напряжения равно $U_d = 212.3$ В. А в момент времени $t = 9$ с, когда угол управления $\alpha = 0^\circ$, действующее значение напряжения равно $U_d = 220$ В, и, таким образом, подается максимальное значение напряжения. После достижения этой величины двигатель не может держать нагрузку на установившейся скорости и переходит в работу на общей характеристике (рисунок 2).

Таким образом, в статье рассмотрена система стабилизации скорости ОКД электроинструмента, показаны статические и динамические характеристики системы управления.

Список литературы:

1. <http://www.woodmagazine.com/wood/story.jhtml>; Таблица определения скорости сверления
2. *Мешков А.С., Суздорф В.И.*, Функциональный синтез нелинейных обратных связей систем массового электропривода / Международный симпозиум «Образование, наука и производство: проблемы, достижения и перспективы»: материалы международной научно-технической конференции «Электротехнические комплексы и системы» (Комсомольск-на-Амуре, 21-22 октября 2010 года): В 5 т. т.3 / Редкол.: А.М. Шпилев (отв. ред.) и др. - Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КНАГТУ», 2010, с. 90 - 92.
3. *Krause P.C.*, Analysis of electric machinery and drive systems / Krause P.C., Wasynczuk O., Sudhoff S.D., - IEEE Press 2002, с. 76-84.
4. *Мешков А.С., Суздорф В.И.*, Формирование характеристик систем массового электропривода / Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике №3. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КНАГТУ», 2010, с. 57 – 61.

Д.И. Прошин к.т.н.

Пензенская государственная технологическая академия,
Россия, г. Пенза,
ProshinDI@qip.ru

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

В статье рассматривается образовательная система как объект управления познавательной деятельностью. Выделены основные управляемые, управляющие, возмущающие координаты процесса, а также его внутренние динамические параметры. Подчёркиваются особенности образовательной системы, отличающие её от технических систем. В основу такого представления положена новая концепция подготовки специалистов по единому вектору знаний.

Ключевые слова: профессиональная подготовка, системный анализ, модель процесса обучения, комплексная стратифицированная профессиональная подготовка.

Обучающийся как объект управления. Исследование обучаемого как объекта управления (ОУ) предполагает определение структуры объекта управления, т.е. выявление всех существенных входных (возмущающих, управляющих) воздействий, переменных состояния и выходных координат, а также связей между ними.

Модель объекта управления можно представить в виде множества величин, описывающих функционирование реальной системы и объединяющих следующие подмножества (рисунок 1).

Управляемые координаты (управляемые переменные) – совокупность характеризующих поведение объекта управления выходных величин $\bar{X}(t)$, текущими значениями которых требуется управлять для достижения поставленных целей. В модели управляемые координаты задают вектором управляемых переменных $\bar{X}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_k(t)]^T$.

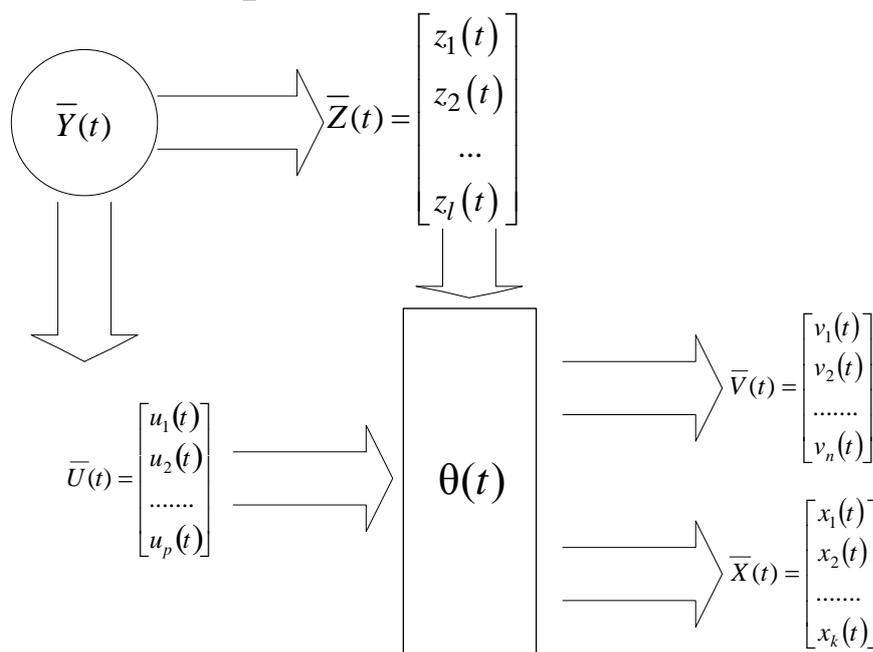


Рисунок 1 – Структурная схема объекта управления

При рассмотрении обучающегося как объекта управления на основании предлагаемого подхода к процессу обучения как к процессу управления вектором знаний за выходные координаты могут быть приняты – вектора, предопределяющие математико-методологическую, программно-алгоритмическую, технико-технологическую, организационно-экономическую, культурно-воспитательную компоненты или скалярные оценки, рассчитываемые на основе этих компонент в соответствии с некоторыми показателями или критериями качества обучения.

Координаты состояния объекта – внутренние переменные, характеризующие текущее поведение и состояние объекта в отдельные моменты времени. В модели координаты состояния задают вектором состояний $\bar{V}(t) = [v_1(t), v_2(t), \dots, v_n(t)]^T$, т.е. совокупностью значений вектора состояний $\bar{V}(t_1), \bar{V}(t_2), \dots, \bar{V}(t_l)$ в отдельные моменты времени t_1, t_2, \dots, t_l . Управляемые координаты $\bar{X}(t)$ объекта формируются на основе координат его состояния $\bar{V}(t)$. Размерность вектора управляемых координат k меньше или равна размерности вектора состояний n . В частном случае управляемые переменные объекта могут совпадать с координатами состояния. В соответствии с предложенной концепцией в качестве вектора состояний обучаемого выберем вектор знаний $\bar{V}(t) = [\bar{V}_1(t), \bar{V}_2(t), \dots, \bar{V}_n(t)]^T$, элементы которого являются также векторами, отражающими специфику обучения [1].

Управляющие воздействия – совокупность входных величин $\bar{U}(t) \in \bar{Y}(t)$, изменением которых обеспечивают воздействия на объект с целью управления. В модели управляющие воздействия задают вектором $\bar{U}(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t)]^T$. В качестве управляющих воздействий для управления обучающимся примем вектор, объединяющий следующие компоненты: мотивация; цели и задачи обучения; критерии оценки знаний; методология обучения; содержание предмета изучения.

Возмущающие воздействия – совокупность неуправляемых входных величин $\bar{Z}(t) \in \bar{Y}(t)$, изменения которых оказывают нежелательное влияние на состояние объекта $\bar{V}(t)$ и его управляемые координаты $\bar{X}(t)$. В модели возмущающие воздействия задают вектором $\bar{Z}(t) = [z_1(t), z_2(t), \dots, z_l(t)]^T$. Вектор возмущающих воздействий, в свою очередь, можно разбить на две составляющие – первую можно определить, а вторую – нельзя. Возможность оценки возмущающего воздействия позволяет ввести в систему управления образовательной деятельностью дополнительные управления, что позволяет компенсировать нежелательные возмущения и расширяет возможности системы. Источник возмущающих воздействий – окружающая среда, воздействующая на обучающегося через органы чувств.

Внутренние (собственные) динамические параметры объекта – совокупность величин $\bar{\theta}(t)$, характеризующих внутренние свойства и количественную причинно-следственную взаимосвязь входных и выходных переменных в математических моделях объекта управления. При рассмотрении управляемых объектов необходимо от внутренних параметров, отражающих технологические свойства установки или процесса, в том числе и образовательного процесса, перейти к динамическим параметрам, предопределяющим внутренние свойства объекта как элемента системы управления с точки зрения динамики его поведения. К таким параметрам при представлении математической модели (ММ) в

стандартной форме относятся статические коэффициенты передачи K , определяющие степень преобразования входной переменной элемента в выходную в статическом (установившемся) режиме, и постоянные времени T , характеризующие быстродействие соответствующего звена или системы.

Многомерные объекты, каковым можно считать обучающегося, имеют несколько управляемых и управляющих переменных, совокупности которых в математических моделях могут быть заданы векторами. Совокупность управляющих

$\bar{U}(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t)]^T$ и возмущающих $\bar{Z}(t) = [z_1(t), z_2(t), \dots, z_l(t)]^T$ воздействий в модели может быть задана одним вектором входных воздействий $\bar{Y}(t) = \{\bar{U}(t), \bar{Z}(t)\} = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_r(t)]^T$.

Таким образом, рассмотреть учебный процесс или любой элемент системы как объект управления это значит выделить элемент системы, в котором протекает процесс, подлежащий управлению, в пространстве и во времени из окружающей среды, то есть определить его как систему взаимосвязанных через внутренние динамические параметры ОУ переменных – координат состояния и управляемых координат, управляющих и возмущающих воздействий.

Отличительная особенность обучающегося как объекта управления состоит в том, что он представляет собой многомерный нелинейный нестационарный и недетерминированный объект, компоненты векторов входных воздействий, координат состояния и выхода, которого – векторные величины.

В общем случае математическая модель познавательной деятельности может быть описана в классе нелинейных, нестационарных, недетерминированных конечномерных операторов ($\overline{\text{ЛСДК}}$) нелинейными дифференциальными уравнениями n – порядка

$$F\left(\bar{X}(t), \bar{X}^{(1)}(t), \dots, \bar{X}^{(n)}(t); \bar{Y}(t), \bar{Y}^{(1)}(t), \dots, \bar{Y}^{(m)}(t)\right) = 0. \quad (1)$$

Математическая модель обучающегося (1) как объекта управления – нелинейной нестационарной системы с r входными воздействиями $\bar{Y}(t) = [\bar{Y}_1(t), \bar{Y}_2(t), \dots, \bar{Y}_r(t)]^T$

и k выходными величинами $\bar{X}(t) = [\bar{X}_1(t), \bar{X}_2(t), \dots, \bar{X}_k(t)]^T$ может быть также

представлена n переменными состояниями $\bar{V}(t) = [\bar{V}_1(t), \bar{V}_2(t), \dots, \bar{V}_n(t)]^T$ и системой дифференциальных уравнений в векторной форме (рисунок 2)

$$\begin{cases} \frac{d\bar{V}}{dt} = F(\bar{V}, \bar{Y}, t), & \bar{V}(0) \\ \bar{X} = G(\bar{V}, \bar{Y}, t) \end{cases}, \quad (2)$$

где $F = [f_1, f_2 \dots f_n]^T$ и $G = [g_1, g_2 \dots g_k]^T$ – нелинейные вектор-функции, переменная t отражает зависимость коэффициентов функций f_i и g_i от времени.

