

МОЛОДОЙ

ISSN 2072-0297

УЧЁНЫЙ

ежемесячный научный журнал

$x = x_0 \pm v \cdot t$
 $x - x_0 = v \cdot t$
 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t}$
 $v = v_0 \pm a \cdot t$
 $x = x_0 \pm v_0 t \pm \frac{a \cdot t^2}{2}$

$$v_{\min} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

$$E_{\text{Я}} = E_{\text{H}} - E_{\text{СВ}}$$

$$m = m_{\text{H}} + m_{\text{Я}} =$$

$$(m_p + Nm_n) - m_{\text{Я}}$$

$$= mc^2 =$$

$$31,5(\text{МэВ}) =$$

$$m_{\text{ядро}} \cdot c^2$$

$$(\text{В})$$

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT = \frac{3}{2} pV$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot \Delta T$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} p \Delta V \quad \therefore \quad \Delta U = \frac{3}{2} \Delta p V$$

2014
Часть I

ISSN 2072-0297

Молодой учёный

Ежемесячный научный журнал

№ 1 (60) / 2014

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г.

Журнал входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе eLibrary.ru.

Журнал включен в международный каталог периодических изданий «Ulrich's Periodicals Directory».

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор: Ахметова Галия Дуфаровна, *доктор филологических наук*

Члены редакционной коллегии:

Ахметова Мария Николаевна, *доктор педагогических наук*

Иванова Юлия Валентиновна, *доктор философских наук*

Лактионов Константин Станиславович, *доктор биологических наук*

Сараева Надежда Михайловна, *доктор психологических наук*

Ахметова Валерия Валерьевна, *кандидат медицинских наук*

Брезгин Вячеслав Сергеевич, *кандидат экономических наук*

Дядюн Кристина Владимировна, *кандидат юридических наук*

Комогорцев Максим Геннадьевич, *кандидат технических наук*

Котляров Алексей Васильевич, *кандидат геолого-минералогических наук*

Лескова Екатерина Викторовна, *кандидат физико-математических наук*

Насимов Мурат Орленбаевич, *кандидат политических наук*

Яхина Асия Сергеевна, *кандидат технических наук*

Ответственный редактор: Кайнова Галина Анатольевна

Международный редакционный совет:

Айрян Заруи Геворковна, *кандидат филологических наук, доцент (Армения)*

Арошидзе Паата Леонидович, *доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)*

Атаев Загир Вагитович, *кандидат географических наук, профессор (Россия)*

Велковска Гена Цветкова, *доктор экономических наук, доцент (Болгария)*

Гайич Тамара, *доктор экономических наук (Сербия)*

Данатаров Агахан, *кандидат технических наук (Туркменистан)*

Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, *доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)*

Игисинов Нурбек Сагинбекович, *доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)*

Лю Цзюань, *доктор филологических наук, профессор (Китай)*

Нагервадзе Марина Алиевна, *доктор биологических наук, профессор (Грузия)*

Прокопьев Николай Яковлевич, *доктор медицинских наук, профессор (Россия)*

Прокофьева Марина Анатольевна, *кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)*

Ребезов Максим Борисович, *доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)*

Хоналиев Назарали Хоналиевич, *доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)*

Хоссейни Амир, *доктор филологических наук (Иран)*

Художник: Евгений Шишков

Верстка: Павел Бурьянов

На обложке изображен Эмметт «Док» Браун — американский ученый-изобретатель, один из главных героев фильма «Назад в будущее».

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231. E-mail: info@moluch.ru; http://www.moluch.ru/.

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый»

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии «Конверс», г. Казань, ул. Сары Садыковой, д. 61

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Атамуратов А.Ж.

Исследование устойчивости двух конечно разностных схем для численного решения уравнения колебаний балки1

Атамуратов А.Ж.

Исследование устойчивости конечно разностных схем для численного решения уравнений колебаний прямоугольной мембраны и прямоугольной пластины.....7

Атамуратов А.Ж.

Использование методик параллельного программирования при численном решении задач оптимизации методами координатного и градиентного спусков на примере задач гашения колебаний13

Банникова А.В., Михов Е.Д.

О непараметрическом алгоритме управления макрообъектом18

Колпак Е.П., Горбунова Е.А., Балыкина Ю.Е., Гасратова Н.А.

Математическая модель одиночной популяции на биллокальном ареале28

Махмудова Д.Х.

Вероятность генотипов в n -м поколении33

ФИЗИКА

Емельянов А.А., Кобзев А.В., Козлов А.М., Бесклеткин В.В., Авдеев А.С., Чернов М.В., Габзалилов Э.Ф., Кирыков Г.А., Иванин А.Ю.

Моделирование системы АИН ШИМ — линейный асинхронный двигатель ($Z_1 = 12$) с обмоткой индуктора через ярмо36

Пронин И.А., Якушова Н.Д.

Разработка перколяционной модели газовых сенсоров.....47

Пронин И.А., Якушова Н.Д.

Моделирование агрегации кластеров в золях.. 50

Федоров А.А., Дудьев Т.И.

Катодно-плазменное азотирование нержавеющей стали в условиях низкого давления53

ХИМИЯ

Лужинская Е.Н., Волков А.С., Глинник С.В., Бурдашкина К.Г.

Характеристика прооксидантно-антиоксидантного статуса мозга и печени крыс в возрастном аспекте.....56

ИНФОРМАТИКА

Бильфельд Н.В.

Особенности вычисления временных интервалов в Excel59

Кныш К.В.

Усовершенствование метода групповых резольвент для решения задачи о минимальном покрытии.....63

Королева И.Ю., Сорокина А.Д.

Структура программного обеспечения для слабовидящих людей68

Незамаев А.А.

Разработка информационной системы управления вспомогательным производством на машиностроительном предприятии 71

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Граб И.Д., Сивагина Ю.А., Меркульев А.Ю., Юрков Н.К.

К вопросу обеспечения термокомпенсации синтезатора частоты с использованием бесконтактного датчика температуры75

Гришкова Д.Ю., Тяботова А.А.

Преимущества и недостатки перевозок грузов в контейнерах Open-Top.....78

Гягяева А.Г., Сорокина Л.А., Кожанова Е.Р.

К вопросу отрисовки контура поверхностей вала81

Жумаев К.К., Орипова Л.Н.

Выбор метода обезвреживания и очистки нефтяных шламов84

Исмаева М.М., Казакова Д.Э., Очилов Т.А., Бегманов Р.А.

Влияние усовершенствованного очистительного оборудования на сорные примеси хлопкового волокна85

Козодаева В.В.

Качество IP-технологии при мобильном доступе стандарта IEEE 802.11 Radio-Ethernet88

Кузьмина Ю.А., Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В.

Технологическая подготовка процесса ремонта и восстановления пустотелых осей летательных аппаратов91

Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н.

Обследование дымовых промышленных труб ...94

Лозицкая Е.В.

Применение факторного анализа в оценке деятельности ученого специалиста.....95

Мирзаев С.С., Тешаев Д.З.

Изучение режима работы производства кокса из нефтяных отходов98

Морина Н.С.

Введение биологически активных веществ в пищевые системы при помощи наносистем на основе природных фосфолипидов.....100

Муродов М.Н., Паноев Э.Р.

Системы разработки газоконденсатных месторождений.....102

Осипович Д.А., Ярушин С.Г.

Выбор метода оцифровки для контроля геометрии крупногабаритных сложнопрофильных деталей и узлов авиационных двигателей103

Очилов Т.А., Исмаева М.М., Казакова Д.Э.

Влияние плотности бунта и срока хранения хлопка на физико-механические свойства пряжи.....110

Сафаров И.И., Ядгаров У.Т.

О распространении гармонических волн в деформируемой пластинке с переменной толщиной112

Сафаров И.И., Ядгаров У.Т.

О распространении гармонических волн в деформируемой цилиндрической панели....114

Сейтасанов И.С.

Исследование закрученного течения в гидроэлеваторах.....116

Соколов А.П., Филиппенко Н.Г.

Технология изготовления литейных форм для получения газифицируемых моделей120

Тошев И.И.

Понятия об изометрических проекциях геометрических тел122

Уразбаева Г.А.

Задача о школьном автобусе с ограничением на вместимость транспортных средств и количество учеников125

Хаитов А.А., Сафаров Б.Ж., Шодиева Г.З.

Изучение некоторых физико-химических свойств растворов сополимеров сульфатной целлюлозы с поливинилацетатом в смесях диметилформаида и четырехоксида азота.....129

Хаитов Б.У.

Цифровое моделирование рельефа для инженерно-проектных задач вертикальной планировки131

Хатмуллина Д.Д.

Катализаторы риформинга136

Хужакулов А.Ф., Мадаминов О.Э., Джумаев М.А.

Возможности получения дорожных битумов улучшенного качества138

Хужакулов А.Ф., Нуруллаева З.В.

Экологические аспекты применения биоэтанола в автомобильных топливах141

Черемных Д.Н., Ташлыкова Е.В.

Разработка системы диспетчерского управления технологическим процессом учебно-экспериментальной установки целлюлозно-бумажного производства142

БИОЛОГИЯ

Дебков Н.М.

Особенности структуры припоселковых кедровников юга Западной Сибири.....148

МАТЕМАТИКА

Исследование устойчивости двух конечно разностных схем для численного решения уравнения колебаний балки

Атамуратов Андрей Жиенбаевич, аспирант

МАТИ — Российский государственный технологический университет им. К. Э. Циолковского (г. Москва)

Рассматривается задача исследования устойчивости двух разностных схем для численного решения уравнения колебаний балки. Исследование проводится методом Неймана. Выводятся соотношения зависимости шага по времени от шагов по пространственным переменным для того, чтобы использование разностной схемы приводило к решению.

Ключевые слова: балка, уравнение колебаний, разностная схема, устойчивость, Нейман, численное решение.

Введение. Большинство задач математической физики являются очень сложными для решения их аналитическим способом, например, задачи гашения колебаний элементов механических структур [1–14]. Поэтому огромное практическое значение имеет умение решать такие задачи численным способом, то есть аппроксимация исходной задачи конечно разностными схемами. Подобные методики дают приближённое решение, которое при увеличении точности стремится к аналитическому решению. Но чтобы такое происходило, необходимо, чтобы конечно разностные схемы были устойчивыми. Поэтому не менее значимым в вычислительной математике является нахождение условий, при которых конечно разностные схемы, полученные при аппроксимации исходной задачи, обладают условием устойчивости.

В этой работе будет показано, как найти такие условия устойчивости для двух возможных вариантов численного решения уравнения колебаний балки.

Исследование устойчивости первой конечно разностной схемы для численного решения уравнения колебаний балки. Колебания балки описываются гиперболическим по Петровскому уравнением

$$u_{tt} = -a^2 u_{xxxx} + g(t, x), \quad 0 < t, \quad 0 < x \leq l, \quad a = const \tag{1}$$

Начальные отклонения и скорость перемещения балки

$$u(0, x) = h_0(x), \quad u_t(0, x) = h_1(x), \tag{2}$$

будем рассматривать как начальные условия. На концах балки наложим условия нежёсткого закрепления

$$u(t, 0) = u_{xx}(t, 0) = 0, \quad u(t, l) = u_{xx}(t, l) = 0. \tag{3}$$

Уравнение (1) можно свести к системе двух уравнений второго порядка

$$u_t = av_{xx}, \tag{4}$$

$$v_t = -au_{xx} + f(t, x), \tag{5}$$

где

$$f(t, x) = \frac{1}{a} \int_0^x \left[\int_0^\xi g(t, \eta) d\eta \right] d\xi - \frac{x}{al} \int_0^l \left[\int_0^\xi g(t, \eta) d\eta \right] d\xi \tag{6}$$

В связи с переходом к системе уравнений (4), (5) начальные и граничные условия (2), (3) преобразуются. Условия

$$u(0, x) = h_0(x), \tag{7}$$

$$v(0, x) = \frac{1}{a} \int_0^x \left[\int_0^\xi h_1(\eta) d\eta \right] d\xi - \frac{x}{al} \int_0^l \left[\int_0^\xi h_1(\eta) d\eta \right] d\xi \tag{8}$$

$$u(t,0) = 0, u(t,l) = 0, v(t,0) = 0, v(t,l) = \int_0^l f(t,l)dt. \tag{9}$$

В силу того, что здесь ставится задача исследования устойчивости конечно разностной схемы, дальнейшие выкладки, с которыми можно ознакомиться здесь [1–14], будут опущены.

Построим разностную схему для приближённого решения системы (4), (5). Зададим натуральные числа N_x и N_T , и разобьём рассматриваемую область $\{0 \leq t \leq T, 0 \leq x \leq l\}$ на прямоугольные ячейки параллельными прямыми $x_m = m \cdot h_x, m = 0, \dots, N_x, t_n = n \cdot h_t, n = 0, \dots, N_T$, где $h_x = \frac{l}{N_x}$ и $h_t = \frac{T}{N_T}$. В результате этих

операций мы можем записать следующее

$$\begin{cases} \frac{u_m^{n+1} - u_m^n}{h_t} = \frac{a}{2} \left[\frac{v_{m-1}^n - 2v_m^n + v_{m+1}^n}{h_x^2} + \frac{v_{m-1}^{n+1} - 2v_m^{n+1} + v_{m+1}^{n+1}}{h_x^2} \right] \\ \frac{v_m^{n+1} - v_m^n}{h_t} = -\frac{a}{2} \left[\frac{u_{m-1}^n - 2u_m^n + u_{m+1}^n}{h_x^2} + \frac{u_{m-1}^{n+1} - 2u_m^{n+1} + u_{m+1}^{n+1}}{h_x^2} \right] + \frac{f_m^n + f_m^{n+1}}{2} \end{cases} \tag{10}$$

Как уже говорилось, в силу того, что здесь ставится задача исследования устойчивости конечно разностной схемы, некоторые выкладки будут опущены [1–14].

Сделаем элементарные преобразования в (10)

$$\begin{cases} \frac{2h_x^2}{ah_t} (u_m^{n+1} - u_m^n) = v_{m-1}^n - 2v_m^n + v_{m+1}^n + v_{m-1}^{n+1} - 2v_m^{n+1} + v_{m+1}^{n+1} \\ \frac{2h_x^2}{a \cdot h_t} (v_m^{n+1} - v_m^n) = -u_{m-1}^n + 2u_m^n - u_{m+1}^n - u_{m-1}^{n+1} + 2u_m^{n+1} - u_{m+1}^{n+1} + \frac{h_x^2}{a} (f_m^n + f_m^{n+1}) \end{cases} \tag{11}$$

и пусть $y_m^n = \begin{pmatrix} u_m^n \\ v_m^n \end{pmatrix}, \alpha = \frac{2h_x^2}{a \cdot h_t}, \beta = \frac{h_x^2}{a}$, которые мы подставим в (11). Умножим (11), приведённое

к матричной форме, слева на матрицу $\begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$. Для более удобного понимания приведём элементарные расчёты.

Собрав все подобные слагаемые и введя следующие обозначения $B = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ и $V = \begin{pmatrix} -f_m^n - f_m^{n+1} \\ 0 \end{pmatrix}$,

в результате получим

$$y_{m-1}^{n+1} - [2E + \alpha B]y_m^{n+1} + y_{m+1}^{n+1} = -(y_{m-1}^n - [2E - \alpha B]y_m^n + y_{m+1}^n + \beta V), \tag{12}$$

где E — единичная матрица.

Покажем теперь, что схема (10) является безусловно устойчивой. Для этого рассмотрим однородное уравнение (10)

$$y_{m-1}^{n+1} - [2E + \alpha B]y_m^{n+1} + y_{m+1}^{n+1} = -(y_{m-1}^n - [2E - \alpha B]y_m^n + y_{m+1}^n) \tag{13}$$

и воспользуемся спектральным признаком устойчивости Неймана [15]. Подставим $y_m^n = \lambda^n e^{ipm} y_0$ в (34), где

p — параметр, а $y_0 = \begin{pmatrix} u_0 \\ v_0 \end{pmatrix} \neq 0$. В результате подстановки получим

$$\begin{aligned} &\lambda^{n+1} e^{-ip(m-1)} y_0 - (2E + \alpha B)\lambda^{n+1} e^{ipm} y_0 + \lambda^{n+1} e^{ip(m+1)} y_0 = \\ &= -(\lambda^n e^{-ip(m-1)} y_0 - (2E - \alpha B)\lambda^n e^{ipm} y_0 + \lambda^n e^{ip(m+1)} y_0) \end{aligned} \tag{14}$$

Делая элементарные преобразования, получаем

$$(2\lambda \cos(p)E - (2E + \alpha B)\lambda + 2\cos(p)E - (2E - \alpha B))y_0 = 0 \tag{15}$$

Так как $y_0 \neq 0$, то должен быть равен 0 определитель

$$|2\lambda \cos(p)E - (2E + \alpha B)\lambda + 2\cos(p)E - (2E - \alpha B)| = 0 \tag{16}$$

Проделаем следующие преобразования

$$|2 \cos(p)(\lambda + 1)E - \alpha B(\lambda - 1) - 2E(\lambda + 1)| = 0 \tag{17}$$

$$|2(\cos(p) - 1)(\lambda + 1)E - \alpha B(\lambda - 1)| = 0 \tag{18}$$

$$\left| -4 \sin^2\left(\frac{p}{2}\right)(\lambda + 1)E - \alpha B(\lambda - 1) \right| = 0 \tag{19}$$

Теперь, вспоминая значение матрицы B , можем записать

$$\begin{vmatrix} -4 \sin^2\left(\frac{p}{2}\right)(\lambda + 1) & \alpha(\lambda - 1) \\ -\alpha(\lambda - 1) & -4 \sin^2\left(\frac{p}{2}\right)(\lambda + 1) \end{vmatrix} = 0 \tag{20}$$

Раскрывая определитель (20), мы получаем выражение

$$16 \sin^4\left(\frac{p}{2}\right)(\lambda + 1)^2 + \alpha^2(\lambda - 1)^2 = 0 \tag{21}$$

Делая элементарные преобразования

$$\left(16 \sin^4\left(\frac{p}{2}\right) + \alpha^2\right)\lambda^2 + 2\lambda\left(16 \sin^4\left(\frac{p}{2}\right) - \alpha^2\right) + \left(16 \sin^4\left(\frac{p}{2}\right) + \alpha^2\right) = 0 \tag{22}$$

получаем

$$\lambda^2 + 2\lambda \frac{16 \sin^4\left(\frac{p}{2}\right) - \alpha^2}{16 \sin^4\left(\frac{p}{2}\right) + \alpha^2} + 1 = 0 \tag{23}$$

Если $\left| \frac{16 \sin^4\left(\frac{p}{2}\right) - \alpha^2}{16 \sin^4\left(\frac{p}{2}\right) + \alpha^2} \right| > 1$, то у нас есть 2 вещественных корня. По теореме Виета их произведение равняется

1. Следовательно, значение одного из них меньше единицы, а значение другого — больше. Этот случай нас не

устраивает. Если $\left| \frac{16 \sin^4\left(\frac{p}{2}\right) - \alpha^2}{16 \sin^4\left(\frac{p}{2}\right) + \alpha^2} \right| \leq 1$, тогда λ — комплексные и, следовательно, $|\lambda| = 1$. Этот случай нам

подходит. А так как

$$-1 \leq \frac{16 \sin^4\left(\frac{p}{2}\right) - \alpha^2}{16 \sin^4\left(\frac{p}{2}\right) + \alpha^2} \leq 1, \tag{24}$$

то мы получаем неравенство

$$-16 \sin^4\left(\frac{p}{2}\right) - \alpha^2 \leq 16 \sin^4\left(\frac{p}{2}\right) - \alpha^2 \leq 16 \sin^4\left(\frac{p}{2}\right) + \alpha^2, \tag{25}$$

которое выполняется для любых α , т. е. для любых h_τ и h_x . Следовательно, схема (10) является безусловно устойчивой.

Приведём примеры применения конечно разностной схемы (10). При численном решении будут заданы следующие входные параметры $l = 1$, $a = 1$, $0 < t < 2.34375$, $h_\tau = \frac{h_x}{2}$, $h_x = 0.03125$, $h_t = 0.015625$.

Пример 1. Рассмотрим однородное уравнение (10) и пусть начальное отклонение задаётся как $h_0(x) = 0.25 * \sin(\pi x)$, скорость распространения будет $h_1(x) = 0$. На рис. 1 изображена функция колебания балки $u(t, x)$ в трёхмерном виде

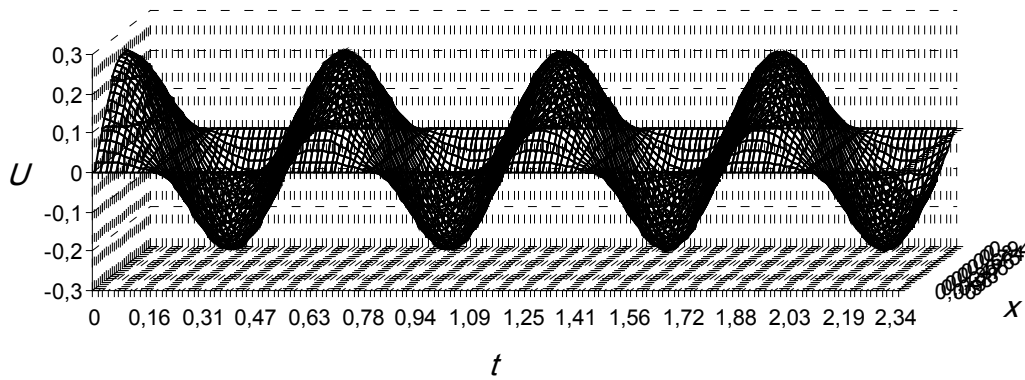


Рис. 1. Процесс колебания балки при первом численном способе решения

Исследование устойчивости второй конечно разностной схемы для численного решения уравнения колебаний балки. Для решения исходной задачи также можно было использовать другой численный метод.

Уравнение (1) можно представить в виде следующей системы, отличной от системы (4)-(5)

$$\begin{cases} u_{tt} = av_{xx} \\ v = -au_{xx} + f(t, x) \end{cases} \tag{26}$$

где $f(t, x)$ определяется по аналогии с (27)

$$f(t, x) = \frac{1}{a} \int_0^x \left[\int_0^\xi g(t, \eta) d\eta \right] d\xi - \frac{x}{al} \int_0^l \left[\int_0^\xi g(t, \eta) d\eta \right] d\xi \tag{27}$$

Граничные условия при переходе к системе (26) примут следующий вид

$$u(t, 0) = u(t, l) = 0, \quad v(t, 0) = f(t, 0), \quad v(t, l) = f(t, l). \tag{28}$$

Далее представим систему (26) в виде конечно-разностной схемы

$$\begin{cases} \frac{u_m^{n+1} - 2u_m^n + u_m^{n-1}}{\tau^2} = a \frac{v_{m-1}^n - 2v_m^n + v_{m+1}^n}{h^2} \\ v_m^n = -a \frac{u_{m-1}^n - 2u_m^n + u_{m+1}^n}{h^2} + \frac{f((n+1)\tau, x_m) + f(n\tau, x_m)}{2a} \end{cases} \tag{29}$$

Из так определённой схемы возникает вопрос, как мы сможем определить значение на 1 слое ($n+1$ слой при $n=0$), если нам необходимо значение u на -1 слоя. Для этого воспользуемся вторым условием в (2) и аппроксимируем его следующим образом

$$\frac{u_m^1 - u_m^{-1}}{2\tau} = h_1(x_m) \tag{30}$$

Из (30) следует следующее выражение

$$u_m^{-1} = u_m^1 - 2\tau \cdot h_1(x_m) \tag{31}$$

Таким образом, из первого уравнения системы (29) для слоя $n=0$ у нас получается, что

$$u_m^1 = \frac{a\tau^2}{2h^2} (v_{m-1}^0 - 2v_m^0 + v_{m+1}^0) + u_m^0 + \tau h_1(x_m) \tag{32}$$

Теперь со слоя $n=1$ мы можем воспользоваться общей формулой, получающейся из той же системы (29)

$$u_m^{n+1} = \frac{a\tau^2}{h^2} (v_{m-1}^n - 2v_m^n + v_{m+1}^n) + 2u_m^n - u_m^{n-1} \tag{33}$$

Покажем, что схема (29) устойчива воспользовавшись спектральным признаком устойчивости Неймана [15].

Подставим $y_m^n = \lambda^n e^{ipm} y_0$ в однородное уравнение (29), где p — параметр, а $y_0 = \begin{pmatrix} u_0 \\ v_0 \end{pmatrix} \neq 0$. В результате подстановки получим следующее выражение

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} y_0 \lambda^{n+1} e^{imp} + \begin{pmatrix} -2 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} y_0 \lambda^n e^{imp} + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} y_0 \lambda^{n-1} e^{imp} = \frac{a}{h^2} \begin{pmatrix} 0 & \tau^2 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} y^0 \lambda^n e^{ip(m-1)} - \frac{2a}{h^2} \begin{pmatrix} 0 & \tau^2 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} y^0 \lambda^n e^{ipm} + \frac{a}{h^2} \begin{pmatrix} 0 & \tau^2 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} y^0 \lambda^n e^{ip(m+1)} \quad (34)$$

Далее разделим выражение (34) на значение $\lambda^n e^{ipm} y_0$, тогда можно переписать следующим образом

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \lambda + \begin{pmatrix} -2 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \lambda^{-1} = \frac{a}{h^2} \begin{pmatrix} 0 & \tau^2 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} e^{-ip} - \frac{2a}{h^2} \begin{pmatrix} 0 & \tau^2 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} + \frac{a}{h^2} \begin{pmatrix} 0 & \tau^2 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} e^{ip} \quad (35)$$

Соберём в (35) подобные слагаемые, тогда можно переписать следующим образом

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \lambda^2 + \begin{pmatrix} -2 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \lambda + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = \frac{a}{h^2} \begin{pmatrix} 0 & \tau^2 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} (e^{-ip} - 2 + e^{ip}) \lambda \quad (36)$$

Вспоминая формулу Эйлера

$$e^{-ip} - 2 + e^{ip} = 2 \cos(p) - 2 = 2(1 - 2 \sin^2(0.5p)) - 2 = -4 \sin^2(0.5p), \quad (37)$$

можем получить следующую систему уравнений

$$\begin{pmatrix} \lambda^2 - 2\lambda + 1 & \frac{a\tau^2}{h^2} 4 \sin^2(0.5p) \lambda \\ -\frac{a}{h^2} 4 \sin^2(0.5p) \lambda & \lambda \end{pmatrix} = 0 \quad (38)$$

Эта система (38) имеет единственное решение, если её определитель равен нулю.

$$(\lambda^2 - 2\lambda + 1)\lambda + 16 \frac{a^2 \tau^2}{h^4} \sin^4(0.5p) \lambda^2 = 0 \quad (39)$$

Одно из решений это значение $\lambda = 0$, но оно нас не устраивает, поэтому, разделив (39) на значение λ , получим

$$\lambda^2 - 2\lambda + 1 + 16 \frac{a^2 \tau^2}{h^4} \sin^4(0.5p) \lambda = 0 \quad (40)$$

Это выражение можно переписать в квадратное уравнение следующего вида

$$\lambda^2 + \lambda \left(16 \frac{a^2 \tau^2}{h^4} \sin^4(0.5p) - 2 \right) + 1 = 0 \quad (41)$$

По теореме Виета нас интересует следующее условие

$$\left| \frac{8a^2 \tau^2}{h^4} \sin^4(0.5p) - 1 \right| \leq 1 \quad (42)$$

От куда можно выразить

$$-1 \leq \frac{8a^2 \tau^2}{h^4} \sin^4(0.5p) - 1 \leq 1 \quad (43)$$

Тогда получим следующее выражение

$$\frac{8a^2 \tau^2}{h^4} \sin^4(0.5p) \leq 2 \quad (44)$$

Что эквивалентно

$$\tau^2 \leq \frac{h^4}{4a^2 \sin^4(0.5p)} \quad (45)$$

И окончательно получаем

$$\tau \leq \frac{h^2}{2a \sin^2(0.5p)} \leq \frac{h^2}{2a} \quad (46)$$

Таким образом, мы видим, что разностная схема (50) устойчива при выполнении условия (67), которое задаёт необходимое соотношение шагов в разностной схеме.

Приведём примеры применения разностной схемы (29). При численном решении будут заданы следующие входные

параметры $l = 1$, $a = 1$, $0 < t < 2.34375$, $h_t = \frac{h_x^2}{2}$, при этом положим $h_x = 0.03125$, тогда $h_t = 0.0005$, тогда у нас получится 4800 точек по шкале времени.

Пример 2. Рассмотрим однородное уравнение (29) и пусть начальное отклонение задаётся как $h_0(x) = 0.25 * \sin(\pi x)$, скорость распространения будет $h_1(x) = 0$. На рис. 2 изображена функция колебания балки $u(t, x)$ в трёхмерном виде

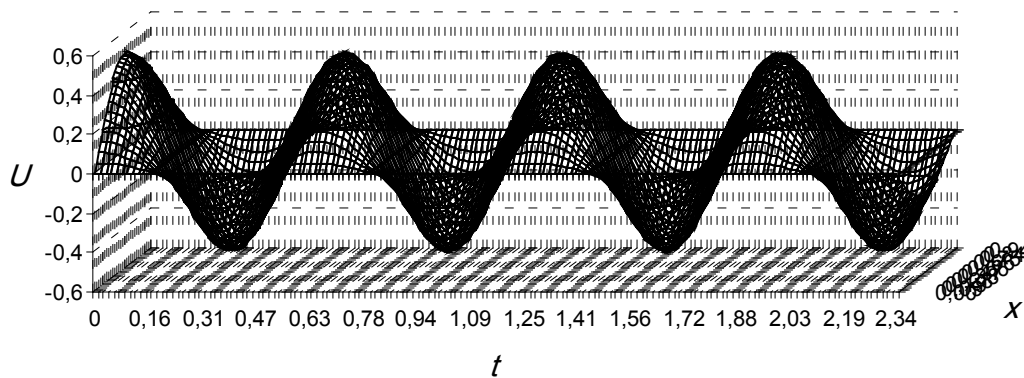


Рис. 2. Процесс колебания балки при втором способе численного решения

Литература:

1. Атамуратов А. Ж., Михайлов И. Е., Муравей Л. А.. О гашении колебаний балки. // Труды ИСА РАН. Динамика неоднородных систем. Том 50 (1). — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. — С. 53–58.
2. Атамуратов А. Ж., Михайлов И. Е., Муравей Л. А. О гашении колебаний сложных механических структур // Авиакосмическая техника и технология, 2012, № 4. С. 54–59.
3. Атамуратов А. Ж. О гашении колебаний прямоугольной мембраны // Вестник Тверского государственного университета. Серия Прикладная математика. — 2013. — № 2. — С. 49–59.
4. Атамуратов А. Ж. Исследование подходов к решению задач математической физики на примере уравнения колебаний прямоугольной мембраны // Молодой ученый. № 10. 2013. С. 1–5. <http://www.moluch.ru/archive/57/6198/>
5. Атамуратов А. Ж. Приведение к тригонометрической проблеме моментов на примере задачи гашения колебаний прямоугольной мембраны, балки и прямоугольной пластины // Молодой ученый. № 11. 2013. С. 6–10. <http://www.moluch.ru/archive/58/8092/>
6. Атамуратов А. Ж. Получение интегралов энергии для прямоугольной мембраны, балки и прямоугольной пластины // Молодой ученый. № 11. 2013. С. 10–15. <http://www.moluch.ru/archive/58/8112/>
7. Атамуратов А. Ж., Михайлов И. Е. Численное решение задачи о гашении колебаний балки. Тезисы докладов Международной конференции по прикладной математике и информатике, посвященной 100-летию со дня рождения академика А. А. Дородницына. ВЦ РАН, Москва, 7–11 декабря 2010 г. С. 83–84.
8. Muravey L., Mikhailov I., Atamuratov A., The damping problem of vibrations for large mechanical systems // ICIAM2011, Abstracts, Vancouver, Canada, July 18–22, 2011. P. 87.
9. Atamuratov A., Mikhailov I., Muravey L. On the numerical damping of beam's vibrations // VII International Aerospace Congress IAC'12. Abstracts. Moscow, Russia. 26–31 August, 2012. P. 31–32.
10. Атамуратов А. Ж. Решение уравнения колебаний балки. // XXXV ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды Международной молодежной научной конференции. Москва, апрель 2008 г. Москва: МАТИ, 2008. Т.5.
11. Атамуратов А. Ж. О гашении колебаний балки. // XXXVI ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды Международной молодежной научной конференции. Москва, апрель 2010 г. Москва: МАТИ, 2010. Т.5.
12. Атамуратов А. Ж. О гашении колебаний прямоугольной мембраны. // XXXVII ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды Международной молодежной научной конференции в 8 томах. Москва, 5–8 апреля 2011 г. Москва: МАТИ, 2011. Т.5, С. 60–61
13. Атамуратов А. Ж. Решение уравнения колебаний круглой пластины. // XXXVIII ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды Международной молодежной научной конференции в 8 томах. Москва, 10–14 апреля 2012 г. Москва: МАТИ, 2012. Т.5, С. 38–39

14. Атамуратов А. Ж. Численный метод решения колебаний прямоугольной пластины. // XXXIX ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды Международной молодёжной научной конференции в 9 томах. Москва, 9–13 апреля 2013 г. Москва: МАТИ, 2013. Т.5, С. 32–33
15. Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы. Москва: Наука, 1989. 432 с.

Исследование устойчивости конечно разностных схем для численного решения уравнений колебаний прямоугольной мембраны и прямоугольной пластины

Атамуратов Андрей Жиенбаевич, аспирант

МАТИ — Российский государственный технологический университет им. К. Э. Циолковского (г. Москва)

Рассматривается задача исследования устойчивости разностных схем для численного решения уравнений колебаний прямоугольной мембраны и прямоугольной пластины. Исследование проводится методом Неймана. Выводятся соотношения зависимости шага по времени от шагов по пространственным переменным для того, чтобы использование разностной схемы приводило к решению.

Ключевые слова: *прямоугольная мембрана, прямоугольная пластина, уравнение колебаний, разностная схема, устойчивость, Нейман, численное решение.*

Введение. Большинство задач математической физики являются очень сложными для решения их аналитическим способом, например, задачи гашения колебаний элементов механических структур [1–14]. Поэтому огромное практическое значение имеет умение решать такие задачи численным способом, то есть аппроксимация исходной задачи конечно разностными схемами. Подобные методики дают приближённое решение, которое при увеличении точности стремится к аналитическому решению. Но чтобы такое происходило, необходимо, чтобы конечно разностные схемы были устойчивыми. Поэтому не менее значимым в вычислительной математике является нахождение условий, при которых конечно разностные схемы, полученные при аппроксимации исходной задачи, обладают условием устойчивости.

В этой работе будет показано, как найти такие условия устойчивости для численного решения уравнения колебаний прямоугольной мембраны и для численного решения уравнения колебаний прямоугольной пластины.

Исследование устойчивости конечно разностной схемы для численного решения уравнения колебаний прямоугольной мембраны. Колебания прямоугольной мембраны описываются гиперболическим уравнением

$$u_{tt} = a^2(u_{xx} + u_{yy}) + g(t, x, y), \quad t > 0, 0 < x \leq l_1, 0 < y \leq l_2, a = const. \quad (1)$$

Начальные отклонения и скорость перемещения этого первоначального возмущения мембраны задаются так

$$u(0, x, y) = H_0(x, y), \quad (2)$$

$$u_t(0, x, y) = H_1(x, y). \quad (3)$$

На границе прямоугольной мембраны наложим условие закрепления согласно

$$u(t, 0, y) = u(t, l_1, y) = u(t, x, 0) = u(t, x, l_2) = 0 \quad (4)$$

Для того чтобы численно решить систему (1) — (4), аппроксимируем её явной конечно-разностной схемой второго порядка аппроксимации. Для этого зададим натуральные числа N_x, N_y, N_T и разобьём рассматриваемую область

$\{0 \leq t \leq T, 0 \leq x \leq l_1, 0 \leq y \leq l_2\}$ на прямоугольные ячейки параллельными прямыми

$$x_i = i \cdot h_x, \quad i = 0, \dots, N_x - 1, \quad (5)$$

$$y_j = j \cdot h_y, \quad j = 0, \dots, N_y - 1 \text{ и} \quad (6)$$

$$t_n = n \cdot h_t, \quad n = 0, \dots, N_T - 1, \text{ где} \quad (7)$$

$$h_x = \frac{l}{N_x}, \quad h_y = \frac{l}{N_y} \text{ и } h_t = \frac{T}{N_T}. \quad (8)$$

Конечно-разностная схема будет иметь следующий вид

$$\frac{u_{i,j}^{n+1} - 2u_{i,j}^n + u_{i,j}^{n-1}}{h_t^2} = a^2 \left(\frac{u_{i+1,j}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i-1,j}^n}{h_x^2} + \frac{u_{i,j+1}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i,j-1}^n}{h_y^2} \right) + g(nh_t, ih_x, jh_y) \quad (9)$$

Начальное условие (1.2) и граничное условие (1.4) примут вид

$$u_{i,j}^0 = H_0(ih_x, jh_y), \quad (10)$$

$$u_{0,j}^n = u_{NX-1,j}^n = u_{i,0}^n = u_{i,NY-1}^n = 0. \quad (11)$$

В силу того, что здесь ставится задача исследования устойчивости конечно разностной схемы, дальнейшие выкладки, с которыми можно ознакомиться здесь [1–14], будут опущены.

Покажем, что схема (9) устойчива. Для этого воспользуемся методом Неймана [15]: рассмотрим однородный вариант уравнения (9) и сделаем подстановку

$$u_{m,k}^n \sim u^0 \lambda^n e^{i(mp+kq)} \quad (12)$$

Тогда после подстановки мы получим следующее выражение

$$\frac{\lambda^{n+1} e^{i(mp+kq)} - 2\lambda^n e^{i(mp+kq)} + \lambda^{n-1} e^{i(mp+kq)}}{\tau^2} =$$

$$= a^2 \left(\frac{\lambda^n e^{i((m+1)p+kq)} - 2\lambda^n e^{i(mp+kq)} + \lambda^n e^{i((m-1)p+kq)}}{h_x^2} + \frac{\lambda^n e^{i(mp+(k+1)q)} - 2\lambda^n e^{i(mp+kq)} + \lambda^n e^{i(mp+(k-1)q)}}{h_y^2} \right) \quad (13)$$

После упрощения выражение выше приводится к виду

$$\lambda - 2 + \lambda^{-1} = a^2 \tau^2 \frac{e^{-ip} - 2 + e^{ip}}{h_x^2} + a^2 \tau^2 \frac{e^{-iq} - 2 + e^{iq}}{h_y^2} \quad (14)$$

Далее раскрываем экспоненты по формуле Эйлера

$$\lambda - 2 + \lambda^{-1} = -4a^2 \tau^2 \left(\frac{\sin^2(0.5p)}{h_x^2} + \frac{\sin^2(0.5q)}{h_y^2} \right) \quad (15)$$

Окончательное упрощение приводит нас к квадратному уравнению

$$\lambda^2 + 2 \left(2a^2 \tau^2 \left(\frac{\sin^2(0.5p)}{h_x^2} + \frac{\sin^2(0.5q)}{h_y^2} \right) - 1 \right) \lambda + 1 = 0 \quad (16)$$

Если $\left| 2a^2 \tau^2 \left(\frac{\sin^2(0.5p)}{h_x^2} + \frac{\sin^2(0.5q)}{h_y^2} \right) - 1 \right| > 1$, то у нас есть 2 вещественных корня. По теореме Виета их

произведение равняется 1. Следовательно, значение одного из них меньше единицы, а значение другого — больше. Этот случай нас не устраивает. Если

$$\left| 2a^2 \tau^2 \left(\frac{\sin^2(0.5p)}{h_x^2} + \frac{\sin^2(0.5q)}{h_y^2} \right) - 1 \right| \leq 1, \quad (17)$$

тогда λ — комплексные и, следовательно, $|\lambda| = 1$. Этот случай нам подходит. Из (17) следует, что

$$0 \leq a^2 h_i^2 \left(\frac{\sin^2(0.5p)}{h_x^2} + \frac{\sin^2(0.5q)}{h_y^2} \right) \leq 1 \quad (18)$$

Тогда

$$a^2 h_i^2 \left(\frac{1}{h_x^2} + \frac{1}{h_y^2} \right) \leq 1, \quad (19)$$

И значит

$$h_i^2 \leq \frac{h_x^2 h_y^2}{a^2 (h_x^2 + h_y^2)} \quad (20)$$

Поэтому схема (9) устойчива, если шаг по времени τ удовлетворяет (условная устойчивость) неравенству

$$h_i \leq \frac{h_x h_y}{a \sqrt{h_x^2 + h_y^2}} \quad (21)$$

Приведём пример использования конечно разностной схемы (9). В примере задавались входные параметры $h_x = 0.05$, $h_y = 0.05$, $h_t = 0.03536$, $a = 1$, $l_1 = 1$, $l_2 = 1$. Графики значений функции $u(t, x, y)$ строились в сечении $y = 0.5$.

Пример 1. Рассматривается задача о свободном колебании прямоугольной мембраны с начальными условиями $H_0(x, y) = \sin(\pi x/l_1)\sin(\pi y/l_2)$, $H_1(x, y) = 0$, $T = 1.7678$ или 50 точек по времени. На рис. 1 изображено поведение свободных колебаний прямоугольной мембраны, то есть вид функции $u(t, x, y)$

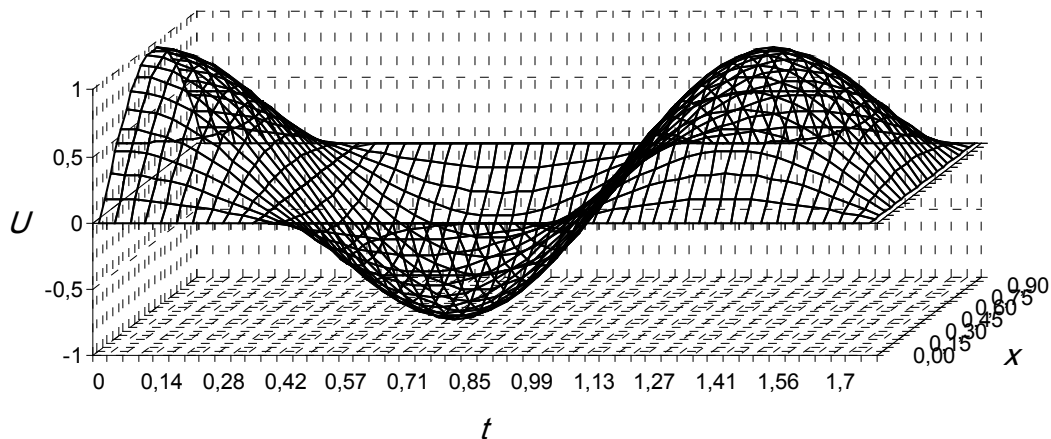


Рис. 1. Процесс колебания в сечении $y=0.5$

Исследование устойчивости конечно разностной схемы для численного решения уравнения колебаний прямоугольной пластины. Малые поперечные колебания упругой изотропной пластины постоянной толщины описываются уравнением Жармен-Лагранжа

$$\rho u_{tt} = -D\Delta\Delta u + g(t, x, y), \quad 0 < t, \quad 0 < x < l_1, \quad 0 < y < l_2 \tag{22}$$

Здесь $u(t, x, y)$ - поперечный прогиб срединной плоскости пластины; $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ — двумерный оператор

Лапласа; $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ — изгибная жесткость пластинки; ν — коэффициент Пуассона; E — модуль Юнга;

ρ — удельная плотность на единицу площади пластинки; t — время.

Начальное отклонение и скорость его распространения будем рассматривать как начальные условия

$$u(0, x, y) = h_0(x, y), \quad u_t(0, x, y) = h_1(x, y). \tag{23}$$

На концах пластины наложим условия шарнирного закрепления

$$u|_r = 0 \quad \Delta u|_r = 0 \tag{24}$$

Для удобства перепишем уравнение следующим образом

$$u_{tt} = -a^2\Delta\Delta u + \tilde{g}(t, x, y), \quad a = const \tag{25}$$

Для того чтобы численно решить задачу (22) — (25), представим её в виде системы уравнений

$$\begin{cases} u_{tt} = a\Delta v + \tilde{g}(t, x, y) \\ v = -a\Delta u \end{cases}, \tag{26}$$

Для того чтобы численно решить систему (26), построим разностную схему для приближённого решения системы [15]. Зададим натуральные числа N_x и N_T , и разобьём рассматриваемую область

$\{0 \leq t \leq T, 0 \leq x \leq l_1, 0 \leq y \leq l_2\}$ на прямоугольные ячейки параллельными прямыми $x_m = m \cdot h_x$, $m = 0, \dots, N_x$, $y_k = k \cdot h_y$, $k = 0, \dots, N_y$, $t_n = n \cdot h_t$, $n = 0, \dots, N_T$, где $h_x = \frac{l}{N_x}$, $h_y = \frac{l}{N_y}$ и $h_t = \frac{T}{N_T}$. В результате этих операций мы можем записать следующее

$$\begin{cases} \frac{u_{m,k}^{n+1} - 2u_{m,k}^n + u_{m,k}^{n-1}}{\tau^2} = a \left(\frac{v_{m+1,k}^n - 2v_{m,k}^n + v_{m-1,k}^n}{h^2} + \frac{v_{m,k+1}^n - 2v_{m,k}^n + v_{m,m-1}^n}{h^2} \right) + \tilde{g}_{k,m}^n \\ v_{m,k}^n = -a \left(\frac{u_{m+1,k}^n - 2u_{m,k}^n + u_{m-1,k}^n}{h^2} + \frac{u_{m,k+1}^n - 2u_{m,k}^n + u_{m,k-1}^n}{h^2} \right) \end{cases} \quad (27)$$

Теперь нам необходимо проверить является ли разностная схема (27) устойчивой. Для этого можно воспользоваться спектральным признаком устойчивости Неймана [15]. Рассмотрим однородное уравнение (3.143), тогда у нас получится, что

$$\begin{cases} \frac{u_{m,k}^{n+1} - 2u_{m,k}^n + u_{m,k}^{n-1}}{h_t^2} = a \left(\frac{v_{m+1,k}^n - 2v_{m,k}^n + v_{m-1,k}^n}{h_x^2} + \frac{v_{m,k+1}^n - 2v_{m,k}^n + v_{m,k-1}^n}{h_y^2} \right) \\ v_{m,k}^n = -a \left(\frac{u_{m+1,k}^n - 2u_{m,k}^n + u_{m-1,k}^n}{h_x^2} + \frac{u_{m,k+1}^n - 2u_{m,k}^n + u_{m,k-1}^n}{h_y^2} \right) \end{cases} \quad (28)$$

$$\begin{cases} u_{i,j}^{n+1} - 2u_{i,j}^n + u_{i,j}^{n-1} = a\tau^2 \left(\frac{v_{i+1,j}^n - 2v_{i,j}^n + v_{i-1,j}^n}{h_x^2} + \frac{v_{i,j+1}^n - 2v_{i,j}^n + v_{i,j-1}^n}{h_y^2} \right) \\ v_{i,j}^n = -a \left(\frac{u_{i+1,j}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i-1,j}^n}{h_x^2} + \frac{u_{i,j+1}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i,j-1}^n}{h_y^2} \right) \end{cases} \quad (29)$$

$$\begin{cases} u_{i,j}^{n+1} - 2u_{i,j}^n + u_{i,j}^{n-1} = \frac{a\tau^2}{h_x^2} v_{i+1,j}^n + \frac{a\tau^2}{h_x^2} v_{i-1,j}^n + \frac{a\tau^2}{h_y^2} v_{i,j+1}^n + \frac{a\tau^2}{h_y^2} v_{i,j-1}^n - \left(2\frac{a\tau^2}{h_x^2} + 2\frac{a\tau^2}{h_y^2} \right) v_{i,j}^n \\ 0 - v_{i,j}^n + 0 = \frac{a}{h_x^2} u_{i+1,j}^n + \frac{a}{h_x^2} u_{i-1,j}^n + \frac{a}{h_y^2} u_{i,j+1}^n + \frac{a}{h_y^2} u_{i,j-1}^n - \left(2\frac{a}{h_x^2} + 2\frac{a}{h_y^2} \right) u_{i,j}^n \end{cases} \quad (30)$$

Согласно спектральному признаку устойчивости Неймана [15] зададим следующее значение $U_{i,j}^n \sim U^0 \lambda^n e^{i(mp+kq)}$,

которое подставим в (30). Получим следующее выражение

$$\begin{aligned} & \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} U^0 \lambda^{n+1} e^{i(mp+kq)} - \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} U^0 \lambda^n e^{i(mp+kq)} + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} U^0 \lambda^{n-1} e^{i(mp+kq)} = \\ & \begin{pmatrix} 0 & a \\ a\tau^2 & x^2 \end{pmatrix} U^0 \lambda^n e^{i((m+1)p+kq)} + \begin{pmatrix} 0 & a \\ a\tau^2 & x^2 \end{pmatrix} U^0 \lambda^n e^{i((m-1)p+kq)} + \\ & \begin{pmatrix} 0 & a \\ a\tau^2 & y^2 \end{pmatrix} U^0 \lambda^n e^{i(mp+(k+1)q)} + \begin{pmatrix} 0 & a \\ a\tau^2 & y^2 \end{pmatrix} U^0 \lambda^n e^{i(mp+(k-1)q)} - \begin{pmatrix} 0 & 2\frac{a}{x^2} + 2\frac{a}{y^2} \\ 2\frac{a\tau^2}{x^2} + 2\frac{a\tau^2}{y^2} & 0 \end{pmatrix} U^0 \lambda^n e^{i(mp+kq)} \end{aligned} \quad (32)$$

Введём следующие обозначения для матриц, записанных в (32)

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} 0 & a \\ a\tau^2 & x^2 \end{pmatrix} \quad (33)$$

Подставив эти обозначения в (32), получим следующую запись для этого выражения

$$A\lambda^{n+1}e^{i(mp+kq)} - B\lambda^n e^{i(mp+kq)} + A\lambda^{n-1}e^{i(mp+kq)} = \frac{a}{h_x^2}C\lambda^n e^{i((m+1)p+kq)} + \frac{a}{h_x^2}C\lambda^n e^{i((m-1)p+kq)} + \frac{a}{h_y^2}C\lambda^n e^{i(mp+(k+1)q)} + \frac{a}{h_y^2}C\lambda^n e^{i(mp+(k-1)q)} - \left(2\frac{a}{h_x^2} + 2\frac{a}{h_y^2}\right)C\lambda^n e^{i(mp+kq)} \quad (34)$$

Разделим выражение (34) на значение $\lambda^n e^{i(mp+kq)}$, получим

$$A\lambda - B + A\lambda^{-1} = \frac{a}{h_x^2}Ce^{ip} + \frac{a}{h_x^2}Ce^{-ip} + \frac{a}{h_y^2}Ce^{iq} + \frac{a}{h_y^2}Ce^{-iq} - \left(2\frac{a}{h_x^2} + 2\frac{a}{h_y^2}\right)C \quad (35)$$

Соберём все подобные слагаемые, тогда будет

$$A\lambda - B + A\lambda^{-1} = aC \frac{e^{ip} - 2 + e^{-ip}}{h_x^2} + aC \frac{e^{iq} - 2 + e^{-iq}}{h_y^2} \quad (36)$$

Применим формулу Эйлера и вспомним тригонометрические равенства

$$A\lambda - B + A\lambda^{-1} = aC \left(\frac{2\cos(p) - 2}{h_x^2} + \frac{2\cos(q) - 2}{h_y^2} \right) = aC \left(\frac{2(1 - 2\sin^2(0.5p)) - 2}{h_x^2} + \frac{2(1 - 2\sin^2(0.5q)) - 2}{h_y^2} \right) \quad (37)$$

Ещё раз группируем в более удобный вид

$$A\lambda - B + A\lambda^{-1} = -4aC \left(\frac{\sin^2(0.5p)}{h_x^2} + \frac{\sin^2(0.5q)}{h_y^2} \right) \quad (38)$$

И получаем квадратное уравнение

$$A\lambda^2 + \left(4aC \left(\frac{\sin^2(0.5p)}{h_x^2} + \frac{\sin^2(0.5q)}{h_y^2} \right) - B \right) \lambda + A = 0 \quad (39)$$

Вспоминаем истинные значения матриц (33)

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \lambda^2 + \left(4a \left(\frac{\sin^2(0.5p)}{h_x^2} + \frac{\sin^2(0.5q)}{h_y^2} \right) \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ \tau^2 & 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right) \lambda + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = 0 \quad (40)$$

Попробуем упростить

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \lambda^2 + \left(4a\zeta \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ \tau^2 & 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right) \lambda + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = 0 \quad (41)$$

Ещё одна итерация группировки

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \lambda^2 + \begin{pmatrix} -2 & 4a\zeta \\ 4a\zeta\tau^2 & -1 \end{pmatrix} \lambda + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = 0 \quad (42)$$

В результате получаем удобную запись

$$\begin{pmatrix} \lambda^2 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -2\lambda & 4a\zeta\lambda \\ 4a\zeta\tau^2\lambda & -\lambda \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = 0 \quad (43)$$

От куда у нас получается, что

$$\begin{pmatrix} \lambda^2 - 2\lambda + 1 & 4a\zeta\lambda \\ 4a\zeta\tau^2\lambda & -\lambda \end{pmatrix} = 0 \quad (44)$$

Чтобы эта система имела решение, необходимо и достаточно, чтобы её детерминант равнялся 0

$$-\lambda^3 + 2\lambda^2 + \lambda - 16a^2\zeta^2\tau^2\lambda^2 = 0 \quad (45)$$

Тогда у нас получится

$$\lambda^2 + 2(8a^2\zeta^2\tau^2 - 1)\lambda - 1 = 0 \quad (46)$$

Воспользуемся правилом Виета

$$\left| 8a^2 \left(\frac{\sin^2(0.5p)}{h_x^2} + \frac{\sin^2(0.5q)}{h_y^2} \right) \tau^2 - 1 \right| \leq 1 \quad (47)$$

От куда получается, что

$$\left(\frac{\sin^2(0.5p)}{h_x^2} + \frac{\sin^2(0.5q)}{h_y^2} \right) \tau^2 \leq \frac{1}{4a^2} \quad (48)$$

Окончательно имеем следующую оценку

$$\tau \leq \frac{1}{2a} \frac{h_x^2 h_y^2}{h_x^2 \sin^2(0.5p) + h_y^2 \sin^2(0.5q)} \leq \frac{h_x^2 h_y^2}{2a(h_x^2 + h_y^2)} \quad (49)$$

Из выражения (49) можно заключить, что схема (27) является условно устойчивой.

Приведём примеры использования конечно разностной схемы (27). В приведённом ниже примере задавались входные параметры $h_x = 0.1$, $h_y = 0.1$, $h_t = 3.5355 \cdot 10^{-7}$, $a = 1$, $l_1 = 1$, $l_2 = 1$. Графики значений функции $u(t, x, y)$ строились в сечении $y = 0.5$.

Пример 2. Рассматривается задача о свободном колебании прямоугольной пластины с начальными условиями $H_0(x, y) = 0.01 * \sin(\pi x / l_1) \sin(\pi y / l_2)$, $H_1(x, y) = 0$, $T = 1.4142$ или 4000 точек по времени. На рис. 2 изображено поведение свободных колебаний прямоугольной пластины, то есть вид функции $u(t, x, y)$

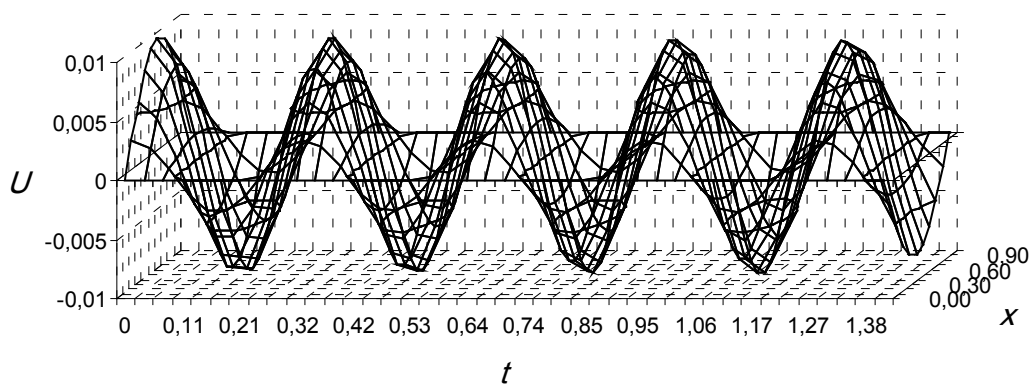


Рис. 2. Процесс колебания прямоугольной пластины

Литература:

1. Атамуратов А. Ж., Михайлов И. Е., Муравей Л. А.. О гашении колебаний балки. // Труды ИСА РАН. Динамика неоднородных систем. Том 50 (1). — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. — С. 53–58.
2. Атамуратов А. Ж., Михайлов И. Е., Муравей Л. А. О гашении колебаний сложных механических структур // Авиакосмическая техника и технология, 2012, № 4. С. 54–59.
3. Атамуратов А. Ж. О гашении колебаний прямоугольной мембраны // Вестник Тверского государственного университета. Серия Прикладная математика. — 2013. — № 2. — С. 49–59.
4. Атамуратов А. Ж. Исследование подходов к решению задач математической физики на примере уравнения колебаний прямоугольной мембраны // Молодой ученый. № 10. 2013. С. 1–5. <http://www.moluch.ru/archive/57/6198/>
5. Атамуратов А. Ж. Приведение к тригонометрической проблеме моментов на примере задачи гашения колебаний прямоугольной мембраны, балки и прямоугольной пластины // Молодой ученый. № 11. 2013. С. 6–10. <http://www.moluch.ru/archive/58/8092/>
6. Атамуратов А. Ж. Получение интегралов энергии для прямоугольной мембраны, балки и прямоугольной пластины // Молодой ученый. № 11. 2013. С. 10–15. <http://www.moluch.ru/archive/58/8112/>
7. Атамуратов А. Ж., Михайлов И. Е. Численное решение задачи о гашении колебаний балки. Тезисы докладов Международной конференции по прикладной математике и информатике, посвященной 100-летию со дня рождения академика А. А. Дородницына. ВЦ РАН, Москва, 7–11 декабря 2010 г. С. 83–84.
8. Muravey L., Mikhailov I., Atamuratov A., The damping problem of vibrations for large mechanical systems // ICIAM2011, Abstracts, Vancouver, Canada, July 18–22, 2011. P. 87.

9. Atamuratov A., Mikhailov I., Muravey L. On the numerical damping of beam's vibrations // VII International Aerospace Congress IAC'12. Abstracts. Moscow, Russia. 26–31 August, 2012. P. 31–32.
10. Атамуратов А. Ж. Решение уравнения колебаний балки. // XXXV ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды Международной молодёжной научной конференции. Москва, апрель 2008 г. Москва: МАТИ, 2008. Т.5.
11. Атамуратов А. Ж. О гашении колебаний балки. // XXXVI ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды Международной молодёжной научной конференции. Москва, апрель 2010 г. Москва: МАТИ, 2010. Т.5.
12. Атамуратов А. Ж. О гашении колебаний прямоугольной мембраны. // XXXVII ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды Международной молодёжной научной конференции в 8 томах. Москва, 5–8 апреля 2011 г. Москва: МАТИ, 2011. Т.5, С. 60–61
13. Атамуратов А. Ж. Решение уравнения колебаний круглой пластины. // XXXVIII ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды Международной молодёжной научной конференции в 8 томах. Москва, 10–14 апреля 2012 г. Москва: МАТИ, 2012. Т.5, С. 38–39
14. Атамуратов А. Ж. Численный метод решения колебаний прямоугольной пластины. // XXXIX ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды Международной молодёжной научной конференций в 9 томах. Москва, 9–13 апреля 2013 г. Москва: МАТИ, 2013. Т.5, С. 32–33
15. Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы. Москва: Наука, 1989. 432 с.

Использование методик параллельного программирования при численном решении задач оптимизации методами координатного и градиентного спусков на примере задач гашения колебаний

Атамуратов Андрей Жиенбаевич, аспирант

МАТИ — Российский государственный технологический университет им. К. Э. Циолковского (г. Москва)

Рассматривается задача разработки и использования методов параллельного программирования при численном решении задач оптимизации методами координатного и градиентного спусков. Задача оптимизации рассматривается в контексте решения задачи гашения колебаний таких элементов механических структур как прямоугольные мембраны, балки и прямоугольные пластины.

Ключевые слова: параллельное программирование, метод координатного спуска, метод градиентного спуска, прямоугольная мембрана, балка, прямоугольная пластина, уравнение колебаний, численное решение, библиотека OpenMP.

Введение. Большинство задач оптимизации и математической физики являются очень сложными для решения их аналитическим способом, например, задачи гашения колебаний элементов механических структур, таких как прямоугольные мембраны, балки и прямоугольные пластины [1–14]. Поэтому огромное практическое значение имеет умение решать такие задачи численным способом, то есть аппроксимация исходной задачи конечно разностными схемами и использование существующих классических подходов к оптимизации заданного функционала методами координатного и градиентного спусков. Подобные методики дают приближённое решение, которое при увеличении точности стремится к аналитическому решению. Но с увеличением точности, а под час и при простейшей реализации численного алгоритма требование к производительности вычислительной машины может возрастать чуть ли не экспоненциально. Для того чтобы, если и не избежать таких моментов, но, по крайней мере, обойти их, необходимо использовать нестандартные подходы к проектированию комплекса программ, основанные на использовании алгоритмов параллельного программирования.

В этой работе будет показано, как можно эффективно выстроить численный алгоритм в программном комплексе на основе параллельного программирования так, чтобы скорость выполнения программ значительно увеличилась.

Особенности разработки параллельных алгоритмов. Если несколько задач выполняются в течение одного и того же временного интервала, то говорят, что они выполняются параллельно. Другими словами, задачи, которые существуют в одно и то же время и выполняются в течение одного и того же интервала времени, являются параллельными. Основной фактор, влияющий на степень приемлемости для параллелизма того или иного интервала времени, определяется конкретным приложением. Цель технологий параллелизма — обеспечить условия, позволяющие компьютерным программам делать больший объём работы за тот же интервал времени. Поэтому проектирование программ должно ориентироваться не на выполнение одной задачи в некоторый промежуток времени, а на одновременное выполнение нескольких задач, на которые предварительно должна быть разбита программа.

Методы параллельного программирования позволяют распределить работу программы между двумя (или больше) процессорами в рамках одного физического или одного виртуального компьютера. При этом процесс проектирования таких программ включает в себя три составляющие: декомпозиция, связь и синхронизация. При этом в современных библиотеках для параллельного программирования за обеспечение связи и синхронизации отвечает сама библиотека и набор функций, например, в библиотеке OpenMP. Поэтому главное, на что необходимо обратить внимание, — это декомпозиция. Декомпозиция — это процесс разбиения задачи и её решения на части. Декомпозиция программного обеспечения часто сводится к декомпозиции работ. Одна из основных проблем параллельного программирования — идентификация естественной декомпозиции работ для программного решения. Главная цель — обнаружить параллелизм. Если естественный параллелизм не наблюдается, не стоит его навязывать насильно. На вопрос, как разбить приложение на параллельно выполняемые части, необходимо найти ответ в период проектирования. Параллелизм можно обеспечить на уровне инструкций, подпрограмм, объектов или приложений.

Постановка задачи гашения. В целях рассмотрения задачи введения параллельности в задачу оптимизации необходимо начать с постановки задач, которые приводят к необходимости использования параллельных алгоритмов. Будут рассматриваться три задачи, имеющие огромную практическую ценность для науки и общества в целом: гашение колебаний балки, гашение колебаний прямоугольной мембраны и пластины [1–14].

Колебания балки описываются гиперболическим по Петровскому уравнением

$$u_{tt} = -a^2 u_{xxx} + g(t, x), \quad 0 < t, 0 < x \leq l, a = const, \tag{1}$$

со следующими начальными и граничными условиями

$$u(0, x) = h_0(x), \quad u_t(0, x) = h_1(x), \quad u(t, 0) = u_{xx}(t, 0) = 0, \quad u(t, l) = u_{xx}(t, l) = 0. \tag{2}$$

Колебания прямоугольной мембраны описываются уравнением общего вида

$$u_{tt} = a^2(u_{xx} + u_{yy}) + g(t, x, y), \quad t > 0, 0 < x \leq l_1, 0 < y \leq l_2, a = const. \tag{3}$$

со следующими начальными и граничными условиями

$$u(0, x, y) = H_0(x, y), \quad u_t(0, x, y) = H_1(x, y), \quad u(t, 0, y) = u(t, l_1, y) = u(t, x, 0) = u(t, x, l_2) = 0. \tag{4}$$

Малые поперечные колебания упругой изотропной пластины постоянной толщины описываются уравнением Жармен-Лагранжа

$$u_{tt} = -a^2 \Delta \Delta u + g(t, x, y), \quad t > 0, 0 < x \leq l_1, 0 < y \leq l_2, a = const. \tag{5}$$

со следующими начальными и граничными условиями

$$u(0, x, y) = h_0(x, y), \quad u_t(0, x, y) = h_1(x, y), \quad u|_{\Gamma} = 0, \quad \Delta u|_{\Gamma} = 0 \tag{6}$$

Задача гашения ставится для всех трёх структур так [1–14]: требуется найти управляющую функцию $g(t, \bar{x})$ из пространства $L_2(0, T)$, где $\bar{x} = x$ для балки и $\bar{x} = (x, y)$ для мембраны и пластины, позволяющую за минимальное время T , полностью погасить колебания, что определяется условием $E(T) = 0$ равенства нулю интеграла энергии соответствующей механической структуры. Познакомиться с видом интегралов энергии и их выводом можно ознакомиться здесь [6].

В зависимости от задачи функция $g(t, \bar{x})$ могла принимать разные формы, но в общем виде она разбивалась на две составляющие: функцию импульса $w(t)$ и функцию расположения на структуре $\sigma(\bar{x})$.

$$g(t, \bar{x}) = w(t)\sigma(\bar{x}) \tag{7}$$

При аппроксимации [15–17] функции $w(t)$ кусочно-постоянной функцией $w(t) = w_i$, где $w_i = const$, $i = \overline{0, N_{T-1}}$ для $\forall t \in [t_i, t_{i+1}]$ интеграл энергии получается функцией переменных $w_0, w_1 \dots w_{N_T}$

$$E(T) = L(w_0, w_1, \dots, w_{N_T}) \tag{8}$$

Таким образом, задача гашения колебаний сводится к поиску такой комбинации $\bar{w} = w_0, w_1 \dots w_{N_T}$, при которой выполняется условие $E(T) = 0$, что можно делать с помощью как метода градиентного спуска, так и метода координатного спуска [15–17].

Методы градиентного и координатного спусков и необходимость параллелизации. Метод градиентного спуска заключается в следующем [15–17]. Выбрав произвольное начальное приближение \bar{w}^0 , строится следующая итерационная последовательность

$$\bar{w}^{(k+1)} = \bar{w}^{(k)} - \tau_k \text{grad}(E(\bar{w}^{(k)})), \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, \infty \tag{9}$$

где величины τ_k выбирается достаточно малыми из условия $E(\bar{w}^{(k+1)}) < E(\bar{w}^{(k)})$. Сам же итерационный процесс (9) завершается в случае, если было достигнуто условие на значение интеграла энергии $E(\bar{w}^{(k+1)}) \leq \varepsilon$ или если

перестали меняться значения функции $w(t)$, то есть $|\bar{w}^{(k+1)} - \bar{w}^{(k)}| = 0$. Вспоминая, что \bar{w} — это вектор, тогда в скалярной форме (9) примет вид

$$\begin{aligned} w_0^{(k+1)} &= w_0^{(k)} - \tau_k \frac{\partial E(\bar{w}^{(k)})}{\partial w_0} \\ w_1^{(k+1)} &= w_1^{(k)} - \tau_k \frac{\partial E(\bar{w}^{(k)})}{\partial w_1} \\ &\dots \\ w_{N_i}^{(k+1)} &= w_{N_i}^{(k)} - \tau_k \frac{\partial E(\bar{w}^{(k)})}{\partial w_{N_i}} \end{aligned} \tag{10}$$

Метод координатного спуска заключается в следующем [15–17]. Выбрав произвольное начальное приближение \bar{w}^0 , зафиксируем координаты $w_1^0, w_2^0, w_3^0 \dots w_{N_T}^0$ и найдём значение w_0^1 как решение задачи

$$w_0^1 = \arg \min(E(w_0, w_1^0, w_2^0, w_3^0 \dots w_{N_T}^0)) \tag{11}$$

каким-либо методом поиска минимума функции одной переменной, например, методом парабол. Далее аналогично находим $w_1^1, w_2^1, w_3^1 \dots w_{N_T}^1$ как решения задач одномерной оптимизации

$$\begin{aligned} w_0^1 &= \arg \min(E(w_0, w_1^0, w_2^0, w_3^0 \dots w_{N_T}^0)) \\ w_1^1 &= \arg \min(E(w_0^1, w_1, w_2^0, w_3^0 \dots w_{N_T}^0)) \\ w_2^1 &= \arg \min(E(w_0^1, w_1^1, w_2, w_3^0 \dots w_{N_T}^0)) \end{aligned} \tag{12}$$

$$\dots$$

$$w_{N_T}^1 = \arg \min(E(w_0^1, w_1^1, w_2^1, w_3^1 \dots w_{N_T}^1))$$

На этом первая итерация заканчивается, и весь итерационный процесс состоит из последовательных решений задач минимизации по отдельным координатам.

Отдельно стоит упомянуть о методе парабол для задачи одномерной оптимизации, о котором упоминалось выше и детали которого понадобятся дальше. Для начала выбираем шаг τ , с которым будем производить смещения. Затем, для определения на первой итерации

$$w_i^1 = \arg \min(E(w_0^0, w_1^0, \dots, w_i \dots w_{N_T}^0)) \tag{13}$$

необходимо сделать три шага и получить три значения интеграла энергии в трёх точках, а именно

$$\begin{aligned} E(w_i) &= E(w_0^0, w_1^0, \dots, w_i \dots w_{N_T}^0) \\ E(w_i - \tau) &= E(w_0^0, w_1^0, \dots, w_i - \tau \dots w_{N_T}^0) \\ E(w_i + \tau) &= E(w_0^0, w_1^0, \dots, w_i + \tau \dots w_{N_T}^0) \end{aligned} \tag{14}$$

По этим трём значениям можно построить параболу

$$P_2(w) = a + b(w - w_0) + c(w - w_0)^2, \tag{15}$$

где коэффициенты a, b, c находят из

$$P_2(w_i - \tau) = E(w_i - \tau), P_2(w_i) = E(w_i), P_2(w_i + \tau) = E(w_i + \tau) \tag{16}$$

Отсюда получаем, что

$$a = E(w_i), b = (E(w_i + \tau) - E(w_i - \tau)) / (2\tau), c = (E(w_i + \tau) - 2E(w_i) + E(w_i - \tau)) / (2\tau^2) \tag{17}$$

Далее ищем минимум параболы (15) и исходя из этого определяется значение w_i^1 и так далее.

Оба метода, и градиентный и координатный спуск, являются классическими методами оптимизации, которые приводят к результату. Но в зависимости от сложности задачи и нетривиальности функционала минимизации, они могут быть очень неэффективными в плане скорости сходимости. Ранее уже разрабатывались подходы к улучшению этих методов, в частности для метода градиентного спуска были разработаны методы увеличивающие скорость сходимости посредством модификации самого метода [15–17]. Но всё это решает проблему отчасти. Попробуем воспользоваться современными компьютерными технологиями, что исправить данную ситуацию и воспользуемся методами параллельного программирования для ускорения работы классических методов оптимизации.

Параллелизация классических методов оптимизации. Рассматривая классические методы оптимизации, такие как методы градиентного и координатного спусков, необходимо определить есть ли место для естественной параллелизации и, если есть, то где именно её можно встроить.

Если вспомнить про скалярную форму метода градиентного спуска (10), можно заметить что она содержит в себе возможность для естественной параллелизации на уровне инструкций, поскольку каждый сдвиг по каждой координате на зависит от других координат. В обычной последовательной реализации метод градиентного спуска выглядит для одной итерации как на рис. 1

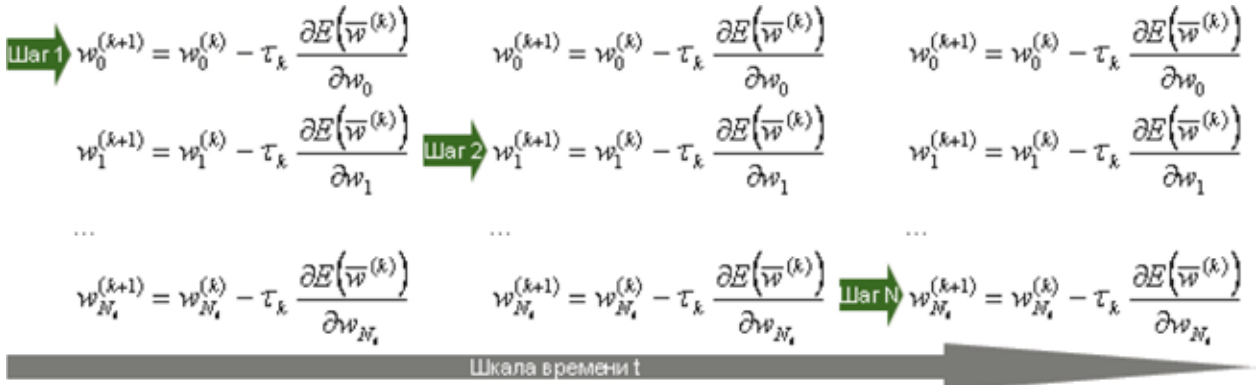


Рис. 1. Метод градиентного спуска в последовательном исполнении

В случае же использования параллельного программирования программный код можно преобразовать так, чтобы каждый шаг по каждому параметру в (10) выполнялся параллельно остальным, а именно

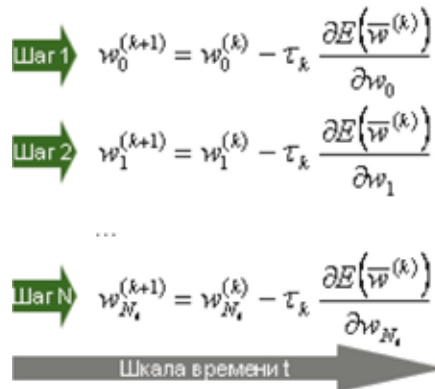


Рис. 2. Метод градиентного спуска в параллельном исполнении

Для этого можно использовать следующую языковую конструкцию (здесь и далее будет использоваться псевдоязык программирования как совмещение языка программирования C, библиотеки OpenMP и математических формул)

```
#pragma omp parallel for schedule (dynamic, 1)
for (int k=0; k<=NT-1; k++)
{
     $\bar{w}^{(k+1)} = \bar{w}^{(k)} - \tau_k \text{grad}(E(\bar{w}^{(k)}));$ 
}
```

Данная директива (#pragma omp parallel) заставит для каждого k проводить вычисления параллельно на всех доступных процессорах (ядрах) вычислительной машины. При этом библиотека берёт на себя заботу о связи и синхронизации.

В случае же метода координатного спуска при рассмотрении записи (12) можно увидеть, что в ней нет возможности для естественной параллелизации, поскольку для определения очередного значения координаты используется только

что найденное значение предыдущей координаты. Но возможность для естественной параллелизации существует в тот момент, когда мы используем метод одномерной оптимизации по конкретной координате, а именно, метод парабол (14), поскольку шаги по координате делаются независимо друг от друга. Поэтому в последовательном исполнении это выглядит как на рис. 3.

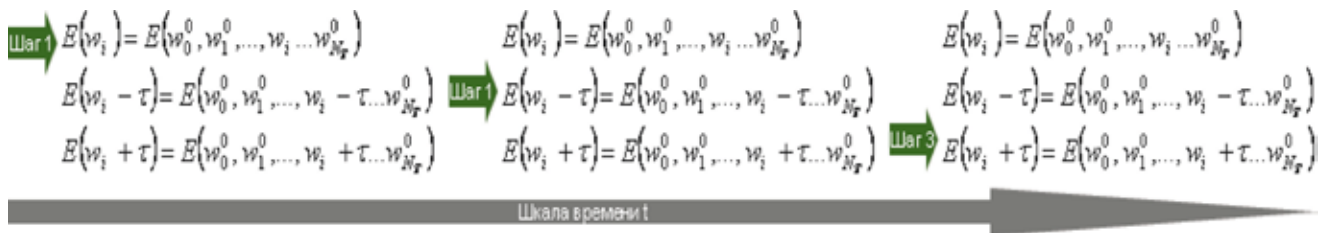


Рис. 3. Метод парабол в методе координатного спуска в последовательном исполнении

В случае же использования параллельного программирования программный код можно преобразовать так, чтобы каждый из трёх шагов в (14) выполнялся параллельно остальным, а именно

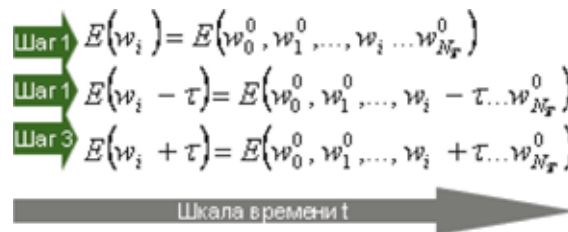


Рис. 4. Метод парабол в методе координатного спуска в параллельном исполнении

Для этого можно использовать следующую языковую конструкцию

```
#pragma omp parallel sections
{
    #pragma omp section
    {
        E(w_i) = E(w_0^0, w_1^0, ..., w_i ... w_{N_T}^0)
    }
    #pragma omp section
    {
        E(w_i - tau) = E(w_0^0, w_1^0, ..., w_i - tau ... w_{N_T}^0)
    }
    #pragma omp section
    {
        E(w_i + tau) = E(w_0^0, w_1^0, ..., w_i + tau ... w_{N_T}^0)
    }
}
```

Заключение. В результате этих манипуляций с программным кодом можно значительно сократить время выполнения программы, сократить время сходимости. Однако стоит учитывать ряд особенностей. Для параллелизации метода градиентного спуска время сходимости уменьшается пропорционально количеству процессоров, однако количество координат, по которым осуществляется спуск, может значительно превосходить количество доступных процессоров, поэтому возможности параллелизации не будут использованы полностью. Однако это можно решить за счёт выделения дополнительных вычислительных мощностей. В случае же метода парабол в методе координатного спуска могут использоваться всего лишь 3 процессора, поскольку в методе делается 3 шага, и даже при наличии сводных мощностей, они будут просто простаивать.

