

МОЛОДОЙ

ISSN 2072-0297

УЧЁНЫЙ

ежемесячный научный журнал

LA RELIGIEUSE.

ENCYCLOPÉDIE,
OU
DICTIONNAIRE RAISONNÉ
DES SCIENCES,
DES ARTS ET DES MÉTIERS,
PAR UNE SOCIÉTÉ DE GENS DE LETTRES.

PREMIER.

« Celui qui se sera étudié
sera bien avancé dans la

La réponse de M. le marquis
s'il m'en fait une, me fournira
gnes de ce récit. Avant que
voulu le connaître. C'est
s'est illustré au service;
rié; il a une fille et de
il est chéri. Il a de la
de l'esprit, de la gaieté
arts, et surtout de l'or
loge de sa sensibilité,
probité; et j'ai jugé par
pris à mon affaire, et par
dit que je ne t'étais point
dressant à lui: mais il n'
qu'il se détermine à changer moi
qui je suis, et c'est ce motif qu'
vaincre mon amour-propre et ma
en entreprenant ces mémoires, o
partie de mes malheurs, non tal
avec la naïveté d'un enfant de
ranchise de mon caractère.
specteur pourrait exiger, ou
isie me prendrait de le
ROMANS. T. III.

« Les choses dont on parle le plus parmi les hommes sont
assez ordinairement celles qu'on connaît le moins. »

« Lorsque les haines ont éclaté,
toutes les réconciliations sont fausses. »

15

2014

Часть I

ISSN 2072-0297

Молодой учёный

Ежемесячный научный журнал

№ 15 (74) / 2014

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*

Авдеюк Оксана Алексеевна, *кандидат технических наук*

Алиева Тарана Ибрагим кызы, *кандидат химических наук*

Ахметова Валерия Валерьевна, *кандидат медицинских наук*

Брезгин Вячеслав Сергеевич, *кандидат экономических наук*

Данилов Олег Евгеньевич, *кандидат педагогических наук*

Дёмин Александр Викторович, *кандидат биологических наук*

Дядюн Кристина Владимировна, *кандидат юридических наук*

Желнова Кристина Владимировна, *кандидат экономических наук*

Жуйкова Тамара Павловна, *кандидат педагогических наук*

Игнатова Мария Александровна, *кандидат искусствоведения*

Каленский Александр Васильевич, *доктор физико-математических наук*

Коварда Владимир Васильевич, *кандидат физико-математических наук*

Комогорцев Максим Геннадьевич, *кандидат технических наук*

Котляров Алексей Васильевич, *кандидат геолого-минералогических наук*

Кузьмина Виолетта Михайловна, *кандидат исторических наук, кандидат психологических наук*

Кучерявенко Светлана Алексеевна, *кандидат экономических наук*

Лескова Екатерина Викторовна, *кандидат физико-математических наук*

Макеева Ирина Александровна, *кандидат педагогических наук*

Мусаева Ума Алиевна, *кандидат технических наук*

Насимов Мурат Орленбаевич, *кандидат политических наук*

Прончев Геннадий Борисович, *кандидат физико-математических наук*

Семахин Андрей Михайлович, *кандидат технических наук*

Сенюшкин Николай Сергеевич, *кандидат технических наук*

Ткаченко Ирина Георгиевна, *кандидат филологических наук*

Яхина Асия Сергеевна, *кандидат технических наук*

На обложке изображен Дени Дидро (1713–1784) — французский писатель, философ-просветитель и драматург, основавший «Энциклопедию, или Толковый словарь наук, искусств и ремёсел».

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 издательства «Молодой ученый», г. Казань, ул. Академика Арбузова, д. 4

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».

Ответственные редакторы:

Кайнова Галина Анатольевна

Осянина Екатерина Игоревна

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)

Борисов Вячеслав Викторович, доктор педагогических наук, профессор (Украина)

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

Гайич Тамара, доктор экономических наук (Сербия)

Данатаров Агахан, кандидат технических наук (Туркменистан)

Данилов Александр Максимович, доктор технических наук, профессор (Россия)

Досманбетова Зейнегуль Рамазановна, доктор философии (PhD) по филологическим наукам (Казахстан)

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

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

Кадыров Кутлуг-Бек Бекмуратович, кандидат педагогических наук, заместитель директора (Узбекистан)

Кайгородов Иван Борисович, кандидат физико-математических наук (Бразилия)

Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)

Козырева Ольга Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент (Россия)

Лю Цзюань, доктор филологических наук, профессор (Китай)

Малес Людмила Владимировна, доктор социологических наук, доцент (Украина)

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

Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)

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

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

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

Сорока Юлия Георгиевна, доктор социологических наук, доцент (Украина)

Узаков Гулом Норбоевич, кандидат технических наук, доцент (Узбекистан)

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

Хоссейни Амир, доктор филологических наук (Иран)

Шарипов Аскар Калиевич, доктор экономических наук, доцент (Казахстан)

Художник: Евгений Шишков

Верстка: Павел Бурьянов

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Филиппенко В. И.

Спектральные разложения
квазидифференциальных операторов 1

ФИЗИКА

Данилов О. Е.

Виртуальный люксметр для учебных
физических опытов 5

Емельянов А. А., Козлов А. М., Бесклеткин В. В., Авдеев А. С., Киряков Г. А., Чернов М. В., Габзалилов Э. Ф.

Математическая модель синхронного
неявнополюсного дугостаторного двигателя
($Z_1/Z_2 = 6/12$) с трехфазной обмоткой
индуктора с нулевым проводом 9

Ципенюк В. Н.

Методы формирования пористого кремния
с различным размером пор и его состав 30

ХИМИЯ

Арсентьев М. Ю., Калинина М. В., Егорова Т. Л., Приходько А. В.

Поиск неорганических материалов для создания
Na-ионных электрохимических батарей
с использованием кристаллохимического
анализа 34

Боган В. И., Чупракова А. М., Максимюк Н. Н.

Оценка возможности определения
ионов тяжелых металлов в присутствии
мешающих ионов и способы их устранения
при потенциометрическом определении 39

Боровикова А. П., Ананьева М. В., Одинцова О. В.

Природа стадии обрыва цепи разветвленных
твердофазных цепных реакций 41

Чупракова А. М., Боган В. И., Максимюк Н. Н., Асенова Б. К.

Применение инверсионной вольтамперометрии
при контроле содержания мышьяка
в алкогольных напитках 45

ИНФОРМАТИКА

Данилов О. Е.

Учебная компьютерная модель физического
маятника 49

Еременко Л. Е.

Разработка базы данных для автоматизированной
информационной системы «Учет оказания
услуг в химчистке» 53

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Бутяков Н. А., Динмухаметов А. М.

Особенности отопления в городе
Набережные Челны 62

Величкин П. С., Мясоедов Д. В., Золотов А. Д.

Исследование потерь теплоты котла КЕ-25–14С
ТЭЦ-1 города Семей 65

Гаврилова Е. В., Губер Н. Б., Асенова Б. К.

Сравнение консистенции мясных
полуфабрикатов, исследованной структурно-
механическими и органолептическими
методами 68

Зайковский В. В.

Математическое моделирование неоднородного
электрического поля в аппаратах для разделения
водонефтяных эмульсий 71

Замиховский Л. М., Павлык В. В. Исследование диагностических признаков технического состояния газоперекачивающих агрегатов ГТК-25i фирмы Нуово-Пиньоне75	Миненко Е. Ю., Курамшин Д. Ю. Расчет виража с целью повышения безопасности движения на участке автомобильной дороги на подъезде к с. Камаевка Пензенской области 100
Захарова В. С., Амангузова Л. А. Квантово-химическое исследование форм тяжелых металлов, извлекаемых из водных растворов методом ионной флотации 80	Миненко Е. Ю., Сафонова Н. А. Оценка обеспеченности транспортной инфраструктурой придорожной полосы федеральной автодороги 1Р-208 Тамбов-Пенза 105
Инютин С. А., Елькин А. В., Прохоров А. А. Модель поперечных перемещений заглубленного трубопровода при воздействии ударной нагрузки.....83	Родимова Т. Д., Стребкова Л. А., Борисова Е. С. Основные направления исследований в области извлечения тяжёлых металлов из техногенных вод методом ионной флотации..... 108
Инютин С. А., Елькин А. В., Прохоров А. А. Модель продольных перемещений заглубленного трубопровода при воздействии ударной нагрузки..... 90	Шель И. А., Прохасько Л. С., Асенова Б. К. Изучение хранимоспособности рассольного сыра с растительными компонентами 111
Кузьмина Т. Е., Абучкаев Р. Р., Бодьян А. Н., Прач М. Д. Дизайн транспортной упаковки как целесообразная необходимость.....95	Шель И. А., Прохасько Л. С., Асенова Б. К. Органолептическая оценка рассольного сыра с растительными компонентами 114
Куличенко А. И., Козлов Д. В., Шпинько Э. А. Модернизации системы управления образовательным учреждением путем использования современных электронных технологий98	Шхалахов Д. С., Погребняк Р. А. Биомодификация низкосортного мясного сырья 116

МАТЕМАТИКА

Спектральные разложения квазидифференциальных операторов

Филиппенко Виктор Игнатьевич, кандидат физико-математических наук, доцент
Донской государственной технической университет, Южный математический институт Владикавказского научного центра

Теорема о спектральном разложении самосопряженных линейных операторов, по мнению многих авторов, является одной из самых удачных математических абстракций. Она имеет множество приложений в функциональном анализе и в математической физике и играет существенную роль в обосновании квантовой механики. С тех пор как эта теорема была впервые доказана Д. Гильбертом, ее содержание значительно расширилось. В настоящем сообщении построено спектральное разложение симметрического оператора, порожденного в гильбертовом пространстве, функций суммируемых с квадратом модуля, некоторой обобщенной квазидифференциальной операцией.