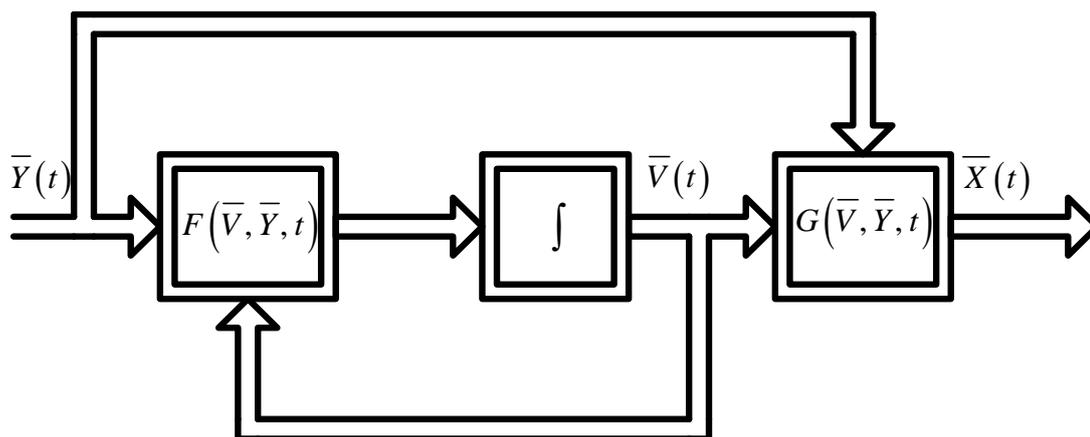


Рисунок 2 – Структура нелинейной математической модели обучающегося в пространстве состояний

Процесс обучения в силу своей сложности и специфики восприятия информации значительно распределён по времени, а информация по отдельным дисциплинам и темам передаётся в течение определённого интервала времени – занятия, которые в свою очередь повторяются через отдельные промежутки времени. Это позволяет рассматривать учебный процесс как совокупность отдельных этапов, на каждом из которых модель обучающегося как объекта управления может быть принята линейной с определённой системой постоянных или изменяющихся во времени параметров.

В случае представления обучающегося линейной нестационарной системой каждая из функций $f_i(\bar{V}, \bar{Y}, t)$ и $g_i(\bar{V}, \bar{Y}, t)$ – линейная комбинация переменных состояния v_i и входа y_i :

$$f_i(v_1, \dots, v_n, y_1, \dots, y_r, t) = \sum_{j=1}^n a_{ij}(t)v_j(t) + \sum_{v=1}^r b_{iv}(t)y_v(t);$$

$$g_i(v_1, \dots, v_n, y_1, \dots, y_r, t) = \sum_{j=1}^n c_{ij}(t)v_j + \sum_{v=1}^r d_{iv}(t)y_v, \quad i = \overline{1, n}.$$

Линейная нестационарная модель обучающегося в векторной форме принимает вид

$$\begin{cases} \bar{V}^{(1)}(t) = A(t)\bar{V}(t) + B(t)\bar{Y}(t); \\ \bar{X}(t) = C(t)\bar{V}(t) + D(t)\bar{Y}(t). \end{cases} \quad (3)$$

Линейная стационарная модель обучающегося может быть задана так:

$$\begin{cases} \bar{V}^{(1)}(t) = A\bar{V}(t) + B\bar{Y}(t); \\ \bar{X}(t) = C\bar{V}(t) + D\bar{Y}(t). \end{cases} \quad (4)$$

Здесь

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1r} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nr} \end{bmatrix};$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{k1} & a_{k2} & \dots & a_{kn} \end{bmatrix}; \quad D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1r} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{k1} & d_{k2} & \dots & d_{kr} \end{bmatrix}, \quad (k \leq n).$$

Если вектор входных воздействий $\bar{Y} = [y_1(t), y_2(t) \dots y_r(t)]^T$ представить в виде двух:

- вектора управляющих воздействий $\bar{U}(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t)]^T$;

- вектора возмущающих воздействий $\bar{Z}(t) = [z_1(t), z_2(t) \dots z_l(t)]^T$,

то математическое описание системы управления обучением можно записать в форме, имеющей два вектора входных воздействий соответственно для нестационарной

$$\begin{cases} \bar{V}^{(1)}(t) = A(t)\bar{V}(t) + B(t)\bar{Y}(t) + E(t)\bar{Z}(t); \\ \bar{X}(t) = C(t)\bar{V}(t) + D(t)\bar{Y}(t) + G(t)\bar{Z}(t) \end{cases} \quad (5)$$

и стационарной

$$\begin{cases} \bar{V}^{(1)}(t) = A\bar{V}(t) + B\bar{Y}(t) + E\bar{Z}(t); \\ \bar{X}(t) = C\bar{V}(t) + D\bar{Y}(t) + G\bar{Z}(t) \end{cases} \quad (6)$$

систем.

Математическое описание обучающегося уравнениями вида (2) – (6) представляет собой модели «вход – состояние – выход» или модели в пространстве состояний.

Для оценки динамических свойств обучающегося и процесса обучения модели (1) – (6) могут быть аппроксимированы линейными моделями «вход – выход» в виде передаточных функций вида

$$W(s) = \frac{Ke^{-\tau s}}{(Ts + 1)^n}. \quad (7)$$

или

$$W(s) = \frac{Ke^{-\tau s}}{\prod_{i=1}^n (T_i s + 1)}. \quad (8)$$

Поведение каждого обучающегося как объекта управления характеризуется фазовой траекторией, которая определяет изменение координат состояния (знания, умения и навыки) системы во времени. Каждая конкретная (фиксированная) точка на фазовой траектории определяет состояние системы обучения в фиксированный момент времени при $t=t_\phi$. Таким образом, фазовая траектория полностью предопределяет состояние обучающегося в пространстве R^n и во времени t .

Траектория состояний каждого обучающегося однозначна на интервале $t \in [t_\phi, T]$ для заданного на этом интервале входного воздействия $\bar{Y}(t)$.

Таким образом, обучающийся как объект управления – нелинейная нестационарная недетерминированная конечномерная система, обеспечивающая трансформацию входных

воздействий в выходные управляемые координаты и описываемая в классе $\overline{\text{ЛСДК}}$ операторов моделями общего вида (1) или нелинейными нестационарными моделями в пространстве состояний (2), которые в зависимости от целей исследования могут быть аппроксимированы линейными нестационарными (3), (5) или стационарными (4), (6) моделями, а поведение каждого обучающегося как объекта управления задаётся фазовой траекторией обучения. Качественный анализ динамических свойств обучающегося как объекта управления может быть проведён на базе моделей (7), (8).

Обучающийся как преобразователь информации. В процессе познавательной деятельности происходит преобразование информации о предметной области знаний в виде теоретических положений, математических моделей, методов, методик и примеров решения задач в умения, знания и навыки обучающегося по данной области знаний. При этом независимо от цели обучения обучающийся воспринимает информацию об окружающей среде, оценивает её и принимает решение к действию, выступает как интеллектуальная система.

Получение информации обучающимся обеспечивается посредством органов чувств – первичных преобразователей информации. В настоящее время биологами выделяется более десятка типов органов чувств, каждый из которых специализирован на восприятии определённого стимула, т.е. той или иной формы энергии. Рецепторы – клетки, входящие в органы чувств и реагирующие на определённые стимулы, принято классифицировать в соответствии с видом энергии, на который они реагируют. Различают рецепторы, реагирующие на свет, давление, химические соединения, температуру, магнитные поля, электрический ток. В качестве основных принято выделять – пять органов чувств: зрение, осязание, обоняние, слух, вкус.

Воспринимаемая обучающимся с помощью органов чувств – сенсоров информация трансформируется в соответствующие сигналы и поступает по нервным окончаниям в высший продукт материи – в мозг. В основе познавательной деятельности человека лежат наиболее сложные функции мозга: память и научение. Основные способы научения – процесса, приводящего к адаптивным изменениям в поведении индивида, выделяемые биологами, – это ассоциативное и латентное научение, инсайт (разум), рассматриваемый как высшая форма научения.

Отметим, что уже на самой первой стадии восприятия информации человеком, усваиваемая информация носит избирательный характер. И эта избирательность во многом определяется внутренними потребностями обучающегося, его интеллектуальными способностями и психофизическим состоянием, имеющимся прошлым опытом.

Очевидно, что мы не реагируем на каждое внутреннее или внешнее воздействие, множество стимулов, которые непрерывно бомбардируют наши рецепторы. Нервная система и органы чувств непонятным пока образом отфильтровывают стимулы так, что только некоторые из них вызывают ответы.

Различия в восприятии информации могут быть обусловлены тем, что органы чувств по-разному реагируют на стимулы, или тем, что информация, полученная от них, по-разному обрабатывается в нервной системе.

Действительно, каждый из группы обучающихся, прослушав один и тот же курс лекций или прочитав один и тот же учебник, проделав определённую совокупность лабораторных и практических работ, усваивает только субъективную часть информации, соответствующую его интересам, наклонностям, способностям, работоспособности, знаниям, умениям, трудолюбию, накопленному опыту, уровню подготовки.

Наряду с этим, один и тот же обучающийся в разное время при различных обстоятельствах в зависимости от своего психофизиологического состояния воспринимает информацию совершенно по-разному. Тот факт, что на один и тот же стимул человек в разное время реагирует по-разному может быть объяснён изменениями мотивации.

Следовательно, важное значение для реакции человека на какие-либо сведения, усвоение обучающимся необходимой информации, повышения эффективности познавательной деятельности является доминирующая в данный момент потребность или мотивация и соответствующая цель, которую ставит перед собой обучающийся.

Основными каналами при обучении являются органы слуха и зрения. Однако не следует забывать, что обучающийся, прежде всего, интеллектуальная система, действующая в каждый данный момент времени на основе своей доминирующей мотивации и цели, которые могут формироваться на основе информации, получаемой обучающимся от любого из имеющихся у него органов чувств. Поэтому, важными при исследовании процесса познавательной деятельности являются все каналы поступления информации к обучающемуся.

Различия в восприятии и усвоении получаемой обучающимся информации обуславливают необходимость с одной стороны применения для каждого обучающегося индивидуального подхода, учитывающего свойства и особенности, методологию и приёмы, используемые обучающимся в своей познавательной деятельности, с другой – создания благоприятных условий для проведения учебных занятий, формирования у обучающегося доминирующей мотивации к познавательной деятельности, коррекции цели.

Отметим, что существенное значение на восприятие и усвоение информации, на избирательность к информации оказывает также такое свойство человека, как хабитуация (привыкание). Отсутствие реакции на безразличные стимулы помогает экономить энергию и концентрировать усиливать реакцию на новые стимулы. В то же время, однообразно организованный учебный процесс приводит к утрате интереса у обучающихся к познавательной деятельности, к хабитуации.

Таким образом, первая отличительная особенность обучающегося как преобразователя информации состоит в том, что он воспринимает не всю имеющуюся в его распоряжении информацию, а только некоторую её часть, специфичную для каждого учащегося, обладает избирательностью к поступающей к нему через органы чувств информации.

Вторая качественная особенность обучающегося, обусловленная наличием у него интеллекта и отличающая его от технических объектов управления, связана с тем, что инициатором получения информации в процессе обучения для учащегося может выступать как внешний объект: преподаватель, товарищ, родители и т.д., так и сам обучающийся.

Специфическая особенность обучающегося как преобразователя информации здесь проявляется в том, что он является не пассивным приёмником, воспринимающим с помощью органов чувств информацию от окружающей среды, а активно взаимодействует с окружающей средой с целью получения требующейся ему информации, является инициатором такого взаимодействия. Следовательно, в состав получаемой обучающимся информации об окружающей среде входит составляющая, инициируемая с некоторой целью самим обучающимся.

В соответствии с выше изложенным воздействие окружающей среды на обучающегося представим в виде вектора $\bar{Y} = \left\{ \bar{Y}^O, \bar{Y}^B \right\}$, состоящего из двух частей:

- компоненты \bar{Y}^O , отражающей информацию, получение которой инициировано самим обучающимся;
- компоненты \bar{Y}^B , отражающей информацию, получаемую по инициативе внешнего объекта.

На рисунке 3 показана структура преобразования информации в процессе познавательной деятельности.