Литература:

1. Атамуратов А. Ж., Михайлов И. Е., Муравей Л. А. О гашении колебаний балки. // Труды ИСА РАН. Динамика неоднородных систем. Том 50 (1). — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. — С. 53–58.
2. Атамуратов А. Ж., Михайлов И. Е., Муравей Л. А. О гашении колебаний сложных механических структур // Авиакосмическая техника и технология, 2012, № 4. С. 54–59.
3. Атамуратов А. Ж. О гашении колебаний прямоугольной мембраны // Вестник Тверского государственного университета. Серия Прикладная математика. — 2013. — № 2. — С. 49–59.
4. Атамуратов А. Ж. Исследование подходов к решению задач математической физики на примере уравнения колебаний прямоугольной мембраны // Молодой ученый. № 10. 2013. С. 1–5. <http://www.moluch.ru/archive/57/6198/>
5. Атамуратов А. Ж. Приведение к тригонометрической проблеме моментов на примере задачи гашения колебаний прямоугольной мембраны, балки и прямоугольной пластины // Молодой ученый. № 11. 2013. С. 6–10. <http://www.moluch.ru/archive/58/8092/>
6. Атамуратов А. Ж. Получение интегралов энергии для прямоугольной мембраны, балки и прямоугольной пластины // Молодой ученый. № 11. 2013. С. 10–15. <http://www.moluch.ru/archive/58/8112/>
7. Атамуратов А. Ж., Михайлов И. Е. Численное решение задачи о гашении колебаний балки. Тезисы докладов Международной конференции по прикладной математике и информатике, посвященной 100-летию со дня рождения академика А. А. Дородницына. ВЦ РАН, Москва, 7–11 декабря 2010 г. С. 83–84.
8. Muravey L., Mikhailov I., Atamuratov A., The damping problem of vibrations for large mechanical systems // ICAM2011, Abstracts, Vancouver, Canada, July 18–22, 2011. P. 87.
9. Atamuratov A., Mikhailov I., Muravey L. On the numerical damping of beam's vibrations // VII International Aerospace Congress IAC'12. Abstracts. Moscow, Russia. 26–31 August, 2012. P. 31–32.
10. Атамуратов А. Ж. Решение уравнения колебаний балки. // XXXV ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды Международной молодежной научной конференции. Москва, апрель 2008 г. Москва: МАТИ, 2008. Т.5.
11. Атамуратов А. Ж. О гашении колебаний балки. // XXXVI ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды Международной молодежной научной конференции. Москва, апрель 2010 г. Москва: МАТИ, 2010. Т.5.
12. Атамуратов А. Ж. О гашении колебаний прямоугольной мембраны. // XXXVII ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды Международной молодежной научной конференции в 8 томах. Москва, 5–8 апреля 2011 г. Москва: МАТИ, 2011. Т.5, С. 60–61
13. Атамуратов А. Ж. Решение уравнения колебаний круглой пластины. // XXXVIII ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды Международной молодежной научной конференции в 8 томах. Москва, 10–14 апреля 2012 г. Москва: МАТИ, 2012. Т.5, С. 38–39
14. Атамуратов А. Ж. Численный метод решения колебаний прямоугольной пластины. // XXXIX ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды Международной молодежной научной конференции в 9 томах. Москва, 9–13 апреля 2013 г. Москва: МАТИ, 2013. Т.5, С. 32–33
15. Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы. Москва: Наука, 1989. 432 с.
16. Формалёв В. Ф., Ревизников Д. Л. Численные методы. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 400 с.
17. Рашиков В. И., Рошаль А. С. Численные методы решения физических задач. СПб: Издательство «Лань», 2005. 208 с.
18. Шилдт Г. Полный справочник по С. Москва: Издательский дом «Вильямс», 2004. 704 с.

О непараметрическом алгоритме управления макрообъектом

Банникова Анастасия Владимировна, студент;

Михов Евгений Дмитриевич, студент

Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)

Введение. В настоящее время, при управлении дискретными непрерывными процессами в разных отраслях промышленности, часто используют стандартные типовые законы регулирования (П, ПИ, ПИД регуляторы). В частности, они эффективно используются при управлении хорошо контролируруемыми техническими объектами, в частности, плавильными печами, реакторами, турбинами и др. Совершенно ясно, что качество регулирования различного рода зависит от настроек соответствующих регуляторов, и в ряде случаев оказывается недостаточно эффективными. Отметим

еще одно обстоятельство, что типовые регуляторы, используемые в промышленности, не являются обучающими (адаптивными). Это значит, что при повторном переводе объекта из одного состояния в другое, регулятор функционирует таким же образом, как и ранее.

Предметом исследования настоящей статьи является построение обучающегося, адаптивного управляемого устройства, которое в процессе функционирования, улучшает рабочие свойства управляющей системы. На этом пути естественно использование теории адаптивных управляющих систем [1], но параметрическая теория адаптивных систем предполагает предварительную параметризацию объекта. В случае недостатка априорной информации об исследуемом объекте, часто не представляется возможным обоснованно выбрать параметрическую структуру модели. В этом случае, исследователь вынужден, обрабатывая имеющиеся выборки «входных-выходных» переменных, «добывать» дополнительную априорную информацию, которая позволит более обоснованно определиться с параметрической структурой модели.

В случае, когда априорной информации недостаточно, чтобы выбрать параметрическую структуру модели исследуемого процесса, естественно использовать теорию непараметрической системы управления [2, 3]. Непараметрическая теория, в отличие от предыдущей, предполагает, что известны только качественные характеристики системы. Это означает, что использование непараметрической теории позволяет полностью уйти от вопроса определения параметрической структуры объекта.

В настоящей статье сделан акцент на исследование непараметрического алгоритма дуального управления дискретными непрерывными процессами.

Уровни априорной информации. Рассмотрим системы с различным уровнем априорной информации:

— системы с полной информацией. В этом случае оператор процесса известен точно, а случайные помехи, действующие на объект и в каналах связи, отсутствуют.

При решении задач идентификации и управления могут быть использованы методы математической теории оптимальных процессов, а также другие методы.

— системы с неполной информацией. Это системы с независимым (пассивным) накоплением информации. В этом случае, влияние входного воздействия воспринимается как просто случайное воздействие. Помехи это обычно предполагаемое в теории стохастических систем случайное воздействие на объект. Кроме того, класс операторов не известен точно, но необходимы предположения о плотности распределения всех случайных факторов. Обычно плотности вероятности случайных факторов, действующих на объект и в каналах измерения переменных, предполагаются нормальными и аддитивными. Ясно, что в этом случае необходимо наличие выборки «входных-выходных» переменных объекта.

— системы с активным накоплением информации. Особенность этого уровня априорной информации состоит в том, что задачи идентификации и задачи управления здесь могут быть объединены. Элементы выборки измерений поступают последовательно в обучающую модель и систему управления. Таким образом, в случае объединения этих задач выработка управляющих воздействий носит двойственный характер — они должны быть одновременно и изучающими, и управляющими, т. е. носить дуальный характер [4]. Однако, если помехи, действующие на процесс, аддитивны и в каналах измерения, то в целом система дуального управления может быть приведена к разомкнутой, т. е. темп накопления информации оказывается независимым от значений входных переменных. Такие системы называют приводимыми к разомкнутому или нейтральными. Но существует класс не нейтральных систем, т. е. класс неприводимых.

— системы с параметрической неопределенностью. Параметрический уровень априорной информации предполагает наличие параметрической структуры модели и некоторых характеристик случайных помех, обычными из них являются нулевое математическое ожидание и ограниченная дисперсия. Для оценивания параметров используются чаще всего разнообразные итеративные вероятностные процедуры. При этих условиях также решается задача идентификации в узком смысле, как и во всех предыдущих случаях.

— системы с непараметрической неопределенностью. Непараметрический уровень априорной информации не предполагает наличие модели, но требует наличие некоторых сведений качественного характера о процессе, например, однозначность, либо неоднозначность его характеристик, линейность для динамических процессов либо характер его нелинейности. Для решения задач идентификации на этом уровне априорной информации (идентификация в «широком смысле» [5]) применяются методы непараметрической статистики.

— системы с параметрической и непараметрической неопределенностью. Важными с точки зрения практики являются задачи идентификации многосвязных систем в условиях, когда объем исходной информации не соответствует ни одному из вышеописанных типов. Например, для отдельных характеристик многосвязного процесса на основании физико-химических закономерностей, энергетических, закона сохранения массы, балансовых соотношений могут быть выведены параметрические закономерности, а для других нет. Таким образом, мы находимся в ситуации, когда задача идентификации формулируется в условиях и параметрической, и непараметрической априорной информации. Тогда и модели представляют собой взаимосвязанную систему параметрических и непараметрических соотношений.

Постановка задачи. Для изложения дальнейшего нам понадобится анализ следующей блок-схемы (рис. 1).

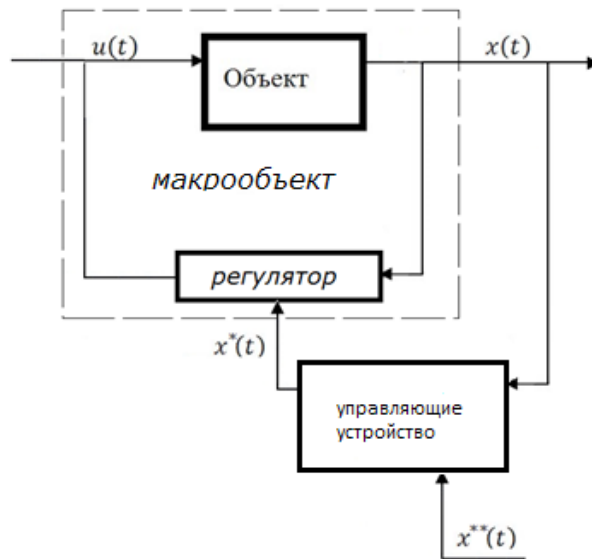


Рис. 1

Где $x(t)$ — выходная переменная процесса, $u(t)$ — входное управляющее воздействие, $x^*(t)$ — задающее воздействие регулятора, $x^{**}(t)$ — задающее воздействие программируемого устройства. (t) — непрерывное время. Контроль переменных (x, u) осуществляется через интервал времени Δt , т. е. $(x_i, u_i, i = \overline{1, s})$ — выборка измерений переменных процесса, s — объем выборки.

Примечательно, что в выше описанной схеме, что встроенный в систему управления типовой регулятор сохранен, но добавлен внешний контур управления, несущий в себе черты обучаемости и дуализма. Для него объект и регулятор являются своеобразным макрообъектом.

Очевидно, что управляющие устройство является внешним контуром управления, который позволяет улучшить качество управления объекта. При этом замена типовых регуляторов, которые находятся в производстве (П, ПИ, ПИД), не предполагается. Это связано с тем, что стандартные регуляторы — аналоговые, и часто более надежные в работе, чем цифровые, которые в большей степени подвержены воздействию внешней среды (резкий перепад температур, вибрации, агрессивной среды, воздействия различного рода излучениям).

Непараметрическая оценка плотности вероятности. Пусть $x_i, i = \overline{1, n}$ статически независимые наблюдения случайной величины x , распределенной с неизвестной плотностью вероятности $p(x)$. Естественно связать с каждой точкой $x_i, i = \overline{1, n}$ дельта функцию $\delta(x_i - x)$, тогда статистика

$$\hat{p}(x) = n^{-1} \sum_{i=1}^n \delta(x_i - x), \tag{1}$$

оказывается несмещенной оценкой $p(x) \forall x \in \Omega(x)$.

Но оценка типа (1) не может быть использована в конкретных расчетах, поэтому естественно δ -функцию «размазать» в окрестности точки $x = x_i, i = \overline{1, n}$ [6].

$$P_n(x) = n^{-1} \sum_{i=1}^n \delta_n(x - x_i), \tag{2}$$

где $\delta_n(x - x_i)$, уже не дельта-функция, но обращается в последнюю при $n \rightarrow \infty$. Далее, в качестве $\delta_n(x - x_i)$, мы будем рассматривать следующий тип колоколообразных функций

$$\delta_n(x - x_i) = C_n^{-1} \Phi \left[\frac{x - x_i}{C_n} \right]. \tag{3}$$

Тогда оценка $p(x)$ примет вид

$$P_n(x) = n^{-1} C_n^{-1} \sum_{i=1}^n \Phi(C_n^{-1}(x - x_i)), \tag{4}$$

где интегрируемая с квадратом функция $\Phi(\cdot)$ такова, что $\Phi(\cdot) < \infty$,

$$C_n^{-1} \int_{\Omega(x)} \Phi(C_n^{-1}(x - x_i)) dx = 1, \tag{5}$$

$z \in \Omega(z)$, $\lim_{n \rightarrow \infty} C_n^{-1} \Phi(C_n^{-1}(x - x_i)) = \delta(x - x_i)$, а параметр C_n (коэффициент размытости) удовлетворяет условиям:

$$C_n > 0, n = 1, 2, \dots, \lim_{n \rightarrow \infty} C_n = 0, \lim_{n \rightarrow \infty} n C_n = \infty \tag{6}$$

Может быть рассмотрена и иная оценка плотности вероятности, а именно

$$p_n(x) = n^{-1} \sum_{i=1}^n C_i^{-1} \Phi(C_i^{-1}(x - x_i)), \tag{7}$$

допускающая рекуррентный вариант записи

$$p_n(x) = p_{n-1}(x) - n^{-1} (p_{n-1}(x) - C_n^{-1} \Phi(C_n^{-1}(x - x_n))). \tag{8}$$

Если x — вектор размерности k , т. е. $x = (x_1, \dots, x_k) \in R^k$, то в качестве непараметрических оценок используются статистики

$$p_n(x) = \left[n \prod_{j=1}^k C_j[x] \right]^{-1} \sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^k \Phi(C_j[n](x_j - x_j[i])), \tag{9}$$

$$p_n(x) = \left[n \prod_{j=1}^k C_j[x] \right]^{-1} \sum_{i=1}^n \Phi(C_1^{-1}[n](x_1 - x_1[i]), \dots, C_k^{-1}[n](x_k - x_k[i])), \tag{10}$$

$$p_n(x) = p_{n-1}(x) - n^{-1} (p_{n-1}(x) - \prod_{j=1}^k C_j^{-1} \Phi(C_j^{-1}[n](x_j - x_j[n]), \dots, C_k^{-1}[n](x_k - x_k[n])), \tag{11}$$

Интегрируемые с квадратом функции $\Phi(\cdot)$ в (9)-(11) удовлетворяют условиям типа (8), последовательности $C_n = (C_1[n], \dots, C_k[n])$ также удовлетворяет условиям (6) кроме последнего предельного соотношения, которое в многомерном случае примет вид

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n \prod_{j=1}^k C_j[n] = \infty. \tag{12}$$

Выполнение условий (5), (6), (12), накладываемых на функции $\Phi(\cdot)$ и последовательности C_n , в дальнейшем изложении предполагаются всюду. Поэтому, далее, специально это отмечаться не будет.

Непараметрические оценки кривой регрессии. Пусть имеется статически независимые наблюдения двух случайных величин $(x, y) = (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$, распределенных с неизвестной плотностью вероятности $P(x, y)$ [6]. Предполагается, что $p(x) > 0 \forall x \in \Omega(x)$. При аппроксимации неизвестных стохастических зависимостей y от x часто используют регрессию y по x :

$$y(x) = f(x) = \left(\int_{\Omega(y)} P(x, y) dy \right)^{-1} \int_{\Omega(y)} y P(x, y) dy, \tag{13}$$

непараметрическая оценка которой, как известно, имеет вид:

$$y_n(x) = f_n(x) = \left(\sum_{i=1}^n \Phi \left[\frac{x - x_i}{C_n} \right] \right)^{-1} \sum_{i=1}^n y_i \Phi(C_n^{-1}(x - x_i)). \tag{14}$$

Оценку (29) можно получить из (2) подстановкой в нее непараметрической оценки двумерной плотности вероятности $P(x, y)$ и при условии, что

$$C_n^{-1} \int_{\Omega(y)} y \Phi(C_n^{-1}(y - y_i)) dy = y_i, \quad i = \overline{1, n}. \tag{15}$$

Выполнение последнего требования всюду в дальнейшем предполагается.

Многомерный аналог (14) в случае, когда $x = (x_1, \dots, x_k)$ и $y = (y_1, \dots, y_m)$ векторы, будет иметь вид

$$y_n^j = \pi \left(\left(\prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^k \Phi(C_j^{-1}(n)(x^j - x_i^j)) \right) \right)^{-1} \sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^k y_i^j \Phi(\cdot), \quad j = \overline{1, m}. \tag{16}$$

Можно получить и другие оценки $y(x)$, если воспользоваться непараметрическими оценками плотности (10), (11).

Непараметрическая оценка кривой регрессии (4) является сходящейся в среднеквадратическом и асимптотически несмещенной, т. е.

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} M\{(f(x) - f_n(x))^2\} &= 0, & \forall x \in \Omega(x) \\ \lim_{n \rightarrow \infty} M\{f_n(x)\} &= f(x), & \forall x \in \Omega(x) \end{aligned} \tag{17}$$

Следует добавить, оценка регрессии свободна от параметрической структуры объекта.

Дуальное управление. Основным принципом, который положен в основу построения систем автоматического управления, является принцип управления по отклонению или принцип отрицательной обратной связи. Поскольку ошибка (отклонение состояния системы от заданного) несёт на себе отпечаток влияния различных неконтролируемых внешних воздействий, она является универсальным показателем состояния работы системы.

Недостаток априорной информации об объекте приводит к необходимости совмещать изучение объекта и управление им! При таком управлении управляющие воздействия носят двойственный характер. Они служат средством изучения, познания объекта, но также и средством приведения объекта к требуемому состоянию. Такое управление, при котором управляющие воздействия носят двойственный характер, называют дуальным управлением [4]. При этом оказывается, что управляющая и познавательная стороны этих воздействий противоречивы. Действительно, нельзя качественно управлять объектом, не зная его характеристик, но выяснение этих характеристик требует длительного изучения объекта. Вряд ли можно надеяться, что слишком поспешное управление без достаточной информации об объекте, как и слишком осторожное управление, хотя и основанное на накоплении информации, но действующее, когда надобность в нём миновала, приведут к успешному результату.

Двойственность знания и управления, как подчёркивал К. Шеннон, тесно связана с двойственностью прошлого и будущего. Можно знать прошлое, но нельзя управлять им и можно управлять будущим, но мы никогда не знаем его.

Дуальное управление было открыто А. А. Фельдбаумом и развито на основе теории статистических решений [4]. Такой путь предполагает знание априорной плотности распределения случайных возмущений и параметров управляемого объекта. Если же эти плотности распределения неизвестны, то нужно искать, видимо, новые пути решения задач.

Из изложенного видно, что обучающиеся системы управления являются системами «с памятью» т. е. они не только способны изучать характеристики объекта, но и сохраняя их в памяти, вырабатывать оптимальные управляющие воздействия. Теория непараметрических систем управления достаточно подробно изложена в [2].

Непараметрический алгоритм дуального управления, как следует из [2] имеет вид:

$$u_{s+1} = u_s^* + \Delta u_{s+1}, \tag{18}$$

где u_s^* сосредоточены «знания» об объекте, а Δu_{s+1} — «изучающие» поисковые шаги:

$$\Delta u_{s+1} \in (x_{s+1}^* - x_s) \tag{19}$$

В этом и состоит дуализм алгоритма (18).

В качестве оценки объекта $x = f(u, \mu)$ примем оценку функции регрессии по наблюдениям $\{x_i, u_i, i = \overline{1, s}\}$,

$$x(u) = \frac{\sum_{i=1}^s x_i \cdot \Phi\left(\frac{u - u_i}{C_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{u - u_i}{C_s}\right)}, \tag{20}$$

где колоколообразные функции $\Phi(\cdot)$ и параметр размытости c_s удовлетворяют некоторым условиям сходимости [4], $u = f^{-1}(x)$, где $f^{-1}(x)$ — функция, обратная $f(u)$, а u_s^* из (18) будет равно

$$u_s^* = \frac{\sum_{i=1}^s x_i \cdot \Phi\left(\frac{x^* - x_i}{C_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{x^* - x_i}{C_s}\right)}, \tag{21}$$

где x^* — задающее воздействие.

Проанализируем характер дуализма алгоритма (18). На начальной стадии управления основная роль принадлежит второму слагаемому Δu_{s+1} формулы (18). Это случай активного накопления информации в системе дуального управления, который начинается с появления первого наблюдения входной и выходной переменных объекта. По мере процесса обучения (накопления информации) всё возрастающую роль при формировании управляющего воздействия u_{s+1} начинает играть первое слагаемое, т. е. u_s^* . Таким образом, в процессе дуального управления объектом фигурируют как этап изучения объекта, так и этап приведения его к цели.

Вычислительный эксперимент. Приведем некоторые результаты вычислительных экспериментов. Для имитации реального объекта была принята следующая функция:

$x(t) = au^2(t) + bu_2 + \zeta(0, \sigma_\xi^2)$, где $\zeta(0, \sigma_\xi^2)$ — центрированная аддитивная помеха, с нулевым математическим ожиданием, и ограниченной дисперсией.

В качестве коэффициентов была приняты значения: $a = 2, b = 1.5$

В качестве алгоритма управления был выбран П — алгоритм, который описывается следующей формулой:

$u_s^* = K_p(x^* - x_i)$, где K_p — пропорциональный коэффициент, который взят равным $K_p = 0,1$. Значения k, α в непараметрическом алгоритме управления были приняты равными: $k = 0,2, \alpha = 0,15$. Объем выборки равный 300.

Приведем работу системы управления макрообъектом при ступенчатом воздействии при разном уровне помех (рис. 2 — помеха отсутствует, рис. 3 — помеха 5 %, рис. 4 — помеха 30 %).

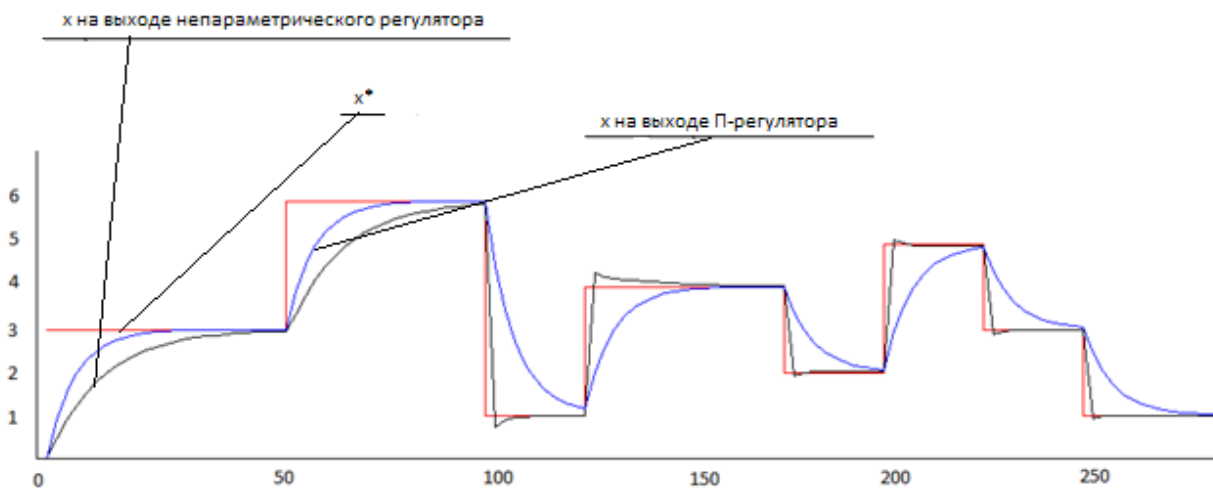


Рис. 2

Обучение управлению начинается с первой пары наблюдений (x_1, u_1) , (т. е. выработка управляющего воздействия осуществляется при наличии пар $(x_i, u_i), i = 1, s$. На начальной стадии управления необходимо некоторое время (накопление выборки) для приведения объекта в заданное состояние.

Необходимо отметить, что предложенный алгоритм управления является наиболее устойчивым к помехе, и даже при достаточно высоком уровне (30 %), позволяет получить удовлетворительный результат.

Изменим параметр k , который отвечает за размер «шагов». Представим $k = 1,5$ (рис. 5)

Как мы можем наблюдать, алгоритм начинает расходиться, не успевая достигать задания. Теперь, напротив, уменьшим коэффициент k до 0,01 (рис. 6).

В данном случае мы наблюдаем обратную картину: алгоритму наоборот «не хватает» шагов до достижения задающего воздействия.

Увеличим параметр α , регулирующий коэффициент размытости ядра $\alpha = 0,15$ (рис. 7)

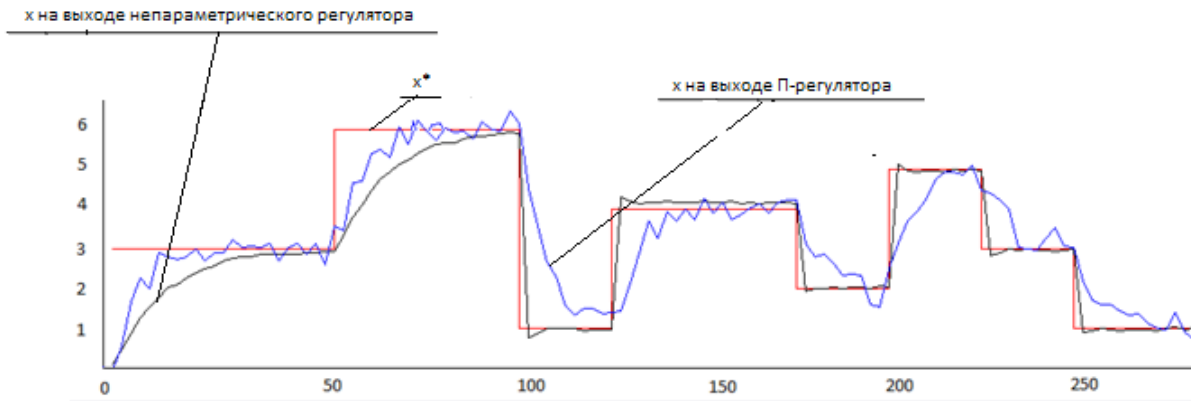


Рис. 3

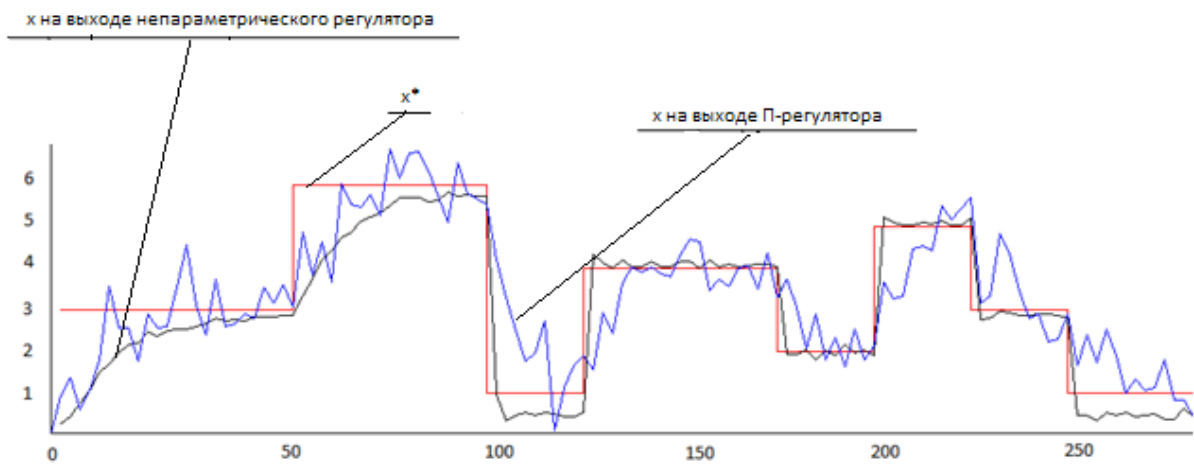


Рис. 4

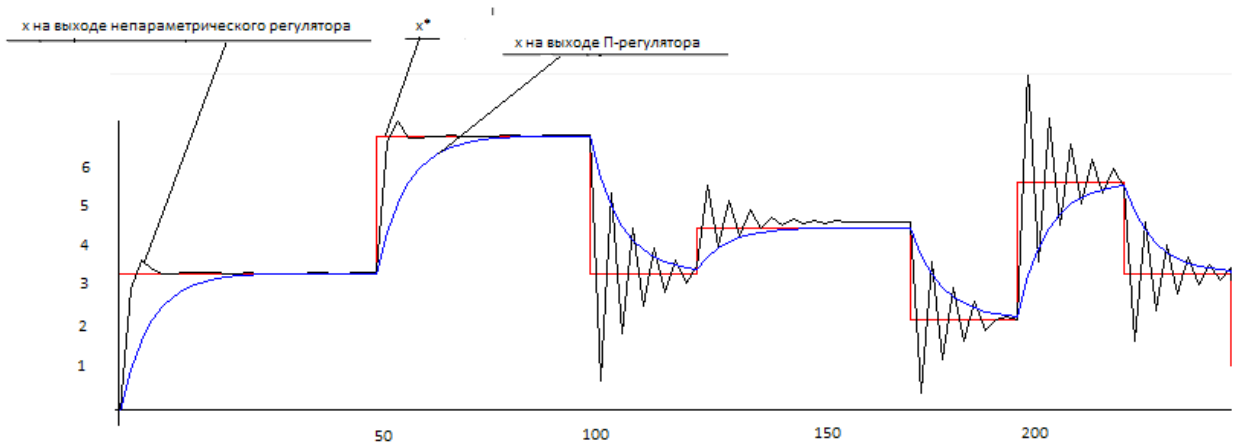


Рис. 5

Как видно из рисунка, алгоритм усредняет результат, это можно объяснить тем, что параметр α прямо пропорционален коэффициенту размытости ядра, тем самым увеличивая, его мы увеличиваем и C_s , вследствие чего под «купол ядра» попадает слишком много элементов выборки, что и приводит к усреднению.

Ранее мы рассматривали случай, активного накопления информации. Рассмотрим ситуацию, когда известно 50 наблюдений до работы алгоритма. рис. 5 объект без помехи, на рис. 6 с помехой равной 5 %.

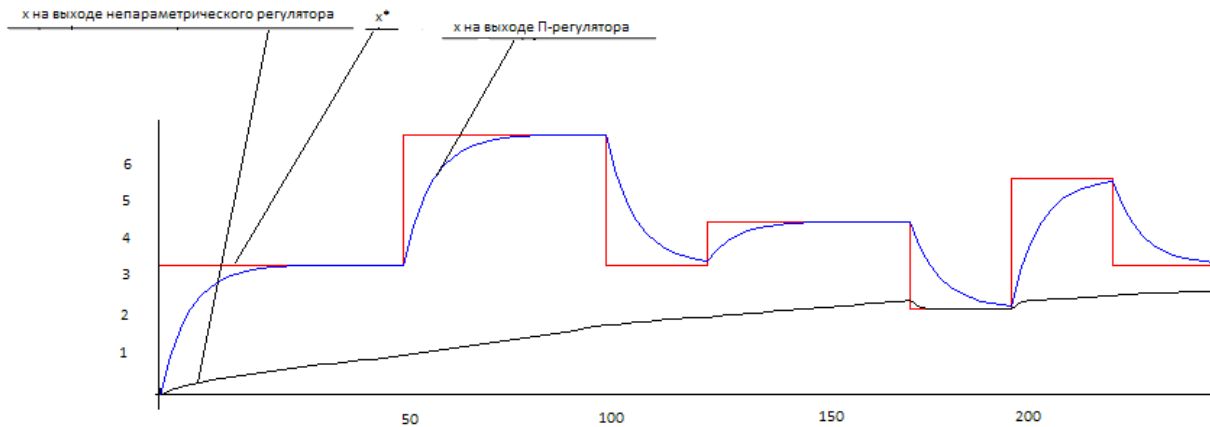


Рис. 6

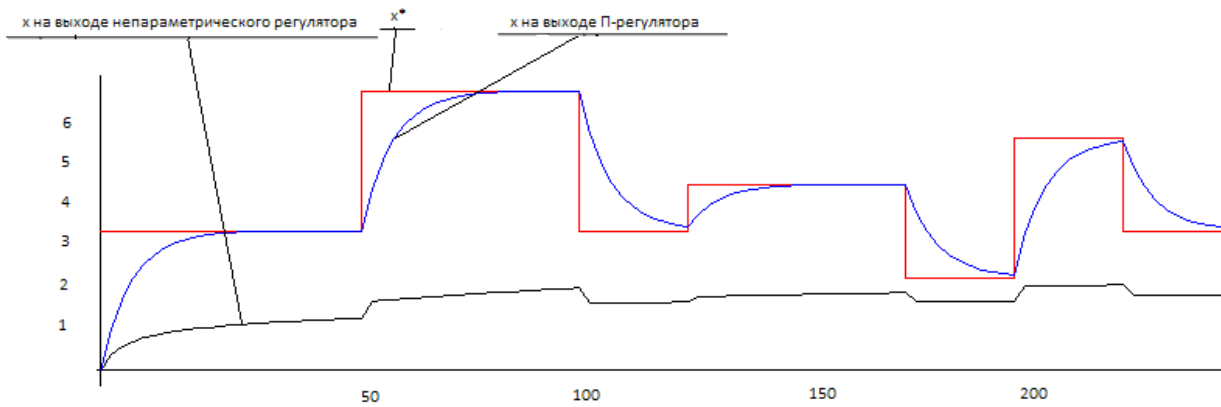


Рис. 7

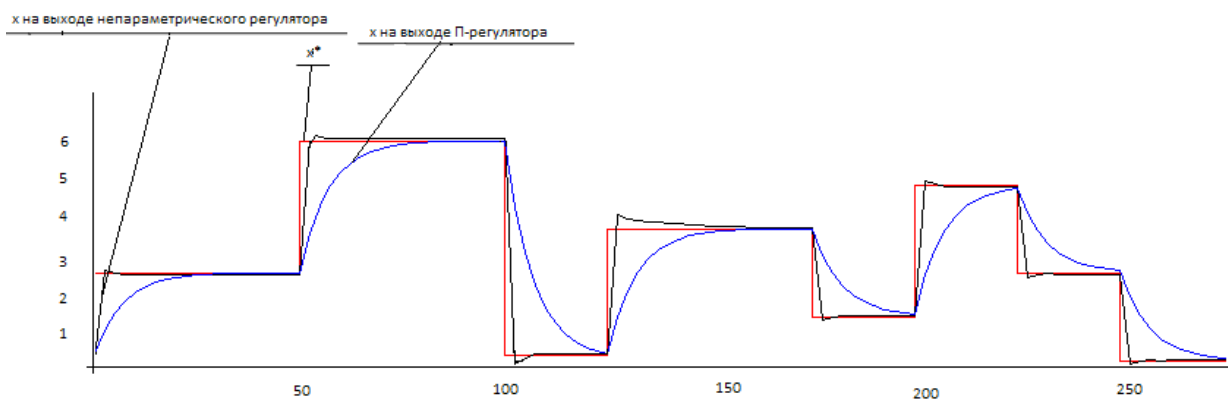


Рис. 8

Анализируя рис. 8–9 можно сделать вывод, что данный алгоритм, действительно обладает адаптивными свойствами, свойствами обучаемости: полученная информация об объекте на первых 50 наблюдениях, позволяет при работе алгоритма быстрее достигать задающего воздействия на последующих шагах.

Представим задающие воздействие в виде траектории, имеющей вид: $x(t) = 4 + 2\sin(t/10)$

Здесь мы представили случай, когда адаптивный регулятор, явно превосходит обычный П-регулятор. x^* здесь — за-

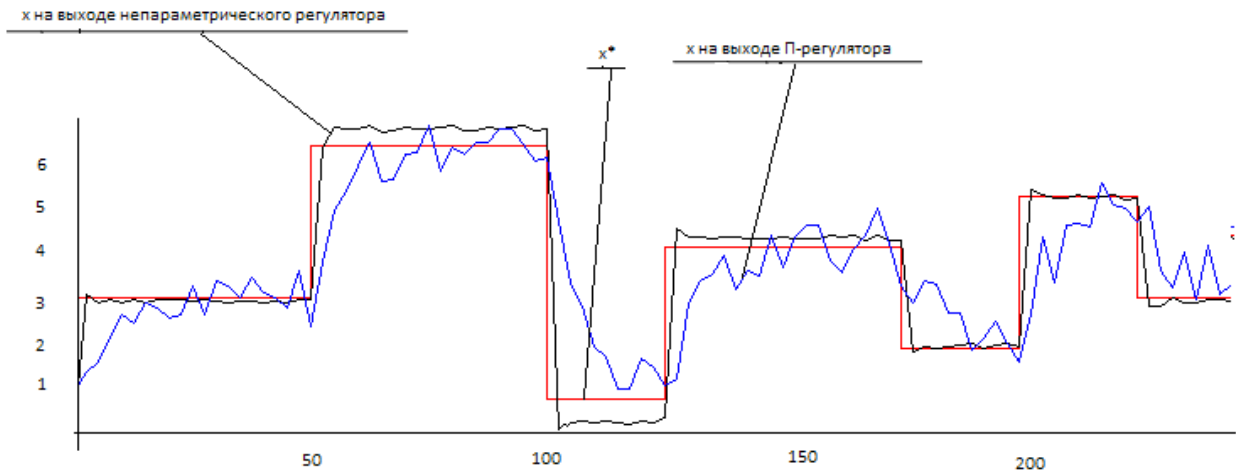


Рис. 9

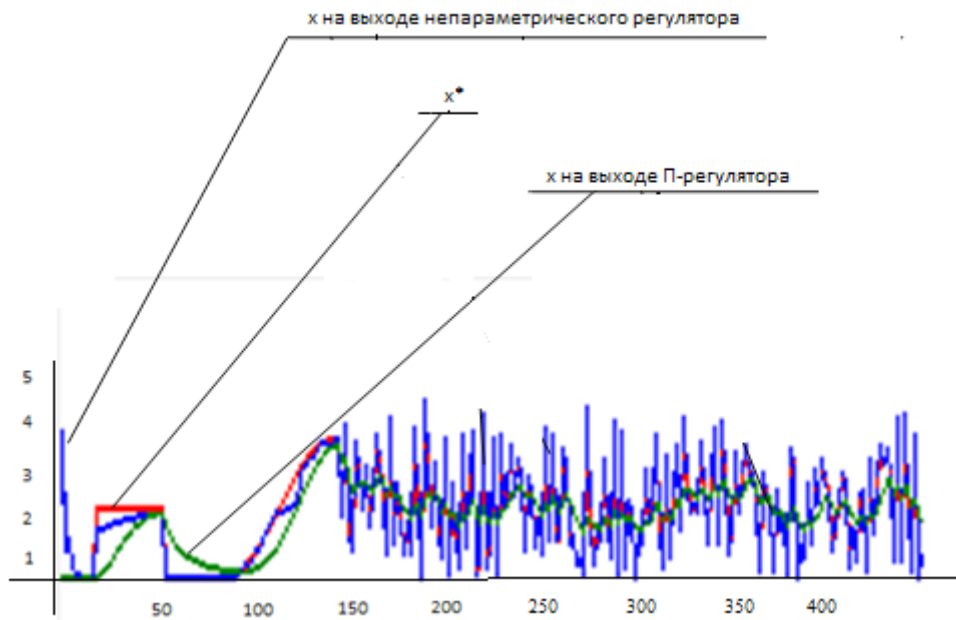


Рис. 10

дается случайно, и, разумеется, стандартные алгоритмы регулирования не успевают подстроиться, в то время как адаптивный алгоритм, запомнив, как достигнуть нужной результат, всегда попадает в точку.

Как мы здесь видим П-регулятор, «не успевает» подстроиваться под x^* , вследствие того, что оно постоянно меняется, но как только мы добавляем адаптивный регулятор, который «запоминает», как достичь желаемого результата, сразу видно, что после обучения, объект мгновенно переходит к желаемому результату.

Заключение. В настоящей статье рассматривается новый класс задач управления, ориентированных на управление дискретными непрерывными процессами. Актуальность этой задачи обусловлена тем, что при управлении техническими процессами, типовые регуляторы сохраняются, но добавляется внешний контур управления, что существенно улучшает качество управления системы в целом.

Основное внимание уделяется построению непараметрической системы дуального управления. В этой связи даются краткие сведения о непараметрической оценки функции плотности распределения вероятностей и регрессии по имеющимся реальным выборкам. Обсуждается проблема дуализма при управлении дискретным непрерывным процессом. Достаточно подробно изложены результаты вычислительного эксперимента, как и следовало ожидать, введение внешнего контура позволяет повысить качество регулирования процессом. Следует также заметить, что важность задачи управления безынерционными объектами обусловлена, прежде всего, средствами контроля выходным переменных объ-

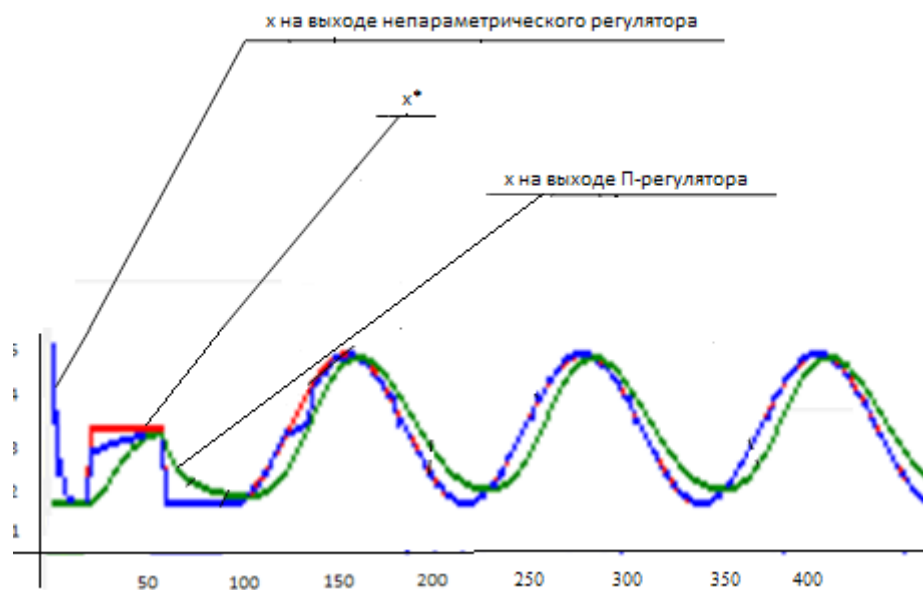


Рис. 11

екта, так как следует учитывать, что контроль доступен не электрическими средствами, а соответствующей методикой лабораторного контроля, и зачастую оказывается, что время, затраченное на измерение переменных, может значительно превышать постоянной времени объекта. Изложенные непараметрические алгоритмы дуального управления легко распространяются на безынерционные системы с запаздыванием.

Огромная благодарность выражается нашему научному руководителю Медведеву Александру Васильевичу за постоянную поддержку и труд, вложенный в нас.

Литература:

1. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах. Изд. «Наука», 1968 г. — 400 с.
2. Медведев А. В. Непараметрические системы адаптации. — Новосибирск, Наука, 1983. — 174 с.
3. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Моделирование // Вестник СибГАУ. 2010. № 4 (30). С. 4–9.
4. Фельдбаум А. А. Основы теории оптимальных автоматических систем. Москва. Изд. Физматгиз, 1963 г. — 552 с.
5. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. М.: Мир, 1975. — 683с
6. Надарая Э. А. Непараметрические оценки плотности вероятности и кривой регрессии, изд. Тбил. ун-т, 1983. — 194 с.

Математическая модель одиночной популяции на билोकальном ареале

Колпак Евгений Петрович, доктор физико-математических наук, профессор;

Горбунова Екатерина Андреевна, аспирант;

Балыкина Юлия Ефимовна, ассистент;

Гасратова Наталья Александровна, аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет

Исследуется система двух дифференциальных уравнений, представляющая собой математическую модель одиночной популяции на билोकальном ареале. Рассматриваются обобщенная логистическая популяция и популяция Олли. Осуществляется поиск стационарных точек и анализируется их устойчивость. Для популяции Олли найдены условия, при выполнении которых возможно существование нескольких равновесных состояний.

Ключевые слова: популяция, дифференциальные уравнения, математическое моделирование.

Введение. Принципы построения математических моделей популяционной биологии разрабатывались в работах Лотки и Вольтерра [1, 6] в первой половине двадцатого века. На сегодняшний день во многих работах предлагаются и исследуются модели, в которых вводятся, отличные от вольтерровских, функции взаимодействия популяций [1–3, 6, 13, 24, 26–29, 35]. При этом в большей части опубликованных работ изучается взаимодействие «хищник-жертва» в системе с идеальным перемешиванием, в которой не учитывается пространственная неоднородность биологической среды [2, 6, 13]. Гетерогенность среды требует учета пространственного распределения популяции. В таких моделях используется системы типа «реакция-диффузия» [13, 24, 26–28, 33, 34–36]. Во втором подходе территория разбивается на «камеры» с различными свойствами, между которыми происходит обмен особями [6, 13, 31]. Примерами таких камер в природе могут быть соседние поля и острова, сообщающиеся водные системы, зоны сезонного обитания птиц и животных [4, 5, 7, 8–12, 14–19, 21–23, 25, 30, 32]. В работе предлагается модель одиночной популяции, обитающей на билोकальном ареале [6], представляющего собой два ареала (камеры), между которыми происходит обмен особями.

Математические модели популяций. В [28] была введена обобщенная логистическая популяция, локальный закон роста которой описывается уравнением

$$\frac{du}{dt} = f(u), \quad (1)$$

где $f(u)$ непрерывная на промежутке $[0, K]$ функция, удовлетворяющая следующим условиям

$$\begin{aligned} f(0) = f(K) = 0; \\ f'(0) = \mu > 0; \\ f''(u) < 0 \text{ для } u \in [0, K]. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь K — емкость среды, а параметр μ называется мальтузианским.

Условие $f(0) = 0$ естественное, поскольку в отсутствие особей популяция возникнуть не может, условие $0 < f'(0)$ обеспечивает рост возникшей популяции и неустойчивость стационарной точки $u = 0$, условие $f(K) = 0$ — ограниченность численности популяции сверху, условие $f'(K) < 0$ — устойчивость стационарной точки $u = K$. Поэтому все решения уравнения (1) при выполнении условий (2) будут монотонно возрастающими, выходя из точки $u = u_0 = u(t = 0)$ и стремиться к значению $u = K$ при $t \rightarrow \infty$.

Отличной от модели обобщенной логистической популяции, является модель популяции Олли [26] ($0 < \beta < 1$)

$$f(u) = \mu u(1 - u/K)(u - \beta),$$

в которой учитывается эффект гибели малочисленной популяции. В этой модели устойчивыми стационарными точками являются $u = 0$ и $u = K$, а неустойчивой — $u = \beta$.

Значения параметров μ и β , как следует из анализа экспериментальных данных, могут изменяться в достаточно широком диапазоне. Так, например, для животных и птиц по данным, приведенным в [9, 10, 14, 15–16, 18] и [11, 17, 23], параметр μ изменяется от 0.1 до 1.0 1/год, а параметр β — от 0 до 0.3.

Билोकальный ареал. Пусть две группы одной и той же популяции существуют на двух соседних ареалах с разными биофизическими (рождаемость, смертность, внутривидовая конкуренция) свойствами [6]. При этом происходит переход особей из одного ареала в другой. Модель взаимодействия двух таких групп одной и той же популяции описывается системой уравнений

$$\begin{aligned} \frac{du_1}{dt} &= f_1(u_1) - v_1 u_1 + a v_2 u_2, \\ \frac{du_2}{dt} &= f_2(u_2) + \frac{1}{a} v_1 u_1 - v_2 u_2, \end{aligned} \tag{3}$$

где u_1 — численность популяций в первом ареале, а u_2 — во втором, v_1 и v_2 — удельные скорости переходов, соответственно, из первого ареала во второй и из второго в первый, $a = K_2 / K_1$ — отношение емкостей ареалов. $f_1(u)$ и $f_2(u)$ — «трофические» функции для первого и второго ареалов, соответственно. Введение безразмерного параметра a позволяет считать, что $f_1(1) = 0$ и $f_2(1) = 0$.

Особыми точками системы уравнений (3) будут $u_1 = 0$, $u_2 = 0$ и решения системы алгебраических уравнений

$$\begin{aligned} f_1(u_1) - v_1 u_1 + a v_2 u_2 &= 0, \\ f_2(u_2) + \frac{1}{a} v_1 u_1 - v_2 u_2 &= 0. \end{aligned} \tag{4}$$

Из этих уравнений следует, что в стационарных точках выполняется равенство

$$f_1(u_1) + a f_2(u_2) = 0.$$

Обобщенная логистическая популяция. Для обобщенной логистической популяции (1)-(2) последнее равенство, поскольку $f_1(u) < 0$ и $f_2(u) < 0$ при $u > 1$, может выполняться только в том случае, если численность одной популяции будет больше единицы, а второй — меньше единицы. Если скорости переходов и емкости сред одинаковы, то системе уравнений (4) удовлетворяет решение $u_1 = u_2 = 1$ независимо от вида функций $f_1(u)$ и $f_2(u)$.

В отсутствие переходов популяции существуют независимо друг от друга. Устойчивой стационарной точкой в этом случае является $u_1 = u_2 = 1$. При возникновении миграции со временем произойдет переход в новое положение равновесия, определяемое как решение системы уравнений (4). При малых значениях v_1 и v_2 из разложения в ряд левых частей уравнения (4) в первом приближении с точностью до величин второго порядка малости можно принять, что

$$u_1 = 1 - \frac{1}{\mu_1} (v_1 - a v_2), \quad u_2 = 1 + \frac{1}{a \mu_2} (v_1 - a v_2), \quad \text{где } \mu_1 = -f_1'(1), \quad \mu_2 = -f_2'(1).$$

Отсюда следует, что при одинаковых скоростях обмена между ареалами ($v_1 = v_2$) должна увеличиться численность того ареала, емкость которого меньше. При одинаковых емкостях сред ($a = 1$) численность ареала, скорость миграции из которого больше, уменьшится.

Собственные значения матрицы Якоби правой части системы уравнений (3) являются корнями характеристического полинома

$$\lambda^2 - (f_1' - v_1 + f_2' - v_2) \lambda + f_1' f_2' - f_1' v_2 - f_2' v_1 = 0,$$

где производные

$$f_1' = \frac{\partial f_1(u_1)}{\partial u_1}, \quad f_2' = \frac{\partial f_2(u_2)}{\partial u_2}$$

вычисляются в стационарных точках.

Стационарные точки уравнений (3), являющиеся решением системы уравнений (4), будут устойчивыми, если выполняются неравенства

$$f_1' - v_1 + f_2' - v_2 < 0, \quad 0 < f_1' f_2' - f_1' v_2 - f_2' v_1.$$

Эти неравенства выполняются, если в стационарных точках $f_1' < 0$ и $f_2' < 0$.

Для обобщенной логистической популяции (1)-(2) $f_1'(0) = \mu_1$, а $f_2'(0) = \mu_1$. В первой стационарной точке характеристический полином будет иметь оба корня с отрицательными вещественными частями, если одновременно выполняются неравенства

$$\mu_1 \left(\frac{v_1}{\mu_1} - 1 \right) + \mu_2 \left(\frac{v_2}{\mu_2} - 1 \right) > 0, \quad \frac{v_1}{\mu_1} + \frac{v_2}{\mu_2} < 1.$$

При выполнении второго неравенства, а оно удовлетворяется только в том случае, если одновременно $v_1 / \mu_1 < 1$ и $v_2 / \mu_2 < 1$, первое выполняться не может. Соответственно эти неравенства для обобщенной логистической популя-

ции одновременно выполняться не могут. Поэтому хотя бы один корень характеристического полинома будет иметь положительную вещественную часть и, соответственно, тривиальное решение неустойчиво. Для случая, когда $f_1(u) \equiv f_2(u)$, $v_1 = v_2$, $a = 1$, устойчивой стационарной точкой является $u_1 = 1, u_2 = 1$.

Для случая, когда $v_2 = 0$, система уравнений принимает вид

$$\begin{aligned}\frac{du_1}{dt} &= f_1(u_1) - v_1 u_1, \\ \frac{du_2}{dt} &= f_2(u_2) + \frac{1}{a} v_1 u_1.\end{aligned}$$

Первое уравнение является уравнением для одиночной популяции, подверженной промыслу. Если скорость перехода v_1 будет достаточно велика, то первая популяция со временем покинет ареал. При этом, как это следует из (4), на предельное значение численности популяции во втором ареале это не отразится.

Популяция Олли. Для популяции Олли, обитающей в двух одинаковых ареалах и с одинаковыми скоростями перехода особей, система уравнений (3) принимает вид

$$\begin{aligned}\frac{du_1}{dt} &= \mu u_1 (u_1 - \beta)(1 - u_1) + v(u_2 - u_1), \\ \frac{du_2}{dt} &= \mu u_2 (u_2 - \beta)(1 - u_2) + v(u_1 - u_2).\end{aligned}\tag{5}$$

Стационарными точками здесь являются

1. $u_1 = u_2 = 0$.
2. $u_1 = u_2 = \beta$.
3. $u_1 = u_2 = 1$.

В первой стационарной точке оба собственных значений матрицы Якоби правой части уравнений (5) $\lambda_1 = -\mu\beta$ и $\lambda_2 = -\mu\beta - 2v$ отрицательны. Во второй стационарной точке первое из собственных значений $\lambda_1 = \mu\beta(1 - \beta)$ и $\lambda_2 = -2v + \mu\beta(1 - \beta)$ будет положительным. В третьей стационарной точке собственные значения $\lambda_1 = -\mu\beta(1 - \beta)$ и $\lambda_2 = -2v - \mu\beta(1 - \beta)$ отрицательны ($0 < \beta < 1$). Таким образом, первая и третья стационарные точки устойчивые, а вторая неустойчивая.

Стационарные точки, в которых $u_1 \neq u_2$, находятся как решение системы уравнений ($\gamma = v / \mu$)

$$\begin{aligned}u_1(u_1 - \beta)(1 - u_1) + u_2(u_2 - \beta)(1 - u_2) &= 0, \\ u_2 - u_1 \left(1 - \frac{1}{\gamma} (u_1 - \beta)(1 - u_1) \right) &= 0.\end{aligned}\tag{6}$$

Как следует из первого уравнения решения этой системы уравнений, имеющие физический смысл, должны удовлетворять неравенству $0 \leq u_2 < \beta < u_1 \leq 1$. Нахождение корней этих уравнений, удовлетворяющих этому условию, сводится к поиску корней полинома шестой степени

$$\begin{aligned}P(x) &= \left((x - \beta)(1 - x)x + \frac{1}{2}(1 + \beta - 3x)\gamma \right)^2 + \\ &+ \left(3x^2 - 2(\beta + 1)x + \beta - \frac{1}{4}(1 + \beta - 3x)^2 + 2\gamma \right)\gamma^2.\end{aligned}\tag{7}$$

Первое слагаемое в правой части (7) положительно, а второе будет положительным на промежутке $[0, 1]$, если выполняется неравенство

$$0 < \min_{x \in (0,1)} \left[\left(3x^2 - 2(\beta + 1)x + \beta \right) - \frac{1}{4}(1 + \beta - 3x)^2 \right] + 2\gamma = 2\gamma - \frac{1}{3}(1 + \beta)^2.$$

Т. е. при $\gamma > (1 + \beta)^2 / 6$ полином $P(x)$ вещественных корней иметь не будет.

В точке $x = 0$ полином $P(x)$ положителен, а его производная отрицательна при выполнении неравенств $0 \leq \beta \leq 1$:

$$P(x=0) = (\beta + 2\gamma)\gamma^2 > 0,$$

$$\left. \frac{dP}{dx} \right|_{x=0} = -\gamma(1+\beta)(\beta+2\gamma) < 0.$$

При $x=1$ и полином $P(x)$ и его производная положительны ($0 \leq \beta \leq 1$):

$$P(x=1) = \gamma^2(1 - \beta + 2\gamma),$$

$$\left. \frac{dP}{dx} \right|_{x=1} = \gamma(2 - \beta)(1 - \beta + 2\gamma).$$

Перемена знака производной dP/dx на промежутке $[0, 1]$ с минуса на плюс говорит о существовании минимума полинома $P(x)$ и если минимум отрицательный, то полином будет иметь, хотя бы два корня на этом промежутке.

При $x = \beta$ $P(x) = \gamma^2(2\gamma - \beta(1 - \beta))$ будет принимать отрицательные значения, если выполняется неравенство $2\gamma < \beta(1 - \beta)$. При значениях γ , удовлетворяющих этому неравенству, $P(x)$ будет иметь как минимум два корня на промежутке $[0, \beta]$. В этом случае система уравнений (6) будет иметь решение, на котором $0 \leq u_2 < \beta < u_1 \leq 1$.

На рис. 1 для случая $\beta = 0.4$ отражена зависимость вещественных корней полинома (6) от параметра v/μ , построенная с применением численных методов [20]. В рассматриваемом примере система уравнений (6) при $2\gamma < \beta(1 - \beta)$ кроме решений

$$u_1 = u_2 = 0, \quad u_1 = u_2 = \beta \quad \text{и} \quad u_1 = u_2 = 1$$

имеет еще шесть решений таких, что $u_1 \neq u_2$.

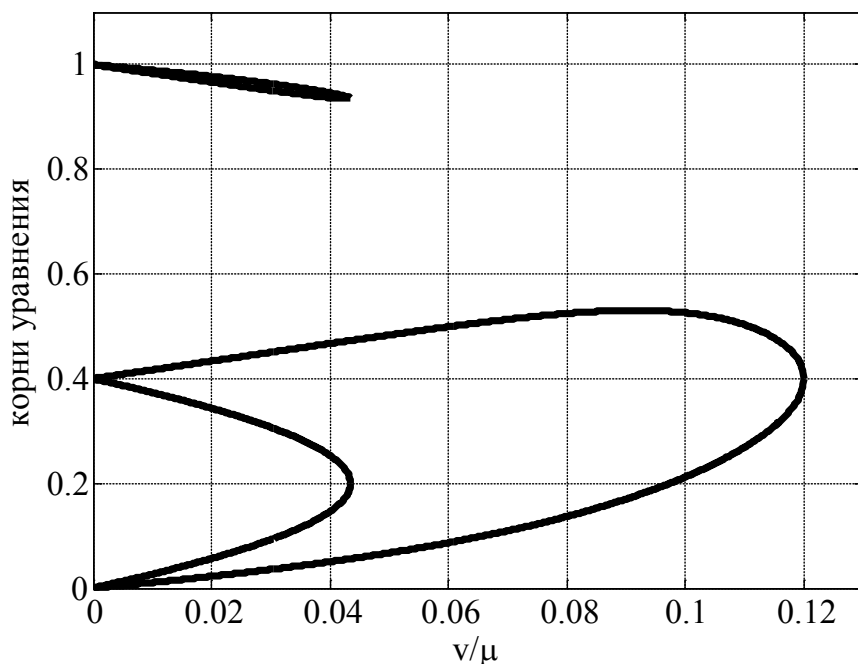


Рис. 1. Зависимость вещественных корней полинома (7) от параметра $\gamma = v/\mu$

Таким образом, при малых значениях параметра $\gamma = v/\mu$ полином (7) может иметь как минимум два положительных близких к нулю корня. И, соответственно, система уравнений (6) будет иметь стационарные точки, в которых $u_1 \neq u_2$. Причем, если в качестве u_2 берется меньший из положительных корней полинома (7), то значение u_1 , как это следует из первого уравнения в (6) должно быть близким к единице. Тогда собственные значения матрицы Якоби правой части уравнений (5) в такой стационарной точке являются корнями уравнения

$$(\lambda + v)^2 + \mu(\lambda + v) + \beta\mu\mu(1 - \beta) + \mathcal{O}(1 - u_1, u_2) = 0,$$

в котором $\mathcal{O}(1 - u_1, u_2)$ — величина второго порядка малости по сравнению с $|1 - u_1^*| \ll 1$ и $|u_2^*| \ll 1$. Соответственно, собственные значения будут иметь отрицательные вещественные части и стационарная точка будет устойчивой.

Таким образом, существует такое значение v_0 , что для любых $v: 0 < v < v_0$ система уравнений (6) имеет неединственное решение. Для случая логистической популяции решение единственно.

Литература:

1. Александров А. Ю. Математическое моделирование и исследование устойчивости биологических сообществ. СПб.: СОЛО, 2006. — 186 с.
2. Александров А. Ю., Платонов А. В., Чэнь Я. О диссипативности некоторых классов моделей популяционной динамики // Вестник СПбГУ. Сер.10: Прикладная математика, информатика, процессы управления. 2010. Вып. 2. С. 3–17.
3. Апонин Ю. М., Апонина Е. А. Математическая модель сообщества хищник — жертва с нижним порогом численности жертвы // Компьютерные исследования и моделирование. 2009. Т. 1. № 1. С. 51–56.
4. Бабаев Э. А., Магомедов М.-З.Д., Ахмедов Э. Г., Яровенко Ю. А. Особенности структуры популяции кабана (*sus scrofa*) в предгорном Дагестане // Зоологический журнал. 2010. Т. 89. № 3. С. 371–377.
5. Базова Н. В., Базов А. В., Пронин Н. М., Рожкова Н. А., Дашибалова Л. Т., Хажеева З. И. Пространственно-временное распределение личинок ручейника в русле реки Селенги // Экология. 2008. № 6. С. 462–467.
6. Базыкин А. Д. Нелинейная динамика взаимодействующих популяций. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. — 368 с.
7. Бугрова Н. М. Влияние фрагментации лесного массива на население муравьев // Зоологический журнал. 2010. Т. 89. № 3. С. 287–293.
8. Виноградов Б. В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. М.: Наука, 1984. — 320 с.
9. Волков С. В., Шариков А. В., Басова В. Б., Гринченко О. С. Влияние обилия мелких млекопитающих на выбор местообитаний и динамику численности ушастой (*asio otus*) и болотной (*asio flammeus*) сов // Зоологический журнал. 2009. Т. 88. № 10. С. 1248–1257.
10. Вольперт Я. Л., Шадрин Е. Г. Мелкие млекопитающие северо-востока Сибири. Новосибирск: Наука, 2002. — 246 с.
11. Гилев А. В. Закономерности пространственного распределения и научные основы охраны рыжих лесных муравьев // Зоологический журнал. 2010. Т. 89. № 12. С. 1413–1420.
12. Горбач В. В., Кабанен Д. Н. Пространственная организованность популяции черного аполлона (*parmassius tmetosupe*) в условиях Заонежья // Зоологический журнал. 2009. Т. 88. № 12. С. 1493–1505.
13. Горбунова Е. А., Колпак Е. П. Математические модели одиночной популяции // Вестник СПбГУ. Сер.10: прикладная математика, информатика, процессы управления. 2012. Вып. 4. С. 18–30.
14. Громов В. С. Пространственно-этологическая структура популяций грызунов. М.: Т-во научн. изданий КМК, 2008. — 581 с.
15. Данилов П. И. Численность и распределение охотничьих животных в Карело-Мурманском крае в 2007 году. Петрозаводск: Карельский науч. Центр РАН, 2008. — 30 с.
16. Загребальный С. В., Фомин В. В., Бурдин А. М. Динамика численности, структуры популяции каланов *Enhydra lutris* на Командорских островах и оценка их миграционной активности между островами архипелага // Экология. 2008. № 1. С. 43–49.
17. Захаров А. А. Муравьи: стратегия концентрации населения // Журнал общей биологии. 1011. Т. 72. № 4. С. 269–283.
18. Зеленская Л. А. Численность и распределение птиц на острове Матыйкиль (Ямские острова, Охотское море) // Зоологический журнал. 2009. Т. 88. № 5. С. 546–555.
19. Кинер Т. В., Зайцев В. А. Структура ареала обыкновенной лисицы (*Vulpes vulpes* L.) в лесной зоне Восточной Европы // Сибирский экологический журнал. 2010. Т.1 С. 163–172.
20. Колпак Е. П. Matlab: методы вычислений. СПб: Соло, 2007. — 100 с.
21. Коробченко М. А. Расширение ареала крота европейского (*talpa europaea*) в долине реки Северный Донец // Зоологический журнал. 2009. Т. 88. № 4. С. 465–472.
22. Лобков В. А. Закономерности существования изолированных поселений крапчатого суслика (*spermophilus suslicus*, rodentia, sciuridae) в Северо-Западном Причерноморье. 1. Пространственное распределение особей // Зоологический журнал. 2010. Т. 11. С. 1374–1379.
23. Мосолов В. И., Филь В. И. Дикий северный олень Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2010. — 170 с.
24. Мятлев В. Д., Панченко Л. А., Ризниченко Г. Ю., Терехин А. Т. Университетский учебник. Высшая математика и ее приложения к биологии. М.: Академия, 2009. — 320 с.

25. Поярков А. Д., Верещагин А. О., Богомолов П. Л. Исследование популяции бездомных собак (*Ganis Familiaris*) на территории Москвы. Сообщение 2 // Зоологический журнал. 2011. Т. 90. № 6. С. 724–732.
26. Ризниченко Г. Ю. Математические модели в биофизике и экологии. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. — 184 с.
27. Ризниченко Г. Ю., Рубин А. Б. Биофизическая динамика продукционных процессов. Москва — Ижевск: ин-т комп. технологий, 2004. — 464 с.
28. Свирижев Ю. М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии. М.: Наука, 1987. — 368 с.
29. Скрыбов Г. Я. Модели массопереноса и популяции с механизмами насыщения // Математическое моделирование. 2007. Т. 19. № 4. С. 27–36.
30. Соболева Н. И. Дорожная система рыжих лесных муравьев (группы *Formica Rufa*) в условиях рекреационного пресса / Соболева Н. И. // Зоологический журнал. 2010. Т. 89. № 12. С. 1468–1476.
31. Тютюнов Ю. В., Загребнева А. Д., Сурков Ф. А., Азовский А. И. Макромасштабная пятнистость распределения веслоногих рачков как результат трофически обусловленных миграций // Биофизика. 2009. Т. 54. Вып. 3. С. 508–514.
32. Хохлова Т. Ю., Яковлева М. В. Особенности территориальных связей и сезонных миграций белобровика (*turdus iliacus*) (по данным индивидуального мечения в Карелии) // Зоологический журнал. 2010. Т. 89. № 4. С. 475–483.
33. Kinezaki N., Kawasaki K., Takasu F., Shigesada N. Modeling biological invasion into periodically fragmented environments // Theoretical population biology. 2003. № 64. P. 291–302.
34. McLeod P., Martin A. P., Richards K. J. Minimum length scale for growth — limited oceanic plankton distributions // Ecological Modeling. 2002. P. 111–120.
35. Tsoularis A., Wallace J. Analysis of logistic growth models // Mathematical Biosciences. 2002. № 179. P. 21–55.
36. Xu C.-L., Li Z.-Z. Population dynamics and the color of environmental noise: a study on a three-species food chain system // Ecological research. 2003. № 18. P. 145–154.

Вероятность генотипов в n -м поколении

Махмудова Дилноза Хайтмирзаевна, преподаватель
Наманганский государственный университет (Узбекистан)

Пусть неизвестный генотип по одному признаку A, a скрещивается с доминантной особью, и его потомок опять скрещивается с доминантной и так далее. Надо найти распределение вероятностей каждого из возможных генотипов в n -ом поколении (см. [1]). Как известно, составлен таблица вероятностей перехода к возможным генотипам (различные строки — это вероятности возможных генотипов скрещиваемого, имеющим генотип AA , столбцы — возможные вероятности генотипов потомства):

	AA	Aa	aa
AA	1	0	0
Aa	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
aa	0	1	0

Таблица означает, что генотип AA при скрещивании с генотипом AA ($AA \times AA$) даёт потомок с вероятностью 1, AA с Aa ($AA \times Aa$) даёт потомок AA с вероятностью $\frac{1}{2}$, AA с aa ($AA \times aa$) даёт потомок AA с вероятностью 0 и так далее (первый столбец).

Обозначим через d_n, h_n, r_n , соответственно, вероятности генотипа AA (доминантный), Aa (гитрозиготный), aa (рецессивный), $n = 0, 1, 2, \dots$; и $d_n + h_n + r_n = 1$.

d_0, h_0, r_0 являются исходными вероятностями неизвестной особи, соответственно.

Для получение вероятностей AA, Aa, aa в потомстве суммируем вероятности этого генотипа при различных возможных генотипах неизвестной особи (по столбцу таблицы). Для получение вероятности генотипа AA в первом поколении берём вероятность получения этого генотипа при условии, что генотип неизвестной особи AA $1 \cdot d_0$, и прибавим вероятностной особи Aa , т.е. $h_0 \cdot \frac{1}{2}$. Тогда вероятность получения AA в первом поколении при

скрещивании равно $d_1 = d_0 + \frac{1}{2}h_0$.

Аналогично $h_1 = \frac{1}{2}h_0 + r_0$, $r_1 = 0$.

Для получения вероятностей следующего поколения мы воспользуемся с той же таблицы.

Получим: $d_2 = d_1 + \frac{1}{2} \cdot h_1$, $h_2 = \frac{1}{2} \cdot h_1 + r_1$, $r_2 = 0$.

Поставляя значения d_1, h_1, r_1 , имеем

$d_2 = d_0 + \frac{3}{2^2} \cdot h_0 + \frac{1}{2}r_0$, $h_2 = \frac{1}{2^2} \cdot h_0 + \frac{1}{2}r_0$, $r_2 = 0$.

Аналогично, для n -го поколения скрещивания с AA , имеем:

$d_n = d_0 + \frac{2^n - 1}{2^n} \cdot h_0 + \frac{r_0(2^{n-1} - 1)}{2^{n-1}}$, $h_n = \frac{h_0}{2^n} + \frac{r_0}{2^{n-1}}$, $r_n = 0$.

Отсюда следует теорема:

ТЕОРЕМА-1. $\lim_{n \rightarrow \infty} d_n = d_0 + h_0 + r_0 = 1$, $r_n = 0$, $\lim_{n \rightarrow \infty} h_n = 0$.

Если неизвестный особь скрещивается с особью с генотипом Aa и в результате вероятность того, что получается AA равно: $Aa \times AA \rightarrow \frac{1}{2}d_0$, $Aa \times Aa \rightarrow \frac{1}{4}h_0$, $Aa \times aa \rightarrow 0 \cdot r_0$, суммируя имеем:

$d_1 = \frac{1}{2}d_0 + \frac{1}{4}h_0$.

Аналогично, вероятность того, что имеем генотип Aa , равно

$h_1 = \frac{1}{2}d_0 + \frac{1}{2}h_0 + \frac{1}{2}r_0 = \frac{1}{2}$,

а для генотипа aa

$r_1 = \frac{1}{4}h_0 + \frac{1}{2}r_0$.

Для второго поколения

$d_2 = \frac{2-1}{2^3} + \frac{1}{2^2}d_0 + \frac{1}{2^3}h_0 = \frac{1}{2^3} + \frac{d_0}{2^2} + \frac{h_0}{2^3}$,

$h_2 = \frac{2}{2^2}d_0 + \frac{2^2}{2^3}h_0 + \frac{2}{2^2}r_0 = \frac{1}{2}$,

$r_2 = \frac{d_0}{2^3} + \frac{2h_0}{2^3} + \frac{1+2}{2^3}r_0 = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{4}h_0 + \frac{1}{2}r_0 \right) = \frac{1}{2^3} + \frac{h_0}{2^3} + \frac{r_0}{2^2}$.

Для n -ного поколения скрещивания с Aa имеем

$d_n = \frac{2^{n-1} - 1}{2^{n+1}} + \frac{d_0}{2^n} + \frac{h_0}{2^{n+1}}$, $h_n = \frac{1}{2}$, $r_n = \frac{2^{n-1} - 1}{2^{n+1}} + \frac{h_0}{2^{n+1}} + \frac{r_0}{2^n}$.

Отсюда следует

ТЕОРЕМА-2. $\lim_{n \rightarrow \infty} d_n = \frac{1}{4}$, $\lim_{n \rightarrow \infty} h_n = \frac{1}{2}$, $\lim_{n \rightarrow \infty} r_n = \frac{1}{4}$.

Если неизвестный особь скрещивается с особью с генотипом aa и в результате вероятность того, что в n -ом поколении получается, соответственно, генотипы AA , Aa , aa равно

$$d_n = 0, \quad h_n = \frac{d_0}{2^{n-1}} + \frac{h_0}{2^n}, \quad r_n = \frac{2^n - 1}{2^n} h_0 + \frac{2^{n-1} - 1}{2^{n-1}} d_0 + r_0 = 1 - \frac{h_0}{2^n} - \frac{d_0}{2^{n-1}}.$$

Тогда имеет место:

ТЕОРЕМА-3. $\lim_{n \rightarrow \infty} d_n = 0, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} h_n = 0, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} r_n = 1.$

В частности, при $d_0 = h_0 = r_0 = \frac{1}{3}$ приведем таблицу для d_n, h_n, r_n .

n	1			2			3		
	d(n)	h(n)	r(n)	d(n)	h(n)	r(n)	d(n)	h(n)	r(n)
1	0,5	0,5	0	0,25	0,50	0,25	0	0,5	0,5
2	0,75	0,25	0	0,25	0,50	0,25	0	0,25	0,75
3	0,875	0,125	0	0,25	0,50	0,25	0	0,125	0,875
4	0,9375	0,0625	0	0,25	0,50	0,25	0	0,0625	0,9375
5	0,96875	0,03125	0	0,25	0,50	0,25	0	0,03125	0,96875
6	0,984375	0,015625	0	0,25	0,50	0,25	0	0,015625	0,984375
7	0,9921875	0,0078125	0	0,25	0,50	0,25	0	0,0078125	0,9921875
8	0,99609375	0,00390625	0	0,25	0,50	0,25	0	0,00390625	0,99609375
9	0,998046875	0,00195313	0	0,25	0,50	0,25	0	0,001953125	0,998046875
10	0,999023438	0,00097656	0	0,25	0,50	0,25	0	0,000976563	0,999023438

Заключение: Из таблицы видно, что неизвестный особь при скрещивание с AA имеет вероятность d_{10} , очень близкое единице, следовательно, h_{10} близко к нулю, если скрещивание происходит с Aa , то d_{10} и r_{10} близки к $\frac{1}{4}$, при скрещивании с aa h_{10} близко к нулю, а r_{10} близко к единице.

Литература:

1. Нейман Ю. Вводный курс теории вероятностей и математической статистики. Из. «Наука», М. 1968.
2. Математика и естествознание, Из. «Просв»., М. 1969.
3. Marek Kimmel, David E. Axelrod. Branching Processes in Biology. Springer. 2002.

ФИЗИКА

Моделирование системы АИН ШИМ — линейный асинхронный двигатель ($Z_1 = 12$) с обмоткой индуктора через ярмо

Емельянов Александр Александрович, доцент;
Кобзев Антон Валерьевич, студент;
Козлов Алексей Максимович, студент;
Бесклеткин Виктор Викторович, студент;
Авдеев Александр Сергеевич, студент;
Чернов Михаил Владимирович, студент;
Габзалилов Эльвир Фиргатович, студент;
Киряков Георгий Анатольевич, студент;
Иванин Александр Юрьевич, студент

Российский государственный профессионально-педагогический университет (г. Екатеринбург)

В работе [1] рассматривалось математическое моделирование линейного асинхронного двигателя с намоткой каждой пазовой катушки через ярмо индуктора (статора). Питание этих катушек ($Z_1 = 12$) осуществлялось от отдельных источников синусоидального напряжения.

В данной работе рассматривается процесс математического моделирования линейного асинхронного двигателя при раздельном питании обмоток двигателя от отдельных автономных инверторов напряжения с широтно-импульсной модуляцией (АИН ШИМ). Результаты данной работы будут основой для создания учебно-лабораторной установки по исследованию характеристик системы «АИН ШИМ — ЛАД».

Математическое моделирование системы построено на основе функциональной схемы элементарного широтно-импульсного модулятора с нулевой схемой инвертирования [2]. В соответствии с числом катушек в индукторе (статоре), необходимо иметь двенадцать каналов широтно-импульсных модуляторов, как показано на рис. 1.

В этой схеме приняты следующие обозначения:

$$\begin{aligned}
 & - u_{31}^*, u_{32}^*, \dots, u_{312}^* - \text{задающие гармонические воздействия:} \\
 & u_{31}^* = U_M \cdot \sin(\omega t); \quad u_{35}^* = U_M \cdot \sin(\omega t - 2\pi/3); \quad u_{39}^* = U_M \cdot \sin(\omega t - 4\pi/3); \\
 & u_{32}^* = U_M \cdot \sin(\omega t - \pi/6); \quad u_{36}^* = U_M \cdot \sin(\omega t - 5\pi/6); \quad u_{310}^* = U_M \cdot \sin(\omega t - 3\pi/2); \\
 & u_{33}^* = U_M \cdot \sin(\omega t - \pi/3); \quad u_{37}^* = U_M \cdot \sin(\omega t - \pi); \quad u_{311}^* = U_M \cdot \sin(\omega t - 5\pi/3); \\
 & u_{34}^* = U_M \cdot \sin(\omega t - \pi/2); \quad u_{38}^* = U_M \cdot \sin(\omega t - 7\pi/6); \quad u_{312}^* = U_M \cdot \sin(\omega t - 11\pi/6).
 \end{aligned}$$

$u_{\text{оп}}$ — опорное напряжение, представляющее собой пилообразное, двухстороннее, симметричное напряжение с частотой модуляции значительно превышающей частоту напряжения задания.

— $\text{НО}_1, \text{НО}_2, \dots, \text{НО}_{12}$ — нуль-органы, обеспечивающие сравнение сигналов задания с опорным сигналом.

Если $u_{31}^*, \dots, u_{312}^* > u_{\text{оп}}$, то выходные сигналы нуль-органов $f_1^*, \dots, f_{12}^* > 0$, иначе $f_1^*, \dots, f_{12}^* < 0$.

— $\Phi_{1.1}$ и $\Phi_{1.2}$, $\Phi_{2.1}$ и $\Phi_{2.2}$, ..., $\Phi_{12.1}$ и $\Phi_{12.2}$ — формирователи сигналов управления силовыми ключами.

Формирователи сигналов управления имеют взаимно инверсные релейные характеристики [2] и сепарируют сигнал нуль-органа НО по двум каналам управления ключами инвертора. Кроме того, предусматривают небольшие временные задержки включения ключей. Это необходимо для предотвращения коротких замыканий силовых блоков питания (СПБ1, ..., СПБ12) через ключи инвертора.