Рассмотрим симметрический оператор A , действующий в гильбертовом пространстве H и имеющий плотную в пространстве H область определения $D(A)$. Оператор A не предполагается самосопряженным, так что он является частью сопряженного с ним оператора A^* . В общем случае $D(A^*) \supset D(A)$.

Функция E_λ , определенная для любого вещественного λ , называется спектральной функцией оператора A , если выполнены следующие условия:

- а) для любого вещественного λ E_λ есть позитивный оператор;
- б) для любого элемента f гильбертова пространства H в котором рассматриваются A и E_λ , $(E_\lambda f, f)$ не убывает при возрастании параметра λ ;
- в) для любого элемента f гильбертова пространства H E_λ есть непрерывная слева в смысле нормы элемента функция параметра λ ;
- г) для любого элемента f гильбертова пространства H $E_\lambda f \rightarrow 0$, если $\lambda \rightarrow -\infty$, и $E_\lambda f \rightarrow f$, если $\lambda \rightarrow +\infty$. Причем эти предельные соотношения рассматриваются в смысле нормы элемента;
- д) если $\Delta = [\mu_1, \mu_2[$ — любой конечный промежуток и f — любой элемент из пространства H , то имеют место соотношения:

$$E(\Delta)f \in D(A^*), A^*E(\Delta)f = \int_{\mu_1}^{\mu_2} \lambda dE_\lambda f, \tag{1}$$

где $E(\Delta) = E_{\mu_2} - E_{\mu_1}$.

1. Спектральная функция называется ортогональной, если E_λ есть оператор ортогонального проектирования при любом вещественном значении λ . Если оператор A — самосопряженный, то он имеет только одну спектральную функцию и она — ортогональна. Обратное, всякая ортогональная спектральная функция однозначно определяет самосопряженный оператор A . Если же оператор A несамосопряженный, то он имеет неортогональные спектральные функции.

Согласно известной теореме М. А. Наймарка, для любой спектральной функции E_λ ($-\infty < \lambda < +\infty$) оператора A существует в некотором гильбертовом пространстве $\tilde{H} \supset H$ такое самосопряженное расширение \tilde{A} оператора A , что ортогональная спектральная функция \tilde{E}_λ ($-\infty < \lambda < +\infty$) оператора \tilde{A} связана с E_λ ($-\infty < \lambda < +\infty$) формулой

$$E_\lambda f = P\tilde{E}_\lambda f (f \in H), \tag{2}$$

где $P: \tilde{H} \rightarrow H$ — оператор ортогонального проектирования.
Учитывая (1), можно рассматривать равенство

$$f = \int_{-\infty}^{+\infty} dE_\lambda f \tag{3}$$

как разложение по обобщенным собственным элементам оператора A^* .

Для спектральных функций $E_\lambda (-\infty < \lambda < +\infty)$ симметрического оператора A , действующих в абстрактном гильбертовом пространстве, показано, что и в этом случае имеются «краевые условия», зависящие от параметра λ , которым удовлетворяют обобщенные собственные элементы оператора A^* , участвующие в разложении (3).

Пусть $E_\lambda (-\infty < \lambda < +\infty)$ — какое-либо разложение единицы в H , а α и β — фиксированные вещественные числа. Обозначим через $K_0(E_\lambda, \alpha, \beta)$ линейное многообразие векторных функций $g(\lambda) (\alpha \leq \lambda \leq \beta)$, принимающих значения в гильбертовом пространстве H и допускающих представление $g(\lambda) = \varphi_1(\lambda)g_1 + \varphi_2(\lambda)g_2 + \dots + \varphi_m(\lambda)g_m$, где $\varphi_k(\lambda) (k = 1, \dots, m)$ — произвольные непрерывные комплекснозначные функции параметра λ , а $g_k (k = 1, 2, \dots, m)$ — произвольные элементы из пространства H . Для различных векторных функций эти элементы и их число могут быть разными.

Для любых вектор-функций $g(\lambda), h(\lambda) \in K_0(E_\lambda, \alpha, \beta)$ существует интеграл

$$\int_{\alpha}^{\beta} ((dE_\lambda)g(\lambda), h(\lambda)) = \lim_{\omega \rightarrow 0} \sum_{k=0}^{n-1} ((E_{\lambda_{k+1}} - E_{\lambda_k})g(\lambda'_k), h(\lambda'_k)), \tag{4}$$

где $\alpha = \lambda_0 < \lambda_1 < \dots < \lambda_n = \beta; \lambda'_k \in [\lambda_k, \lambda_{k+1}] (k = 0, 1, \dots, n-1), \omega = \max(\lambda_{k+1} - \lambda_k)$.

Введем в рассмотрение совокупность $K_1(E_\lambda; \alpha, \beta)$ вектор-функций $g(\lambda) (\alpha \leq \lambda \leq \beta)$, которые принимают значения в пространстве H , и, кроме того, удовлетворяют следующему условию: при любом $\varepsilon > 0$ для функции $g(\lambda) (\alpha \leq \lambda \leq \beta)$ существует такая функция $g_\varepsilon(\lambda) \in K_0(E_\lambda; \alpha, \beta)$, что выполняется следующее условие:

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} \sum_{k=0}^{n-1} ((E_{\lambda_{k+1}} - E_{\lambda_k})(g(\lambda'_k) - g_\varepsilon(\lambda'_k)), (g(\lambda'_k) - g_\varepsilon(\lambda'_k))) < \varepsilon, \text{ где } \lambda_k, \lambda'_k \text{ и } \omega \text{ имеют прежний смысл. Множество } K_1(E_\lambda; \alpha, \beta) \text{ является, очевидно, линейным многообразием и вместе с векторной функцией } g(\lambda) (\alpha \leq \lambda \leq \beta) \text{ ему принадлежит также } \varphi(\lambda)g(\lambda) (\alpha \leq \lambda \leq \beta), \text{ какова бы ни была непрерывная комплекснозначная функция } \varphi(\lambda). \text{ Легко убедиться, что при любых } g(\lambda) \text{ и } h(\lambda) \text{ из совокупности } K_1(E_\lambda; \alpha, \beta) \text{ существует интеграл (4).}$$

Если значения интеграла (4) принять за скалярное произведение $[g, h]$ векторных функций $g(\lambda)$ и $h(\lambda)$, то $K_1(E_\lambda; \alpha, \beta)$ превратится в гильбертово пространство, в общем случае — неполное. Пополнение пространства $K_1(E_\lambda; \alpha, \beta)$ является, очевидно, пополнением и для пространства $K_0(E_\lambda; \alpha, \beta)$ в этой же метрике. Заметим, что пополнение пространства $K_0(E_\lambda; -\infty, +\infty)$ совпадает по существу с пространством \tilde{H} , которое можно использовать при оценке кратности спектра самосопряженного расширения оператора A [1].

Лемма. Если E_λ есть спектральная функция симметрического оператора A , то для любых вектор-функций $g(\lambda), h(\lambda) \in K_1(E_\lambda; \alpha, \beta)$ существует операторный интеграл Стильтеса

$$\int_{\alpha}^{\beta} (A^*(dE_\lambda)g(\lambda), h(\lambda)) = \lim_{\omega \rightarrow 0} \sum_{k=0}^{n-1} (A^*(E_{\lambda_{k+1}} - E_{\lambda_k})g(\lambda'_k), h(\lambda'_k)) \quad \text{и имеет место формула}$$

$$\int_{\alpha}^{\beta} (A^*(dE_\lambda)g(\lambda), h(\lambda)) = \int_{\alpha}^{\beta} ((dE_\lambda)\lambda g(\lambda), h(\lambda)) = \int_{\alpha}^{\beta} ((dE_\lambda g(\lambda), \lambda h(\lambda))).$$

2. Пусть матрица $F = (f_{ij})$ имеет размерность $(n \times n)$ и составлена из комплекснозначных функций, определенных на интервале $I = (a; b), (-\infty \leq a < b < +\infty)$ и удовлетворяющих следующим условиям:

- (i) $f_{ij} = 0$ в интервале I для индексов, удовлетворяющих неравенствам $2 \leq i + 1 < j \leq n$;

- (ii) f_{ij} — локально суммируемы, т. е. $f_{ij} \in L_{loc}(I)$ для $1 \leq i, j \leq n$;
- (iii) $f_{i,i+1} \neq 0$ в I для $1 \leq i \leq n-1$.

Определим квазипроизводные $y^{[k]}$ следующим образом:

$$y^{[0]} = y, \quad y^{[i]} = f_{i,i+1}^{-1} \left[(y^{[i-1]})' - \sum_{j=1}^i f_{ij} y^{[j-1]} \right], \quad i = 1, \dots, n-1, \quad y^{[n]} = (y^{[n-1]})' - \sum_{j=1}^n f_{nj} y^{[j-1]}.$$

Этот подход к определению квазипроизводных и соответствующего формально самосопряженного квазидифференциального выражения предложен в работе [2]. В дальнейшем предполагаем, что функции y и их квазипроизводные до $(n-1)$ -го порядка включительно абсолютно непрерывны на любом компактном подынтервале промежутка I . Поскольку в дальнейшем будем рассматривать только симметрические квазидифференциальные выражения, то предположим, что матрица F , кроме требований (i), (ii) и (iii), удовлетворяет также условию симметричности: $F = -J^{-1}F^*J$, где F^* — матрица, сопряженная к матрице F , $J = \left((-1)^i \delta_{i,n+1-j} \right)$, δ_{ij} — символ Кронекера. Легко убедиться, что $J^* = (-1)^{n+1}J$, где n — натуральное число. Матрица J — косоэрмитова, если натуральное число n — четно, а матрицы $iJ, -iJ$ — косоэрмитовы, если натуральное число n — нечетно. Можно считать, что скалярное дифференциальное выражение $l[y] = i^n y^{[n]}$, где i — мнимая единица, порождается матрицей F . Квазидифференциальная операция l определяет минимальный замкнутый симметрический оператор L_0 в гильбертовом пространстве $L^2(I)$.