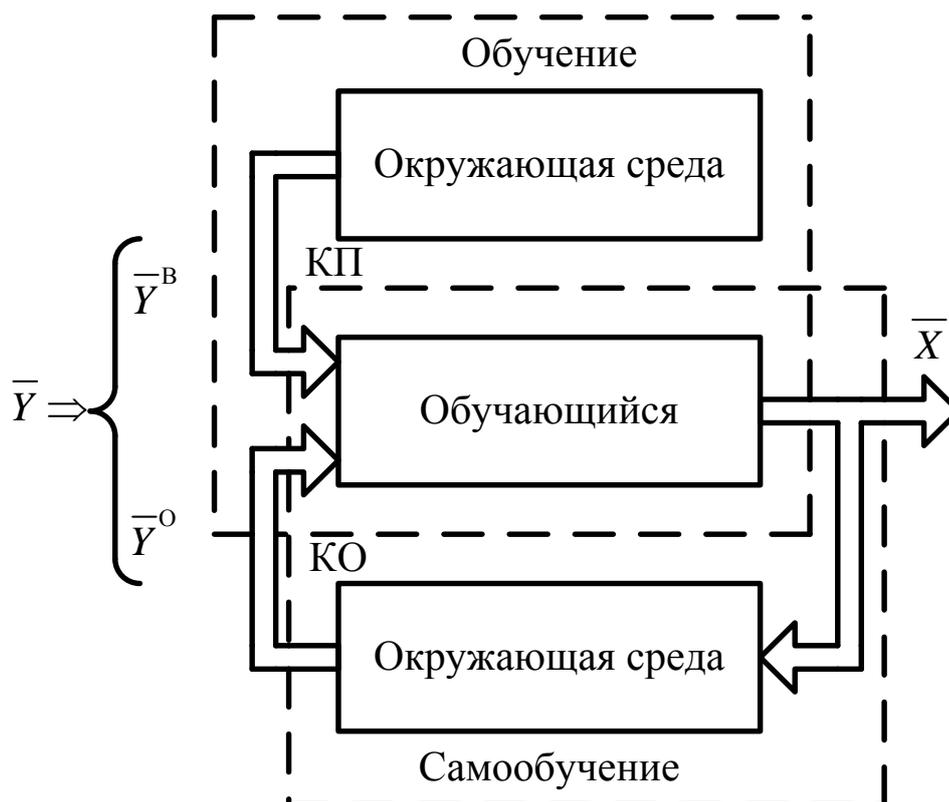


Рисунок 3 – Структура преобразования информации в процессе познавательной деятельности

Обучающийся представлен как преобразователь информации, поступающей от окружающей среды по двум каналам: внутреннему каналу КО, преобразующему информацию, получение которой инициировано самим обучающимся \bar{Y}^O ; внешнему независимому каналу КП, преобразующему информацию, получаемую по инициативе внешнего объекта \bar{Y}^B .

Первый канал КО отражает механизм самообучения. Второй КП – процесс обучения обучающегося преподавателем.

Основные источники информации при обучении – это учебники, учебные пособия, методические разработки, научно-техническая информация, сведения и описания промышленных программных и технических продуктов в традиционной форме или в электронном варианте.

Стремительное развитие науки и техники при обучении по ряду специальностей приводит к тому, что к моменту разработки учебного пособия, информация, отражённая в нём утрачивает актуальность, устаревают. Поэтому важным аспектом при профессиональной подготовке в вузе становится работа с текущей промышленной документацией, использование промышленных программных продуктов, каталогов, справочников, Интернет-ресурсов. При этом важной составляющей образовательного процесса становится обучение методам самостоятельного поиска научно-технической информации, в том числе и с использованием компьютеров.

Преобразование информации при обучении – это интеллектуальный процесс, осуществляемый обучающимся в процессе познавательной деятельности. В ходе реализации познавательной деятельности обучающийся преобразует получаемую из вне информацию о данных, параметрах изучаемого объекта, конкретных сведений о чём либо и т.д. в концептуальные знания – в базовые понятия, овладевает умениями, навыками, не только и не столько запоминает имеющуюся конкретную информацию, а обобщает её, преобразует в

высший продукт высшего продукта материи – мозга – совокупность процедурных (алгоритмических), предметных (фактуальных), концептуальных (на уровне понятий) знаний.

Это третье отличие обучающегося как преобразователя информации от технических систем, обусловленное его интеллектуальными способностями.

Таким образом, обучающийся как преобразователь информации – сложная интеллектуальная система, отличающаяся наличием:

- избирательной способности к информации;
- активного взаимодействия с окружающей средой, инициирующим это взаимодействие;
- способности преобразовывать информацию в высший продукт высшего продукта материи – мозга – в совокупность процедурных (алгоритмических), предметных (фактуальных), концептуальных (на уровне понятий) знаний.

Среди основных факторов, влияющих на восприятие обучающимся информации, выделим две группы. Первая группа связана с психофизиологическими и биологическими свойствами обучающегося. Это – способы получения и преобразования информации, научения, запоминания.

Вторая определяется спецификой познавательной деятельности. Здесь отметим: мотивацию, цель, критерии оценки, методологию познавательной деятельности, содержание изучаемого материала.

Основа исследования механизма познавательной деятельности – модель обучающегося, представляющая собой совокупность взаимосвязанных и находящихся во взаимодействии составляющих, направленных на синтез цели, прогноз результата, принятие решение к действию и объединённых информационным процессом в единую интеллектуальную систему.

Список литературы:

1. Прошин И.А., Прошин Д.И., Прошина Р.Д. Концепция профессиональной подготовки по вектору знаний. Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. №2., 2009. – с.66-70.

2. Прошин Д.И., Прошина Р.Д. Принципы системной организации профессиональной подготовки в ВУЗЕ. Журнал №10. Международная академия наук педагогического образования, 2009 с.76-79.

И.А. Прошин д.т.н., Е.А. Сапунов

Пензенская государственная технологическая академия,
кафедра «Автоматизация и управление»,
Россия, Пенза,
proshin@pgta.ru, sapuni@mail.ru

АНАЛИЗ ШЕСТИСТЕПЕННОГО ДИНАМИЧЕСКОГО СТЕНДА АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА КАК ОБЪЕКТА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В работе рассматривается система следящих приводов шестистепенного динамического стенда авиационного тренажера. Предложен способ устранения влияния веса подвижной платформы на работу следящих приводов, позволяющий повысить точность воспроизведения стендом управляющих воздействий.

Ключевые слова: динамический стенд, следящий привод, авиационный тренажер.

Математические модели гидропривода динамических стендов строятся с целью исследования динамических и статических свойств динамических стендов при управлении. Следовательно, модели должны отражать свойства гидропривода как системы управления и отображать его поведение через динамические параметры (статические коэффициенты передачи, постоянные времени).

Существенным недостатком известных динамических стендов является влияние веса подвижной платформы и установленного на ней оборудования на работу следящего привода. В связи с тем, что при движении вниз сила веса подвижных частей складывается с формируемой гидроприводом силой, а при движении вверх противодействует ей, создается асимметрия механической характеристики привода, приводящая, в конечном счете, к искажению процесса отслеживания входных электрических сигналов.

В трёхступенном динамическом стенде с вертикальным расположением гидроцилиндров этот недостаток можно устранить путем введения гидродинамического компенсатора статической нагрузки в следящий гидропривод [1, 2]. В шестистепенном динамическом стенде такой способ не применим, т.к. изменения положений всех шести гидроцилиндров взаимосвязаны.

На рисунке 1 приведена структурная схема следящих гидроприводов шестистепенного динамического стенда.

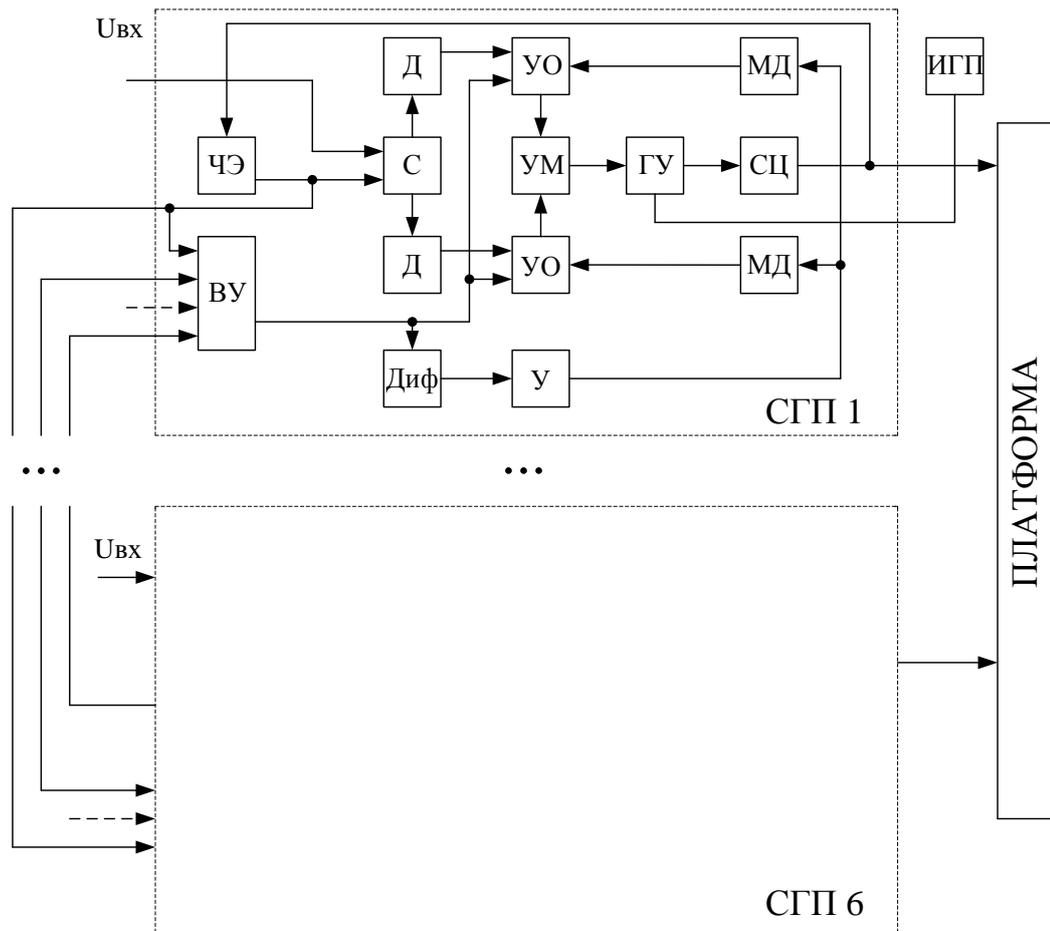


Рис. 1 – Структурная схема следящих приводов шестистепенного динамического стенда: ЧЭ – чувствительный элемент; ВУ – вычислительное устройство; Д – детектор; С – сумматор; Диф – дифференциатор; УО – усилитель-ограничитель; УМ – усилитель мощности; У – усилитель; ГУ – гидроусилитель; МД – масштабный делитель; СЦ – силовой цилиндр; ИГП – источник гидравлического питания; СГП – следящий гидропривод.