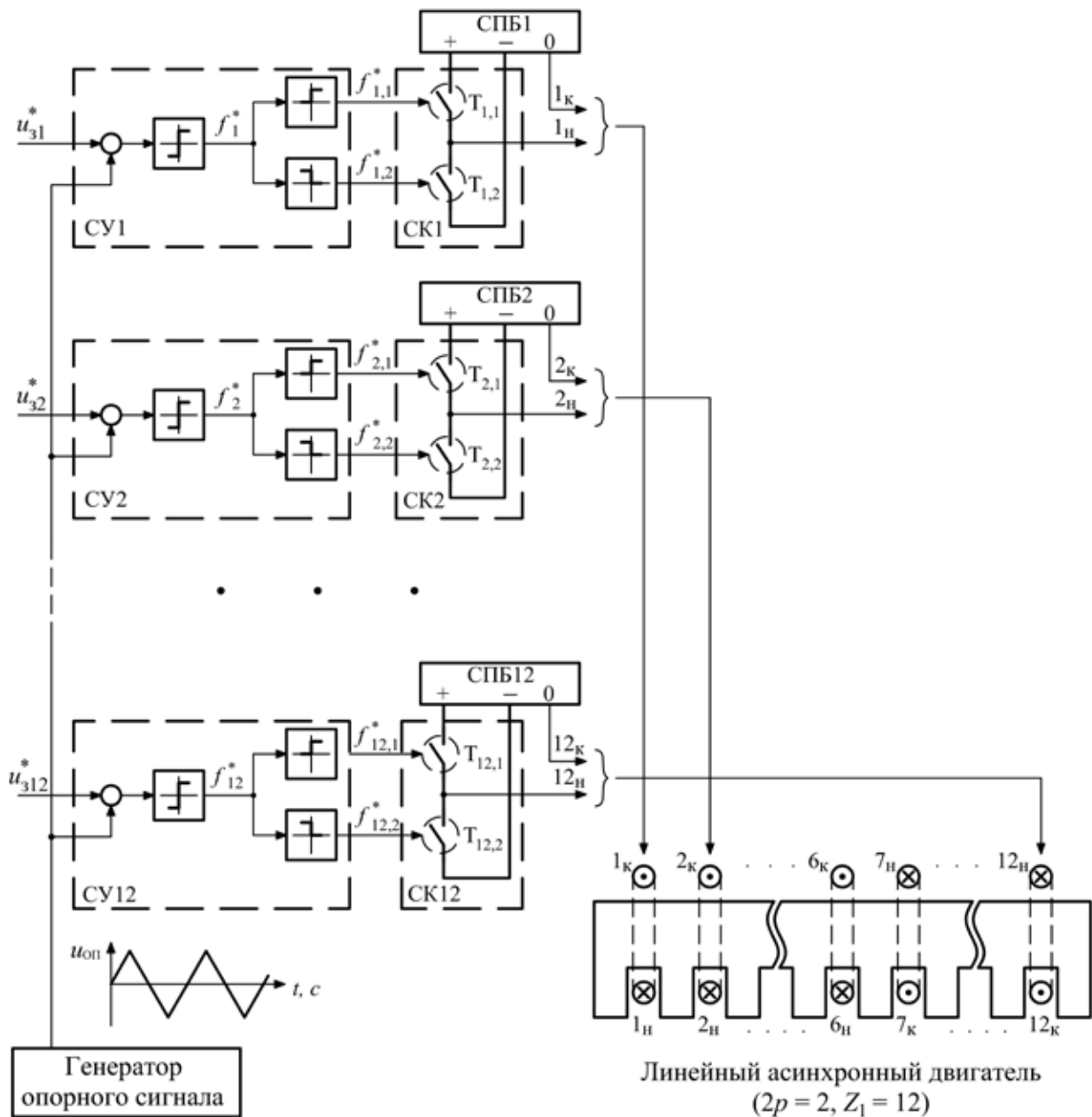


Рис. 1. Функциональная схема системы «АИН с ШИМ — ЛАД»

– $f_{1,1}^*$ и $f_{1,2}^*$, $f_{2,1}^*$ и $f_{2,2}^*$, ..., $f_{12,1}^*$ и $f_{12,2}^*$ – дискретные выходные сигналы с формирователей, управляющих включением силовыми ключами.

– $T_{1,1}$ и $T_{1,2}$, $T_{2,1}$ и $T_{2,2}$, ..., $T_{12,1}$ и $T_{12,2}$ - силовые ключи попеременно подключающие начала обмоток катушек индуктора к разноименным полюсам источников постоянного напряжения (СПБ1, СПБ2, ..., СПБ12).

Цифровой алгоритм расчета опорного сигнала ШИМ приведен в работе [3]. Программирование выходных сигналов нуль-органов произведен в MATLAB и имеет следующий вид:

```
dt=0.00001;
U0=1;
tau=0;
time=0;
u0p(1)=1;
pwm=-2;
f_sin=50;
```

```

f_triangle=1000;
for i=1:8000
    tau(i+1)=tau(i)+dt*f_triangle;

    time(i+1)=time(i)+dt;
    s(i+1)=3*sin(2*pi*f_sin*time(i+1));
    s_pi3(i+1)=3*sin(2*pi*f_sin*time(i+1)+pi/3);
    if tau(i+1)>=1
        tau(i+1)=tau(i+1)-1;
    end
    if (tau(i+1)>=0) && (tau(i+1)<0.5)
        f(i)=1-4*tau(i+1);
    else
        f(i)=4*tau(i+1)-3;
    end
    u0p(i+1)=U0*f(i);

    if (s(i+1)>=u0p(i+1))
        pwm(i+1)=2;
    else
        pwm(i+1)=-2;
    end

    if (s_pi3(i+1)>=u0p(i+1))
        pwm_pi3(i+1)=2;
    else
        pwm_pi3(i+1)=-2;
    end
end
subplot(2,1,1);
plot(time,s,time,u0p,time,pwm);
hold on;
axis([0 0.04 -4 4]);
subplot(2,1,2);
plot(time,s_pi3,time,u0p,time,pwm_pi3);
hold on;
axis([0 0.04 -4 4]);

```

Результаты сравнений u_{31}^* с $u_{оп}$ для двух значений ($U_M = 2$ и $U_M = 1$) приведены на рис. 2 и рис. 3 соответственно (сплошными линиями обозначены выходные сигналы f_1^* с нуля-органа).

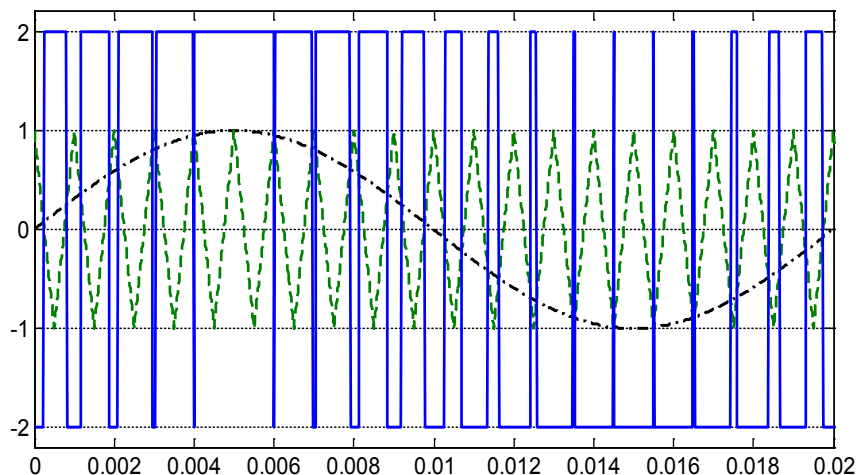


Рис. 2. Сигнал f_1^* на выходе нуля-органа HO_1 при $U_M = 2$

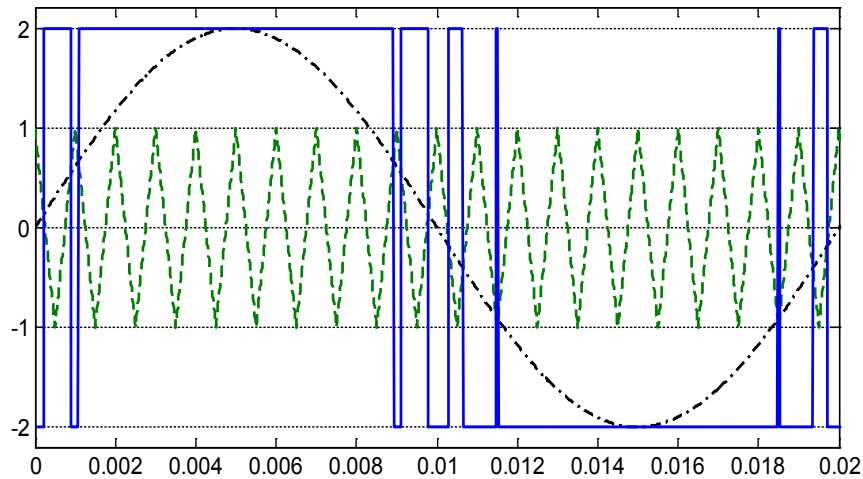


Рис. 3. Сигнал f_1^* на выходе нуля-органа HO_1 при $U_M = 1$

Напряжения U_1, U_2, \dots, U_{12} на каждой катушке индуктора будут повторять по форме $f_1^*, f_2^*, \dots, f_{12}^*$, а по амплитуде будут увеличены на коэффициент инвертора $k_{инв}$.

Одна из возможных реализаций математической модели системы «АИН ШИМ — ЛАД» на языке высокого уровня MATLAB примет следующий вид:

```
% Математическая модель ЛАД с укладкой статорной обмотки через спинку
% ярма ( Z1=12 ) с помощью магнитных схем замещения
function LAD_Z1_12_spin
% Начальные условия двигателя
Rb=0.1003*10^7;
dt=0.00001;
rs=9.5;
Ls=0.074*0.5;
rr=9.269*10^-5;
Lr=0.0744*10^-5;
tz=9.769*10^-3;
m=3.8;
v0=0;
wn=200;
f=50;
w=2*pi*f;
UA=wn/dt;
Um=155;
X=zeros(32,1);
F=0;
p=2;
%Начальные условия для ШИМ
kinv=Um/p;
dt=0.00001;
U0=1;
tau=0;
time=0;
u0p(1)=1;
pwm=-2;
f_sin=50;
f_triangle=1000;
um=1;
K=input('длительность цикла k=');
```

```
for k=1:(K+1)
    tau(k+1)=tau(k)+dt*f_triangle;
    time(k+1)=time(k)+dt;
    s(k+1)=um*sin(2*pi*f_sin*time(k+1));
    s_pi6(k+1)=um*sin(2*pi*f_sin*time(k+1)+pi/6);
    s_2pi6(k+1)=um*sin(2*pi*f_sin*time(k+1)+2*pi/6);
    s_3pi6(k+1)=um*sin(2*pi*f_sin*time(k+1)+3*pi/6);
    s_4pi6(k+1)=um*sin(2*pi*f_sin*time(k+1)+4*pi/6);
    s_5pi6(k+1)=um*sin(2*pi*f_sin*time(k+1)+5*pi/6);
    s_6pi6(k+1)=um*sin(2*pi*f_sin*time(k+1)+6*pi/6);
    s_7pi6(k+1)=um*sin(2*pi*f_sin*time(k+1)+7*pi/6);
    s_8pi6(k+1)=um*sin(2*pi*f_sin*time(k+1)+8*pi/6);
    s_9pi6(k+1)=um*sin(2*pi*f_sin*time(k+1)+9*pi/6);
    s_10pi6(k+1)=um*sin(2*pi*f_sin*time(k+1)+10*pi/6);
    s_11pi6(k+1)=um*sin(2*pi*f_sin*time(k+1)+11*pi/6);
    if tau(k+1)>=1
        tau(k+1)=tau(k+1)-1;
    end
    if (tau(k+1)>=0) && (tau(k+1)<0.5)
        f(k)=1-4*tau(k+1);
    else
        f(k)=4*tau(k+1)-3;
    end
    u0p(k+1)=U0*f(k);
    %u_gamma(i+1)=sqrt(2)*u0p(i+1);

    if (s(k+1)>=u0p(k+1))
        pwm(k+1)=p;
    else
        pwm(k+1)=-p;
    end

    if (s_pi6(k+1)>=u0p(k+1))
        pwm_pi6(k+1)=p;
    else
        pwm_pi6(k+1)=-p;
    end

    if (s_2pi6(k+1)>=u0p(k+1))
        pwm_2pi6(k+1)=p;
    else
        pwm_2pi6(k+1)=-p;
    end

    if (s_3pi6(k+1)>=u0p(k+1))
        pwm_3pi6(k+1)=p;
    else
        pwm_3pi6(k+1)=-p;
    end

    if (s_4pi6(k+1)>=u0p(k+1))
        pwm_4pi6(k+1)=p;
    else
        pwm_4pi6(k+1)=-p;
    end
end
```

```

    if (s_5pi6(k+1)>=u0p(k+1))
        pwm_5pi6(k+1)=p;
    else
        pwm_5pi6(k+1)=-p;
    end

    if (s_6pi6(k+1)>=u0p(k+1))
        pwm_6pi6(k+1)=p;
    else
        pwm_6pi6(k+1)=-p;
    end

    if (s_7pi6(k+1)>=u0p(k+1))
        pwm_7pi6(k+1)=p;
    else
        pwm_7pi6(k+1)=-p;
    end

    if (s_8pi6(k+1)>=u0p(k+1))
        pwm_8pi6(k+1)=p;
    else
        pwm_8pi6(k+1)=-p;
    end

    if (s_9pi6(k+1)>=u0p(k+1))
        pwm_9pi6(k+1)=p;
    else
        pwm_9pi6(k+1)=-p;
    end

    if (s_10pi6(k+1)>=u0p(k+1))
        pwm_10pi6(k+1)=p;
    else
        pwm_10pi6(k+1)=-p;
    end

    if (s_11pi6(k+1)>=u0p(k+1))
        pwm_11pi6(k+1)=p;
    else
        pwm_11pi6(k+1)=-p;
    end

    PWM(k+1)=pwm(k+1)*kinv;
    PWM_pi6(k+1)=pwm_pi6(k+1)*kinv;
    PWM_2pi6(k+1)=-pwm_2pi6(k+1)*kinv;
    PWM_3pi6(k+1)=-pwm_3pi6(k+1)*kinv;
    PWM_4pi6(k+1)=pwm_4pi6(k+1)*kinv;
    PWM_5pi6(k+1)=pwm_5pi6(k+1)*kinv;
    PWM_6pi6(k+1)=-pwm_6pi6(k+1)*kinv;
    PWM_7pi6(k+1)=-pwm_7pi6(k+1)*kinv;
    PWM_8pi6(k+1)=pwm_8pi6(k+1)*kinv;
    PWM_9pi6(k+1)=pwm_9pi6(k+1)*kinv;
    PWM_10pi6(k+1)=-pwm_10pi6(k+1)*kinv;
    PWM_11pi6(k+1)=-pwm_11pi6(k+1)*kinv;

```

v(1,k)=v0;

% создание вектора-строки для графика скорости

```

f(1,k)=sum(F); % создание вектора-строки для графика усилия

% Формирование матрицы сопротивлений
R=zeros(21,1);
R(1,1)=500*Rb;
R(2,1)=500*Rb;
R(3,1)=50*Rb;
R(4,1)=5*Rb;
for i=5:17
    R(i,1)=Rb;
end;
R(18,1)=5*Rb;
R(19,1)=50*Rb;
R(20,1)=500*Rb;
R(21,1)=500*Rb;

% Формирование матрицы A
A=zeros(32);

B=2*Rb*(rr+Lr/dt)+1/dt;
B1=6*Rb*(rr+Lr/dt)+(-4*Rb)*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
B2=55*Rb*(rr+Lr/dt)+(-45*Rb)*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
B3=550*Rb*(rr+Lr/dt)+(-450*Rb)*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
B4=1000*Rb*(rr+Lr/dt)+1/dt;
B5=550*Rb*(rr+Lr/dt)+450*Rb*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
B6=55*Rb*(rr+Lr/dt)+(45*Rb)*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
B7=6*Rb*(rr+Lr/dt)+(4*Rb)*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;

C=-Rb*(rr+Lr/dt)+(2*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
C1=-Rb*(rr+Lr/dt)+(6*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
C2=-5*Rb*(rr+Lr/dt)+(55*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
C3=-50*Rb*(rr+Lr/dt)+(550*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
C4=-500*Rb*(rr+Lr/dt)+(1000*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
C5=-500*Rb*(rr+Lr/dt)+(550*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
C6=-50*Rb*(rr+Lr/dt)+(55*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
C7=-5*Rb*(rr+Lr/dt)+(6*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);

D=-Rb*Lr*v0/(2*tz);
D1=5*D;
D2=50*D;
D3=500*D;

E=-Rb*(rr+Lr/dt)-(2*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
E1=-5*Rb*(rr+Lr/dt)-(6*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
E2=-50*Rb*(rr+Lr/dt)-(55*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
E3=-500*Rb*(rr+Lr/dt)-(550*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
E4=-500*Rb*(rr+Lr/dt)-(1000*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
E5=-50*Rb*(rr+Lr/dt)-(550*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
E6=-5*Rb*(rr+Lr/dt)-(55*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
E7=-Rb*(rr+Lr/dt)-(6*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);

T=-wn*Lr*v0/(2*tz);
Y=-wn*(rr+Lr/dt);

W1=-wn*Lr/dt;
P=-Rb*Lr/dt;

```

$$Q = (2 \cdot R_b \cdot L_r + 1) / dt;$$

$$KS = r_s + L_s / dt;$$

$$Q1 = (6 \cdot R_b \cdot L_r + 1) / dt;$$

$$Q2 = (55 \cdot R_b \cdot L_r + 1) / dt;$$

$$Q3 = (550 \cdot R_b \cdot L_r + 1) / dt;$$

$$Q4 = (1000 \cdot R_b \cdot L_r + 1) / dt;$$

for n=1:12

$$A(n+4, n+4) = B;$$

$$A(n+5, n+4) = E;$$

$$A(n+3, n+4) = C;$$

$$A(n+3, n+20) = T;$$

$$A(n+4, n+20) = Y;$$

$$A(n+5, n+20) = -T;$$

$$A(n+20, n+4) = UA;$$

$$A(n+20, n+20) = KS;$$

end;

for n=1:13

$$A(n+2, n+4) = D;$$

$$A(n+5, n+3) = -D;$$

end;

$$A(1, 1) = B4;$$

$$A(1, 2) = C5;$$

$$A(1, 3) = D2;$$

$$A(2, 1) = E4;$$

$$A(2, 2) = B5;$$

$$A(2, 3) = C6;$$

$$A(3, 1) = -D3;$$

$$A(3, 2) = E5;$$

$$A(3, 3) = B6;$$

$$A(3, 4) = C7;$$

$$A(4, 2) = -D2;$$

$$A(4, 3) = E6;$$

$$A(4, 4) = B7;$$

$$A(5, 3) = -D1;$$

$$A(5, 4) = E7;$$

$$A(16, 17) = C1;$$

$$A(16, 18) = D1;$$

$$A(17, 17) = B1;$$

$$A(17, 18) = C2;$$

$$A(17, 19) = D2;$$

$$A(18, 17) = E1;$$

$$A(18, 18) = B2;$$

$$A(18, 19) = C3;$$

$$A(18, 20) = D3;$$

$$A(19, 17) = -D1;$$

$$A(19, 18) = E2;$$

$$A(19, 19) = B3;$$

$$A(19, 20) = C4;$$

$$A(20, 18) = -D2;$$

$$A(20, 19) = E3;$$

$$A(20, 20) = B4;$$

```

% Матрица свободных членов
S=[
    Q4*X(1)+ P*( 500*X(2) );
    Q3*X(2)+ P*(500*X(1)+50*X(3) );
    Q2*X(3)+ P*(50*X(2)+5*X(4) );
    Q1*X(4)+ P*(5*X(3)+X(5) );
    W1*X(21)+Q*X(5)+ P*(X(4)+X(6) );
    W1*X(22)+Q*X(6)+ P*(X(5)+X(7) );
    W1*X(23)+Q*X(7)+ P*(X(6)+X(8) );
    W1*X(24)+Q*X(8)+ P*(X(7)+X(9) );
    W1*X(25)+Q*X(9)+ P*(X(8)+X(10) );
    W1*X(26)+Q*X(10)+ P*(X(9)+X(11) );
    W1*X(27)+Q*X(11)+ P*(X(10)+X(12) );
    W1*X(28)+Q*X(12)+ P*(X(11)+X(13) );
    W1*X(29)+Q*X(13)+ P*(X(12)+X(14) );
    W1*X(30)+Q*X(14)+ P*(X(13)+X(15) );
    W1*X(31)+Q*X(15)+ P*(X(14)+X(16) );
    W1*X(32)+Q*X(16)+ P*(X(15)+X(17) );
    Q1*X(17)+ P*(X(16)+5*X(18) );
    Q2*X(18)+ P*(5*X(17)+50*X(19) );
    Q3*X(19)+ P*(50*X(18)+500*X(20) );
    Q4*X(20)+ P*500*X(19) );
UA*X(5)+Ls/dt*X(21)+PWM(k+1);
UA*X(6)+Ls/dt*X(22)+PWM_pi6(k+1);
UA*X(7)+Ls/dt*X(23)+PWM_2pi6(k+1);
UA*X(8)+Ls/dt*X(24)+PWM_3pi6(k+1);
UA*X(9)+Ls/dt*X(25)+PWM_4pi6(k+1);
UA*X(10)+Ls/dt*X(26)+PWM_5pi6(k+1);
UA*X(11)+Ls/dt*X(27)+PWM_6pi6(k+1);
UA*X(12)+Ls/dt*X(28)+PWM_7pi6(k+1);
UA*X(13)+Ls/dt*X(29)+PWM_8pi6(k+1);
UA*X(14)+Ls/dt*X(30)+PWM_9pi6(k+1);
UA*X(15)+Ls/dt*X(31)+PWM_10pi6(k+1);
UA*X(16)+Ls/dt*X(32)+PWM_11pi6(k+1) ];

% Решение методом Гаусса-Жордана
Z=rref([A S]); % Приведение расширенной матрицы к треугольному виду
X=Z(1:32,33:33); % Выделение последнего столбца из матрицы

% Ток в роторе
Ir=[
    1000*Rb*X(1)- Rb*( 500*X(2) );
    550*Rb*X(2)- Rb*(500*X(1)+50*X(3) );
    55*Rb*X(3)- Rb*(50*X(2)+5*X(4) );
    6*Rb*X(4)- Rb*(5*X(3)+X(5) );
    -wn*X(21)+2*Rb*X(5)- Rb*(X(4)+X(6) );
    -wn*X(22)+2*Rb*X(6)- Rb*(X(5)+X(7) );
    -wn*X(23)+2*Rb*X(7)- Rb*(X(6)+X(8) );
    -wn*X(24)+2*Rb*X(8)- Rb*(X(7)+X(9) );
    -wn*X(25)+2*Rb*X(9)- Rb*(X(8)+X(10) );
    -wn*X(26)+2*Rb*X(10)-Rb*(X(9)+X(11) );
    -wn*X(27)+2*Rb*X(11)-Rb*(X(10)+X(12) );
    -wn*X(28)+2*Rb*X(12)-Rb*(X(11)+X(13) );
    -wn*X(29)+2*Rb*X(13)-Rb*(X(12)+X(14) );
    -wn*X(30)+2*Rb*X(14)-Rb*(X(13)+X(15) );
    -wn*X(31)+2*Rb*X(15)-Rb*(X(14)+X(16) );
    -wn*X(32)+2*Rb*X(16)-Rb*(X(15)+X(17) );
    6*Rb*X(17)-Rb*(X(16)+5*X(18) );

```



```

55*Rb*X(18)-Rb*(5*X(17)+50*X(19));
500*Rb*X(19)-Rb*(50*X(18)+500*X(20));
1000*Rb*X(20)-Rb*(500*X(19))] ;
% Электромагнитное усилие
F(1)=X(2)*Ir(1)/(2*tz);

for n=1:18
    F(n+1)=(X(n+2)-X(n))*Ir(n+1)/(2*tz);
end;
F(20)=-X(19)*Ir(20)/(2*tz);

% Скорость
v0=v0+(sum(F)/m)*dt;
end;

% Построение графиков
k=0:K;
subplot(2,1,1);
plot(k*dt,v);
title('Скорость');
xlabel('t, c');
ylabel('v, м/с'); grid on;
subplot(2,1,2);
plot(k*dt,f);
title('Электромагнитное усилие');
xlabel('t, c');
ylabel('F, Н');
grid on;
end

```

В таблице 1 приведены идентификаторы, применяемые для математического моделирования системы «АИН ШИМ — ЛАД» в MATLAB, в соответствии с обозначениями, приведенными на функциональной схеме рис. 1.

Таблица 1. Таблица идентификаторов

Наименование	Обозначение на функциональной схеме	Идентификатор
Задающие гармонические воздействия	$u_{s1}, u_{s2}, \dots, u_{s12}$	s, s_pi6, \dots, s_11pi6
Выходные сигналы нуль-органов $HO_1, HO_2, \dots, HO_{12}$	$f_1^*, f_2^*, \dots, f_{12}^*$	$pwm, pwm_pi6, \dots, pwm_11pi6$
Импульсные напряжения на катушках обмотки индуктора ЛАД	u_1, u_2, \dots, u_{12}	$PWM, PWM_pi6, \dots, PWM_11pi6$

Временные зависимости скорости и электромагнитного усилия линейного асинхронного двигателя при питании от АИН ШИМ с амплитудами сигнала задания $U_M = 2$ и $U_M = 1$ приведены на рис. 4 и рис. 5 соответственно.

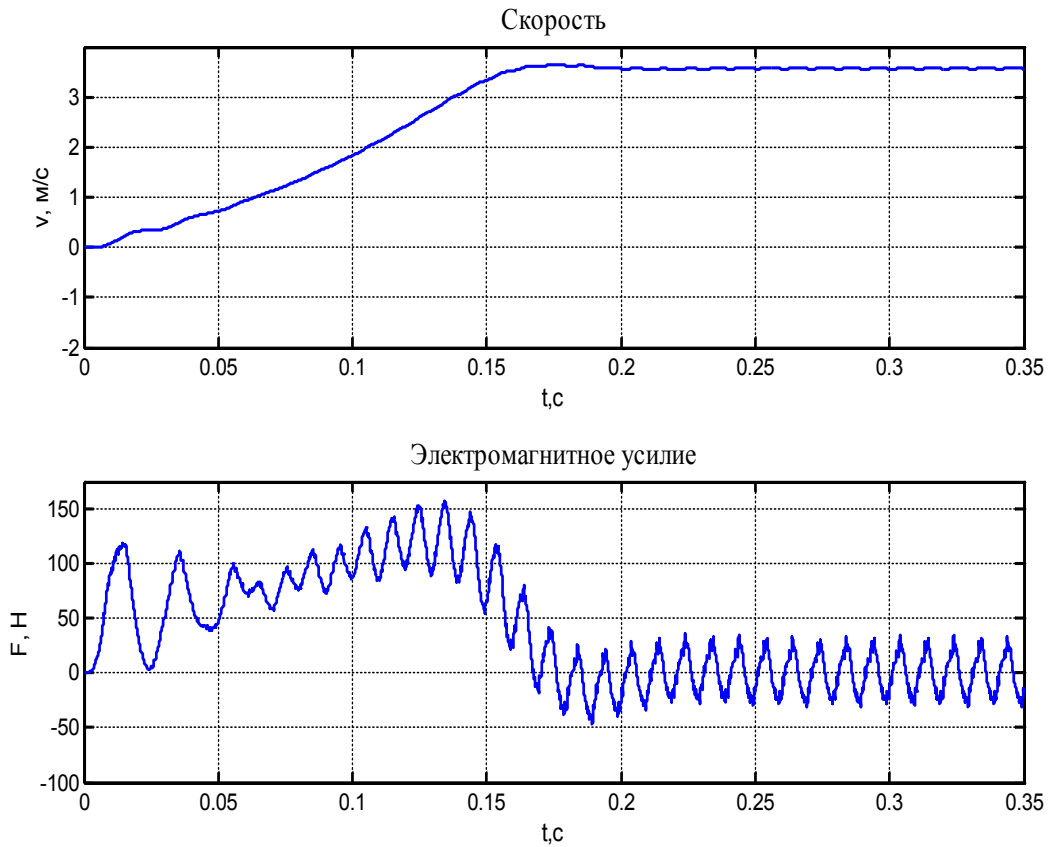


Рис. 4. Результат моделирования системы «АИН ШИМ — ЛАД» при $U_M = 2$

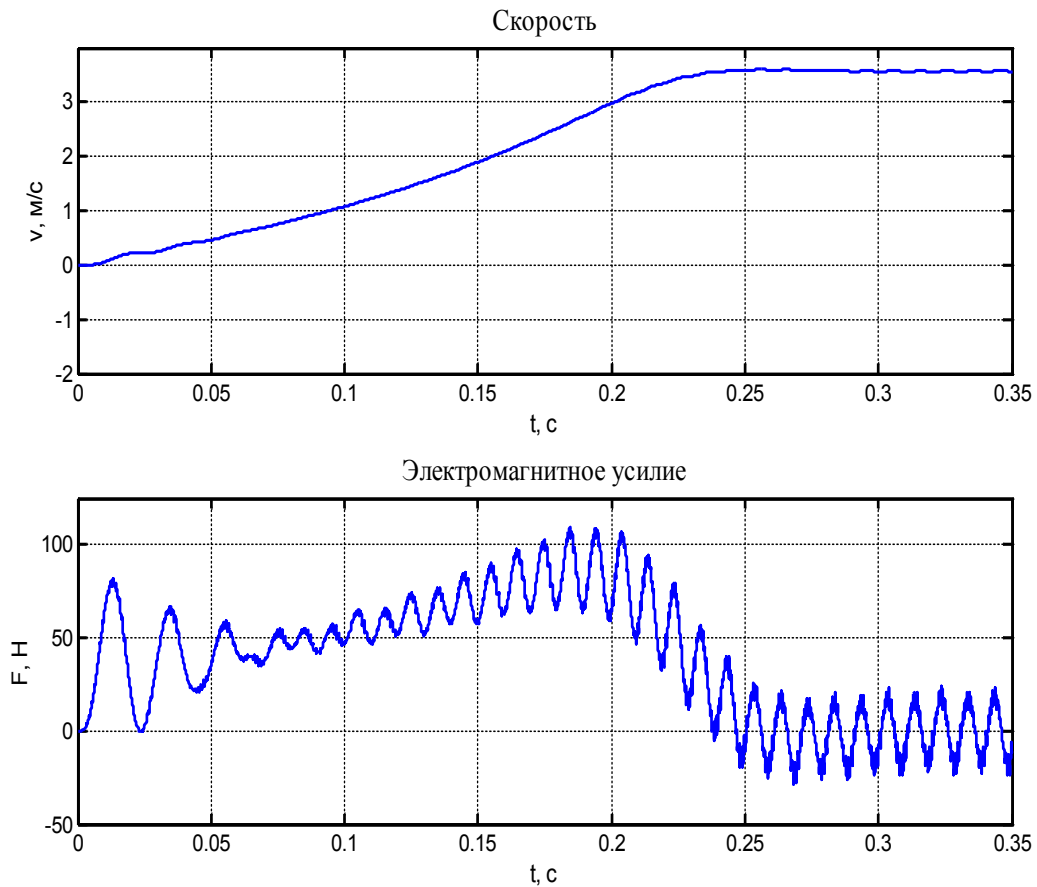


Рис. 5. Результат моделирования системы «АИН ШИМ — ЛАД» при $U_M = 1$

Литература:

1. Емельянов А.А. и др. Моделирование линейного асинхронного двигателя с укладкой обмотки индуктора ($Z1 = 12$) через спинку ярма / Емельянов А.А., Медведев А.В., Кобзев А.В., Козлов А.М., Бесклеткин В.В., Бойко Д.Ю., Киряков Г.А., Чернов М.В., Королев О.А. // Молодой ученый. — 2013. — №8. — С. 13–31.
2. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. — Екатеринбург: УРО РАН, 2000. — 654 с.
3. Емельянов А.А. и др. Моделирование системы АИН ШИМ — линейный асинхронный двигатель ($Z1 = 6$) с обмоткой индуктора через ярмо / Емельянов А.А., Медведев А.В., Кобзев А.В., Козлов А.М., Бесклеткин В.В., Бочкарев Ю.П., Авдеев А.С., Чернов М.В., Габзалилов Э.Ф., Киряков Г.А. // Молодой ученый. — 2013. — №11. — С. 18–28.

Разработка перколяционной модели газовых сенсоров

Пронин Игорь Александрович, аспирант;
 Якушова Надежда Дмитриевна, студент
 Пензенский государственный университет

Хеморезистивные сенсоры газов состоят из нанокристаллических зерен оксидных полупроводников (чаще, оксиды металлов SnO_2 , ZnO , TiO_2) с размером кристаллитов в диапазоне 2...200 нм. Изменение электропроводности газочувствительных слоев связано с хемосорбцией газов-окислителей и восстановителей и последующим изменением концентрации свободных носителей заряда в зернах. Установлено [1–10], что с уменьшением среднего размера полупроводниковых зерен увеличивается критическая концентрация газов-восстановителей, ниже которой сенсор не распознает анализируемые пробы. Поэтому целью работы является изучение процессов, протекающих на поверхности сенсоров при малых концентрациях газов-анализаторов с помощью теории перколяции.

Рассмотрим чувствительный элемент газового сенсора, селективно распознающий какой-либо газ-восстановитель. Кислород, который всегда находится в окружающей среде в высокой концентрации ($> 20\%$), вместе с газом-анализатором хемосорбируется на поверхности полупроводниковой пленки, заряжаясь отрицательно. Полученный ион может являться участником реакций, протекающих на поверхности газочувствительной пленки. Газ-восстановитель, напротив, находясь на поверхности пленки, заряжается положительно, передавая электрон в зону проводимости полупроводника. Тогда число свободных электронов n_{eff} , принадлежащих зерну, можно записать в следующем виде:

$$n_{eff} = \frac{4}{3} \pi r^3 n_0 - (4\pi r^2 - \kappa)(N_O - N_{red}), \quad (1)$$

где r — радиус зерна; n_0 — собственная концентрация носителей заряда в полупроводнике; N_O — поверхностная плотность хемосорбированного кислорода, $[\text{см}^{-2}]$; N_{red} — поверхностная плотность хемосорбированного газа-восстановителя $[\text{см}^{-2}]$; κ — коэффициент, характеризующий

снижение эффективной площади зерна за счет ближайших соседей, загрязнений и т. п., $[\text{см}^2]$.

Анализ уравнения (1) указывает на три возможных случая:

— $n_{eff} \geq 1$. В этом случае все зерна ведут себя как проводящие области, а сопротивление пленки меняется пропорционально концентрации газа-восстановителя;

— $n_{eff} \leq 0$. В этом случае в зерне нет свободных электронов, и весь чувствительный элемент ведет себя как диэлектрик. Соответственно, возникает концентрационный порог чувствительности газа-восстановителя, ниже которого не возникает хеморезистивный эффект;

— $0 < n_{eff} < 1$. В данном случае значение n_{eff} следует рассматривать как вероятность того, что в зерне имеется свободный электрон. На первый взгляд кажется абсурдным тот факт, что если $n_{eff} = 1$, то зерно является проводящим. Однако в этом случае еще при размере зерна $r = 20$ нм, концентрация носителей заряда будет составлять $1,25 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, что говорит об адекватности предложенного допущения.

В последнем случае вся структура чувствительного элемента будет являться проводящей только в том случае, если доля проводящих зерен p будет больше либо равна порогу перколяции p_c данной решетки, т. е. $p \geq p_c$ — условие проводимости всей структуры. Уже при качественном анализе условия $0 < n_{eff} < 1$ видно, что поверхностная плотность хемосорбированного газа-восстановителя при малых размерах зерна может меняться на порядок при росте n_{eff} от 0 до 1. Следовательно, порог обнаружения также останется неопределенным в очень широких пределах. Именно поэтому определение порога перколяции является актуальной задачей и именно перколяционная модель сможет объяснить особенности газочувствительности сенсоров при низких концентрациях газов-реагентов.

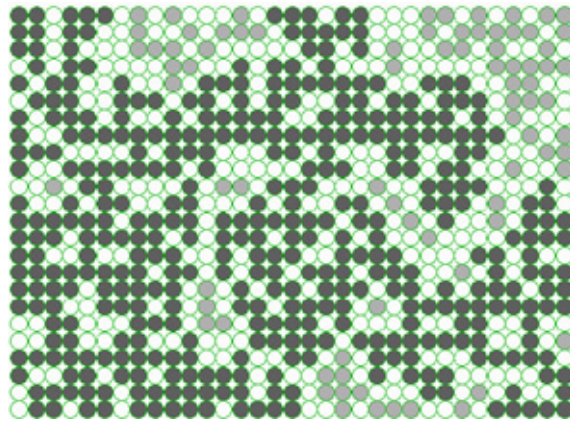


Рис. 1. Квадратная решетка без пор

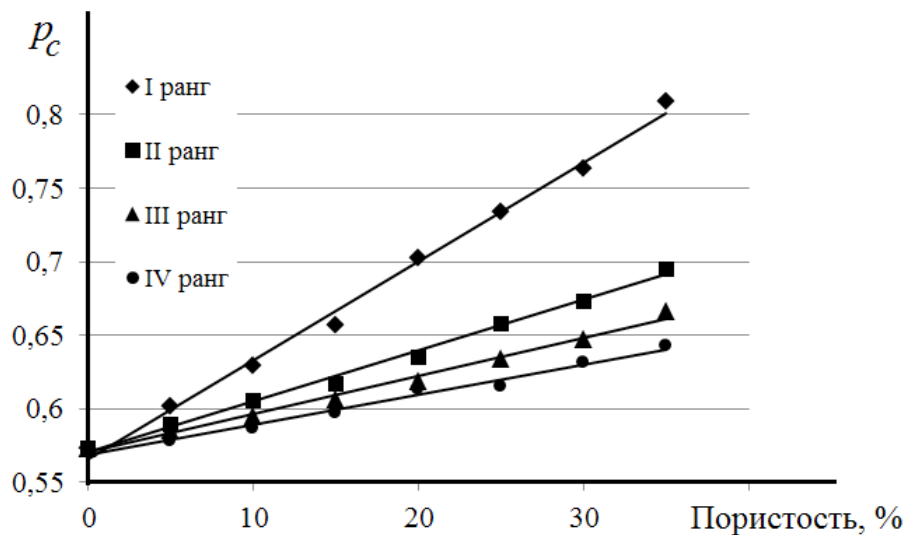


Рис. 2. Влияние пористости на порог протекания

Разработанная авторами оригинальная программа позволяет находить пороги протекания на квадратной решетке произвольного размера с наличием пор. Все поры условно разделены на ранги. Поры первого ранга — это просто отсутствие зерна в соответствующем узле. Поры второго, третьего и т. д. рангов представляют собой пустоты из 9, 25 и т. д. узлов [11–20].

На рисунке 1 показана квадратная решетка без пор размером 35x25, смоделированная в разработанной программе. Темно-серым цветом показан перколяционный стягивающий кластер, светло серым — проводящие, но не попавшие на проводящий остов зерна. Светлые окружности — диэлектрические зерна. Порог протекания, рассчитанный для данного случая, составляет 0,57.

Проанализируем влияние пористости, возникающей только за счет пор определенного ранга, на порог перколяции исследуемой решетки. На рисунке 2 представлены результаты моделирования порога протекания на решетке 100x75 с порами только первого, второго, третьего и чет-

вертого рангов. Значение порогов усреднено по 20 экспериментам.

Из рисунка видно, что во всех исследуемых случаях порог перколяции является линейной функцией пористости, причем, чем выше ранг пор, тем меньше значение порога при тех же значениях пористости.

Анализ полученных данных указывает, что, в целом, с ростом пористости, порог протекания будет увеличиваться. Однако сильное влияние оказывает вид распределения пор по размерам. Во всех случаях наблюдается максимум значения p_c при заданной пористости, если вклад в нее вносят поры низших рангов. При повышении вклада пор высоких рангов значение порога перколяции уменьшается. Первый случай представляет особый интерес для анализа газочувствительных наноматериалов, полученных методом золь-гель технологии. Известно [21–30], что в этих материалах концентрация микро- и мезопор на несколько порядков превышает концентрацию макропор. В этом случае влияние пористости на порог перколяции особенно велико и порог обнаружения может быть максимальным.

Таким образом, предложена перколяционная модель газовых сенсоров и проанализировано влияние пористости материала на порог обнаружения газов. Выяснено, что самое большое влияние на характеристики сенсоров оказывают микропоры, которые максимально возможно увеличивают порог перколяции и снижают порог чувствительности сенсоров.

Литература:

1. Аверин И. А., Мошников В. А., Пронин И. А. Влияние типа и концентрации собственных дефектов на структуру и свойства диоксида олова // Нано- и микросистемная техника. 2013. — № 1. — С. 27–29;
2. Аверин И. А., Карманов А. А., Мошников В. А., Печерская Р. М., Пронин И. А. Особенности синтеза и исследования нанокompозитных плёнок, полученных методом золь-гель-технологии // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. — 2012. — № 2. — С. 155–163;
3. Аверин И. А., Пронин И. А. Особенности фазового состояния неравновесных термодинамических систем полимер-растворитель // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. — 2012. — № 2. — С. 163–170;
4. Пронин И. А. Анализ концентрации собственных дефектов при создании газочувствительных структур на основе диоксида олова // Молодой ученый. — 2012. — № 8. — С. 7–8;
5. Аверин И. А., Александрова О. А., Мошников В. А., Печерская Р. М., Пронин И. А. Типы фазового распада растворов полимеров // Нано- и микросистемная техника, № 7, 2012 год, с. 12–14;
6. Аверин И. А., Мошников В. А., Пронин И. А. Особенности созревания и спинодального распада самоорганизующихся фрактальных систем // Нано- и микросистемная техника, № 5, 2012 год, с. 29–33;
7. Пронин И. А. Управляемый синтез газочувствительных пленок диоксида олова, полученных методом золь-гель-технологии // Молодой ученый. — 2012. — № 5. — С. 57–60;
8. Мошников В. А., Грачёва И. Е., Пронин И. А. Исследование материалов на основе диоксида кремния в условиях кинетики самосборки и спинодального распада двух видов // Нанотехника. — 2011. — № 2 (9). — с. 46–54;
9. Аверин И. А., Печерская Р. М., Пронин И. А. Особенности низкотемпературной самоорганизации золь на основе двухкомпонентных систем на основе SiO_2 — SnO_2 // Нано- и микросистемная техника, № 11, 2011 год, с. 27–30;
10. Аверин И. А., Никулин А. С., Мошников В. А., Печерская Р. М., Пронин И. А. Чувствительный элемент газового сенсора с наноструктурированным поверхностным рельефом // Датчики и системы. — 2011. — № 2. — 24–27;
11. Аверин И. А., Карпова С. С., Мошников В. А., Никулин А. С., Печерская Р. М., Пронин И. А. Управляемый синтез тонких стекловидных пленок // Нано- и микросистемная техника. — 2011. — № 1. — с. 23–25;
12. Якушова Н. Д. Методы синтеза пленок модифицированного диоксида олова и их сенсорные свойства // Молодой ученый. — 2013. — № 2. — С. 9–14;
13. Аверин И. А., Пронин И. А., Якушова Н. Д., Горячева М. В. Особенности вольтамперных характеристик газовых сенсоров резистивного типа в мультисенсорном исполнении // Датчики и системы. 2013. № 12. С. 12–16;
14. Якушова Н. Д., Димитров Д. Ц. Чувствительность переходов $\text{ZnO}/\text{ZnO}:\text{Fe}$ к этанолу // Молодой ученый. 2013. № 5. С. 26–28;
15. Грачева И. Е., Мошников В. А., Гареев К. Г. Исследование магнитных пленочных нанокompозитов и порошков ксерогелей, синтезированных золь-гель методом // Физика и химия стекла. 2013. Т. 39. № 3. С. 460–472;
16. Богачев Ю. В., Гареев К. Г., Матюшкин Л. Б., Мошников В. А., Наумова А. Н. Исследование суспензии наночастиц магнетита методами фотометрии и ЯМР-релаксометрии // Физика твердого тела. 2013. Т. 55. № 12. С. 2313–2317.;
17. Грачева И. Е., Максимов А. И., Мошников В. А. Анализ особенностей строения фрактальных нанокompозитов на основе диоксида олова методами атомно-силовой микроскопии и рентгеновского фазового анализа // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2009. № 10. С. 16–23;
18. Пронин И. А., Аверин И. А., Димитров Д. Ц., Мошников В. А. Чувствительность переходов $\text{ZnO}-\text{ZnO}:\text{Fe}$ к парам этанола // Датчики и системы. — 2013. — № 6. — С. 60–63;
19. Аверин И. А., Пронин И. А., Карманов А. А. Исследование газочувствительности сенсоров на основе наноструктурированных композиционных материалов $\text{SiO}_2-\text{SnO}_2$ // Нано- и микросистемная техника. — 2013. — № 5. — С. 23–26;
20. Пронин И. А., Аверин И. А., Димитров Д. Ц., Крастева Л. К., Папазова К. И., Чаначев А. С. Исследование чувствительности к этанолу переходов $\text{ZnO} - \text{ZnO}:\text{Fe}$ на основе тонких наноструктурированных пленок, полученных с помощью золь-гель-технологии // Нано- и микросистемная техника. — 2013. — № 3 — С. 6–10;

21. Пронин И. А., Аверин И. А., Александрова О. А., Мошников В. А. Модифицирование селективных и газочувствительных свойств резистивных адсорбционных сенсоров путем целенаправленного легирования // Датчики и системы. — 2013. — № 3. — С. 13–16;
22. Махин А. В., Мошников В. А. Рентгеноспектральный микроанализ полупроводниковых твердых растворов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 1988. № 395. С. 94–98;
23. Moshnikov V. A., Gracheva I., Lenshin A. S., Spivak Y. M., Anchkov M. G., Kuznetsov V. V., Olchowik J. M. Porous silicon with embedded metal oxides for gas sensing applications // Journal of Non-Crystalline Solids. 2012. Т. 358. № 3. С. 590–595.
24. Якушова Н. Д. Модифицирование селективных и газочувствительных свойств сенсоров путем легирования // Молодой ученый. 2013. № 8. С. 32–34;
25. Pronin I. A., Goryacheva M. V. Principles of structure formation and synthesis models of produced by the sol-gel method SiO₂-Me_xO_y nanocomposites // Surface and Coatings Technology. — 2013. — V. 235. — PP. 835–840;
26. Igor A. Pronin, Dimitre Tz. Dimitrov, Ludmila K. Krasteva, Karolina I. Papazova et al. Theoretical and experimental investigations of ethanol vapour sensitive properties of junctions composed from produced by sol-gel technology pure and Fe modified nanostructured ZnO thin films // Sensors and Actuators A: Physical. — 2014. — V. 206. — P 88–96;
27. Len'shin A. S., Kashkarov V. M., Spivak Yu. M., Moshnikov V. A. Study of electronic structure and phase composition of porous silicon // Glass Physics and Chemistry. 2012. Т. 38. № 3. С. 315–321;
28. Ильин Ю. Л., Махин А. В., Мошников В. А. Взаимодействие в системах PbTe-In₂Te₃ и SnTe — In₂Te₃ Неорганические материалы. 1988. Т. 24. № 6. С. 1043–1045;
29. Кононова И. Е., Гареев К. Г., Мошников В. А., Альмяшев В. И., Кучерова О. В. Самосборка фрактальных агрегатов системы магнетит—диоксид кремния в постоянном магнитном поле // Неорганические материалы. 2014. Т. 50. № 1. С. 75;
30. Крастева Л. К., Димитров Д. Ц., Папазова К. И., Николаев Н. К., Пешкова Т. В., Мошников В. А., Грачева И. Е., Карпова С. С., Канева Н. В. Синтез и характеристика наноструктурированных слоев оксида цинка для сенсорики // Физика и техника полупроводников. 2013. Т. 47. № 4. С. 564–569.

Моделирование агрегации кластеров в золях

Пронин Игорь Александрович, аспирант;
 Якушова Надежда Дмитриевна, студент
 Пензенский государственный университет

Начало работ в области компьютерного моделирования роста фрактальных агрегатов относится к 1980–1990 гг. прошлого столетия. В качестве исходных посылок используются простые предположения о транспорте частиц к растущим агрегатам и события, которые происходят при столкновении первичной частицы или кластера с растущим агрегатом [1–10].

Модель *DLA* (агрегация кластер—частица), ограниченная диффузией, впервые была создана Томасом Виттенем и Леонардом Сэндером. В этой модели частицы добавляются одна за другой к одному растущему кластеру. Первоначально агрегационный процесс возникает от неподвижной начальной частицы. Затем агрегат последовательно растет. На каждом шаге движущаяся частица стартует из случайно выбранной точки на большой окружности с центром в зародыше и совершает чисто хаотическое движение в пространстве до встречи с агрегатом. После первого столкновения с агрегатом частица считается жестко приклеенной к агрегату в месте соударения,

затем другая частица стартует с окружности, и т. д. Если движущаяся частица диффундирует слишком далеко от агрегата (как типичное, это расстояние в три раза больше радиуса большого круга), она выбывает из игры и стартует другая частица (причина этого состоит в том, что вероятность для такой частицы вновь вернуться на окружность становится равномерно распределенной по длине окружности) [11–18].

В разработанной модели частица стартует с малой окружности и движется с фиксированным шагом в пять пикселей. Угол поворота частицы после шага задается случайным образом и находится в диапазоне 0–2π. Имеется возможность задавать произвольное число частиц в агрегате. Главное окно программы представлено на рисунке 1.

В зависимости от числа частиц, возникают агрегаты различной формы, но следует отметить, что каждый раз возникает новое преимущественное направление роста агрегата — рисунок 2.

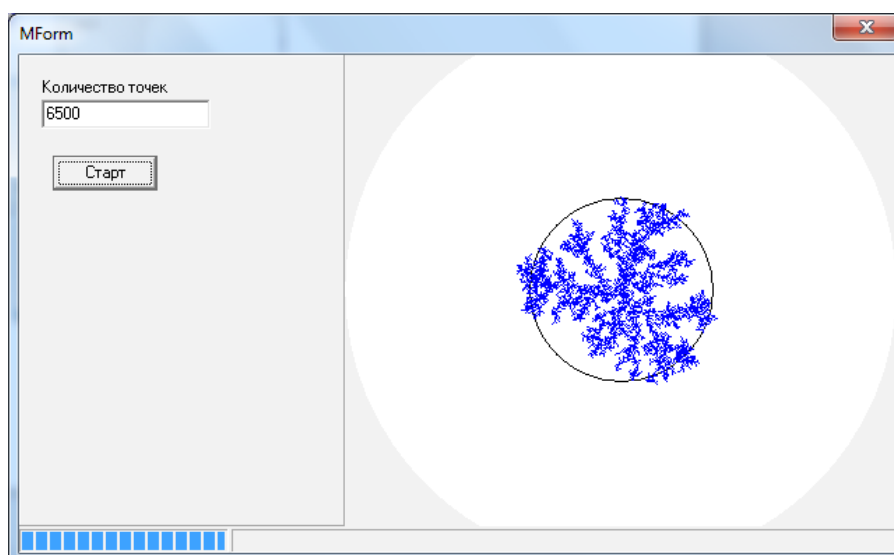


Рис. 1. Главное окно программы

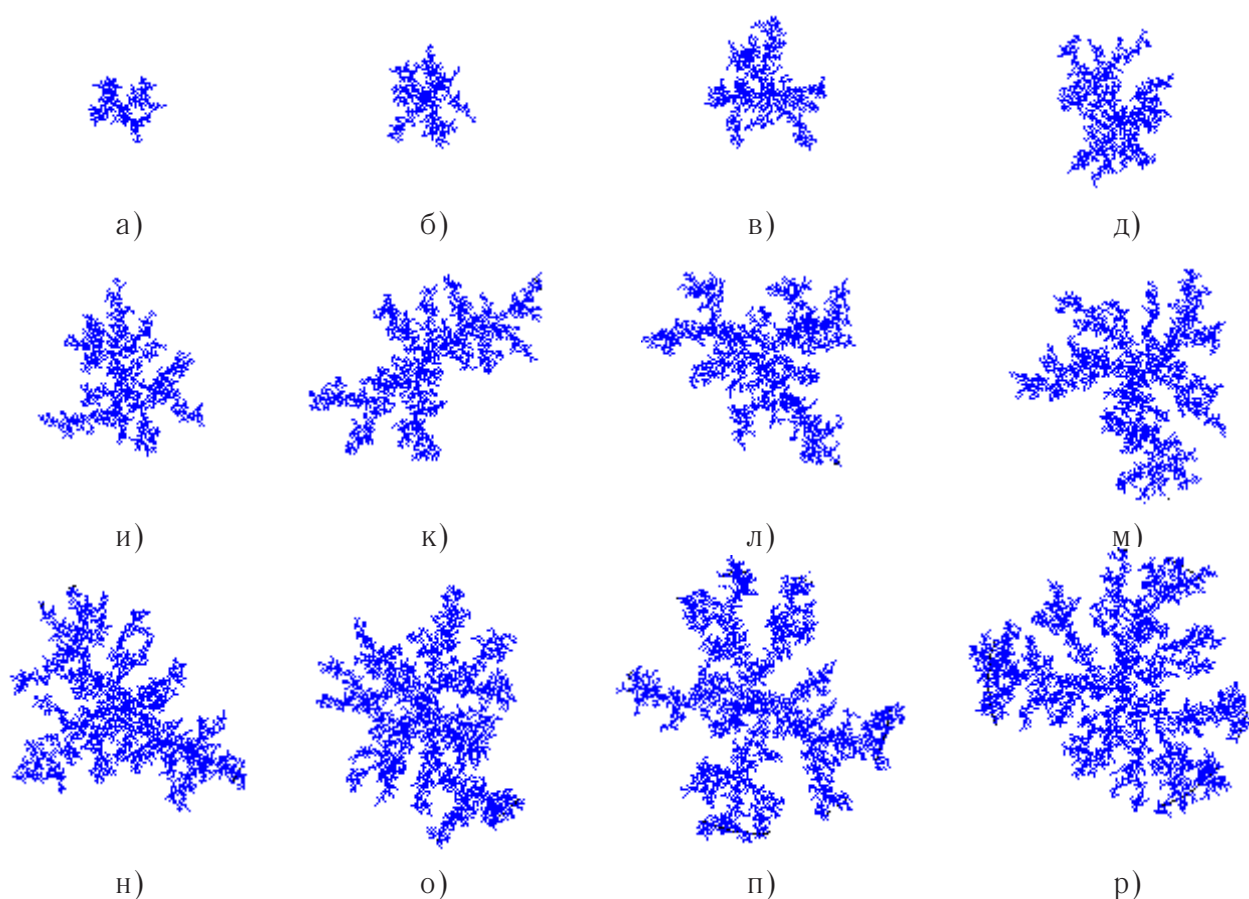


Рис. 2. Зависимость структуры фрактального агрегата от числа частиц в его составе:

а) — $n = 1000$; б) — $n = 1500$; в) — $n = 2000$; д) — $n = 2500$; и) — $n = 3000$; к) — $n = 3500$; л) — $n = 4000$;
 м) — $n = 4500$; н) — $n = 5000$; о) — $n = 5500$; п) — $n = 6000$; р) — $n = 6500$.

Так как процесс сборки фрактальных агрегатов является стохастическим, то продукты коагуляции имеют различную структуру (рисунок 3), при этом средняя фрактальная размерность, представленных агрегатов, равна 1,45 [19–25].

Таким образом, результаты моделирования сборки фрактальных агрегатов Виттена-Сендера [26–30] адекватно описывают реальные продукты коагуляции золь-гель-систем.

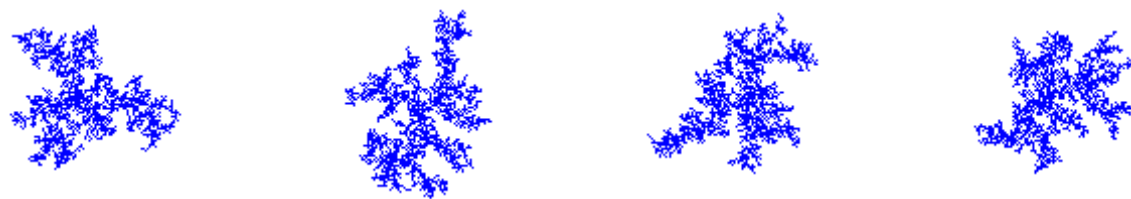


Рис. 3. Агрегаты, содержащие $n = 3000$ частиц в составе

Литература:

1. Аверин И. А., Мошников В. А., Пронин И. А. Влияние типа и концентрации собственных дефектов на структуру и свойства диоксида олова // Нано- и микросистемная техника. 2013. — № 1. — С. 27–29;
2. Аверин И. А., Мошников В. А., Пронин И. А. Вклад поверхности газочувствительных композитов $\text{SnO}_2\text{—In}_2\text{O}_3$ в сенсорные свойства и селективность // Нано- и микросистемная техника. 2013. № 9. С. 19–21;
3. Аверин И. А., Карманов А. А., Мошников В. А., Печерская Р. М., Пронин И. А. Особенности синтеза и исследования нанокompозитных плёнок, полученных методом золь-гель-технологии // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. — 2012. — № 2. — С. 155–163;
4. Аверин И. А. Пронин И. А. Особенности фазового состояния неравновесных термодинамических систем полимер-растворитель // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. — 2012. — № 2. — С. 163–170;
5. Аверин И. А., Мошников В. А., Пронин И. А. Анализ влияния направленного легирования газочувствительного диоксида олова на формы и концентрацию адсорбированного кислорода // Нано- и микросистемная техника. 2013. № 8. С. 31–34;
6. Пронин И. А. Анализ концентрации собственных дефектов при создании газочувствительных структур на основе диоксида олова // Молодой ученый. — 2012. — № 8. — С. 7–8;
7. Аверин И. А., Александрова О. А., Мошников В. А., Печерская Р. М., Пронин И. А. Типы фазового распада растворов полимеров // Нано- и микросистемная техника, № 7, 2012 год, с. 12–14;
8. Аверин И. А., Мошников В. А., Пронин И. А. Особенности созревания и спинодального распада самоорганизующихся фрактальных систем // Нано- и микросистемная техника, № 5, 2012 год, с. 29–33;
9. Пронин И. А. Управляемый синтез газочувствительных пленок диоксида олова, полученных методом золь-гель-технологии // Молодой ученый. — 2012. — № 5. — С. 57–60;
10. Мошников В. А., Грачёва И. Е., Пронин И. А. Исследование материалов на основе диоксида кремния в условиях кинетики самосборки и спинодального распада двух видов // Нанотехника. — 2011. — № 2 (9). — с. 46–54;
11. Аверин И. А., Печерская Р. М., Пронин И. А. Особенности низкотемпературной самоорганизации зольей на основе двухкомпонентных систем на основе $\text{SiO}_2\text{—SnO}_2$ // Нано- и микросистемная техника, № 11, 2011 год, с. 27–30;
12. Аверин И. А., Никулин А. С., Мошников В. А., Печерская Р. М., Пронин И. А. Чувствительный элемент газового сенсора с наноструктурированным поверхностным рельефом // Датчики и системы. — 2011. — № 2. — с. 24–27;
13. Аверин И. А., Карпова С. С., Мошников В. А., Никулин А. С., Печерская Р. М., Пронин И. А. Управляемый синтез тонких стекловидных пленок // Нано- и микросистемная техника. — 2011. — № 1. — с. 23–25;
14. Якушова Н. Д. Методы синтеза пленок модифицированного диоксида олова и их сенсорные свойства // Молодой ученый. — 2013. — № 2. — С. 9–14;
15. Аверин И. А., Пронин И. А., Якушова Н. Д., Горячева М. В. Особенности вольтамперных характеристик газовых сенсоров резистивного типа в мультисенсорном исполнении // Датчики и системы. 2013. № 12. С. 12–16;
16. Якушова Н. Д., Димитров Д. Ц. Чувствительность переходов ZnO/ZnO:Fe к этанолу // Молодой ученый. 2013. № 5. С. 26–28;
17. Матюшкин Л. Б., Александрова О. А., Максимов А. И., Мошников В. А., Мусихин С. Ф. Особенности синтез люминесцирующих полупроводниковых наночастиц в полярных и неполярных средах // Биотехносфера. 2013. № 2 (26). С. 27–32.;
18. Пронин И. А., Аверин И. А., Димитров Д. Ц., Мошников В. А. Чувствительность переходов ZnO-ZnO:Fe к парам этанола // Датчики и системы. — 2013. — № 6. — С. 60–63;

19. Аверин И. А., Пронин И. А., Карманов А. А. Исследование газочувствительности сенсоров на основе наноструктурированных композиционных материалов SiO₂-SnO₂ // Нано- и микросистемная техника. — 2013. — № 5. — С. 23–26;
20. Пронин И. А., Аверин И. А., Димитров Д. Ц., Крастева Л. К., Папазова К. И., Чаначев А. С. Исследование чувствительности к этанолу переходов ZnO — ZnO:Fe на основе тонких наноструктурированных пленок, полученных с помощью золь-гель-технологии // Нано- и микросистемная техника. — 2013. — № 3 — С. 6–10;
21. Пронин И. А., Аверин И. А., Александрова О. А., Мошников В. А. Модифицирование селективных и газочувствительных свойств резистивных адсорбционных сенсоров путем целенаправленного легирования // Датчики и системы. — 2013. — № 3. — С. 13–16;
22. Lenshin A. S., Kashkarov V. M., Seregin P. V., Minakov D. A., Agapov B. L., Kuznetsova M. A., Moshnikov V. A., Domashevskaya E. P. Study of the morphological growth features and optical characteristics of multilayer porous silicon samples grown on n-type substrates with an epitaxially deposited P + -layer // Semiconductors. 2012. T. 46. № 8. С. 1079–1084;
23. Якушова Н. Д. Модифицирование селективных и газочувствительных свойств сенсоров путем легирования // Молодой ученый. 2013. № 8. С. 32–34;
24. Pronin I. A., Goryacheva M. V. Principles of structure formation and synthesis models of produced by the sol-gel method SiO₂-MxOy nanocomposites // Surface and Coatings Technology. — 2013. — V. 235. — PP. 835–840;
25. Igor A. Pronin, Dimitre Tz. Dimitrov, Ludmila K. Krasteva, Karolina I. Papazova et al. Theoretical and experimental investigations of ethanol vapour sensitive properties of junctions composed from produced by sol-gel technology pure and Fe modified nanostructured ZnO thin films // Sensors and Actuators A: Physical. — 2014. — V. 206. — P 88–96;
26. Len'shin A. S., Kashkarov V. M., Spivak Yu. M., Moshnikov V. A. Study of electronic structure and phase composition of porous silicon // Glass Physics and Chemistry. 2012. T. 38. № 3. С. 315–321;
27. Горелик А. И., Межва М., Мошников В. А. Количественный термозондовый анализ твердых растворов теллурида свинца — теллурида олова // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 1994. № 471. С. 26–33;
28. Можерова И. В., Луцкая О. Ф., Максимов А. И., Мошников В. А. Фазовый анализ процессов получения нанокомпозитов на основе диоксидов олова, кремния и меди // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2004. № 1. С. 10–13;
29. Аверин И. А., Пронин И. А., Печерская Р. М. Изучение газочувствительных систем, полученных с помощью золь-гель-технологии, методом спектроскопии импеданса // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2011. Т. 2. С. 84–85;
30. Якушова Н. Д. Получение оксидных материалов методом алкокситехнологии // Молодой ученый. 2013. № 8. С. 47–49

Катодно-плазменное азотирование нержавеющей стали в условиях низкого давления

Федоров Александр Алексеевич, кандидат технических наук, доцент;

Дудьев Тихон Иванович, студент

Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар)

ХТО (Химико-термическая обработка) представляет собой процесс высокотемпературного диффузионного насыщения поверхности металлов различными химическими элементами, т. е. данный процесс осуществляется посредством сочетания термической и химической обработки.

Целью ХТО является изменить механические свойства сталей. В основном ХТО применяется для деталей, работающих на износ и одновременно под ударными нагрузками. Насыщение поверхности стали инородными веществами приводит к увеличению твердости и износостойкости поверхности изделия, а сердцевина изделия остается пластичной и вязкой. Такая комбинация твердой поверхности и мягкой сердцевины благодаря образо-

ванию сжимающих поверхностных напряжений приводит к увеличению усталостной прочности материала, однако вязкость несколько снижается. ХТО позволяет сообщить изделиям повышенную жаростойкость, коррозионную стойкость, усталостную прочность.

Процесс химико-термической обработки протекает по следующей схеме:

1. Образование насыщаемого элемента в атомарном состоянии, которое образуется вследствие протекания высокотемпературных реакций.

2. Абсорбция (осаждение и контакт с поверхностью стали) насыщаемого элемента на поверхность стали.

3. Диффундирование насыщаемого элемента в глубь стали.

Одной из перспективных упрочняющих технологий является катодно-плазменное (ионное) азотирование в условиях низкого давления [1]. С помощью ионного азотирования можно в широких пределах менять микротвёрдость, остаточные сжимающие напряжения, фазовый состав поверхностного слоя и повышать предел выносливости углеродистой стали на 40–60 %. [2].

В ответственных деталях машин и оборудования широкое применение нашли легированные стали, обладающие особыми свойствами, среди которых особое положение занимают нержавеющие стали, обладающие высокой стойкостью против коррозии. Из всех нержавеющих сталей наибольшее применение находят аустенитные нержавеющие стали. Они имеют высокие антикоррозионные свойства, достаточно высокую прочность, высокую пластичность, хорошую свариваемость. Основными жаропрочными аустенитными сталями являются хромоникелевые стали типа 08X18H10T, применяемые для изготовления клапанов двигателей, лопаток газовых турбин и т. д., когда рабочая температура составляет 500...700°C.

В связи с вышеизложенным, целью исследования было моделирование процесса катодно-плазменного азотирования нержавеющей стали 08X18H10T в условиях низкого давления.

Наиболее важным, с точки зрения механических свойств, является сочетание таких характеристик диффузионного слоя как его глубина и поверхностная твёрдость. В настоящее время доказано [3], что максимальная усталостная прочность изделий достигается при определённых значениях толщины азотированного слоя и имеет тенденцию к снижению при его дальнейшем увеличении. Результаты, полученные при испытаниях изделий на трение-износ [3], также показывают, что износостойкость азотированной поверхности достигает экстремального значения при определённых значениях микротвёрдости и снижается при дальнейшем её увеличении. В общем случае для конкретных условий эксплуатации требуется формирование диффузионного слоя с заданными микротвёрдостью и толщиной. Одним из основных параметров, определяющих работоспособность деталей, является глубина диффузионного слоя.

Глубина диффузионного слоя X зависит от коэффициента диффузии D и длительности процесса τ [3].

$$X = k \cdot \sqrt{D \cdot \tau}, \quad (1)$$

где k — постоянная для данного процесса величина.

Из (1) следует, что определяющими факторами процесса ХТО, влияющими на величину глубины получаемого диффузионного слоя, являются продолжительность процесса и его температура.

Так зависимость глубины диффузионного слоя от продолжительности процесса, при постоянной температуре ($T = \text{const}$), можно представить в виде следующей формулы:

$$X = k_1 \cdot \sqrt{\tau}, \quad (2)$$

где x — толщина диффузионного слоя, τ — время ХТО, k_1 — константа, в которую входит коэффициент диффузии, зависящий от температуры ХТО.

Результаты катодно-плазменного азотирования в условиях низкого давления нержавеющей стали 08X18H10T [1] приведены в таблице 1.

Таблица 1

Толщина диф. слоя, мкм	Длительность ТО, ч	Температура, К	$K_1, \text{м/с}^{0.5}$
8	4	673	$6.67 \cdot 10^{-8}$
46	4	773	$3.83 \cdot 10^{-7}$
59	4	873	$4.92 \cdot 10^{-7}$

При постоянном времени ($\tau = \text{const}$) глубина диффузионного слоя является функцией температуры. Коэффициент диффузии зависит от температуры по закону Аррениуса [4]:

$$D = D_0 \cdot e^{\frac{E}{RT}} \quad (3)$$

Подставив (3) в (1) получим:

$$X = k \cdot \sqrt{\tau \cdot D_0} \cdot e^{\frac{-E}{2RT}}, \quad (4)$$

где E — энергия активации диффузии, R — универсальная газовая постоянная, T — термодинамическая температура, D_0 — предэкспоненциальный фактор.

Полагая

$$k_2 = k \cdot \sqrt{\tau \cdot D_0},$$

уравнение (4) преобразуем к виду

$$X = k_2 \cdot e^{\frac{-E}{2RT}} \quad (5)$$

Решая систему уравнений (5) для $T_1 = 873\text{K}$ и $T_2 = 673\text{K}$ при $\tau = 4\text{ч}$ (воспользовавшись данными таблицы), получим энергию активации диффузии азота при катодно-плазменном азотировании стали 08X18H10T

$$E = 9.81 \cdot 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{атом}}$$

и предэкспоненциальный множитель

$$k_2 = 5.08 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Энергия активации диффузии обеспечивает переход атомов из одного положения в решетке в другое. Необходимый для такого перехода избыток энергии приобретает атом от его соседей благодаря тому, что атомы непрерывно обмениваются кинетической энергией. Так как величина энергии активации входит в показатель степени, то она очень сильно влияет на величину коэффициента диффузии.

Таким образом, при постоянной длительности процесса ($\tau = 4\text{ч}$), температурная зависимость глубины диффузионного слоя при катодно-плазменном азотировании нержавеющей стали 08X18H10T имеет вид (рис. 1),

$$X = 5.08 \cdot 10^{-2} \cdot e^{\frac{-98100}{2RT}}, \quad (6)$$

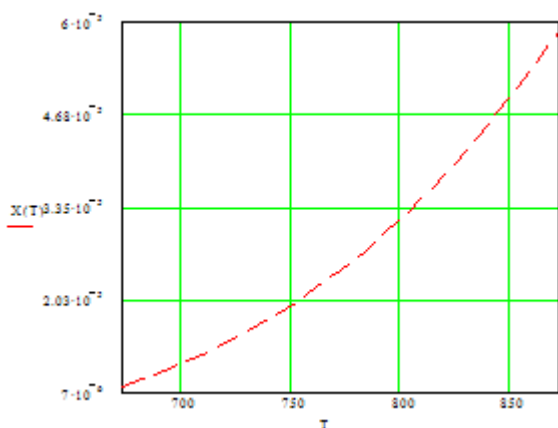


Рис. 1

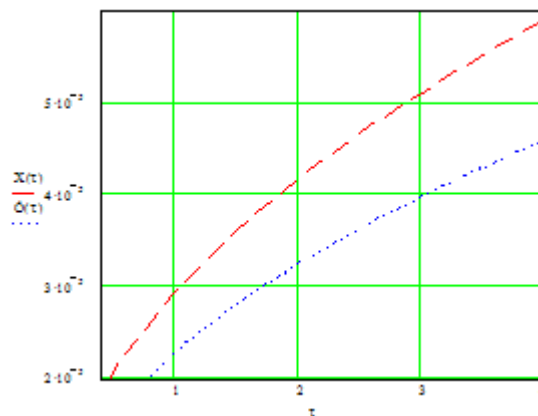


Рис. 2

а при оптимальной температуре ($T=873$ К) зависимость глубины диффузионного слоя при катодно-плазменного азотирования нержавеющей стали 08X18H10T от длительности процесса определяется уравнением (рис. 2)

$$X = 4.92 \cdot 10^{-7} \cdot \sqrt{\tau}$$

Из рис. 2 следует, что при длительности ХТО 4 часа, повышение температуры с 773 К до 873 К приводит к увеличению глубину азотированного слоя в 1.3 раза.

Следует отметить, что температурная зависимость (6) моделирует процесс катодно-плазменного азотирования нержавеющей стали 08X18H10T в рассмотренном температурном интервале (673–873К).

Литература:

1. Ж. М. Бледнова, А. А. Федоров, М. И. Чаевский. Статистическое моделирование катодно-плазменного азотирования нержавеющей стали. — Черметинформация. -1988. -№ 7. -с. 153.
2. Коррозионно-механические свойства сталей с бинарными покрытиями/ Бледнова Ж. М., Карпов В. И., Федоров А. А., Чаевский М. И. //Защитные покрытия на металлах. -1988. -Вып.22. -с. 52–54.
3. Теория термической обработки. Учебное пособие для вузов. Блантер М. Е., М.:Металлургия, 1984. 328 с.
4. Б. С. Бокштейн. Диффузия в металлах. М.:Металлургия,1978.240 с.

ХИМИЯ

Характеристика прооксидантно-антиоксидантного статуса мозга и печени крыс в возрастном аспекте

Лужинская Елена Николаевна, студент;
Волков Алексей Сергеевич, студент;
Глинник Станислава Владимировна, кандидат медицинских наук, ассистент;
Бурдашкина Кристина Григорьевна, ассистент
Белорусский государственный медицинский университет (г. Минск)

Статья посвящена оценке прооксидантно-антиоксидантного статуса мозга и печени разновозрастных крыс. Обнаружено, что у крыс группы «старые» наблюдается падение активности супероксиддисмутазы, каталазы и глутатионредуктазы в мозге при одновременном снижении интенсивности процессов перекисного окисления липидов (по уровню накопления малонового диальдегида). В печени «старых» крыс обнаружено интенсификация процессов ПОЛ (по накоплению диеновых конъюгатов) на фоне снижения активности таких антиоксидантных ферментов как супероксиддисмутаза и каталаза.

Ключевые слова: старение, тиол-дисульфидный обмен, перекисное окисление липидов, ферменты антиоксидантной защиты.

Prooxidant-antioxidant status characteristics of the rats' brain and liver in the age aspect

Luzhynskaya E., Volkau A., Glinnik S., Burdashkina K.

Objects of research are lipid peroxidation processes and activity of the antioxidant system enzymes in brain and liver of experimental animals.

The work purpose was studying of lipid peroxidation processes and activity of antioxidant protection system of brain and liver of experimental animals (rats) that takes part in age-dependent regulation of thiol disulfide exchange.

With age compensatory adaptive mechanisms characterized by developing of age pathology become reduced. And it is known that every pathological process is associated with intensification of free radical oxidation and depleting of antioxidant protection.

According to this fact it's actual to appreciate the prooxidant-antioxidant status of the organism in order to have a possibility to early diagnose and pathological valid treatment.

Obtained experimental results show decreasing of antioxidant activity of such enzymes as superoxide dismutase, catalase, glutathione reductase in brain of «old» group rats. At the same moment accumulation of lipid peroxidation products (malonic dialdehyde) become reduced, and the activity of superoxide dismutase and catalase in liver of the «old» rats decreases simultaneously with the increasing of the diene conjugates' level. The results of this research can be used in studying of bioorganic chemistry, biological chemistry, normal and pathological physiologies.

Keywords: Senescence, lipid peroxidation, thiol disulfide compounds, antioxidant protection system enzymes.

Старение — закономерно возникающие в процессе развития особи возрастные изменения, начинающиеся задолго до старости и приводящие к постепенно нарастающему сокращению адаптационно-компенсаторных

возможностей организма: механизмов регуляции окислительно-восстановительных процессов, проницаемости клеточных мембран, свертывания крови, клеточного деления, роста и размножения, обмена нуклеиновых кислот,

функционирования нервной, эндокринной систем и ряда других важных физиологических процессов, которые связаны с тиоловыми соединениями белковой и небелковой природы [1].

Химической особенностью тиол-дисульфидных соединений, обуславливающей их уникальные биологические свойства, является наличие в составе молекул одной или нескольких сульфгидрильных функциональных групп, обладающих высокой реакционной способностью и возможностью вступать в разнообразные химические превращения. Благодаря этим свойствам тиоловые соединения легко вступают в реакции окисления, взаимодействия со свободными радикалами, перекисями и другими окислителями, с тяжелыми металлами и их соединениями, с органическими кислотами, альдегидами, кетонами, спиртами [2,3].

Существует мнение, что тиолы в концентрациях, обычно применяемых для защиты клеток от окислительного стресса, могут давать и неожиданный повреждающий эффект. Это обусловлено их двойственной природой, в частности, способностью глутатиона, цистеина и других низкомолекулярных тиолов генерировать активные формы кислорода в реакции с ионами переходных металлов (Fe, Cu), либо с другими радикалами и самим становиться тиольными радикалами, что в итоге ведет к альтерации [4].

Критические состояния любого геноза сопровождаются активацией свободнорадикальных процессов в тканях и органах больного. Основные формы активных радикалов являются нормальными компонентами клеточного метаболизма и выполняют определенные биологические функции. Их реактивная агрессивность сдерживается мощной антиоксидантной системой, но с возрастом этот баланс нарушается в сторону неконтролируемой генерации активных форм кислорода, что приводит к формированию окислительного стресса и является одним из факторов, определяющих развитие и прогрессирование патологических процессов. Индуцированные реакции свободно-радикального окисления оказывают влияние как на входящие в состав липидов полиненасыщенные жирные кислоты, так и на белки, в результате модификации аминокислотных остатков [1,2].

Поскольку тиол-дисульфидные соединения имеют непосредственное отношение к функционированию прооксидантно-антиоксидантной систем клетки, то представляется необходимым наряду с изучением реакций тиольного обмена исследование процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) и антиоксидантного статуса организма.

В связи со всем вышесказанным нам было интересно исследовать интенсивность процессов перекисного окисления липидов и активность ферментной системы антиоксидантной защиты, участвующих в регуляции тиол-дисульфидного обмена в возрастном аспекте.

Материалы и методы

Работа была выполнена на белых нелинейных крысах-самцах массой 210–450 г., содержащихся

в стандартных условиях освещения и пищевого режима вивария БГМУ.

Эксперимент был поставлен на 12 животных, разделенных на 2 группы: 1 группа (контрольная) — «молодые» крысы, возрастом 3–4 месяца; 2 группа — «старые» крысы, возрастом 1 год и 3 месяца.

Животные снимались с эксперимента под тиопенталовым наркозом (60–80 мг/кг) забором крови из сонной артерии. Забор органов производился при температуре 0°C.

Интенсивность процессов ПОЛ в тканях оценивали по наработке малонового диальдегида (МДА) [5] и диеновых конъюгатов (ДК) [6]. Спектрофотометрическое определение диеновых конъюгатов ненасыщенных жирных кислот основано на их экстракции из биологического материала смесью равных количеств гептана и изопропанола. После очистки спиртовой фазы от воды и водорастворимых соединений определяли оптическую плотность при длине волны 230 нм. Метод определения содержания МДА основан на цветной реакции между тиобарбитуровой кислотой, другими низкомолекулярными соединениями и МДА. Оптическую плотность измеряли при длине волны 532 нм.

Активность ферментов антиоксидантной защиты (СОД, каталазы, ГП, ГР) определялась в гомогенатах, центрифугированных при 3000 об/мин в течение 10 минут.