Пусть, например, L_0 симметрический квазидифференциальный оператор с минимальной областью определения в пространстве $L^2(a, b)$, порожденный квазидифференциальным выражением $l[y]$ порядка n . Концы рассматриваемого промежутка (a, b) не предполагаются регулярными, т. е. могут быть сингулярными. В этом случае формула (3) реализуется в виде разложения по решениям уравнения

$$l[y] - \lambda y = 0, \tag{5}$$

Решения уравнения (5) играют роль обобщенных собственных элементов оператора L^* .

Для любых функций y и z , к которым применима квазидифференциальная операция l , имеет место обобщенная формула Лагранжа

$$l[y]\bar{z} + (-1)^{n+1} y \bar{l}(z) = \{y, z\}', \tag{6}$$

где $\{y, z\} = \sum_{j=0}^{n-1} (-1)^{n+1-j} y^{[j]} \bar{z}^{[n-j-1]}$. Интегрируя почленно левую и правую части формулы Лагранжа (6), получим формулу Грина

$$\int_{\alpha}^{\beta} l[y]\bar{z} dx + (-1)^{n+1} \int_{\alpha}^{\beta} y \bar{l}[z] dx = \{y, z\} \Big|_{x=\alpha}^{x=\beta}, \quad \alpha, \beta \in I,$$

где $\{y, z\} \Big|_{\alpha}^{\beta} = \{y, z\}(\beta) - \{y, z\}(\alpha)$. Пусть $y^{[0]}, y^{[1]}, \dots, y^{[n-1]}$ — квазипроизводные функции y , а $\tilde{y} = colon(y^{[0]}, \dots, y^{[n-1]})$, составленный из этих квазипроизводных, — вектор-столбец. Заметим, что $\{y, z\} = (\tilde{J}\tilde{y}, \tilde{z})$, где $(\cdot; \cdot)$ — скалярное произведение в n -мерном евклидовом пространстве. Матрица $\tilde{J} = J$, если n — четно, и $\tilde{J} = \pm iJ$, если n — нечетно, позволяет тождество Лагранжа можно переписать в виде $l[y]\bar{z} - y \bar{l}[z] = \frac{d}{dx} (\tilde{z}^* \tilde{J} \tilde{y})$.

Теорема 1. Пусть F — матрица-функция, удовлетворяющая условиям: (i), (ii), (iii). Квазидифференциальная операция $l[y]$ задана обычным образом. Дополнительно предположим, что функции w, f — локально суммируемы на рассматриваемом промежутке. Кроме того, предположим, что функция w положительна на промежутке I . Тогда для любого комплексного числа λ , любого вещественного числа $t_0 \in I$ и любых комплексных чисел $c_i \in \mathbb{C}$, $i = 0, 1, \dots, n-1$, существует единственное решение y , заданное на промежутке I , начальной задачи $l[y] = \lambda w y + f$ при условии $y^{[i]}(t_0) = c_i$, $i = 0, 1, \dots, n-1$.

Доказательство в целом повторяет рассуждения, приведенные в [3, 4].

Теорема 2. Пусть $I = [a, b]$, $-\infty < a < b < +\infty$, $l[y] = i^n y^{[n]}$, матрица F , удовлетворяет требованиям (i) — (iii) и условию симметричности. Тогда для любых комплексных чисел α_i, β_i , $i = 0, \dots, n-1$ существует функция u , принадлежащая области определения D операции l , такая что $u^{[i]}(a) = \alpha_i$, $u^{[i]}(b) = \beta_i$, $i = 0, \dots, n-1$.

3. Как известно, каждой спектральной функции E_t ($-\infty < t < +\infty$) оператора L_0 отвечает некоторая обобщенная резольвента R_λ , определяемая формулой

$$R_\lambda = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dE_t}{t - \lambda} \quad (\text{Im } \lambda \neq 0).$$

При помощи формулы обращения Стильтьеса спектральная функция E_t однозначно восстанавливается по обобщенной резольвенте R_λ ; для любых функций $f(x)$ и $g(x)$ из $L^2(a, b)$ и любых вещественных α и β имеет место равенство:

$$(E_{\alpha, \beta} f, g) = \frac{1}{2\pi i} \lim_{\tau \rightarrow +0} \int_{\alpha}^{\beta} ([R_{\sigma+i\tau} - R_{\sigma-i\tau}] f, g) d\sigma. \quad (7)$$

Равенство (7) позволяет построить формулу всех спектральных функций E_t оператора L_0 .

Пусть R_λ — какая-либо обобщенная резольвента оператора L_0 и $M(\lambda)$ — ее характеристическая матрица. При любых вещественных σ определим матрицу $T(\sigma)$ формулой

$$T(\sigma) = \frac{1}{\pi} \lim_{\tau \rightarrow +0} \int_0^{\sigma} \text{Im } M(v + i\tau) dv. \quad (8)$$

Формула (8) имеет смысл при любом вещественном σ и $T(\sigma)$ является неубывающей матричной функцией. Матрицу $T(\sigma)$ называют спектральной функцией распределения оператора L_0 , соответствующей обобщенной резольвенте R_λ .

Пусть $L_T^2(-\infty, +\infty)$ — гильбертово пространство n -мерных векторных функций $\eta(\sigma) = (\eta_1(\sigma), \eta_2(\sigma), \dots, \eta_n(\sigma))$ ($-\infty < \sigma < +\infty$), которые будем рассматривать как одностробцевые матричные функции; скалярное произведение в пространстве $L_T^2(-\infty, +\infty)$ определяется формулой

$$(\eta, \chi) = \int_{-\infty}^{+\infty} \chi^*(\sigma) dT(\sigma) \eta(\sigma).$$

Теорема 3. Для любой функции $f(x) \in L^2(a, b)$ имеет место равенство $\int_a^b |f(x)|^2 dx = \int_{-\infty}^{+\infty} \eta^*(f; \sigma) dT(\sigma) \eta(f; \sigma)$, где $\eta(f; \sigma) = \int_a^b f(s) \tilde{y}(s; \sigma) ds$; а несобственный интеграл $\int_{-\infty}^{+\infty} \eta^*(f; \sigma) dT(\sigma) \eta(f; \sigma)$ сходится в смысле метрики пространства $L_T^2(-\infty, +\infty)$.

Литература:

1. Филиппенко, В.И. Линейные квазидифференциальные операторы в гильбертовом пространстве // Исследования по функциональному анализу и его приложениям. — М.: Наука, 2006. с. 293–344.
2. Everitt, W. N. Generalized symmetric ordinary differential expressions 1: The general theory/W. N. Everitt, A. Zettl // Nieuw Archief Vood Wiskunde, 1979. — V. 27, №3. — P. 363–397.
3. Филиппенко, В.И. Обобщенные резольвенты неплотно заданного квазидифференциального симметрического оператора // Труды участников Международной школы-семинара по геометрии и анализу памяти Н.В. Ефимова, 5–11 сентября 2006 года. Ростов-на-Дону: Изд-во ООО «ЦВВР», 2006. — с. 167–169.
4. Фетисов, В.Г. Исследования по теории операторов и их приложениям. Монография [Текст]/В.Г. Фетисов, В.И. Филиппенко. — Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2008. — 185 с.

ФИЗИКА

Виртуальный люксметр для учебных физических опытов

Данилов Олег Евгеньевич, кандидат педагогических наук, доцент
Глазовский государственный педагогический институт имени В. Г. Короленко (Удмуртская Республика)

Предлагается использовать на уроках физики люксметр, самостоятельно изготовленный учителем. Он представляет собой аналоговый датчик освещенности, сопрягаемый с компьютером при помощи десятиразрядного аналого-цифрового преобразователя, который также может быть изготовлен самостоятельно. Такой компьютерный измеритель освещенности (виртуальный люксметр) позволяет демонстрировать учащимся на экране значение освещенности в данный момент времени и график зависимости освещенности от времени.

Ключевые слова: виртуальный прибор, датчик освещенности, люксметр, аналого-цифровой преобразователь, виртуальный измеритель освещенности.

Для того чтобы представить в наглядном виде учебную информацию об измеряемой аналоговым датчиком физической величине с помощью средств визуализации компьютера, создается измерительный комплекс, который включает датчик измеряемой физической величины, компьютер, устройство сопряжения датчика с компьютером и программное обеспечение [1, с. 2–6; 2; 6, с. 8–9; 7; 8].

Компьютер работает с дискретными величинами, поэтому основной частью любого виртуального измерительного прибора с аналоговым датчиком на базе компьютера является устройство сопряжения, преобразующее аналоговый сигнал в цифровой, — аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Фактически это цифровой вольтметр [1, с. 88–90]. Таким образом, любой аналоговый датчик, на выходе которого получается электрическое напряжение, пропорциональное измеряемой этим датчиком физической величине, может быть согласован с этим вольтметром, если напряжение на выходе датчика не превышает максимальное входное напряжение АЦП [2; 8].