Математическую модель гидропривода можно представить в виде системы уравнений первой степени в нормальной форме Коши [1, 2].

$$\left. \begin{aligned}
\frac{dv_1}{dt} &= \frac{1}{L_3} u_1 - \frac{R}{L_3} v_1 - \frac{K_3}{L_3} v_2; \\
\frac{dv_2}{dt} &= \frac{K_{FI}}{m_{Я}} v_1 - \frac{b_{Я}}{m_{Я}} v_2 - \frac{K_{Fh} + K_R + c_{OC}}{m_{Я}} v_3 - \frac{c_{OC}}{m_{Я}} v_4; \\
\frac{dv_3}{dt} &= v_2; \\
\frac{dv_4}{dt} &= \frac{K_{Qh}}{A_3} v_3; \\
\frac{dv_5}{dt} &= -\frac{A_{II}}{K_E} v_6 + \frac{K_{QL}}{K_E} v_4 - \frac{K_{QP}}{K_E} v_5; \\
\frac{dv_6}{dt} &= \frac{A_{II}}{m_{II}} v_5 - \frac{c_K}{m_{II}} v_7 + \frac{c_K}{m_{II}} v_9; \\
\frac{dv_7}{dt} &= v_6; \\
\frac{dv_8}{dt} &= \frac{c_K}{m} v_7 - \frac{b}{m} v_8 - \frac{c_K + c_{III}}{m_{II}} v_9 - \frac{1}{m} z_0; \\
\frac{dv_9}{dt} &= v_8.
\end{aligned} \right\} \quad (1)$$

При $c_K = \infty$ модель гидропривода (1) может быть задана в виде:

$$\left. \begin{aligned}
\frac{dv_1}{dt} &= \frac{1}{L_3} u_1 - \frac{R}{L_3} v_1 - \frac{K_3}{L_3} v_2; \\
\frac{dv_2}{dt} &= \frac{K_{FI}}{m_{Я}} v_1 - \frac{b_{Я}}{m_{Я}} v_2 - \frac{K_{Fh} + K_R + c_{OC}}{m_{Я}} v_3 - \frac{c_{OC}}{m_{Я}} v_4; \\
\frac{dv_3}{dt} &= v_2; \\
\frac{dv_4}{dt} &= \frac{K_{Qh}}{A_3} v_3; \\
\frac{dv_5}{dt} &= \frac{K_{QL}}{K_E} v_4 - \frac{K_{QP}}{K_E} v_5 - \frac{A_{II}}{K_E} \cdot v_6; \\
\frac{dv_6}{dt} &= \frac{A_{II}}{m} v_5 - \frac{C_{III}}{m} v_7 - \frac{1}{m} z_0; \\
\frac{dv_7}{dt} &= v_6.
\end{aligned} \right\}$$

Основной математического моделирования системы приводов является математическая модель гидропривода, которая в пространстве состояний общего вида может быть представлена так

$$\begin{aligned} \overline{V}^{(1)} &= AV + BU + EZ; \\ \overline{X} &= CV + DU + FZ. \end{aligned} \quad (2)$$

Матрица управления в модели (2) для гидропривода (1) принимает вид

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L_3} & -\frac{K_3}{L_3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{K_{FI}}{m_{я}} & -\frac{b_{я}}{m_{я}} & -\frac{K_{Fh} + K_R + c_{OC}}{m_{я}} & -\frac{c_{OC}}{m_{я}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{K_{Qh}}{A_3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_{QL} & -K_{QP} & -\frac{A_{П}}{K_E} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{A_{П}}{m_{П}} & 0 & -\frac{c_K}{m_{П}} & 0 & \frac{c_K}{m_{П}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{c_K}{m} & -\frac{b}{m} & -\frac{c_K + c_{Ш}}{m_{П}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

, где R – эквивалентное активное сопротивление обмоток управления ЭМП;

L_3 – индуктивность обмоток управления ЭМП;

K_3 – коэффициент противо-ЭДС;

K_{FI} – коэффициент передачи электромеханического преобразователя по току;

K_{Fh} – коэффициент передачи электромеханического преобразователя по перемещению заслонки в рабочей точке;

K_R – коэффициент, учитывающий гидродинамическое воздействие струй жидкости на заслонку;

K_{Qh} – коэффициент передачи гидравлического мостика сопло – заслонка по расходу;

K_{QL} – коэффициент передачи золотника по расходу;

K_{QP} – коэффициент скольжения по расходу;

K_E – коэффициент, учитывающий сжимаемость жидкости с приведенным значением модуля объемной упругости;

A_3 – площадь поперечного сечения золотника;

$A_{П}$ – рабочая площадь поршня;

b – коэффициент вязкого трения;

$b_{я}$ – коэффициент вязкого демпфирования якоря ЭМП;

$c_{ос}$ – коэффициент жёсткости пружины обратной связи гидроусилителя;

$c_{к}$ – коэффициент жёсткости силовой проводки;

$c_{ш}$ – коэффициент позиционной (шарнирной) нагрузки;

m – приведенное к оси гидроцилиндра значение массы нагрузки;

$m_{п}$ – приведенное к оси гидроцилиндра значение массы поршня гидроцилиндра;

$m_{я}$ – приведенное к оси сопла значение массы якоря электромеханического преобразователя и заслонки.

При значительной динамической составляющей неуравновешенности кривые переходных процессов приводов различны. Причем это различие увеличивается с увеличением динамической составляющей неуравновешенности. Это ограничивает точность воспроизведения стендом управляющих воздействий.

После использования предлагаемого технического решения при значительной динамической составляющей неуравновешенности кривые переходных процессов приводов практически одинаковые.

Список литературы:

1. Прошин И.А., Тимаков В.М., Прошкин В.Н. Совершенствование динамических стендов авиационных тренажёров на базе гидроприводов // Журнал «Мехатроника, автоматизация, управление». – М: 2008. – № 12. – С. 18 – 22.

2. Прошин И.А., Тимаков В.М., Прошкин В.Н. Тренажер плавающего объекта для обучения экипажей действиям в чрезвычайных ситуациях // Вестник «Морская техника и технология» – Астрахань: АГТУ, 2009. – №1. – С. 82 – 87.

А.З. Тахо-Годи к.т.н.

Донской государственный аграрный университет,
технологический факультет, кафедра «Безопасность жизнедеятельности
и автоматизации технологических процессов и производств»
Россия, п. Персиановский,
takho_godi@mail.ru; dongau@mail.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШАХТНЫХ ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОВЕТРИВАНИЯ

Рассмотрены статические и динамические характеристики шахтных объектов проветривания, на основании которых можно успешно решать проблему синтеза автоматической системы управления шахтным вентиляционным комплексом с учетом всех наиболее значимых опасных и вредных факторов.

Ключевые слова: опасные и вредные факторы, угледобывающие предприятия, статические и динамические характеристики, автоматизация управления, шахтный вентиляционный комплекс.

Интенсификация производственных процессов в угольной промышленности на базе новой техники и технологии, переход горных работ на более глубокие горизонты и рост нагрузки на очистные забои в последние годы существенно усложнили проблему организации эффективного проветривания шахт. При этом технически достижимые темпы роста добычи угля сдерживаются трудностями обеспечения безопасных и, регламентируемых санитарно-гигиеническими требованиями, климатических и санитарно-гигиенических условий труда шахтеров.

Среди опасных и вредных факторов угледобывающих предприятий основными являются загазованность, запыленность, температура и влажность рудничной атмосферы. Несмотря на множество применяемых мероприятий (деятельная вентиляция, предварительная дегазация газоносных пластов, увлажнение угля в массиве, орошение, пылеотсос и т.п.), фактические показатели этих вредных и опасных факторов в условиях производства превышают, как правило, предельно-допустимые значения, нередко в десятки и даже сотни раз. При этом только на вентиляцию расходуется, как правило, более 50% электроэнергии, потребляемой шахтой.

Как известно, газодинамические характеристики выемочных участков шахт как объектов автоматизации проветривания по газовому фактору до сих пор сдерживают решение проблемы синтеза автоматической системы управления проветриванием, поскольку их реакции на единичные ступенчатые воздействия (увеличение или уменьшение подачи вентиляционного воздуха) направлены в сторону рассогласования (ведут к «всплескам» концентрации метана, весьма продолжительным). В самом деле, как управлять таким объектом проветривания, если на увеличение дебита воздуха концентрация метана в рудничной атмосфере не уменьшается, а наоборот, возрастает? При уменьшении подачи свежего воздуха концентрация метана также естественно будет возрастать. В 70-х годах прошлого столетия такие объекты автоматизации получили название «неминимально-фазовые» и для них были разработаны весьма сложные (для практической реализации) алгоритмы управления и реализующие их системы управления (адаптивные, логические, экстремальные) [1,2,3,4 и др.].

Для не газовых шахт основными опасными и вредными факторами являются, как известно, запыленность, температура и влажность рудничного воздуха. В настоящее время насчитывается около 60 не газовых шахт переходной глубины (зона естественного метанового выветривания 600 – 1000 м), температура горных пород которых достигает +43°C. С переходом горных работ на такие горизонты возникает необходимость управления не только пылевым, но и тепловым режимом средствами вентиляции, поскольку применение на таких горизонтах дорогостоящих холодильных установок экономически нецелесообразно.

В этой связи нами были проведены соответствующие экспериментальные исследования на не газовых шахтах, по результатам которых были получены статические и динамические характеристики добычных участков как объектов автоматизации проветривания по пылевому и тепловому факторам.

Полагаем, что на рассматриваемый объект управления, (ОУ) проветриванием участка поступают следующие два входных воздействия: возмущающее воздействие $A(t)$ – переменный во времени режим работы добычного механизма; и управляющее воздействие $Q(t)$ – дебит вентиляционного воздуха (рис.1).



Рис. 1 - Блок-схема выемочного участка как объекта автоматизации проветривания

$A(t)$ - работа добычного (или проходческого) механизма;

$Q(t)$ - дебит вентиляционного воздуха; $\psi(t)$ - концентрация метана;

$\eta(t)$ - концентрация пыли в рудничном воздухе; $T(t)$ - температура и

$V(t)$ - влажность рудничного воздуха.

Выходными переменными такого объекта управления приняты: $\psi(t)$ - концентрация метана; $\eta(t)$ – концентрация запыленности воздуха; $T(t)$ и $V(t)$ – температура и влажность воздуха в исходящей струе участка проветривания. Изменения влажности воздуха нами не рассматривались, поскольку эти изменения в условиях конкретных участков не столь значительны. Статика и динамика газодинамических процессов в достаточном объеме исследовалась другими авторами [1,2,3 и др.]

Как показали результаты проведенных пылевых съемок, изменения параметров, определяющих пылевой и тепловой режимы объектов проветривания носят случайный характер. Величины этих изменений в произвольный момент времени зависят, как известно, от многих факторов (горно-геологических, от разновидности и режимов работы технологического оборудования, от связности шахтной вентиляционной сети, наличия утечек вентиляционного воздуха и т.п.). В качестве примера на рис.2 приведены графики, построенные по результатам одной из многих пылевых съемок.