Активность СОД оценивали с помощью химической системы продукции супероксидного радикала, обеспечивающей одноэлектронное восстановление растворенного в воде кислорода в результате катализируемого феназинметасульфатом окисления [7,8]. Активность каталазы определяли по методу, основанному на способности перекиси водорода образовывать с солями молибдена стойкий окрашенный комплекс. Расчет активности производили по калибровочному графику [9]. Активность ГР оценивали по методу P. Z. Wendell, модифицированному применительно к серийным исследованиям: реакция окисленного глутатиона, катализируемая глутатионредуктазой, останавливалась 96 %-ным этиловым спиртом в четырехкратном объеме [10].

Полученные данные обрабатывались с помощью программы Statsoft Statistika 10.0 с достоверным уровнем значимости $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

В мозге «старых» животных наблюдалось достоверное снижение процессов ПОЛ, о чем свидетельствует падение уровня МДА по отношению к контрольной группе на 19,31 %. Со стороны изученных антиоксидантных ферментов мозга крыс, у «старых» животных отмечалось достоверное снижение активности СОД на 29,1 %, каталазы на 46 % и ГР на 56 % относительно группы «молодые».

В печени экспериментальных животных группы «старые» наблюдалось достоверное увеличение интен-

сивности процессов ПОЛ, о чем свидетельствует возрастание уровня ДК по отношению к группе «молодые» на 8 %. При изучении активности ферментов антиоксидантной защиты в печени «старых» животных наблюдалось достоверное снижение активности СОД и каталазы на 25,1 % и 17,1 % соответственно.

Таким образом, в изученных тканях животных группы «старые» было обнаружено падение активности антиоксидантных ферментов: СОД, каталазы и ГР в мозге при одновременном снижении накопления продуктов перекисного окисления липидов (МДА); СОД и каталазы в печени на фоне повышения уровня диеновых конъюгатов.

Литература:

1. Чантурия, А. В. Старение (Патофизиологические аспекты) // А. В. Чантурия, Ф. И. Висмонт / Учеб.-метод. пособие. — Минск, 2004. — 26 с.
2. Гончаров, Н. Г. Корреляция показателей тиол-дисульфидной системы с проявлением неопластических процессов в эпителии желез толстой кишки / Н. Г. Гончаров [и др.] // Амбулаторная хирургия. — 2001. — № 4 (28). — С. 61.
3. Кулинский, В. И. Система глутатиона / В. И. Кулинский, Л. С. Колесниченко // Биомедицинская химия. — Т.55, № 4. — 2009. — С. 365–379.
4. Фасхутдинова, А. А. Прооксидантное и цитотоксическое действие тиолов в комбинации с витамином В12b на опухолевые клетки *in vitro* // А. А. Фасхутдинова / Автореф. дис.... канд. биол. наук / Пушино, 2008. — 23 с.
5. Asakawa T. Coloring conditions of thiobarbituric acid test, for detecting lipid hydroperoxides // Asakawa T., Matsushita S. / *Lipids*. — Vol.15. — 1980. — P. 137–140.
6. Костюк, В. А. Спектрофотометрическое определение диеновых конъюгатов // В. А. Костюк, А. И. Потапович, Е. Ф. Лунец / Вопросы медицинской химии. — Т. XXX. — № 4. — 1984. — С. 125–127.
7. Nishikimi M. N. The occurrence of superoxide anion in the reaction of reduced phenazine methosulfate and molecular oxygen // M. N. Nishikimi, R. Appaji, K. Yagi / *Biochim. Biophys. Research. Commun.* — V. 46. — № 2. — 1972. — P. 849–854.
8. Чумаков, В. Н. Количественный метод определения активности цинк-, медь-зависимой супероксиддисмутазы в биологическом материале // В. Н. Чумаков, Л. Ф. Осинская / Вопросы мед. химии. — Т. XXIII. — № 6. — 1977. — С. 712–716.
9. Королюк, М. А. Метод определения активности каталазы // М. А. Королюк, А. И. Иванова, И. Г. Майорова / Лаб. дело. — № 1. — 1988. — С. 16–19.
10. Wendell P. Z. *Biochim. Biophys. Acta*. — V. 159. — № 1. — 1968. — P. 179–181.

ИНФОРМАТИКА

Особенности вычисления временных интервалов в Excel

Бильфельд Николай Валентинович, кандидат технических наук, доцент
Березниковский филиал Пермского научно-исследовательского политехнического университета

Рассмотрены различные варианты определения количества полных лет, месяцев и дней между датами с помощью формул Excel, макрокоманд Excel и недокументированных возможностей Excel. Приведен метод определения високосного года. Описаны параметры функций ДОЛЯГОДА () и РАЗНДАТ ()

Во многих задачах, таких как «Определить дату очередной прививки ребенку» или «Расчет отработанного стажа» необходимо определить, сколько полных лет, месяцев и дней исполнилось человеку на указанную дату. Автоматизировать данный процесс можно, используя таблицы Excel. Для определения количества лет можно использовать функцию ДОЛЯГОДА (Начальная дата; Конечная дата; Базис), которая возвращает долю года, между двумя указанными датами, где базис — используемый способ вычисления дня. Значения базисов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения базисов в функции «ДОЛЯГОДА»

Базис	Способ вычисления дня
0	Американский (NASD) 30/360
1	Фактический / фактический
2	Фактический / 360
3	Фактический / 365
4	Европейский 30/360

Например, если начальная дата (дата на которую необходимо произвести расчет) составляет 01.07.2011, а конечная дата (дата рождения) составляет 08.03.2010, то результатом функции будет 1,31506849315068. Целая часть данного числа и даст количество полных лет. Количество месяцев, можно получить, как остаток данного числа, умноженное на 12. В результате получим $0,31506849315068 * 12 = 3,78082191780822$ или 3 полных месяца. Приблизительное значение дней получаем как остаток от месяцев, умноженный на 30. т. е. $0,78082191780822 * 30 = 23,4246575342465$.

В результате получаем таблицу, приведенную на рисунке 1

	A	B	C	D	E
1	Дата	01.07.2011			
2					
3					
4	Имя	Дата рождения	Лет	Месяцев	Дней
5	Миша	08.03.2010	1	3	23

Рис. 1. Вычисление полных лет и месяцев с приближенным вычислением дней

В ячейку C5 поместим формулу
 =ОТБР (ДОЛЯГОДА (B5;B1;1))
 В ячейку D5 поместим формулу
 =ОТБР (ОСТАТ (ДОЛЯГОДА (B5;B1;1);1)*12)
 В ячейку E4 поместим формулу
 =ОТБР (ОСТАТ (ОСТАТ (ДОЛЯГОДА (B5;B1;1);1)*12;1)*30)

Если необходимо определить точное количество дней, то в последней формуле необходимо производить умножение на количество дней конкретного месяца, присутствующего в дате, введенной в ячейку B1

Определить количество дней в месяце конкретной даты с помощью формул Excel сложнее. Готовой такой формулы нет. Тем более, если месяц окажется февралем, то все будет зависеть еще и от года (високосный или нет).

F7		fx
	A	B
1	Дата	01.02.2012
2	Год	2012
3	Месяц	2
4	Признак (1- високосный, 0 - нет)	1
5	Дней в месяце без учета года)	28
6	Дней в месяце с учетом года)	29

Рис. 2. Вычисление полных лет и месяцев с точным вычислением дней

Попробуем последовательно решить эту задачу.

Создадим таблицу, приведенную на рисунке 2.

В ячейку B2 поместим формулу =ГОД (B1)

В ячейку B3 поместим формулу =МЕСЯЦ (B1)

Чтобы определить, является ли год високосным, необходимо выполнить следующий алгоритм:

1. Если год делится на 4, перейдите к шагу 2. В противном случае перейдите к шагу 5.
2. Если год делится на 100, перейдите к шагу 3. В противном случае перейдите к шагу 4.
3. Если год делится на 400, перейдите к шагу 4. В противном случае перейдите к шагу 5.
4. Год является високосным (366 дней).
5. Год не является високосным (365 дней).

В связи с этим в ячейку B4 поместим формулу:

=ЕСЛИ (ИЛИ (ОСТАТ (B2;400)=0;И (ОСТАТ (B2;4)=0;ОСТАТ (B2;100)<>0));1;0)

Формула возвращает единицу, если год високосный и ноль если нет.

В ячейку B5 поместим формулу:

=ЕСЛИ (ИЛИ (B3=1;B3=3;B3=5;B3=7;B3=8;B3=10;B3=12);31;ЕСЛИ (B3=2;28;30))

Формула возвращает одно из значений 31, 30 или 28 в зависимости от месяца в дате. Остается правильно учесть дни в феврале в зависимости от года. Для этого в ячейку B6 поместим формулу: =ЕСЛИ (B5=28;B5+B4;B5) Формула будет возвращать количество дней в месяце даты с учетом года.

И последнее, что можно сделать, это объединить все формулы, по вычислению дней в месяце даты в одну формулу.

Создадим таблицу, приведенную на рисунке 3.

G11							fx
	A	B	C	D	E	F	
1	Дата	Дней в месяце					
2	01.07.2011	31					
3							
4	Имя	Дата рождения	Лет	Месяцев	Дней	Дней 2	
5	Миша	08.03.2010	1	3	23	24	

Рис. 3. Оптимизированная таблица

Поместим в ячейку B2 формулу:

```
=ЕСЛИ((ЕСЛИ(ИЛИ(МЕСЯЦ(A2)=1;МЕСЯЦ(A2)=3;МЕСЯЦ(A2)=5;МЕСЯЦ(A2)=7;МЕСЯЦ(A2)=8;МЕСЯЦ(A2)=10;МЕСЯЦ(A2)=12);31;ЕСЛИ(МЕСЯЦ(A2)=2;28;30)))=28;(ЕСЛИ(ИЛИ(МЕСЯЦ(A2)=1;МЕСЯЦ(A2)=3;МЕСЯЦ(A2)=5;МЕСЯЦ(A2)=7;МЕСЯЦ(A2)=8;МЕСЯЦ(A2)=10;МЕСЯЦ(A2)=12);31;ЕСЛИ(МЕСЯЦ(A2)=2;28;30)))+(ЕСЛИ(ИЛИ(ОСТАТ(ГОД(A2);400)=0;И(ОСТАТ(ГОД(A2);4)=0;ОСТАТ(ГОД(A2);100)<>0));1;0));((ЕСЛИ(ИЛИ(МЕСЯЦ(A2)=1;МЕСЯЦ(A2)=3;МЕСЯЦ(A2)=5;МЕСЯЦ(A2)=7;МЕСЯЦ(A2)=8;МЕСЯЦ(A2)=10;МЕСЯЦ(A2)=12);31;ЕСЛИ(МЕСЯЦ(A2)=2;28;30))))))
```

В ячейке F5 сошлемся на нее, как

```
=ОТБР(ОСТАТ(ОСТАТ(ДОЛЯГОДА(B5;A2;1);1)*12;1)*B2)
```

Заметим, что при точном подсчете, дней оказалось не 23, как показано в таблице на рисунке 1, а 24 дня.

Еще один вариант определения количества дней в дате текущего месяца, это использование функций *КОНМЕСЯЦА* и *ДЕНЬ*. Необходимо сказать, что функция *КОНМЕСЯЦА* доступна только после подключения надстройки «Пакет анализа». Функция *КОНМЕСЯЦА* возвращает дату в числовом формате для последнего дня месяца, отстоящего вперед или назад на заданное число месяцев. Если заданное число месяцев принять равным нулю, то функция возвратит дату последнего дня текущего месяца. Получить числовое значение количества дней можно с помощью функции *ДЕНЬ*.

Создадим таблицу, приведенную на рисунке 4.

В ячейку B2 поместим формулу =*ДЕНЬ(КОНМЕСЯЦА(\$B\$1;0))*

В ячейку C5 поместим формулу =*ОТБР(ДОЛЯГОДА(B5;\$B\$1;1))*

В ячейку D5 поместим формулу

```
=ОТБР(ОСТАТ(ДОЛЯГОДА(B5;$B$1;1);1)*12)
```

В ячейку E5 поместим формулу

```
=ОСТАТ(ОСТАТ(ДОЛЯГОДА(B5;$B$1;1);1)*12;1)*$B$2
```

	A	B	C	D	E
1	Дата	01.07.2011			
2	Дней в месяце	31			
3					
4	Ребенок	Дата рождения	Лет	Месяцев	Дней
5	Миша	08.03.2010	1	3	24

Рис. 4. Использование функции *КОНМЕСЯЦА*

Задачу можно решить, зная макрокоманды *Excel*. Для вычисления количества дней в месяце указанной даты можно написать функцию:

Function DnMes (D)

‘Дней в месяце от даты

M = Month (D): G = Year (D): V = 0

If (G Mod 400 = 0) Or ((G Mod 4 = 0) And (G Mod 100 <> 0)) Then V = 1

Select Case M

Case 1, 3, 5, 7, 8, 10, 12

DnMes = 31

Case 2

DnMes = 28 + V

Case 4, 6, 9, 11

DnMes = 30

End Select

End Function

Тогда в ячейку B2 таблицы, приведенной на рисунке 3 достаточно поместить формулу: =DnMes (A2)

И еще есть такая вещь, как недокументированные возможности. Оказывается Excel поддерживает функцию РАЗНДАТ (). Правда этой функции нет среди тех, которые доступны в диалоговом окне «Мастер функций» и набирать ее придется вручную. Функция известна еще с Lotus 1–2–3, и очевидно с целью совместимости Excel поддерживает эту функцию. Интересно, что с версии Excel 2000 данная функция даже не упоминалась. А из интерактивной справки Excel 2003 были удалены все ссылки на эту функцию, хотя сама функция доступна, как и в Excel 2007.

Функция позволяет вычислить количество дней, месяцев и лет, между двумя указанными датами (как раз, то, что нам нужно). Она использует три аргумента: «начальная дата», конечная дата» и «код», с помощью которого задается единица времени. Значения кодов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Коды функции РАЗНДАТ ()

Код	Возвращаемое значение
«y»	Количество полных лет
«m»	Количество полных месяцев
«d»	Количество дней
«md»	Количество дней (месяцы и годы игнорируются)
«ym»	Количество месяцев (годы и дни игнорируются)
«yd»	Количество дней (годы игнорируются)

Имея в распоряжении такую функцию, наша задача решается тривиально просто. Создадим таблицу, приведенную на рисунке 5.

	A	B	C	D	E
1	Дата				
2	01.07.2011				
3					
4	Имя	Дата рождения	Лет	Месяцев	Дней
5	Миша	08.03.2010	1	3	24

Рис. 5. Использование функции РАЗНДАТ ()

В ячейку C5 поместим формулу =РАЗНДАТ (B5;\$A\$2;»y«)

В ячейку D5 поместим формулу =РАЗНДАТ (B5;\$A\$2;»m«)

В ячейку E5 поместим формулу =РАЗНДАТ (B5;\$A\$2;»md«)

Опять же, есть один нюанс. Дело в том, что функция РАЗНДАТ () по умолчанию использует американский базис при вычислении количества дней (смотри таблицу 1). Поэтому все зависит от конкретной задачи. Если необходимо фактическое количество дней, то лучше пользоваться таблицей, приведенной на рисунке 3.

Литература:

1. Веденева Е. Функции и формулы Excel 2007. Библиотека пользователя. СПб.: Питер, 2008. 384 с.
2. Мединов О. Office 2007. Мультимедийный курс. СПб.: Питер, 2009. 176 с.
3. Поддержка Excel/Справка и инструменты по Excel 2007 [Электронный ресурс]. — <http://office.microsoft.com/ru-ru/excel-help/HP010062302.aspx>
4. Форум по Excel [Электронный ресурс]. — <http://sizop.myl.ru/forum/10-236-1>
5. Справочник по функциям Excel [Электронный ресурс]. — <http://www.excel-vba.ru/tag/funkcii-excel/>

Усовершенствование метода групповых резолюент для решения задачи о минимальном покрытии

Кныш Кирилл Васильевич, магистрант
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (г. Минск)

Проблема выполнимости булевых формул (проблема пропозициональной выполнимости) — это одна из наиболее известных NP-полных задач. Несмотря на то, что в общем случае проблема выполнимости не разрешима за полиномиальное время, нахождение случаев, когда ответ может быть получен быстро, очень важно для различных прикладных задач. В частности, тесты, основанные на проблеме выполнимости сегодня широко применяются для автоматизации проектирования, а также для проверки разрабатываемых программ. С другой стороны, выявление сложных случаев задачи о выполнимости, позволяет реализовывать более эффективные системы защиты информации.

Тема сведения задач из различных областей прикладной математики и информатики к задаче выполнимости хорошо развивается. Одна из причин этого — возможность решать задачи, возникающие в самых различных областях, единым алгоритмом решения задачи выполнимости [1].

Задача выполнимости может быть решена с помощью сведения к задаче о минимальном покрытии. Эффективность решения задачи методом групповых резолюций зависит от исходных данных, поэтому важной задачей является определение области применения, в которой рассмотренный алгоритм работает наиболее эффективно, другими словами поиск подмножества задач, для которых алгоритм находит оптимальное решение за допустимое время.

Базовый метод групповых резолюций

Метод групповых резолюций позволяет найти решения задачи о минимальном покрытии (0,1) — матрицы B множеством строк. Пусть дана система дизъюнктов.

$$\begin{cases} D_1 = x_1 \vee \bar{x}_2 \\ D_2 = x_2 \vee x_3 \\ D_3 = \bar{x}_1 \vee x_2 \vee x_3 \\ D_4 = \bar{x}_2 \vee \bar{x}_3 \end{cases}$$

Для нее строим (0,1) — матрицу B следующим образом. Строки матрицы соответствуют литералам x_i и их отрицаниям $\neg x_i$. Таким образом, число строк составит $2n$, где n — число различных булевских переменных. Столбцы матрицы соответствуют дизъюнктам системы D_j , причем столбец содержит единицу в строке x_k и $\neg x_k$, если переменная x_k входит в D_j без отрицания (с отрицанием). Кроме того, матрица дополнительно содержит n столбцов, соответствующих тавтологическим дизъюнктам $x_k \vee \neg x_k$. С учетом сказанного,

матрица B для рассматриваемого примера имеет вид, изображенный в таблице 1.

Таблица 1. Исходная матрица

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
x_1	1				1		
x_2		1	1			1	
x_3		1	1				1
$\neg x_1$			1		1		
$\neg x_2$	1			1		1	
$\neg x_3$				1			1

Под минимальным покрытием матрицы B понимается минимальное по числу строк множество π_{\min} , такое, что для каждого столбца матрицы B найдется как минимум одна строка в π_{\min} , которая содержит в данном столбце «1» (иными словами, покрывает данный столбец).

Утверждение. Пусть дана матрица B , построенная для системы дизъюнктов с $n > 1$ переменными. Если минимальное покрытие π_{\min} матрицы B содержит более n строк, то данная система дизъюнктов невыполнима; в противном случае — выполнима [2].

Принцип групповых резолюций позволяет порождать новые — групповые резолюенты, используя любой эвристический метод для отыскания минимального или близкого к нему покрытия. Гарантируется, что рано или поздно будет порожден полностью нулевой столбец. В этом случае алгоритм прекращает работу. Наилучшее из найденных к этому моменту покрытий и является минимальным.

В качестве эвристического алгоритма используется описанный ниже. На каждой итерации p отыскиваем столбец (из числа невычеркнутых) с минимальным числом единиц. Обозначим этот столбец r_p и назовем его *синдромным*. Найдем невычеркнутую строку i_p , покрывающую r_p , и такую, что из всех других строк, покрывающих r_p , она содержит наибольшее число единиц. Включим i_p в отыскиваемое на данной итерации p покрытие. Вычеркнем все строки, содержащие в столбце r_p «1», а также все столбцы, покрываемые строкой i_p . Итерация ведется до тех пор, пока имеется хотя бы один невычеркнутый столбец и одна невычеркнутая строка.

Так берем столбец D1 и строку $\neg x_2$, которую включим в отыскиваемое покрытие на итерации 1. Вычеркнем строки и столбцы согласно описанному правилу. Результат описан в таблице 2.

Таблица 2. Матрица на второй итерации

	D2	D3	D5	D7
x_2	1	1		
x_3	1	1		1
$\neg x_1$		1	1	
$\neg x_3$				1

Выполним теперь вторую итерацию. Выберем столбец D2 и строку x_3 . Вычеркнем строки и столбцы согласно описанному выше правилу (см. таблицу 3).

Таблица 3. Матрица на последней итерации

	D5
$\neg x_1$	1
$\neg x_3$	

Остается единственный не вычеркнутый столбец, так что включаем строку $\neg x_1$ в предполагаемое минимальное покрытие. Таким образом, итерация завершается отысканием покрытия $\pi_1 = \{\neg x_2, x_3, \neg x_1\}$. Согласно представленному выше утверждению, данное покрытие минимально и дает выполняющую интерпретацию для исходной системы дизъюнктов.

Описанный эвристический алгоритм не всегда отыскивает минимальное покрытие, и необходимо выполнять этап построения групповой резольвенты следующим образом. Берется текущее найденное покрытие и оставляется в нем любые $n+1$ строк. Формируется матрица R из синдромных столбцов, найденных для этих строк. Формируется столбец-резольвента, исходя из следующего: столбец содержит «1» в тех и только тех строках, которые в R имеют две или более единиц; в противном случае строка содержит «0». Этот столбец присоединяется к матрице B , и итерации возобновляются снова [2].

Найденное на первой итерации покрытие $\pi_1 = \{\neg x_2, x_3, \neg x_1\}$ содержит $n=3$ строки. Построим для него матрицу R на синдромных столбцах D1, D2, D5 (см. таблицу 4).

Таблица 4. Построение резольвенты

	D1	D2	D5	Резольвента
x_1	1		1	1
x_2		1		
x_3		1		
$\neg x_1$			1	
$\neg x_2$	1			
$\neg x_3$				

В данном случае групповая резольвента содержит единственную «1» в строке x_1 . При возобновлении итераций (если бы это было необходимо) следует добавить данную резольвенту к матрице B .

Для матриц небольших размеров описанный алгоритм показывает хорошие результаты. Например, минимальное покрытие для матрицы 30×100 с плотностью 0,08 в среднем находится менее, чем за 1000 итераций (время выполнения 1–2 с).

Однако алгоритм обладает следующими недостатками для матриц больших размеров:

Нелинейная зависимость количества итераций от размера матрицы.

Рост размеров матрицы вследствие добавления новых резольвент на каждой итерации.

Разработка усовершенствованного метода

Базовая версия алгоритма способна найти оптимальное решение, но на небольших матрицах. Если количество строк превышает отметку в 30 штук или столбцов в 50, то время вычисления становится неуместным [2]. Основной проблемой такого подхода является быстрый рост количества добавляемых резольвент, что значительно снижает показатели расхода памяти. Также, с добавлением новой резольвенты растет и время работы алгоритма на следующей итерации.

В качестве места для оптимизации алгоритма было решено взять процесс построения групповой резольвенты. Тогда на этапе подготовки массива уже существующие групповые резольвенты не перетираются. Новая резольвента добавляется в конец массива, сбрасываются все статусы строк и столбцов и начинается этап поиска решения.

После нахождения некоторого решения необходимо построить групповую резольвенту. Процесс построения похож на базовую реализацию за исключением того, что единица в резольвенте ставится только одна и в той строке, которая содержит в себе наибольшее количество единиц в матрице, составленной из синдромных строк и столбцов. Такой подход ограничивает рост матрицы.

Поскольку вновь созданные групповые резольвенты не перетирают старые, то возникает возможность роста размера матрицы. Однако, из-за того, что в созданных резольвентах лишь одна единица, то это обеспечивает гарантированно попадание пересекаемой строки в решение. А тот факт, что новые резольвенты строятся на основе синдромных строк и столбцов, гарантирует, что одна и та же резольвента не будет сгенерирована дважды. Она гарантированно попадет в решение вместе с соответствующим столбцом-резольвентой, однако в ней будет лишь одна единица. Остальные столбцы будут вычеркнуты на этапе поиска решение и не смогут стать синдромными.

Итак, на каждой итерации гарантированно находится строка, попадающая в решение. Поскольку созданные резольвенты не перетираются между итерациями, а макси-

мальное количество строк в решении равно начальному количеству строк, то и количество столбцов, как и в базовой версии, не превысит значение $m+n$. Более того, количество итераций ограничивается количеством строк, что не дает расти времени вычисления алгоритма. Ограничение количества операций позволяет больше не задумываться об этом аспекте алгоритме, а все дальнейшие оптимизации могут быть направлены лишь на увеличение производительности второго этапа.

Статистический анализ результатов работы метода

На рисунке 1 приведен график, показывающий рост количества итераций в зависимости от размера матрицы (количества строк). Значение плотности «1» было взято равное 0.2. Как видно из графика, количество итераций растет пропорционально функции \sqrt{x} и достаточно медленно (для матрицы размером 990 строк на 990 столбцов необходимо в среднем чуть менее 19 итераций).

Также, было замечено, что совсем необязательно ждать окончания всех итераций. Вторая линия на графике 1 показывает номер лучшей итерации в решении, т. е. той, на которой было найдено лучшее решение. Преждевременное прерывание алгоритма позволит значительно снизить затраты на вычисления. Как видно из графика, при нахождении достоверного условия о нахождении наилучшего решения количество итераций можно снизить примерно в 3 раза.

Для более наглядной демонстрации возможностей алгоритма при проведении расчетов замерялось, также, и количество времени, затраченное на решение. На ри-

сунке 2 приведен график зависимости затраченного времени от размера матрицы при фиксированной плотности (0.2). Измерения проводились на ПК с конфигурацией: Intel Core i5—3450 3.10GHz, 8Gb RAM, Windows 7 x64. Временные затраты растут по графику ветки параболы и для матрицы достаточно большого размера (около 1000 строк) не превышают 1.5 секунд.

Для поиска зависимостей между производительностью алгоритма и плотностью единиц в матрице было решено использовать матрицы размером 200 строк на 200 столбцов и фиксировать количество итераций для разных значений плотностей «единиц» в матрицах. Как видно по графику на рисунке 5.3 количество итераций снижается по мере роста плотности.

В процессе проведения вычислений, как и ожидалось, были выявлены слабые места алгоритма. В целом, алгоритм показал себя хорошо, особенно на матрицах с большой плотностью «единиц» вне зависимости от размера.

Для исследования поведения «желоба» неоптимальных решений был проведен ряд тестов не «вглубь», а «вширь», т. е. изучена зависимость нахождения оптимальных решений от размера матрицы. Для этого было зафиксировано количество строк (300 штук), а количество столбцов увеличивалось, начиная с 40 и далее. Таким образом, удалось установить зависимость нахождения оптимального решения от отношения количества строк к количеству столбцов (т. е. начиная с $40/300=0.13$). Для общего представления приведен график на рисунке 4. Более крупный вид «желоба» (плотность «единиц» от 0.01 до 0.2) приведен на рисунке 5.

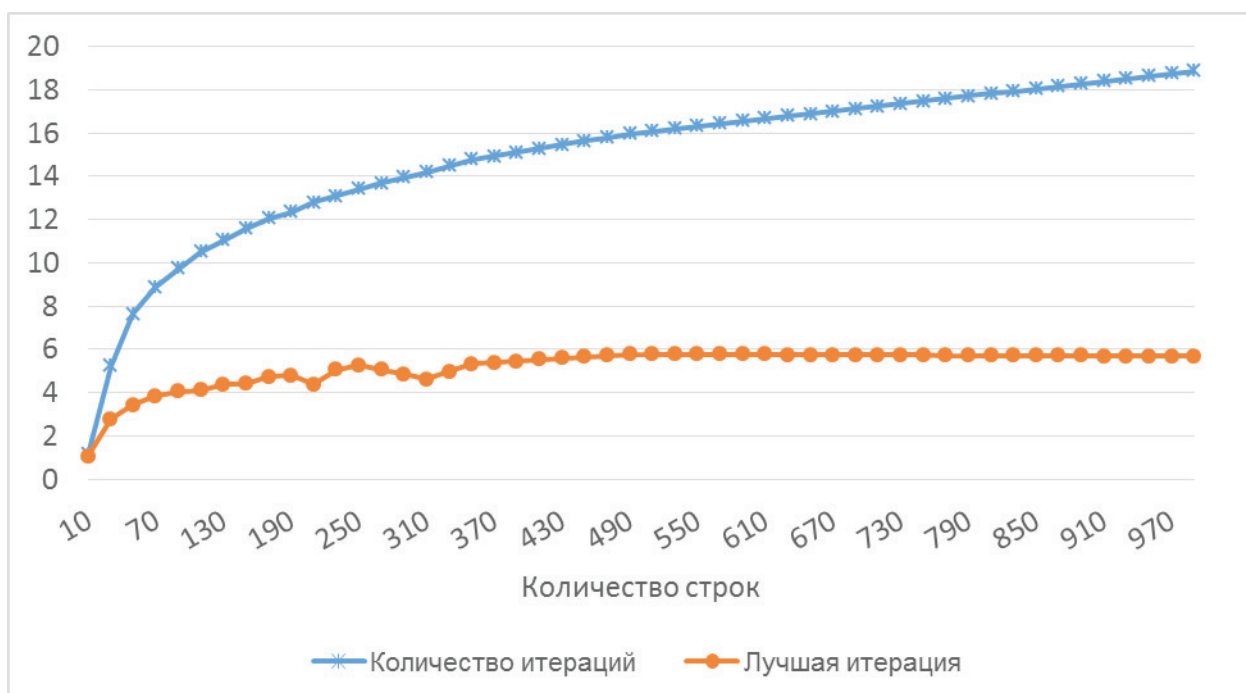


Рис. 1. График зависимости количества итераций и номера лучшей итерации от размера матрицы (плотность 0.2)

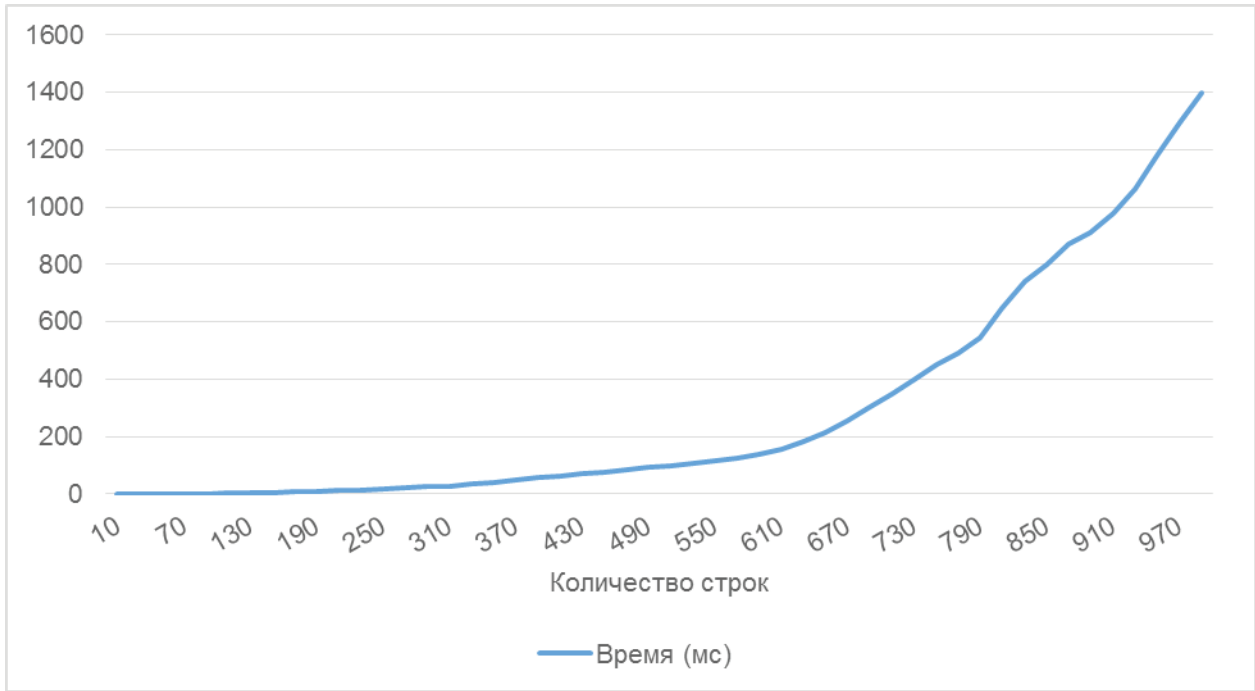


Рис. 2. График зависимости количества затраченного на решение времени в миллисекундах от размера матрицы

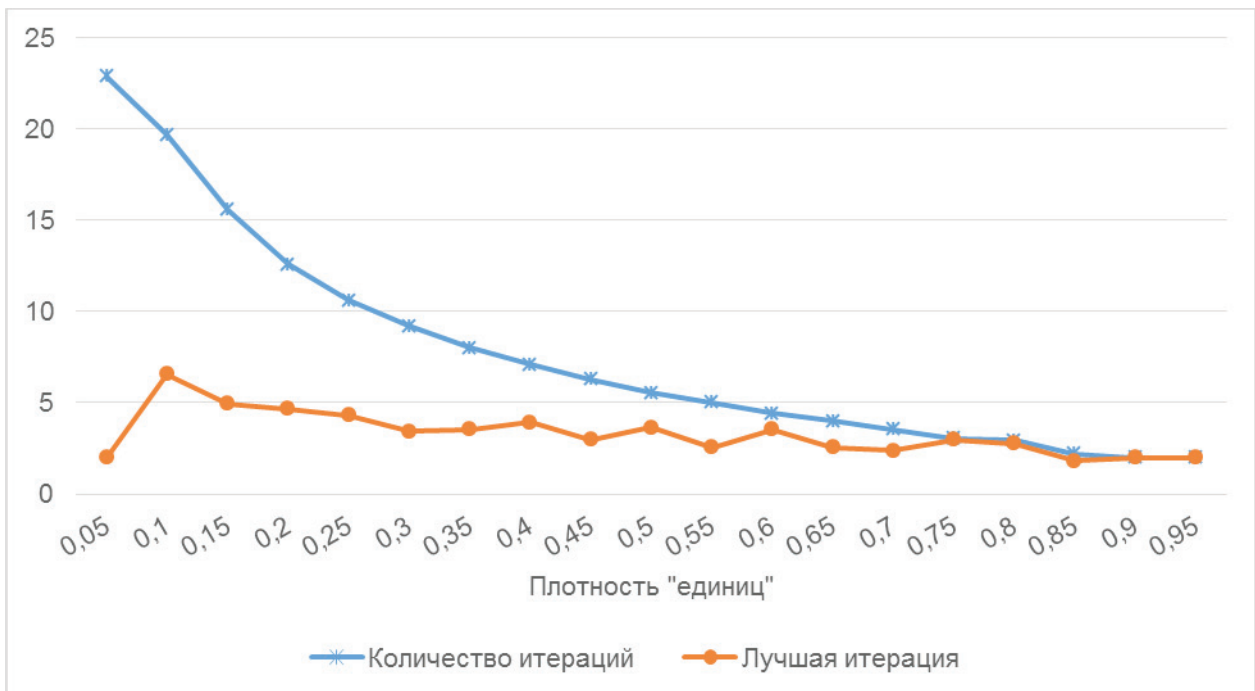


Рис. 3. График зависимости количества итераций и номера лучше итерации от плотности «единиц»

Заключение

Как видно из анализа полученных данных, получить абсолютно верно работающий алгоритм так и не удалось. Однако был сделан огромный шаг в сторону контроля количества итераций и, как следствие, времени расчета. Проанализировав полученные результаты был составлен

список рекомендаций для направления вектора дальнейших исследований:

— **Преждевременная остановка алгоритма** — как видно из рисунков 1 и 3 лучшая итерация наступает намного раньше, чем условие окончания вычислений вне зависимости от размера матрицы. Особенно это заметно на матрицах с низкой плотностью «единиц»;

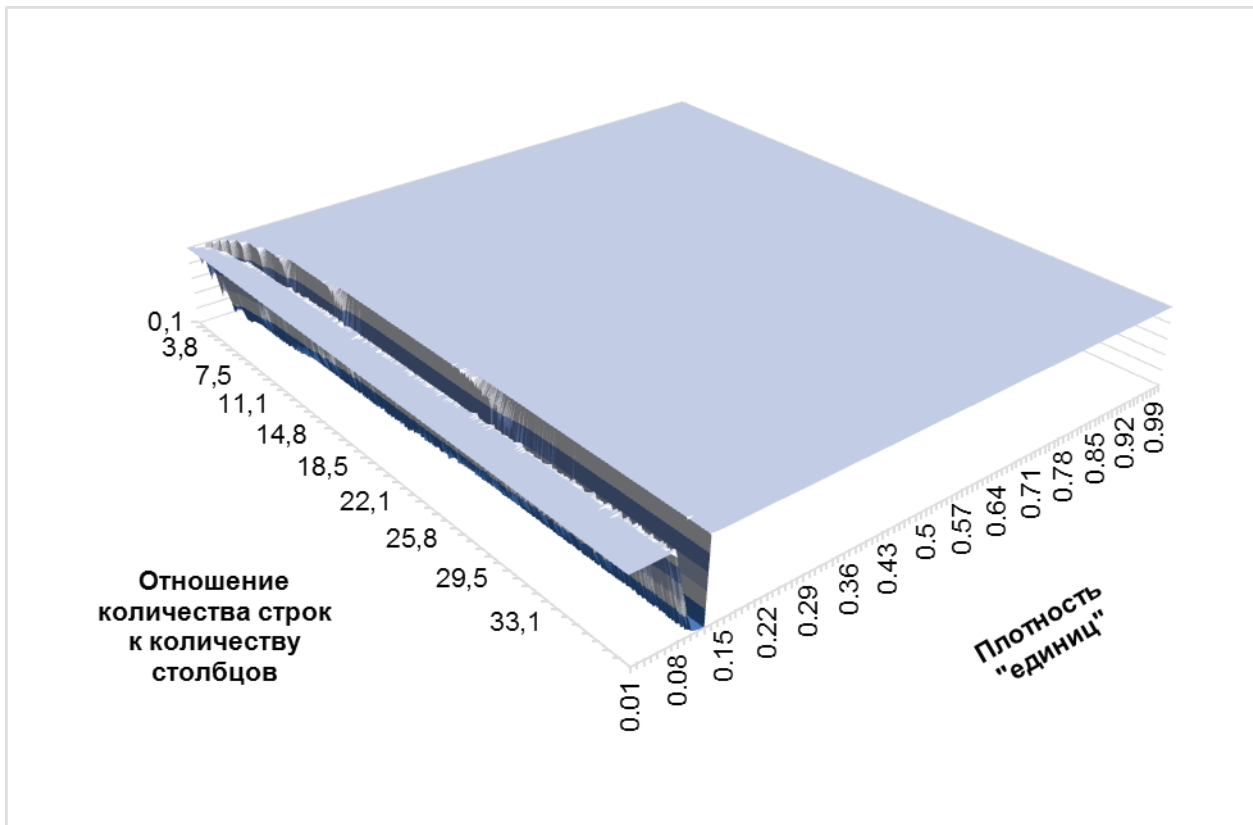


Рис. 4. Зависимость вероятности получения оптимального решения от размера матрицы и плотности «единиц»

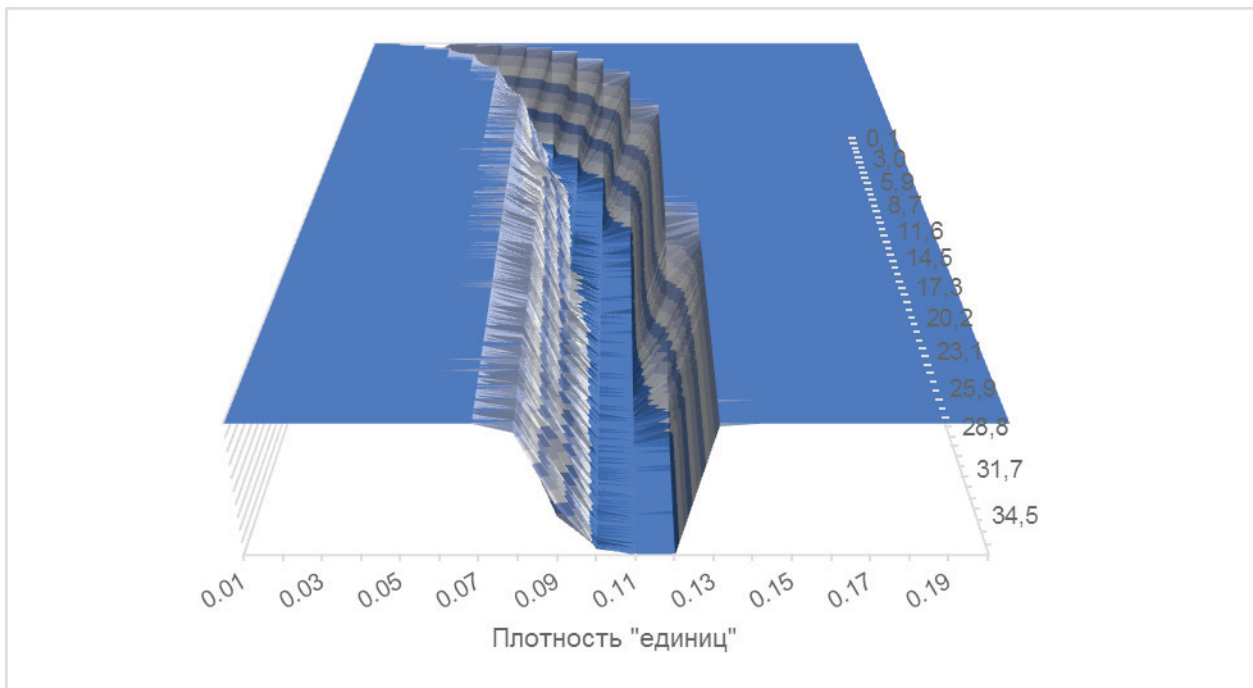


Рис. 5. Зависимость вероятности получения оптимального решения от размера матрицы и плотности «единиц». Детальный вид.

— Сокращение расходов на память — в худшем случае алгоритм требует хранить матрицу размером $n \times m + n$ (где n — количество строк в начальной матрице,

m — количество столбцов). Под таким случаем мы подразумеваем матрицу, для которой решением будут все строки. Однако для матриц с большой плотностью необ-

ходимо значительно меньше итераций, чем количество строк. Отсюда можно сделать вывод, что совсем необязательно выделять изначально такие объемы памяти;

— **Распараллеливание вычислений** — в целом алгоритм достаточно линеен и каждая последующая итерация зависит от предыдущей (необходима вновь построенная дополнительная резольвента). Однако некоторые части вполне пригодны для распараллеливания: цикл для построения групповой резольвенты, циклы поиска минимального столбца, максимальной строки, вычеркивание синдромных строк и столбцов.

— **Исследование проблемной зоны** — как выяснилось, алгоритм ведет себя не самым лучшим образом на некоторых значениях плотностей «единиц». Пожалуй, это и есть его самый большой недостаток. Вероятность отыскания оптимального решения падает так низко, что

использовать его на таких матрицах не целесообразно. И хотя ширина «желоба» ошибок не превышает 0.06 (это составляет всего 6 % от всего числа матриц), результаты на этом промежутке неудовлетворительны.

Новый метод основан на эмпирическом подходе, что не обеспечивает гарантированного 100 %-го результата. Однако были проведены тысячи опытов и анализ полученных результатов показал, что примерно в 94 % случаев метод выдает весьма хорошее оптимальное решение.

Улучшенная версия алгоритма хоть и не является точным подходом, но все же показывает почти 100 %-ые результаты. Такие данные подталкивают к дальнейшим исследованиям данного алгоритма, т. к. успех в решении одной задачи значительно расширит знания в области NP-полных задач в целом и задачи выполнимости в частности.

Литература:

1. Поцелуевская Е. А. Теоретическая и практическая сложность задачи о выполнимости булевых формул / Интеллектуальные системы, 2009. С. 455–476.
2. Герман О. В. Экспертные системы: учебно-методическое пособие / О. В. Герман — Минск БГУИР, 2008. С. 37–44.

Структура программного обеспечения для слабовидящих людей

Королева Ирина Юрьевна, кандидат технических наук, доцент;
Сорокина Анастасия Дмитриевна, студент
Волгоградский государственный технический университет

Слабовидящие люди — это люди, имеющие какие-либо проблемы со зрением. Это может быть частичная потеря зрения, дальтонизм и др. Такие проблемы могут быть врожденными либо приобретенными в процессе взросления человека.

Слабовидящие люди зачастую не имеют возможности работать за компьютером, так как им тяжело воспринимать информацию, выводимую на экран. Для облегчения работы слабовидящих на ЭВМ существуют различные программные и технические средства. Ниже приведены категории таких средств:

- экранные лупы или системы экранного увеличения;
- ПО для чтения;
- навигационное программное обеспечение;
- программы для распознавания речи;
- виртуальные манипуляторы и устройства ввода;
- системы считывания экранной информации;
- ПО для сканирования и распознавания текста;
- программные комплексы для средств коммуникации. [1]

Однако эти средства имеют высокую стоимость, трудодоступность, обычно они не поддерживают русский язык. А так же нет таких программных средств, которые

сочетали бы в себе основные компоненты, необходимые при работе за ЭВМ для слабовидящих, а именно — озвучивание нажатия клавиш на клавиатуре, чтение печатного текста, использование лупы. В связи с этим при разработке структуры программного обеспечения для слабовидящих людей, можно уделить особое внимание экранным лупам и ПО для чтения. Ниже рассмотрены данные технологии.

Технология «Экранная лупа»

Экранная лупа используется для увеличения области на экране. Может быть разных видов. Некоторые экранные лупы не только увеличивают выбранную область, но и позволяют применять различные фильтры (например, делать изображение черно-белым). Фильтры помогают слабовидящим людям воспринимать изображенную информацию. Обычно область, которую нужно увеличить, находится под курсором мышки. Таким образом, пользователь легко может перемещать область увеличения, тем самым обозревая весь экран.

Технология «Text-to-Speech»

Text-to-Speech (TTS) — специальная технология, позволяющая формировать речевой сигнал (речь, голос) по печатному тексту. Основными характеристиками

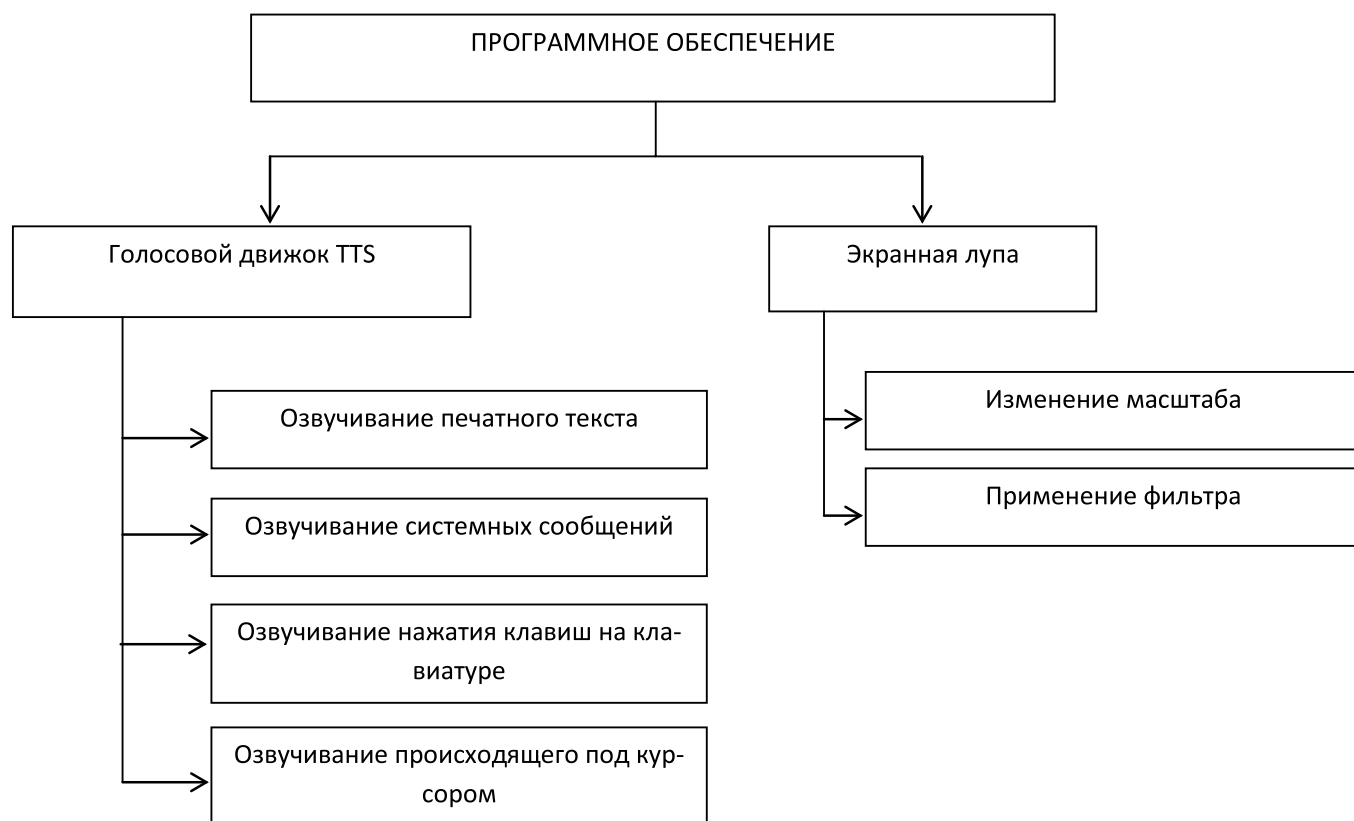


Рис. 1. Общая структура программного обеспечения для слабовидящих людей

TTS является правильность произношения слов, понятность, верное озвучивание интонаций. Все это необходимо, чтобы слабовидящий человек мог легко воспринимать синтезируемую речь.

Обычно основой программного обеспечения для людей со слабым зрением составляет именно голосовой движок, работающий на основе TTS, или голосовой движок TTS.

Учитывая вышеуказанное, была поставлена задача разработки программного обеспечения для слабовидящих людей, которое объединит в себе следующие компоненты:

- озвучивание печатного текста из различных текстовых редакторов;
- озвучивание нажатых клавиш на клавиатуре;
- озвучивание различных системных сообщений;
- озвучивание происходящего под курсором;
- экранная лупа.

Для достижения этой задачи необходимо определить структуру ПО, которая приведена на рисунке 1.

В качестве языка программирования выбран C#. В качестве среды программирования — Visual Studio 2010. В качестве движка TTS будет использован встроенный в Windows речевой движок.

Для использования TTS в C# необходимо использовать пространство имен System.Speech.Synthesis. [2] Далее необходимо провести ряд действий по инициализации и настройке голоса.

1. Создается переменная

```
SpeechSynthesizer synth = new SpeechSynthesizer ();
```

2. Выясняется список голосов, доступных системе `var voiceList = synth.GetInstalledVoices ();`

3. Нужный голос — второй в списке, поэтому выбирается именно он

```
synth.SelectVoice (voiceList [1].VoiceInfo.Name);
```

Для того чтобы воспроизвести текст используется функция `synth.Speak (string str)`, в которой в качестве параметра `str` передается текст, который необходимо воспроизвести. Соответственно после того, как распознана нажатая клавиша или какое произошло системное оповещение и т. д., а точнее, как только выяснено, какой текст нужно воспроизвести, в функцию `synth.Speak (string str)` передается строка, содержащую то, что нужно транслировать из текста в речь. Таким образом, пользователь может услышать при помощи колонок или наушников текст, выводимый на монитор компьютера. Алгоритм работы TTS представлен в виде блок-схемы, приведенной на рисунке 2.

Для реализации экранной лупы, прежде всего, необходимо получить скриншот области, находящейся под мышкой, а также отслеживать перемещение мышки, чтобы передвигать эту область. Для этого используется обработчик события перемещения мышки `OnMouseMove`. [2] После чего, опять же с использованием переменной окружения `PaintEventArgs`, распознается область под курсором (размером 10 на 10 пикселей) и выполняется скриншот этой области для того, чтобы вывести ее в измененном состоянии на экран.

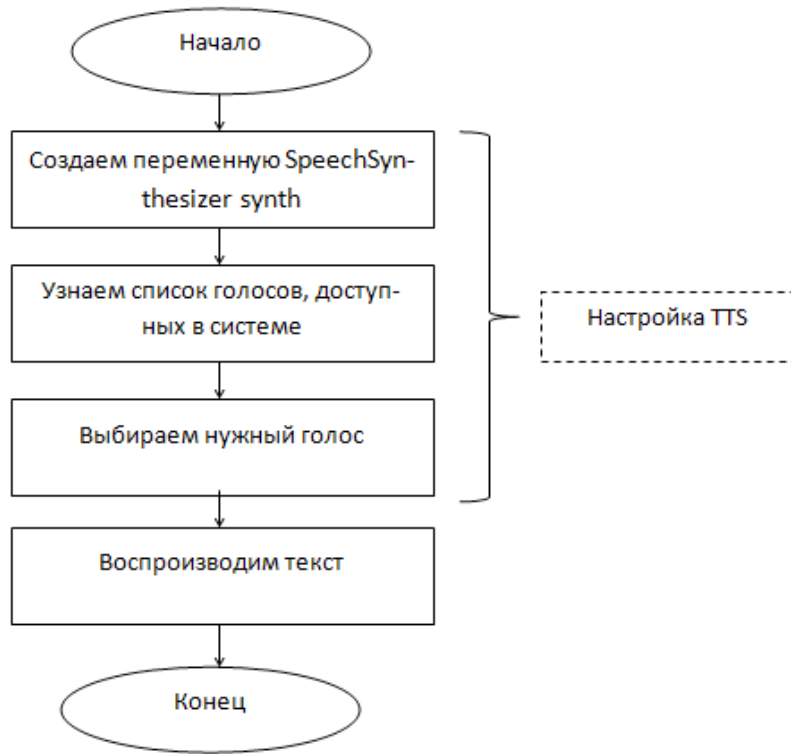


Рис. 2. Блок-схема алгоритма работы TTS

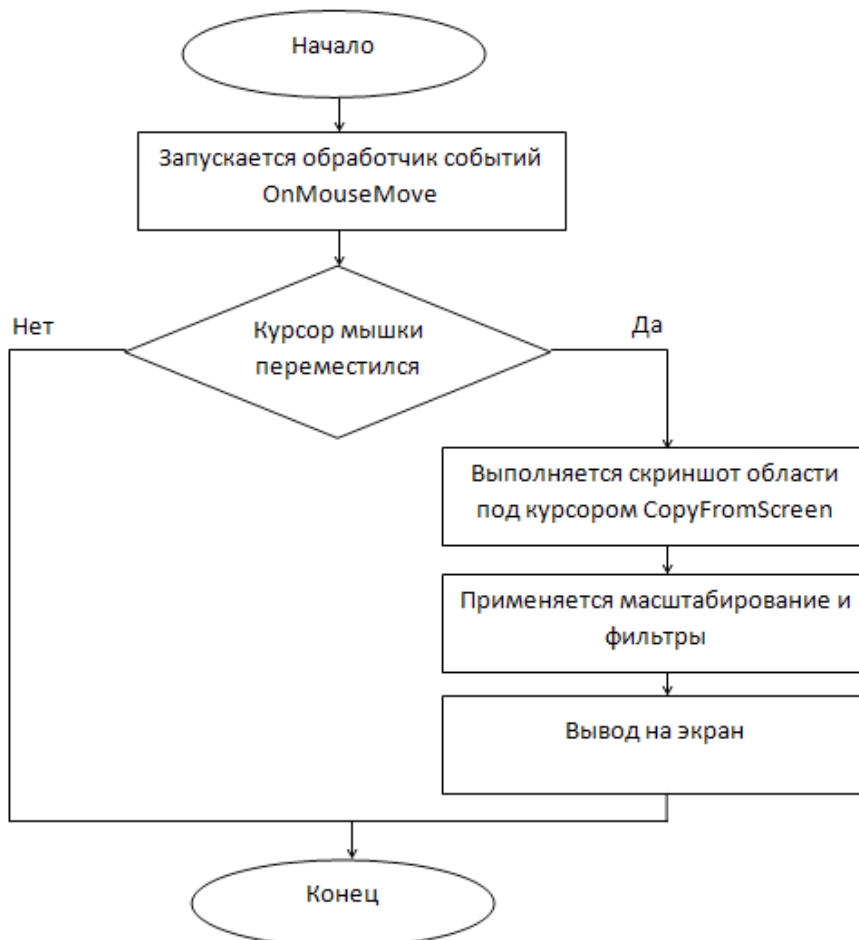


Рис. 3. Блок-схема алгоритма работы экранной лупы

```
Graphics area = e.Graphics;
area.CopyFromScreen (Cursor.Position.X — 10, Cursor.
Position.Y — 10, 0, 0, Screen.PrimaryScreen.Bounds.Size,
CopyPixelOperation.SourceCopy);
```

Однако, до того как будет выведен измененный скриншот на экран, необходимо его обработать. А именно — изменить масштаб и, если это необходимо, применить различные фильтры. Такие фильтры (чаще всего перевод изображения в черно-белое) помогут пользователю с дефектом зрения более отчетливо увидеть картинку на экране. Блок-схема алгоритма работы экранной лупы приведена ниже (рис. 3).

Литература:

1. Герасименко А. IT и инвалиды: реабилитация и жизнь в цифре / А. Герасименко // 3D news [Электронный ресурс]. — 2008. — Режим доступа: http://www.3dnews.ru/editorial/it_invalids/page-2.html
2. MSDN // Microsoft Developer Network [Электронный ресурс]. — 2013. — Режим доступа: <http://msdn.microsoft.com/ru-ru>

Таким образом, в статье рассмотрены основные компоненты, из которых должен состоять программный продукт для слабовидящих людей, проанализированы две основные технологии (экранная лупа, TTS), необходимые для создания ПО. Благодаря использованию данных компонентов и технологий, можно создать универсальное программное обеспечение для слабовидящих людей, которое смогут использовать люди с различными нарушениями зрения, будь то дальтонизм или частичная потеря зрения, что в свою очередь поможет им работать за персональным компьютером.

Разработка информационной системы управления вспомогательным производством на машиностроительном предприятии

Незамаев Александр Александрович, магистрант
Алтайский государственный университет (г. Барнаул)

В настоящее время все большее внимание уделяется развитию отрасли машиностроения. И первостепенным условием в развитии предприятия машиностроения в условиях рыночной экономики является, конечно, постоянное обновление, модернизация и усовершенствование выпускаемой продукции. Это условие достижимо только при хорошем функционировании подсистемы управления вспомогательным производством на предприятии, при условии, что это предприятие вкладывает деньги не только в производство, но и в его расширение и развитие.

Целью нашей работы является изучение функционирования подсистемы управления вспомогательным производством на машиностроительном предприятии и написание программы, позволяющей автоматизировать некоторые функции данной подсистемы. Данная программа подразумевает именно управление подсистемой, то есть комплексный подход, что сегодня актуально, и внедряется в современных системах — однако, только пока для контроля управления подсистемой основного производства предприятия.

В процессе работы оборудование теряет рабочие качества главным образом из-за износа и разрушения отдельных деталей или их поверхностных слоев, вследствие чего снижаются точность, мощность и производительность оборудования.

Для компенсации износа и поддержания оборудования в нормальном работоспособном состоянии надо своевременно заменять износившиеся части или восстанавливать их первоначальные свойства, производить выверку и регулирование всех координат агрегата, т. е. производить ремонт. Несвоевременный ремонт оборудования может привести к преждевременному выходу его из строя или значительному сокращению срока службы.

Но, даже регулярно проводя ремонт оборудования, наступает момент, когда затраты на ремонт оборудования превышают определенный уровень, и необходимо заменить изношенное оборудование на новое. Также новое оборудование требуется при расширении, перестроении производства.

Основными функциями подсистемы управления вспомогательным производством являются:

- 1) управление ремонтом и обслуживанием оборудования;
- 2) управление заменой и обновлением оборудования;
- 3) управление выбытием оборудования.

По нашему мнению необходима автоматизация работы следующих специалистов:

1. начальника бюро оборудования отдела главного механика
2. начальника бюро производственного планирования отдела главного механика

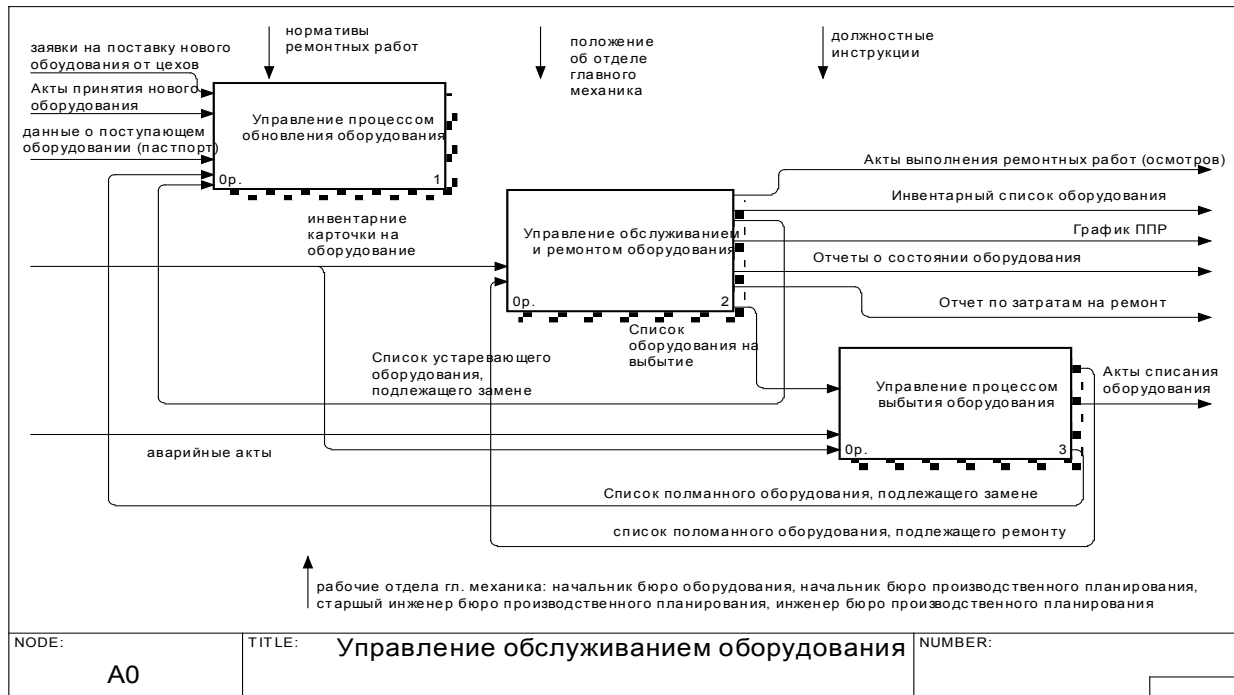


Рис. 1. Описание бизнес-процессов подсистемы управления вспомогательным производством

3. старшего инженера бюро производственного планирования отдела главного механика (группа по запасным частям и деталям)

4. инженера бюро производственного планирования отдела главного механика

На рисунке 1 приведено описание бизнес-процессов подсистемы управления вспомогательным производством, выполненное с использованием пакета Vpwin.

Предлагаемый нами программный продукт автоматизированное рабочее место «Управление ремонтами +» (далее по тексту АРМ), являющийся клиент-серверным приложением, автоматизирует работу вышеуказанных специалистов.

Клиент-серверные приложения (англ. Client-server) — архитектура программного обеспечения, в которой программы являются либо клиентами, либо серверами. Клиентом является запрашивающая программа, сервером — программа, которая отвечает на запрос.

Стандартные клиент-серверные приложения по своей архитектуре являются двухуровневыми. Компоненты, отвечающие за презентационный сервис и прикладную логику, размещаются на клиентской машине и обращаются к общему источнику данных по сети. В таких приложениях пользовательский интерфейс и прикладная логика образуют один уровень на клиентском компьютере, а сервисы данных предоставляются отдельными приложениями. Двухуровневые приложения хорошо работают в масштабах подразделения при наличии умеренного количества пользователей (до 100) и быстродействующей защищенной сети. Отладку приложений клиент-сервер возможно производить на локальном компьютере.

Клиентская сторона нашего приложения функционирует на рабочем месте пользователя, предоставляя пользователю доступ к базам данных.

Данный модуль реализован в среде MS Visual Studio 2008 с использованием языка программирования C#.

Основными преимуществами MS Visual Studio являются:

- Использование вычислительных мощностей локального компьютера
- Простая реализация общих задач и индивидуальный подход
- Быстрое создание высококачественного кода
- Возможность реализации идей и решений для широкого спектра платформ, включая Windows, WindowsServer, веб-среду, облачную среду, Office и SharePoint

Фрагмент рабочего окна пользователя предлагаемого нами АРМ приведен на рисунке 2.

Серверная часть нашего приложения представляет собой набор программно-аппаратных средств для управления, обслуживания и администрирования базы данных нашего программного продукта, работающей под управлением СУБД Oracle 10g.

Важным преимуществом СУБД Oracle является механизм пакетной обработки запросов с подтверждением. Транзакционный механизм позволяет не опасаться сбоя программной среды и оборудования. В случае успешного завершения обработки пакета SQL-команд сервер баз данных генерирует так называемый commit — подтверждение успешного выполнения, которое отсылается клиенту. В случае же аппаратного или программного сбоя происходит rollback — возвращение к предыдущей

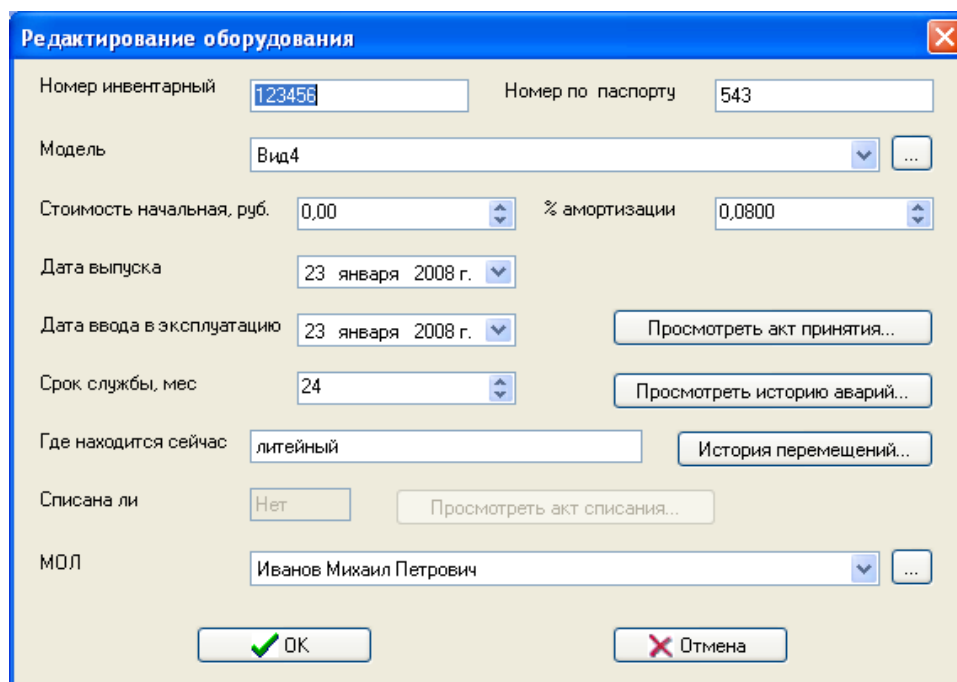


Рис. 2. Фрагмент рабочего окна клиентской части, предлагаемого программного продукта

контрольной точке, благодаря чему целостность данных в любой ситуации не будет нарушена.

Для возможности отмены целого набора транзакций предусмотрен механизм точек сохранения, которые могут быть созданы вручную или автоматически. Таким образом, отпадает необходимость в постоянной архивации базы данных, которую можно проводить лишь несколько раз в сутки, а в остальных случаях администратор просто восстанавливает точки сохранения. СУБД Oracle использует язык SQL — простой, мощный язык доступа к базе данных, который является стандартным для реляционных СУБД. SQL, реализованный корпорацией Oracle для Oracle, на 100 % согласуется со стандартом ANSI/ISO языка SQL.

Наличие огромного количества средств разработки приложений, взаимодействующих с СУБД Oracle, среди которых присутствуют такие известные решения, как Microsoft Visual Studio, Borland Delphi и JDeveloper, позволяет большинству программистов без особых временных затрат научиться писать приложения, использующие в качестве хранилища базы данных Oracle. Поддержка механизмов ODBC, BDE и JDBC позволяет осуществлять миграцию между различными программными и аппаратными платформами с минимальными затратами на модификацию программного обеспечения. Благодаря полной унификации всех версий СУБД Oracle в одной и той же сети могут работать разные версии Oracle для различных платформ — к примеру, сервер баз данных может иметь версию Oracle 8 for Unix, а клиенты — Oracle for Windows, при этом никаких проблем с взаимодействием не возникнет.

Серверная часть АРМ обеспечивает:

- проверку корректности входной информации;
- передачу информации серверу;
- формирование запросов к серверу;
- выдачу запрашиваемой пользователем информации;
- формирование требуемых отчетов;
- формирование графиков планово-предупредительного ремонта.

Программа принадлежит к классу программ баз данных, и предназначена для автоматизации работы сотрудников отдела главного механика. В программе четко выделены слой доступа к БД, слой бизнес-логики, клиентская часть программы. Для доступа к БД были написаны и собраны в одну библиотеку специальные классы-акцессоры. Только этот блок программы зависит от выбранной серверной СУБД. За счет такого разделения упрощается процесс изменения выбранной серверной СУБД.

Сложно судить, насколько совершенна или несовершенна программа, так как рынок программных продуктов в этой области весьма ограничен. Программа на данном этапе имеет ряд недоработок и несовершенств, но, тем не менее, её использование уже сейчас повысит эффективность работы отдельных работников и отдела главного механика в целом. В перспективе можно добавить целый ряд полезных отчетов, расчет графика планово-предупредительных ремонтов, установления взаимодействия с системами учета других отделов машиностроительного предприятия. И это далеко не полный перечень всех новшеств, которые возможно реализовать в программе в перспективе.

Литература:

1. Скворцов Ю. А., Некрасов Л. А. (ред.) Организация и планирование машиностроительного производства — М.: Высш. шк., 2005. — 472 с.
2. Маклаков С. ВРwin Моделирование бизнес-процессов с ВРWIN 4.0 — М: Диалог-МИФИ, 2002—224 с.: ил.
3. Oгасle для профессионалов: архитектура, методики программирования и особенности версий 9i, 10g и 11g. Пер. с англ./ Томас Кайт — 2-е изд., перераб. и доп. М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2011—848 с.: ил.
4. Ананьев П. И. Технология разработки ПО АлтГТУ им. И. И. Ползунова. — Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. — 221 с.
5. Шилдт, Герберт — С# 4.0. Полное руководство. Пер. с англ./ М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2011—1056 с.: ил.
6. MicrosoftMSDN

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

К вопросу обеспечения термокомпенсации синтезатора частоты с использованием бесконтактного датчика температуры

Граб Иван Дмитриевич, инженер;
 Сивагина Юлия Александровна, соискатель;
 Меркульев Александр Юрьевич, студент;
 Юрков Николай Кондратьевич, доктор технических наук, профессор
 Пензенский государственный университет

Целью исследования является совершенствование программно-аппаратного метода обеспечения тепловых режимов аппаратуры, имеющих в своем составе синтезатор частот, позволяющего:

- Снизить энергопотребление аппаратуры по сравнению с существующими методами термостатирования;
- Повысить стабильность выходной частоты;
- Обеспечить оперативную диагностику теплового режима радиоаппаратуры;
- Обеспечить устойчивую работу аппаратуры длительного функционирования, в условия жёстких внешних воздействий.

В большинстве устройствах самого различного назначения необходима схема, генерирующая сигналы различных частот и позволяющая с высокой точностью управлять параметрами этого сигнала.

В последнее время самым популярным генератором частот стал синтезатор, вытеснивший все другие виды даже самых стабильных генераторов с параметрической стабилизацией частоты. Так как стабильность частоты синтезатора сопоставима со стабильностью кварцевого резонатора, и имеет большие возможности по цифровому управлению.

Под термином «синтезатор частоты» понимают электронное устройство, способное из опорной частоты получать на выходе требуемую частоту или набор частот, согласно управляющим сигналам. На сегодняшний день существуют следующие виды синтезаторов:

- Прямой аналоговый синтез (Direct Analog Synthesis, или DAS) на основе структуры смеситель/фильтр/делитель, при котором выходная частота получается непосредственно из опорной частоты посредством операций смешения, фильтрации умножения и деления;
- Косвенный (indirect) синтез на основе фазовой подстройки частоты (Phase Locked Loop, или PLL), когда вы-

ходная частота получается с помощью дополнительного генератора (чаще Voltage Controlled Oscillator, или VCO), который охвачен петлей фазовой автоподстройки;

- Прямой цифровой синтез (Direct Digital Synthesis, или DDS), когда выходной сигнал синтезируется цифровыми методами;
- Гибридный синтез, представляющий собой комбинацию нескольких описанных выше методов.

Являясь сердцем устройства, синтезатор определяет потребительские свойства системы. Основными параметрами, характеризующими качество работы синтезаторов, являются [1–6]:

- чистота спектра выходного сигнала (уровень побочных компонентов и уровень шума);
- диапазон перестройки (полоса частот выходного сигнала);
- скорость перестройки;
- частотное разрешение;
- количество разных генерируемых частот;
- гибкость (возможность осуществления различных видов модуляции);
- неразрывность фазы выходного сигнала при перестройке.

Синтезаторы частот, построенные по методу DDS и обладающие рядом преимуществ, показанных выше, завоевали сегодня большую часть рынка [4]. Однако хотя и утверждается, что синтезаторы DDS не подвержены температурному дрейфу, применение их в устройствах эксплуатируемых в жёстких условиях вызывает сомнение. К таким устройствам относятся портативные, носимые и мобильные средства связи, репитеры, работающие непосредственно на удалённых вышках связи, автономные средства навигации и т.п. Как правило, данная группа оборудования испытывает циклические изменения температуры. Степени защиты подобного оборудования приведены в [5]. Циклические изменения температуры в случае

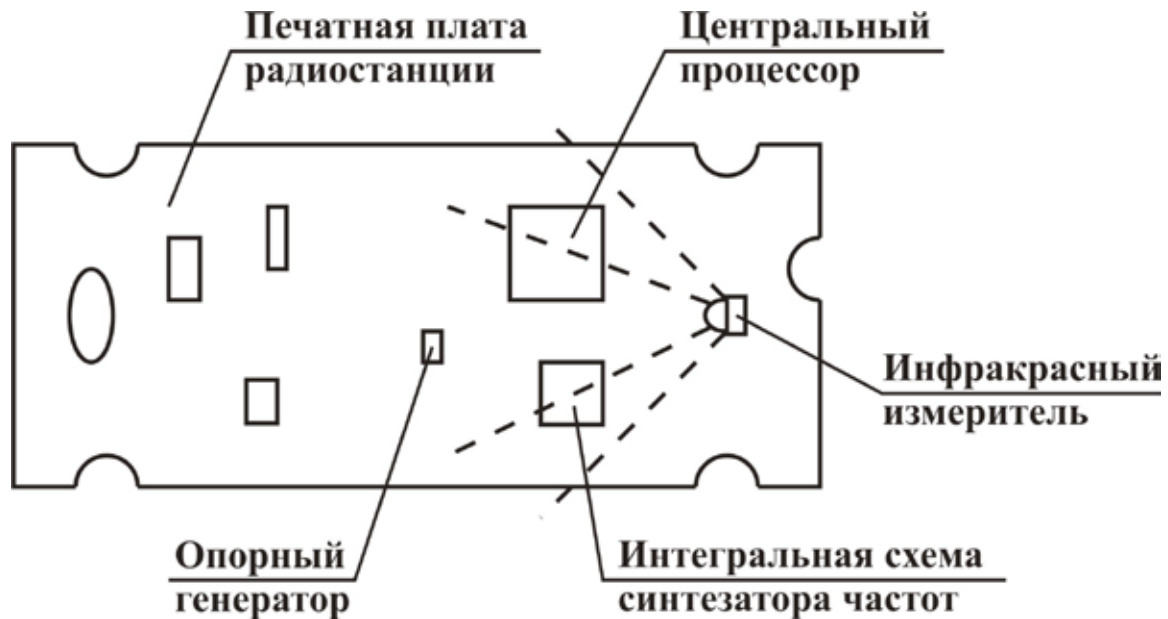


Рис. 1. Пример размещения пирометрического сенсора на печатной плате

синтезатора DDS могут привести к нестабильности частоты опорного генератора.

На сегодняшний день, для уменьшения температурной погрешности задающих генераторов применяют методы термокомпенсации или термостатирования. Каждый из представленных методов имеет свои достоинства и недостатки.

При использовании метода термостатирования синтезатор нагревается до заданной температуры, которая в течение работы поддерживается постоянной. Достоинствами метода термостабилизации являются более низкая нестабильность частоты в рабочем диапазоне температур в сравнении с методом термокомпенсации. К недостаткам можно отнести, высокое энергопотребление (на несколько порядков выше, чем при термокомпенсации), большие габариты и масса.

Метод термокомпенсации заключается в том, что выходная частота корректируется с изменением температуры по какому-либо закону. В силу чего имеет более низкое энергопотребление и габаритные размеры, но как следствие, более высокую нестабильность частоты в рабочем диапазоне температур.

Учитывая малый шаг перестройки по частоте в DDS, открывается возможность параметрической температурной компенсации выходной частоты синтезатора. Таким образом, оптимальным решением проблемы бес-

печение теплового режима аппаратуры использующей синтезатор может стать программный способ стабилизации частоты генератора DDS.

Суть данного метода заключается в диагностике температуры внутри блока бесконтактными датчиками температуры (пирометрами). И на основании их показаний осуществлять коррекцию выходной частоты синтезаторов. Пример размещения датчика на плате представлен на рис. 1.

Использование для диагностики бесконтактных датчиков температуры имеет следующие преимущества, перед контактными:

- увеличение технологичности сборки, за счет уменьшения дополнительных операций сборки. В данном случае датчик устанавливается на одном этапе сборки платы;
- за счет определения температуры блока, открывается больше возможностей для диагностики соседних узлов электронного блока (перегрев соседних ЭРЭ);

Таким образом, введение термокомпенсации в DDS, позволяет используя термостатированные генераторы улучшить стабильность выходной частоты от температуры, сохранив при этом малое энергопотребление. А использование бесконтактных датчиков температуры увеличить технологичность сборки и обеспечить диагностику рядом расположенных элементов, что при увеличении плотности компоновки блоков РЭА является актуальной задачей.