В качестве такого прибора может использоваться десятиразрядный АЦП на базе микросхемы TLC1549IP [2]. Он может успешно применяться как устройство сопряжения аналоговых датчиков с компьютером и является основным элементом учебного виртуального измерительного комплекса. Входное напряжение такого АЦП не должно превышать 5 В, точность измерений напряжения примерно равна 0,005 В [2]. Прибор может быть подключен к СОМ-порту компьютера (последовательному порту RS232) или к USB-шине компьютера с помощью адаптера USB-COM. Это позволяет под-

ключать его и к достаточно давно выпущенным компьютерам, еще имеющим СОМ-порт, и к современным, у которых СОМ-порт уже отсутствует. В случае подключения устройства к USB-шине необходимо будет установить специальную программу-драйвер для создания виртуального СОМ-порта. При этом надо обратить внимание то, что увеличится погрешность при измерении интервалов времени. Связано это со спецификой работы контроллера USB и с тем, что адаптеру необходимо некоторое время для преобразования сигнала, поступающего от устройства к компьютеру [2; 8].

В качестве фотометрического датчика в составе измерительного комплекса мы используем датчик на базе светодиода ВРW34. Принципиальная схема такого аналогового датчика представлена на рис. 1 [5].

Максимальное выходное напряжение датчика равно 5 В. Четыре резистора, которые можно подключать к цепи обратной связи первого каскада усилителя, реализованного на базе микросхемы LM358, позволяют проводить измерения освещенности с верхними пределами 50, 500, 5000 и 50000 лк. При измерениях стоит помнить о том, что при уровне освещенности выше 10000 лк линейность характеристики светодиода ВРW34 производителем не гарантируется [1, с. 124]. Питание устройства может осуществляться от обычной гальванической батареи или какого-то другого стабилизированного источника постоянного напряжения [9]. На рис. 2 показан собранный датчик с подключенным питанием, напряжение на выходе которого для его настройки контролируется с помощью мультиметра. Мультиметр показывает напряжение, равное 348 мВ, что в данном случае соответствует освещенности

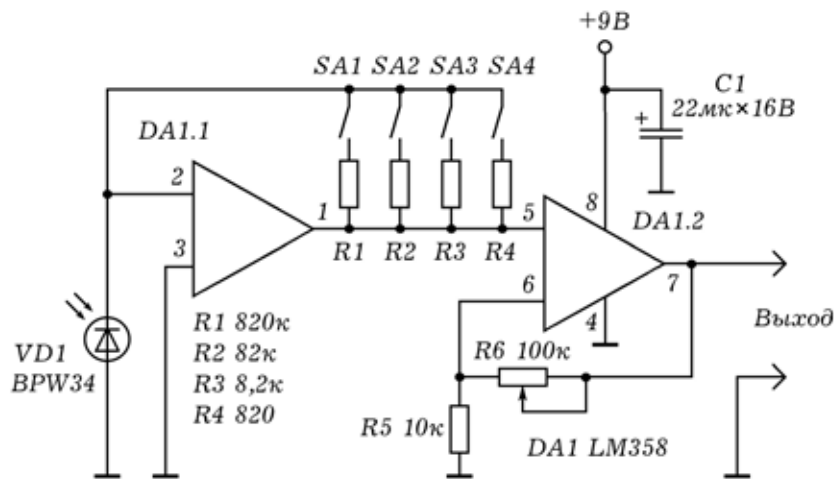


Рис. 1. Принципиальная схема аналогового датчика освещенности

348 лк. На рис. 3 датчик подсоединен к АЦП, сигнал с которого затем будет передаваться в компьютер. Ранее для сейчас уже устаревших моделей компьютеров мы использовали также в качестве АЦП другой прибор, показанный на рис. 4. Он подключался к LPT-порту компьютера.

Программное обеспечение учебного виртуального компьютерного прибора должно иметь развитый графический интерфейс [3; 4; 5; 7]. Наша практика показывает, что для таких приборов удобнее создавать относительно небольшие программы, ориентированные на решение узкоспециальных измерительных задач. Пользователю про-



Рис. 2. Демонстрация того, как датчик переводит единицы освещенности в единицы электрического напряжения

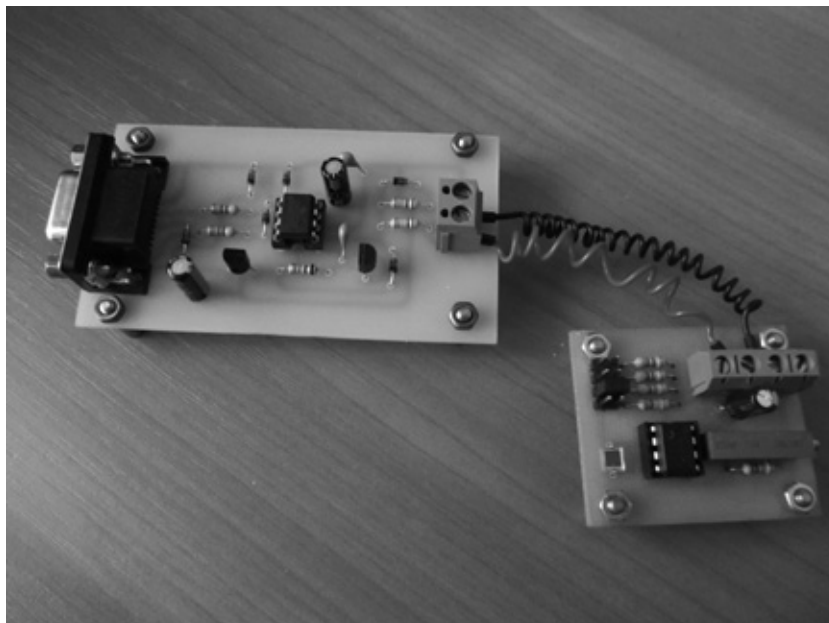


Рис. 3. Датчик освещенности, присоединенный к АЦП

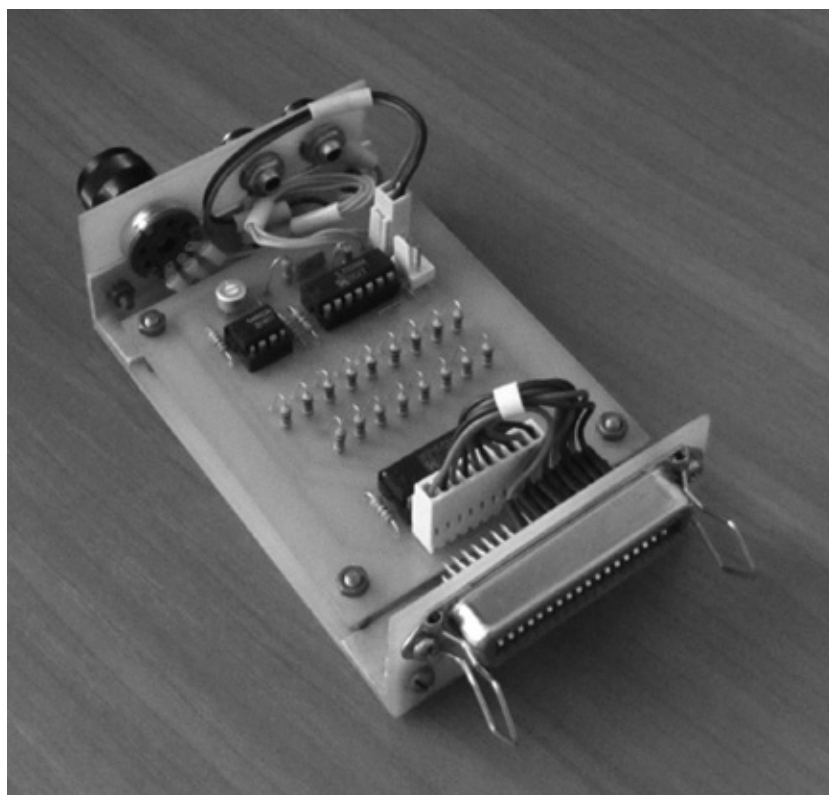


Рис. 4. АЦП для подключения к LPT-порту

граммы предоставляется минимально необходимый вариант автоматизированного управления виртуальной измерительной системой, что существенно облегчает его работу с ней, так как сокращает время подготовки прибора к работе, а его настройка не отвлекает от более важного для обучения процесса осмысления результатов измерений. Окно приложения, обеспечивающего работу

с люксметром, показано на рис. 5. Созданная нами программа предназначена для работы с операционными системами Windows XP, Windows Vista и Windows 7. В окне приложения размещены следующие элементы: верхнее меню, включающее пункты «Файл», «Измерения», «Справка»; место для визуализации графика зависимости измеряемой освещенности от номера измерения (времени); инди-