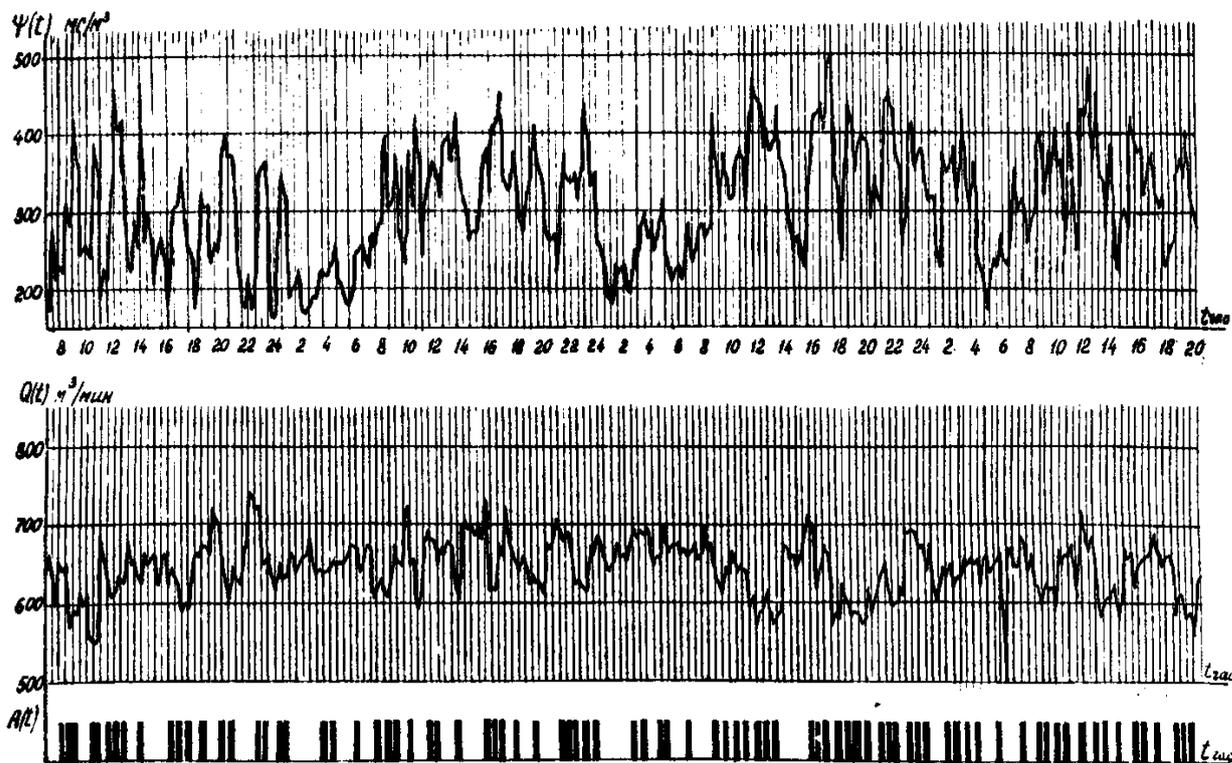


Рис. 2.- Графики изменения во времени запыленности, дебита воздуха и работы добычного механизма, построенные по результатам пылевой съемки в 139 лаве шахты Аютинская комбината Ростовуголь

Поэтому входные и выходные переменные подобных ОУ нами рассматриваются как случайные функции времени и для анализа экспериментального материала мы использовали хорошо разработанный аппарат теории случайных процессов.

Влияние входных переменных на выходные координаты ОУ исследовались отдельно по следующим независимым между собой каналам воздействий:

каналы управления – «дебит воздуха – концентрация пыли»; «дебит воздуха – температура воздуха в исходящей струе участка проветривания»;

каналы возмущающих воздействий - «работа добычного механизма – концентрация пыли», «работа добычного механизма – температура воздуха в исходящей струе участка проветривания».

Как видно из рис.2, случайный процесс $A(t)$, поставленный в соответствие временной диаграмме работы добычного механизма, представляет собой процесс типа «телеграфный сигнал», принимающий с одинаковой вероятностью 0,5 одно из двух возможных неслучайных значений, сохраняемых постоянными в промежутках времени, случайных по длительности. Иначе говоря, это процесс, представляющий собой последовательность импульсов, моменты возникновения которых и длительность случайны, а уровни фиксированы. Значения уровня процесса $A(t)$, соответствующего рабочему состоянию добычного механизма мы выбрали таким образом, чтобы дисперсия процесса равнялась единице, т.е. рабочему состоянию соответствуют прямоугольные импульсы с положительной амплитудой +1, а простоям – отрицательные импульсы с амплитудой -1. Отсюда следует, что поскольку значения, которые принимает процесс $A(t)$ и вероятность изменений этих значений не зависит от текущего времени, то он, как известно, является строго стационарным случайным процессом.

В дальнейшем нами было установлено, что указанные возмущающие и управляющие воздействия являются стационарными случайными процессами в широком и узком смысле,

поскольку их математические ожидания и дисперсии практически не зависят от времени (см. рис.3), а корреляционные функции являются функциями интервала времени $\tau = t_2 - t_1$.

Обработка экспериментального материала производилась с использованием компьютерных программ.

Поскольку результаты пылевых и тепловых съёмок представляют собой квантованные во времени реализации случайных процессов $Q(t)$, $\psi(t)$, $T(t)$, их вероятностные характеристики вычислялись по известным формулам [5]

$$m_x^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i, \quad (1)$$

$$D_x^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [X_i - m_x^*]^2, \quad (2)$$

$$R_{xx}(m\Delta t) = \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} (X_i - m_x^*)(X_{i+m} - m_x^*), \quad (3)$$

где N – число квантований интервала наблюдения, Δt – шаг квантования; m – номер вычисленной ординаты корреляционной функции.

Для исследования взаимного влияния случайных процессов друг на друга вычислялись значения взаимной корреляционной функции, которые для двух стационарно связанных эргодических случайных процессов, например, $X(t)$ и $Y(t)$ имеет, как известно [5], следующий вид

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T [X(t) - m_x^*][Y(t + \tau) - m_y^*] dt, \quad (4)$$

Поскольку реализации рассматриваемых нами процессов проквантованы во времени с одинаковым шагом Δt , то выражение (4) может быть приведено к более удобному для применения виду

$$R_{xy}(\tau) = \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} (X_i - m_x^*)(Y_{i+m} - m_y^*), \tau > 0, \quad (5)$$

$$R_{xy}(-\tau) = \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} (X_{i+m} - m_x^*)(Y_i - m_y^*), \tau < 0, \quad (6)$$

С целью уменьшения погрешности вычисления дисперсий и корреляционных функций определение наиболее достоверных значений математических ожиданий исследуемых процессов производилось путем вычисления этой характеристики как функции от числа учтенных ординат исследуемого процесса, т.е. $m_x^* = f(N_i)$. Вычисления $m_Q^*, m_\psi^*, m_{T_2}^*$ производились по формуле (1), в которой N_i принимает последовательно значения 1,2,3,... до максимально возможного. В результате получался ряд значений математических ожиданий $m_{x_1}, m_{x_2}, \dots, m_{x_m}$ зависящий от числа N учтенных ординат реализации исследуемого процесса.

В качестве примера на рис. 3 приведена зависимость $m_x^* = f(N_i)$ для реализаций рис.2. Из полученных результатов вычислений следует, что уже при небольших значениях N (порядка 100 - 140) можно определять пределы, к которым сходятся указанные ряды.

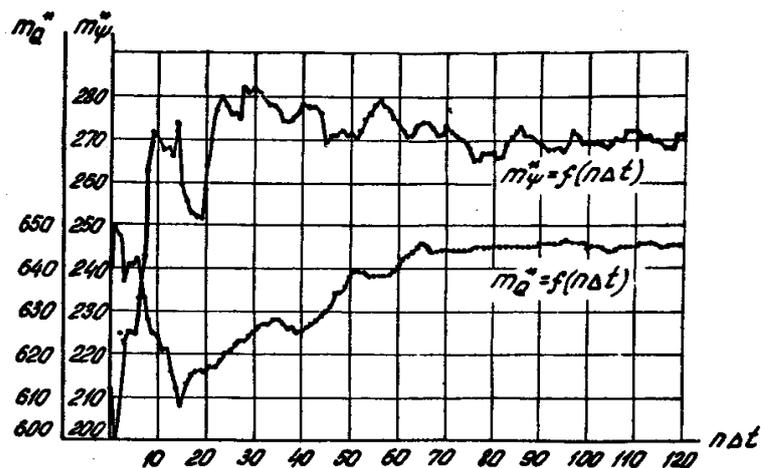


Рис. 3- Зависимость математических ожиданий от числа учтенных квантований процессов запыленности и дебита воздуха по данным реализаций рис.2

Корреляционные функции процессов изменения дебита воздуха и его температуры, а также работы добычных механизмов с высокой степенью точности могут быть аппроксимированы зависимостью вида

$$R_{xx} = D_{xx} e^{-at}, \text{ где } D_{xx} - \text{дисперсия,}$$

либо могут быть представлены суммой аналогичных экспонент. Процессы изменения запыленности воздуха описываются экспоненциально-косинусоидальными корреляционными функциями вида

$$R(\tau) = D_{xx} e^{-at} \cos \omega_0 \tau.$$

Наличие периодических составляющих в корреляционных функциях запыленности обусловлено повторяемостью технологических циклов. Параметры этих составляющих зависят от последовательности и определенного чередования работ по добыче угля. Период колебаний корреляционных функций запыленности хорошо совпадает с длительностью технологических циклов.

Дифференциальные законы распределения рассматриваемых параметров также зависят только от интервалов между моментами времени (t_1, t_2, \dots) и весьма близки к нормальному закону распределения (рис.4).

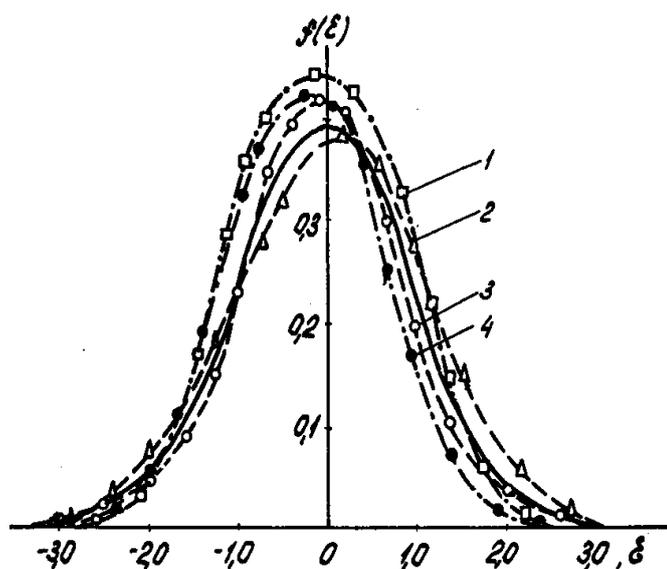


Рис. 4- Графики одномерных дифференциальных законов распределения случайных процессов

- 1 - запыленность воздуха; 2 – работа добычного механизма;
- 3 – дебит вентиляционного воздуха; 4 – температура воздуха на выходе участка

Из графиков рис. 4 видно, что для законов распределения случайных процессов концентрации пыли, температуры и дебита воздуха характерны небольшая положительная асимметрия и положительный эксцесс. Для случайного процесса $A(t)$ закон распределения длительностей циклов (моментов между рабочими состояниями добычного механизма) имеет также небольшой отрицательный эксцесс и отрицательную асимметрию, что позволяет рассматривать их как близкие нормальному закону распределения.

На основании проведенного анализа экспериментальных данных можно утверждать, что статические характеристики шахтных объектов проветривания по пылевому и тепловому факторам весьма близки к линейным и, с точки зрения автоматизации, их можно рассматривать как линейные динамические звенья по отношению к возмущающему воздействию $A(t)$ и управляющему воздействию $Q(t)$.

Динамические характеристики рассматриваемых объектов автоматизации исследовались пассивными методами статистической динамики линейных систем. По результатам этих исследований нами установлено, что шахтные объекты проветривания по пылевому и тепловому факторам (по каждому из указанных выше каналов) являются устойчивыми апериодическими звеньями второго порядка с запаздыванием. Они могут быть представлены в виде последовательного соединения следующих двух динамических звеньев: идеального апериодического звена и трансцендентного звена (звена с чистым запаздыванием). При этом влияние запаздывания учитывается, как обычно, введением в передаточную функцию объекта множителя e^{-pt_3} , где t_3 – время запаздывания.