Литература:

1. Ридико Л. И. Компоненты и технологии, 2001, № 7, С. 50–54
2. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.analog.com/ru/rfif-components/pll-synthesizersvcos/products/index.html>
3. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.analog.com/ru/rfif-components/direct-digital-synthesis-dds/products/index.html>

4. Мёрфи Е., Власенко А. Всё о синтезаторах DDS Компоненты и технологии, 2005, № 1, С. 53–57.
5. ГОСТ 14254–96 Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP)
6. Горячев Н. В. К вопросу выбора вычислительного ядра лабораторного стенда автоматизированного лабораторного практикума / Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Современные информационные технологии. 2009. № 10. С. 128–130.
7. Горячев Н. В. Программа инженерного расчёта температуры перегрева кристалла электрорадиокомпонента и его теплоотвода / Н. В. Горячев, А. В. Лысенко, И. Д. Граб, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2012. Т. 2. С. 242–243.
8. Горячев Н. В. Типовой маршрут проектирования печатной платы и структура проекта в САПР электроники Altium Design / Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2011. Т. 2. С. 120–122.
9. Горячев Н. В. Обзор современных симплексных ретрансляторов радиосигналов / Сивагина Ю. А., Граб И. Д., Горячев Н. В., Юрков Н. К. // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2012. Т. 1. С. 74–76.
10. Горячев Н. В. Обзор систем сквозного проектирования печатных плат радиоэлектронных средств / Н. В. Горячев, И. М. Трифоненко, И. И. Кочегаров, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2012. Т. 1. С. 396–399.
11. Горячев Н. В. Информационно-измерительный лабораторный комплекс исследования теплоотводов электрорадиоэлементов / Н. В. Горячев, А. В. Лысенко, И. Д. Граб, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2012. Т. 2. С. 239–240.
12. Горячев Н. В. Совершенствование структуры современного информационно-измерительного комплекса / Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Инновационные информационные технологии. 2013. Т. 3. № 2. С. 433–436.
13. Горячев Н. В. Опыт применения систем сквозного проектирования при подготовке выпускной квалификационной работы / Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В. Г. Белинского. 2011. № 26. С. 534–540.
14. Горячев Н. В. Алгоритм функционирования стенда исследования теплоотводов и систем охлаждения радиоэлектронной аппаратуры / Н. В. Горячев, И. Д. Граб, А. В. Лысенко, Н. К. Юрков // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. 2011. № 1. С. 385–391.
15. Горячев Н. В. Концепция создания автоматизированной системы выбора теплоотвода электрорадиоэлемента / Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Современные информационные технологии. 2010. № 11. С. 171–176.
16. Горячев Н. В. Структура и программно-информационное обеспечение информационно-измерительного лабораторного комплекса / Н. В. Горячев, А. В. Лысенко, Н. К. Юрков // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2012. Т. 130. № 5. С. 169–173.
17. Горячев Н. В. Стенд исследования тепловых полей элементов конструкций РЭС / Н. В. Горячев, И. Д. Граб, А. В. Лысенко, П. Г. Андреев, В. А. Трусов // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2008. Т. 2. С. 162–166.
18. Горячев Н. В. Алгоритм функционирования компьютерной программы стенда исследования теплоотводов / Граб И. Д., Горячев Н. В., Лысенко А. В., Юрков Н. К. // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2011. Т. 1. С. 244–246.
19. Горячев Н. В. Системы охлаждения полупроводниковых электрорадиоизделий / А. Ю. Меркульев, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Молодой ученый. — 2013. — № 11. — С. 143–145.
20. Горячев Н. В. Программные средства теплофизического проектирования печатных плат электронной аппаратуры / Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Молодой ученый. 2013. № 10. С. 128–130.
21. Горячев Н. В. Индикатор обрыва предохранителя как элемент первичной диагностики отказов РЭА / Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2010. Т. 2. С. 78–79.

Преимущества и недостатки перевозок грузов в контейнерах Open-Top

Гришкова Диана Юрьевна, кандидат технических наук, доцент;

Тяботова Анна Александровна, студент

Сибирский государственный университет путей сообщения (г. Новосибирск)

Контейнер Open-Top является одним из достаточно распространенных вариантов стандартизированной контейнерной тары.

Контейнер Open-Top представляет собой контейнер со съемной крышей. Крыша может быть в виде тента из брезента или подобного гибкого материала Open Top или в виде жесткой снимаемой крышки Hard-Top.

В основном используются 20-футовые и 40-футовые контейнеры.

Стены контейнера изготавливаются из рифленой стали, пол, как правило, выполняется из древесины или листовой стали. Для удобства погрузки контейнер оборудуют съемной верхней перекладкой над дверьми в торце контейнера. Конструктивные особенности Open-Top заметно упрощают упаковку контейнера грузом. В частности, при открытой крыше, довольно легко загружать контейнер, опуская груз сверху подъемным краном или краном. А съемная дверная перекладка делает процесс загрузки и разгрузки ещё менее трудоемким. Стоит отметить, что съемная дверная перекладка Open-top предназначена не только для упрощения разгрузки и загрузки контейнера, и удержания брезента, в конструкции Open-top контейнера перекладка служит распоркой, и придает дополнительной жесткости кузову контейнера, что крайне важно при перевозке тяжелых грузов. Необходимо отметить, что опора крыши в открытом контейнере предназначена для поддержания тента и обеспечить устойчивость контейнера. Погрузочный поддон в этом случае — наиболее подходящее средство для высоких грузов.

Крепежные кольца установлены на верхней и нижней боковых балках и угловых опорах. Кольца могут выдерживать груз до 1000 кг.

Конструкция контейнера и расположение фитингов позволяет без ограничений обрабатывать его стандартными грузозахватными механизмами, а за счет съемной крыши контейнера и перекладки для погрузки груза в вагон можно использовать универсальные погрузо-разгрузочные машины.

Контейнеры предназначены для перевозки широкой номенклатуры грузов. Наиболее часто в них транспортируются:

- оборудование, станки различной конструкции;
- грузы в биг-бэгах и мягких контейнерах (МКР);
- трубы, пиломатериалы;
- стекло, панели.

В мировой практике Open-Top используют для перевозки труб, оборудования, некоторых видов насыпных грузов и грузов, упакованных в биг-бэги.

Контейнер Open-top представлен в 2 типоразмерах контейнерных емкостей — 20-футовый контейнер и 40-футовый. Размеры контейнеров Open-Top могут немного варьироваться в зависимости от производителя. Размеры контейнеров Open-Top соответствуют размерам универсальных контейнеров, поэтому погрузка грузов в контейнеры и контейнеров на вагоны соответствует техническим условиям (ТУ) для универсальных контейнеров.

К наиболее часто перевозимым грузам в контейнерах Open-Top являются трубы различных типоразмеров.

Рассмотрим размещение труб в контейнере, на примере электросварных тонкостенных труб выпускаемых металлургическим заводом длиной 5.7 м, диаметром $d=40, 45, 48$ и 60 мм в соотношении 440:245:276:222 соответственно (рисунок 1). При размещении труб необходимо, чтобы торцовая стена и двери контейнера были ограждены щитом на высоту погрузки из досок толщиной 30 мм и более. Трубы размещаются вдоль контейнера, на пол укладываются 6 подкладок толщиной не менее 40 мм и шириной 150 мм. Трубы увязывают в связки. Так как трубы различного диаметра, то сначала размещают трубы меньшего диаметра, а затем на них укладывают более крупные, либо трубы меньшего диаметра размещают между трубами большего диаметра [1].

Стоимость отправки открытых контейнеров Open-Top выше стоимости отправки универсальных, закрытых контейнеров. Но в ряде случаев отправка груза Open-Top контейнером может быть выгодной — как более дешевая альтернатива отправки полувагоном на дальние расстояния.

Рассмотрим экономическую выгоду перевозок грузов в контейнерах на примере труб, по сравнению с универсальным подвижным составом — платформой, для этого рассчитаем провозную плату при перевозке труб в контейнерах Open-Top и на железнодорожной платформе для разных расстояний транспортировки. Графическая зависимость провозных платежей приведена на рисунке 2.

На графике показано изменение провозной платы в зависимости от расстояния перевозки загруженными трубами в равных условиях. Масса груза при размещении по вышеописанной схеме составит 21487 кг. Из графика видно, что перевозка в контейнерах выгоднее [2].

Рассмотрим график изменения стоимости грузовой массы при транспортировке в контейнере и платформе (рисунок 3).

На графике изображена стоимость перевозки тонны груза, условия перевозки равные для контейнера и платформы. Видно, что перевозка в контейнерах выгоднее, чем на платформе [2].

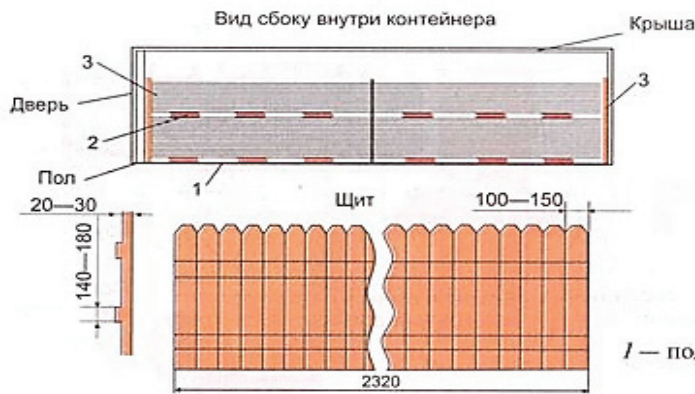


Рис. 7.
1 — подкладка; 2 — прокладка;
3 — щит

Рис. 1. Размещение и закрепление труб в контейнере

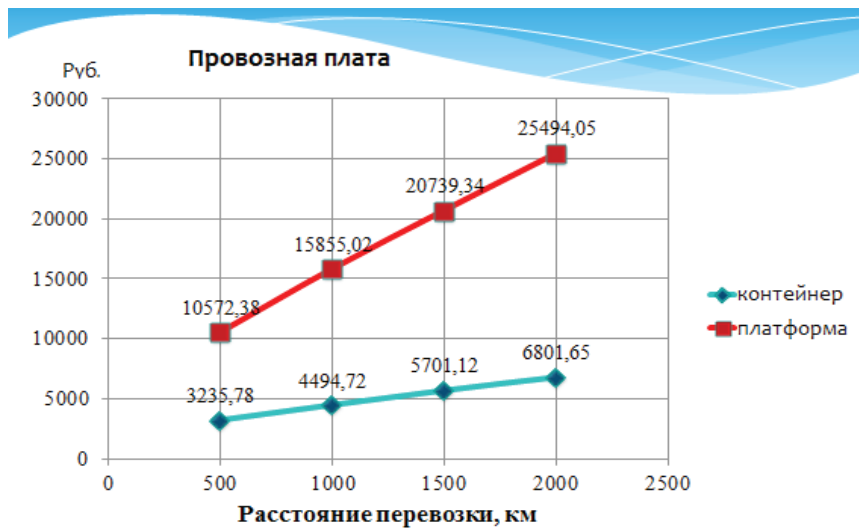


Рис. 2. График зависимости провозной платы от расстояния перевозки

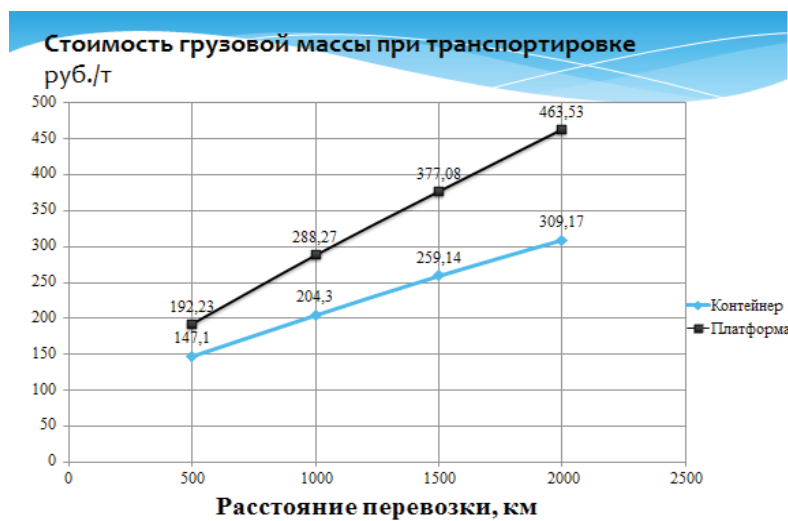


Рис. 3. График зависимости стоимости грузовой массы при транспортировке от расстояния перевозки

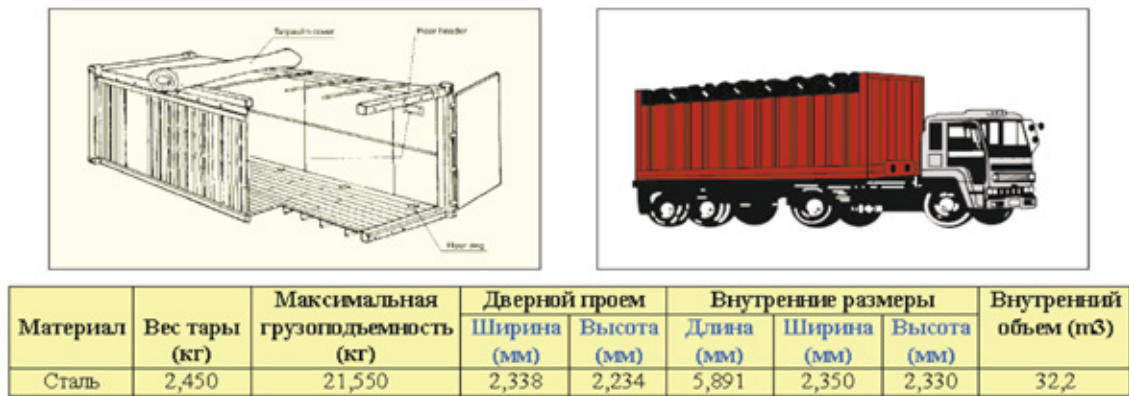


Рис. 4. Контейнер Ореп-Тор на контейнеровозе и его характеристики

При транспортировке груза в контейнере Ореп-Тор в смешанном или международном сообщениях можно также сократить эксплуатационные расходы на перегруз в пунктах перевалки или перегруза.

Сокращение эксплуатационных расходов определяется как разность затрат при перегрузке груза из вагона в вагон или другое транспортное средство и перегрузки самого контейнера с грузом. Затраты складываются из стоимости простоя вагона, контейнера под грузовыми операциями и сбора за перегрузку груза, контейнера.

$$\mathcal{E} = \mathcal{Z}_{\text{плат}} - \mathcal{Z}_{\text{конт}}, \quad (1)$$

где \mathcal{E} — экономическая выгода, руб.;

$\mathcal{Z}_{\text{плат}}$ — затраты на перегрузку груза из платформы, руб.;

$\mathcal{Z}_{\text{конт}}$ — затраты на перегрузку контейнера, руб.

$$\mathcal{Z}_i = C_{\text{го}} \times t_{\text{гр}} + C_{\text{сбор}} \times Q, \quad (2)$$

где $C_{\text{го}}$ — стоимость вагону- (контейнеро-) часа простоя, руб/ваг-ч или руб/конт-ч;

$C_{\text{сбор}}$ — стоимость сбора за перегрузку за тонну (контейнер), руб/т, руб/конт.;

$t_{\text{гр}}$ — простой вагона (контейнера) под грузовой операцией, ч;

Q — масса груза, т (количество физ. контейнеров).

$$\mathcal{Z}_{\text{плат}} = 26,8 \times 0,636 + 35 \times 21,487 \times 3 = 2273,18 \text{ руб.}$$

$$\mathcal{Z}_{\text{конт}} = 8,8 \times 0,275 + 84 \times 1 \times 3 = 254,42 \text{ руб.}$$

$$\mathcal{E} = 2273,18 - 254,42 = 2018,76 \text{ руб.}$$

Таким образом, экономия эксплуатационных расходов составит 2018,76 рублей.

Контейнеры Ореп-Тор могут перевозиться железнодорожным, водным транспортом, а также автотранспортом.

Литература:

1. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах — М.: Юртранс, 2003 г. — 504с, 509с, 512 с.
2. Прейскурант № 10–01 «Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые Российскими железными дорогами» (Тарифное руководство № 1, части 1 и 2).
3. Гаджинский, А. М. Логистика: учебник. — М.: Дашков и К°, 2010. — 410 с.
4. Резер С. М. Логистика экспедирования грузовых перевозок — М., 2002. — 472 с.

При перевозке автотранспортом контейнер устанавливается на прицеп контейнеровоза (рисунок 4).

Перевозка грузов в контейнерах Ореп-Тор имеет преимущества и недостатки. Преимуществами контейнеров Ореп-Тор являются:

- транспортировка негабаритных грузов и грузов, размещение которых в контейнерах других типов через дверной проем затруднительно;

- контейнер довольно мобилен, поэтому может ожидать погрузки не на платформе, а на площадке, таким образом, снижается время простоя;

- отсутствует перевалка, поскольку Ореп-Тор контейнер может транспортироваться всеми видами транспорта;

- на одной платформе может перевозиться два контейнера;

- меньшие простои под грузовыми операциями.

- Недостатками являются:

- ослабленная отсутствием связей в крыше конструкция быстрее изнашивается и чаще требует серьезного конструктивного ремонта;

- невозможно обеспечить полную гидроизоляцию и герметичность;

- уровень безопасности и сохранности груза ниже, чем в цельнометаллических контейнерах.

Таким образом, можно отметить, что контейнеры Ореп-Тор являются аналогами полувагонов и особенно перспективны в смешанном сообщении, это является их главным преимуществом, недостатки следует компенсировать регулярным осмотром и своевременным уходом.

К вопросу отрисовки контура поверхностей вала

Гягяева Александра Геннадиевна, ассистент;

Сорокина Любовь Александровна, кандидат технических наук, доцент;

Кожанова Евгения Романовна, кандидат технических наук, доцент

Балаковский институт техники, технологии и управления, филиал Саратовского государственного технического университета имени Ю. А. Гагарина»

Внедрение новых технологий и современной техники в производство невозможно без высококвалифицированных специалистов, обладающих передовыми знаниями и навыками. Внедрение станков с числовым программным управлением (ЧПУ) позволяет производить полную обработку детали на одном станке за один или несколько установов, что сокращает вспомогательное время на наладку и межстаночную транспортировку, повысить точность и идентичность деталей и как следствие сокращает брак. Подготовка управляющих программ для станков с ЧПУ осуществляется разными способами с помощью различных технических средств. Выбор определяется конкретными условиями производства, в первую очередь моделями станков и систем ЧПУ, финансовыми возможностями предприятия, а также уровнем квалификации специалистов.

Существует три метода создания управляющих программ для станков с ЧПУ [1]:

- 1) *Ручное программирование.*
- 2) *Программирование на пульте ЧПУ.*
- 3) *Программирование при помощи CAD/CAM системы.*

В настоящее время, «ручное» программирование, состоит в том, что технолог по заданному операционному технологическому процессу рассчитывает траекторию перемещения инструмента. Отсчет координат происходит от нулевой точки (абсолютные координаты) или вращениях (относительные координаты). Положение всех опорных точек траектории перемещения инструмента определяется в координатах X, Z рабочего пространства станка. А затем на основании полученных опорных точек пишется управляющая программа на языке *ISO 7* бит или на языке *G* и *M* кодов.

Авторами предлагается рассмотреть пример «ручного» программирования на примере детали типа Вал. Вал — одна из основных деталей почти всех машин и механизмов;

вращающаяся (обычно в подшипниках) деталь машины, передающая вращающий момент. По конструкции различают различные валы: *прямые* (гладкие, ступенчатые, шлицевые), *коленчатые*, *гибкие валы* и др [2]. Кроме этого стоит отметить, что *вал* — геометрическое тело цилиндрической формы, которое в виду своих конструктивных особенностей, может передавать движение другим частям механизма и имеет наружные поверхности симметричные относительно оси вращения, а также торцы (рис. 1).

За начало системы координат детали (заготовки) принимают базовые поверхности (или оси) заготовки (детали). Как правило, принимается точка пересечения базового торца с линией, проходящей через ось. При определении координат опорных точек тел вращения учитывают ориентацию детали на станке относительно заданного ее расположения на чертеже. Если предусматривается несколько установов, то таблицы координат опорных точек составляются для каждого установа (рис. 2).

В статье [3] авторами описывается разработанное программное обеспечение, состоящее из двух программ для проверки опорных точек, в абсолютных и относительных системах координат, и отрисовки контура детали с целью контроля для последующего написания управляющей программы ЧПУ, в которых используются следующие допущения:

- обработка ведется только по двум осям;
- отрисовка детали начинается в начале координат;
- инструмент движется только по прямой.

При отрисовки ступенчатого вала необходимо учитывать особенности:

- вал симметричен относительно оси z ;
- по оси y отсутствует изменение формы.

Для визуализации отрисовки контура поверхностей вала было разработано программное обеспечение «Отрисовка контура обрабатываемых поверхностей вала» для контроля опорных точек в абсолютных (рис. 3, 4) и отно-

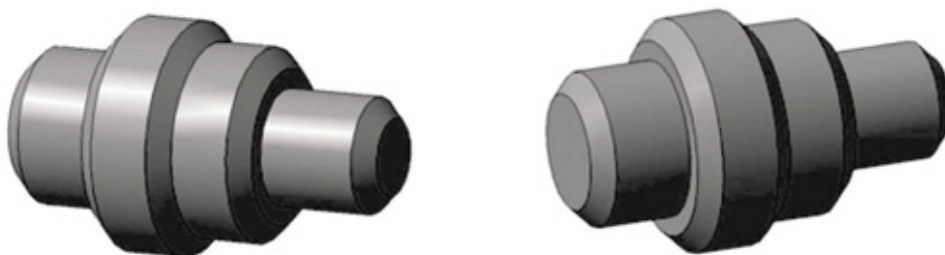


Рис. 1. Модель ступенчатого вала

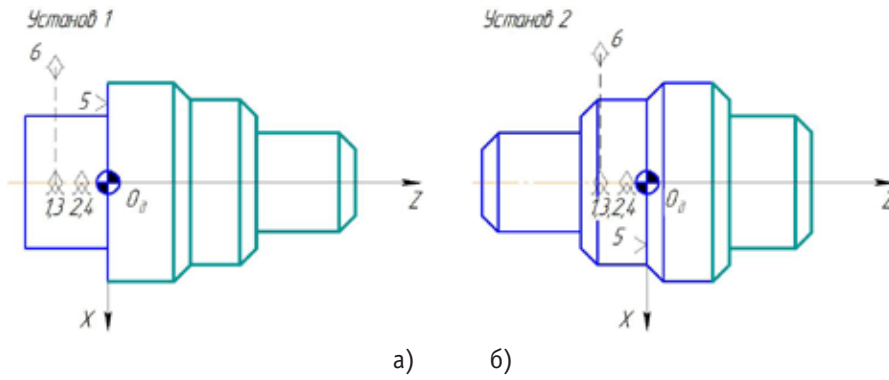


Рис. 2. Эскиз обработки вала: Установ 1 (а) и Установ 2 (б)

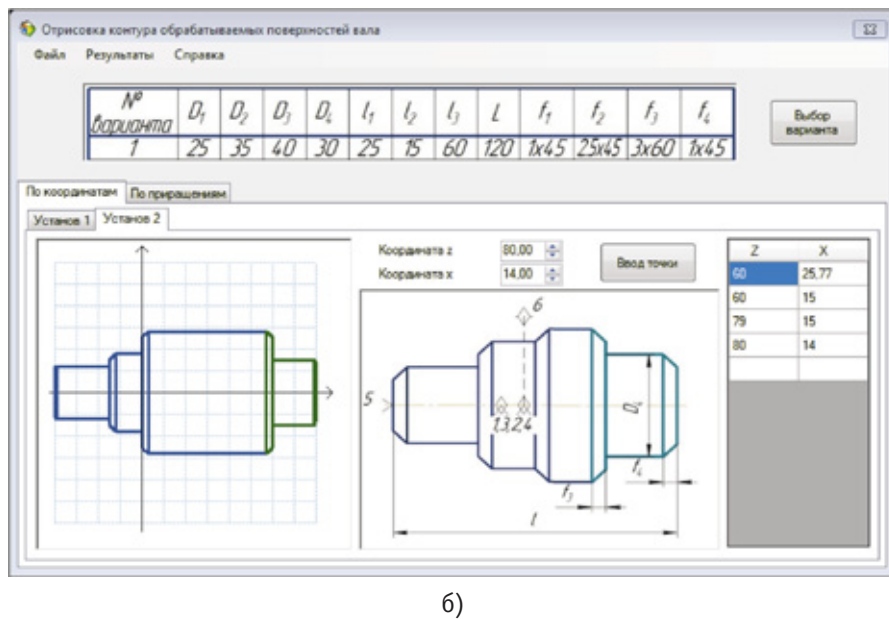
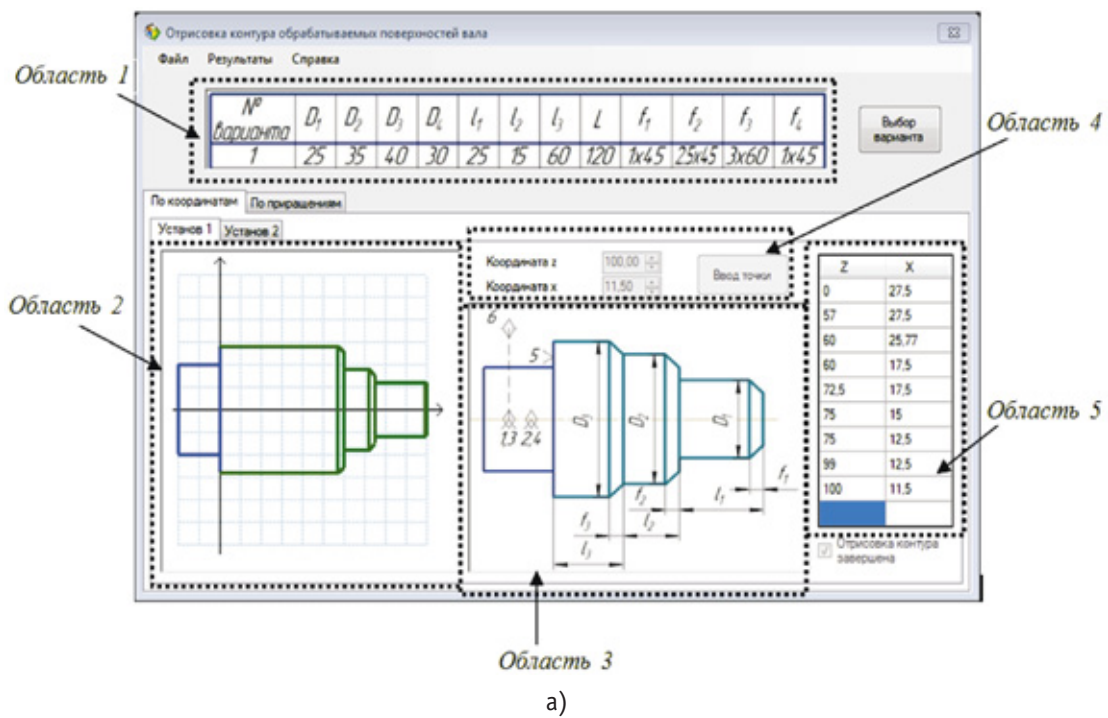


Рис. 3. Пример работы программы в абсолютной системе координат: а — Установ 1, б — Установ 2

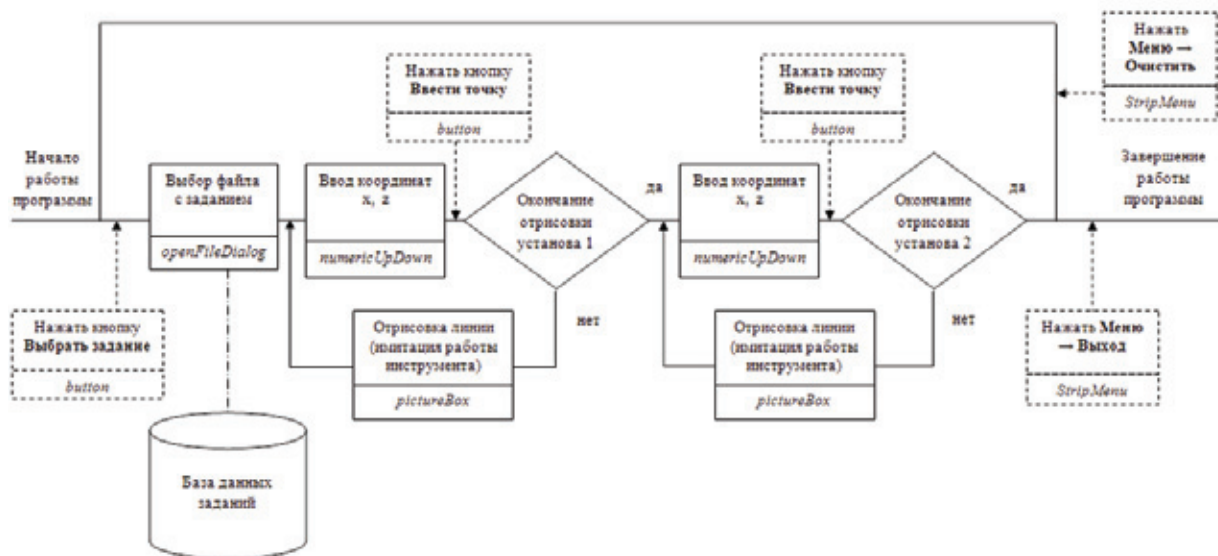


Рис. 4. Диаграмма переходов фокуса управления

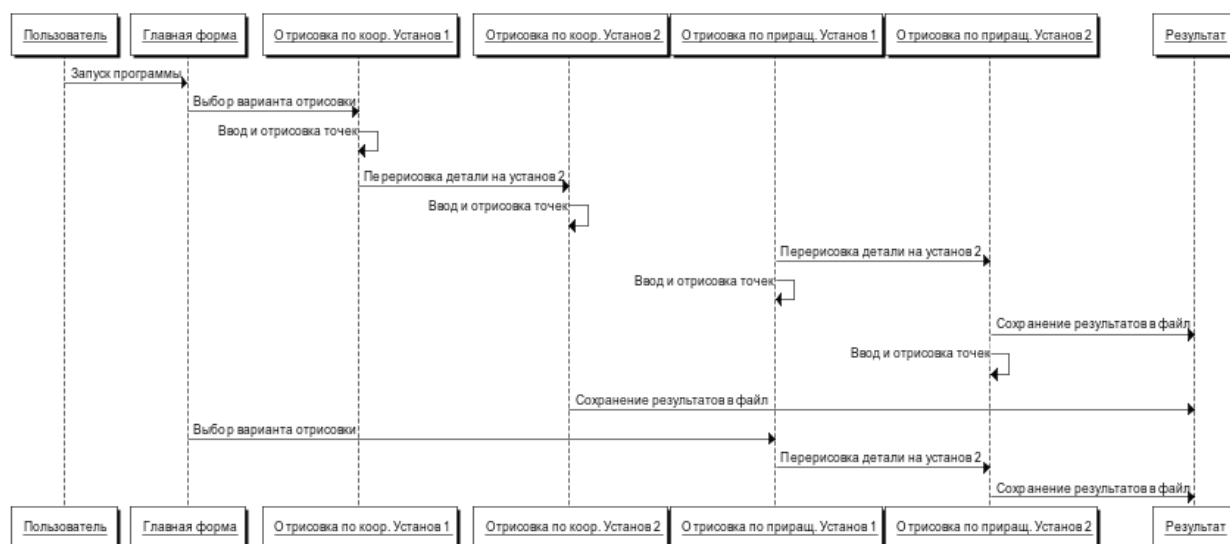


Рис. 5. Диаграмма последовательности временной упорядоченности между объектами программы

сительных системах координат для последующего написания управляющей программы ЧПУ по установам.

Алгоритм с используемыми в программе компонентами представлен в виде диаграммы перехода фокуса управления (рис. 4). Работа программы начинается с выбора задания из базы данных заданий, которые представляют собой отдельные файлы формата jpg или другого графического формата, отображаемые в области 1 (рис. 3а). После выбора варианта заданий необходимо начать отрисовку заданной детали в Установе 1 по чертежу (область 3, рис. 3а) с заданными размерами (область 1, рис. 3а) для этого вводятся координаты x и z в область 4 (рис. 3а). Для отрисовки вала необходимо последовательно вводить координаты точек верхней плоскости, так как нижний контур будет отрисовываться симметрично верхнему. Сразу после

ввода точки на рисунке (область 2, рис. 3а) отрисовывается соответствующий отрезок с задержкой по времени (имитируется работа инструмента) и заполняется таблица координат (область 5, рис. 3а). После окончания отрисовки Установа 1 становится активной закладка Установа 2. Отрисованный контур вала при Установе 1 зеркально отображается относительно оси x . Аналогично происходит отрисовка Установа 2. Алгоритм разработанной программы реализован в интегрированной среде разработки Microsoft Visual Studio (язык C# 2010 Express).

Рассмотрим диаграмму последовательности временной упорядоченности между объектами программы (рис. 5), которые расположены вдоль оси x по следующему принципу: иницирующий взаимодействие объект размещают слева, а остальные — правее (тем дальше, чем более под-

чиненным является объект). Затем вдоль оси y размещаются сообщения (действия), которые объекты программы принимают и посылают друг другу, причем более поздние сообщения оказываются ниже предшествующих.

Разработанная программа «Отрисовка контура обрабатываемых поверхностей вала» является начальным

этапом «ручного» программирования. В дальнейшем, планируется создать программу-эмулятор работы устройства числового программного управления (УЧПУ), работающего в абсолютной и относительной системах координат, с возможностью ввода управляющей программы на языке G-функций.

Литература:

1. <http://чпу-станки.рф/cnc.html>
2. Клепиков В. В., Бодров А. Н. Технология машиностроения: учебник. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004. 860 с.: ил. (Серия «Профессиональное образование»).
3. Гягяева А. Г., Сорокина Л. А., Кожанова Е. Р. Автоматизация отрисовки контура детали для подготовки управляющих программ для ЧПУ // Молодой ученый. — 2013. — № 12. С. 115—117.

Выбор метода обезвреживания и очистки нефтяных шламов

Жумаев Каюм Каримович, кандидат технических наук, доцент;
Орипова Лобар Норбоевна, магистрант
Бухарский инженерно-технологический институт (Республика Узбекистан)

Экономическая целесообразность того или иного природоохранного мероприятия определяется на каждом конкретном предприятии с учетом его экономических возможностей. Для одного предприятия зачастую строительство установок по обезвреживанию отходов экономически невыгодно, поскольку объемы образования отходов ниже минимальных мощностей типовых установок, выпускаемых промышленностью. Решение этой проблемы должно быть либо на региональном уровне путем строительства установок по переработке отходов для всех предприятий, либо на местном уровне путем создания установок малой производительности для обезвреживания отходов непосредственно на объектах отрасли. В связи с этим, к числу первоочередных задач следует отнести организацию и обеспечение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ таких установок, создание эффективных средств и методов переработки и обезвреживания отходов как на региональном уровне, так и на уровне предприятий.

Выбор метода переработки и обезвреживания нефтяных шламов, в основном, зависит от количества содержащихся в шламе нефтепродуктов. В качестве основных методов обезвреживания и утилизации нефтеотходов практически используются:

- термические методы обезвреживания;
- методы биологической переработки;
- физико-химические методы переработки;
- химические методы обезвреживания.

В настоящее время известно о применении следующих методов (и их комбинаций) обезвреживания и переработки нефтяных шламов:

— сжигание нефтяных шламов в виде водных эмульсий и утилизация выделяющегося тепла и газов;

— обезвреживание или сушка нефтяных шламов с возвратом нефтепродуктов в производство, а сточных вод в оборотную циркуляцию и последующим захоронением твердых остатков;

— отверждение нефтешламов специальными консолидирующими составами с последующим использованием в других отраслях народного хозяйства, либо захоронением на специальных полигонах;

— переработка нефтяных шламов на газ и парогаз, в нефтепродукты;

— использование нефтешламов как сырье (компоненты других отраслей народного хозяйства);

— физико-химическое разделение нефтяного шлама (растворители, деэмульгаторы, ПАВ и др.) на составляющие фазы с последующим использованием.

В качестве базовых могут быть рекомендованы методы термического и химического обезвреживания отходов, позволяющие осуществлять переработку нефтесодержащих отходов силами предприятий отрасли, к примеру, за счет организации на объектах участков обезвреживания на базе компактных установок небольшой производительности. Оба метода позволяют обезвреживать следующие виды нефтеотходов:

— образующиеся в результате очистки сточных вод нефтесодержащие осадки и жидкие нефтеотходы из очистных сооружений; нефтешламы, образующиеся при зачистке резервуаров и технологического оборудования;

— нефтешламы, представляющие собой сложные многокомпонентные дисперсные системы, образующиеся в результате поршневания продуктопроводов или формирующиеся с течением времени в амбарах;

— продукты от продувки пылеуловителей, масляных сепараторов и разделителей, отличающиеся достаточно однородным составом и высоким содержанием углеводородов, а также отработанные компрессорные и промышленные масла.

Наиболее эффективным, хотя и не всегда экономически рентабельным, считается термический метод обезвреживания шлама. В последние годы наибольшее распространение получили следующие методы сжигания нефтешламов во вращающихся барабанных печах, в печах с кипящим слоем теплоносителя, в объеме топки с использованием форсунок, в топке с барботажными горелками. Термический метод позволяет совместно с нефтешламами сжигать загрязненные фильтры, промасленную ветошь, твердые бытовые отходы. Образующиеся при этом вторичные отходы относятся к 4 классу опасности и подлежат вывозу на полигоны захоронения. Объем вторичных отходов по сравнению с первоначальным уменьшается до 10 раз.

Продукт, образующийся в результате обезвреживания нефтешламов химическим методом, пригоден для использования в строительстве, при прокладке дорог, отсыпке земляных насыпей и может быть реализован сторонним потребителям. По условиям эксплуатации технология химического обезвреживания нефтешламов также имеет ряд преимуществ по сравнению с термическим методом, вплоть до возможности организации передвижных участков, не требующих строительства специальных зданий.

Биологический метод обезвреживания является наиболее экологически чистым, но область его применения ограничивается конкретными условиями применения: диапазоном активности биопрепаратов, температурой, кислотностью, толщиной нефтезагрязнения, аэробными

условиями. В последние годы за рубежом разработана серия биопрепаратов для обезвреживания нефтезагрязнителей различного состава.

Применение нефтешламов в качестве сырья является одним из рациональных способов его использования, так как достигается определенный экологический и экономический эффект. При производстве продукции не требуется специального оборудования и дополнительной энергии. Отрицательный аспект — это необходимость и сложность транспортировки шлама к месту потребления. Одной из наиболее широких областей применения нефтешламов является дорожное строительство, где они используются как добавка к связующим, повышающая качество асфальтовой смеси. Второй областью по объему использования нефтешлама в качестве сырья является изготовление строительных материалов. Так, продукт обезвреживания нефтешлама препаратом «Эконафт» (минеральный сорбент — негашеная известь и химический модификатор) представляет собой минеральный порошок, который в соответствии с ТУ 5716–004–11085815–2000 может быть использован в качестве добавки для асфальтобетонных смесей, а также в качестве конструктивных элементов автодорог, гидропрерывающих и дополнительных слоев земляного полотна автодорог. Нефтешламы могут быть использованы также для получения битумных вяжущих материалов.

Таким образом, следует отметить, что в каждом конкретном случае при выборе варианта обезвреживания и очистки нефтяных шламов для предприятий необходим дифференцированный подход с учетом как экологических, так и экономических показателей. Включение в целевые экологические программы проблем утилизации отходов, и в частности, утилизации нефтешламов должно стать приоритетной задачей

Литература:

1. Разработка технологии утилизации нефтяных шламов. Десяткин А. А. Авт. Канд. Диссертации, Уфа-2004.
2. Производственные отходы — не гряз а ценное химическое сырьё. RCC.ru. Химикаты. 26.01. 2002.
3. ООО «Природа» Переработка нефтяных шламов. <http://www.oilspill.ru/ustan.php>

Влияние усовершенствованного очистительного оборудования на сорные примеси хлопкового волокна

Исмадова Махсуда Мирзакуловна, ассистент;
Казакова Дилафруз Эркиновна, ассистент
Джизакский политехнический институт (Узбекистан)

Очилов Тулкин Ашурович, кандидат технических наук, доцент;
Бегманов Рустам Абдухаликович, студент
Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности (Узбекистан)

На сегодняшний день при существующей свободной конкуренции в рыночной экономике одной из главных задач основной отрасли текстильной промыш-

ленности — хлопкоочистительных заводов является производство конкурентоспособного и пользующегося высоким спросом качественного сырья.

Высокие показатели качества хлопка, соответствующие требованиям мировых стандартов, сегодня считаются основными факторами для востребованности сырья на мировом рынке.

Хлопок на заготовительные пункты хлопкоочистительных заводов принимаются согласно установленным стандартам, приёмка хлопка-сырца осуществляется по показателю влажности и содержанию пороков и сорных примесей. Если влажность хлопка-сырца, принимаемого с фермерских хозяйств, оказывается больше нормированной влажности, указанной в стандарте, то хлопок-сырец на заготовительных пунктах подвергается сушильно-очистительным процессам.

Учёными проведены ряд научно-исследовательских работ для обеспечения сохранности природных свойств и качества сырья на хлопкозаводах при использовании очистительных приборов хлопка-сырца от мелкого и крупного сора. Большое количество переходов технологических цепочек при обработке хлопка-сырца приводит к ухудшению качества сырья. Поэтому после каждого технологического процесса вырабатываются оптимальные варианты.

В процессе очистки хлопка-сырца от сорных примесей волокна и семена получают различные повреждения, в результате в последующих процессах, особенно, в процессе дженирования случаи учащаются, и ухудшается качество волокна и семян. Поэтому организация процесса очистки осуществляется по регламентированной схеме технологического процесса, что создаёт возможность сохранения качества продукции.

Помимо этого, на хлопкоочистительных заводах при первичной обработке разнообразных селекционных сортов хлопка-сырца воздействие технологических процессов на волокна по сортам оказывается различным. Некоторые селекционные сорта хорошо очищаются от сорных примесей, другие — наоборот. Исходя из этого, необходимо вырабатывать оптимальные условия для каждого сорта, выращиваемого в республике. Иначе, возникают причины для появления отрицательных воздействий на хлопок и семена. Поэтому, если некоторые селекционные сорта плохо очищаются, их подвергают повторной очистке. Помимо этого, у некоторых селекционных сортов семена бывают ломкими и хрупкими, известны возможные случаи повреждения их во время технологических процессов. Наряду с этим, во время очистки хлопка-сырца увеличение скорости воздействия рабочих органов оборудования приводит к уменьшению эффективности очистки хлопка. Для решения этой проблемы на хлопкоочистительных заводах проведены научно-исследовательские работы по усовершенствованию колково-разрыхлительного барабана оборудования 1ХК для очистки хлопка-сырца от мелких примесей. Изменяя характер движения хлопка-сырца, между колковыми барабанами и сетчатой поверхностью добиваемся эффективного использования сетчатой поверхности, то есть во время технологического процесса обеспечивается равномерное распределение хлопка на многих частях поверхности, а не только в центре, что в результате при-

водит к повышению эффективности очистки без излишних расходов и производительности оборудования. Исходя из этого, можно повысить очистительную способность оборудования 1ХК, предназначенного для очистки от мелких примесей хлопка-сырца, путём изменения вида сеток на колковых барабанах.

Научно-исследовательские работы проводились на Хайробадском хлопкоочистительном заводе. Для этого с целью повышения очистительной эффективности машины 1ХК вместо сетчатой поверхности была установлена рёберная решётка. Установленная под колковыми барабанами рёберная решётка состоит из рёбер и основания. Диаметр рёбер составляет 10 мм, длина — 1900 мм. Рёбра под колковыми барабанами расположены спиралеобразно. Расстояние между рёбрами составляет 5 мм, а расстояние между осями рёбер находится в заданном промежутке 2–2,5 мм. Рёбра изготовлены из стали марки СТ-3. Из-за того, что рёбра в количестве 33 штук установлены под колковыми барабанами под углом 120° , хлопок-сырец протаскиваясь по поверхности рёберной решётки, сталкивается со спиралеобразной поверхностью. При этом было достигнуто разное значение показателей скорости хлопка-сырца, находящегося на рёберной решётке. После установки и использования рёберных решёток под колковыми барабанами оборудования 1ХК, были взяты образцы хлопка-сырца и в лабораторных условиях очищены от засорённости на приборе ЛКМ, семена от волокон отделены на оборудовании ДП-30 и по отобраным пробам определили содержание пороков и засорённости хлопковых волокон в лаборатории Хайрободского хлопкоочистительного завода

Полученные результаты научно-исследовательских работ по определению пороков и сорных примесей хлопкового волокна, взятого с оборудования 1ХК для очистки хлопка от мелких примесей приведены на рис 1–4.

При сравнении результатов с неусовершенствованного оборудования с полученными результатами видно, что показатели хлопкового волокна I сорта, полученного с усовершенствованного оборудования — общее количество пороков и сорных примесей снизились на 10,6%, количество повреждённых и битых семян — на 15,4%, количество волокон с кожицей — на 12,8%, загрязнённость — на 12%, по II сорту — общее количество пороков и сорных примесей уменьшились на 20,6%, количество повреждённых и битых семян — на 26,8%, количество волокон с кожицей — на 13,4%, засорённость — на 18,4%; по III сорту — общее количество пороков и сорных примесей — на 24,5%, количество повреждённых и битых семян — на 20,8%, количество волокон с кожей — на 14,8%, загрязнённость на 26,2%, по IV сорту — общее количество пороков и сорных примесей на 25,7%, количество повреждённых и битых семян на 21,8%, количество волокон с кожей на 8,2%, загрязнённость на 26,4%, у V сорта — общее количество пороков и сорных примесей на 15,6%, количество повреждённых и битых семян на 9,3%, количество волокон с кожей на 14,9%, загрязнённость на 16,9% уменьшились.

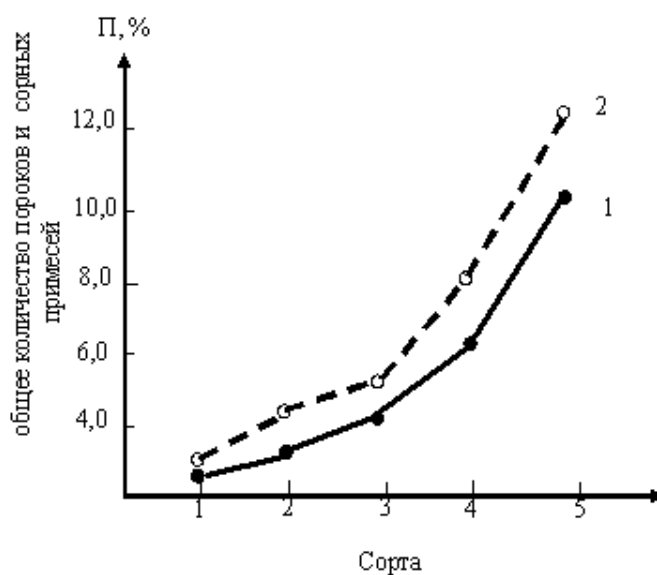


Рис. 1. Влияние очистительного оборудования на содержание пороков и отходов по сортам: 1-новое; 2-базовое

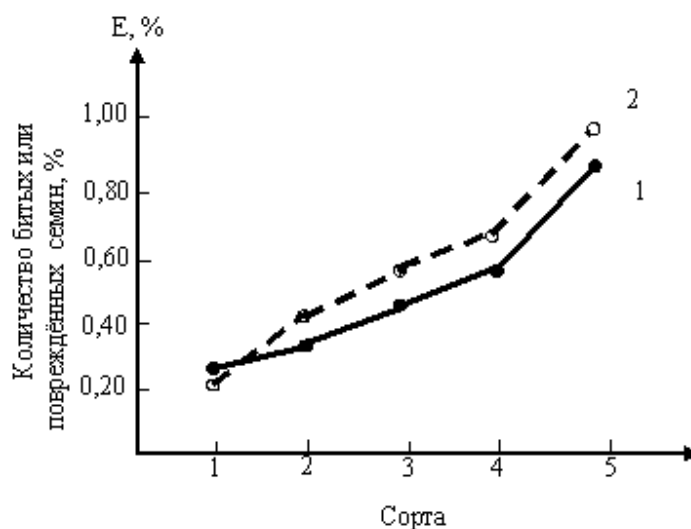


Рис. 2. Влияние очистительного оборудования на количества битых и повреждённых семян по сортам: 1-новое; 2-базовое

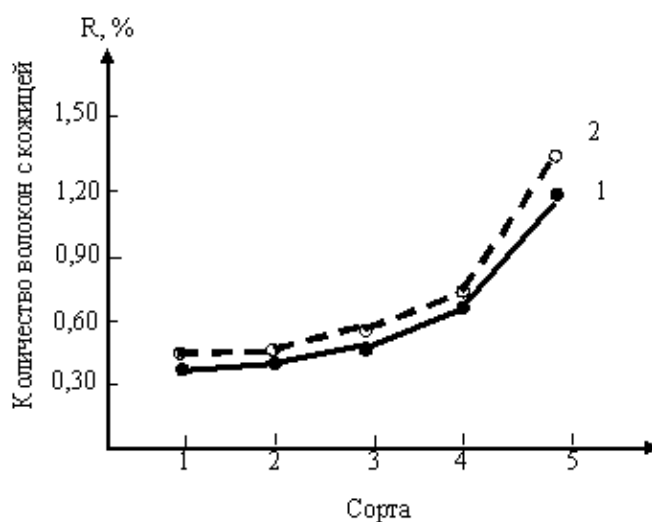


Рис. 3. Влияние очистительного оборудования на количества волокон с кожей по сортам: 1-новое; 2-базовое

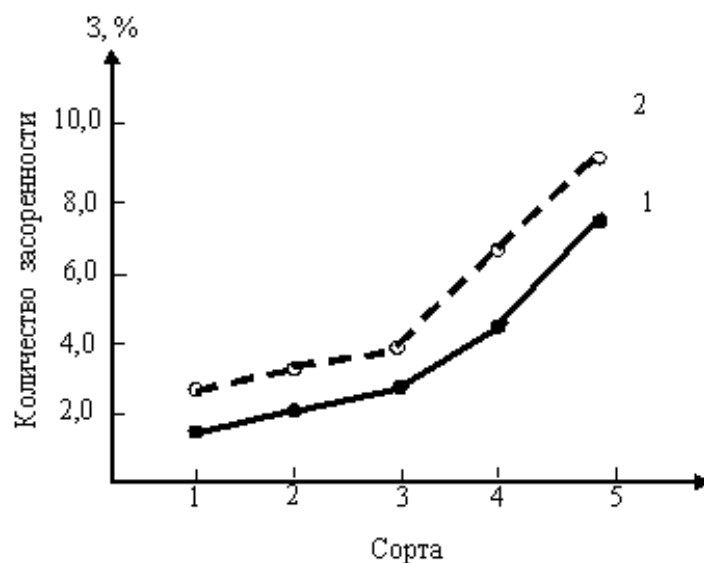


Рис. 4. Влияние очистительного оборудования на количество загрязнений по сортам: 1-новое; 2-базовое

Как видно из результатов научно-исследовательских работ, после усовершенствования оборудования по очистке хлопка-сырца от мелких примесей, было определено, что степень очистки хлопкового волокна от примесей и засорённости улучшилась. Потому что, в процессе

очистке движение хлопка-сырца замедлилось, а также повысилась эффективность очистки.

Вывод. По полученным результатам исследований рекомендовано к использованию усовершенствованное очистительное оборудование на хлопкоочистительных заводах.

Литература:

1. Усмонов Д. А. Исследование эффективности очистки хлопка-сырца от сорных примесей. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ташкент, 1981, с. 16–17.
2. Сосновский Ю. С. Исследование процесса очистки хлопка-сырца от мелкого сора. Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ташкент, 1973.
3. Гусейнов В. Исследование процесса очистки хлопка-сырца от мелкого сора. Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ташкент, 1973.
4. Мамажонов М. А. Исследование и разработка способов совмещения процессов сушки и очистки хлопка-сырца в одном агрегате. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ташкент, 1982, с. 25.

Качество IP-технологии при мобильном доступе стандарта IEEE 802.11 Radio-Ethernet

Козодаева Вера Владимировна, аспирант
Тамбовский государственный технический университет

IP-телефония — технология, позволяющая использовать Интернет или другую IP-сеть в качестве средства организации и ведения международных телефонных разговоров и передачи факсов в режиме реального времени.

Интернет-телефония — частный случай IP-телефонии, когда в качестве линий передачи телефонного трафика используются каналы сети Интернета.

При разговоре, наши голосовые сигналы (слова, которые мы произносим) преобразуются в сжатые пакеты данных. После, эти пакеты данных посылаются через Интернет другой стороне. Когда пакеты данных достигают адресата, они декодируются в голосовые сигналы оригинала.

Обычные телефонные звонки требуют разветвлённой сети связи телефонных станций, связанных закреплён-

ными телефонными линиями, подвода волоконно-оптических кабелей и спутников связи. Высокие затраты телефонных компаний приводят для нас к дорогим междугородним разговорам. Выделенное подключение телефонной станции также имеет много избыточной производительности или времени простоя в течение речевого сеанса.

В настоящее время интегрированные телекоммуникационные сети, в которых сочетаются различные виды трафика и различные методы доступа являются достаточно эффективным решением для транспортных сетей мегаполиса (метрополитена, монорельсовой транспортной системы и т.д.), позволяя объединить различные виды и сети информационного обмена.

В них особенно рациональным является использование беспроводных сетей доступа мобильных абонентов к ресурсам стационарных сетей связи.

С появлением стандарта Gigabit Ethernet распространенная технология локальных сетей Ethernet находит всё более широкое применение при построении магистральных путей. С ней гармонично сочетается стремительно развивающаяся технология стандарта IEEE 802.11 (802.16), так называемый, «Radio Ethernet» — технология беспроводных сетей в диапазоне 2,4 ГГц и других высокочастотных диапазонах.

Весьма эффективным становится совместное использование технологии Radio Ethernet и технологии излучаемых кабелей.

Назначение IP-технологий для удаленных сетей — это обеспечение доступа клиентов к информационным ресурсам глобальных и территориально-распределенных сетей, к различным услугам, предоставляемым мультисервисными сетями связи.

Традиционные коммутируемые сети генерируют сигналы с гарантированной полосой пропускания, достаточной для передачи сигналов голосового спектра. При фиксированной пропускной способности передаваемого сигнала цена единицы времени связи зависит от удаленности и расположения точек вызова и места ответа.

Сети с коммутацией пакетов не обеспечивают гарантированной пропускной способности, поскольку не обеспечивают гарантированного пути между точками связи.

IP-телефония является одной из областей передачи данных, где важна динамика передачи сигнала, которая обеспечивается современными методами кодирования и передачи информации, а также увеличением пропускной способности каналов, что приводит к возможности успешной конкуренции IP-телефонии с традиционными телефонными сетями.

Основной качества IP-телефонии является качество речи абонентов, что включает в себя возможность пользователя связываться и разговаривать с другим пользователем в реальном времени и в полнодуплексном режиме, т.е. осуществлять диалог. Также критерием качества речи является громкость речи, чистота и тональность, чтобы речь для абонентов была разборчива.

Вторым критерием качества IP-телефонии — это качество сигнализации: скорость успешного доступа и время установления соединения; время отбоя и скорость разъединения; определение и фиксация сигналов многочастотного набора номера.

Факторы, которые влияют на качество IP-телефонии, могут быть разделены на две категории: это факторы качества IP-сети и факторы качества шлюза. Рассмотрим по пунктам что следует учитывать при оценке качества IP-сети:

1. Максимальная пропускная способность — максимальное количество полезных и избыточных данных, которые она передает.

2. Задержка — промежуток времени, требуемый для передачи пакета через сеть.

Задержка создает неудобство при введении диалога, приводит к перекрытию разговоров и возникновению эхо. Эхо возникает в случае, когда отраженный речевой сигнал вместе с сигналом от удаленного конца возвращается опять в ухо говорящего. Так как эхо является проблемой качества, системы с пакетной коммутацией речи должны иметь возможность устранять эхо и использовать эффективные методы эхоподавления.

Затруднение диалога и перекрытие разговоров становится серьезным вопросом качества, когда задержка превышает 250 мс. Источниками задержки при пакетной передаче речи из конца в конец является так называемая задержка накопления — она обусловлена необходимостью сбора кадра речевых отсчетов, выполняемых в речевом кодере. Величина задержки определяется типом речевого кодера и изменяется от небольших величин (0,125 мкс) до нескольких миллисекунд.

Процесс кодирования и сбора закодированных отсчетов в пакеты для передачи через пакетную сеть создает определенные задержки. Задержка кодирования или обработки зависит от времени работы процессора и используемого типа алгоритма обработки.

Так же при пакетной передаче речи возникает сетевая задержка — задержка обусловлена физической средой и протоколами, используемыми для передачи речевых данных, а также буферами, используемыми для удаления джиттера пакетов на приемной стороне. Сетевая задержка зависит от емкости сети и процессов передачи пакетов в сети.

Время задержки при передаче речевого сигнала можно классифицировать тремя уровнями качества речи: третий, самый низкий уровень — задержка составляет более 400 мс, в этом случае абонент при разговоре слышит свое «эхо»; второй уровень, т.е. среднее качество связи — время задержки составляет от 200 до 400 мс; высоким качеством связи считается если время задержки менее 200 мс — это первый уровень связи.

Качество Интернет-телефонии попадает под 2–3 уровни, причем, невозможно уверенно сказать, что тот ли иной провайдер Интернет-телефонии работает по второму уровню, так как задержки в сети Интернет изменчивы. Более точно можно сказать о провайдерах IP — телефонии работающих по выделенным каналам. Они

попадают под 1–2 уровни. Средние суммарные задержки при использовании IP-телефонии обычно находятся в пределах 150–250 мс.

3. Джиттер — задержка между двумя последовательными пакетами.

Когда речь или данные разбиваются на пакеты для передачи через IP-сеть, пакеты часто прибывают в пункт назначения в различное время и в разной последовательности. Это создает разброс времени доставки пакетов (джиттер). Джиттер приводит к специфическим нарушениям передачи речи, слышимым как щелчки.

Величины возникающих задержек и их вероятности важны для организации процедуры обработки и выбора параметров обработки. Понятно, что временная структура речевого пакетного потока меняется. Возникает необходимость организации буфера для превращения пакетной речи, отягощенной нестационарными задержками в канале, возможными перестановками пакетов, в непрерывный естественный речевой сигнал реального времени. Параметры буфера определяются компромиссом между величиной запаздывания телефонного сигнала в режиме дуплексной связи и процентом потерянных пакетов. Потеря пакетов является другим серьезным негативным явлением в IP-телефонии.

4. Потеря пакетов — пакеты или данные, потерянные при передаче через сеть.

Потерянные пакеты в IP-телефонии нарушают речь и создают искажения тембра. В существующих IP-сетях все голосовые кадры обрабатываются как данные. При пиковых нагрузках и перегрузках голосовые кадры будут отбрасываться, как и кадры данных. Однако кадры данных не связаны со временем, и отброшенные пакеты могут быть успешно переданы путем повторения. Потеря голосовых пакетов, в свою очередь, не может быть восполнена таким способом и в результате произойдет неполная передача информации. Предполагается, что потеря до 5% пакетов незаметна, а свыше 10–15% — недопустима. Причем данные величины существенно зависят от алгоритмов компрессии/декомпрессии.

Существенно, что потеря большой группы пакетов приводит к необратимым искажениям речи, тогда как потери одного, двух, трех пакетов можно пытаться компенсировать. Ясно, что с повышением трафика возрастают задержки и потери. В условиях ограниченных пропускных

способностей это проявляется не только при интегральном увеличении загрузки каналов, например, в часы наибольшей нагрузки, но и при увеличении потока локального источника информации.

Важнейшую роль в IP-телефонии играет шлюз. Фактически он представляет собой устройство доступа в сеть IP. Как всякое устройство доступа, он принимает информацию через один интерфейс и передает ее в сеть через другой, выполняя соответствующие преобразования. Как было сказано выше, шлюз — является одной из составляющих качества IP-телефонии. Ниже перечислены факторы определяющие качество шлюза:

1. Задержка — время, необходимое цифровому сигнальному процессору или другим устройствам обработки для кодирования и декодирования речевого сигнала;

2. Буфер джиттера — сохранение пакетов данных до тех пор, пока все пакеты не будут получены и можно будет передать в требуемой последовательности для минимизации джиттера;

3. Потеря пакетов — потеря пакетов при сжатии и/или передачи в оборудовании IP-телефонии;

4. Подавление эхо — механизм для подавления эхо, возникающего при передаче по сети;

5. Управление уровнем — возможность регулировать громкость речи.

Качество связи по всем перечисленным характеристикам значительно увеличилось в сравнении с первыми версиями решений IP-телефонии, которые допускали искажение и прерывание речи. Улучшение кодирования голоса и восстановление потерянных пакетов позволило достичь уровня, когда речь понимается абонентами настолько хорошо, что собеседники не догадываются, что соединение происходит по технологии IP-телефонии.

Известно, что для человека задержка до 250 миллисекунд практически незаметна. Существующие на сегодняшний день решения IP-телефонии не превышают этот предел, так что разговор фактически не отличается от связи по обычной телефонной сети.

Кроме этого, задержки уменьшаются благодаря тому что совершенствуются телефонные серверы (их разработчики борются с задержками, улучшая алгоритмы работы) и развиваются частные (корпоративные) сети (их владельцы могут контролировать ширину полосы пропускания и, следовательно, величины задержки).

Литература:

1. Режим доступа: <http://wiki.zadarma.com/index.php>, свободный, — Загл. с экрана. — Яз. рус.
2. Режим доступа: <http://www.osp.ru/lan/1999/04/134114/>, свободный, — Загл. с экрана. — Яз. рус.
3. Радиотехнические системы: учебник для студ. высш. учеб. заведений/[Ю.М. Казаринов и др.]; под ред. Ю.М. Казаринова. — М.: Издательский центр «Академия», 2008. — 592 с.
4. Режим доступа: <http://revolution.allbest.ru>, свободный, — Загл. с экрана. — Яз. рус.
5. Энциклопедия Википедия. — Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/VoIP> свободный, — Загл. с экрана. — Яз. рус.
6. Автореферат: Качество IP-телефонии при мобильном доступе стандарта IEEE 802.11 Radio-Ethernet с использованием излучающего кабеля. Моторина Е.Г. — Москва, 2006. 129 с.

Технологическая подготовка процесса ремонта и восстановления пустотелых осей летательных аппаратов

Кузьмина Юлия Александровна, студент;
 Филиппенко Николай Григорьевич, кандидат технических наук, доцент;
 Лившиц Александр Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой
 Иркутский государственный университет путей сообщения

В этой статье описывается выбор технологического решения организации процесса ремонта и восстановления деталей летательных аппаратов типа сборная полуось с замкнутой внутренней полостью.

Ключевые слова: Ремонт летательных аппаратов, технологическое решение, типовой процесс

Поддержание или восстановление исправного и работоспособного состояния авиационной техники является приоритетной задачей авиационной промышленности.

Под ремонтом авиационной техники понимается комплекс организационных, технологических и экономических мероприятий по восстановлению ресурса, исправности и работоспособности изделий. Если ремонтные работы не требуют сложного специального технологического оборудования, то они могут выполняться в эксплуатационных предприятиях в цехах (участках) текущего ремонта.

Для выполнения сложных ремонтных работ, а также капитального ремонта материальной части Воздушных Сил (ВС) изделия авиационной техники (АТ) отправляют на специализированные ремонтные заводы по ремонту авиадвигателей, авиационного и радиоэлектронного оборудования. Наряду со специализированными авиаремон-

тными заводами существуют комплексные ремонтные заводы, осуществляющие капитальный ремонт конкретного типа ВС и его комплектующих изделий.

Производственный процесс ремонта включает подготовку средств ремонта, организацию обслуживания рабочих мест, получение и хранение ремонтного фонда, материалов, полуфабрикатов и запасных частей, а также все стадии ремонта.

Технологический процесс ремонта — часть производственного процесса, непосредственно связанная с оценкой и изменением состояния объекта ремонта. Технологический процесс ремонта состоит из этапов, представленных на рисунке 1.

Для организации ремонта комплектующих изделий проводится оценка оснащенности ремонтного предприятия необходимым оборудованием, документацией



Рис. 1. Этапы технологического процесса ремонта ЛА

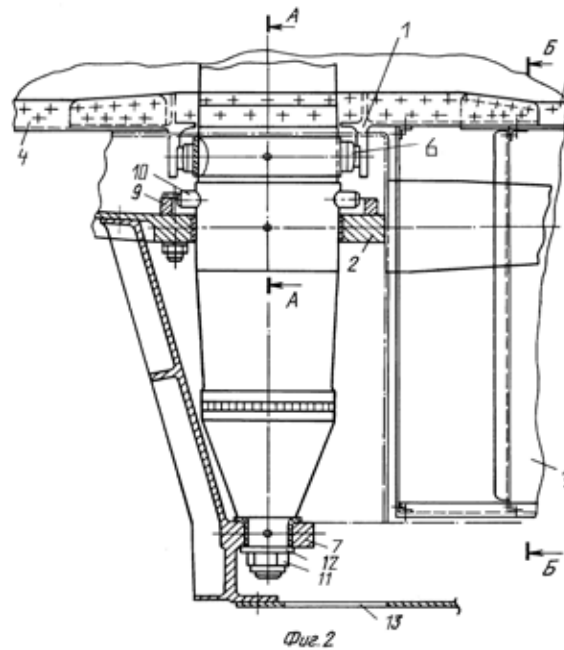


Рис. 2. Узел крепления полуоси для навески

и проверяется уровень подготовленности технического персонала. Оформляются технико — коммерческие предложения по ремонту комплектующих изделий в России и/или у Инозаказчика.

Разрабатывается план — график проведения ремонта и Программа ремонта (капитальный, средний, по состоянию и т. д.). Разрабатывается перечень дополнительного оборудования для реализации и программы ремонта, необходимого для дооснащения предприятия. Формируются перечни комплектующих изделий, необходимых для выполнения работ по доработкам.

Информационно-справочная система позволяет выполнять ввод, редактирование и отображение данных по комплектации любой машины в виде «древовидной» структуры типа «система — подсистема — агрегат» до любого уровня вложенности. По любому интересующему изделию можно получить паспортные данные, его графическое изображение, информацию о размещении изделия на борту самолета, данные об изготовителе. Возможно интерактивное формирование электронной заявки и формы заказа, получение различных отчетов, в том числе в форматах файлов MS Office.

Традиционно в конструкции планера самолета выделяют следующие сборочные единицы:

1. Агрегаты;
2. Отсеки;
3. Секции;
4. Панели;
5. Узлы.

Рассмотрим один из важных узлов самолета — полуось стабилизатора.

Полуось выполнена с кольцевыми шейками под сферический подшипник качения в продольной балке-опоре

и под отверстие в кронштейне шпангоута фюзеляжа, с круговыми цилиндрами под сферический подшипник скольжения 6 в кронштейне привода 1 и под отверстие в боковой панели 8 хвостовой балки фюзеляжа, и с штифтом 10, установленным в круговом цилиндре под отверстие в боковой панели хвостовой балки фюзеляжа, для аварийного взаимодействия с щелевым фиксатором 9, имеющимся на наружной боковой поверхности этой балки.

Полуоси для навески половин стабилизатора взаимозаменяемы и установлены с возможностью их снятия при транспортировке и ремонте. Для этого на участке кронштейна шпангоута фюзеляжа за кольцевой шейкой имеется крепежная гайка 11, и упорная шайба 12, а в районе кронштейнов шпангоута в фюзеляже имеются люки 13.

Полуось, опираясь на кронштейн шпангоута и на боковую панель 2 балки фюзеляжа, передает изгибающую нагрузку на фюзеляж.

Крутящий момент с обшивки воспринимается носовой 4 и хвостовой 5 частями бортовой нервюры, далее передается на ее среднюю часть и кронштейн привода 1. Через привод крутящий момент замыкается на фюзеляже. Инерционные силы вдоль оси вращения передаются через балку-опору и сферический подшипник качения на полуось, далее через крепежную гайку 11 и упорную шайбу 12 на кронштейн шпангоута фюзеляжа.

Многорезимность работы стабилизатора определяет необходимость сочетания на нем сложной конструкции и способность воспринимать и передавать на фюзеляж значительные аэродинамические нагрузки. В связи с этим возникают значительные износы конструкции основного динамического силового узла — полуоси навески стабилизатора (рисунок 2).



Рис. 3. Самолеты типа MC-21

Полуось для навески выполнена с кольцевыми шейками под сферический подшипник качения в продольной балке-опоре и под отверстие в кронштейне шпангоута фюзеляжа, с цилиндрами под сферический подшипник скольжения в кронштейне привода и под отверстие в боковой панели хвостовой балки фюзеляжа, в последнем из указанных цилиндров установлен штифт для аварийного взаимодействия с щелевым фиксатором, имеющемся на наружной боковой поверхности указанной балки. Описанная полуось минимально материалоемка, имеет замкнутую внутреннюю полость и состоит из трех частей, соединенных между собой кольцевыми сварными швами.

Сочетание штыря с фиксатором предотвращает поворот полуоси в опорах фюзеляжа и обеспечивает жесткое и надежное ее положение при всех видах нагрузок, что дополнительно нагружает конструкцию полуоси.

В связи с этим в ходе исследования были определены следующие причины, износа полуоси:

1. Износ посадочных мест;
 2. Нарушение гальванического и лакокрасочного покрытия;
 3. Возникновение несоосностей, появившиеся в процессе эксплуатации;
 4. Повреждение резьбы со стороны торца полуоси;
 5. Деформации и трещины.
- Отправляют на ремонт или отбраковку.

Литература:

1. Жорняк Г. Н., Смирнов Н. Н.: Авиатехника, ее обслуживание и ремонт. — М.: МИИГА 1995.
2. Кручинский Г. А.: Ремонт авиационной техники (теория и практика). — М.: Машиностроение, 1984.
3. <http://www.irkut.com/ru/corporation/iaz/>

Так как полуось является важнейшей частью стабилизатора, участвовавшего непосредственно в работе системы управления самолетом, актуальным становится вопрос технологии дефектовки и ремонта полуоси.

Учитывая небольшую партийности ремонтных изделий, индивидуальный износ каждого из них сегодняшнее состояние дел в ремпроизводстве организовано так, что технологический процесс ремонта разрабатывается к каждой сборочной и единице. Более того в настоящее время корпорацией «Иркут» подписаны контракты на производство 128 самолетов. Всего предприятием планируется произвести около 1200 самолетов типа MC-21. В первую очередь будут построены самолеты MC-21–300, затем планируется выпуск MC-21–200 и MC-21–400 (рисунок 3).

Отсюда актуальным становится вопрос и разработки большого количества технологических процессов производства и ремонта ЛА нового типа.

Анализ полученной информации позволяет сделать вывод, что решение данного вопроса возможно с разработкой типового технологического процесса ремонта данного узла ЛА, что позволит снизить затраты на подготовительных этапах подготовки производства и ремонта.

Для этих целей необходимо решить задачи, связанные с разработкой наиболее эффективной технологии ремонта элементов деталей типа «сборная полуось с замкнутой внутренней полостью» для всех типов такого изделия.

Обследование дымовых промышленных труб

Кузьмишкин Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент;

Гарькин Игорь Николаевич, аспирант

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Рост экономики и ужесточение требований по безопасности производственного процесса, а также надежности и экономичности конструкций, неразрывно связано с техническим перевооружением действующих предприятий [1]. Интенсификация промышленного производства связана с увеличением объемов и степени концентрации вредных выбросов. Для охраны природы используют вынос предварительно очищенных газов из производственной зоны на высоту 150 ... 500 м с тем, чтобы рассеять их на значительную площадь и тем самым снизить концентрацию до безопасного уровня.

Трубы имеют основные конструктивные элементы: фундамент, цоколь, ствол, оголовок, зольное перекрытие, бункер, вводы бортовых, антикоррозионную защиту, теплоизоляцию, футеровку, ходовую лестницу, молниезащиту, светофорные площадки. Стволы дымовых труб могут выполняться кирпичными, армокирпичными, железобетонными или стальными.

Дымовая труба является ответственным инженерным сооружением, работающим в чрезвычайно тяжелых условиях высоких ветровых нагрузок, температуры и агрессивного воздействия дымовых газов.

Теоретический срок службы железобетонных и кирпичных труб составляет 50 лет, металлических — 25 лет. Однако в связи с реальными условиями эксплуатации котельных установок эти сроки значительно сокращаются. По истечению этого срока техническое состояние дымовых труб приводит к необходимости их реконструкции, а чаще — к полной замене. В настоящее время стоимость полной реконструкции сборной железобетонной дымовой трубы составляет 3,5 ... 6,5 млн. руб., а экономический ущерб от остановки котельной в зависимости от наличия резервного источника тепла, времени года может достигнуть цифр, сравнимых со стоимостью новой котельной.

В связи с большими затратами на возведение дымовых труб рационально и экономически выгодно подключать на одну трубу несколько мощных энергоблоков.

В процессе эксплуатации котельных установок промышленных предприятий и тепловых электростанций необходимо систематически наблюдать за состоянием газоходов и дымовых труб.

Любое обследование следует начинать с изучения документации: исполнительной, касающейся строительства, и эксплуатационной, сравнивая режим эксплуатации проектной с фактическим.

Газоходы, как правило, эксплуатируются в условиях воздействия агрессивных дымовых газов. Агрессивные дымовые газы, например, образуются при сжигании то-

плив, содержащих серу (мазут, угли и т.д.). При этом сера, содержащаяся в топливе, окисляется до сернистого ангидрида и частично переходит в серный ангидрид, при соединении которого с водяным паром, содержащимся в отводимых газах, образуются пары серной кислоты, которые, конденсируясь на поверхности стен газоходов, вызывают коррозию материалов — разрушение цементного камня в бетонах и растворах и кирпича в кладке.

Сернокислотная коррозия вызывает дефекты, характеризующиеся следующими признаками:

- разрушением защитного слоя в железобетонных плитах покрытия с оголением арматуры;
- коррозией арматуры;
- коррозией стен;
- появлением трещин в стенах и местах примыкания газоходов к трубе;
- коррозией крышек во взрывных клапанах и смотровых люках с образованием сквозных отверстий;
- обрушением плит перекрытия; разрушением уплотнений в температурных швах; обводнением подземных газоходов грунтовыми водами вследствие разрушения гидроизоляции.

При малом количестве конденсата, когда его недостаточно для вымывания продуктов коррозии, в газоходах с внутренней стороны накапливаются и кристаллизуются сульфаты. Увеличиваясь в объеме при кристаллизации, сульфаты сначала заполняют поры, повышая прочность материалов (начальная стадия), но при дальнейшем увеличении объема разрывают их. Следует заметить, что наиболее интенсивно протекает сульфатная коррозия в ограждающих конструкциях газоходов при сжигании высокосернистого топлива.

Газоходы подвержены действию, как агрессивных газов, так и повышенных температур — от 85 до 200° С. Особенность работы газоходов состоит и в том, что в период растопки котла строительные конструкции газоходов подвергаются одностороннему нагреву, причем подъем температуры происходит очень быстро (на растопку котла, как правило, затрачивается 2–6 ч). За это время строительные конструкции не успевают равномерно прогреться. При растопках (особенно в холодный период) в ограждающих конструкциях возникают наибольшие температурные перепады и наибольшие деформации, приводящие к возникновению трещин в кирпичных стенках, ребрах панелей перекрытия и продольных ригелях, а также к разрушению рулонного ковра из-за отсутствия температурных швов в цементной стяжке покрытия газоходов.

Применение современной эффективной теплоизоляции и защитных материалов, повышение качества их монтажа, систематический контроль и своевременный ре-

монт способствуют существенному повышению долговечности дымовых труб и газоходов.

Литература:

1. Гарькин И. Н. Обследование промышленных зданий: меры предотвращения обрушений// Промышленное и гражданское строительство в современных условиях. Материалы международной научно-технической конференции студентов./Моск.гос.строит.ун-т.-М.:МГСУ,2011-с. 19–20.

Применение факторного анализа в оценке деятельности ученого специалиста

Лоцицкая Екатерина Викторовна, студент
Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)

На сегодняшний день мы часто слышим, что высшие учебные заведения (ВУЗы) не дают студентам необходимых знаний. Позиция, что образовательная программа любого ВУЗа недостаточна хороша для развития студентов, не является фактом. Однако недовольство хотя бы группы студентов или преподавателей существующей образовательной системой является проблемой, которую необходимо исследовать.

Рассмотрим ситуацию более подробно. Студенты, которые закончили свое обучение в ВУЗе, не востребованы на современном рынке. Они подолгу не могут найти работу, а если и находят, то в большинстве случаев совершенно не по своей специальности. Получается, что недовольны, остаются все. Работодатель не доволен качеством подготовки студентов, как его будущих работников. Студенты недовольны своим положением: хочется быть востребованным, грамотным специалистом, выбирать из того, что хочешь, а не из того, что придется. ВУЗ в свою очередь теряет свой статус. Получаем, что существующая система образования не совершенна и требует внесения новых идеи и разработок. Ее можно заменить полностью или модернизировать уже имеющуюся.

Существующая система образования очень большая, имеет сложную структуру, много подразделений. И на сегодняшний день она особо не исследуема и не изучена [1]. В основу образования лег достаточно эффективный метод «кнута и пряника». Если субъект делает свою работу хорошо, он получает «пряник» — вознаграждение. Если же плохо, то «кнут». В нашем случае в данной системе была разработана программа начисления баллов за определенную работу. Студенты получают оценки, зачеты, квалификации и т.д. по стандартной схеме. А для преподавателей сравнительно недавно была разработана программа начисления баллов за определенный труд, например: публикации, монографии, учебные планы, учебные пособия и т.д. И в зависимости от начисленных баллов преподаватель получает прибавку к своему доходу.

В настоящее время имеются данные по оценке преподавателей в виде матрицы действительных чисел. Эти данные собираются ежегодно для каждой кафедры в отдельности по всем преподавателям. Данные, которые имеются у нас, были получены из источников СФУ. Матрица имеет большую размерность и содержит пропуски.

Чтобы система работала хорошо, она должна быть объективна. Однако, построить абсолютно объективную систему невозможно, как показывает практика. Но к этому можно стремиться путем сбора дополнительных показателей системы. Но чем больше будет таких показателей, тем обширней и сложнее будет наша система. Поэтому одним из путей ее модернизации является ее упрощение. Для выполнения данной задачи используем методы факторного анализа [2]. Он позволяет снизить размерность задачи, и соответственно упростить обработку самих данных, при незначительной потере информативности.

Данные, которыми мы располагаем, выражают собой надбавки преподавателям за определенные заслуги. Другими словами существует 44 показателя, по которым преподаватель может получить бонус, выраженный в баллах. Существует специальный алгоритм расчета единой стимулирующей надбавки (ЕСН), который переводит полученные баллы в надбавку. В наш век, когда наука поставлена на коммерческую основу, эти надбавки можно считать критерием того, насколько хорошо работает преподаватель.