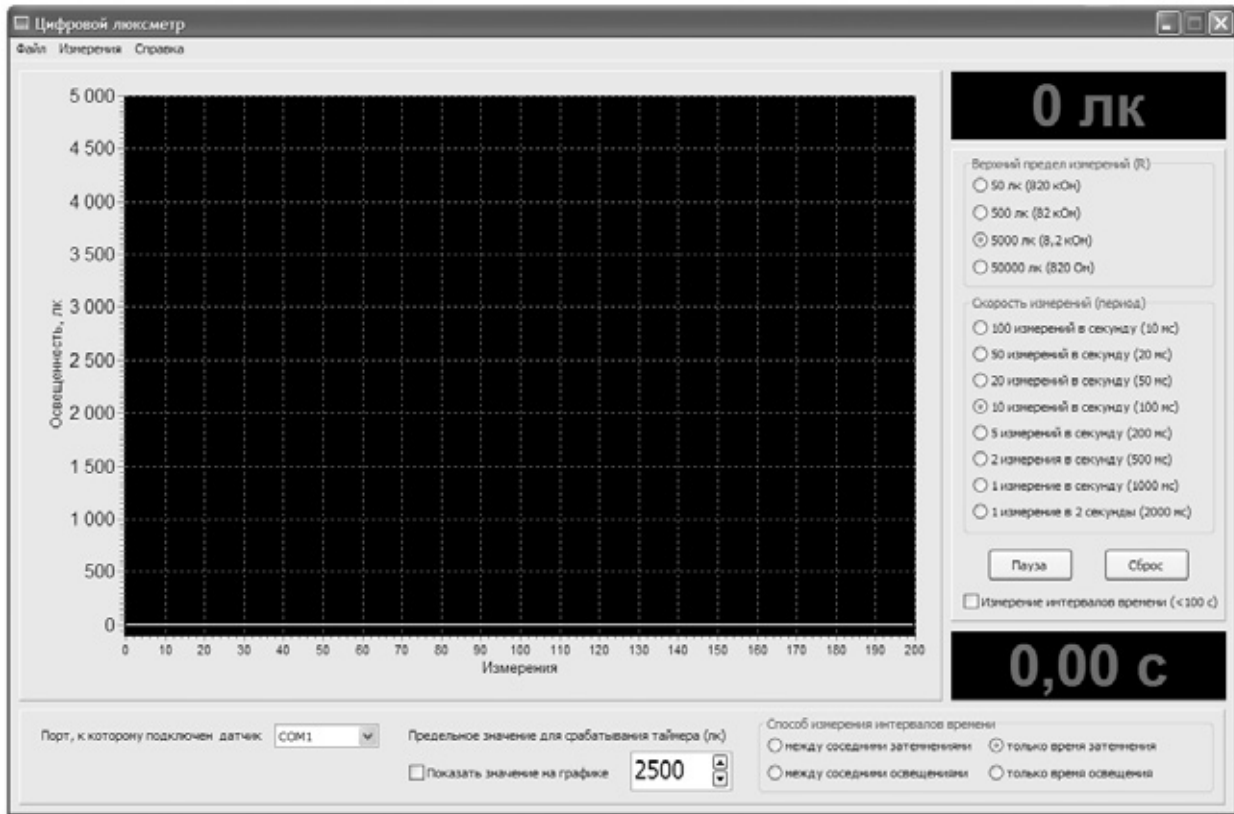


Рис. 5. Окно приложения «Цифровой люксметр»

катор, показывающий текущее значение освещенности; группы радиокнопок для выбора верхнего предела измерений освещенности и частоты измерений; управляющие кнопки «Пуск/Пауза» и «Сброс»; группа радиокнопок для выбора событий; окно ввода предельного значения освещенности для срабатывания таймера; выпадающий список существующих на данном компьютере портов. Минимальная скорость проведения измерений освещенности равна 1 измерению в секунду, максимальная — примерно 100 измерений в секунду (1 измерение в 0,01 секунды). Это позволяет визуализировать на экране и анализировать быстропротекающие процессы [9].

Часто оптодатчики используются для автоматизации процесса измерения времени. Например, при приближении какого-либо объекта к такому датчику или удалении объекта от датчика происходит изменение освещенности датчика, что можно зафиксировать с помощью программного обеспечения и включить в этот момент отсчет времени. Затем

при некотором значении освещенности можно остановить этот отсчет и измерить промежуток времени между двумя этими событиями, соответствующими разным (или одинаковым) значениям освещенности датчика. В нашем приложении предусмотрена возможность использования фотометрического датчика для измерений интервалов времени между двумя моментами затемнения и двумя моментами освещения датчика, а также между моментом уменьшения освещенности до определенного значения и моментом увеличения освещенности до этого же значения и между моментом повышения освещенности до определенного значения и моментом снижения освещенности до этого значения. Это позволяет использовать прибор, например, для измерения периода колебаний маятников [5].

На рис. 6 показана функциональная схема измерительного комплекса, состоящего из аналогового датчика, АЦП, компьютера и предлагаемого нами программного обеспечения [7; 9].

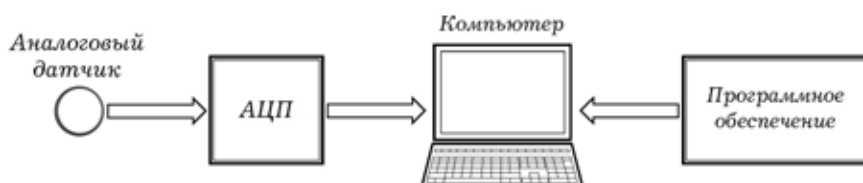


Рис. 6. Функциональная схема экспериментальной установки

Литература:

1. Гелль, П. Как превратить персональный компьютер в измерительный комплекс: Пер. с фр. — М.: ДМК Пресс, 2005. — 144 с.
2. Данилов, О.Е. Аналого-цифровой преобразователь как базовый элемент учебного компьютерного измерительного комплекса с аналоговыми датчиками физических величин/О.Е. Данилов // Молодой ученый. — 2013. — №4. — с. 114–119.
3. Данилов, О.Е. Виртуальный прибор «Цифровой вольтметр»/О.Е. Данилов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2011617600. — Заявка №2011613163; зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 29.09.2011.
4. Данилов, О.Е. Виртуальный прибор «Цифровой люксметр»/О.Е. Данилов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013614402. — Заявка №2013612070; зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 07.05.2013.
5. Данилов, О.Е. Компьютерный люксметр для учебных исследований/О.Е. Данилов // Современные проблемы науки 2011: Сборник статей Международной заочной научно-практической конференции; Под общ. ред. Н. А. Максимовой. — Смоленск, Принт-Экспресс, 2011. — с. 99–103.
6. Данилов, О.Е. Лабораторный практикум: Компьютерные измерения в молекулярной физике и термодинамике. Учебно-методическое пособие/О.Е. Данилов. — Глазов: ГГПИ, 2009. — 28 с.
7. Данилов, О.Е. Применение компьютерных технологий в учебном физическом эксперименте/О.Е. Данилов // Молодой ученый. — 2013. — №1. — с. 330–333.
8. Данилов, О.Е. Создание компьютерного измерительного комплекса с аналоговыми датчиками для школьного кабинета физики/О.Е. Данилов // Дистанционное и виртуальное обучение. — 2013. — №3. — с. 93–102.
9. Учебные компьютерные измерительные приборы/О.Е. Данилов. — Электрон. дан. — Сайты Google, 2011. — Режим доступа: <https://sites.google.com/site/dancommeter/home>. — Загл. с экрана.

Математическая модель синхронного неявнополюсного дугостаторного двигателя ($Z_1/Z_2 = 6/12$) с трехфазной обмоткой индуктора с нулевым проводом

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

Российский государственный профессионально-педагогический университет (г. Екатеринбург)

Целью данной работы является моделирование синхронного неявнополюсного дугостаторного двигателя (СНДД) с помощью магнитных и электрических схем замещения [1], [2], [3]. Статорная (индукторная) обмотка представляет собой классическую трехфазную обмотку ($Z_1 = 6$, $m_1 = 3$, $q = 1$) с нулевым проводом, позволяющую построить корректную математическую модель системы «АИН ШИМ — синхронный неявнополюсный дугостаторный двигатель», которую представим в одной из следующих статей. Вследствие разомкнутости магнитопровода появится несимметрия в токах по фазам и ток в нулевом проводе. Кроме того, возникнет неподвижный в пространстве и пульсирующий во времени поток (продольный краевой эффект), влияние которого на электромагнитные процессы тем больше, чем выше скорость ротора. В данной работе обмотка индуктора питается от трехфазного синусоидального напряжения. Роторная обмотка состоит из шести катушек ($Z_2 = 12$), соединенных последовательно (4–7, 5–8, 6–9, 10–1, 11–2 и 12–3). На начало 4-й катушки и конец провода 3-й катушки через кольца подается постоянное напряжение U^0 (рис. 1). В данной работе рассматривается частотный пуск, поэтому напряжение постоянного тока в роторную обмотку подается раньше, чем на статорную обмотку. Частота подводимого напряжения на индуктор изменяется от 0 до конечного значения по пропорциональному закону, а модули трехфазного напряжения по параболическому закону (возможен пропорциональный закон), которые будут приведены ниже в самой математической модели. Данная работа адресована студентам, поэтому дана без сокращений.

Запишем основные уравнения для « n »-ого участка схемы замещения.

Баланс магнитных напряжений магнитной цепи

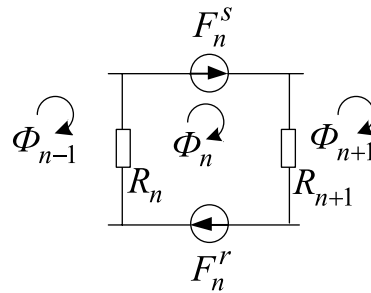


Рис.1. Магнитная схема замещения

$\Phi_{n-1}, \Phi_n, \Phi_{n+1}$ – контурные магнитные потоки;

R_n, R_{n+1} – магнитные сопротивления воздушных участков;

$F_n^S = \omega_n^S \cdot i_n^S$ – магнитодвижущая сила, созданная статорным током i_n^S , протекающим по всем проводникам паза (ω_n^S);

$F_n^R = \omega_n^r \cdot i_n^r + \omega_n^r \cdot I_n^f$ – М.Д.С. тока в обмотке ротора;

$F_n^S = 0$ – в шунтирующих зонах.

Баланс М.Д.С. для «n»-го участка имеет следующий вид:

$$F_n^S + F_n^R = \Phi_n \cdot (R_{n+1} + R_n) - \Phi_{n+1} \cdot R_{n+1} - \Phi_{n-1} \cdot R_n,$$

где $F_n^R = F_n^{r \text{ асинхр.}} + F_n^{f \text{ синхр.}} = \underbrace{\omega_n^r \cdot i_n^r}_{\text{асинхр.}} + \underbrace{\omega_n^r \cdot I_n^f}_{\text{синхр.}}$.

$$\omega_n^S \cdot i_n^S + \omega_n^r \cdot i_n^r + \omega_n^r \cdot I_n^f = -\Phi_{n-1} \cdot R_n + \Phi_n \cdot (R_{n+1} + R_n) - \Phi_{n+1} \cdot R_{n+1}.$$

Ток i_n^r условно назовем асинхронной составляющей полного тока в роторной обмотке. Этот ток создается от Э.Д.С. трансформации, Э.Д.С. движения, от изменяющегося потока во времени или от движущего потока в пространстве. При построении обобщенной математической модели двигателей, исключая вторую составляющую М.Д.С. ($F_n^{f \text{ синхр.}}$) с помощью соответствующих ключей, можно перейти к линейным (дугостаторным) асинхронным двигателям [5], [6], [7].