Список литературы:

1. *Абрамов Ф.А., Фельдман Л.П., Святный В.А., Лапко В.В.* О математическом моделировании переходных газодинамических процессов на выемочных участках. – Известия вузов, Горный журнал, 1967. - №3.
2. *Ларионов Ю.И.* Синтез оптимального управления проветриванием стохастических объектов (добычных участков шахт). Кандидатская диссертация. – Новочеркасск.: НПИ, 1969.-с.198.
3. *Салыга В.И.* Исследование с применением ЭВМ газового режима подготовительного забоя как объекта системы автоматического управления проветриванием шахт. Кандидатская диссертация – Новочеркасск.: НПИ, 1969.- с.215.
4. *Пучков Л.А., Бахвалов Л.А.* Методы и алгоритмы управления проветриванием шахт. - М.: Недра, 1992. с. 125.
5. *Лившиц Н.А., Пугачев В.Н.* Вероятностный анализ систем автоматического управления.- М.: Советское радио , 1963. - т.1. - с.399.

АННОТАЦИИ ABSTRACTS

Р.В. Лебедев, С.А. Лившиц
БИФУРКАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ
ТЕПЛОПЕРЕНОСЕ ПРИ ТЕЧЕНИИ
НЕЛИНЕЙНО-ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ В
ТРУБАХ И КАНАЛАХ.

Результаты численных исследований бифуркационных явлений при ламинарном течении нелинейно-вязких жидкостей в трубах и каналах с использованием разработанных математических моделей стационарного теплопереноса.

Ключевые слова: теплообмен; уравнения движения и сохранения энергии; реологические сложные среды; тепловой взрыв; характеристическое уравнение; бифуркация.

О.А. Перегудова, Д.Ю. Моторина,
К.В. Пахомов
ПОСТРОЕНИЕ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕГО
УПРАВЛЕНИЯ С НАСЫЩЕНИЕМ
МОБИЛЬНЫМ КОЛЕСНЫМ РОБОТОМ С
НЕТОЧНО ИЗВЕСТНОЙ МАССОЙ
ПЛАТФОРМЫ

В работе предложен непрерывный закон управления с запаздыванием для отслеживания нестационарной траектории мобильного робота с тремя роликонесущими колесами и неточно известной матрицей инерции. На основе метода функций Ляпунова получены оценка области начальных отклонений и ограничения на максимальную величину запаздывания, неизвестную часть матрицы инерции.

Ключевые слова: мобильный колесный робот, управление с насыщением, неизвестная матрица инерции, запаздывающая обратная связь, роликонесущее колесо.

Г.Н. Романенко
О ПРИМЕНИМОСТИ ПРОЕКЦИОННОГО
МЕТОДА К ОДНОМУ ОПЕРАТОРУ В
БАНАХОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ
В работе введён проектор $[[P]]_h$. Оператор умножения на ограниченную почти всюду

R.V. Lebedev, S.A. Livshic
THE BIFURCATION PHENOMENA IN
HEAT-TRANSFER AT CURRENT
NONLINEAR VISCOUS LIQUIDS IN PIPE
AND CHANNELS.

Consideration of occurrence bifurcation phenomena at laminar current of nonlinear viscous liquids in pipe and channels with use of the developed mathematical models stationary in heat-transfer.

Keywords: heat exchange; hydrodynamic equations and heat exchange; complicated rheological fluid; thermal explosion; characteristic equation; bifurcation.

O.A. Peregudova, D.Yu. Motorina,
K.V. Pahomov
CONSTRUCTION OF DELAYED
CONTROL WITH SATURATION FOR
MOBILE WHEELED ROBOT WITH
UNKNOWN INERTIA MATRIX
This paper presents the continuous control law with delay for tracking control of the mobile robot with three omni-wheels and unknown inertia matrix. The estimations of initial perturbations and maximal delay are obtained on the base of Lyapunov method.

Keywords: wheeled mobile robot, saturation control, unknown inertia matrix, delayed feedback, omni-wheel.

G. N. Romanenko
APPLICABILITY OF THE PROJECTION
METHOD TO ONE OPERATOR IN
BANACH SPACE
In this paper we introduced a projector $[[P]]_h$. The operator of multiplication by a bounded

функцию, действующий в пространстве $[[L]]_2(R)$, исследуется на применимость проекционного метода по системе проекторов (Ph, Ph) .

Ключевые слова: проектор, оператор, проекционный метод.

В.А. Степанов, В.В. Трегулов
ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ
СОСТОЯНИЙ НА
ВЫСОТУПОТЕНЦИАЛЬНОГО БАРЬЕРА
ДЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ
В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ CdS/Si(p)
ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ
ГИДРОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ

Приведены результаты исследования температурных зависимостей тока при прямом смещении и релаксации фототока гетероструктур CdS/Si(p), изготовленных методом гидрохимического осаждения CdS. Представлен спектр поверхностных состояний и определена высота барьера для электронов. Отмечается, что поверхностные состояния на гетерогранице способствуют снижению высоты барьера.

Ключевые слова: гетероструктура, глубокие уровни, поверхностные состояния, сульфид кадмия, фотоэлектрический преобразователь.

В.В. Савкин, Ю.М. Серов
ИССЛЕДОВАНИЕ АДсорбЦИИ
МЕТАФОСА И ДНОК НА ПОЧВЕ
МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ
В работе изложены результаты исследования адсорбционных характеристик пестицидов - метафоса и ДНОК на образце почвы ГСО СДПС-1 методом газо-адсорбционной хроматографии. Представлены изотермы и изостеры адсорбции этих веществ, сделаны предположения о причинах их формы.

Ключевые слова: хроматография, пестициды, адсорбция.

almost everywhere function, acting in $[[L]]_2(R)$ space, we investigate the applicability of the projection method on the system of projectors $([[P]]_h, [[P]]_h)$.

Keywords: projector, the operator, projection method.

V.A. Stepanov, V.V. Tregulov
THE EFFECT OF SURFACE STATES ON
THE POTENTIAL BARRIER HEIGHT FOR
ELECTRONS IN THE
HETEROSTRUCTURES CdS/Si(p) GROWN
BY HYDROCHEMICAL DEPOSITION

Shows the results of research the temperature dependence of the current at forward bias and the photocurrent relaxation heterostructures CdS/Si(p), prepared by hydrochemical deposition of CdS. Shows the spectra of surface states and determined of the barrier height for electrons. It is noted that the surface states at the interface promote reducing the barrier height.

Key words: heterostructure, deep levels, surface states, cadmium sulphide, a photoelectric converter.

Yu. M. Serov, V.V.Savkin
STUDY OF METAPHOS AND DINITRO-
KREZOL'S ADSORPTION ON SOIL BY
GAS CHROMATOGRAPHY

The paper presents the results of the study of adsorption characteristics of pesticides - metaphos and dinitro-krezol on soil sample by gas-adsorption chromatography. Represented by their adsorption isotherms and isosteres, made assumptions about the causes of their shape.

Key words: chromatography, pesticides, adsorption.

В.Ф. Бай, А.Н. Краев, А.Н. Краев,
А.В. Набоков, Ю.А. Новиков
ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ОСНОВАНИЯ С ВНЕДРЁННОЙ
ПЕСЧАНОЙ АРМИРОВАННОЙ СВАЕЙ В
НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

В статье приведены результаты натурных экспериментальных исследований и численного моделирования напряженно-деформированного состояния песчаной армированной сваи, внедрённой в водонасыщенное глинистое основание. На основе экспериментальных данных дана оценка возможности использования программных комплексов при прогнозе напряженно-деформированного состояния усиленного основания.

Ключевые слова: песчаная, свая, армированный, напряженно-деформированное, экспериментальные, грунт, натурные, моделирование.

А.А. Безродный
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, МОДЕЛИ И
МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ В СЕТЯХ
АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

В работе рассматриваются результаты системного анализа сетей автозаправочных станций. Представлены новые и усовершенствованы ранее созданные модели и методы повышения эффективности сетей АЗС, обсуждаются итоги их применения на действующих объектах.

Ключевые слова: системный анализ, имитационное моделирование, сложная система, автозаправочная станция, нефтепродуктообеспечение.

В.Ф. Беккер, И.Ф. Киссельман
ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ
ПАРАМЕТРОВ КОЛОННЫ
С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОДВИЖНОЙ
НАСАДКОЙ

На основе математического описания физико-химических процессов, сопровождающих абсорбцию в трехфазной гидродинамической структуре потоков,

V.B. Bai, A.N. Krayev, A.N. Krayev,
A.V. Nabokov, Yu.A. Novikov;
STUDY ON STRESS-STRAIN CONDITION
OF THE SOIL WITH NATURALLY
EMBEDDED SANDY REINFORCED PILE

The paper describes experimental results and numerical modeling on stress-strain condition of sandy reinforced pile embedded in water-saturated clayey soil. On the basis of experimental data assessment of possible application of software when forecasting stress-strain condition of reinforced soil is presented.

Key words: sandy pile, reinforced, stress-strain, experimental, soil, naturally, modeling.

A.A. Bezrodny
SYSTEM ANALYSIS, MODELS AND
METHODS TO CONTROL GAS STATION
NETS

Results of gas station net system analysis as complex systems are considered. Developed and improved models and methods to increase their efficiency are pre-sented. Issues of their application in petroleum supply companies are discussed.

Keywords: system analysis, simulation, complex system, gas station, petroleum supply.

V.F. Becker, I.F. Kisselman
OPTIMIZATION OF DESIGN
PARAMETERS OF COLUMNS
WITH A ROTATING NOZZLE MOBILE

The analysis of dependences between design's parameters and the technology processes efficiency is made with the mathematical model of physics-chemistry processes accompanying

инициируемой в рабочем объеме колонны вращающейся подвижной насадкой, выполнен анализ влияния конструктивных параметров на эффективность технологического процесса. Критерий многопараметрической оптимизации представляет компромисс между интенсивностью и энергозатратами. Получены оптимальные величины конструктивных параметров.

Ключевые слова: абсорбция, подвижная насадка, аммиак, оптимизация, конструктивные параметры.

Д.М. Бенин

ОДИН ИЗ СПОСОБОВ АВТОМАТИЗАЦИИ НАПОРНЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Рассмотрены основные зависимости, определяющие коэффициент расхода гидродинамических стабилизаторов и диапазон стабилизации по напорам. Приведены данные гидравлических испытаний стабилизаторов с улучшенной формой поточной части.

Ключевые слова: водовыпуск, автоматизация, напорные трубопроводы, местные сопротивления

В.П.Вибе, В.Я.Котликова, В.Н.Сызранцев д.т.н.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕДУКТОРА С
ПРЕЦЕССИРУЮЩЕЙ
ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ

Рассмотрено решение задачи геометрического синтеза конических передач с малыми межосевыми углами, используемых в малогабаритных и высокомоментных редукторах. Методика синтеза передач с локализованным контактом реализована в автоматизированной системе технологической подготовки производства плоско-конических и конических передач с малыми межосевыми углами.

Ключевые слова: плоско-конические прецессирующие передачи, синтез, привод запорной арматуры, редукторные вставки для бурового оборудования.

the absorption in a three-phases hydrodynamics structure which initiated in the column work volume by the rotated nozzle. The criteria of multi parameters optimization is a compromise between the intensification and the energy efficiency. Optimal values of design parameters are given as a result.

Key words: absorption, rotating the movable nozzle, ammonia, optimization, design parameters.

D.M. Benin

ONE WAY AUTOMATION PRESSURE CULVERTS

The main dependence, determining the flow coefficient of hydrodynamic stabilizers and stabilization of the pressure range. Data are presented Hydrotest stabilizers with improved form of the flow.

Keywords: spillway, automation, flow pipes, local resistance.

V.P. Vibe, V.Y. Kotlikova, V.N. Syzantsev
DESIGNING OF THE REDUCER WITH
PRECESSING TOOTH GEARING

The solution of the problem of geometrical synthesis spiral bevel gearing with small shaft angle used in epicyclic-gear-train reducers with small overall dimensions and high load capacity is presented. Method of synthesis of gearing with contact localization is realized in automatic system of technological provision of production of crown-bevel gearing and bevel gearing with small shaft angle.