Перед тем как проводить эксперименты с данными, необходимо их обработать. В исходных данных имеется много пропусков, так как преподаватели в большинстве своем подают данные о своей работе практически в одних и тех же сферах. Те показатели, по которым ни один преподаватель не получил баллов, мы удаляем, так как они не несут для нас никакой информативности.

Например, рассмотрим данные одной из кафедр. Как видно из таблицы 1 приведенной таблицы, мы имеем всего 12 преподавателей и 11 не нулевых показателей.

Таблица 1. Баллы, полученные преподавателями одной из кафедр по 11 показателям

	4	6	7	10	16	24	27	28	32	43	44
1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	2	0
2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
3	0	0	2	0	0	1	0	2	2	0	0
4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	6	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	2	2	0	0	1	0	8	0
7	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	4	0	0	2	0	4	2

Чтобы полученные цифры обрели смысл, опишем показатели:

4 — рекомендованного учебно-методическими объединениями учебного пособия, исключительные права на которое переданы (но не выкуплены) СФУ, в течение года на дату подачи информации;

6 — Внедрение УМК дисциплины, разработанного на основе ФГОС ВПО, в течение года на дату подачи информации;

7 — Разработка полнокомплектного УМК дисциплины учебного плана, разработанного на основе ФГОС ВПО;

10 — Разработка внутри-университетского образовательного стандарта по направлению подготовки (специальности), прошедшего экспертизу и утвержденного Минобрнауки РФ;

16 — Защита докторской диссертации в течение года на дату подачи информации;

24 — Публикация статей в рецензируемых журналах из списка ВАК России, Белоруссии, Украины и в течение года на дату подачи информации;

27 — Участие в выполнении хозяйственно-договорных НИР и НИОКР в качестве руководителя, ответственного исполнителя, исполнителя в течение года на дату подачи информации (сумма финансирования более 100 тыс. руб.);

28 — Участие в выполнении грантов РФФИ, РГНФ, Роснаука, Рособразование и др. в качестве руководителя, ответственного исполнителя, исполнителя в текущем году (сумма финансирования более 100 тыс. рублей);

32 — Членство в докторских диссертационных советах с подтверждением участия в их работе за отчетный период;

43 — Руководство студентами, ставших дипломантами или лауреатами творческих конкурсов в течение года на дату подачи информации;

Таблица 2. Выделенные факторы

	Factor 1	Factor 2	Factor 3
4	0,008720	-0,421578	0,842273
6	-0,214201	0,084082	-0,067136
7	0,959234	0,137704	-0,064758
10	-0,221448	0,150972	-0,443046
16	-0,269624	0,880833	0,276690
24	0,781915	0,003093	-0,270332
27	0,008720	-0,421578	0,842273
28	0,554764	0,635875	0,508139
32	0,959234	0,137704	-0,064758
43	-0,374491	0,651079	-0,109528
44	-0,101652	0,779594	0,392320

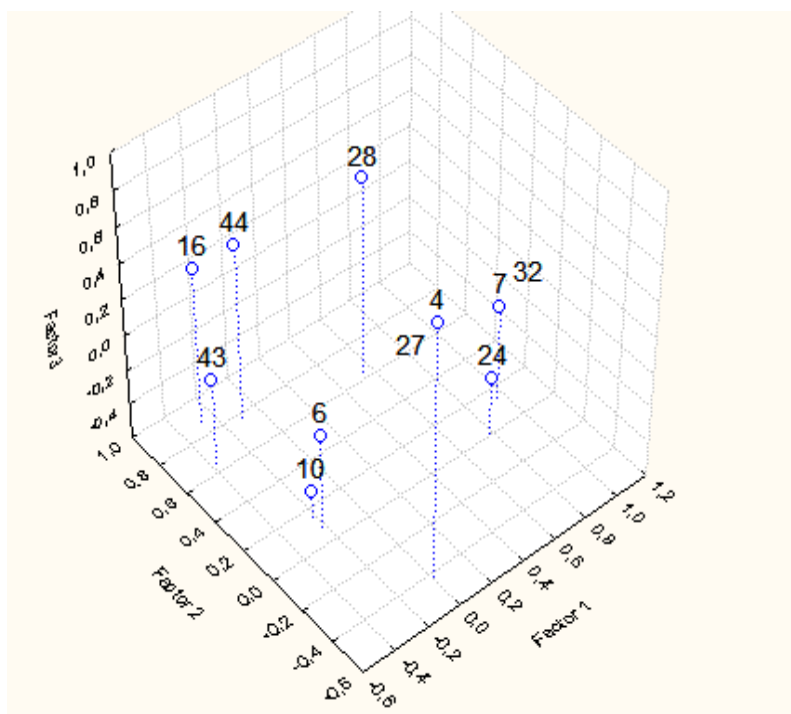


Рис. 1. Данные в пространстве выделенных факторов

44 — Подготовка студентов-спортсменов — победителей и призеров всероссийских и международных соревнований.

Одним из преимуществ применения факторного анализа является выделение наиболее значимых переменных с точки зрения их независимости. Однако в плане управления организационной системой эта информация принесет мало пользы. Совсем другое дело, если данные будут иметь более наглядное представление, которое поможет ответственному лицу принять решение [3]. Именно с этой точки зрения использование факторного анализа оправдано. Для упрощения данной задачи мы будем использовать методы факторного анализа. Самым простым из них является метод главных компонент. Для того чтобы это можно было представить наглядно мы ограничимся тремя факторами. Каждый фактор представляет собой линейную комбинацию всех показателей.

Полученные результаты представлены в таблице 2. Жирным выделены те показатели, которые оказывают наибольшее влияние на найденные факторы.

На рисунке 1 мы наблюдаем расположение показателей в пространстве новых переменных. Эта информация нам нужна не для того, чтобы исследовать значения отдельных измерений и сформировать какое-то решение, а для того, чтобы как-то классифицировать имеющиеся группы показателей. Дело в том, что новые переменные не формируют группы показателей, а лишь строят их линейные комбинации, ориентируясь на распределение измерений. Классы показателей можно вывести, лишь решив задачу кластеризации. Факторный анализ (а именно, наше упрощение до наглядного пространства)

позволяет решить эту задачу, всего лишь поглядев на рисунок. Например, можно увидеть, что показатели 4 и 27, а так же 7 и 32 идентичны с точки зрения факторного анализа. Таким образом, показатели 27 и 32 можно исключить вовсе, т. к. они идентичны показателя 4 и 7.

Полученные группировки показателей могут не работать для измерений другой кафедры, потому что с точки зрения анализа разные кафедры являются разными объектами исследований. Для выявления общих закономерностей требуются дополнительные эксперименты.

Однако мы можем сделать выводы об исследованной кафедре. Совпадение некоторых факторов говорит о том, что одно исследование продвигается в нескольких направлениях или не одним способом. Например, результаты исследований издаются в виде учебного пособия и оформляются в виде гранта для следующих исследований. Также можно выделить, что занимаемая должность накладывает на человека ряд обязанностей: например, составление учебных планов и участие в диссертационном совете. Но эти данные могут быть случайны или ошибочны. Дальнейшее исследование выявит ошибки и сведет случайность к минимуму.

В итоге мы получили задачу с пространством меньшей размерности без значительных потерь информативности. Так же алгоритмы были успешно проверены на полученных данных. Поэтому мы можем утверждать, что описанный подход является адекватным. В качестве результата мы имеем модернизированную систему образования, более простую с точки зрения работы с ней. Низкая размерность позволяет ЛПР оценивать сложившуюся ситуацию, выявлять проблемы и быстро формулировать решение.

Литература:

1. Иркутская В. И. Развитие системы образования в России (настоящее и будущее) // Вестн. Томского гос. пед. ун-та (Tomsk State Pedagogical University Bulletin). — 2010. — № 10. — С. 100.
2. Окунь Я., Давидович Г. З. Факторный анализ: Пер. с польск. — Статистика, 1974.
3. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Системный анализ и синтез стратегических решений в инноватике. Основы стратегического инновационного менеджмента и маркетинга // М.: Либроком. — 2011.

Изучение режима работы производства кокса из нефтяных отходов

Мирзаев Санжар Саиджонович, старший преподаватель;
Тешаев Достон Зарипович, магистрант
Бухарский инженерно-технологический институт (Республика Узбекистан)

Процесс замедленного коксования в необогреваемых камерах предназначен для получения крупнокускового нефтяного кокса как основного целевого продукта, а также легкого и тяжелого газойлей, бензина и газа. Сырьем для коксования служат малосернистые атмосферные и вакуумные нефтяные остатки, сланцевая смола, тяжелые нефти из битуминозных песков, каменноугольный деготь и гильсонит. Эти виды сырья дают губчатый кокс. Для получения высококачественного игольчатого кокса используют более термически стойкое ароматизированное сырье, например смолу пиролиза, крекинг-остатки и каталитические газойли.

Основными показателями качества сырья являются плотность, коксумость по Конрадсону и содержание серы. Выход кокса определяется коксумостью сырья и практически линейно изменяется в зависимости от этого показателя. При коксовании в необогреваемых камерах остаточного сырья выход кокса составляет 1,5–1,6 от коксумости сырья. При коксовании дистиллятного сырья выход кокса не соответствует коксумости сырья, поэтому составлять материальный баланс расчетным методом для такого сырья нельзя. Главным потребителем кокса является алюминиевая промышленность, где кокс служит восстановителем (анодная масса) при выплавке алюминия из алюминиевых руд. Кроме того, кокс используют в качестве сырья при изготовлении графитированных электродов для сталеплавильных печей, для получения карбидов (кальция, кремния) и сероуглерода.

Основными показателями качества кокса являются истинная плотность, содержание серы, зольность и микроструктура. Для игольчатого кокса истинная плотность должна быть не ниже $2,09 \text{ г/см}^3$, для кокса марки КНПС (пиролизного специального), используемого в качестве конструкционного материала, она находится в пределах $2,04–2,08 \text{ г/см}^3$ [1]. Содержание серы в коксе почти всегда больше, чем в остаточном сырье коксования. Из остатков малосернистых нефтей получают малосернистый кокс, содержащий, как правило, до 1,5% (масс.) серы; кокс из сернистых остатков содержит обычно 2,0–

4,5% (масс.) серы, а из высокосернистых — более 4,0% (масс.) [2].

Содержание золы в коксе в значительной мере зависит от глубины обессоливания нефти перед ее перегонкой.

Сырье — гудрон или крекинг-остаток (или их смесь) — подается насосом 1 двумя параллельными потоками в трубы подовых и потолочных экранов печей 2 и 3, где оно нагревается до $350–380 \text{ }^\circ\text{C}$. Затем сырье поступает в нижнюю часть колонны 9 на верхнюю каскадную тарелку. Сюда же под нижнюю тарелку поступают горячие газы и пары продуктов коксования, образующиеся в двух параллельно работающих камерах 5 (или 5'). В колонне сырье встречается с восходящим потоком газов и паров и в результате контакта тяжелые фракции паров конденсируются и смешиваются с сырьем. Таким образом, в нижней части колонны образуется смесь сырья с рециркулятом, обычно называемая вторичным сырьем. Если в сырье содержались легкие фракции, то они в результате контакта с высокотемпературными парами, испаряются и уходят в верхнюю часть колонны 9.

Вторичное сырье с низа колонны 9 забирается насосом 6 и возвращается в змеевики печи 2 и 3, в верхние трубы конвекционной секции и правые подовые и потолочные экраны. Эта часть труб относится к «реакционному» змеевику, здесь вторичное сырье нагревается до $490–510 \text{ }^\circ\text{C}$. Во избежание закоксовывания труб этой секции в трубы потолочного экрана подают перегретый водяной пар, так называемый турбулизатор, в количестве 3% (масс.) на вторичное сырье. За счет подачи турбулизатора увеличивается скорость прохождения потока через реакционный змеевик. Избыток перегретого водяного пара может подаваться в отпарные колонны 10 и 11.

Парожидкостная смесь из печей 2 и 3 вводится параллельными потоками через четырехходовые краны 7 в две работающие камеры 5; две другие камеры (5) в это время подготавливают к рабочему периоду цикла. Горячее сырье подается в камеры вниз и постепенно заполняет их. Объем камер достаточно большой (внутренний диаметр 4,6–5,5 м, высота 27–28 м), и время пребывания сырья

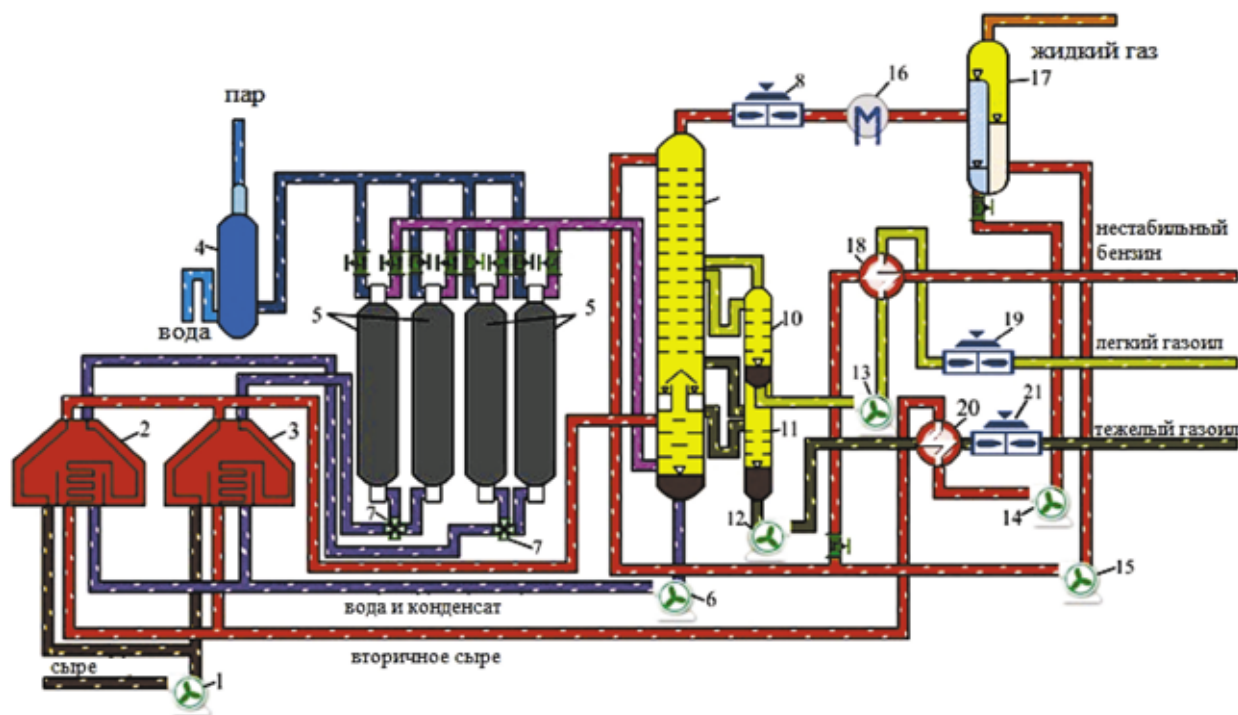


Рис. 1. Технологическая схема производство кокса из нефтяных отходов: 1, 6, 12–15 — насосы; 2, 3 — трубчатые печи; 4 — приемник; 5 — камеры замедленного коксования; 7 — четырехходовые краны; 8, 19, 21 — аппараты воздушного охлаждения; 9 — ректификационная колонна; 10, 11 — отпарные колонны; 16 — холодильник; 17 — водогазоотделитель; 18, 20 — теплообменники

в них значительно. Здесь в камерах сырье подвергается крекингу. Пары продуктов разложения непрерывно выводятся из камер сверху и поступают в колонну 9, а тяжелый остаток остается. Жидкий остаток постепенно превращается в кокс.

В колонне 9 продукты коксования разделяются. С верха колонны уходят пары бензина и воды, а также газ коксования. Эти продукты проходят аппарат воздушного охлаждения 8, затем водяной холодильник 16 для дополнительного охлаждения и поступают в водогазоотделитель 17, где разделяются на водный конденсат, нестабильный бензин и жирный газ.

Часть нестабильного бензина нагнетается насосом 15 в качестве орошения на верхнюю тарелку колонны 9. Балансовое количество бензина проходит теплообменник 18, где нагревается за счет тепла легкого газойля, и передается в секцию стабилизации. Водный конденсат, отводимый из водогазоотделителя 17, подается насосом 14 через теплообменник 20 в пароперегреватели, расположенные в конвекционных секциях печей 2 и 3. Легкий и тяжелый газойли, отводимые из отпарных колонн 10 и 11, направляются соответственно насосами 13 и 12 через теплообменники нагрева нестабильного бензина 18, водного конденсата 20 и аппараты воздушного охлаждения 19 и 21 в резервуары.

После заполнения камер коксом, образующимся в процессе, камеры отключают и продувают водяным паром для удаления оставшихся жидких продуктов и нефтяных

паров. Удаляемые продукты поступают вначале в колонну 9, а затем, когда температура кокса понизится до 400–405°C, поток паров отдувают в приемник 4. Подачу водяного пара продолжают до снижения температуры кокса до 200°C, далее в камеру подают воду до тех пор, пока вновь подаваемые порции воды, пары которой выходят в атмосферу, не перестанут испаряться, т. е. пока в сливной трубе приемника 4 не появится вода.

Кокс из камер выгружается гидравлическим способом — посредством гидрорезаков с использованием воды давлением 10–15 МПа [3].

Установка замедленного коксования мощностью 1,5 млн. т сырья в год аналогична описанной, но она оборудована шестью коксовыми камерами и тремя трубчатыми печами, каждая из которых обслуживает две камеры; диаметр камер 7 м, высота 30 м.

Технологический режим установки:

Температура, °С	
входа сырья в камеры	490–510
выхода паров из камеры	440–460
Давление в камерах, Мпа	0,18–0,60
Кратность циркуляции (на сырьё)	0,1–1,1
Время заполнения камеры коксом, ч	24

На рис. 2 приведены материальные балансы процесса замедленного коксования прямогонного остатка и крекинг остатка; выходы даны в зависимости от плотности сырья (при 20° С) коксования.

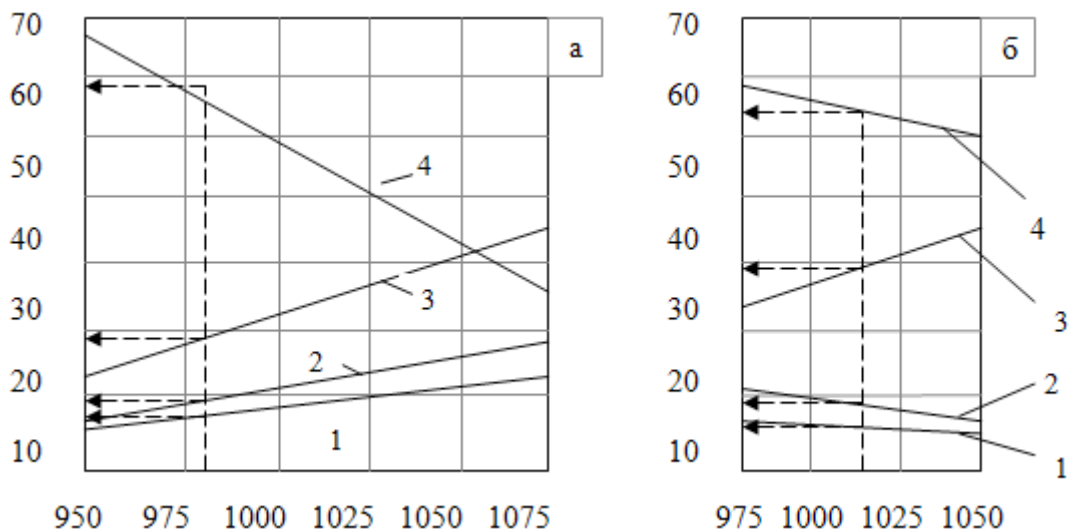


Рис. 2. Материальные балансы коксования прямогонного остатка (а) и крекинг остатка (б):
 1 — газ; 2 — бензин (фр. C_5-200 °С); 3 — кокс; 4 — остаток выше 200 °С; потери по разности (помимо обычных, также потери, имеющие место при пропаривании кокса и прогреве коксовых камер)

Литература:

1. Красюкое А. Ф. Нефтяной кокс. М., Химия, 1966. 264 с.
2. Сюняев З. И. Производство, облагораживание и применение нефтяного кокса. М., Химия, 1973. 295 с.
3. Бендеров Д. М., Походенко Н. Т., Брондз Б. И. Процесс замедленного коксования в необогреваемых камерах. М., Химия, 1976. 176 с.

Введение биологически активных веществ в пищевые системы при помощи наносистем на основе природных фосфолипидов

Морина Наталья Сергеевна, аспирант
 Московский государственный университет пищевых производств

В соответствии с принятой Правительством Российской Федерации Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности России до 2020 года, в рамках которой поставлена задача «внедрить новые технологии в отрасли пищевой и перерабатывающей промышленности, в том числе био- и нанотехнологии...», актуальной задачей на сегодняшний день, не только в России, но и во всем мире, является разработка технологии обогащения продуктов питания нутрицевтиками и биологически активными веществами. Эти технологии должны позволить значительно расширить выработку продуктов нового поколения с заданными характеристиками, лечебно — профилактических, специализированных и других продуктов

Для сохранности биологически активных свойств нутрицевтиков в процессе хранения или переработки продукта, а так же увеличения биодоступности введенных

в пищевую систему биологически активных веществ, необходима надежная пищевая транспортная система.

Одним из главных требований к таким системам доставки является то, что они могут быть созданы только из компонентов, разрешённых к использованию в пищевой промышленности. Среди природных соединений, которые отвечают этому требованию, а так же способны образовывать замкнутые системы, являются фосфолипиды.

Фосфолипиды — основной класс мембранных липидов, которые выполняют три важнейших функции в организме [1]:

- 1) это важнейшие структурные компоненты клеточных мембран;
- 2) биоэффекторы, регулирующие межклеточные реакции;
- 3) форма запаса метаболического топлива.

Наличие в составе молекулы фосфолипида полярной части и неполярных жирнокислотных цепей обуславливает способность фосфолипидов образовывать мембраны [2]. Это свойство фосфолипидов активно изучается и используется для создания направленных, специфичных транспортных систем доставки лекарственных веществ [3]. Лекарственное вещество (активная субстанция), заключенная в наноконтейнер, в качестве системы доставки, имеет ряд преимуществ перед свободным препаратом. За счет амфифильности молекулы фосфолипидов, входящих в состав наноконтейнера, можно улучшить растворимость гидрофобных соединений. Благодаря использованию наносистем можно увеличить биодоступность лекарственных препаратов и обеспечить специфичность воздействия биологически активного вещества на группы органов или клетки-мишени. Несомненно, фосфолипиды заслужили особого внимания в медицине и фармации. В сравнении с другими наночастицами, используемыми в создании транспортных систем, фосфолипиды имеют ряд преимуществ. Так в сравнении с полимерными нанотрубками фосфолипиды являются полностью биоразлагаемым материалом, нетоксичным и имеют высокое сродство к структурам клетки [4]

Следующим этапом изучения фосфолипидов является задача разработки системы доставки на их основе биологически активных веществ в пищевой промышленности, в том числе и в создании биологически-активных добавок (БАД). Разработкам БАДов в Московском государственном университете пищевых производств посвящено множество работ, среди которых стоит отметить патенты от таких ученых как Иванова Л. А., Рогов И. А., Титов Е. И. и др. [5–7].

Согласно документу Министерства здравоохранения Российской Федерации: Методические указания МУК 2.3.2.721–98 «Определение безопасности и эффективности биологически активных добавок к пище»:

Пищевые продукты — продукты, используемые человеком в пищу в натуральном или переработанном виде;

Биологически активные добавки к пище — композиции натуральных или идентичных натуральным биологически активных веществ, предназначенных для непосредственного приема с пищей или введения в состав пищевых продуктов с целью обогащения рациона отдельными пищевыми или биологически активными веществами и их комплексами;

Нутрицевтики — биологически активные добавки к пище, применяемые для коррекции химического состава пищи человека (дополнительные источники нутриентов: белка, аминокислот, жиров, углеводов, витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон);

Парафармацевтики — биологически активные добавки к пище, применяемые для профилактики, вспомогательной терапии и поддержки в физиологических границах функциональной активности органов и систем;

Фосфолипиды уже достаточно давно используются в пищевой отрасли в качестве эмульгаторов, и являются неотъемлемым компонентом масложировых, молочных, мясных, хлебобулочных, кондитерских и других продуктов. Так же на рынке БАД представлены добавки в которых сами фосфолипиды играют роль биологически-активного компонента. К примеру, отечественный препарат БАД «Витол-Холин» (ООО НПФ «Росма-Плюс», Краснодарский край). Однако число биологически активных добавок, в которых фосфолипиды играют роль не только как биологически-активного вещества, но и выполняют функцию строительного материала для построения микрокапсулы среди отечественных пищевых добавок невелико.

Поэтому разработка технологии эффективного и контролируемого обогащения пищевых продуктов биологически-активными веществами с помощью фосфолипидов и применение их в качестве транспортной системы в производстве БАД является перспективным направлением в пищевой промышленности.

Литература:

1. Ипатова О. М. Фосфолипид: механизм действия и применение в клинике. М., 2005.
2. Derek Marsh. Handbook of Lipid Bilayers. G.: CRC Press. 2012. 1130 p.
3. Quezada N. Synthesis of structured phospholipids. A dissertation for the degree of Master of Science. Texas A&M University. 2007. 230 p.
4. Арчаков А. И. Нанобиотехнологии в медицине: нанодиагностика и нанолечения // Актовая речь. М: ГОУВПО «РГМУ ФА ЗСР». 2009. — с. 19–20.
5. Рогов И. А., Титов Е. И., Шалыгина А. М., Тихомирова Н. А., Комолова Г. С., Рогов С. И. Способ получения биологически активной добавки «Милканг» и полученная этим способом БАД «Милканг» // Патент на изобретение RUS 2183935 06.04.2000
6. Иванова Л. А., Иванова И. С., Мартыанов В. А. Способ производства биологически активной добавки // патент на изобретение RUS 2230466 28.11.2002
7. Нефедова Н. В., Титов Е. И., Мотина Н. В., Семенов Г. В., Митасева Л. Ф. Комплексная добавка с биологически активными свойствами и пищевой продукт её содержащий // патент на изобретении RUS 2320204 22.11.2006

Системы разработки газоконденсатных месторождений

Муродов Малик Некмурадovich, кандидат технических наук;

Паноев Эрали Ражаббоевич, магистрант

Бухарский инженерно-технологический институт (Республика Узбекистан)

Особенностью пластовых флюидов газоконденсатных месторождений является возможность выпадения конденсата в пласте, стволе скважин и наземных сооружениях в результате снижения давления и температуры. Характерным для эксплуатации газоконденсатных месторождений являются многофазность поступающей из скважин продукции и необходимость наиболее полного отделения конденсата. В связи с этим комплексное разработка газоконденсатных месторождений имеет ряд особенностей по сравнению с разработкой чисто газовых месторождений. В частности, разработка газоконденсатных месторождений должна обеспечивать оптимальные условия работы пласта с точки зрения наиболее полного извлечения конденсата из недр.

Газоконденсатные месторождения могут разрабатываться без искусственного поддержания пластового давления (на истощение, как чисто газовые месторождения) или с поддержанием давления в пласте.

В мировой практике наряду с разработкой газоконденсатных месторождений без поддержания давления, т. е. методом, наиболее распространенным у нас и за рубежом, на практике используется также метод разработки газоконденсатных месторождений с поддержанием пластового давления путем закачки сухого (отбензинного) газа в пласт. Этот способ называется методом обратной закачки газа в пласт (сайклинг-процесс). Применяются также часто различные комбинации этого метода — полный сайклинг, неполный сайклинг, канадский сайклинг, когда газ закачивается в летний период времени и отбирается зимой в периоды наибольшего спроса газа.

В насыщенных залежах при падении давления сразу начинает выделяться в пласте конденсат. В ненасыщенных со снижением давления с первоначального до давления насыщения выпадения конденсата в пласте не происходит. В перегретых залежах при любом снижении давления при пластовой температуре в пласте выделения конденсата не происходит. Таким образом, как частично ненасыщенные залежи, так и полностью перегретые газоконденсатные залежи в процессе их разработки не требуют поддержания пластового давления, а могут разрабатываться на истощение.

При искусственном заводнении газоконденсатного месторождения объем закачиваемой воды зависит от уровня добычи газа и значения поддерживаемого пластового давления. Если используется метод заводнения пласта, достигается одновременная добыча газа и конденсата постоянного состава, что имеет положительное значение для проектирования объектов по переработке конденсата. В то же время возникают дополнительные потери газа

и конденсата, вызванные их заземлением при давлении, близком к начальному. Коэффициенты газо- и конденсатоотдачи в зависимости от коэффициента охвата и характера неоднородности пласта по площади и мощности пласта в этом случае уменьшаются.

Пластовый газ является сырьем для нефтехимической промышленности и источником энергии. Поэтому важен вопрос о компонентоотдаче и использовании запасов пластовой энергии.

Коэффициентом объемной компонентоотдачи называется отношение объема извлеченного из пласта компонента Q_o к его геологическим запасам Q_3 . Различают конечный (в конце периода эксплуатации) и текущий (в некоторый момент эксплуатации) коэффициенты компонентоотдачи. Часто эти коэффициенты выражаются в процентах.

$$K_i = \frac{Q_{oi}}{Q_{3i}} 100 = \left(1 - \frac{Q_{oi}}{Q_{3i}}\right) 100$$

Где Q_o — оставшиеся запасы.

Коэффициенты газо- и конденсатоотдачи выражаются следующим образом:

$$K_z = \left(\frac{\sum_{i=1}^4 Q_{oi}}{\sum_{i=1}^4 Q_{3i}} \right) 100$$

$$K_x = \frac{Q_{ocx}}{Q_{3cx}} 100.$$

Практика разработки отечественных и зарубежных месторождений показывает, что коэффициент газоотдачи во многих случаях достигает 85–95%, в то время как коэффициент конденсатоотдачи изменяется от 30 до 75%.

При разработке газовых и газоконденсатных залежей, приуроченных к однородным по коллекторским свойствам пластам, в целях увеличения конечной газоотдачи рекомендуется увеличивать темп отбора газа из них. В этом случае вода не успевает поступать а газовую залежь, в связи с чем резко сокращается количество «защемленного» ею газа.

В случае разработки неоднородных по коллекторским свойствам залежей их форсированная разработка может привести к избирательному обводнению, значительно снижающему газоотдачу месторождения в целом.

В мировой практике при эксплуатации газоконденсатных месторождений с содержанием конденсата более 25 см³/м³ наряду с эксплуатацией их на режиме исто-

щения применяется сайклинг — процесс, позволяющий существенно повысить коэффициент конденсатоотдачи. Сайклинг — процесс широко применяется на месторождениях с содержанием конденсата более $100 \text{ см}^3/\text{м}^3$ и при запасах газа от 10 млрд. м³ и более при близости начального пластового давления и давления начала конденсации. Недостатки применения сайклинг — процесса широко известны, из них к основным относятся следующие:

- большие капитальные вложения и необходимость создания специального оборудования при эксплуатации месторождений с высокими пластовыми давлениями;

- большие эксплуатационные затраты;

- понижение надежности промышленного оборудования (скважинного и наземного) в связи с увеличением

срока эксплуатации, особенно при наличии агрессивных компонентов в добываемой продукции.

Идея задачи воды в газовые и газоконденсатные залежи многократно обсуждалась, но не была реализована на практике, так как по результатам ранее выполненных лабораторных и промышленных исследований считалось, что вытеснение газа водой сопровождается интенсивным защемлением газа. Полагали, что коэффициент извлечения газа не превышает 50%, т.е. примерно соответствует реально достигаемым значениям нефтеотдачи залежей, разрабатываемых при искусственном водонапорном режиме. При этом не учитывался ряд принципиально важных факторов, различающих механизмы вытеснения водой нефти и газа.

Литература:

1. Салимов З.С. Достижение нефтехимии — производству. В матер. Респ. научно-техн. Конф. «Актуальные проблемы переработки нефти и перспективы производства смазочных материалов в Узбекистане» Ташкент, — 2000, — с. 3–8.
2. Акрамходжаев А.М. Прогноз нефтегазоности (большой нефти) Центральной части Ферганской впадины подтвердился. Узб. Геолог. журн. — 1982, — № 2, — с. 68–76.
3. Перспективы добычи нефти, газа и газового конденсата. В журн. «Нефтегазовая промышленность Узбекистана — газовая отрасль экономики страны, Ташкент, — 2004, — с. 34–35.

Выбор метода оцифровки для контроля геометрии крупногабаритных сложнопрофильных деталей и узлов авиационных двигателей

Осипович Дарья Андреевна, аспирант;

Ярушин Станислав Геннадьевич, доктор технических наук, профессор

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Сформулированы основные требования к системам оцифровки трехмерных объектов для контроля геометрии крупногабаритных сложнопрофильных деталей и узлов авиационных двигателей. Проанализированы четыре группы современных технологий оцифровки трехмерных объектов: контактные измерения, лазерные измерения, оптические измерения, томография. Сделано заключение о применимости различных технологий к поставленной задаче, обозначены основные направления расширения возможностей контроля с использованием оцифровки трехмерных объектов.

Ключевые слова: контроль геометрии, оцифровка, контактные измерения, КИМ, лазерные измерения, оптические измерения, томография.

Контроль геометрии как отдельных лопаток, моноколес, так и турбин в сборе, является неотъемлемой частью технологического процесса изготовления двигателя. Современные высокоточные процессы изготовления аэродинамических деталей требуют применения адекватных методов контроля полученных деталей. Причем, поскольку существует требование 100%-го контроля размеров лопаток и их сборок, процесс измерения должен быть максимально оптимизирован и автоматизирован, для сокращения времени выполнения контрольных операций [1].

Современные процессы контроля выполняются с применением передового оборудования, обычно с компьютерным управлением и хранением данных. Измерительные системы различных типов позволяют получать информацию о точках фактической поверхности изготовленной детали с высокой точностью. С помощью программных пакетов, как специализированных, так и общинженерных САПР реализуется обработка виртуальных моделей деталей с целью анализа отклонений их поверхностей от номинальных, заданных конструктором. Такой комплекс программно-аппаратных средств обеспечивает высокое

качество производимых измерений, возможность выполнять контроль всей поверхности, а не только отдельных размеров, а также сохранение данных о проведенных измерениях для возможного дальнейшего использования.

Исследования автоматизированных способов контроля геометрии деталей и узлов турбин начинаются в 1988 году с работы М. Cardew-Hall [2]. Автор ставит перед автоматизированным контролем лопаток следующие задачи: сокращение времени измерений, увеличение точности и повторяемости, сокращение номенклатуры необходимой оснастки, увеличение контрольной группы, применение систем графического моделирования для анализа, построение баз данных. Для измерения проточной части лопатки предлагается использовать контактные и бесконтактные координатно-измерительные установки. Данные трехмерных измерений передаются в компьютерную модель лопатки и сопоставляются с номинальной моделью.

Таким образом, можно сделать вывод, что для максимально эффективного использования автоматизированных измерительных систем при реализации технологических процессов контроля, необходимо осуществлять выбор систем на основании особых требований к модели и технологии ее получения, предъявляемых конструктивными особенностями контролируемых объектов.

Сформулируем основные требования к технологии получения оцифрованной модели для контроля геометрии деталей и узлов турбин авиационных двигателей и оборудованию, используемому для ее реализации:

1. Размеры рабочей зоны — свыше 1900x1900x200 мм. Значение параметра определяется габаритами измеряемых объектов, максимальным из которых является вентилятор, диаметр которого по концам рабочих лопаток составляет 1900 мм (на примере двигателя ПС-90А [3]).

2. Скорость оцифровки — требуется достижение максимально возможной скорости измерения. При серийном контроле деталей и узлов именно скорость получения компьютерной модели поверхности фактической детали является фактором, определяющим время контрольной операции, поскольку остальные этапы, такие как подготовка объекта к оцифровке и обработка результатов измерений для определения контролируемых параметров, стандартизованы и при достаточной степени автоматизации являются гораздо менее продолжительными, чем оцифровка.

3. Точность измерений — допускается погрешность не более 0,1 мм. Параметр определяется из условия необходимости измерения позиционных размеров установки отдельных деталей в узле, допуск на которые составляет 0,2–0,3 мм.

4. Полнота информации о поверхности — для реализации косвенных измерений важных параметров узлов необходимо иметь информацию о координатах всех точек поверхности контролируемой детали, а не только отдельных ключевых ее участков или сечений.

5. Взаимодействие с окружающей средой — необходимо обеспечить безопасность оператора установки,

а также минимизировать влияние эффектов внешней среды на процесс и результат измерений, чтобы не ограничивать область применения избранной технологии строго определенными лабораторными условиями.

На основании вышеперечисленных требований рассмотрим основные технологии оцифровки и системы, их реализующие, с целью выбора оптимального способа подготовки данных для проведения контроля деталей и узлов турбин авиационных двигателей.

Все системы оцифровки могут быть классифицированы по различным критериям, таким как базовая технология, конструктивная схема системы (статическая или размещенная на роботе с программным управлением), тип измерения (поверхности или профиля) [4]. Для решения задачи автоматизированного контроля геометрии крупногабаритных деталей и узлов авиационных двигателей, таких как рабочие колеса турбины и сопловые аппараты использование систем оцифровки, позволяющих получить только координаты профиля отдельного сечения, является неэффективным. В обзоре анализируются измерительные системы, относящиеся к четырем разным группам по критерию базовой технологии: контактные измерительные системы, бесконтактные измерительные системы: оптические, лазерные, томографические.

Основы технологии контактных измерений представлены в работе [5]. В отличие от традиционных средств измерений, координатно-измерительные машины (КИМ) позволяет измерять элементы геометрии свободной формы, поскольку измерения не выполняются напрямую. Размеры геометрических элементов вычисляются на основании координат точек их поверхности, причем этих точек должно быть достаточно для однозначного определения всех неизвестных параметров, описывающих тот или иной элемент геометрии. КИМ бывают с ручным управлением и программируемые. КИМ помимо измерения геометрических размеров используют для определения параметров поверхности, величин отклонений формы и расположения поверхностей.

Важнейшим преимуществом контактных измерительных систем является высокая точность получаемых фактических значений координат точек поверхности. Заявленная производителями КИМ точность измерения составляет порядка 0,5–2 мкм.

Практические в каждом обзоре различных технологий оцифровки [6], [7], [8] и др. отмечаются недостатки контактных методов измерения с использованием трехосевых КИМ. Среди них:

- невозможность измерения значений в точках, расположенных на поверхностях с отрицательным уклоном;
- высокий риск столкновения щупа с деталью в процессе измерения и, следовательно, необходимость верификации траектории перемещения рабочего щупа в процессе измерений нескольких смежных полостей;
- низкая скорость измерения;
- трудности с пересчетом фактических данных от смещения щупа [9];



Рис. 1. Выполнение контактных измерений с помощью щупа

— получение неполных данных о поверхности даже при использовании схем растрового сканирования поверхности объекта;

— необходимость достаточно сложных креплений для измеряемой детали;

— невозможность оцифровки участков поверхности детали, содержащих мелкие элементы, размер которых сопоставим с размерами контактного щупа.

Все эти недостатки не позволяют использовать широко распространенные КИМ в качестве единственного универсального решения для оцифровки широкой номенклатуры деталей авиационного двигателя, несмотря на актуальность их использования, оправданную высокой точностью и большой степенью автоматизации при измерениях однотипных деталей серийного производства.

В случаях, когда измерения производится контактным способом, важным этапом подготовки установки является компьютерное моделирование процесса оцифровки. Основной задачей моделирования при этом является не только оптимизация процесса измерения, но и обеспечение безопасности процесса и проверка возможности его реализации путем верификации траектории перемещения щупа в условиях жестко ограниченного объема перемещения. В таких случаях разработка и проверка процесса измерений имеет много схожих характеристик с разработкой и отладкой процессов механической обработки на многоосевых обрабатывающих центрах с ЧПУ. Компьютерная верификация траекторий перемещения инструмента в ходе выполнения процесса измерений является критически важной, поскольку без нее невозможно гарантировать отсутствие столкновений измерительного инструмента с измеряемым объектом и другими узлами измерительной установки.

Современное состояние в сфере применения лазерных измерительных систем для контроля геометрии описывается в работе [10]. Задача бесконтактных измерений сложной геометрии особенно актуальна в авиационной

промышленности. Лазерные системы пытались применять в авиастроении еще в 70-ые, но серийного изготовления этих систем не было. В современных устройствах вся информация, полученная в результате измерения, оцифровывается, это обеспечивает их широкое распространение. Компактность и легкость монтажа лазерных систем — существенное преимущество перед стационарными КИМ. Лазерные трекары с погрешностью 10 мкм на расстоянии измерения 1 м используются для контроля и сборки крупногабаритных изделий, например, фюзеляжей, контроль криволинейных поверхностей, настройка ступеней и сборочных линий. Применение лазерных систем в технологическом процессе должно быть заложено изначально, таким образом, чтобы к этой операции были обеспечены хорошие отражающие свойства контролируемой поверхности. При проецировании лазерного луча на поверхность в отражении четко различима прямая линия, толщина которой соответствует толщине использованного лазерного луча, поэтому лазерные измерительные системы особенно эффективны для контроля отдельных сечений, но для получения оцифрованной модели полной поверхности детали или узла сложной формы потребуется значительное время.

Относительно небольшие габаритные размеры лазерного излучателя и приемника отраженного излучения, которые являются основным рабочим органом установки такого типа, позволяют разместить измерительную систему практически на любом фиксирующем приспособлении и легко перемещать ее вокруг измеряемого объекта. На основании этого можно сделать вывод, что габариты объекта оцифровки ограничиваются только необходимой точностью измерения, которая падает с увеличением расстояния между контролируемой поверхностью и рабочими органами измерительной системы.

При использовании технологии оптической оцифровки модель поверхности формируется путем совмещения отдельных фрагментов поверхности в едином коор-

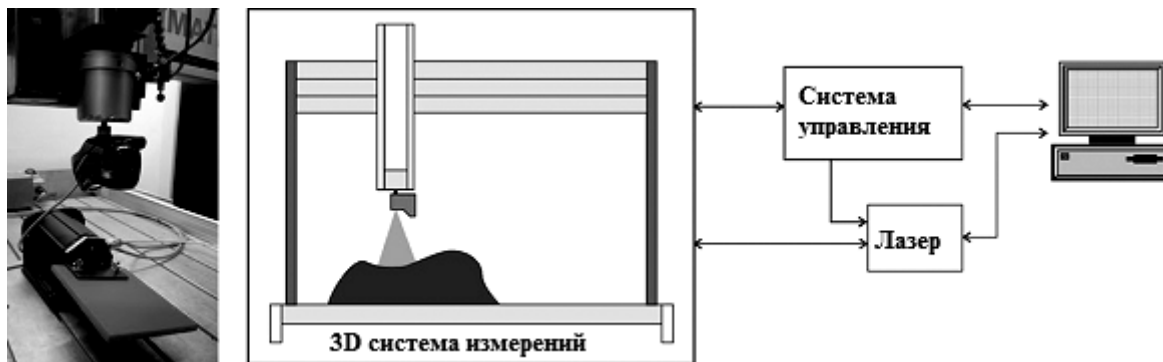


Рис. 2. Общий вид и принципиальная схема работы установки трехмерных бесконтактных лазерных измерений [11]

динатном пространстве. Изображение, получаемое CCD камерой конвертируется в цифровой формат, а информация о цвете сохраняется только в оттенках серого. На основании двух плоских изображений, полученных цифровыми камерами, расположенными под заранее определенным углом, рассчитываются пространственные координаты точек оцифровываемой поверхности. Каждая пара изображений содержит информацию о координатах до 4 млн. точек поверхности, количество измеренных точек определяется разрешением цифровых камер, воспринимающих отраженное излучение. Возможна последовательная сшивка большого числа фрагментов поверхности, что позволяет выполнять полную оцифровку объектов практически любых габаритов.

Модель, полученная в итоге оцифровки с использованием оптических измерительных систем, содержит полную информацию об участках наружной поверхности объекта, для которых можно одновременно получить изображения на обеих камерах. Такая модель может быть в дальнейшем использована для оценки отклонения фактической поверхности детали от номинальной модели, спроектированной конструктором, в любой доступной точке, формирования сечений и цветовых карт отклонений.

Вопросы проектирования комплекса оптических измерений для деталей типа «рабочее колесо осевой турбины» и разработки алгоритма наиболее эффективного использования этой системы рассмотрены в работе [12]. Для захвата наибольшего количества точек поверхности

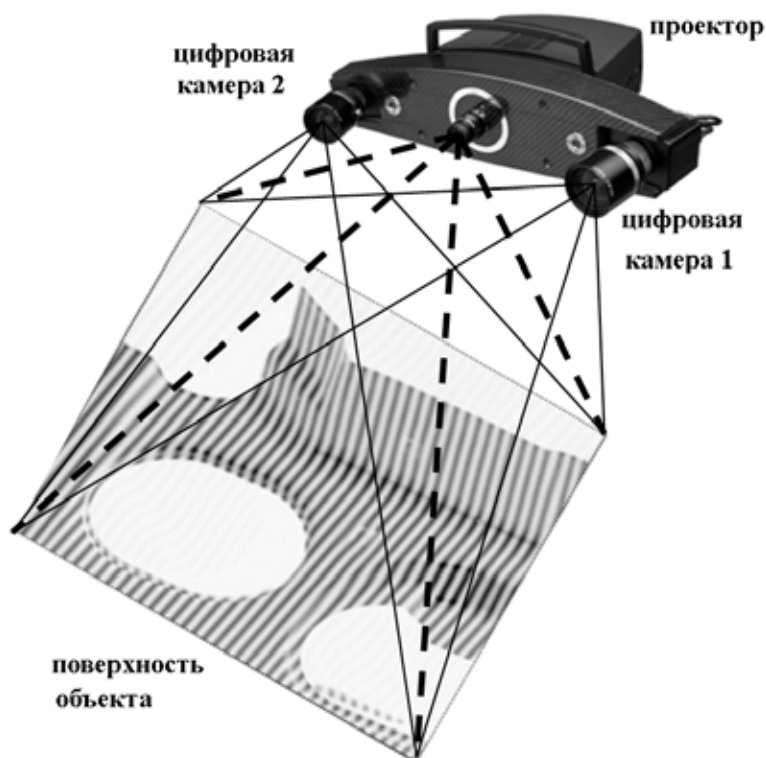


Рис. 3. Схема интерференционного проецирования при выполнении оптических измерений: пунктирные линии — излучение, падающее на поверхность; сплошные — отраженное излучение

за наименьшее количество съёмов авторы предлагают выполнять позиционирование детали в измерительном объеме таким образом, чтобы вектор нормали к поверхности большой площади (в работе это спинка лопатки, корыто лопатки и поверхность ступицы между лопатками) совпадал с оптической осью проектора. Авторы рассчитывают такие положения ориентации, при которых перекрытие измеряемых поверхностей другими элементами детали минимально. При реализации оптимальной последовательности измерений время, затрачиваемое на полную оцифровку поверхности объекта, зависит только от режима съёмки цифровых камер и количества необходимых фрагментов поверхности, и оказывает существенно меньше времени дальнейшей обработки оцифрованных данных.

К недостаткам оптических измерительных систем можно отнести такие как: чрезвычайная чувствительность к условиям окружающей среды и зависимость точности выполняемых с их помощью измерений от количества выполненных сканирований. Точность выполнения оптических измерений зависит от большого числа факторов: условий измерения, оптических свойств поверхности, выбранных точек совмещения, и в большинстве случаев составляет порядка сотых долей миллиметра, что ограничивает применимость данной группы систем оцифровки для контроля геометрии отдельных высокоточных деталей, как например, компрессорные лопатки.

Ряд трудностей, связанных с использованием оптических и лазерных измерительных систем, таких как невозможность оцифровки полностью перекрывающихся поверхностей, необходимость моделирования процесса измерений с целью определения оптимальных положений рабочих органов измерительных установок и зависимость результата измерений от механических и оптических свойств поверхности может быть преодолен в случае использования в качестве инструмента оцифровки методов бесконтактных измерений, для реализации которых применяются проникающие излучения. Различные методы

проведения контроля, основанные на применении томографии представлены в работе [13]. Измерения с использованием проникающих излучений позволяют определить параметры элементов, недоступных для контроля любыми другими методами, поскольку не сталкиваются с проблемами при перекрытии измеряемых элементов другими частями объекта.

Компьютерная томография используется в первую очередь как метод неразрушающего контроля структуры материала, позволяющий выявить дефекты, например, поры, расположенные внутри структуры материала.

Для создания 3D-модели необходим ряд последовательных снимков, выполненных при вращении объекта на 360 градусов. Затем изображения проходят через специальный алгоритм (реконструкцию) программного обеспечения, которое создаёт трёхмерную модель образца. Помимо наружной поверхности образца, модель отображает и внутренние элементы исследуемого объекта в соответствии с их плотностью. Возможность «перемещения» сквозь 3D-модель позволяет проводить анализ, внутренние измерения, выявлять дефекты и структурные несовершенства материалов. Особое внимание стоит уделить комбинации рентгеновской трубки и мишени, поскольку именно они оказывают огромное влияние на точность и производительность системы. Микрофокусный источник оснащён по умолчанию мишенью отражательного типа с 3-микронным фокальным пятном. [14]. Поскольку при использовании проникающих излучений для оцифровки предъявляются требования безопасности, связанные с всесторонним ограничением рабочей зоны, то габариты деталей, которые можно эффективно проконтролировать с помощью данной технологии, являются наименьшими среди рассматриваемых. Традиционно размер рабочей зоны не превышает 600 мм в любом из направлений измерения [15]. Кроме того, множество деталей, для которых оцифровка с использованием проникающих излучений даёт удовлетворительные результаты, ограничивается параметром наибольшей толщины стенки де-

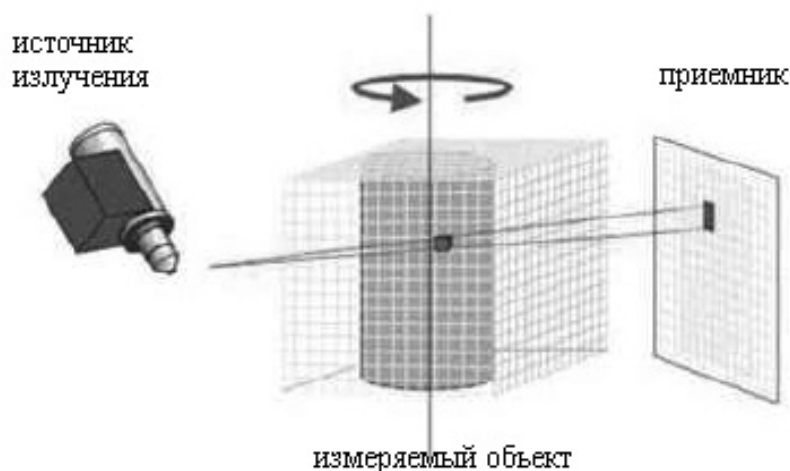


Рис. 4. Схема построение 3D модели с использованием проникающего излучения [14]

Таблица 1. Соответствие технических характеристик методов оцифровки и основных требований

	Размеры рабочей зоны	Скорость оцифровки	Точность измерений	Полнота информации о поверхности	Взаимодействие с окружающей средой
Контактные	Жестко ограничены	низкая	высокая	Неполная поверхность: точки и сечения	Возможность столкновения шупа с другими узлами системы
Лазерные	Легко масштабируется	средняя	Сильно зависит от размеров объекта	Неполная поверхность: сечения	Потеря точности при рассеивании лазерного луча в непрозрачной среде
Оптические	Практически не ограничены	высокая	Зависит от размеров объекта	Полная наружная поверхность	Потеря точности при рассеивании излучения в непрозрачной среде
Томография	Жестко ограничены	средняя	Зависит от толщины стенки	Полная поверхность с внутренними полостями	Используется опасно для оператора излучение

тали. Эта величина существенно зависит от материала детали и мощности используемого источника излучения, но обычно не превышает 10% линейного размера рабочей зоны. Анализ рассмотренных материалов позволяет утверждать, что технология оцифровки с использованием проникающих излучений практически не находит применения в области контроля проходного сечения сопловых аппаратов турбины авиационного двигателя.

Таким образом, в результате анализа были сформулированы значения основных характеристик различных процессов оцифровки крупногабаритных объектов сложной формы, таких как сопловые аппараты и рабочие колеса турбины авиационного двигателя, соответствующие поставленным требованиям. Анализ этих значений, систематизированных в таблице 1 (серым выделены ячейки, содержащие оптимальные значения по рассматриваемым параметрам), не позволяет сделать однозначный выбор в пользу одной из технологий оцифровки для решения поставленной задачи. Для разрешения этой проблемы предлагается использовать специализированные измерительные системы и методологии проведения измерений, позволяющие реализовать оптимальные сочетания различных технологий для полной оцифровки поверхности исследуемого объекта.

Среди работ, посвященных проектированию специализированных установок, в первую очередь следует выделить мультимасштабную систему [16]. Такая система предполагает возможность сканирования объектов, отдельные элементы которых существенно различаются в размерах. Сопловые аппараты и рабочие колеса турбины авиационного двигателя можно отнести к данной категории объектов, поскольку при габаритных размерах порядка нескольких тысяч миллиметров они имеют от-

дельные элементы — лопатки со скруглением кромок порядка десятых долей миллиметра. Авторы предлагают создать мультисенсор путем комбинирования отдельных измерительных устройств, работающих по разным принципам и с разными масштабами, но позволяющих генерировать единую компьютерную модель. Различные сканеры в единой мультисистеме могут быть на одном уровне или расположены иерархически. Система имеет ряд преимуществ: возможность использования различных технологий измерений, количество и виды используемых сенсоров не ограничены, адаптивное соединение данных, полученных на разных этапах, создание единой модели, включающей области с разными масштабами. Создание единой модели на основании данных, полученных от различных сенсоров выполняется в три этапа: совмещение «облаков точек» в одном координатном пространстве, их взаимное ориентирование и коррекция областей сопряжения. Мультисенсорная измерительная система выстраивается по модульному принципу, при этом данные полученные с различных сенсоров собираются и обрабатываются одной системой управления.

Использование измерительной системы, имеющей несколько рабочих органов с различными измерительными принципами, или методики последовательного измерения с применением различных параметров процесса оцифровки позволяет исключить большинство недостатков отдельных технологий и реализовать контрольные операции максимально эффективно. При этом, однако, следует помнить, что проведение повторных измерений одного и того же участка поверхности с использованием разных измерительных органов мультисенсорной установки приводит к существенному росту суммарного времени выполнения процесса.

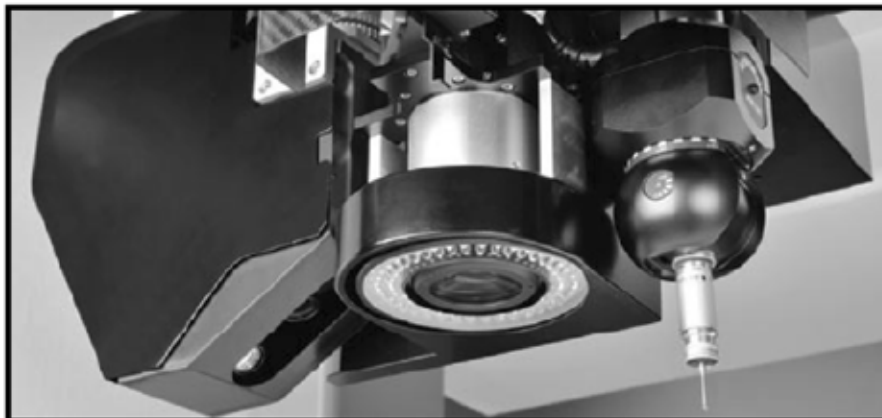


Рис. 5. Пример мультисенсорной системы, включающей лазерный сканер и контактный щуп [16]

Выбор измерительной системы, используемой для получения компьютерных моделей фактической поверхности деталей и узлов турбины авиационного двигателя, является первым этапом переоснащения контрольных операций в серийном производстве. Одной из ключевых проблем, связанных с внедрением выбранных технологий в серийное производство ответственных узлов и деталей, является необходимость разработки принципиально новых методов и процедур выполнения контрольных операций. Традиционные методы, разработанные

для контроля до появления современных средств технического и программного оснащения, будучи переложенными на современные задачи, оказываются недостаточно эффективными, и не позволяют в полной мере задействовать возможности новых инструментов измерений. Требуются не только новые методы получения, обработки и хранения информации, но и детально проработанные концепции, заложенные в основе контроля. Так можно избавиться от целого ряда упрощений, возникших при внедрении методик в серийное производство.

Литература:

1. Крымов В. В., Елисеев Ю. С., Зудин К. И. Производство газотурбинных двигателей / Под. ред. В. В. Крымова М.: Машиностроение / Машиностроение-Полет, 2002. — 376 с.: ил.
2. Cardew-Hall M. Automated Proof Inspection of Turbine Blades / M. Cardew-Hall, J. Cosmas and M. Ristic // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 1988. — № 3 — P.67–88.
3. Турбореактивный двухконтурный авиационный двигатель ПС-90А. ОАО «Авиадвигатель» офиц. сайт. URL: <http://www.avid.ru/products/civil/ps-90a/> (дата обращения 09.12.2013)
4. D’Apuzzo, N., Overview of 3D surface digitization technologies in Europe.
5. In: 2006, Corner B.D., Li P., Tocheri M. (Eds.), Three-Dimensional Image Capture and Applications VI, Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging, SPIE Vol. 6056, San Jose (CA), USA, 2006. URL: http://hometrica.ch/publ/2006_3dimg.pdf (дата обращения: 09.12.2013).
6. Springer Handbook of Mechanical Engineering / ed. by K.-H. Grote, E. K. Antonsson. — Berlin, Springer Berlin Heidelberg, 2009. — 1576 p.
7. Chang H.-C. Automatic inspection of turbine blades using a 3-axis CMM together with a 2-axis dividing head / H.-C. Chang, A. C. Lin // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 2005. — № 26 — P.789–796.
8. Bradley, C. Reverse Engineering Employing a 3D Laser Scanner: A Case Study / M. J. Milroy, D. J. Weir, C. Bradley and G. W. Vickers // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 1996. — № 12 — P.111–121.
9. Chow, J. G. Reproducing Aircraft Structural Components Using Laser Scanning / J. G. Chow // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 1997. — № 13 — P.723–728.
10. Галиулин Р. М. Сравнение результатов контроля заготовки лопатки на системе «ОПТЭЛ-КЛ» и КИМ «SCIROCCO» [Электронный ресурс] // ООО Научно-Внедренческое предприятие «ОТПЭЛ»: сайт. URL: http://nvp-optel.ru/downloads/Sravnitel'naya__otsenka.pdf (дата обращения: 12.09.2013)
11. Гришанов В. Н. Современные лазерные измерительные системы в производственном цикле космической техники / В. Н. Гришанов, А. А. Ойнонен // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. — 2012. — № 1 (32) — С. 24–35.

12. Vukašinović N. The influence of incident angle, object colour and distance on CNC laser scanning / N. Vukašinović, D. Bračun, J. Možina, J. Duhovnik // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 2010. — № 50 — P.265–274.
13. Lin A. C. Automatic 3D measuring system for optical scanning of axial fan blades / A. C. Lin, C. Hui-Chin // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 2011. — № 57 — P.701–717.
14. Optical Measurements. Techniques and Applications / C. Herman [at el.]; Editors: Prof. Dr. Franz Mayinger — New York: Springer Berlin Heidelberg, 1994—463p.
15. Рыков И. Рентгеновская компьютерная томография для промышленного применения / И. Рыков, А. Алексейчик // Атомный проект. — 2012. — № 12 — С 61–63.
16. Компьютерная томография Metris X-tek [Электронный ресурс] // ООО «Нева Технолоджи» офиц. сайт. URL: <http://www.nevatec.ru/X-tek/files/X-tek.pdf> (дата обращения: 25.09.2013).
17. Tansky D. Data Fusion and 3D Geometric Modeling from Multi-scale Sensors / D. Tansky, A. Fischer // Smart Product Engineering / ed. by M. Abramovici, R. Stark. — Bochum, 2013 — P. 345–355.

Влияние плотности бунта и срока хранения хлопка на физико-механические свойства пряжи

Очилов Тулкин Ашурович, кандидат технических наук, доцент
Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности (Узбекистан)

Исматова Махсуда Мирзакуловна, ассистент;
Казакова Дилафруз Эркиновна, ассистент
Джизакский политехнический институт (Узбекистан)

В условиях рыночной экономики в нашей республике стали функционировать прядильные предприятия, оснащенные современной техникой и технологиями зарубежных стран. Качество продукции, выпускаемой данными предприятиями, удовлетворяет требованиям не только наших производителей текстильных изделий, но и имеет спрос у зарубежных потребителей, что позволяет повысить экспортный потенциал нашей республики.

Основными показателями пряжи являются их линейная плотность, прочность и относительная разрывная нагрузка. Например, линейная плотность и метрический номер натуральных и химических волокон, используемых на прядильных фабриках, а также пряжи, весьма различны. Если толщина натуральных волокон сформирована в процессе их созревания, то толщину химических волокон планируют по их назначению. В зависимости от назначения также выпускается пряжа различной линейной плотности. Большое значение в процессе прядения имеет линейная плотность используемых волокон различного ассортимента. Свойства получаемой пряжи зависят от толщины волокон. Из тонких волокон получают тонкую, равномерную и прочную пряжу. Из тонкой пряжи вырабатывают тонкие и легкие ткани, трикотажные полотна.

Чем тоньше волокна, тем больше волокон в поперечном сечении пряжи одинаковой линейной плотности. В результате в пряже увеличивается площадь взаимно соприкасающихся волокон и, следовательно, увеличивается сила трения. Кроме того, в процессе прядения для получения качественной пряжи в поперечном сечении пряжи должно

быть определенное количество волокон. Вместе с тем, для получения пряжи минимальной линейной плотности решающее значение имеет линейная плотность волокна.

Линейная плотность хлопкового волокна неравномерна по штапельной массодлине волокна. С увеличением длины волокна уменьшается его линейная плотность. Эта обратная пропорциональность различна для разных промышленных и селекционных сортов хлопка. Отсюда следует, что минимальное количество волокон в поперечном сечении пряжи минимальной толщины может быть различным.

Вместе с тем, существуют и отрицательные стороны тонких волокон. В процессе прядения такие волокна больше спутываются, образуя узелки, в результате ухудшается внешний вид и качественные показатели пряжи.

Составляющие пряжу волокна имеют различную прочность и разрывное удлинение. Во время разрыва в процессе удлинения пряжи сначала разрываются слабые, затем прочные волокна. По этой причине прочность пряжи, получаемой из хлопкового волокна и чаще из смеси волокон, т. е. из смеси химических штапельных волокон, меньше в 2–2,8 раза суммарной прочности волокон в поперечном сечении пряжи. Все это влияет на неровноту пряжи по разрывной нагрузке.

К механическим свойствам пряжи относятся прочность, относительная разрывная нагрузка, квадратичная неровнота по разрывной нагрузке.

Выпуск качественной продукции на прядильных предприятиях зависит от качества сырья и в связи с этим ис-

следование физико-механических свойств волокна является актуальным. Для проведения экспериментов нами в лабораторных условиях получена пряжа из волокна, отобранного из различных слоев бунта и различных сроков хранения. Исследование физико-механических свойств пряжи проведено на новейших современных приборах.

Полученные результаты приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы, коэффициент вариации по линейной плотности волокна из каждой части бунта незначительно изменяется в зависимости от сорта волокна. В то же время наблюдался рост коэффициента вариации по крутке в зависимости от плотности бунта, который составил 50–70%.

Результаты изменения механических свойств пряжи в зависимости от места хранения хлопка в бунте приведены в табл.2.

В полном соответствии с материаловедческой теорией изменяется и относительное разрывное удлинение, уменьшение которого связано с изменениями аморфно-кристаллической структуры волокон. Кроме того, на хлопкоочистительных предприятиях в результате длительного срока

хранения хлопка и повышенной плотности бунта ухудшаются качественные показатели волокна, т.е. усложняется процесс очищения от пороков и засоренности, увеличивается повреждение и количество коротких волокон, а штапельная массодлина и прочность волокна уменьшаются.

Полученные данные показывают, что для верхней и средней части бунта относительное разрывное удлинение падает на 7,4 и 2,0%, а для верхней и нижней части бунта это падение составляет 7,5 и 15,6%, соответственно.

Коэффициент вариации по разрывной нагрузке и по удлинению при разрыве с ухудшением условий хранения хлопка в бунте увеличивается. Причиной повышения этих показателей является трещины на поверхности находящегося в нижней части бунта волокна, появление которых приводит к параллелизации фибрилл относительно оси волокна. В результате нарушается структура волокна и, следовательно, ухудшается и качество получаемой пряжи.

Кроме физико-механических свойств пряжи, также определялись усталостные характеристики пряжи на приборе ПН-5. Полученные результаты исследования приведены в таблице 3.

Таблица 1. Изменение физико-механических свойств пряжи в зависимости от плотности бунта (С-6524 I и III сортов)

Сорт	Линейная плотность, текс	Коэффициент вариации по линейной плотности, %	Число кручений на 1 м. кр/м	Коэффициент вариации по крутке, %	Класс пряжи
Верхняя часть бунта					
I	23,1 (43,3)	3,1	763	4,3	A
III	22,3 (44,8)	3,8	728	7,4	B
Средняя часть бунта					
I	23,0 (43,5)	3,5	722	6,2	A
III	22,3 (45,1)	3,6	725	7,7	B
Нижняя часть бунта					
I	23,1 (43,3)	5,3	761	7,5	B
III	22,1 (45,2)	5,5	697	13,2	B

Таблица 2. Изменение механических свойств пряжи в зависимости от плотности бунта (С-6524 I и III сортов)

Сорт	Разрывная нагрузка одиночной пряжи, сН	Относительная разрывная нагрузка одиночной пряжи, сН/текс	Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	Относительное разрывное удлинение, %	Коэффициент вариации по разрывному удлинению, %	Показатель качества, не менее
Верхняя часть бунта						
I	296,0	12,8	13,7	5,8	7,0	0,93
III	235,	10,5	15,2	5,2	9,6	0,69
Средняя часть бунта						
I	294,0	12,8	13,9	5,4	11,0	0,92
III	232,0	10,5	15,6	5,1	11,0	0,67
Нижняя часть бунта						
I	258,0	11,2	15,9	5,4	11,1	0,70
III	204,0	9,2	16,6	4,5	11,8	0,55

Таблица 3. Изменение усталостных характеристик пряжи в зависимости от плотности бунта (С-6524 I и III сортов)

Сорт	Выносливость к многократным растяжениям n_c , число циклов	Стойкость к многократному истиранию n_c , число циклов
Верхняя часть бунта		
I	520	600
III	350	400
Средняя часть бунта		
I	510	570
III	340	360
Нижняя часть бунта		
I	460	510
III	310	310

Результаты показывают, что выносливость к многократным растяжениям пряжи, выработанной из хлопка верхней и средней части бунта, изменяется незначительно и составляет для I сорта-2,0%, для III сорта-3,0%. Потеря выносливости пряжи из волокна нижней части бунта по сравнению с верхней увеличивается до 10,9% для I сорта и 9,7% для III сорта.

Выносливость к многократному истиранию пряжи в петле уменьшается при переходе от верхнего к среднему на 5,3 и 11,1% для I сорта соответственно, а для пряжи

выработанной из волокна нижнего слоя бунта, падение выносливости по сравнению с верхним слоем составляет 11,8 и 16,1% для I и III сорта соответственно.

В результате проведения экспериментальных исследований пряжи установлено, что относительная разрывная нагрузка, относительное удлинение при разрыве, выносливость к многократным растяжениям и стойкость к многократному истиранию уменьшаются при переходе от верхнего слоя бунта к нижнему.

Литература:

1. Очилев Т.А. Кинетика изменения свойств волокна в процессах хранения и первичной переработки хлопко-сырца //Ташкент, Фан, 2002.
2. Очилев Т.А., Алимова Х.А., Бурнашев Р.З. Муратова А. Влияние условий хранения в бунтах и сушки хлопко-сырца на надмолекулярную структуру волокон //Технология текстиль.пром-сти, Иваново, 2003, № 2.

О распространении гармонических волн в деформируемой пластинке с переменной толщиной

Сафаров Исмаил Ибрагимович, доктор технических наук, профессор;
Ядгаров Уктам Турсунович, кандидат технических наук, доцент
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

В статье построена сопряженная спектральная задача и условия биортогональности для вязкоупругой пластинки с переменной толщиной. Сформулирована спектральная задача, описывающая распространение изгибных плоских волн в волноводе. Численные решения спектральных задач проводились на ЭВМ программным комплексом, основанным на методе ортогональной прогонки С.К. Годунова в сочетании с методом Мюллера.

Рассматриваем вязкоупругий волновод в виде бесконечной вдоль оси x_1 переменной толщины. Вязкоупругие свойства материала учитываются с помощью зависимости Больцмана-Вальтера [1]. Основные соотношения классической теории пластин переменной толщины можно получить на основе принципа возможных перемещений [2], в соответствии с гипотезами Кирхгоффа-Лява [3]. Пренебрегая членами, учитывающими инерцию вращения нормали к срединной плоскости, будем иметь следующее вариационное равенство:

$$\frac{\partial^2 M_{11}}{\partial x_1^2} + 2 \frac{\partial^2 M_{12}}{\partial x_1 \partial x_2} + \frac{\partial^2 M_{22}}{\partial x_2^2} + \rho h \ddot{w} = 0, \quad (\ddot{w} = \partial^2 w / \partial t^2), \quad (1)$$

с естественными граничными условиями

$$\frac{\partial w}{\partial x_2} = 0; \quad w = 0; \quad x_2 = 0; \quad l_2; \quad \frac{\partial w}{\partial x_1} = 0; \quad w = 0; \quad x_1 = 0; \quad l_1. \quad (2)$$

Для этого строится спектральная задача введя следующую замену переменных

$$w = \bar{w}; \quad \varphi = \frac{\partial w}{\partial x_2}; \quad M = \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2} \right); \quad Q = \frac{\partial M_{22}}{\partial x_2} + \frac{\partial M_{12}}{\partial x_1} \quad (3)$$

Подставляя (3) в (1) получим систему интегро-дифференциальных уравнения в частных производных, разреженную относительно первых производных по x_2 . Рассмотрим бесконечную вдоль оси x_1 полосу с произвольным законом изменения толщины $h=h(x_2)$. Будем искать решение задачи (1)-(3) в виде

$$(Q, M, \varphi, w)^T = (\bar{Q}, \bar{M}, \bar{\varphi}, \bar{W})^T e^{i(\kappa x_1 - \omega t)} \quad (4)$$

описывающие гармонические плоские волны, распространяющиеся вдоль оси x_1 . Где $\omega = \omega_R + i\omega_I$ - комплексная собственная частота; κ - волновое число; ω_R - действительная часть комплексной частоты; ρ - плотность. Подставляя систему интегро-дифференциальных уравнения в частных производных в (1), получим дифференциальные уравнения первого порядка, разреженную относительно производных:

$$\bar{Q}' - \alpha^2 \bar{M} - \alpha^2 D_1 E_1 (1-\nu) \bar{\varphi} - \rho h \omega^2 \bar{W} = 0; \quad \bar{M}' - \bar{Q} + \alpha^2 D_1' E_1 (1-\nu) \bar{W} = 0; \quad \bar{\varphi}' - \frac{1}{D_1 E_1} \bar{M} - \alpha^2 \bar{W} = 0; \quad \bar{W}' - \bar{\varphi} = 0, \quad (5)$$

с граничными условиями на торцах полосы $x_2=0, l_2$, одного из двух типов

а. шарнирное опирание: $\bar{W} = \bar{M} = 0$;

б. скользящий зажим: $\bar{Q} = \bar{\varphi} = 0$,

$$\text{где } E_1 = E_{01} [1 - \Gamma^C(\omega_R) - i\Gamma^S(\omega_R)]; \quad \Gamma^C(\omega_R) \text{ и } \Gamma^S(\omega_R) \text{ - синус и косинус Фурье образы.} \quad (6)$$

Таким образом, сформулирована спектральная задача (5) по параметру α^2 , описывающая распространение изгибных плоских волн в волноводе, выполненном в виде полосы с произвольным законом изменения толщины по координате x_2 . Покажем, что в случае $R_E = 0$ спектральный параметр α^2 принимает только действительные значения.

Пусть \bar{M} и \bar{W} некоторые собственные функции системы (5)-(6), возможно комплексные значения. Умножим систему уравнений (5) на \hat{M} и \hat{W} комплексно сопряженные к \bar{M} и \bar{W} функции. Тождественно преобразовав первое уравнение, проинтегрируем полученные равенства по x_2 и составим следующую линейную комбинацию

$$\left[\bar{M}' - \alpha^2 (1-\nu) E_1 (D_1 \bar{W})' \right] \bar{W} \Big|_0^{l_2} + \left[M + \alpha^2 (1-\nu) E_1 D_1 W \right] \bar{W}' \Big|_0^{l_2} - \int_0^{l_2} (\bar{M}' W + M \bar{W}') dx_2 - \alpha^2 \int_0^{l_2} (\bar{W} M + W \bar{M}) dx_2 - \int_0^{l_2} \frac{\bar{M} M}{D_1 E_1} dx_2 - \omega^2 \int_0^{l_2} \rho h \bar{W} W dx_2 - 2\alpha^2 (1-\nu) \int_0^{l_2} E_1 D_1 \bar{W} W dx_2 + \alpha^2 (1-\nu) \int_0^{l_2} E_1 D_1' (\bar{W} W)' dx_2 = 0 \quad (7)$$

Легко убедиться, что вне интегральных членов равенства (7) обращаются в нуль, при любой комбинации граничных условий (6). Показано, что при $R_E = 0$ в случае упругой пластинки квадрат собственного волнового числа для бесконечной полосы переменной толщины действителен при любой комбинации граничных условий (6). Если учитывается реологические свойства материала пластинки, то α становится комплексным. Полученная спектральная задача (5)-(6) не является самосопряженной. Построим для нее сопряженную задачу, используя для этого формулу Лагранжа [3]

$$\int_0^l L(u) \cdot v^* dx = Z(u, v^*) \Big|_0^l - \int_0^l L^*(v^*) \cdot u dx, \quad \text{где } L = L_R + iL_I \text{ и } L^* \text{ — прямой и сопряженный линейные}$$

дифференциальные операторы; u и v^* — произвольные решения соответствующих краевых задач. В качестве примера рассмотрим стационарную задачу для полу бесконечной полосы переменной толщины. Рассмотрим полу бесконечный вдоль оси x_1 полосу переменного сечения, на торце которой

($x_1=0$) заданы гармонические по времени воздействия одного из двух типов:

$$W = f_w(x_2) e^{i\omega t}, \quad M_{11} = f_M(x_2) e^{i\omega t}, \quad x_1 = 0$$

Численные решения спектральных задач проводилось на ЭВМ программным комплексом, основанным на методе ортогональной прогонки С. К. Годунова [1] в сочетании с методом Мюллера. Основной анализ проводится для безразмерных переменных, в которых плотность материала ρ , половина ширины волновода l_2 ,

$R_D(t) = A e^{-\beta t} t^{\alpha-1}$, мгновенный модуль упругости E приняты равными единице. Анализ полученных данных показывает, что область применимости теории Кирхгоффа-Лява к пластине постоянной толщины ограничена диапазоном низких частот. Например, для первой моды ($h=0$) диапазон применения теории $0 \leq \omega \leq 3$ из-за неограниченного роста фазовой скорости, для больших частот $C_f C_s \sim \sqrt{\omega}$. Рассмотрим сначала волновод с линейным законом изменения толщины. На основе полученных результатов выявлено, что в отличие от полосы постоянного сечения в случае клиновидного волновода с малым углом в основании клина α существует конечный предел фазовой скорости распространения моды, причем

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} \tilde{C}_f = 2C_s \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}$$

где C_s — скорость волны сдвига, что совпадает с результатами исследований [5] и др.

Таким образом, показано, что теория Кирхгоффа-Лява позволяет получить волны, распространяющиеся в клиновидном волноводе с достаточно малым углом при основании клина скоростями, меньшими скорости волны сдвига и отличными от скорости волны Релея. Кроме того, эти волны, начиная некоторой частоты, распространяются без дисперсии.

Литература:

1. Бозоров М. Б., Сафаров И. И., Шокин Ю. И. Численное моделирование колебаний диссипативно однородных и неоднородных механических систем. СО РАН, Новосибирск, 1996. — 188 с.
2. Гахов Ф. Д. Краевые задачи. М.: Физматгиз, 1963. — 639 с.
3. Неймарк М. А. Линейные дифференциальные операторы. М.: Наука, 1969. — 526 с.
4. Марчук Г. И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1977. — 456 с.
5. Гринченко В. Т., Мелешко В. В. Гармонические колебания и волны в упругих телах, К.: Наука думка, 1981, — 283 с.

О распространении гармонических волн в деформируемой цилиндрической панели

Сафаров Исмаил Ибрагимович, доктор технических наук, профессор;

Ядгаров Уктам Турсунович, кандидат технических наук, доцент
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

В работе рассматривается распространение гармонических волн в цилиндрической панели с переменной толщиной. Для вывода уравнений оболочки использован принцип возможных перемещений. Решения краевой задачи получены методом ортогональной прогонки Годунова. Были исследованы дисперсионные кривые в зависимости от различных геометрических параметров системы.