Вторая составляющая М.Д.С. (условно назовем синхронная составляющая $F_n^{f \text{ синхр.}}$) представляет собой бегущую в пространстве ступенчатую фигуру в соответствии с дискретным расположением роторной обмотки.

В данной работе синхронную составляющую выразим 1-й гармоникой бегущей волны:

$$F_n^{f \text{ синхр.}} = \omega_n^r \cdot I_M^f \cdot \sin\left(\omega \cdot t - \frac{\pi}{\tau} \cdot t_Z \cdot n\right),$$

где $\tau = 3 \cdot t_Z$.

Отсюда асинхронная составляющая тока в обмотке ротора определится по следующему выражению:

$$i_{n,k}^r = -\frac{\omega_n^S}{\omega_n^r} \cdot i_{n,k}^S - \frac{R_n}{\omega_n^r} \cdot \Phi_{n-1,k} + \frac{R_n + R_{n+1}}{\omega_n^r} \cdot \Phi_{n,k} - \frac{R_{n+1}}{\omega_n^r} \cdot \Phi_{n+1,k} - I_{n,k}^f. \tag{1}$$

Уравнение баланса напряжений электрической цепи ротора для асинхронной составляющей тока ротора

$$r^r \cdot i_n^r + L^r \cdot \frac{\partial i_n^r}{\partial t} + L^r \cdot v_{k-1} \cdot \frac{\partial i_n^r}{\partial x} = -\omega_n^r \cdot \frac{\partial \Phi_n}{\partial t} - \omega_n^r \cdot v_{k-1} \cdot \frac{\partial \Phi_n}{\partial x}. \tag{2}$$

Выразим производные во времени через конечные разности:

$$\frac{\partial i_n^r}{\partial t} = \frac{i_{n,k}^r - i_{n,k-1}^r}{\Delta t}, \quad \frac{\partial \Phi_n}{\partial t} = \frac{\Phi_{n,k} - \Phi_{n,k-1}}{\Delta t},$$

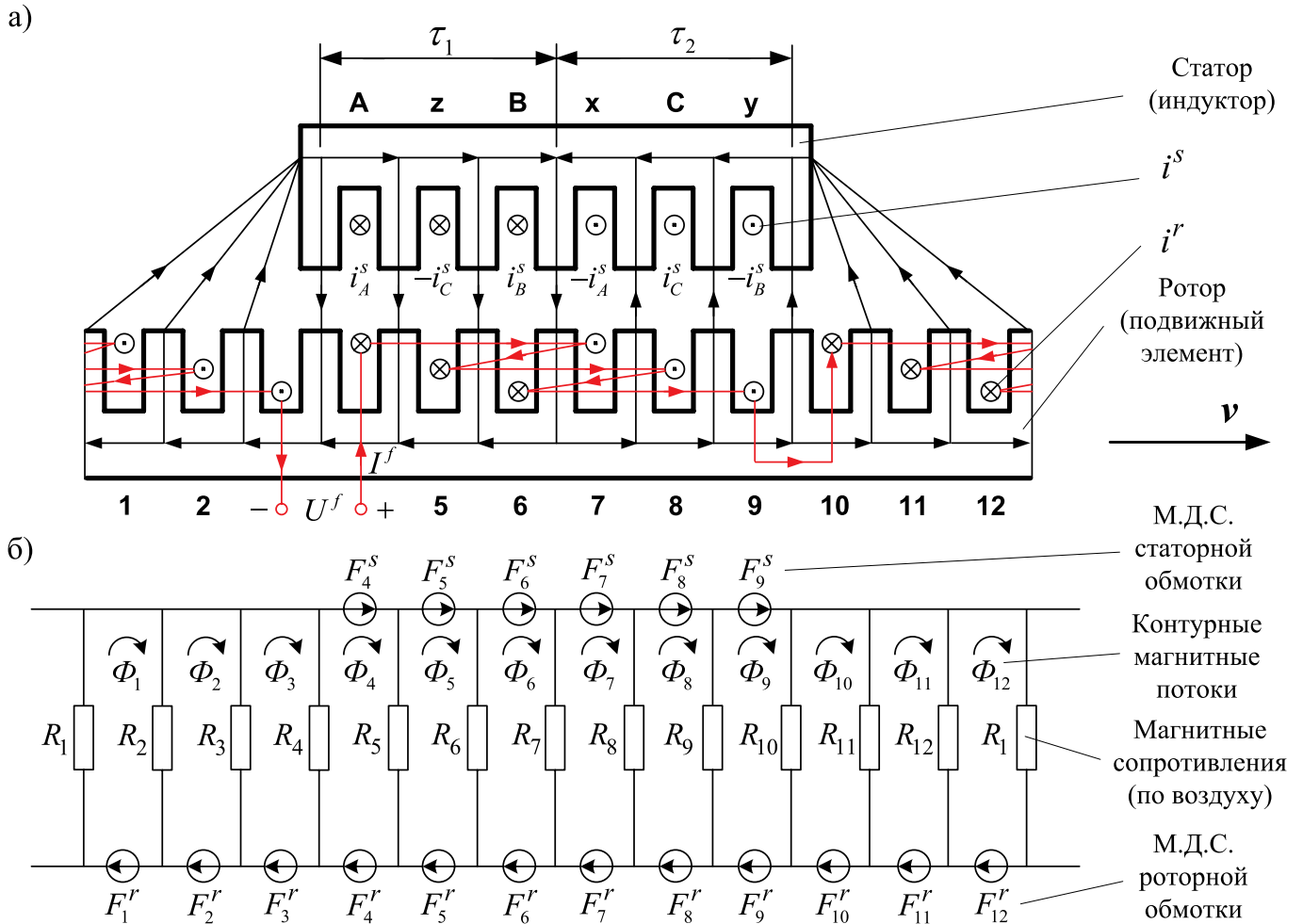


Рис. 2. а) Синхронный неявнополюсный дугостаторный двигатель ($2p = 2, Z_1 = 6$); б) Магнитная схема замещения

где n – номер зубцового деления;

k – номер шага разбиения по времени.

В формуле (2) линейную скорость ротора принимаем равной $v = v_{k-1}$ и в пределах « k » интервала считается постоянным.

Производные по пространственной координате « x » выразим через центральные конечные разности:

$$\frac{\partial i_{n,k}^r}{\partial x} = \frac{i_{n+1,k}^r - i_{n-1,k}^r}{2 \cdot t_z}; \quad \frac{\partial \Phi_{n,k}}{\partial x} = \frac{\Phi_{n+1,k} - \Phi_{n-1,k}}{2 \cdot t_z}.$$

С учетом вышеприведенных замечаний уравнение (2) примет следующий вид:

$$\begin{aligned} r^r \cdot i_{n,k}^r + L^r \cdot \frac{i_{n,k}^r - i_{n,k-1}^r}{\Delta t} + L^r \cdot v_{k-1} \cdot \frac{i_{n+1,k}^r - i_{n-1,k}^r}{2 \cdot t_z} = \\ = -\omega_n^r \cdot \frac{\Phi_{n,k} - \Phi_{n,k-1}}{\Delta t} - \omega_n^r \cdot v_{k-1} \cdot \frac{\Phi_{n+1,k} - \Phi_{n-1,k}}{2 \cdot t_z}. \end{aligned} \quad (3)$$

Исключим из уравнения (3) асинхронную составляющую тока в роторе. Для этого подставим выражение (1) в уравнение (3) и получим:

$$\begin{aligned} \left[\omega_n^s \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{\omega_n^r 2t_z} \right] \cdot i_{n-1,k}^s + \left[-\omega_n^s \cdot \left(r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) \cdot \frac{1}{\omega_n^r} \right] \cdot i_{n,k}^s + \left[-\omega_n^s \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{\omega_n^r 2t_z} \right] \cdot i_{n+1,k}^s + \\ + \left[R_{n-1} \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{\omega_n^r 2t_z} \right] \cdot \Phi_{n-2,k} + \left[-\frac{R_n}{\omega_n^r} \cdot \left(r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) - \left(\left(\frac{R_n + R_{n-1}}{\omega_n^r} \right) \cdot L^r + \omega_n^r \right) \cdot \frac{v_{k-1}}{\omega_n^r 2t_z} \right] \cdot \Phi_{n-1,k} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \left[\left(\frac{R_{n+1} + R_n}{\omega_n^r} \right) \cdot \left(r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) + \left(\frac{R_n - R_{n+1}}{\omega_n^r} \right) \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} + \frac{\omega_n^r}{\Delta t} \right] \cdot \Phi_{n,k} + \\
& + \left[-\frac{R_{n+1}}{\omega_n^r} \cdot \left(r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) + \left(\left(\frac{R_{n+2} + R_{n+1}}{\omega_n^r} \right) \cdot L^r + \omega_n^r \right) \cdot \frac{v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n+1,k} + \left[-\frac{R_{n+2}}{\omega_n^r} \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot \Phi_{n+2,k} + \\
& + \left[\frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot I_{n-1,k}^f + \left[-\left(r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) \right] \cdot I_{n,k}^f + \left[-\frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right] \cdot I_{n+1,k}^f = \\
& = \left(-\frac{\omega_n^s}{\omega_n^r} \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right) \cdot i_{n,k-1}^s + \left(-\frac{R_n}{\omega_n^r} \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right) \cdot \Phi_{n-1,k-1} + \left(\frac{(R_{n+1} + R_n) \cdot L^r + (\omega_n^r)^2}{\omega_n^r \cdot \Delta t} \right) \cdot \Phi_{n,k-1} + \\
& + \left(-\frac{R_{n+1}}{\omega_n^r} \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right) \cdot \Phi_{n+1,k-1} + \left(-\frac{L^r}{\Delta t} \right) \cdot I_{n,k-1}^f. \tag{4}
\end{aligned}$$

Это уравнение может быть реализовано при произведении матрицы **A**, элементы которой записаны в квадратных скобках, на матрицу-столбец **X**, состоящей из потоков (Φ) и токов статорной обмотки. Правая часть уравнения (4) формирует первые двенадцать элементов матрицы-столбца свободных членов **S** в $(k-1)$ момент времени. Элементы 13, 14 и 15 строк матрицы **A** и соответствующие элементы s_{13} , s_{14} и s_{15} будут сформированы из баланса напряжений статорной обмотки.