Keywords: plainly-conic precessing transfers, synthesis, a drive locking armatures, geared inserts for the chisel equipment.

И.В. Волкова, А.В. Жданов
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ
МЕХАНИЗМОВ НАСОСНЫХ СИСТЕМ
ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО
КРОВООБРАЩЕНИЯ И
ИСКУССТВЕННОГО СЕРДЦА

В статье рассматривается проектирование исполнительных механизмов насосных систем вспомогательного кровообращения.

Представлены результаты силового синтеза для привода систем вспомогательного кровообращения

Ключевые слова: система вспомогательного кровообращения, роликвинтовой механизм (РВМ), кинематическая передаточная функция (КПФ), мехатронный привод (МП).

В.И. Воловач
К ВОПРОСУ ПРОВЕДЕНИЯ
СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
СИГНАЛОВ И ИНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОПИСАНИЯ РУО,
И ВЫБОРА ИХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ

Проведен статистический анализ сигналов, на основе которого осуществлен выбор и обоснованы математические модели возмущающих воздействий на радиотехнические устройства обнаружения с учетом многолучевого характера сигналов, отраженных от протяженных объектов.

Ключевые слова: радиотехнические устройства обнаружения, многолучевой сигнал, плотность распределения вероятностей Накагами.

I.V. Volkova, A.V. Zhdanov
DESIGN ACTUATOR PUMP SYSTEMS
ASSIST CIRCULATION AND ARTIFICIAL
HEART

The article discusses the design of actuators pump systems assist circulation and artificial heart. Presents the results of fusion power for the drive systems, assist circulation and artificial heart

Keywords: artificial heart, roll screw mechanism, the kinematic transfer function of the drive.

V. I. Volovach
TO THE QUESTION OF CARRYING OUT
OF THE STATISTICAL ANALYSIS OF
SIGNALS AND OTHER INFLUENCES
APPLIED TO THE DESCRIPTION OF RDP,
AND THE CHOICE OF THEIR
MATHEMATICAL MODELS

The statistical analysis of signals on which basis the choice is carried out is carried out and mathematical models of revolting carts-actions on radio engineering devices of detection taking into account multibeam character of the signals reflected from extended objects are proved.

Keywords: radio engineering devices of detection, a multibeam signal, density of distribution of probabilities of Nakagami.

В.В. Воронцов, Т.В. Крижанивская,
Т.В. Мальцева, А.В. Минаева
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
СЛАБОГО ВОДОНАСЫЩЕННОГО
ОСНОВАНИЯ

В статье предложена методика расчета деформированного состояния слабого водонасыщенного основания с учетом остаточных поровых давлений. Приведено численное сопоставление экспериментальных и теоретических значений вертикальных перемещений частиц скелета грунта.

Ключевые слова: деформированное состояние, водонасыщенное, основание, грунт, поровое давление, осадка, скелет грунта, функция, ломаная, вязкоупругость.

Д.А. Гензе
ЗАВИСИМОСТЬ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
ПРОНИЦАЕМОСТИ ГРУНТОВ ОТ ИХ
ВЛАЖНОСТИ

Проведен анализ зависимостей диэлектрической проницаемости от влажности, разработанных различными исследователями. Отображены данные лабораторных и полевых исследований, на основе которых уточнена ранее предложенная математическая модель диэлектрической проницаемости в грунте от влажности.

Ключевые слова: математическая модель, диэлектрическая проницаемость, грунт.

Д.Ю. Гужва
СИНТЕЗ ТОПОЛОГИИ VPN-СЕТЕЙ В
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ
СИСТЕМАХ МЕТОДОМ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ
ОПТИМИЗАЦИИ

В работе представлена методика синтеза топологии VPN-сетей, основанная на генетической оптимизации. Рассмотрены базовые операции генетического алгоритма. Предложена модель оценки пропускной способности VPN-сети, основанная на теории массового обслуживания, учитывающая топологию и обрабатываемую нагрузку.

V.V. Vorontsov, T.V. Krizhanivskaya,
T.V. Maltseva, A.V. Minayeva
MATHEMATICAL MODELLING OF WEAK
WATER-SATURATED SOIL DESORMED
CONDITION

The paper suggests technique of weak water-saturated soil desormed condition calculation with regard to residual pore pressure. Numerical comparison of experimental and theoretical data of ground skeleton particles vertical replasment is presented.

Key words: desormed condition, water-saturated, soil, ground, pore pressure, setting, ground skeleton, function, polyline viscoelasticity.

D.A. Genze
DEPENDENCE OF DIELECTRIC
PERMEABILITY SOIL'S ON THEIR
HUMIDITY

The analysis of dependences of dielectric permeability from the humidity, developed by various researchers is carried out. Data of laboratory and field researches on which basis earlier offered mathematical model of dielectric permeability in a soil from humidity is specified are displayed.

Keywords: Mathematical model, dielectric permeability, soil.

D.Y. Guzhva
SYNTHESIS OF VPN-NET TOPOLOGY IN
AUTOMATED INFORMATION AND
CONTROL SYSTEMS BY GENETIC
OPTIMIZATION TECHNIQUE

This paper presents the method for the synthesis of the of VPN-net topology based on genetic optimization. The basic operations of genetic algorithm are considered. The model for evaluating the capacity of VPN-nets based on queuing theory is proposed taking into account the topology and the processed load.

Keywords: genetic algorithm, VPN-net, computer network, communication channel,

Ключевые слова: генетический алгоритм, VPN-сеть, компьютерная сеть, канал связи, топология сети.

network topology.

И.Н. Егоров, Д.А. Кадхим
УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ
ДИАГНОСТИЧЕСКОГО РОБОТА В
ТРУБОПРОВОДАХ С ПЕРЕМЕННЫМ
ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ

I.N. Egorov, D.A. Kadhim
CONTROL APPLICATIONS ROBOT FOR
DIAGNOSTIC INSIDE PIPELINES BY
APPLIED VARIABLE CROSS-SECTION

Показана эффективность внутритрубной диагностики газотрубопроводов с переменным поперечным сечением колесными мобильными роботами с адаптивным или интеллектуальным управлением. Описаны механизмы адаптации поджатия колесных модулей к внутренней поверхности трубопровода. Приведены структурные и функциональные схемы слежения мобильного робота за поверхностью трубопровода, нечеткого импедансного управления перемещением мобильного робота в трубопроводе и системы позиционно-силового управления механизмом поджатия колесных модулей.

The effective of diagnostic inside gas-pipelines with variable cross-section wheeled mobiles robots with adaptive or intelligent control considered. The mechanisms of adaptation wheel modules pressing to the inner surface of the pipeline are described. Structure , and a functional scheme of moving mobile robot on the surface of pipeline, fuzzy logic-impedance control motion mobile robot in pipelines and of the position-force control mechanism of pressing of the wheel modules are discussed

Keywords: mobile robot, control, adaptation, electro drive, defects, pipeline, cross-section wheel modules.

Ключевые слова: мобильный робот, управление, адаптация, электропривод, дефекты, трубопровод, поперечное сечение, колесные модули.

А.В. Жданов, А.В. Степенькин,
А.З. Шаламберидзе
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ПО
ВИТКАМ РЕЗЬБЫ РОЛИКОВИНТОВЫХ
МЕХАНИЗМОВ

A.V. Zhdanov, A.V. Stepenkin,
A.Z. Shalamberidze
THEORETICAL INVESTIGATION OF
LOAD DISTRIBUTION ON THREAD
TURNS SCREWROLL MECHANISMS

Решена задача о распределении нагрузки по виткам резьбы роликвинтовых механизмов на примере стержневой модели с двумя упругими контактными слоями. Приведены результаты теоретического расчета распределения нагрузки по виткам роликвинтовых механизмов.

The problem of load distribution on the thread turns screwroll mechanisms for example, a core model with two elastic contact layers. The results of theoretical calculation of load distribution on coils screwroll mechanisms.

Keywords: screwroll mechanism, mechanism, the load coils of thread

Ключевые слова: роликвинтовой механизм, нагрузка, витки резьбы

А.В. Замятин, А.Н. Шуваев
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
ГРУНТОВЫХ МАССИВОВ

ВОЗВЕДЕННЫХ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ПРИ
ЗАМОРАЖИВАНИИ И ОТТАИВАНИИ

В работе представлены результаты изучения деформативного состояния грунтовых насыпей возведенных в зимний период в зависимости от изменения температурных полей в процессе замораживания и оттаивания.

Ключевые слова: грунтовые насыпи, зимний период, мониторинг насыпей.

А.С. Згурский, Е.В. Корбаинова
АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ

ПОТРЕБНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО
АКТИВА В СВОЙСТВАХ БЕЗОПАСНОСТИ

В статье представлен алгоритм оценки степени потребности актива центра обработки данных кредитной организации в свойствах безопасности. Оценивается влияние свойства безопасности актива на деятельность центра обработки данных.

Ключевые слова: безопасность, свойство безопасности, информационная безопасность, кредитная организация, центр обработки данных.

Б. Р. Исакулов

ГИПСО-ХРОМОШЛАМОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ
ИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ

На территории Западного Казахстана расположены главные промышленные предприятия нефтегазовой отрасли РК, комплексы по добыче и переработке хромитовых и боратовых руд, производству строительных материалов и т.д. Мнотоннажные отходы, многие из которых токсичны, практически не утилизируются из-за отсутствия эффективных ресурсо-и природосберегающих способов их детоксикации и вторичного использования. В работе рассматриваются основы новых безотходных технологий обезвреживания и комплексного использования отходов в виде строительных материалов.

Ключевые слова: отходы, бетон, гипсо-хромшламовые вяжущие, арболит

A.V. Zamyatin, A.N. Shuvaev
RESULTS OF RESEARCHES OF SOIL
FILES ERECTED DURING THE WINTER
PERIOD AT FREEZING AND THAWING

In work results of studying deformational conditions of soil embankments erected in the winter period depending on change of temperature fields in the course of freezing and thawing are presented.

Keywords: soil embankments, the winter period, monitoring of embankments.

A.S. Zgurkiy, E.V. Korbainova
THE ALGORITHM FOR APPRAISAL
INFORMATION ASSETS REQUIREMENTS
IN THE SECURITY PROPERTIES

This article represents the algorithm for appraisal information assets requirements in the security properties. Influence of safety property on data center activity is estimated.

Keywords: security, credit institution, security property, information security, data centre.

B. R. Isakulov

HYPRO-CHROME STICKS FROM
PRODUCING TRESH

In territory of the Western Kazakhstan the main industrial enterprises of oil and gas branch RK, complexes for extraction and processing chromite and borate ores, to manufacture of building materials etc. Mnotonnazhnye waste are located, many of which are toxic, practically aren't utilized in the absence of effective resurso environmentally safe ways of their detoxication and secondary use. In work bases of new technologies of neutralization without waste and complex use of a waste in the form of building materials are considered.

Keywords: waste, concrete, hypso-chrome sticks, arbolite

И.С. Коновалов, В.И. Матюхин, О.В. Матюхин
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ
КУСКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ
НАЛОЖЕНИИ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В работе изложен способ улучшения показателей тепловой работы шахтных агрегатов цветной металлургии на примере модели слоя из дробленого известняка определенной крупности. Предложены основные результаты математического планирования с составлением уравнений регрессии и анализом движения экстремумов по поверхности отклика.

Ключевые слова: газоструйный излучатель, коэффициент поглощения звука, гармоника колебаний, коэффициент гидравлического сопротивления.

Г.В. Маврин, И.Ф. Сулейманов, Д.А. Харлямов
ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЕТНОГО
МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОЦЕНКИ
ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ
ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

В рамках настоящего исследования реализована система расчетного мониторинга загрязнения атмосферы города Набережные Челны на основании сводных расчетов выбросов промышленных предприятий и автотранспорта, определен перечень приоритетных загрязняющих веществ, рассчитан комплексный индекс загрязнения атмосферы.