Рассматривается деформированная бесконечная цилиндрическая оболочка толщиной h , плотности ρ , с модулем Юнга E , коэффициентом Пуассона ν и вязкоупругих свойств материала. В криволинейной ортогональной системе координат $(\alpha_1; \alpha_2; z)$ при $z = 0$ оболочка занимает область

$$-\infty < \alpha_1 < +\infty; \quad 0 < \alpha_2 < l; \quad -\frac{h}{2} < z < \frac{h}{2}. \text{Кривизны срединной поверхности } z=0 \text{ равны}$$

$k_1 = 0; k_2 = \frac{1}{R}$ соответственно координатам α_1 и α_2 . В рамках гипотез Кирхгофа-Лява закон изменения компонент вектора перемещений $u_1^{(z)}, u_2^{(z)}, w^{(z)}$ оболочки определяются следующими соотношениями [1,2]

$$u_1^{(z)} = u - \theta_1 z; \quad u_2^{(z)} = v - \theta_2 z; \quad u_3^{(z)} = w, \quad (1)$$

где u, v, w — компоненты вектора перемещений срединной поверхности; θ_1, θ_2 — углы поворота нормали относительно осей α_1 и α_2 . Для вывода уравнений оболочки, использовался принцип возможных перемещений. В свою очередь, усилия и моменты связаны с компонентами деформации определяющимися соотношениями, вытекающими из обобщенного закона Гука:

$$T_1 = \tilde{c}(\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_2), M_1 = \tilde{D}(x_1 - \nu x_2), S = \tilde{A}\varepsilon_{12}; N = \tilde{B}\tau$$

где

$$\tilde{c} = \frac{\tilde{E}h}{1-\nu^2}; \quad \tilde{D} = \frac{\tilde{E}h^3}{12(1-\nu^2)}; \quad A = \frac{\tilde{E}h}{2(1+\nu)}; \quad \tilde{B} = \frac{\tilde{E}h^3}{12(1+\nu)}$$

E — операторный модуль упругости, которые имеют вид:

$$\tilde{E}\varphi(t) = E_{01} \left[\varphi(t) - \int_{-\infty}^t R_E(t-\tau)\varphi(\tau)d\tau \right]$$

$\varphi(t)$ — произвольная функция времени; $R_E(t-\tau)$ — ядро релаксации; E_{01} — мгновенной модуль упругости;

ν — коэффициент Пуассона, которая предлагается, что постоянная величина. Если пренебречь инерцией поворота нормали, то виртуальную работу силы инерции оболочки можно представить в виде:

$$\delta T = - \int_F \rho h (\ddot{u}\delta u + \ddot{\vartheta}\delta\vartheta + \ddot{w}\delta w) d\alpha_1 d\alpha_2 \tag{2}$$

После подстановки выражения (2) в уравнение принцип возможных перемещений и стандарта процедуры интегрирования по частям, получаем уравнения движения в виде:

$$\frac{\partial T_1}{\partial \alpha_1} + \frac{\partial S}{\partial \alpha_2} = -\rho h \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad \frac{\partial T_2}{\partial \alpha_2} + \frac{\partial S}{\partial \alpha_1} + k_2 Q_2 = -\rho h \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial t^2}, \quad \frac{\partial Q_1}{\partial \alpha_1} + \frac{\partial Q_2}{\partial \alpha_2} - k_2 T_2 = -\rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$$

$$Q_1 = \frac{\partial M_1}{\partial \alpha_1}, \quad Q_2 = \frac{\partial M_2}{\partial \alpha_2} + 2 \frac{\partial N}{\partial \alpha_1} \tag{3}$$

Альтернативные краевые условия свободного края, или жесткой заделки, при $\alpha_2 = 0$, имеют вид:

свободный край

$$M_2 = 0; \quad S = 0; \quad T_2 = 0; \quad Q_2 = 0 \tag{4}$$

жесткая заделка

$$u=0, \quad v=0, \quad w=0, \quad q_2=0 \tag{5}$$

Используя соотношения (3), (4) и (5) полную систему уравнений движения можно представить в виде восьми дифференциальных уравнений, размешенных относительно первых производных по α_2 . В случае бегущих вдоль α_1 гармонических волн решения краевой задачи для полунених системы (5) с краевыми условиями типа (4), (5) допускают разделение переменных

$$u = z_1 \sin(k\alpha_1 - \omega t); \quad v = z_2 \cos(k\alpha_1 - \omega t); \quad w = z_3 \cos(k\alpha_1 - \omega t);$$

$$\theta_2 = z_4 \cos(k\alpha_1 - \omega t); \quad S = z_5 \sin(k\alpha_1 - \omega t); \quad T_2 = z_6 \cos(k\alpha_1 - \omega t);$$

$$\theta_2 = z_7 \cos(k\alpha_1 - \omega t); \quad M_2 = z_8 \cos(k\alpha_1 - \omega t); \tag{6}$$

где $\omega = \omega_R + i\omega_I$ — комплексная собственная частота; κ — волновое число, действительная величина;

ω_R — действительная часть комплексной частоты; ρ — плотность; $z_i(\alpha_2)(i=1.8)$ — функции формы колебаний.

Далее предполагается, что оба края оболочки $\alpha = 0$ и $\alpha_l = l$ — свободны. После подстановки соотношений (6) в уравнения (3) учитывая и краевые условия (4) имеем спектральную краевую задачу по параметру ω для системы восьми обыкновенных дифференциальных уравнений относительно комплексной функции формы:

$$z_1' = z_5/\bar{A} + kz_2 \quad z_2' = z_6/\bar{C} + \nu kz_1 - k_2 z_3 \quad z_3' = -z_4 + k_2 z_2$$

$$z_4' = z_8/\bar{D} + \nu k^2 z_3 \quad z_5' = h(\bar{E}k^2 - \rho\omega^2)z_1 + \nu h^2 z_6 \tag{7}$$

$$z_6' = -h\rho\omega^2 z_2 - kz_5 - k_2 z_7 \quad z_7' = -h\rho\omega^2 z_3 + \bar{E}/12h^3 k^4 z_3 + \nu k^2 z_8 + k_2 z_6;$$

$$z_8' = z_7 + \bar{G}/3h^3 k^2 z_4; \quad z_5 = z_6 = z_7 = z_8 = 0; \quad \alpha_2 = 0, l$$

E выражаются через операторные модули упругости: $\bar{E} = E[1 - \Gamma_E^C(\omega_R) - i\Gamma_E^S(\omega_R)]\rho$.

Здесь $\Gamma_E^C(\omega_R) = \int_x^\infty R(\tau)\cos\omega_R\tau d\tau$, $\Gamma_E^S(\omega_R) = \int_0^\infty R_\lambda(\tau)\sin\omega_R\tau d\tau$, соответственно, косинус и синус

образы Фурье ядра релаксации материала. В качестве примеры вязкоупругого материала примем трех параметрические ядра релаксации $R(t) = Ae^{-\beta t} / t^{1-\alpha}$, обладающее слабой сингулярностью [2]. При анализе дисперсии гармонических волн параметр κ считается заданным.

На основе решения краевой задачи (7) методом ортогональной прогонки Годунова был выполнен численный анализ дисперсии этих волн.

— с ростом кривизны цилиндрической панели постоянной толщины увеличивается реальная часть комплексной ($C_R = \text{Real}(C)$) скорости распространения первой изгибной моды и уменьшается скорость распространения второй крутильной моды так, что, начиная с некоторого значения параметра кривизны, моды дважды пересекаются между собой. С увеличением кривизны увеличивается также число узловых точек формы колебаний прогиба;

— в случае клиновидной цилиндрической панели для каждой моды существуют предельные скорости распространения при увеличении волнового числа, совпадающие по величине с соответствующими скоростями нормальных волн в клиновидной пластине нулевой кривизны. В коротковолновом диапазоне локализация движения существует и увеличивается с ростом кривизны панели. Число узловых точек формы колебаний прогиба зависит не только от кривизны, но и от волнового числа.

Литература:

1. Новожилов В. В. Теория тонких оболочек — Л.: Судпромгиз, 1962. — 431 с.
2. Колтунов М. А. Ползучесть и релаксация — М.: Высшая школа, 1976. — 277 с.
3. Бозоров М. Б., Сафаров И. И., Шокин Ю. И. Численное моделирование колебаний диссипативно однородных и неоднородных механических систем. СО РАН, Новосибирск, 1996. — 188 с.

Исследование закрученного течения в гидроэлеваторах

Сейтасанов Ибрагим Сматович, кандидат технических наук, доцент, доцент
Казахский национальный аграрный университет (г. Алма-Ата)

В статье приведены результаты исследования гидроэлеваторов и сравнения конструкции с прямоточным подводом пассивной всасываемой среды в приемную камеру и конструкции гидроэлеватора с подводом пассивной среды с закруткой. Экспериментальные исследования показали, что закрутка оказывает крупномасштабное влияние на поле течения; на расширение струи, процессы подмешивания и затухания скорости в струе. На все эти характеристики влияет интенсивность закрутки потока. Исследования позволили выявить, что достигаемый положительный эффект в конструкции с вихревым подводом всасываемой среды значительно больше, чем для конструкции с обычным прямоточным подводом, на основании чего можно полагать о предпочтительности применения данной конструкции в случаях, когда требуется увеличить подачу струйного насоса.

Ключевые слова: гидроэлеваторы, закрутка потока, гидромеханизация, эксперименты, коэффициент эжекции, число Рейнольдса.

Keywords: *gidroelelevator, rollup of stream, hydromechanization, experiments, coefficient of ezhkekii, number of Reynolds*

Введение

Сильное влияние закрутки на инертные и реагирующие течения хорошо известно и изучается на протяжении многих лет. Когда эффект закрутки оказывается полезным конструктор старается создать закрутку, наиболее подходящую для решения его задач, если же подобные эффекты нежелательны, конструктор принимает усилия для регулирования или устранения закрутки.

Закрученные течения являются результатом сообщения потоку спиралевидного движения путем тангенциальной (спиралевидной) подачи в камеру закрутки с формированием окружной компоненты скорости (называемой также тангенциальной компонентой скорости). [1]

В настоящее время одной из главных задач интенсификации народного хозяйства является разработка и вне-

дрение ресурсосберегающих технологии, а также высокоэффективных прогрессивных устройств. Одним из прогрессивных устройств являются струйные насосы — гидроэлеваторы. [2,3,4,5]

Гидроэлеватором называется струйный аппарат, в котором происходит смешение и обмен энергией двух потоков жидкостей разных давлений с образованием смешанного потока с промежуточным давлением.

Подаваемая под высоким давлением в аппарат среда называется рабочей или активной средой, а всасываемая называется пассивной средой.

Гидроэлеваторы успешно используются при гидромеханизации мелиоративных работ: для очистки каналов; вскрытия толщи земли; транспорта наносов, двухфазных жидкостей; понижения уровня грунтовых вод; очистки шахтных колодцев, скважин, водоемов от наносов; гидротранспорта наносов и т. д. [6,7,8]

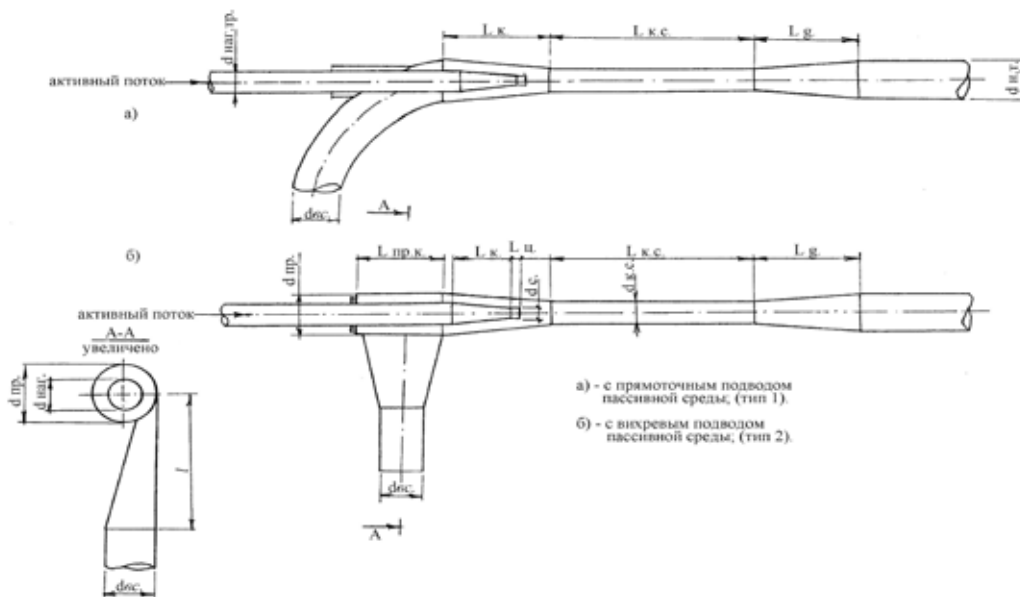


Рис. 1. Конструкции гидроэлеваторов

Как показывает многолетний опыт эксплуатации гидроэлеваторов на практике, эффективная их работа зависит от многих факторов, в том числе и от того, как подводится водогрунтовая среда к всасывающему патрубку. [9]

С целью исследования и сравнения функциональных возможностей были изготовлены и смонтированы на экспериментальном стенде две конструкции гидроэлеваторов, принципиальным отличием которых является то, что в первой конструкции пассивный всасываемый поток подводится в приемную камеру обычным способом — прямооточно, а во втором случае — с закруткой, через тангенциальный подвод (рисунок 1). [10,11]

Результаты исследования

Экспериментальные исследования показали, что закрутка оказывает крупномасштабное влияние на поле течения; на расширение струи, процессы подмешивания и затухания скорости в струе. На все эти характеристики влияет интенсивность закрутки потока.

Исследования позволили выявить, что достигаемый положительный эффект в конструкции с вихревым подводом всасываемой жидкости значительно больше, чем для конструкции с обычным прямооточным подводом, на основании чего можно полагать о предпочтительности применения данной конструкции в случаях, когда требуется увеличить подачу струйного насоса.

Вихревой тангенциальный подвод всасываемого пассивного потока оказывает существенное влияние на гидравлические параметры струйного насоса (гидроэлеватора).

Анализ зависимостей коэффициента эжекции от скорости из активного сопла (рисунки 2,3) показывает, что коэффициент эжекции гидроэлеватора с вихревым подводом ($q_1 = 0,76$) значительно превосходит значение ко-

эффициента эжекции гидроэлеватора с прямооточным подводом ($q_2 = 0,56$) при одинаковых исходных гидравлических параметрах.

Рассмотрение зависимости $q = f(R_{e_c})$ показало, что существует критическое значение числом Рейнольдса $Re_{кр} = 1,2 \times 10^5$, выше которого увеличение коэффициента эжекции не происходит, т.е. существует автомодельная зона.

Полагая, что коэффициент эжекции зависит от интенсивности передачи энергии активного потока пассивному, заключили, что чем больше активный поток передаст кинетическую энергию пассивному, чем эффективнее используется поверхность активной струи, которая является рабочей, тем больше значение коэффициента эжекции. [12,13]

По всасывающему действию поверхность активной струи подобна поверхностям рабочих органов других насосов — торцевой поверхности поршня, подсосывающим сторонам лопастей центробежного насоса и т.д.

Экспериментальные данные показали, что закрутка всасываемого потока оказывает сильное влияние на рабочие характеристики гидроэлеватора.

При увеличении степени закрутки увеличивается интенсивность смешения потока, возникают большие градиенты давления в радиальном и осевом направлениях, что приводит к увеличению коэффициента эжекции.

Как известно, интенсивность закрутки характеризуется параметром закрутки, представляющим собой безразмерное отношение осевой компоненты потока момента количества движения к произведению осевой компоненты потока количества движения и эквивалентного радиуса сопла. [14]

Параметр закрутки также может быть представлен в виде

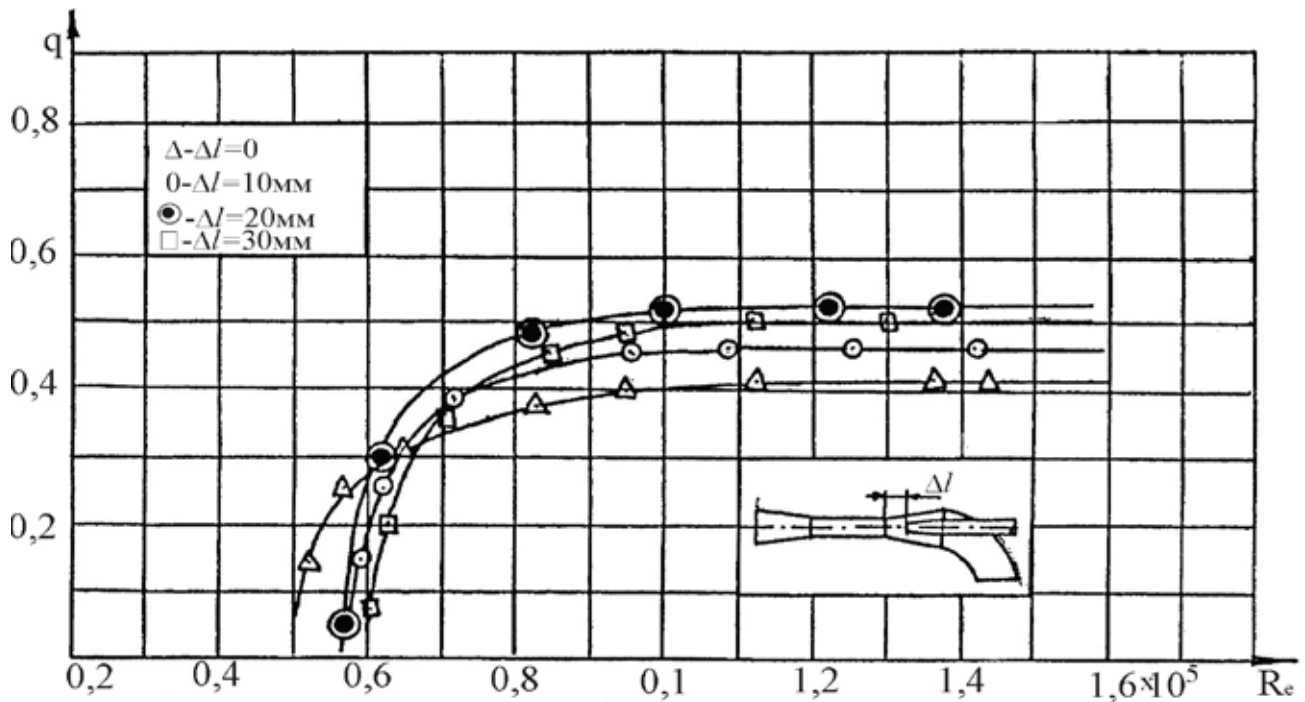


Рис. 2. Зависимость коэффициента эжекции от числа Рейнольдса активного потока для прямого гидрозелатора. Ось абсцисс — число Рейнольдса (Re). Ось ординат — коэффициент эжекции

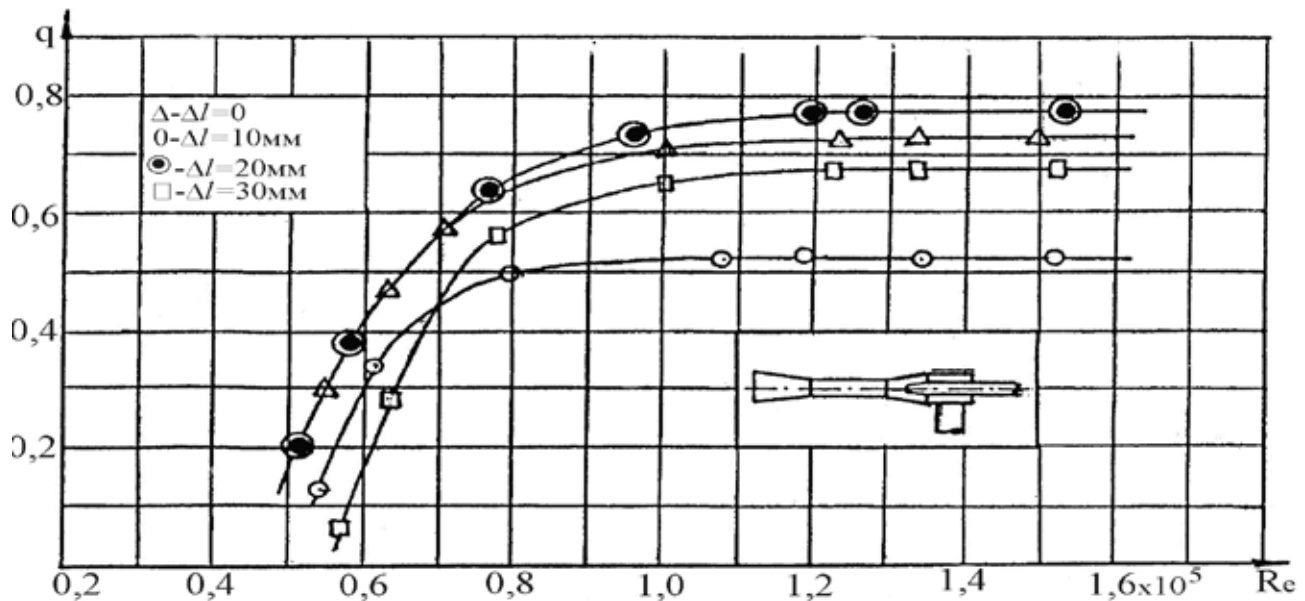


Рис. 3. Зависимость коэффициента эжекции от числа Рейнольдса активного потока для вихревого гидрозелатора. Ось абсцисс — число Рейнольдса (Re). Ось ординат — коэффициент эжекции

$$S = \frac{G/2}{1 - (G/2)^2}$$

где $G = U_w/U_0$ — отношение окружной компоненты скорости к осевой.

Кривая зависимости $q = f(S)$ (рисунок 4) плавно растет до критического значения $S_{кр} = 0.20$, после чего дальнейшее увеличение параметра закрутки не влияет

на увеличение коэффициента эжекции.

Важнейшей характеристикой гидрозелатора является также зависимость безразмерного перепада абсолютных гидростатических давлений от коэффициента эжекции [15]

$$\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p} = f(q);$$

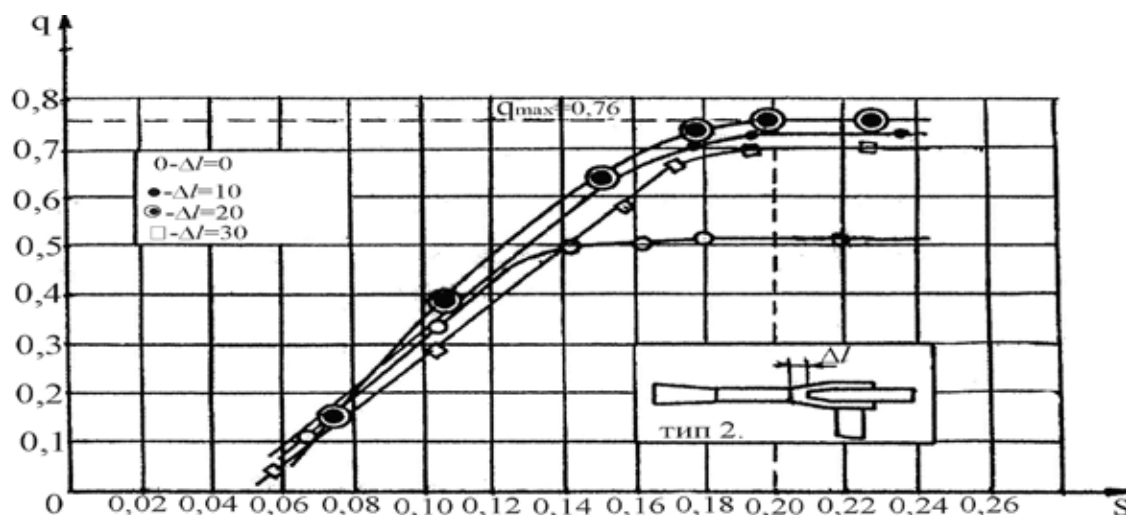


Рис. 4. Зависимость коэффициента эжекции от параметра закрутки. Ось абсцисс — параметр закрутки. Ось ординат — коэффициент эжекции

Анализ экспериментальных данных показывает, что при одинаковых исходных гидравлических параметрах в обеих конструкциях гидроэлеваторов, достигаемый перепад гидростатических давлений и коэффициент эжекции конструкции гидроэлеватора с тангенциальным подводом намного превышает такие же параметры гидроэлеватора с прямоточным подводом всасываемой среды.

Выводы

Вышеизложенное позволяет заключить, что дальнейшее исследование гидроэлеватора с закруткой всасываемого потока представляет большой научный и практический интерес, а внедрение конструкции гидроэлеватора закруткой всасываемого потока в производство принесет значительный экономический эффект.

Литература:

1. Халатов А. А. Теория и практика закрученных потоков. — Киев: Наукова думка, 1989. — 191 с.
2. Ржаницын Н. А. Водоструйные насосы (гидроэлеваторы). — ГОНТИ. Редакция энергетической литературы, 1938. — 272 с.
3. Соколов Е. Я. Исследование водоструйных насосов (элеваторов) и методика их расчета. // Известия ВТИ. — 1949. — № 11. с. 12–16.
4. Соколов Е. Я., Зингер Н. М. Струйные аппараты. Вт. изд. — М.: Энергия, 1970. — 352 с.
5. Темнов В. К. Основы теории жидкостных эжекторов. — Челябинск, 1971. — 88 с.
6. Юфин А. П. Гидромеханизация: Учебник для вузов. — М.: Стройиздат, 1965. — 466 с.
7. Фридман Б. Э. Гидроэлеваторы. — М.: Машгиз, 1960. — 324 с.
8. Абдураманов А. А. Механика вихревых и винтовых потоков жидкости и ее приложение в гидротехнике. — Ташкент, 1985. — 113 с.
9. Подвидз Л. Г., Кирилловский Ю. Л. Расчет струйных насосов и установок. / Тр. ВИГМ. — 1968. — Вып. 38. — С. 44–97.
10. Патент РФ № 2016260 F 04 F 5/02. Струйный насос. / Абдураманов А. А., Сейтасанов И. С.. Оpubл. 15.07.94. Бюлл. № 13.
11. Патент РК № 4751 МКИ F 04 F 5/02/. Струйный насос. / Абдураманов А. А., Сейтасанов И. С.. Оpubл. 16.06.97. Бюлл. № 2.
12. Лойцянский Л. Г. Механика жидкостей и газов. — М.: Наука, 1970. — 904 с.
13. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. — М.: Физматгиз, 1972. — 711 с.
14. Гупта А., Лилли Д., Сайред Н. Закрученные потоки. Пер. с англ. — М.: Мир, 1987. — 589 с.
15. Лямаев Б. Ф. Гидроструйные насосы и установки. — М.: Машиностроение. 1988. — 277 с.

Технология изготовления литейных форм для получения газифицируемых моделей

Соколов Александр Петрович, студент;
Филиппенко Николай Григорьевич, кандидат технических наук, доцент
Иркутский государственный университет путей сообщения

В этой статье описывается выбор и апробация способа и технологии создания объемных газифицированных моделей.

Ключевые слова: Полистирол, газифицированные модели, литье

Свыше 75% отливок всех металлических деталей получают, используя песчаные формы. Горения связующих материалов формовочного песка, прямой контакт металла с поверхностью формы, недостаточное газопроницаемость песка приводит к образованию значительных неровностей, пор, газовых включений на поверхностях деталей, что снижает качество получаемой заготовки.

Между тем, несмотря на более чем 50-летнюю, со времени своего возникновения, технологию получения металлических отливок высокой точности и сложности, литье по моделям из пенопласта, называемое литьем по газифицируемым моделям (ЛГМ), не получило широкого распространения (годовой объем в мире этим способом составляет 1,5 млн. тонн). [1]

Литье по газифицируемым моделям — технология, позволяющая получить отливки по точности равные литью по выплавляемым моделям при уровне затрат сопоставимом с литьем в землю. Его главным достоинством стала повышенная точность литья при значительном уменьшении затрат на оборудование и материалы по сравнению с технологией литья по выплавляемым моделям (Рис. 1).

Способ литья по газифицируемым моделям (ЛГМ) обладает рядом преимуществ:

— исключаются из производственного процесса стержневое, формовочное и смесеприготовительное оборудование;

— применяется сухой кварцевый песок, а форма упрочняется с помощью вакуума;

— сокращается количество технологических операций и оборудования для финишной обработки отливок;

— открывается возможность комплексной автоматизации всего технологического процесса;

— используется недорогая и сравнительно простая оснастка;

— снижаются требования к квалификации рабочих и обслуживающего персонала;

— создаются экологически чистые цеха и участки высокой культуры производства;

— улучшаются условия труда.

Важнейшим этапом при ЛГМ является проектирование пресс-формы. Шероховатость поверхности модели (табл. 1) зависит от качества рабочей поверхности пресс-формы.

Технология ЛГМ продолжает активно развиваться во всем мире, но многие российские компании продолжают использовать устаревшие методы литья — более дорогие, требующие больше усилий и времени. Проектирование процесса также сопряжено с проблемами связанными с расчетом площади поверхности и объема спроектированной модели. Данные характеристики необходимы для расчета расходных материалов (термокраска, формовочный песок, гранулы полистирола). Определение коли-

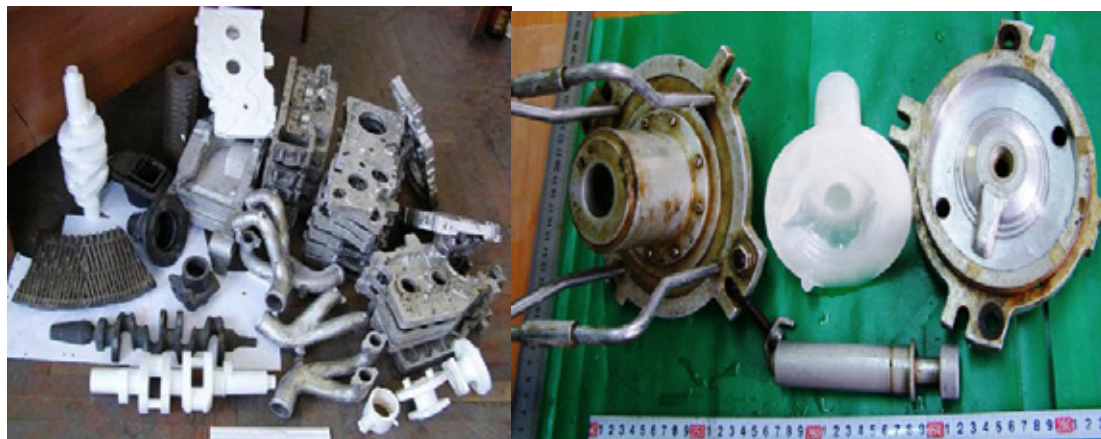


Рис. 1. Литье и газифицируемые модели

Таблица 1. Шероховатость модели объемной плотностью 25 кг/м³ в зависимости от рабочей поверхности пресс-формы

Класс шероховатости пресс-формы	3	4	5	6	7	8
Класс шероховатости модели	3	4	4	5	5	6

чества данных материалов на практике определяется эмпирически методом проб и ошибок, поэтому внедрению современного способа литья по ЛГМ мешает отсутствие единой методики расчета (рис. 2) и укоренившиеся стереотипы [2].

Предприятие ООО «Ленское ремонтное электромеханическое предприятие» в процессе освоения данной технологии столкнулось с трудностями: — образование литейных раковины, — загазованность детали, — не соответствие шероховатости поверхности отливок конструкторским разработкам, повышенные расходы дорогостоящих расходных материалов в процессе изготовления форм и моделей.

Сегодня программное обеспечение позволяет заменить физический прототип пресс-формы ее виртуальным аналогом, а в процессе компьютерного анализа электронного образца решать те задачи, для выполнения которых раньше требовались натурные испытания. В отличие от физической модели, которая часто может быть изготовлена только после завершения всех этапов проектирования и подготовки производства, виртуальный прототип создается сразу после выработки основных требований к детали и формирования концептуальной технологии ее литья. Далее по мере детализации технологии литья может модифицироваться и виртуальный прототип конструкции пресс-формы. Таким образом, процесс проек-

тирования новой пресс-формы сопровождается виртуальным макетированием, что позволяет оптимизировать ее конструкцию и технологию получения параллельно с их разработкой и тем самым своевременно обнаруживать и исправлять возможные ошибки [3].

На сегодняшний день существует достаточное количество разнообразных программ для 3D моделирования: Компас 3D, AutoCAD, T-FLEX CAD, SolidWorks и т.д. Поскольку большинство из них является проприетарным ПО (программное обеспечение, являющееся частной собственностью авторов или правообладателей) они зачастую не удовлетворяют критериям пользователей. В связи с этим применение ПО «Компас» в качестве основного средства моделирования целесообразно в связи с широким распространением программного продукта в России, возможностью формирования сборочной единицы из ранее смоделированных моделей, простотой моделирования изделий, а его наличие как базового, практически на всех промышленных предприятиях не требует дополнительных финансовых затрат на приобретение ПО.

В связи с изложенными авторами было определено следующее:

— решение задач по проектированию объемных моделей может быть выполнено с применением программного продукта «Компас 3D»;



Рис. 2. Эмпирическая схема движения материалов при литье по газифицированным моделям



Рис. 3. Программный продукт «Компас 3D», «AutoCAD», «NX (Unigraphics)»

— использование созданных моделей с помощью указанного программного обеспечения позволяет произвести вычисление поверхности и объёма детали, что дает возможность расчета необходимого количества расходных материалов и в процессе проектирования;

— было принято решение об использовании этого же ПО в качестве основного при выполнении работ по созданию обучающего комплекса промышленного предприятия ООО «Ленское ремонтное электромеханическое предприятие».

Литература:

1. Дорошенко В.С. Современная технология производства металлических отливок по моделям из пенопласта Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев <http://www.markmet.ru/forum/viewtopic.php?f=4&t=8>
2. Шуляк В.С.. Литьё по газифицируемым моделям. — СПб.: НПО «Профессионал», 2007. — 408 с.
3. Изготовление комплексов ЛГМ <http://www.cf.spb.ru/s/35>

Понятия об изометрических проекциях геометрических тел

Тошев Илес Идибекович, преподаватель
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Изображение геометрического тела в изометрической проекции, например правильной шестигранной призмы, выполняют в такой последовательности (рис. 1):

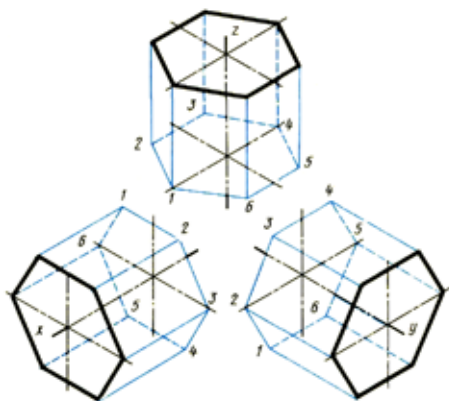


Рис. 1

Если основание призмы — правильный многоугольник (например, шестиугольник), то построение вершин основания по координатам можно упростить, проведя одну из осей координат через центр основания. На рис. 1 оси x , y и z проведены через центры правильных шестиугольников призмы.

Построив изометрическую проекцию основания призмы, из вершин шестиугольника основания проводим прямые, параллельные соответственно осям x , y или z (для каждой из рассматриваемых на рис. 1 призм) [1]. На этих прямых от вершин основания отложим высоту призмы и получим точки 1, 2, 3, 4, 5, 6 вершин другого основания призмы. Соединив эти точки прямыми, получим изометрическую проекцию призмы. В заключение устанавливаем видимые и невидимые линии; невидимые линии надо проводить штриховыми линиями.

Построение изометрической проекции правильной пирамиды выполняют в той же последовательности, т. е. строят основание и высоту, а затем проводят ребра.

Если пирамида усеченная, строят ее второе основание.

На рис. 2 показано построение изометрической проекции плоской детали криволинейного очертания по комплексному чертежу [2]. Деталь расположена параллельно фронтальной плоскости проекций. На фронтальной проекции комплексного чертежа намечают ряд точек и строят их на изометрической проекции (рис. 2-в). На рис. 2-б и в показано построение точки 14.

Через построенные точки контура кулачка проводят по лекалу кривую линию.

Параллельно оси y от найденных точек проводят прямые линии, на которых откладывают отрезки, равные A (толщине детали). Соединяя новые точки, получают контур другой плоскости детали, который также обводят по лекалу.

Аналогично строят изометрическую проекцию кулачка, расположенного параллельно горизонтальной плоскости проекций.

На рис. 3 показано построение изометрической проекции неправильной пятиугольной пирамиды по ее комплексному чертежу. Определяем координаты всех точек основания пирамиды, затем по координатам x и y строим изометрическую проекцию пяти точек — вершин основания пирамиды. Так, например, изометрическая проекция точки A получается следующим образом.

По оси x от намеченной точки O откладываем координату $X_A = a'd$. Из конца ее проводим прямую, параллельную оси y , на которой откладываем вторую координату этой точки $y_A = a'a$.

Далее строят по координатам высоту пирамиды и получают точку S — вершину пирамиды. Соединяя точку S с точками A, B, C, D и E , получают изометрическую проекцию пирамиды.

Последовательность построения изометрической проекции детали по данному комплексному чертежу показана на рис. 4.

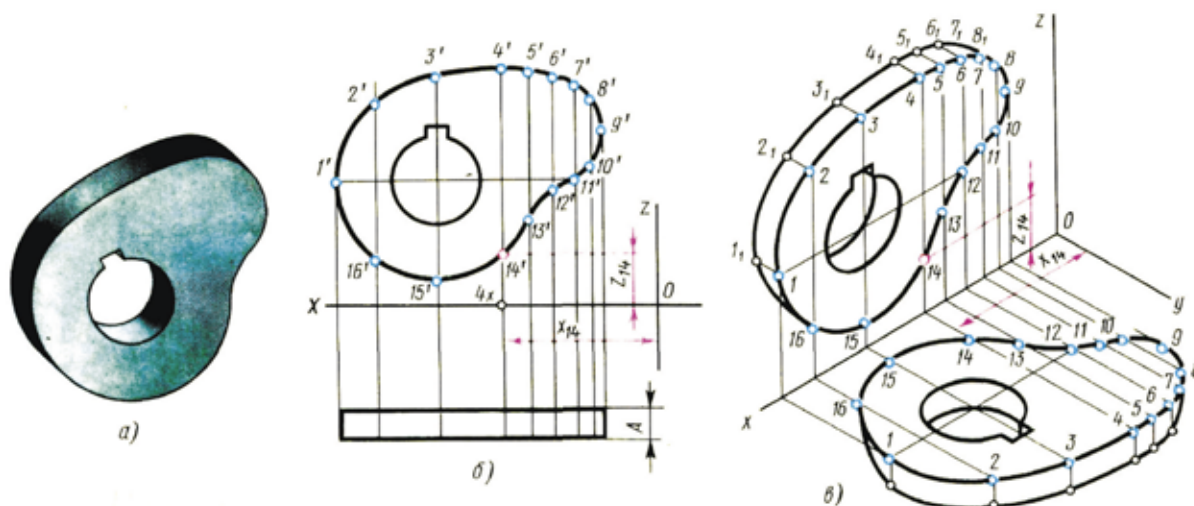


Рис. 2

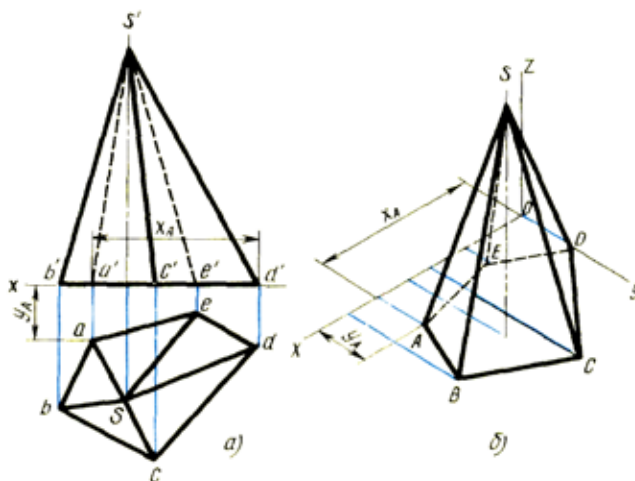


Рис. 3

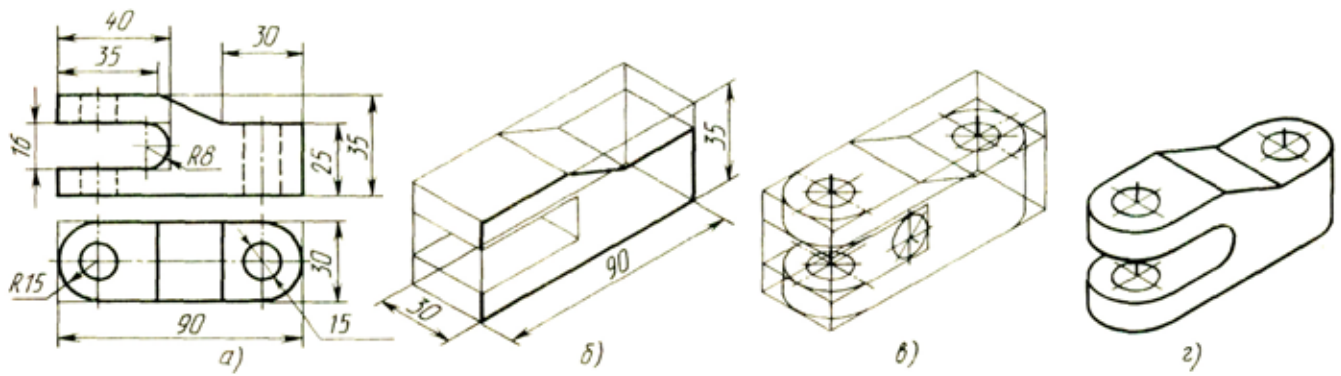


Рис. 4

Деталь мысленно разделяют на отдельные простейшие геометрические элементы, в данном случае на призматические элементы (рис. 4, б).

Находят центры окружностей (рис. 4-в). Затем удаляют лишние построения, контур изображения обводят сплошной основной линией (рис. 4-г).

Для выявления внутренней формы предмета применяют вырез одной четверти детали. Разрезы в аксонометрических проекциях можно строить двумя способами.

Первый способ. Вначале строят в тонких линиях аксонометрическую проекцию (рис. 5-а). Затем выполняют вырез, направляя две секущие плоскости по осям x и y (рис. 5-б). Удаляют часть изображаемого предмета (рис. 5-в), после чего штрихуют сечения и обводят изображение сплошными толстыми линиями (рис. 5-г).

Второй способ построения разреза при изображении деталей в аксонометрической проекции показан на рис. 6. Сначала строят аксонометрические проекции фигур сечения, а затем дочерчивают части изображения предмета, расположенные за секущими плоскостями (рис. 6-б).

Второй способ упрощает построение, освобождает чертеж от лишних линий.

Линии штриховки сечений в аксонометрических проекциях наносят, как показано на рис. 7, параллельно диагоналям проекций квадратов, которые лежат в плоскостях проекций и стороны которых параллельны аксонометрическим осям. Штриховку сечений в изометрической проекции удобно выполнять треугольником с углами 30 и 60° (рис. 7-б).

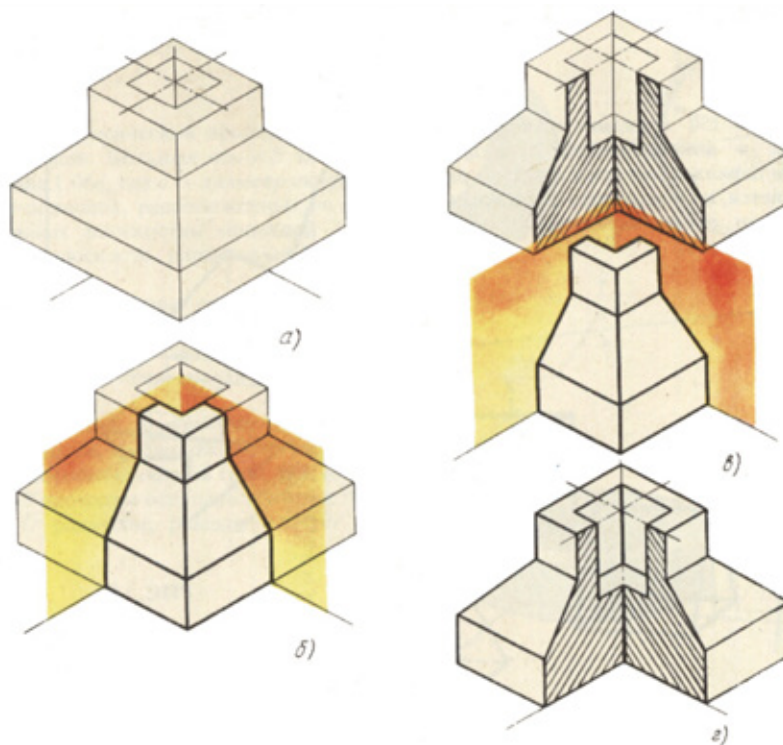


Рис. 5

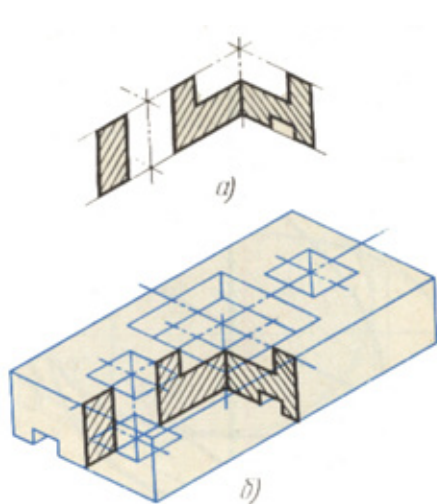


Рис. 6

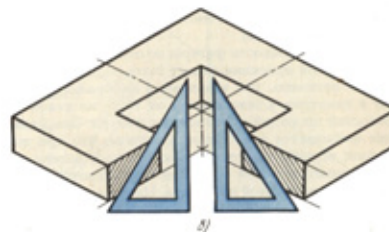
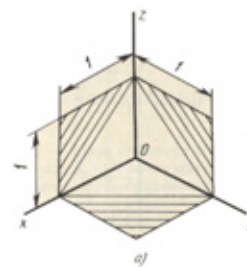


Рис. 7

Литература:

1. Вышнепольский И. С. Техническое черчение. — М.: Высшая школа, 1981. — 216 с.
2. Боголюбов С. К. Черчение. — М.: Машиностроение, 1989. — 336 с.

Задача о школьном автобусе

с ограничением на вместимость транспортных средств и количество учеников

Уразбаева Гозель Азатовна, магистр

Уфимский государственный авиационный технический университет (Башкортостан)

В статье рассматривается задача о школьном автобусе, при ограничениях на вместимость транспортных средств — автобусов и на количество учеников. Построена соответствующая математическая модель. Разработан эвристический алгоритм решения задачи. Разработанный алгоритм реализован программно, приведен численный эксперимент на основе реальных данных, который показал эффективность разработанного метода.

Введение

Задача о школьном автобусе (*School Bus Routing Problem, SBRP*) входит в класс задач маршрутизации. В ней необходимо подвезти учеников в школу или развести их по домам.

Рассматриваемая задача обладает практической ценностью: дети из маленьких деревень вынуждены учиться в школах находящихся в других населенных пунктах, а расстояния между деревнями большие и самостоятельные передвижения детей небезопасны, перед властями встает задача организации централизованной перевозки детей. В данном случае, нахождение оптимальных маршрутов, составление плана подвоза (развоза) учеников может существенно снизить расходы, связанные с организацией перевозок. Кроме того, *SBRP* может быть

применена не только там, где необходимо развозить учащихся — решения *SBRP* может внести существенный вклад в экономию средств для предприятий, которые находятся за чертой города и привозят на работу (развозят по домам) работников.

1. Описание задачи о школьном автобусе

Задача о школьном автобусе (*School Bus Routing Problem, SBRP*) изучается с момента ее первого упоминания в литературе [1]. Однако, несмотря на такой большой срок исследования, до сих пор остается необходимость общего подхода к решению *SBRP*, так как большинство исследований в этой области проводились в связи с появлением в реальном мире проблем с определенными допущениями и ограничениями. *Li and Fu* [2] указывали,

что не существует единственного преимущественного подхода для изучения *SBRP*. Более того, они добавили, что разнообразность подходов вытекает из разнообразия задач.

SBRP можно условно разделить на 5 подзадач [3]:

1. Подготовка данных (*Data Preparation*);
2. Выбор автобусных остановок (*Bus Stop Selection*);
3. Формирование автобусных маршрутов (*Bus Route Generation*);
4. Установление времени звонка (*School Bell Time Adjustment*);
5. Расписание времени маршрутов (*Route Scheduling*).

В большинстве существующих подходов решения *SBRP* эти подзадачи рассматриваются отдельно и последовательно. Но связано это не с тем, что они не зависят друг от друга (они сильно взаимосвязаны), а со сложностью и большой размерностью задач.

Задача о школьном автобусе — это уникальная и независимая задача, хотя, отдельные ее подзадачи или их комбинации можно рассматривать как вариации уже существующих оптимизационных задач. Так, задача формирования автобусных маршрутов (*Bus Route Generation*) очень схожа с задачей транспортной логистики (*Vehicle Routing Problem, VRP*). Транспортная логистика стремится создать эффективный набор маршрутов для парка транспортных средств, с целью доставки товаров из одного или нескольких депо покупателям [4].

2. Постановка задачи

Пусть имеется начальный пункт — школа, S остановок, на которых нужно посадить учеников. Имеется R автобусов, которые имеют одинаковую вместимость Q . Количество учеников равно суммарной вместимости всех автобусов. Дороги характеризуются одним параметром — расстоянием. Автобусы выезжают из начального пункта — школы и не должны возвращаться обратно. Требуется найти такой набор маршрутов¹, чтобы развезти всех учеников по остановкам, при этом минимизировать расстояние, которое проезжает автобус для посадки ученика на последней остановке самого длинного маршрута.

3. Математическая модель

Введем следующие обозначения

Дано:

Школа;

S — количество остановок;

R — количество автобусов;

Q — вместимость автобусов;

$R \cdot Q$ — количество учеников;

D_i — количество учеников, которое нужно посадить на i -ой остановке, $i = 1, \dots, S$;

C_{uv} — расстояние (время) от пункта u до пункта v , $u = 1, \dots, S+1$, $v = 1, \dots, S+1$.

Найти:

P_i^k — количество учеников, которое k -ый автобус высаживает на i -ой остановке, $k = 1, \dots, R$, $i = 1, \dots, S$;

$L(V)$ — минимальное из расстояний, которое проезжает автобус, развозя пассажиров по остановкам, V — множество остановок.

Задача имеет следующий вид:

V^k — подмножество остановок, которые должен посетить k -ый автобус, $k = 1, \dots, R$.

Найти числа P_i^k , $k = 1, \dots, R$, $i = 1, \dots, S$, такие что

$$\sum_{k=1}^R P_i^k = D_i; \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^S P_i^k = Q; \quad (2)$$

$$P_i^k \geq 0, P_i^k \text{ — целые}; \quad (3)$$

$$\max\{L(V^k)\} \rightarrow \min; \quad (4)$$

Условие (1) отражает, что суммарное число пассажиров, которое автобусы высаживают на i -ой остановке должно быть равно числу пассажиров, которое необходимо доставить на i -ую остановку. Условие (2) указывает, что суммарное число пассажиров, попавших в автобус, не может превышать вместимости данного автобуса, условие (3) — из всех R автобусов пассажиры только высаживаются на остановках. Целевая функция (4) отражает, что необходимо минимизировать длину максимального маршрута.

Также, следует учесть, что на количество учеников накладывается условие целочисленности. В данном случае оно отражает физическую неделимость объектов — число учеников, которых нужно посадить на остановках не может быть равно 10.5 человек.

4. Алгоритм решения

Решение поставленной задачи можно условно разделить на 2 этапа:

1. Поиск кратчайших расстояний от школы до остановок;

2. Построение маршрутов автобусов для развоза учеников по домам, нахождение длин маршрутов.

Первый этап решается путем применения алгоритма Дейкстры, второй — с помощью алгоритма описанного ниже.

Учитывая, что целью задачи является развоз учеников по домам, можно сказать, что алгоритм, применяемый на втором этапе, работает как бы в обратном направлении —

¹ Маршрут — набор остановок, которые необходимо посетить автобусу.

учеников забирают с остановок и привозят в школу. Это происходит следующим образом:

Находится самая дальняя остановка. Автобус забирает учеников с этой остановки и далее с остановок, находящихся на пути следования автобуса в школу. Если следующей остановкой на пути автобуса является школа, а автобус заполнен не полностью, рассматривается последняя посещенная остановка. Если от этой остановки существуют дороги до других остановок (далее — соседей), еще не посещенных автобусом, то из всех соседей выбирается та, до которой расстояние наименьшее. Автобус едет туда и забирает учеников. В случае, если автобус все еще не заполнен процедура поиска соседей возобновляется. Если автобус заполнен, или доступных остановок больше нет, автобус едет в школу. Таким образом, расстояние проеденное автобусом известно после того, как автобус приезжает в школу. Сам маршрут — последовательность остановок для развоза учеников по домам — получается в результате перестановки посещенных остановок в обратном порядке. Таким образом, отправным пунктом в маршруте у всех автобусов будет школа, на борту автобусов будет столько учеников, сколько они должны развести на данном маршруте и последним пунктом каждого маршрута будет какая-либо остановка, что отражает условие задачи — автобусам не нужно возвращаться в школу.

Для решения поставленной задачи был разработан программный продукт (ПП) в среде *Turbo Pascal 7.0*.

5. Проведение численного эксперимента

5.1. Постановка задачи

Для проведения численного эксперимента использовались реальные данные — расстояние между пунктами — это реальные расстояния между населенными пунктами одного из районов республики Башкортостан, число тран-

спортных средств — число автобусов, использующихся для подвоза/развоза учеников в одной из школ данного района.

Таким образом, поставка задачи принимает следующий вид.

Имеется один пункт отправления — 0-й пункт, 24 остановки — близлежащие деревни, в которые нужно развозить учеников, 12 автобусов вместимостью 22 человека. Дороги характеризуются одним параметром — расстоянием и являются двусторонними. Автобусы не должны возвращаться на пункт отправления. Требуется найти такой набор маршрутов, чтобы развезти всех учеников по остановкам, при этом минимизировать расстояние, которое проезжает автобус для высадки ученика на последней остановке самого длинного маршрута.

5.2. Исходные данные

Дано:

Школа — пункт отправления;

$S = 24$ — количество остановок (близлежащих деревень);

Обозначения школы и соседних деревень представлены в таблице 3.1.

$R = 12$ — количество автобусов;

$Q = 22$ — вместимость автобусов;

$R * Q = 264$ — количество учеников;

В таблице 1 представлено решение задачи — расстояние и маршрут каждого автобуса. В скобках указано число учеников, высаженных в различных пунктах назначения.

Время, потраченное разработанным ПП на поиск решения, равно 0.00 сек.

6. Анализ полученных результатов

Как видно по таблице 1 самый длинный путь¹ — это путь 0–11–22 равный 42,7 км. Это маршрут автобуса № 1.

Таблица 1. Решение задачи

№ Автобуса	Маршрут	Длина маршрута, км
1	0–11 (2) — 22 (20)	42,7
2	0–18 (15) — 19 (7)	38,1
3	0–17 (18) — 23 (4)	37,7
4	0–15 (3) — 20 (19)	34,1
5	0–1 (14) — 3 (2) — 11 (6)	31,8
6	0–10 (5) — 17 (1) — 21 (2)	31,3
7	0–1 (4) — 3 (0) — 12 (11)	30
8	0–15 (1) — 16 (21)	27,4
9	0–5 (4) — 8 (5) — 5 (0) — 9 (12)	35,5
10	0–13 (3) — 0–2 (11) — 7 (11)	41,2
11	0–6 (8) — 0–13 (3) — 14 (19)	41,1
12	0–2 (10) — 4 (1) — 0–6 (9) — 24 (13)	43,1

¹ Путь — кратчайшее расстояние от школы до остановки.

Таблица 2. Время работы программы в зависимости от числа переменных

№	Число остановок	Количество автобусов	Вместимость автобусов	Время поиска решения, сек.
1.	8	8	15	0.00
2.	9	4	20	0.00
3.	20	5	14	0.05
4.	30	8	25	0.05
5.	40	12	25	0.05
6.	45	17	35	0.05
7.	50	15	30	0.05
8.	52	18	36	0.05

Согласно применяемому способу решения, самый длинный маршрут не может быть меньше 42,7 км. Самым длинным маршрутом в полученном решении является маршрут автобуса № 12, он равен 43,1 км и является суммой длин двух маршрутов.

Так как целью задачи является минимизация длины максимального маршрута, то можно сделать вывод, что алгоритм работает хорошо — даже когда автобусу необходимо совершить повторный рейс, общее расстояние, которое он проезжает не намного больше самого длин-

ного пути. В рассматриваемом примере разница между этими величинами равна всего 0,4 км.

7. Вычислительная эффективность

Время работы ПП в зависимости от числа переменных представлено в таблице 2. Как видно по нижеприведенным данным, решение задачи находится очень быстро.

Программа работает для задач, в условиях которых не более 52 остановок.

Литература:

1. Newton R.M., Thomas, W.H., 1969. Design of school bus routes by computer. *Socio-Economic Planning Sciences* 3 (1), 75–85.
2. Li L., F, Z., 2002. The school bus routing problem: a case study. *Journal of the Operational Research Society* 53, 552–558.
3. Desrosiers J., Ferland J.A., Rousseau J.-M., Lapalme G., Champleau L., 1981. An overview of a school busing system. In: Jaiswal, N.K. (Ed.), *Scientific Management of Transport Systems*. North-Holland, Amsterdam, pp. 235–243.
4. Toth P., Vigo D., 2002. *The Vehicle Routing Problem*. SIAM, Philadelphia, PA.
5. Min H., Jayaraman V., Srivastava R., 1998. Combined location-routing problems: a synthesis and future research directions. *European Journal of Operational Research* 108 (1), 1–15.
6. Bektas T., Elmastas S., 2007. Solving school bus routing problems through integer programming. *Journal of the Operational Research Society* 58 (12), 1599–1604.
7. Бронштейн Е. М., Гиндуллин Р. В. Об одном классе задач маршрутизации // Матем. моделирование, 23:6 (2011), 123–132
8. Емельянова Т. С. Эвристические и метаэвристические методы решения динамической транспортной задачи.
9. http://www.ise.ncsu.edu/fangroup/ie789.dir/IE789F_tabu.pdf
10. <http://bashkiria-map.ru/849809.html>
11. http://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_Дейкстры

Изучение некоторых физико-химических свойств растворов сополимеров сульфатной целлюлозы с поливинилацетатом в смесях диметилформамида и четырехоксида азота

Хаитов Ахрор Ахмадович, кандидат технических наук, доцент;
Сафаров Бахри Жумаевич, кандидат технических наук, старший преподаватель;
Шодиева Гулчехра Зиёдуллаевна, магистрант
Бухарский инженерно-технологический институт (Республика Узбекистан)

Одним из способов получения модифицированных целлюлозных материалов является формирование волокон из растворов сополимеров целлюлозы с синтетическими полимерами. Трудности, связанные с растворением этих сополимеров, явились одной из причин того, что прививку проводят главным образом на готовые изделия.

В настоящее время известен ряд новых неводных растворителей целлюлозы, позволяющих получать растворы как смесей целлюлозы с другими высокомолекулярными соединениями, так и ее сополимеров, пригодных для дальнейшей переработки в волокна и пленки [1].

Одним из преимуществ получения волокон и пленок из растворов сополимеров целлюлозы с синтетическими высокомолекулярными соединениями является упрощение процесса модификации целлюлозы и расширение ассортимента изделий, изготавливаемых из нее. Кроме того, отпадает необходимость в отмывке гомополимера, являющейся обязательной стадией при прививке мономеров на готовые изделия. В данной работе исследован процесс получения привитых сополимеров поливинилацетата (ПВА) на листовой предварительно измельченной сульфатной целлюлозе, найдены условия приготовления концентрированных растворов данных сополимеров, исследованы

их вязкостные свойства и оценена возможность их переработки в волокна.

В качестве исходных материалов использовали древесную сульфатную целлюлозу с исходной степенью полимеризации 560, свежеперегранный винилацетат, церийаммонийнитрат марки «чистый», диметилформамид (ДМФ) марки «чистый», жидкие окислы азота (N_2O_4). Для получения привитого сополимера в водный раствор винилацетата вводили навеску измельченной сульфатной целлюлозы и после термостатирования при 40° в смесь добавляли в качестве инициатора прививки раствор церийаммонийнитрата в 0.1 н. азотной кислоте. Реакцию проводили в атмосфере азота. Состав привитых сополимеров регулировали изменением продолжительности процесса прививки. Непрореагировавший винилацетат удаляли перегонкой с водяным паром. Гомополимер отделяли экстракцией ацетоном в аппарате Сокслета. Привес поливинилацетата определяли по соотношению разности масс образца после отмывки гомополимера и исходного образца к первоначальной массе целлюлозы (в процентах).

В качестве растворяющей смеси использовали диметилформамид и четырехокись азота.

Вязкость концентрированных растворов привитого сополимера целлюлозы с поливинилацетатом (Целл/ПВА)

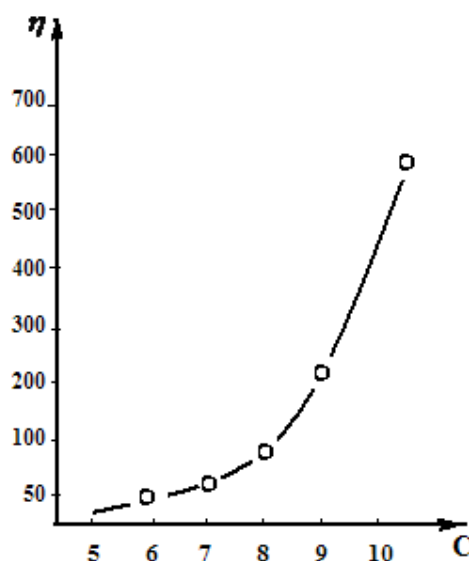


Рис. 1. Зависимость вязкости η (сП) ДМФ:N2O2 от концентрации раствора сополимера

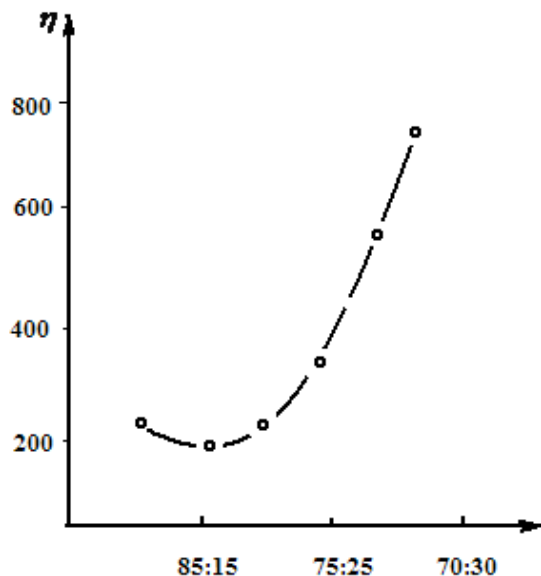


Рис. 2. Зависимость вязкости Целл/ ПВА С (%). 8%-го раствора сополимера Целл/ПВА η (сП) от соотношения компонентов растворяющей смеси ДМФ:N₂O₄ (масс. ч.)

в таком бикомпонентном растворителе измеряли методом падающего шарика [2].

Формование нитей из исследуемых растворов проводили в водно-диметилформамидную ванну на лабораторной установке МУЛ-1 через фильеру с 40 отверстиями диаметром 0.08 мм с отрицательной фильерной вытяжкой. Свежесформованные волокна дополнительно вытягивали на воздухе на 50–150%. Разрывные характеристики (прочность и удлинение) определяли на установке РМ-3.

В результате прививки поливинилацетата на целлюлозу и после удаления гомополимера получены три вида сополимеров, содержащих соответственно 12, 20 и 30% ПВА. Данные сополимеры полностью растворяются в смеси диметилформамида с четырехокисью азота в течение 1–1.5 ч при комнатной температуре. Полученные растворы представляют собой однородную гомогенную вязкую жидкость темно-зеленого цвета. Нами измерены вязкостные свойства концентрированных *растворов синтезированных* сополимеров. С увеличением содержания в привитом сополимере поливинилацетата с 12 до 30% вязкость 8%-х растворов уменьшается с 325 до 159 сП. Для сравнения вязкость 8%-го раствора целлюлозы составляет 648 сП. Общие закономерности в поведении концентрированных растворов сополимеров Целл/ПВА в системе диметилформамид-четыреокись азота мы изучали на примере сополимера с 20%-м содержанием поливинилацетата. Нами были получены растворы изучаемого сополимера разной концентрации (от 5 до 10%) и измерена их вязкость. Известно [3], что при увеличении концентрации полимера возрастает степень структурирования раствора полимера за счет усиливающегося взаимодействия макромолекул, а следовательно, увеличивается его вязкость. Такая зависимость вязкости от

концентрации наблюдается и для сополимера Целл/ПВА (рис. 1).

Характер изменения вязкости концентрированного раствора во времени следует рассматривать как суммарный результат влияния двух противоположных тенденций: повышения вязкости в результате ассоциации макромолекул сополимера, ведущей к структурированию раствора, и понижения вязкости из-за протекающей в растворе деструкции сополимера.

Как видно из рис. 2, вязкость изучаемых растворов в значительной степени зависит от состава бикомпонентного растворителя. Минимальная вязкость для 8%-го раствора сополимера Целл/ПВА наблюдается при соотношении ДМФ:N₂O₄, равном 30:20. При дальнейшем увеличении (как и при уменьшении) количества четырехокиси азота в растворяющей смеси вязкость увеличивается, что связано с ухудшением качества растворителя по отношению к целлюлозе.

Большое влияние на вязкость исследуемых растворов оказывает температура. С увеличением температуры вязкость раствора сополимера Целл/ПВА уменьшается. Интересен тот факт, что при охлаждении до комнатной температуры (20°) растворов сополимеров, прогретых в течение 1 ч при 30–50°, их вязкость не изменяется, т. е. возвращается к величине вязкости, полученной для непрогретого раствора (при 20°).

Проведенные исследования зависимости вязкости растворов от концентрации сополимера, температуры, соотношения диметилформамид: четырехокись азота и времени стояния растворов позволили найти оптимальные условия подготовки концентрированных растворов сополимеров Целл/ПВА к формованию.

Исследование процесса формования показало, что наиболее приемлемым составом осадительной ванны, по-

Физико-механические показатели нитей, сформированных из 8%-ного раствора сополимера Целл/ПВА с 12% содержанием ПВА, в зависимости от состава осадительной ванны

Состав осадительной ванны, ДМФ: Н ₂ O	Прочность (сН/текс)	Удлинение (%)
20: 80	15,3	12,4
30: 70	17,9	13,6
50: 60	19,4	15,0
60: 40	18,2	15,5
80: 20	14,2	10,3

зволяющим получать эластичные нити с удовлетворительными физико-механическими показателями, являются смеси диметилформамида с водой при соотношении компонентов 50:50 и 60:40 (см. таблицу).

Выводы

1. Исследование вязкостных свойств приготовленных на основе сополимеров целлюлозы с поливинилацетатом (степень прививки 12,20 и 30%) в смесях ДМФ и N₂O₄ концентрированных растворов показало, что с увеличе-

нием содержания привитого компонента вязкость эквивалентных концентрированных растворов закономерно уменьшается. Найденная зависимость вязкости растворов от соотношения ДМФ:N₂O₄ и температуры позволила определить оптимальный состав прядильных растворов, обладающих необходимой технологической стабильностью и минимальной вязкостью.

2. Показано, что концентрированные растворы синтезированных сополимеров целлюлозы с ПВА пригодны для дальнейшей переработки в волокна с удовлетворительными физико-механическими показателями.

Литература:

1. Яп. пат. 44—32671 (1989). — [2] Яп. пат. 46—43996 (1991). Определение вязкости растворов целлюлозы.
2. С. П. Панков. Физико-химические основы производства искусственных и синтетических волокон. Изд. «Химия», М. (1992).
3. Д. Д. Гриншпан. Канд. дис. Минск (1998).

Цифровое моделирование рельефа для инженерно-проектных задач вертикальной планировки

Хаитов Бафо Усманович, кандидат технических наук, зав.кафедрой
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

В статье впервые рассматривается применение коэффициента сложности рельефа для выбора оптимальных проектных поверхностей в инженерно-проектных задачах вертикальной планировки.

Ключевые слова: рельеф, проектная поверхность, степень сложности рельефа.

Степень сложности рельефа является важнейшим фактором в принятии решения реализации различного рода инженерных задач и в то же время наименее изученным. Следует отметить, что степень сложности или степень расчлененности рельефа имеет словесное описание, как рельеф равнинной или холмистой местности, сильно расчлененная поверхность, спокойный рельеф и т. д. и не имеет числовых характеристик, что очевидно, представляет основную трудность использования их на практике.

В трудах [1] даётся описание определению степени сложности геометрической модели ТП, где «суммарные абсолютные внутренние и внешние кривизны вершин определяют степень сложности модели». Там же дается определение, что «простейшая поверхность — плоскость — независимо от количества рассматриваемых вершин обладает степенью сложности, равной «0». В инженерной практике методология определения степени сложности или степени расчлененности рельефа является мало изученным. В трудах [2] имеется подход к решению данной задачи методами теории вероятностей и математической статистики, основанная на данные извлекаемые из топографического плана местности. Ра-

бота основана на отношении сгущения изолиний в dm^2 и учитывает признаки линий водоразделов, тальвегов борозок, подошв и т. д. Данный подход на наш взгляд является не применим к цифровым моделям рельефа (ЦМР), так как современная ЦМР основана на регулярной или нерегулярной сети данных. Следовательно, степень сложности рельефа непосредственно связана с этими данными и может быть определена взаимоотношениями этих данных.

Рассмотрим поверхность, с минимальным количеством точек, где три точки в пространстве однозначно определяют плоскость [3,4,5], для которой степень сложности равна «0». Четыре точки в пространстве могут определять либо плоскость, либо косую плоскость, но не могут определить замкнутую выпуклость или вогнутость. Пересечение двух или трех плоскостей заданных на прямоугольной регулярной сети образуют усеченную, не замкнутую вершину. Следовательно, для прямоугольной регулярной сети справедливо рассмотрение четырех взаимно пересекающихся плоскостей, которые определяют в частном случае, как плоскость, так и характер выпуклости или вогнутости рассматриваемой поверхности (Рис. 1).

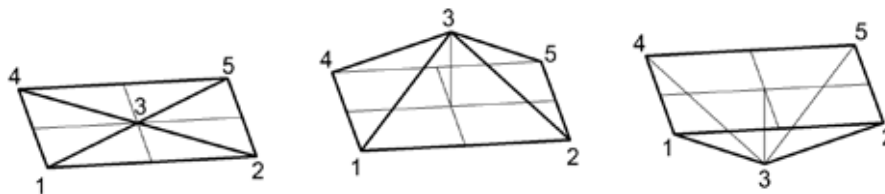


Рис. 1. Взаимное пересечение четырех плоскостей на прямоугольной сети данных

На прямоугольной регулярной сети, рассматриваемые четыре плоскости, задаются девятью узлами регулярной сети (3×3) и образуют квартал из четырех ячеек (квадрантов).

$$[A] = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} \end{bmatrix} \tag{1.1}$$

Установим некоторое взаимоотношение между девятью членами матрицы методом конечных разностей:

1. Суммируем абсолютные значения разницы элементов строк и дифференцируем:

$$m = \frac{|(Z_{11} - 2Z_{12} + Z_{13})| + |(Z_{21} - 2Z_{22} + Z_{23})| + |(Z_{31} - 2Z_{32} + Z_{33})|}{\Delta X} \tag{1.2}$$

где ΔX — шаг прямоугольной регулярной сети вдоль строк.

2. Суммируем абсолютные значения разницы элементов столбцов и дифференцируем:

$$n = \frac{|(Z_{11} - 2Z_{21} + Z_{31})| + |(Z_{12} - 2Z_{22} + Z_{32})| + |(Z_{13} - 2Z_{23} + Z_{33})|}{\Delta Y} \tag{1.3}$$

где ΔY — шаг прямоугольной регулярной сети вдоль столбцов.

3. Суммируем абсолютные значения разницы элементов диагонали и так же дифференцируем:

$$d = \frac{|(Z_{11} - 2Z_{22} + Z_{33})| + |(Z_{13} - 2Z_{22} + Z_{31})|}{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}} \tag{1.4}$$

Уравнения (1.2–1.4) суммируем и получим некоторое значение — ξ для квартала поверхности:

$$\xi = m + n + d \tag{1.5}$$

Уравнение (1.5) удовлетворяет определению степени сложности плоскости $\xi=0$ и выдаёт различные значения, если рассматриваемая поверхность (квартал) не плоскость.

Степень сложности нерегулярной (топографической) поверхности можно определить также, рассматривая ТП как совокупность граничащих регулярных поверхностей, и сумма степени сложности кварталов дает некоторое представление о степени сложности ТП в целом. Следовательно, степень сложности всего участка поверхности будет:

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \dots + \xi_n \tag{1.6}$$

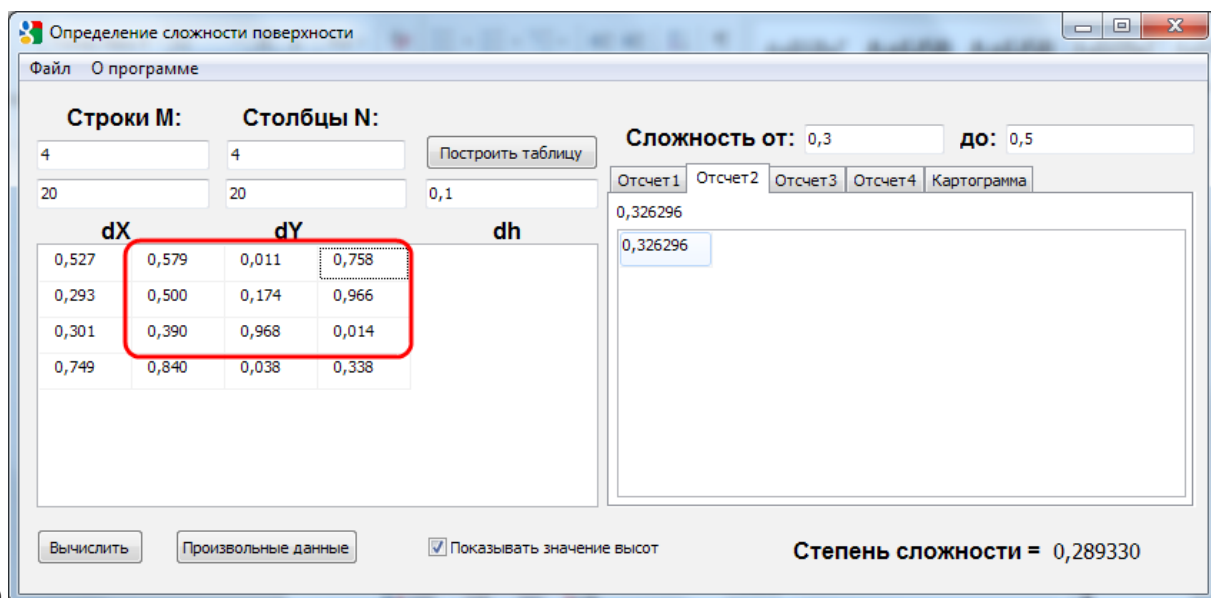
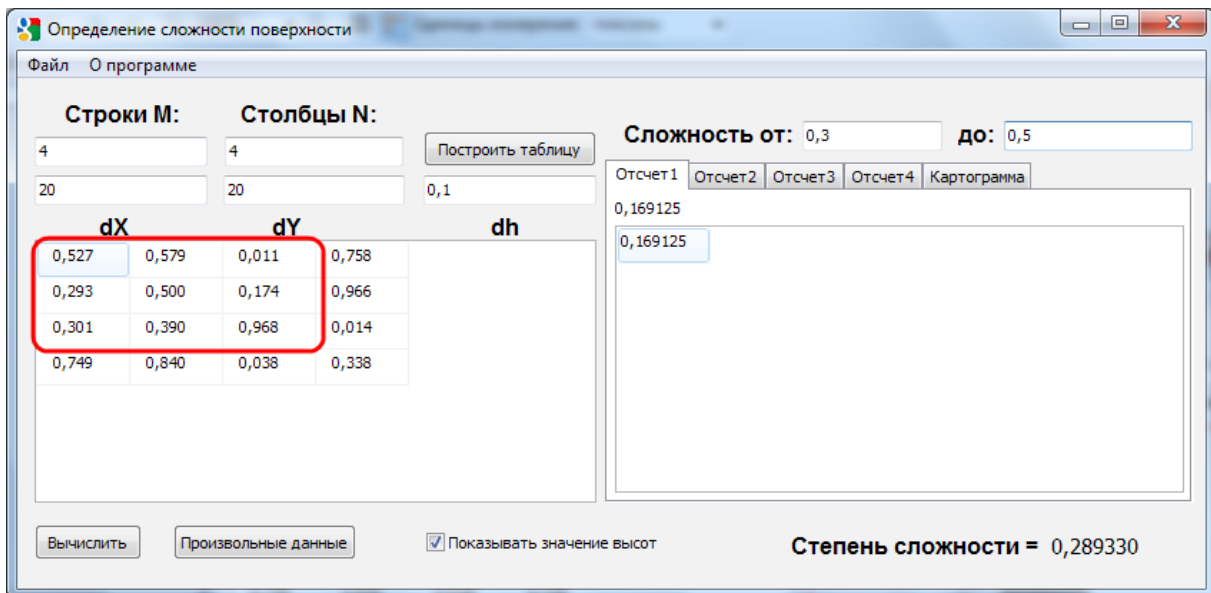
Если регулярная сеть по строкам и столбцам не делится без остатка на три, следует установить четыре системы отсчета кварталов и определить степень сложности поверхности в целом:

$$\xi = \frac{\sum \xi^{(1)} + \sum \xi^{(2)} + \sum \xi^{(3)} + \sum \xi^{(4)}}{4} \tag{1.7}$$

где $\xi^{(1)}$, $\xi^{(2)}$, $\xi^{(3)}$, $\xi^{(4)}$ — сложность кварталов первой, второй, третьей и четвертой системы отсчета соответственно.

На основе вышеизложенных уравнений нами разработана программа «Сложность рельефа» в среде программирования Delphi. В данном приложении можно рассматривать степень сложности кварталов по каждой системе отсчета (Рис. 2).

Во вкладке «Картограмма» можно наглядно рассмотреть поверхность в плановом виде с требуемым уровнем горизонталей и выявленными сложностями участков (Рис. 3). При этом можно варьировать численными значениями «dh» и «Сложности от: ___ до ___».