Наконец, последние элементы матриц **A** и **S** определяются из баланса токов в трехфазной обмотке соединенной в звезду с нулевым проводом. Матрица-столбец **X** сформирована из первых двенадцати элементов, соответствующих потокам Φ_1, \dots, Φ_{12} , а остальные – токам статорной обмотки i_A^s, i_C^s, i_B^s и i_0^s .

Общий вид матриц при числе полюсов $2p = 2$ и общем числе пазов индуктора (статора) $Z_1 = 6$ приведен на рис.3.

Введем следующие обозначения:

$$N1 = \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{\omega_n^r \cdot 2t_z}; \quad N2 = \frac{1}{\omega_n^r} \cdot \left(r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right); \quad N3 = \frac{\omega_n^r}{\Delta t}; \quad N4 = \frac{L^r}{\omega_n^r \cdot \Delta t}; \quad N5 = \frac{(\omega_n^r)^2}{L^r}.$$

– Магнитные сопротивления в шунтирующих зонах:

$$R_1 = 500 \cdot R_\delta;$$

$$R_2 = R_{12} = 50 \cdot R_\delta;$$

$$R_3 = R_{11} = 5 \cdot R_\delta.$$

– Магнитные сопротивления в индукторной зоне:

$$R_4 = R_5 = \dots = R_{10} = R_\delta.$$

– Элементы матрицы **A**, перемножаемые на потоки матрицы-столбца **X**:

$$B = 2R_\delta \cdot N2 + N3;$$

$$B_1 = (5R_\delta + R_\delta) \cdot N2 + (R_\delta - 5R_\delta) \cdot N1 + N3 = 6R_\delta \cdot N2 + (-4R_\delta) \cdot N1 + N3;$$

$$B_2 = 55R_\delta \cdot N2 + (-45R_\delta) \cdot N1 + N3;$$

$$B_3 = 550R_\delta \cdot N2 + (-450R_\delta) \cdot N1 + N3;$$

$$B_5 = 550R_\delta \cdot N2 + 450R_\delta \cdot N1 + N3;$$

$$B_6 = 55R_\delta \cdot N2 + 45R_\delta \cdot N1 + N3;$$

$$B_7 = 6R_\delta \cdot N2 + 4R_\delta \cdot N1 + N3;$$

$$C = (-R_\delta) \cdot N2 + (2R_\delta + N5) \cdot N1;$$

$$C_1 = (-R_\delta) \cdot N2 + (6R_\delta + N5) \cdot N1;$$

$$C_2 = (-5R_\delta) \cdot N2 + (55R_\delta + N5) \cdot N1;$$

$$C_3 = (-50R_\delta) \cdot N2 + (550R_\delta + N5) \cdot N1;$$

$$C_5 = (-500R_\delta) \cdot N2 + (550R_\delta + N5) \cdot N1;$$

$$C_6 = (-50R_\delta) \cdot N2 + (55R_\delta + N5) \cdot N1;$$

$$\begin{aligned}
 C_7 &= (-5R_\sigma) \cdot N2 + (6R_\sigma + N5) \cdot N1; \\
 E &= -R_\sigma \cdot N2 - (2R_\sigma + N5) \cdot N1; \\
 E_1 &= -5R_\sigma \cdot N2 - (6R_\sigma + N5) \cdot N1; \\
 E_2 &= -50R_\sigma \cdot N2 - (55R_\sigma + N5) \cdot N1; \\
 E_3 &= -500R_\sigma \cdot N2 - (550R_\sigma + N5) \cdot N1; \\
 E_5 &= -50R_\sigma \cdot N2 - (550R_\sigma + N5) \cdot N1; \\
 E_6 &= -5R_\sigma \cdot N2 - (55R_\sigma + N5) \cdot N1; \\
 E_7 &= -R_\sigma \cdot N2 - (6R_\sigma + N5) \cdot N1; \\
 D &= -R_\sigma \cdot N1; \quad D_1 = 5 \cdot D; \quad D_2 = 50 \cdot D; \quad D_3 = 500 \cdot D.
 \end{aligned}$$

– Элементы матрицы **A**, перемножаемые на токи матрицы **X**:

$$T = -\omega_n^S \cdot N1;$$

$$Y = -\omega_n^S \cdot N2;$$

– Элементы матрицы-столбца свободных членов **S**:

$$W1 = -\omega_n^S \cdot N4;$$

$$P = -R_\sigma \cdot N4;$$

$$Q = 2R_\sigma \cdot N4 + N3;$$

$$Q_1 = 6R_\sigma \cdot N4 + N3; \quad Q_2 = 55R_\sigma \cdot N4 + N3; \quad Q_3 = 550R_\sigma \cdot N4 + N3;$$

$$I_{n,k}^f = I_{\max}^f \cdot \sin \left(2\pi \cdot f \cdot (k \cdot dt) + \left(\frac{\pi}{3t_Z} \cdot t_Z \cdot n - w12 \cdot \frac{\pi}{6} \right) \right);$$

$$I_{n,k-1}^f = I_{\max}^f \cdot \sin \left(2\pi \cdot f \cdot ((k-1) \cdot dt) + \left(\frac{\pi}{3t_Z} \cdot t_Z \cdot n - w12 \cdot \frac{\pi}{6} \right) \right).$$

Уравнение (4) позволит определить для первых двенадцати строк элементы матрицы **A** и с первый по двенадцатый элементы матрицы-столбца **S**, для этого последовательно зададимся n :

$n = 1$.

$$\begin{aligned}
 &\underbrace{[-D_2]}_{a_{1,11}} \cdot \underbrace{\Phi_{11,k}}_{x_{11}} + \underbrace{[E_3]}_{a_{1,12}} \cdot \underbrace{\Phi_{12,k}}_{x_{12}} + \underbrace{[B_5]}_{a_{1,1}} \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} + \underbrace{[C_6]}_{a_{1,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \underbrace{[D_1]}_{a_{1,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} = \\
 &= \underbrace{Q_3 \cdot \Phi_{1,k-1} + P \cdot (500 \cdot \Phi_{12,k-1} + 50 \cdot \Phi_{2,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{1,k}^f + N1 \cdot (I_{2,k}^f - I_{12,k}^f) - N4 \cdot I_{1,k-1}^f)}_{S_1}.
 \end{aligned}$$

Запишем элементы матрицы **A**:

$$a_{1,11} = -D_2; \quad a_{1,12} = E_3; \quad a_{1,1} = B_5; \quad a_{1,2} = C_6; \quad a_{1,3} = D_1.$$

В правой части сформирован элемент S_1 матрицы-столбца **S**:

$$s_1 = Q_3 \cdot x_{1,k-1} + P \cdot (500 \cdot x_{12,k-1} + 50 \cdot x_{2,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{1,k}^f + N1 \cdot (I_{2,k}^f - I_{12,k}^f) - N4 \cdot I_{1,k-1}^f).$$

Примечание: вначале матрица **A** предстанет «пустой» и после каждой операции $n = \dots$ определятся постепенно элементы для каждой строки и только в конце всех операций матрица **A** предстанет перед читателем в том виде как она дана на рис. 3. Но эта «пустая» матрица **A** уже должна быть подготовлена. Эта «пустая» форма направляет, выступает «организующим началом» по поиску элементов в каждой строке.

При $n = 1$, как было показано выше, определились элементы первой строки. Найденные коэффициенты вписываем в матрицу **A**. В дальнейшем становится понятным алгоритм заполнения матрицы.