Ключевые слова: атмосферный воздух, загрязняющие вещества, расчет рассеивания, предельно допустимая концентрация, карты рассеивания, стационарные источники, передвижные источники

I.S. Konovalov, V.I. Matyukhin,
O.V. Matyukhin
MODELLING OF INTERACTION PROCESS
OF ACUSTIC RADIATION WITH DENSE
LAYER OF BULK MATERIALS

This paper presents the method of the thermal performance indexes of non-ferrous metallurgy blast furnaces improvement: case study of the crushed limestone layer of a certain size model. The main results of the mathematical planning are presented, including the derivation of the regression equations and the analysis of the extreme points movement.

Keywords: jet-edge generator, acoustic absorption coefficient, harmonic of oscillations, coefficient of resistance.

G.V. Marvin, I.F. Suleimanov,
D.A. Kharlyamov
APPLICATION OF CALCULATED
MONITORING FOR EVALUATION OF
ATMOSPHERIC CITY POLLUTON

In the present study system of calculated monitoring of Nab Chelny air pollution on the basis of summery calculation of industrial and motor vehicles emissions realised, list of priority pollutants defined, comprehensive air pollution index calculated.

Keywords: atmospheric air, pollutants, calculation of dispersion, maximum permissible concentration, dispersion maps, stationary sources, mobile sources.

И.И. Магомедов, Р.И. Магомедов
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
МОЩНОСТИ ФИРМЫ С ПОМОЩЬЮ
СТОХАСТИЧЕСКИХ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

В статье построена математическая модель развития мощности одного предприятия и на основе этого получено параболическое уравнение с частными производными, которому удовлетворяет функция плотности вероятностей распределения предприятий фирмы по мощностям. Сформулирована краевая задача с неклассическими краевыми условиями и приведено решение такой частной задачи.

В.Г. Манжула
ИСКЛЮЧЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ,
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ И
СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ
ПРИ СИНТЕЗЕ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ В
КОРПУСЕ

В работе рассмотрены процедуры исключения избыточности аналоговых систем в корпусе на структурном, функциональном и схемотехническом уровнях. Предложены концептуальные и функциональные модели синтеза неизбыточных схем. На основе пакета IBM® Rational® Software Modeler V7.0 разработана диаграмма деятельности.

Ключевые слова: синтез, аналоговая система в корпусе, диаграмма деятельности, структурная схема, функциональная схема

I.I. Magomedov, R.I. Magomedov
MATHEMATICAL MODELING OF FIRM
POWER WITH THE HELP OF
STOCHASTIC DIFFERENTIAL
EQUATIONS

A mathematical model of the development of one enterprise power is constructed and parabolic equation with partial derivatives to which density function of probabilities of firm enterprises distribution according powers satisfies has been obtained on its basic. Boundary problem with non – classic boundary conditions is stated and the solution of such particular problem is given.

V.G. Manzhula
EXCEPTION STRUCTURAL,
FUNCTIONAL AND CIRCUIT
REDUNDANCY IN SYNTHESIS OF
ANALOG SYSTEMS IN PACKAGE

The paper discusses procedures for eliminating redundant analogue systems in the package at the structural, functional, and its circuit-technical levels. Conceptual and functional model of the synthesis of redundant circuits. Based on the package IBM® Rational® Software Modeler V7.0 is designed activity diagram.

Keywords: synthesis, analog system in the package, the activities of the diagram, block diagram, functional circuit

Е.А. Маринин, А.М. Чирков
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАСЫЩЕНИЯ
СТАЛИ УГЛЕРОДОМ ИЗ ПЛАЗМЫ
НЕПРЕРЫВНОГО ОПТИЧЕСКОГО
РАЗРЯДА В ПАРАХ МЕТАЛЛА

В работе рассмотрены возможные механизмы насыщения жидкой фазы поверхностного слоя стали из лазерной плазмы непрерывного оптического разряда (НОР) в парах металла. Выбрана модель описания процесса насыщения поверхностного слоя.

Ключевые слова: лазерная плазма непрерывного оптического разряда в парах металла, массоперенос, лазерно-плазменная цементация.

В.А. Матвеев
КОНУСНАЯ ОПТИМАЛЬНОСТЬ В
ДВУХКРИТЕРИАЛЬНОЙ
ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧЕ

В работе в двухкритериальной динамической задаче на основе предпочтений экспертов определяется уточнённое по последовательности матриц управление. Нахождение такого уточнённого решения сводится к определению синтезирующей функции динамической задачи оптимального управления. Приводится пример, в котором найден явный вид синтезирующей функции.

Ключевые слова: многокритериальная динамическая задача, оптимальность по конусу, метод динамического программирования.

О.Н. Медведева
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ
ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

В работе представлены результаты технико-экономического исследования распределительных систем газоснабжения на базе шкафных газорегуляторных установок (ШГРП) и домовых регуляторов.

Ключевые слова: газовая сеть, регулятор давления, целевая функция

Е.А. Marinin, A.M. Chirkov
PHYSICAL BASIS SATURATION CARBON
STEEL WITH LASER PLASMA FROM
CONTINUOUS OPTICAL DISCHARGE IN
METAL VAPORS

The paper discusses the possible mechanisms saturation the liquid phase of the surface layer steel with the laser plasma from continuous optical discharge (COD) in the metal vapors. Selected model for the description the process of saturation surface layer.

Keywords: laser plasma from continuous optical discharge in the metal vapors, mass transfer, laser plasma cementation.

V.A. Matveev
CONE OPTIMALITY IN TWOCRITERIA
DYNAMICAL PROBLEM

In this paper on twocriteria dynamic problem under the basis of expert' preferences the corrected by matrix sequence control is defined. The finding of such corrected decision is reduced to definition of synchronized function of a dynamic optimal control problem. The example with the exact kind of synthesized function is presented.

Keywords: multicriteria dynamical problem, cone optimality, dynamical programming method

O.N. Medvedeva
IMPROVING THE EFFICIENCY OF
THE DISTRIBUTION
OF GAS SUPPLY

The results of the feasibility study the distribution of gas supply systems based on gas control cabinet equipment and house regulators.

Keywords: gas network, pressure regulator, objective function

А.С. Мешков, В.И. Суздорф
СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ
СТАБИЛИЗАЦИИ СКОРОСТИ
ОДНОФАЗНЫМ КОЛЛЕКТОРНЫМ
ДВИГАТЕЛЕМ С НЕЛИНЕЙНОЙ
ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

В работе представлены модель и результаты моделирования в среде Matlab системы стабилизации скорости однофазным коллекторным электродвигателем электрифицированного инструмента, построенной с использованием нелинейной обратной связи по частному значению от тока и скорости двигателя.

Ключевые слова: стабилизация скорости, однофазный коллекторный электродвигатель, ЭДС самоиндукции, электрифицированный инструмент, статические и динамические характеристики.

Д. И. Прошин
ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КАК
ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ
ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

В статье рассматривается образовательная система как объект управления познавательной деятельностью. Выделены основные управляемые, управляющие, возмущающие координаты процесса, а также его внутренние динамические параметры. Подчёркиваются особенности образовательной системы, отличающие её от технических систем. В основу такого представления положена новая концепция подготовки специалистов по единому вектору знаний.

Ключевые слова: профессиональная подготовка, системный анализ, модель процесса обучения, комплексная стратифицированная профессиональная подготовка.

И.А. Прошин, Е.А. Сапунов
АНАЛИЗ ШЕСТИСТЕПЕННОГО
ДИНАМИЧЕСКОГО СТЕНДА
АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА КАК
ОБЪЕКТА МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ

A.S. Meshkov, V.I. Syzdorf
STATIC
AND DYNAMIC CHARACTERISTICS OF
THE STABILIZATION VELOCITY
SYSTEM OF SINGLE-
PHASE COMMUTATOR MOTOR WITH
A NONLINEAR FEEDBACK

The paper presents the model and simulation results in Matlab stabilization velocity system single-phase commutator motors of electric tools, which built using a nonlinear feedback for the particular value of current and motor velocity.

Keywords: velocity stabilization, single – phase commutator motor, emf of self-induction, electric tools, static and dynamic characteristics.

D.I. Proshin
EDUCATIONAL SYSTEM AS AN OBJECT
OF COGNITIVE PERFORMANCE

The article discusses the educational system as an object of control of cognitive activity. The basic managed, managers, perturbing the coordinates of the process, as well as its internal dynamic parameters. Highlights features of the educational system, distinguishing it from technical systems. The basis of this representation on a new concept of training in a single vector of knowledge.

Key words: training, system analysis, model training process, a complex stratified training.

I.A. Proshin, E.A. Sapunov
ANALYSIS OF FLIGHT SIMULATOR 6-
DOF DYNAMIC TEST STAND AS AN
OBJECT OF MATHEMATICAL MODELING

В работе рассматривается система следящих приводов шестистепенного динамического стенда авиационного тренажера. Предложен способ устранения влияния веса подвижной платформы на работу следящих приводов, позволяющий повысить точность воспроизведения стендом управляющих воздействий.

Ключевые слова: динамический стенд, следящий привод, авиационный тренажер.

А.З. Тахо-Годи

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ШАХТНЫХ ОБЪЕКТОВ
АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОВЕТРИВАНИЯ**

Рассмотрены статические и динамические характеристики шахтных объектов проветривания, на основании которых можно успешно решать проблему синтеза автоматической системы управления шахтным вентиляционным комплексом с учетом всех наиболее значимых опасных и вредных факторов.

Ключевые слова: опасные и вредные факторы, угледобывающие предприятия, статические и динамические характеристики, автоматизация управления, шахтный вентиляционный комплекс.

System of follower actuators of flight simulator 6-DOF dynamic test stand is considered. Method improving accuracy of obeying control actions, based on eliminating influence of moving platform weight on follower actuators functioning, is proposed.

Keywords: dynamic test stand, follower actuator, flight simulator.

A. Z. Takho-Godi

**THE FINDINGS OF THE RESEARCH OF
STATIC AND DYNAMIC
CHARACTERISTIC OF AUTOMATIC
AIRING MINE OBJECTS ACCORDING**

The static and dynamic characteristics of mine airing objects were considered, according, to which the problem of synthesis of mine air automatic operating complex can be successfully solved taking into account the most dangerous and harmful factors.

Keywords: significant dangerous harmful factors, coal enterprise, object to ventilate, static and dynamic characteristics, mine air automatic operating complex.

Публичный лицензионный договор-оферта

Редакция журнала «Научно-технический вестник Поволжья» предлагает Вам присылать свои статьи для публикации на страницах журнала, а также на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Предоставление Автором своего произведения является полным и безоговорочным акцептом, т.е. данный договор считается заключенным с соблюдением письменной формы. Присылая для публикации произведение, Автор также предоставляет Редакции журнала права на использование произведения и гарантирует, что он обладает достаточным объемом прав на передаваемое произведение. Также Автор предоставляет редакции журнала право переуступить на договорных условиях частично или полностью полученные по настоящему Договору права третьим лицам без выплаты Автору вознаграждения. Все авторские права регулируются в соответствии с действующим законодательством России.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
ПОВОЛЖЬЯ

Сборник научных статей

№2 2011

Направления:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

www.ntvp.ru

Свидетельство № ПИ № ФС77-41672 от 13 августа 2010г.

Подписано в печать 10.05.2011 Формат 60 x 84 1/8. Печать Riso.

23,0 усл.печ.л. 24,6 уч.изд.л. Тираж 900 экз. Заказ 153.

© Научно-технический вестник Поволжья

тел.(843) 258-97-00

факс:(843) 292-18-85

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Научно-технический вестник Поволжья»