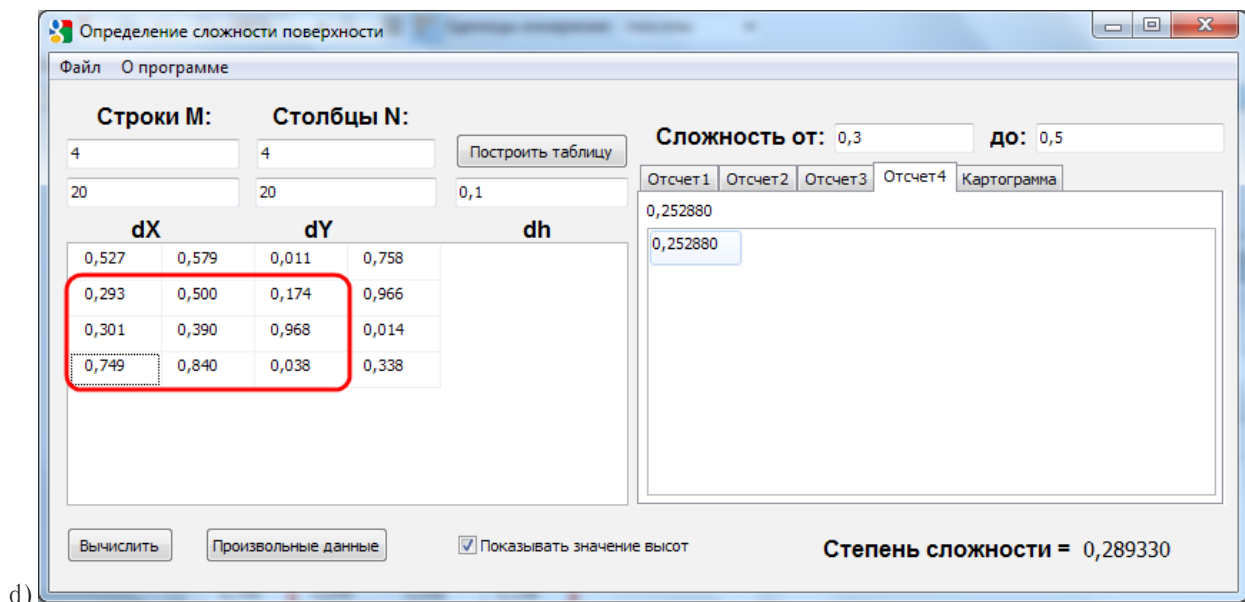
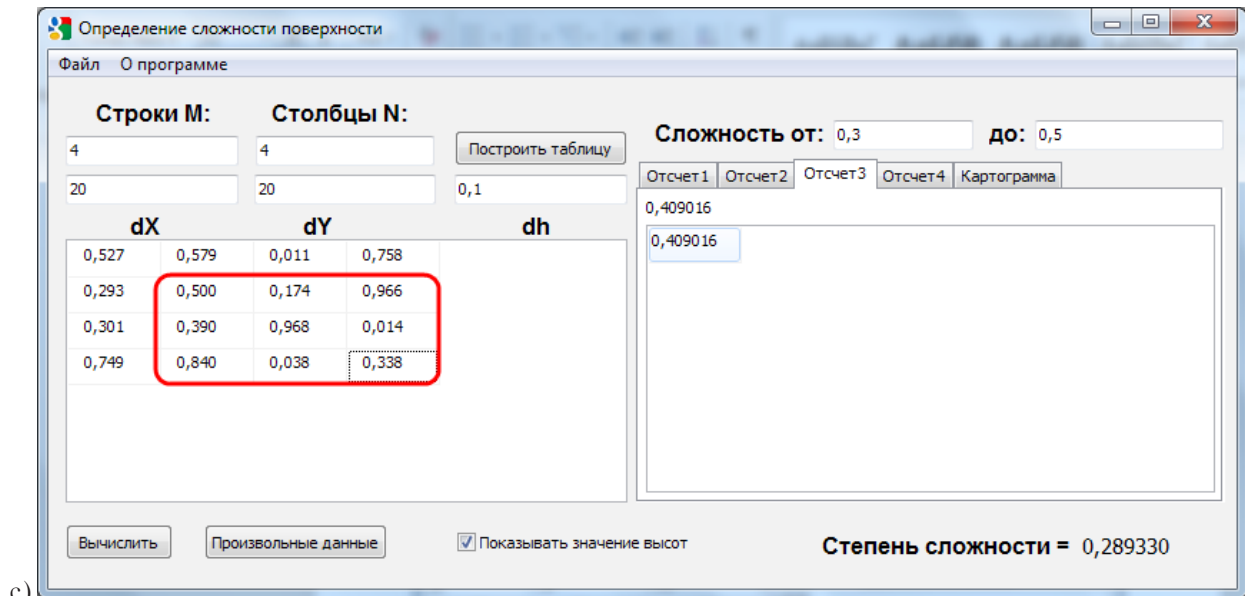


Рис. 2. Сложность рельефа по кварталам

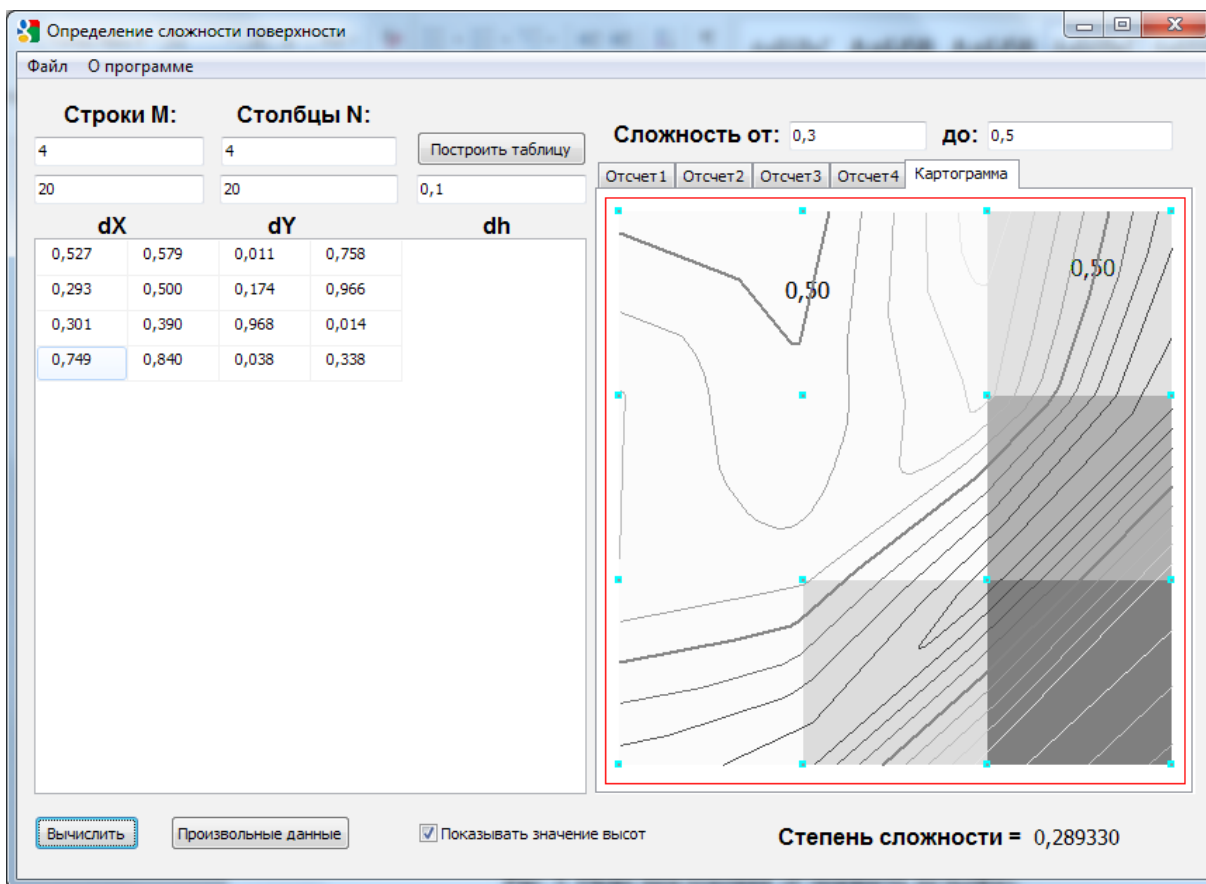
Численные значения сложности проектной поверхности дают возможность выбора реализации проекта, решать различные инженерные задачи, связанные с проектированием проектной поверхности, возможностью подсчета энергозатрат, ввести некоторые коэффициенты по степени сложности для реализации проекта и т. д.

Предлагаем к сотрудничеству в данной области.

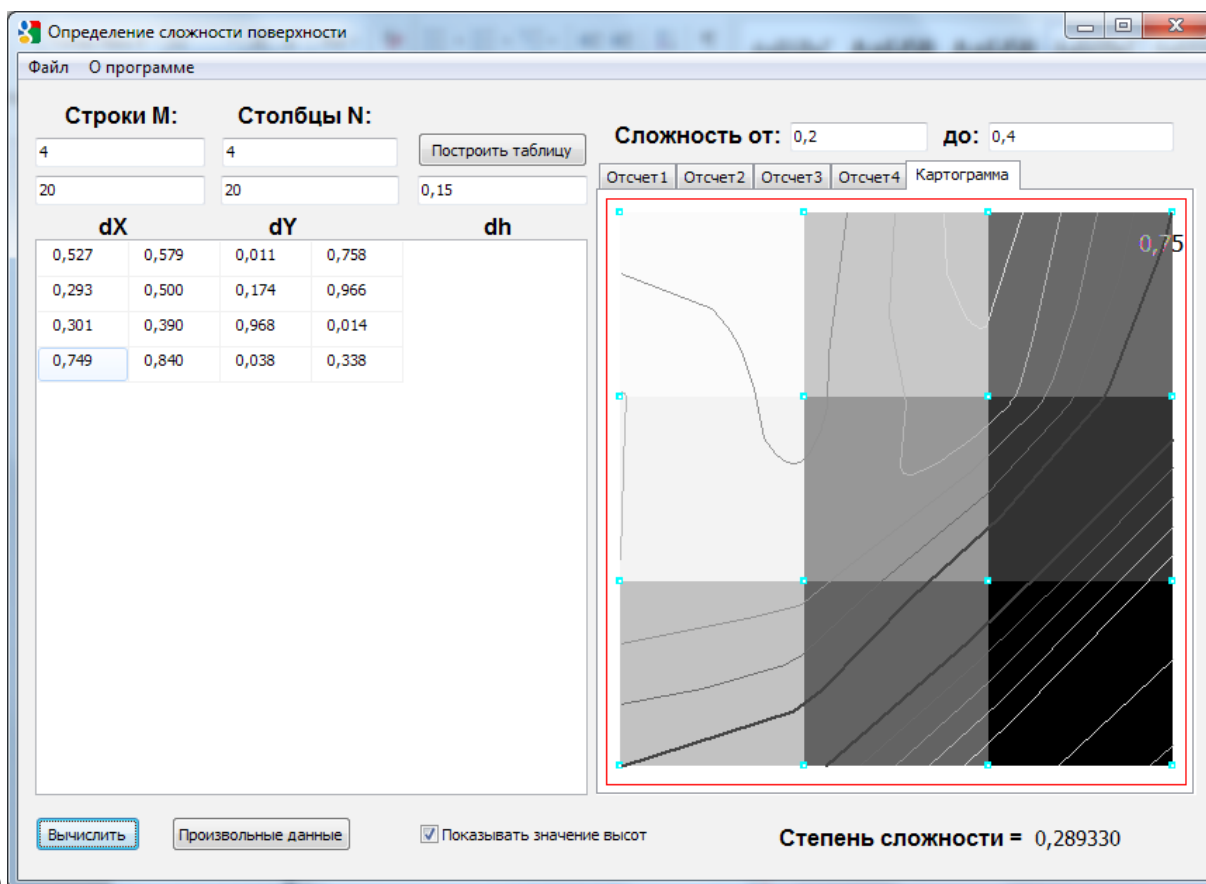
Отзывы по статье направить на e-mail: xb75@mail.ru

Литература:

1. Кучарова Д. Ф. Теория топографических поверхностей и ее приложения. Дисс. на соискание ученой степени д. т. н. Бухара, 2001. — 314 с.
2. Хейфец Б. С., Хромченко А. В. Применение теории информации для оценки степени расчлененности рельефа местности // Известия ВУЗов. Геодезия и Аэрофотосъемка. — М.: 1978. — № 4. — с. 13–23.
3. Крылов Н. Н., Иконникова Г. С., Николаев В. Л., Лаврухина Н. М. Начертательная геометрия. Учеб. для ВУЗов. — М.: Высшая школа, 1990. — с. 79–103.
4. Фролов С. А. Начертательная геометрия. — М.: Машиностроение, 1978. — с. 30–92.
5. Климухин А. Г. Начертательная геометрия. Учеб. для ВУЗов. — М.: Стройиздат, 1973. — с. 50–92.



a)



b)

Рис. 3. Картограмма сложности рельефа

Катализаторы риформинга

Хатмуллина Диана Данисовна, магистрант

Уфимский государственный нефтяной технический университет (Башкортостан)

Процесс каталитического риформинга осуществляют на бифункциональных катализаторах. В начале промышленного освоения процесса каталитического риформинга, в основном, применялись окисные катализаторы или алюмомолибденовые катализаторы ($\text{MoO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$). Попытки использования других оксидных катализаторов ($\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CoO-MoO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$) к успеху не привели.

Алюмомолибденовый катализатор, как и современные катализаторы риформинга, катализирует реакции-ароматизации, изомеризации и гидрокрекинга углеводородов. Однако селективность его в реакциях ароматизации, особенно парафинов, значительно ниже, а скорость закоксовывания намного больше. Тем не менее эти не явились препятствием для промышленного использования во время второй мировой войны алюмомолибденовый катализатор служил для производства толуола и компонентов авиационных бензинов.

Внедрение платиновых катализаторов в промышленности, способствовало резкому скачку развития процесса каталитического риформинга. Внедрение было обусловлено необходимостью производства для создания более высококачественных и высокооктановых моторных топлив.

Были проведены обширные исследования, в которых было не только изучено каталитическое действие платины на разные углеводороды, но и показана практическая ее ценность как ароматизирующего катализатора.

Дороговизна платины предопределила малое ее содержание в промышленных катализаторах риформинга, а следовательно, необходимость весьма эффективного ее использования. Этому способствовало также применение в качестве носителя оксида алюминия, который давно был известен как лучший носитель для катализаторов ароматизации. Важно было превратить алюмоплатиновый катализатор ароматизации в бифункциональный катализатор риформинга. Для этого следовало придать носителю необходимые кислотные свойства, что было достигнуто путем промотирования оксида алюминия галогенами.

Галоген является необходимой составной частью катализаторов риформинга, который вводится с целью усиления и регулирования кислотной функции носителя. В качестве кислотного промотора в би- и полиметаллических катализаторах широко используется хлор, который стабилизирует высокую степень диспергирования платины за счет образования комплексов с платиной и окисью алюминия. Преимуществом хлорированных катализаторов является возможность регулирования содержания хлора в катализаторах, а следовательно, и уровня их кислотности, в условиях эксплуатации.

К основным эксплуатационным характеристикам катализаторов риформинга относят активность, селективность, стабильность и механическая прочность. Активность катализатора — это свойство катализатора ускорять химическую реакцию, она должна обеспечивать необходимую глубину превращения сырья при заданных объемных скоростях пропускания его через катализатор. Требования максимальной селективности в каталитическом риформинге сводятся к обеспечению наибольших выходов жидких продуктов и водорода. Это значит, что с максимальной глубиной превращения должны протекать реакции ароматизации и минимальной должна быть активность катализатора в реакциях гидрокрекинга и гидрогенолиза. Стабильность катализатора характеризуется способностью сохранять первоначальную активность и селективность во времени. Механическая прочность выражается устойчивостью к раздавливанию и истиранию.

Платиновый компонент катализатора ускоряет реакции гидрирования и дегидрирования и, следовательно, способствует образованию ароматических углеводородов и непрерывному гидрированию промежуточных продуктов, способствующих коксообразованию.

Промышленные платиновые катализаторы относятся к бифункциональным:

1) Активный носитель (гамма оксид алюминия, алюмосиликат) обладает как протонными так и апротонными кислотными центрами, на которых протекают реакции изомеризации нафтеновых колец, гидрокрекинг парафинов и частичная изомеризация образующихся низкомолекулярных парафинов и олефинов.

2) Моноплатиновый катализатор, обладает высокой активностью и селективностью, но высокое содержание платины в катализаторе и ее стоимость подтолкнули на поиск и создание более дешевых катализаторов с хорошими каталитическими свойствами и уменьшением содержания платины.

Активный платиновый катализатор позволяет осуществлять риформинг при несколько более мягком режиме, чем на алюмо-молибденовом катализаторе: средние температуры процесса на платиновом катализаторе 480–530°C, объемные скорости от 1,5 до 4 ч⁻¹. При этом активность и селективность катализатора позволяют поддерживать в системе более высокое давление, порядка 3,0–4,0 Мпа, препятствующее реакциям уплотнения, и дают возможность работать без регенерации катализатора в течении нескольких месяцев.

Важное значение в каталитических системах играет носитель активного вещества или как его еще называют — матрица. Матрица должна обеспечивать сохранение каталитических свойств катализатора в условиях

высоких температур, предохранять его от воздействия каталитических ядов, создавать определенную форму, гранулометрический состав и необходимую механическую прочность частиц, обеспечивать доступность активных металлов для молекул сырья. Вещество матрицы способствует равномерному распределению активных металлов в порах катализатора и интенсивному протеканию массо- и теплообменных процессов. Оно существенно влияет на термическую стабильность катализатора.

Матрица у катализаторов риформинга должна быть активной, выполняющей не только функции подвода к активным металлам молекул сырья и отвода от него продуктов реакций, но и обладать кислотностью, необходимой для протекания изомеризации и циклизации углеводородов. Наиболее часто в качестве матрицы в катализаторах риформинга бензиновых фракций используется активный оксид алюминия. Молекулы оксида алюминия, соединяясь между собой, образуют частицы твердой фазы преимущественно сферической формы с эффективным диаметром порядка 3–8 нм. Срастаясь, они формируют гидрогель, в котором в промежутках между частицами твердой фазы находится вода или водные растворы не прореагировавших исходных компонентов. При сушке гидрогеля вода удаляется, а структурная сетка из связанных между собой сферических частиц сохраняется. Поры этой структуры рассматриваются как зазоры между частицами. На химические и адсорбционные свойства матрицы в значительной мере оказывает влияние наличие гидроксильных групп. Они занимают в основном положение, выходящее на ее внутреннюю и внешнюю поверхность. Количество этих групп можно регулировать температурой прокалки оксида алюминия. Чем выше ее значения, тем больше вероятность протекания реакции дегидроксилирования.

В связи с этим во всех современных катализаторах риформинга в качестве основного активного компонента используется платина в металлической форме. Обычно содержание платины колеблется в них от 0,3 до 0,7% мас. При меньшем содержании платины уменьшается стабильность и устойчивость катализатора к действию ядов. При большем — обнаруживается тенденция к ускорению реакций деметилирования, раскрытия нафтеновых колец. Яды это загрязнители, которые необратимо разрушают катализатор. Они вызывают потерю активности, которая не может быть восстановлена даже регенерацией. При этом требуется замена катализатора. К ним относятся: мышьяк, свинец, медь, ртуть, железо, кремний, никель, хром. Металлы улавливаются на катализаторах предварительной гидроочистки.

Регенерация катализатора риформинга включает следующие этапы: выжиг кокса, оксихлорирование, про-

калка, восстановление и сульфидирование (в случае необходимости).

На практике потеря активности катализатора происходит, главным образом, в результате отложений кокса на поверхности и в порах его носителя (матрицы). Регенерация катализатора проводится путем их выжиг в потоке, содержащем кислород, при повышенных температурах. Это способствует миграции и соответственно слиянию частиц металла. В результате этого активность катализатора полностью не восстанавливается. Выжиг кокса во время регенерации приводит к еще большему вымыванию хлора из катализатора. Поэтому требуется этап его оксихлорирования. Он катализаторов риформинга осуществляется подачей хлорорганического соединения (дихлорэтана).

Введение рения (до 0,5%) — модификатора, позволяет уменьшить содержание платины в катализаторе до 0,25–0,4%. Рений способствует стабилизации катализатора, который может полностью восстанавливать свои свойства даже после многократных регенераций. Предполагается, что рений, имея более высокую температуру плавления, чем платина, препятствует укрупнению частиц платины с течением времени. К недостаткам платиновых катализаторов следует отнести их высокую чувствительность к каталитическим ядам. Кроме рения модифицирующее действие на алюмоплатиновый катализатор оказывают (содержание — десятые доли%) такие металлы, как: германий, палладий, олово, иридий, вольфрам, рутений и др.

Последнее поколение катализаторов риформинга отличается тем, что наряду с платиной, содержат один или несколько других металлов. Для таких катализаторов характерна высокая стабильность в условиях реакционного периода, что в конечном счете обеспечивает возможность получения более высоких выходов как высокооктановых бензинов риформинга, так и ароматических углеводородов.

В настоящее время в мире существует большое число промышленных катализаторов риформинга. Основные фирмы производящие катализаторы риформинга — ЮОП, ФИН, Критерион, Акзо-Нобель и др. Первые две из перечисленных выше являются наиболее значимыми в настоящее время.

Достаточно значительными производителями катализаторов являются в последние годы Китай, Япония и Россия.

Технология синтеза катализаторов риформинга постоянно развивается. Их свойства все более и более оптимизируются. Каждый год производящие их фирмы заявляют об освоении выпуска улучшенных промышленных образцов. Это неудивительно, так как катализатор является одной из наиболее важных составляющих процесса.

Литература:

1. Магарил Р.З. Теоретические основы химических процессов переработки нефти: Учебное пособие для вузов. Москва 2010.с. 226–229

2. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: Учебное пособие для вузов. Уфа: Гилем, 2002. 377–384 с.
3. Смилович Е.В. Технология переработки нефти и газа: Учебное пособие для вузов, издание четвертое. Москва:Альянс, 2011. с. 190–193
4. Кондрашева Н.К., Абдульминев К.Г. Процесс каталитического риформинга бензина: Учебное пособие. Уфа,2006. с. 29–32

Возможности получения дорожных битумов улучшенного качества

Хужакулов Азиз Файзуллаевич, преподаватель;
Мадаминов Оллоберган Эркинбоевич, магистрант;
Джумаев Миршод Адизович, магистрант
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Максимальное вовлечение тяжелых нефтяных остатков в переработку с целью ее углубления весьма актуально в условиях усиливающейся конкуренции на рынке нефтепродуктов, с одной стороны, и на фоне возрастающих требований к их эксплуатационным качествам — с другой. Перерабатывая нефти различного состава и с большим разбросом по показателям качества, технологи столкнулись с проблемой получения высококачественных битумов. Известно, что даже небольшое изменение состава сырья (содержание парафиновых и ароматических углеводородов, асфальтенов и других компонентов) оказывает огромное влияние на качество получаемых битумов. Отрицательный «вклад» в нестабильность сырья вносят и технологические особенности эксплуатации вакуумных колонн: изменение температурного режима и глубины вакуума, колебания количества «проваливаемого» циркуляционного орошения и загрузки сырья, недостаточная эффективность контактных устройств и т.д. Все битумы на Ферганской НПЗ получают окислением гудрона. Основу технологического процесса составляет вакуумная перегонка мазута и последующее непрерывное окисление продуктов вакуумной перегонки кислородом воздуха в аппаратах колонного типа. Гудрон, полученный в вакуумном блоке комбинированной установки производства нефтяных битумов, окисляется в шести колоннах К-3 и К-8. Сырье подают под уровень раздела фаз, битум откачивают снизу колонн (твердые осадки в колоннах не накапливаются). Воздух на окисление подается в нижнюю часть через маточник. Содержание кислорода в отходящих газах окисления не превышает 6% об. Окисленные битумы можно получать из остатков практически всех нефтей. Наилучшими считаются нефти высокосмолистые (20–35% масс. смол) и малопарафинистые (до 5% масс. парафинов). Содержание парафинов в нефти, перерабатываемой на Ферганской НПЗ, составляет 3,0–5,3% масс., смол 8–11% масс., асфальтенов 0,8–1,2% масс.

С увеличением глубины вакуумной перегонки содержание парафино-нафтеновых углеводородов уменьша-

ется, но содержание аренов, в том числе бициклических, хорошо диспергирующих асфальтены, — увеличивается. Получаемый при этом битум характеризуется пониженными пенетрацией, индексом пенетрации, температурой размягчения и повышенной дуктильностью [1].

На Ферганской НПЗ вырабатывается битум следующих марок:

- дорожный БНД 90/130, БНД 60/90;
- строительный — БН 70/30, БН 90/10;
- кровельный — БНК 40/180, БНК 45/190.

Для успешного продвижения их на внешний рынок необходима ориентация на зарубежные стандарты. С целью изучения возможности выпуска битума марки 70/100, соответствующего стандарту EN 12591–00 «Продукты из нефти. Битумы и связующие материалы, содержащие битум. Битумы для дорожного строительства», на битумной установке был проведен фиксированный пробег. Вакуумный блок битумной установки находился на реконструкции, поэтому в качестве сырья использовали гудрон другой установки — вакуумной дистилляции мазута (УВДМ). Качество гудрона с этой установки соответствовало нормам СТП: вязкость условная при 80°C — 26–30 с, температура размягчения по методу КиШ — 26–30°C. Типичный групповой состав гудрона с этой установки: парафины — 2,24–3,90% масс., масла — 61–62,5% масс., асфальтены — 4,5–6,0% масс., смолы — 31,6–33,8% масс.

Окислительная колонна работала в режиме получения дорожного битума БНД 60/90. Расход гудрона в период пробега составлял 14–15 м³/ч, соотношение воздух: гудрон — 118–130 м³/м³, температура жидкой фазы в колонне — 263–275°C. Каждые четыре часа отбирали пробы битума и анализировали на соответствие качества ГОСТ 22245–90. Для определения показателей качества использовали стандартные методы по ГОСТ, соответствующие также методам EN, и дополнительные по показателям, необходимым по стандарту EN 12591–00. Сравнивая требования стандарта EN 12591–00 и ГОСТ 2224590, следует учитывать, что ГОСТ регламентирует

Таблица 1. Сравнительные нормы и характеристика окисленного битума (по результатам фиксированного пробега)

Показатель	70/100 (EN 1259100)	БНД 90/130 (ГОСТ2224500 с изм.№ 1)	Полученный битум
Пенетрация при 25°C, х 0,1 мм	70–100	91–130	82–90
Температура, °C:			
размягчения по КиШ	43–51	Не ниже 43	46–48
хрупкости	Не выше –10	Не выше –17	–18...–22
вспышки	Не ниже 230	Не ниже 230	296–300
Дуктильность при 25°C, см	Не менее 100	Не менее 65	90
Содержание парафинов,% масс.	Не более 2,2	Не норм.	2,04–3,1
Растворимость,% масс.,	Не менее 99	Не норм.	99,97–99,99
Изменение свойств после прогрева при 163°C в течение 5 ч			
Потеря массы,%	Не более 0,8		0,1–0,6
Изменение температуры размягчения, °C	Не более 9	Не более 5	2–7
Изменение пенетрации при 25°C,% от первоначальной величины	Не менее 46	Не менее 40	70–88

в основном свойства исходных битумов: пенетрация при 25 и 0°C, температура размягчения и хрупкости, и лишь один показатель изменение температуры размягчения после прогрева при 15 ч. Данный показатель характеризует термоокислительную стабильность битумов. За рубежом стандарт уделяет примерно равное внимание как свойствам исходного битума, так и свойствам битума после прогрева (табл. 1).

Из таблицы следует, что на данной установке можно получать битум марки 70/100, по всем показателям качества соответствующий стандарту EN 12591–00, кроме содержания парафинов. Присутствие парафиновых углеводородов обуславливает снижение пластичности, долговечности и других важнейших эксплуатационных характеристик товарных битумов.

В настоящее время существует несколько способов получения низкопарафинистого сырья для производства битумов. Один из них — активирование сырья при вакуумной перегонке введением оптимальных количеств специальных добавок. Например, при введении в мазут смеси Жаркакских нефтей 3% масс. экстракта селективной очистки масляных фракций наблюдается повышение выхода вакуумного дистиллята и снижение содержания в гудроне парафино-нафтеновых углеводородов с 9,5 до 3,4% [2]. Другой технологический способ — компаундирование «сухого» гудрона с концентратами полиароматических углеводородов, асфальтами деасфальтизации, тяжелыми прямогонными и каталитическими вакуумными газойлями, асфальтитами и др. Для получения «сухого» гудрона необходимо использование эффективных контактных устройств, систем тепло- и массообмена и обеспечение остаточного давления наверху колонны 20–30 мм рт.ст. [2]. Эффективнейшим способом повышения качества товарных нефтепродуктов является компаундирование. Его используют для получения практически всех

смешиваемых продуктов автомобильных бензинов, дизельных и котельных топлив, смазочных материалов и др. Теоретически возможно и целесообразно использование компаундирования как для подготовки сырья, так и для модификации свойств уже готовых битумов. Для производства неокисленных остаточных битумов необходим особый вид сырья — тяжелые высокосмолистые нефти типа венесуэльской и тяжелой арабской [3]. В мировой практике применяются как остаточные, так и компаундированные битумы. Последние представляют особый интерес: это стабильные мелкодисперсные системы, характеризующиеся хорошими адгезионными свойствами [4, 5].

Однако для получения остаточных и компаундированных битумов требуется коренное изменение технологии. Для изучения возможности получения компаундированного битума на НПЗ были проанализированы смеси из четырех образцов окисленного битума (с различной температурой размягчения) с гудроном вакуумного блока установки производства битума (УПБ). Качество гудрона с УПБ соответствовало нормам СТП: вязкость условная при 80°C — 33 с, температура размягчения по КиШ 28°C.

В табл. 2 представлены результаты компаундирования — качество полученных образцов битума. С увеличением количества битума в смеси растет температура размягчения при одновременном снижении растяжимости и пенетрации, причем изменение этих показателей довольно значительно. Ориентируясь на показатели качества товарных окисленных битумов (см. табл. 1), можно выделить образцы: партия № 2–8, 9, партия № 3–14, 15, партия № 4–20, 21, каждый из которых может соответствовать определенной марке. Например, образцы 8, 14 не только укладываются в нормы наиболее распространенных дорожных битумов БНД 90/130, но и значительно их превосходят. Если температура размягчения товарного битума, изготовленного по окислительной тех-

Таблица 2. Качество полученных компаундированием образцов битума

Показатель	Битум исходный	Смесь битум: гудрон, % масс.							
		95:5	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	60:40	
Партия № 1	Номер образца	-	1	2	3	4	5	-	-
	Температура размягчения по КиШ, °С	45	41	38,5	37,5	35	32	-	-
	Пенетрация при 25°С, х 0,1 мм	107	128	134	164	199	-	-	-
	Дуктильность при 25°С, см	Выше 100							
Партия № 2	Номер образца	-	6	7	8	9	10	-	-
	Температура размягчения по КиШ, °С	57	55	53	47	43	41	-	-
	Пенетрация при 25°С, х 0,1 мм	67	64	72	88	136	165	-	-
	Дуктильность при 25°С, см	Выше 100							
Партия № 3	Номер образца	-	-	11	12	13	14	15	16
	Температура размягчения по КиШ, °С	75	-	74	74	58	49	46	35
	Пенетрация при 25°С, х 0,1 мм	33	-	34	35	62	103	137	225
	Дуктильность при 25°С, см	6	-	6	60	62	Выше 100		
Партия № 4	Номер образца	-	-	17	18	19	20	21	22
	Температура размягчения по КиШ, °С	101	-	93,5	77	56	43,5	35	30
	Пенетрация при 25°С, х 0,1 мм	20	-	46	60	68	111	150	-
	Дуктильность при 25°С, см	10	-	25	28	50	110	Выше 100	

нологии, редко превышает 45°С, то рассматриваемые компаунды характеризуются таковой 47–49°С. Но к основным их достоинствам относится высокая растяжимость (> 100 см), что говорит о хороших пластичных свойствах. В целом полученные композиции представляют собой аналоги окисленных дорожных БНД 60/90 (образцы 6, 7 и 13, 18, 19), БНД 90/130 (образцы 8, 9) и БНД 130/200 (образцы 9, 10), производство которых

иными способами затруднено. Компаундированные битумы характеризуются большей растяжимостью и интервалом пластичности, чем битумы, получаемые в промышленных условиях методом окисления нефтяного сырья. Таким образом, для получения компаундированных битумов можно рекомендовать утяжеленный гудрон и переоxygenный компонент (битум БН 90/10) в соотношениях от 40: 60 до 60: 40.

Литература:

1. Белоконов Н.Ю., Компанец В.Г. и др. Исследование влияния группового состава гудронов на качество промышленных окисленных битумов // Нефтепереработка и нефтехимия. 2001. № 1. С. 21.
2. Кутын Ю.А., Хайрудинов И.Р., Мингаев С.С. и др. Производство и применение неокисленных дорожных битумов // Химия и технология топлив и масел. 2000. № 4. С. 20.
3. Грудников И.Б., Пранович А.А., Ипполитов Е.В. и др. Компаундированные дорожные битумы улучшенного качества // Нефтепереработка и нефтехимия. 2001. № 4. С. 34.
4. Гуреев А.А., Сомов В.Е., Луговской И.А., Иванов А.В. Новое в технологии производства битумных материалов // Химия и технология топлив и масел. 2000. № 2. С. 49.

Экологические аспекты применения биоэтанола в автомобильных топливах

Хужакулов Азиз Файзуллаевич, преподаватель;
Нуруллаева Зарина Валиевна, магистрант
Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Одним из перспективных составляющих топлив, повышающих антидетонационную стойкость бензинов, являются кислородсодержащие соединения (оксигенаты, в том числе биоэтанол), характеризующиеся высоким октановым числом смешения, низкой летучестью, пониженной фотохимической активностью. Возрастающее при этом в бензине содержание кислорода способствует дожигу оксида углерода в диоксид. Использование биоэтанола не только решает проблему повышения октанового числа бензина, но и расширяет область использования отходов сельскохозяйственного производства. В сравнении с другими возможными продуктами биоэтанол является наиболее вероятным потенциальным заменителем бензина. Моторные топлива, содержащие биоэтанол, обладают пониженным расходом горючего, меньшей эмиссией вредных веществ, хорошими антидетонационными и эксплуатационными свойствами по сравнению с бензином. Спирты не содержат серу и азот, поэтому рассматриваются как чистое топливо.

В большинстве случаев загрязнение городского воздуха вызвано высокой токсичностью выхлопных газов транспортных средств. Альтернативой обеспечивающей почти мгновенные результаты — использование топлива с полным сгоранием. Использование бензина с примесью биоэтанола — одно из предлагаемых решений в качестве топлива, обогащенного кислородом.

Углеводороды (СН) — важнейшие компоненты нефти и продуктов ее переработки. Нефть и бензин состоят из примесей различных углеводородов, насчитывающих свыше 250 видов. [1]. Многие из них токсичны, такие как бензин, являются канцерогенами (веществами, вызывающими онкологические заболевания). Углеводороды, выделяясь в атмосферу (заправка газовых цистерн, работа двигателей и т.п.), способствуют формированию околосреднего озонового слоя. Если бы не ужесточение контроля за выхлопными газами транспортных средств, в атмосферу бы выделялось от 30 до 50% углеводорода (от общих выбросов). Поскольку биоэтанол — спирт, при сгорании и испарении он не является источником выбросов углеводородов.

Озон образуется в воздухе при вступлении в реакцию углеводородов и окисей азота при солнечном свете (фотохимический смог). В теплые спокойные летние дни, когда смог наполняет воздух, образуя в нижних слоях атмосферы коричневую дымку, это представляет особую опасность для окружающей среды [2].

Альдегидные выбросы, образующиеся при сгорании этаноловых смесей, несколько выше, чем при сгорании только бензина, но концентрации токсичных веществ

чрезмерно низки и дополнительно снижаются благодаря трехканальному каталитическому конвертеру, устанавливаемому на все современные автомобили.

Монооксид углерода (СО) — ядовитый газ, образующийся при неполном сгорании топлива. Он легко выделяется в результате сгорания нефтяных топлив, не содержащих в молекулярной структуре кислорода. Это происходит в случаях, когда в двигатель попадает и сгорает излишнее количество топливно-воздушной смеси. Чтобы завести холодный двигатель, требуется больше топлива и меньше воздуха. При прогревании двигателя в зимний период, торможении и дальнейшем движении транспортные средства выделяют значительное количество токсичного газа. 82% монооксида углерода, 43% химически активных органических газов (предвестников озона) и 57% окисей азота выделяется транспортом, работающим на топливе с нефтяной основой. При введении биоэтанола содержание СО уменьшается. В зависимости от модели автомобиля и года его выпуска, используемой системы выхлопов и атмосферных условий можно достичь сокращения выбросов СО примерно до 30%.

Диоксид углерода (СО₂) — это обычный нетоксичный продукт сгорания топлива, но он способствует угрозе глобального потепления. Все топлива на нефтяной основе приводят к повышению уровня содержания двуокиси углерода в атмосфере, которая в какой-то степени балансируется сорбцией растений во время их роста. Растения «вдыхают» двуокись углерода и «выдыхают» кислород. Применение обновленных топлив, таких как биоэтанол, не повышает уровень содержания двуокиси углерода в атмосфере и даже может привести к существенному ее сокращению путем превращения двуокиси углерода в органическое вещество которое, возвращаясь в почву, удобряет ее и замедляет процесс эрозии. Использование биоэтанола в бензине — огромный потенциал для сокращения в атмосфере уровня двуокиси углерода.

Окиси азота (NO_x) образуются при высоких температурах горения, воздействуя на уровень околосреднего озона (фотохимический смог). Благодаря введению биоэтанола в бензин сокращаются выбросы отдельных компонентов бензина, таких как олефины и ароматические вещества. Исследования показали, что применение смесей биоэтанола при определенных условиях может несколько увеличить выбросы окисей азота, но степень их воздействия будет незначительной. Данные о снижении вредных выбросов при применении реформулированных бензинов с добавками оксигенатов приведены в таблице 1.

При использовании топлива Е85 (85% об. этанола, 15% об. неэтилированного бензина) или Е10 (10% об.

Таблица 1. Результаты применения реформулированных бензинов с добавками оксигенатов

Вредные выбросы	Снижение вредных выбросов
Токсичные вещества	-28%
Летучие углеводороды	-17%
Оксиды азота	-3%
Монооксид углерода	-13%
Диоксид углерода	-4%
Оксиды серы	-11%
Сажа	-9%

этанола, 90 % об. неэтилированного бензина) значительно улучшается качество воздушной среды и повышается эффективность энергетики. Результаты активной деятельности человечества за последние 200 лет привели к существенным выбросам антропогенных тепличных газов, в первую очередь двуокиси углерода, вызывающей парниковый эффект. Это повлияло на изменения в химическом составе атмосферы, что создало «ускоренный парниковый эффект», схожий с атмосферным одеялом, укрывающим газы [3]. «Если мировое потребление энергии достигнет уровней, запланированных согласно стандар-

тному расчету выбросы углерода превысят уровень 1990 г. на 44 % в 2010 г. и на 81 % в 2020 г. К 2014 г. выбросы углерода в развивающемся мире будут почти приближены к выбросам индустриализованного мира, а к 2020 г. выбросы в развивающемся мире превысят выбросы индустриализованного мира на 27 %» [3]. Проанализировав материалы по использованию энергии и выбросам парниковых газов, можно сделать вывод, что этанол в топливе E85 по сравнению с любыми иными видами топлив сокращает в несколько раз выбросы газов, вызывающих парниковый эффект.

Литература:

1. Технология переработки нефти. Ч. I. Под ред. О. Ф. Глаголевой и В. М. Капустина / М.: Химия, Колосс, 2005. С. 630.
2. Уильям Л. Лефлер. Переработка нефти. М. ЗАО Олимп-бизнес, М., 2003, 224 с.
3. Багиров И. Т., Современные установки первичной переработки. М., Химия, 1974, 240 с.

Разработка системы диспетчерского управления технологическим процессом учебно-экспериментальной установки целлюлозно-бумажного производства

Черемных Денис Николаевич, студент-магистрант;

Ташлыкова Елизавета Владимировна, студент-магистрант
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

В данной статье рассмотрена структура автоматизированной системы управления технологическим процессом учебно-экспериментальной установки, описаны технические средства автоматизации каждого уровня АСУТП, детально рассмотрен верхний уровень, представленный SCADA-системой. Приведено описание графического интерфейса оператора автоматизированной системы управления, представлен внешний вид системы диспетчерского управления и сбора данных учебно-экспериментальной установки.

Ключевые слова: целлюлозно-бумажное производство, учебно-экспериментальная установка; автоматизированная система управления технологическим процессом, SCADA-система.

На современных предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности технологический процесс получения бумаги и картона состоит из множества взаимосвязанных технологических операций [1], таких как:

- приготовление бумажной массы (размол и смешение компонентов, проклейка, наполнение и окраска бумажной массы);
- выработка бумажной массы на бумагоделательной машине (разбавление водой и очистка массы от загряз-

нений, отлив, прессование и сушка, а также первичная отделка);

- окончательная отделка (каландрирование, резка);
- сортировка и упаковка.

Обеспечение непрерывного протекания всего технологического процесса в настоящее время является одной из главных задач технического развития целлюлозно-бумажного предприятия. Такую задачу в полной мере решает внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) на всех этапах производства бумаги и картона. Построение АСУ ТП, с использованием современного измерительного и регулирующего оборудования, позволяет дистанционно наблюдать за ходом технологического процесса, а так же точно и своевременно регулировать многочисленные технологические параметры, оптимизируя работу, как отдельных операций, так и всего производства в целом.

Одним из ключевых этапов всего технологического процесса производства бумажной продукции является процесс подготовки бумажной массы, поскольку именно от содержания волокон макулатуры, целлюлозы и древесины в приготавливаемой бумажной массе сильно зависят ее различные свойства, влияющие на качество выработываемой бумаги или картона [1]. Исходя из этого, вытекает необходимость изучения и оптимизации системы управления технологическим процессом подготовки бумажной массы. С учетом того, что проводить экспериментальные работы на действующем оборудовании не представляется возможным, на кафедре микро-

процессорных средств автоматизации совместно с предприятием ООО «Пермский картон» была разработана и внедрена учебно-экспериментальная установка, являющаяся физической моделью технологического процесса подготовки бумажной массы. Данная установка в целом предназначена для имитации технологического процесса подготовки бумажной массы, и позволяет проводить эксперименты по изучению и разработке автоматизированных и автоматических систем управления, с целью обучения студентов университета и повышения квалификации сотрудников предприятия [2]. Функциональная схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1.

Конструктивно учебно-экспериментальная установка (рис. 1) состоит из пяти емкостей E1-E5, моделирующих основные технологические бассейны участка массоподготовки и набора технических средств автоматизации.

Основной частью экспериментальной установки является автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП), выполняющая такие основные функции как: контроль, управление, обмен данными, обработку, накопление и хранение информации

Автоматизированная система управления экспериментальной установки построена по классической трехуровневой схеме, в которой выделяют нижний, средний и верхний уровни. Каждый уровень представлен определенным набором технических средств автоматизации и управления. Рассмотрим коротко техническое обеспечение АСУТП экспериментальной установки.

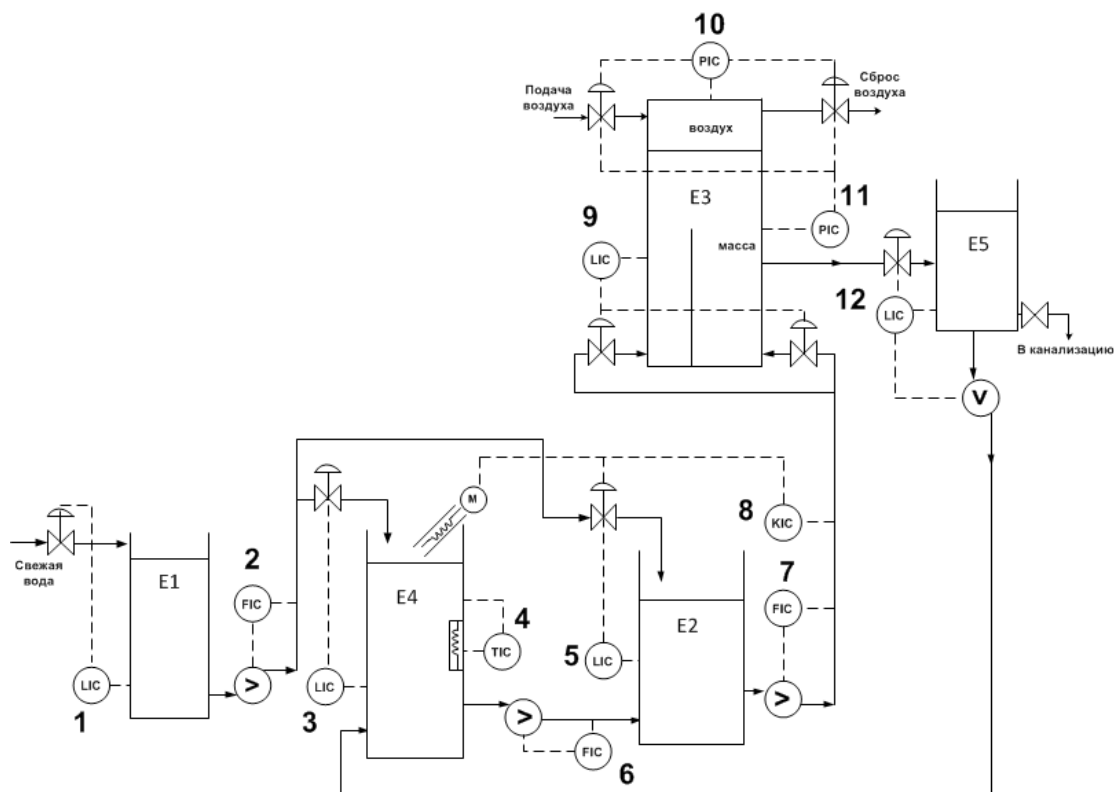


Рис. 1. Функциональная схема экспериментальной установки

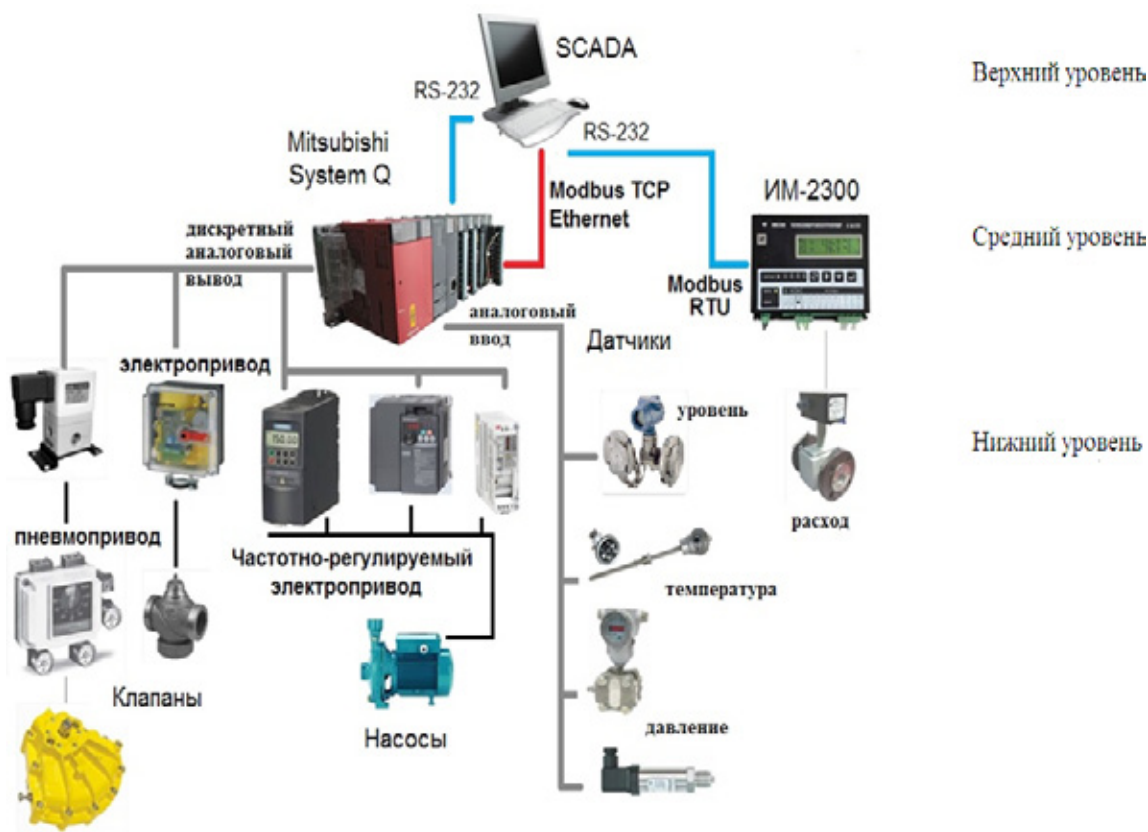


Рис. 2. Структурная схема АСУТП экспериментальной установки

Технические средства автоматизации нижнего уровня включают в себя следующие датчики и исполнительные механизмы: датчики избыточного давления АИР-10L-ДИ для измерения уровня, датчик дифференциального давления АИР-20/М2-ДД для измерения суммарного напора, измерители и преобразователи расхода ПРИМ, термопреобразователь ТСПУ-205, насосы *Calpeda NM 1/AE* с частотно-регулируемыми преобразователями *Mitsubishi FR-E700* и *ABB ACS50*, регулирующие клапаны *VUN* с электроприводом *AVM125S*.

Технические средства автоматизации среднего уровня представлены программируемым логическим контроллером *Mitsubishi Q-System* и теплоэнергоконтроллером ИМ-2300.

Верхний уровень — *SCADA* — система.

Структурная схема АСУТП экспериментальной установки изображена на рисунке 2.

Неотъемлемой частью многоуровневой автоматизированной системы управления является наличие верхнего уровня управления, построенного на базе *SCADA*-системы, где разрабатывается проект человеко-машинного интерфейса с графическим отображением протекания технологического процесса. В настоящее время *SCADA*-системы применяются практически во всех отраслях промышленности, требующих операторского контроля над технологическим процессом в реальном времени.

В рамках разработки автоматизированной системы управления технологическим процессом учебно-экспериментальной установки была поставлена задача выбора *SCADA*-системы. Поскольку система диспетчерского управления будет использоваться для разработки графического экрана экспериментальной установки, предназначенной, в первую очередь, для обучения студентов университета, то при выборе мы руководствовались тем, что *SCADA* не должна быть чрезмерно сложной в освоении, иметь понятный и простой интерфейс. Проанализировав большое количество систем различных фирм производителей, представленных на рынке, был сделан вывод, что они имеют примерно одинаковый набор функциональных возможностей для разработки верхнего уровня автоматизированных систем, поэтому, с учетом всех требований, было решено отдать предпочтение *SCADA*-системе *TRACE MODE* отечественной компании «*Adastra*».

Благодаря гибкости системы при создании как простых, так и сложных проектов, легкости привязок графических элементов к реальным параметрам технологического процесса, динамическому получению и передаче сигналов и данных, *Trace Mode* обеспечивает легкое изучение принципов проектирования *SCADA*-систем, поэтому она была выбрана нами за основу для разработки проекта [3].

Первым этапом создания проекта в *SCADA*-системе является разработка мнемосхемы, которая представляет

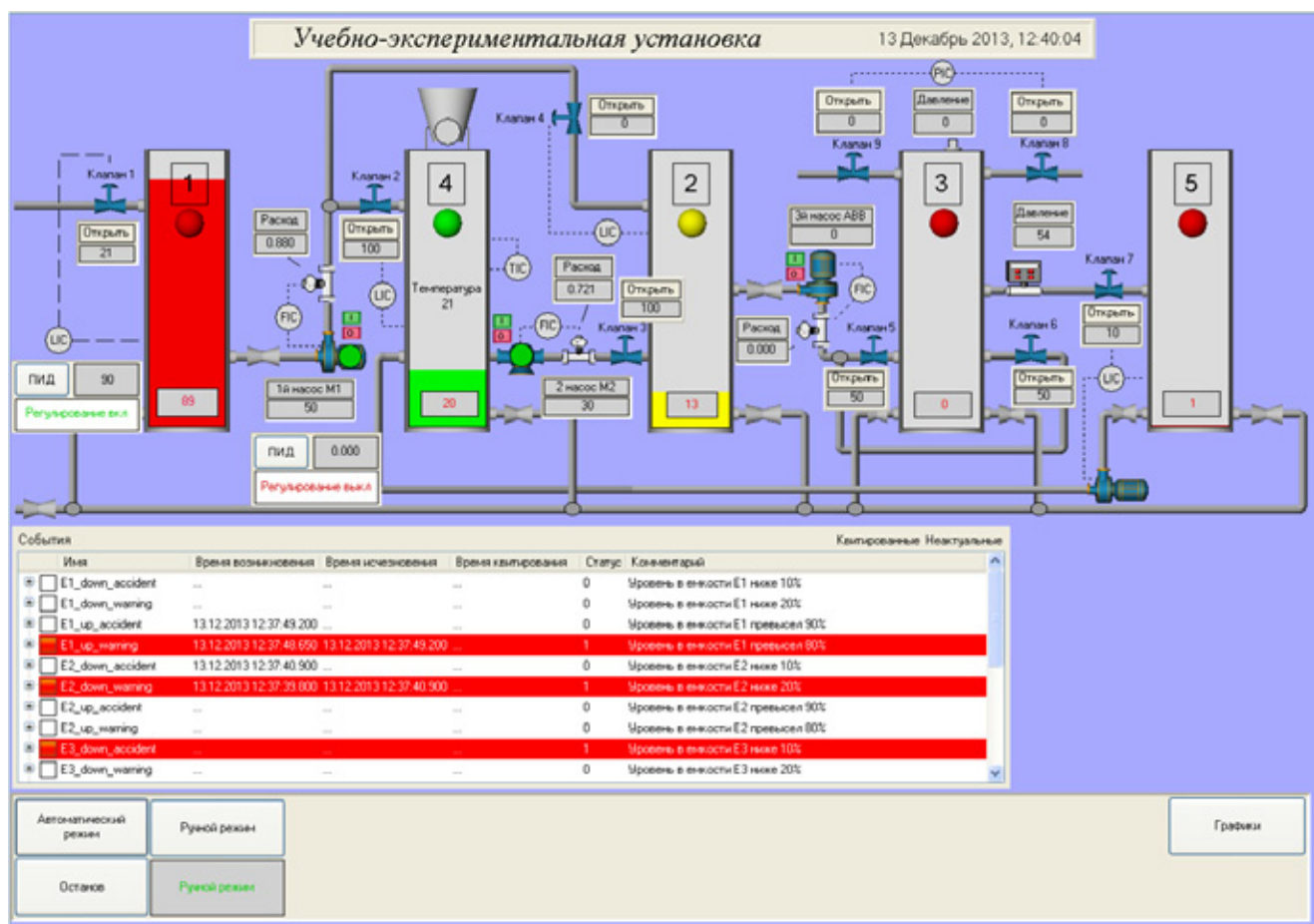


Рис. 3. Внешний вид графического экрана системы управления экспериментальной установкой в Trace Mode

собой информационную модель технологического процесса. Мнемосхема содержит совокупность статических и динамических объектов, которые отражают как общую картину состояния технологического процесса, так и состояние отдельных агрегатов, устройств и значения параметров [4].

Для рассматриваемой экспериментальной установки в соответствии с функциональной схемой был разработан интерфейс оператора АСУТП в SCADA-системе Trace Mode 6. Внешний вид графического экрана представлен на рисунке 3.

На графическом экране (рис. 3) изображена не только технологическая схема экспериментальной установки, включающая в себя основные ее элементы — емкости с системой трубопроводов, регулирующие клапаны, насосы и различные датчики, но также предусмотрены элементы индикации, управления и визуального наблюдения за ходом технологического процесса.

Каждый графический элемент, представленный на рис. 3, имеет множество редактируемых свойств, что позволяет получать на экране различные объекты, привязанные к входам/выходам ПЛК, и, следовательно, отражающие изменение реальных параметров технологического процесса. Для того чтобы объект изменял свой вид при изменении значения определенного параметра техноло-

гического процесса используются элементы анимации. В данном проекте простейшая анимация применяется для визуализации изменения уровня воды в бассейнах в соответствии с реальным значением уровня.

Для наблюдения за состоянием клапанов, для получения информации о частоте насосов и для отображения показаний всех датчиков в реальном времени на экране предусмотрены текстовые поля для вывода динамического текста. Для открытия регулирующих клапанов и для выставления частоты вращения насосов на экране размещены графические элементы — кнопки, позволяющие реализовать ввод числового значения (процент открытия клапана, частота вращения насосов в герцах) с клавиатуры. Для управления работой насосов на графическом экране размещены кнопки включения («I») и выключения («O»). Кроме этого, предусмотрены элементы индикации, показывающие, в каком состоянии находится насос (зеленый цвет индикатора — включен, красный — выключен).

Для предотвращения аварийных ситуаций, на каждой емкости размещена визуальная сигнализация, предупреждающая о том, что уровень воды приближается к критической границе (сигналы красного цвета) или предупреждающей границе (сигналы желтого цвета), это позволит оператору своевременно отреагировать на такую ава-

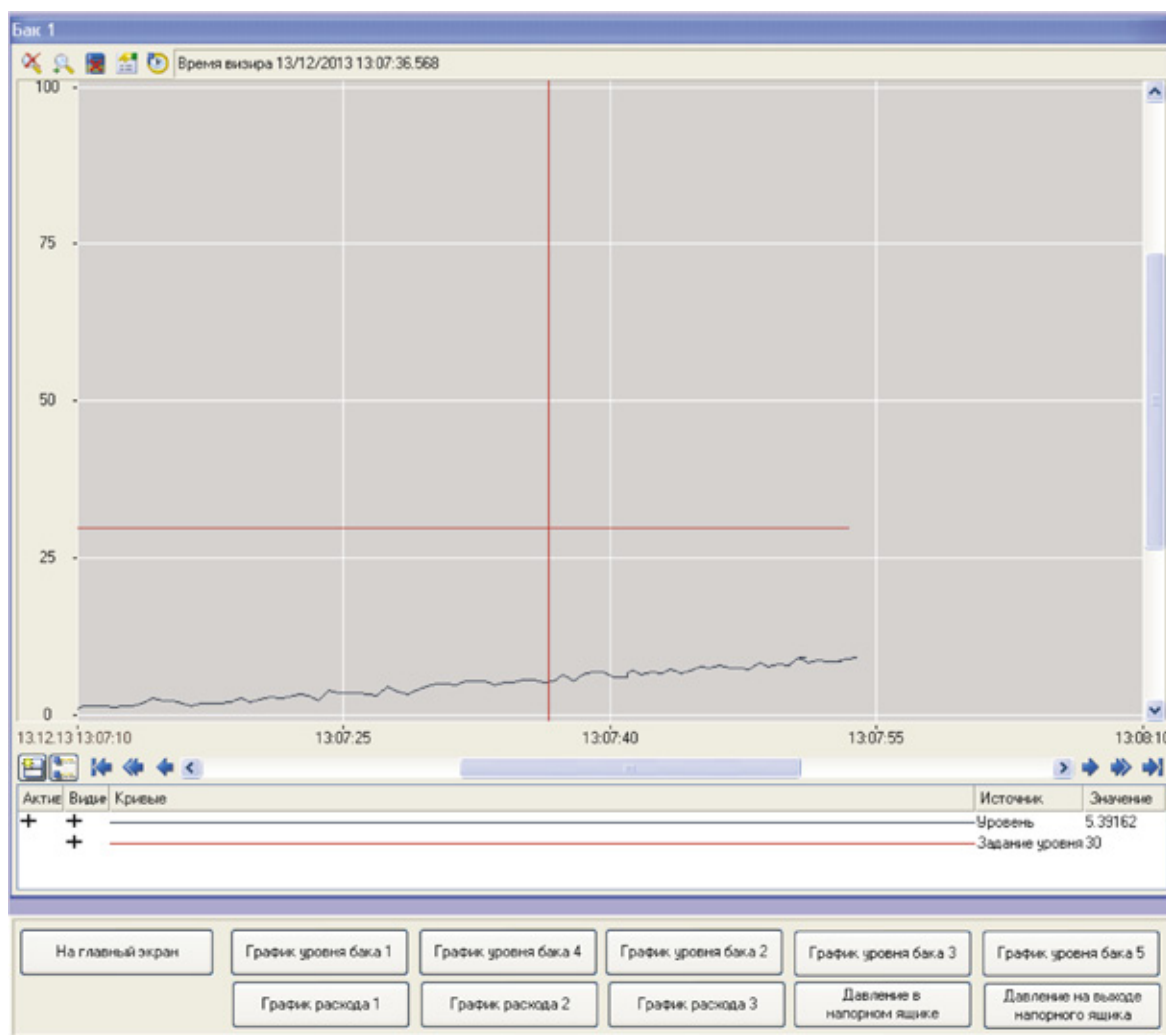


Рис. 4. Экран трендов

рийную ситуацию как перелив воды в емкости или ее опустошение. Однако только визуальной сигнализации недостаточно, в виду того, что иногда требуется сообщить оператору о близости значения параметра к аварийному значению и вести учет всех имевших место аварийных ситуаций [5]. Для этого в нашем проекте используем графический элемент «События», который позволяет фиксировать и отображать события, связанные с отклонением параметра и приближением его к критическому значению, а так же о времени их возникновения и исчезновения. Информация о событиях и тревогах формируется в отчет тревог, в виде текстового файла [6].

Все анимационные эффекты позволяют более наглядно представить технологический процесс и упростить управление системой.

Для отслеживания изменения значений параметров технологического процесса в реальном времени в проекте созданы тренды, которые позволяют просмотреть динамику изменения таких параметров как уровень, расход и давление. Тренды размещены на отдельном экране, переход на этот экран осуществляется при нажатии на кнопку «Графики» (рис. 4)

Применение разработанной системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) в автоматизированной системе управления позволит:

- получать и обрабатывать различные данные о параметрах технологического процесса и состоянии оборудования от программируемых логических контроллеров и от оборудования полевого уровня;
- выводить информацию о состоянии технологического процесса на графический экран оператора;
- отображать графики изменения значений технологических параметров в реальном времени;
- дистанционно управлять технологическим процессом и, в частности, регулирующим оборудованием;
- создавать документы, архивы, отчеты тревог.

Разработанный в программном продукте *Trace Mode* графический интерфейс оператора, получился простым, удобным для понимания и позволил отобразить на экране ход всего технологического процесса и изменение всех параметров. В совокупности с техническими средствами автоматизации различных уровней, и с программой управления, реализованной на программируемом логическом контроллере, SCADA-система формирует полноценную

автоматизированную систему управления технологическим процессом [8]. Дальнейшим этапом является расчет систем автоматического регулирования технологических параметров, и внедрение их в общую программу управления технологическим процессом экспериментальной установки.

Литература:

1. Шитов Ф. А. Технология целлюлозно-бумажного производства. — Москва: Высшая школа, 1978. — 288 с.
2. Даденков Д. А., Л. В. Поносова, А. Б. Петроченков, И. Г. Друзьякин, А. Г. Лейсле. Разработка экспериментальной установки имитации работы контуров регулирования технологических процессов производства бумаги предприятия ООО «Пермский картон» // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике: материалы III Всероссийской научно-технической интернет-конференции — Пермь: Изд-во ПГТУ, 2010. — С. 196–207.
3. Trace Mode. SCADA-система [электронный ресурс]. — URL: <http://www.adastra.ru/products/dev/scada/>
4. The Free Online Dictionary and Encyclopedia. Мнемосхема [электронный ресурс]. — URL: <http://ru.enc.tfode.com/Мнемосхема>
5. Ефимов И. П., Солуянов Д. А. SCADA — система TraceMode. Ульяновск: УлГТУ, 2010. — 158 с.
6. Пьявченко Т. А. Проектирование АСУ ТП в SCADA — системе. Учебное пособие по техническим дисциплинам «Автоматизированные информационно-управляющие системы» и «Интегрированные системы проектирования и управления». Таганрог: изд-во ТРТУ. 2007. — 78 с.
7. Д. А. Даденков, Д. Н. Черемных, А. А. Каверин. Разработка и реализация алгоритма управления технологическим процессом экспериментальной установки имитации контуров регулирования целлюлозно-бумажного производства // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике: материалы VI Международной научно-технической интернет-конференции (1–30 ноября 2012 г.) — Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012. — С. 296–308.

БИОЛОГИЯ

Особенности структуры припоселковых кедровников юга Западной Сибири

Дебков Никита Михайлович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель
Биологический институт Национального исследовательского Томского государственного университета

Припоселковые кедровники южнотаежного Приобья сформировались в результате многолетнего хозяйственного воздействия. На протяжении десятков лет человек охранял массивы припоселковых кедровников от пожаров, вырубал сопутствующие породы, фаутовые деревья и сухостой. Анализ строения и динамики насаждений припоселковых кедровников показывает, что большинство из них сформировалось из кедрово-лиственных древостоев в процессе стихийных уходов за кедром. Уходы проводились как в насаждениях с преобладанием кедра, так и в лиственных древостоях с наличием кедра во втором ярусе или в подросте. Лиственные породы вырубались на дрова или другие хозяйственные нужды. Рубки начинались при возрасте кедра от 5 до 20 лет, повторялись через 3–5 лет не менее 5–15 раз. Таким образом, создавались благоприятные экологические условия для роста и развития кедра и формирования припоселковых кедровников. Все проводившиеся работы были вызваны хозяйственными потребностями и велись бессистемно, но при любой рубке кедр щадили. Осветление кедра в основном положительно сказалось на состоянии кедровых древостоев и их орехопродуктивности [1]. В результате неоднородного хозяйственного давления в припоселковых кедровниках сформировались насаждения, различные по динамике и строению. В связи с этим в припоселковых кедровниках южно-таежного Приобья Ю. Б. Алексеев [2] выделил по степени хозяйственного воздействия 3 типа строения насаждений: таежный, окультуренный и промежуточный, а также 3 категории размещения деревьев по площади: регулярное, случайное и контагиозное. Примером регулярного размещения служат плодовые сады, случайное размещение особей подчиняется закону нормального распределения, контагиозное характеризуется чередованием загущенных био групп с менее заселенными пространствами.

Строение припоселковых кедровников характеризуется участием в сложении древостоев большого количества многовершинных деревьев. Это в значительной

степени определяет их высокую орехопродуктивность. Многовершинных деревьев в насаждениях промежуточного типа строения 40–60%, а в насаждениях окультуренного 70–100%. Отметим, что в таежных древостоях доля двух-трехвершинных деревьев колеблется от 2 до 12% [3]. Высокий процент многовершинных деревьев в припоселковых кедровниках вызван интенсивной эксплуатацией. В условиях разреженных насаждений кедр при утрате вершины формирует из замещающих побегов крону с мощным женским генеративным ярусом, что обеспечивает высокую орехопродуктивность многовершинных деревьев. В целом семенная продуктивность многовершинных деревьев в 2–3 раза выше одновершинных. Влияние антропогенных факторов отразилось в первую очередь на развитии кроны и на возрастной структуре насаждений припоселковых кедровников. Поэтому для отнесения отдельного насаждения к тому или иному типу строения предлагается пользоваться среднеквадратическими отклонениями возраста и протяжения кроны. Маршрутное обследование части припоселковых кедровников показало, что наибольшее распространение получили насаждения промежуточного типа строения, за ними следуют таежные кедровники.

Как было сказано раньше, насаждения припоселковых кедровников в своем большинстве сформированы путем разреживания лиственных древостоев с участием кедра в нижнем ярусе. К 30–40 годам процесс формирования обычно завершался. Густота сформированного древостоя определялась числом оставшихся деревьев кедра, которое обычно колебалось от 150 до 350 шт/га и в дальнейшем оставалось довольно постоянным. Преобладание одноярусных насаждений, простая возрастная структура, пониженная густота, раннее и обильное семеношение, неудовлетворительное возобновление под пологом леса — указывают на своеобразие возрастной динамики припоселковых кедровников, не укладывающейся в известные схемы развития кедровых лесов.

¹ Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ проект № 13–04–90804-мол_рф_нр.

Таблица 1. Характеристика припоселковых кедровников Томской области

Название	Тип леса	Площадь, га	Состав, ед.	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Класс бонитета	Полнота	Запас, м ³ /га
Аркашевский	мш	99,7	4К3Е2П1Б+С	138	23,7	42,7	III.0	0,48	282
	ртр	74,2	6К2П2Е+Б, ед. С	137	23,7	42,9	III.0	0,47	278
	тб	5,1	3К4Е3Б	130	20,0	28,0	IV.0	0,50	230
Протопоповский	шрт	247,5	10К+Е, ед. П, С	122	23,7	43,3	II.9	0,67	395
	шрт	119,2	8К1П1Е+С	127	23,7	43,7	III.0	0,50	292
Лоскутовский	осртр	2,4	6К4Е+С, Б	60	15,5	23,0	III.0	0,55	170
	тб	5,1	4К4Е2Б	100	19,0	24,0	IV.0	0,50	190
Магадаевский	шрт	61,0	7К2С1Е+Б, П ед. 0с	86,1	19,6	35,1	II.9	0,59	263
	шрт	197,1	6К2Е1С1П+Б ед. Лц	103	23,2	41,5	II.6	0,55	308
Вороновский	ртр	6,0	6К4Е+С, Б	100	22,5	36,0	II.5	0,55	275
	шрт	297,3	8К1Е1П+Б, 0с ед. С	118	23,9	43,2	II.9	0,59	352
Плотниковский	осрт	15,3	3К5Е2Б+П	100	20,5	30,0	III.0	0,60	260
	ртр	0,5	4К6Е	120	22,0	32,0	III.0	0,40	210
Лучаново-Илатовский	ртр	344,5	9К1Б+С, 0с ед. Е	111	22,4	37,4	II.9	0,50	271
	ртр	10,3	8К1Е1Б	103	20,7	34,7	III.0	0,50	230
Богашевский	шрт	80,9	8К1С1П+Е, Б, 0с	105	21,5	36,8	II.9	0,60	293
	шрт	3,2	8К2Б	80	20,0	32,0	II.5	0,65	290
Некрасовский	ртр	4,8	9К1С	75	21,0	34,0	II.0	0,50	240
	ртр	162,9	8К1П1Е+С ед. 0с, Б	126	23,9	42,7	III.0	0,57	338
Аксеновский	тб	2,0	5К4Е1Б	95	19,0	30,0	III.0	0,40	170
	ртр	105,6	7К1Е1С1Б ед. П	109	23,1	39,6	II.8	0,54	308
Белусовский	ртр	302,0	6К2Е2П ед. Б, С	121	23,5	41,6	III.2	0,55	319
	мш	50,0	4К3Е3П	127	23,0	40,0	III.5	0,50	280
Корниловский	ртр	18,3	7К2Е1П	110	22,0	40,0	III.0	0,40	210
	ртр	12,5	6К4Е+П, С	113	23,3	41,3	III.0	0,43	243
Сафроновский	ртр	58,3	6К3П1Е	155	24,0	44,0	III.0	0,45	270
	мш	14,0	5К3П2Е	140	23,0	40,0	III.0	0,50	280
Кудринский	ртр	65,7	6К2С2Е ед. Б, П, 0с	107	24,2	34,9	II.2	0,60	359
	ртр	169,1	9К1Е+С ед. 0с, Б, П	118	24,6	36,5	II.1	0,59	348
Зоркальцевский	тб	4,5	4К4Е2П+Б	145	25,0	36,0	III.0	0,50	310
	ртр	250,6	8К1П1С+0с ед. Е, Б	117	23,6	34,6	II.7	0,48	273
ИТОГО		2789,6	7К2Е1П+Б, С, ед. 0с, Лц	113	22	37	II.9	0,52	275

Насаждения припоселковых кедровников Томской области в большинстве своем условно одновозрастные (таблица 1 на стр. 149), преобладают средневозрастные древостои IV класса возраста (56,9%), далее идет III — 27,4%, V — 12,0% и II — 3,7%. Т.е. практически все кедровники стареют, и не имеют более молодой смены. По составу они чистые, но по мере удаления от населенных пунктов в них появляется, а затем увеличивается примесь сопутствующих пород, могут быть вкраплены небольшие участки других пород, лесные куртины, прогалины и нелесные земли. Усредненный формационный состав припоселковых кедровников выглядит следующим образом: кедр — 71%, ель — 7%, пихта — менее 1%, сосна — 8%, лиственница — 1%, береза — 7% и осина — 5%. Почти во всех припоселковых кедровниках присутствуют такие лесообразующие породы как ель, сосна и береза. Остальные встречаются реже, менее чем в половине насаждений. Производительность лесорастительных условий соответствует II–IV классам бонитета (в среднем III). Полноты варьируют в пределах 0,40–0,67 (в среднем 0,52), а запасы древесины 170–395 м³/га (в среднем 275 м³/га). Большинство кедровников относится к разнотравному и широколиственному типам леса, насаждения кедровника с участием других пород представлены преимущественно мшистыми типами леса.

Динамика таксационных показателей по типам леса выглядит следующим образом:

— в мшистом типе леса, занимающем 5,9% от общей площади кедровников состав древостоев 4К3Е3П+Б, ед. С, возраст — 135 лет, высота — 23 м, диаметр — 41 см, класс бонитета — III.2, полнота — 0,49, запас — 281 м³/га;

— в разнотравном типе леса, занимающем 56,8% от общей площади кедровников состав древостоев 7К2Е1П+С, ед. Б, возраст — 115 лет, высота — 23 м, диаметр — 38 см, класс бонитета — II.8, полнота — 0,50, запас — 278 м³/га;

— в осоково-разнотравном типе леса, занимающем 0,6% от общей площади кедровников состав древостоев

5К4Е1Б, ед. С, П, возраст — 80 лет, высота — 18 м, диаметр — 26 см, класс бонитета — III.0, полнота — 0,57, запас — 215 м³/га;

— в травяно-болотном типе леса, занимающем 0,6% от общей площади кедровников состав древостоев 4К4Е2Б, ед. П, возраст — 117 лет, высота — 21 м, диаметр — 29 см, класс бонитета — III.5, полнота — 0,47, запас — 225 м³/га;

— в широколиственном типе леса, занимающем 36,1% от общей площади кедровников состав древостоев 8К2Е+П, С, ед. Б, Ос, возраст — 106 лет, высота — 22 м, диаметр — 39 см, класс бонитета — II.8, полнота — 0,59, запас — 313 м³/га.

Сравнительный анализ структуры припоселковых кедровников Томской области и Красноярского края показал [4], что существенных отличий нет ни по составу, ни по другим таксационным показателям (таблица 2), что свидетельствует о единообразии их возникновения и дальнейшего формирования. Исключение составляет только производительность, которая выше у красноярских кедровников и равна I классу бонитета.

Также имеет определенный интерес сравнение параметров припоселковых кедровников с естественными насаждениями кедровника в равнинной части таежной зоны Западной Сибири. Динамика средних таксационных показатели кедровых насаждений орехово-промысловой зоны в оптимальном произрастания в средней тайге в пределах Парабельского лесничества Томской области в защитной группе лесов следующая: состав — 5К2Б2Е1П+С, Ос, возраст — 210 лет, класс бонитета — IV,0, полнота — 0,51, запас — 200–230 м³/га и в эксплуатационной группе лесов: состав — 4К2Б2Е1П1Ос+С, возраст — 200 лет, класс бонитета — III.8, полнота — 0,57, запас — 270–280 м³/га. Исходя из этих данных видно, что естественные (девственные) кедровники отличаются более высоким возрастом (на 2 класса возраста), меньшим участием кедровника в составе древостоев, а также имеют производительность ниже на I класс бонитет и соответственно несколько меньшую продуктивность насаждения.

Таблица 2. Характеристика припоселковых кедровников Красноярского края

Лесничество	Площадь, га	Состав, ед.	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Класс бонитета
Танзыбейское	41	4К4П2Б	70	16	20	II
	23	10К	80	17	20	II
	29	6К2С2Б+Ос	50	16	20	Ia
Ермаковское	14	6К2Б1С1Ос	50	16	23	Ia
	17	5К2С3Б	80	19	24	I
	16	4К3С3Б	80	18	20	I
Субботинское	26	9К1С	60	17	24	Ia
	15	7К3Б+С, Ос	70	21	37	Ia
	128	6К3Б1С+Ос	70	20	40	Ia
	30	10К+С, Б	80	21	34	Ia
	27	10К+С, Б	80	21	31	Ia
ИТОГО	366	7К2Б1С+П, ед. Ос	70	18	27	I

Резюмируя, можно отметить более упрощенную структуру припоселковых кедровников по сравнению с естественными (девственными) насаждениями. Это является следствием направленного трансформирования лесных насаждений с участием кедра, осуществляемое непрерывно на протяжении всего периода заселения Сибири русскими, начиная с похода Ермака. Однако изучение особенностей структуры этих кедровников показало, что последние поколения кедра были освобождены до революции 1917 года. В советское время расширению площадей плодоносящих припоселковых кедровников пра-

ктически не уделялось время. В частности это связано с тем, что общинное право собственности было нарушено и кедровники потеряли персонифицированного коллективного хозяина, который их охранял и защищал. На сегодняшний день, учитывая их жизненное состояние, можно сказать, что если не продолжить дело по созданию новых припоселковых кедровников, то в недалеком будущем мы можем лишиться этого феномена отечественного неиспользованного непрерывного и постоянного лесопользования.

Литература:

1. Правдин Л. Ф. Селекция и семеноводство кедра сибирского // Плодоношение кедра сибирского в Восточной Сибири. — Москва, 1963. — Т. 62. — С. 5–21.
2. Алексеев Ю. Б. Строение насаждений припоселковых кедровников // Известия СО АН СССР. Серия биологических наук. — 1975. — Вып. 2. — № 10. — С. 14–18.
3. Барышевцев В. В. Кедровники — плодовые сады // Лесной журнал. — 1917. — Вып. 1–3. — С. 121–124.
4. Масленков П. Г. Пути улучшения учета, использования и воспроизводства припоселковых кедровников юга Красноярского края // Проблемы региональной экологии. — Вып. 2. — Томск, 1994. — С. 86–90.

Молодой ученый

Ежемесячный научный журнал

№ 1 (60) / 2014

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор:

Ахметова Г. Д.

Члены редакционной коллегии:

Ахметова М.Н.

Иванова Ю.В.

Лактионов К.С.

Комогорцев М.Г.

Ахметова В.В.

Брезгин В.С.

Дядюн К. В.

Котляров А.В.

Яхина А.С.

Насимов М.О.

Лескова Е.В.

Ответственный редактор:

Кайнова Г.А.

Международный редакционный совет:

Айрян З. Г. (*Армения*)

Арошидзе П. Л. (*Грузия*)

Атаев З. В. (*Россия*)

Велковска Г. Ц. (*Болгария*)

Гайич Т. (*Сербия*)

Данатаров А. (*Туркменистан*)

Ешиев А. М. (*Кыргызстан*)

Игисинов Н. С. (*Казахстан*)

Лю Цзюань (*Китай*)

Нагервадзе М. А. (*Грузия*)

Прокопьев Н. Я. (*Россия*)

Прокофьева М. А. (*Казахстан*)

Ребезов М. Б. (*Россия*)

Хоналиев Н. Х. (*Таджикистан*)

Хоссейни А. (*Иран*)

Художник:

Шишков Е. А.

Верстка:

Бурьянов П.Я.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231.

E-mail: info@moluch.ru

<http://www.moluch.ru/>

Учредитель и издатель:

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2072-0297

Тираж 1000 экз.