$n = 2$.

$$\underbrace{[-D_3]}_{a_{2,12}} \cdot \underbrace{\Phi_{12,k}}_{x_{12}} + \underbrace{[E_5]}_{a_{2,1}} \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} + \underbrace{[B_6]}_{a_{2,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \underbrace{[C_7]}_{a_{2,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \underbrace{[D]}_{a_{2,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} =$$

Матрица А																X		S	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	$x_1 = \Phi_1$	$x_2 = \Phi_2$	s_1	s_2
$a_{1,1}$	$a_{1,2}$	$a_{1,3}$								$a_{1,11}$	$a_{1,12}$					$x_3 = \Phi_3$	$x_4 = \Phi_4$	s_3	s_4
$a_{2,1}$	$a_{2,2}$	$a_{2,3}$	$a_{2,4}$								$a_{2,12}$					$x_5 = \Phi_5$	$x_6 = \Phi_6$	s_5	s_6
$a_{3,1}$	$a_{3,2}$	$a_{3,3}$	$a_{3,4}$	$a_{3,5}$								$a_{3,13}$				$x_7 = \Phi_7$	$x_8 = \Phi_8$	s_7	s_8
	$a_{4,2}$	$a_{4,3}$	$a_{4,4}$	$a_{4,5}$	$a_{4,6}$							$a_{4,13}$	$a_{4,14}$			$x_9 = \Phi_9$	$x_{10} = \Phi_{10}$	s_9	s_{10}
	$a_{5,2}$	$a_{5,3}$	$a_{5,4}$	$a_{5,5}$	$a_{5,6}$	$a_{5,7}$						$a_{5,13}$	$a_{5,14}$	$a_{5,15}$		$x_{11} = \Phi_{11}$	$x_{12} = \Phi_{12}$	s_{11}	s_{12}
	$a_{6,2}$	$a_{6,3}$	$a_{6,4}$	$a_{6,5}$	$a_{6,6}$	$a_{6,7}$	$a_{6,8}$					$a_{6,13}$	$a_{6,14}$	$a_{6,15}$		$x_{13} = i_A S$	$x_{14} = i_C S$	s_{13}	s_{14}
				$a_{7,5}$	$a_{7,6}$	$a_{7,7}$	$a_{7,8}$	$a_{7,9}$				$a_{7,13}$	$a_{7,14}$	$a_{7,15}$		$x_{15} = i_B S$	$x_{16} = i_0$	s_{15}	s_{16}
					$a_{8,6}$	$a_{8,7}$	$a_{8,8}$	$a_{8,9}$	$a_{8,10}$			$a_{8,13}$	$a_{8,14}$	$a_{8,15}$		=			
						$a_{9,7}$	$a_{9,8}$	$a_{9,9}$	$a_{9,10}$	$a_{9,11}$			$a_{9,14}$	$a_{9,15}$		×			
							$a_{10,8}$	$a_{10,9}$	$a_{10,10}$	$a_{10,11}$	$a_{10,12}$			$a_{10,15}$		=			
								$a_{11,9}$	$a_{11,10}$	$a_{11,11}$	$a_{11,12}$					=			
									$a_{12,10}$	$a_{12,11}$	$a_{12,12}$					=			
13			$a_{13,4}$			$a_{13,7}$						$a_{13,13}$				=			
14					$a_{14,6}$			$a_{14,9}$					$a_{14,15}$			=			
15				$a_{15,5}$			$a_{15,8}$						$a_{15,14}$			=			
16												$a_{16,13}$	$a_{16,14}$	$a_{16,15}$	$a_{16,16}$	=			

Рис. 3. Общий вид матриц А, X и S

$$= \underbrace{Q_2 \cdot \Phi_{2,k-1} + P \cdot (50 \cdot \Phi_{1,k-1} + 5 \cdot \Phi_{3,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{2,k}^f + N1 \cdot (I_{3,k}^f - I_{1,k}^f) - N4 \cdot I_{2,k-1}^f)}_{S_2}.$$

$$a_{2,12} = -D_3; a_{2,1} = E_5; a_{2,2} = B_6; a_{2,3} = C_7; a_{2,4} = D.$$

$$s_2 = Q_2 \cdot x_{2,k-1} + P \cdot (50 \cdot x_{1,k-1} + 5 \cdot x_{3,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{2,k}^f + N1 \cdot (I_{3,k}^f - I_{1,k}^f) - N4 \cdot I_{2,k-1}^f).$$

$n = 3.$

$$\underbrace{[T]}_{a_{3,13}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{13}} + \underbrace{[-D_2]}_{a_{3,1}} \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} + \underbrace{[E_6]}_{a_{3,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \underbrace{[B_7]}_{a_{3,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \underbrace{[C]}_{a_{3,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{[D]}_{a_{3,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} =$$

$$= \underbrace{Q_1 \cdot \Phi_{3,k-1} + P \cdot (5 \cdot \Phi_{2,k-1} + \Phi_{4,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{3,k}^f + N1 \cdot (I_{4,k}^f - I_{2,k}^f) - N4 \cdot I_{3,k-1}^f)}_{S_3}.$$

$$a_{3,1} = -D_2; a_{3,2} = E_6; a_{3,3} = B_7; a_{3,4} = C; a_{3,5} = D; a_{3,13} = T.$$

$$s_3 = Q_1 \cdot x_{3,k-1} + P \cdot (5 \cdot x_{2,k-1} + x_{4,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{3,k}^f + N1 \cdot (I_{4,k}^f - I_{2,k}^f) - N4 \cdot I_{3,k-1}^f).$$

Примечание: при подстановке в уравнение (4) $n = 4$, мы увидим в соответствии с рис. 1, что войдет ток i_C^S с отрицательным знаком, в то же время в матрице-столбце **X** нет знака «-», поэтому его необходимо учесть в соответствующем элементе матрицы **A**.

Аналогично для других фаз, в концах обмоток x, y, z условно принимаем знак «-» и этот знак вводим в соответствующие элементы матрицы **A**.

$n = 4.$

$$\underbrace{[Y]}_{a_{4,13}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{13}} + \underbrace{[T \cdot (-1)]}_{a_{4,14}} \cdot \underbrace{i_{C,k}^s}_{x_{14}} + \underbrace{[-D_1]}_{a_{4,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \underbrace{[E_7]}_{a_{4,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \underbrace{[B]}_{a_{4,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{[C]}_{a_{4,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{[D]}_{a_{4,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} =$$

$$= \underbrace{W1 \cdot i_{A,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{4,k-1} + P \cdot (\Phi_{3,k-1} + \Phi_{5,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{4,k}^f + N1 \cdot (I_{5,k}^f - I_{3,k}^f) - N4 \cdot I_{4,k-1}^f)}_{S_4}.$$

$$a_{4,2} = -D_1; a_{4,3} = E_7; a_{4,4} = B; a_{4,5} = C; a_{4,6} = D; a_{4,13} = Y; a_{4,14} = T \cdot (-1) = -T.$$

$$s_4 = W1 \cdot x_{13,k-1} + Q \cdot x_{4,k-1} + P \cdot (x_{3,k-1} + x_{5,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{4,k}^f + N1 \cdot (I_{5,k}^f - I_{3,k}^f) - N4 \cdot I_{4,k-1}^f).$$

$n = 5.$

$$\underbrace{[-T]}_{a_{5,13}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{13}} + \underbrace{[Y \cdot (-1)]}_{a_{5,14}} \cdot \underbrace{i_{C,k}^s}_{x_{14}} + \underbrace{[T]}_{a_{5,15}} \cdot \underbrace{i_{B,k}^s}_{x_{15}} + \underbrace{[-D]}_{a_{5,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \underbrace{[E]}_{a_{5,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{[B]}_{a_{5,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{[C]}_{a_{5,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} +$$

$$+ \underbrace{[D]}_{a_{5,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} = \underbrace{-W1 \cdot i_{C,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{5,k-1} + P \cdot (\Phi_{4,k-1} + \Phi_{6,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{5,k}^f + N1 \cdot (I_{6,k}^f - I_{4,k}^f) - N4 \cdot I_{5,k-1}^f)}_{S_5}.$$

$$a_{5,3} = -D; a_{5,4} = E; a_{5,5} = B; a_{5,6} = C; a_{5,7} = D; a_{5,13} = -T;$$

$$a_{5,14} = Y \cdot (-1) = -Y; a_{5,15} = T.$$

$$s_5 = -W1 \cdot x_{14,k-1} + Q \cdot x_{5,k-1} + P \cdot (x_{4,k-1} + x_{6,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{5,k}^f + N1 \cdot (I_{6,k}^f - I_{4,k}^f) - N4 \cdot I_{5,k-1}^f).$$

$n = 6.$

$$\underbrace{[-T \cdot (-1)]}_{a_{6,14}} \cdot \underbrace{i_{C,k}^s}_{x_{14}} + \underbrace{[Y]}_{a_{6,15}} \cdot \underbrace{i_{B,k}^s}_{x_{15}} + \underbrace{[T \cdot (-1)]}_{a_{6,13}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{13}} + \underbrace{[-D]}_{a_{6,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} +$$

$$+ \underbrace{[E]}_{a_{6,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{[B]}_{a_{6,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{[C]}_{a_{6,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} + \underbrace{[D]}_{a_{6,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} =$$

$$= \underbrace{W1 \cdot i_{B,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{6,k-1} + P \cdot (\Phi_{5,k-1} + \Phi_{7,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{6,k}^f + N1 \cdot (I_{7,k}^f - I_{5,k}^f) - N4 \cdot I_{6,k-1}^f)}_{S_6}.$$

$$a_{6,4} = -D; a_{6,5} = E; a_{6,6} = B; a_{6,7} = C; a_{6,8} = D; a_{6,13} = T \cdot (-1) = -T;$$

$$a_{6,14} = -T \cdot (-1) = T; a_{6,15} = Y.$$

$$s_6 = W1 \cdot x_{15,k-1} + Q \cdot x_{6,k-1} + P \cdot (x_{5,k-1} + x_{7,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{6,k}^f + N1 \cdot (I_{7,k}^f - I_{5,k}^f) - N4 \cdot I_{6,k-1}^f).$$

$n = 7.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{7,15}} \cdot \underbrace{i_{B,k}^s}_{x_{15}} + \underbrace{[Y \cdot (-1)]}_{a_{7,13}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{13}} + \underbrace{[T]}_{a_{7,14}} \cdot \underbrace{i_{C,k}^s}_{x_{14}} + \underbrace{[-D]}_{a_{7,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \\ & + \underbrace{[E]}_{a_{7,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{[B]}_{a_{7,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} + \underbrace{[C]}_{a_{7,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} + \underbrace{[D]}_{a_{7,9}} \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} = \\ & = \underbrace{-W1 \cdot i_{A,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{7,k-1} + P \cdot (\Phi_{6,k-1} + \Phi_{8,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{7,k}^f + N1 \cdot (I_{8,k}^f - I_{6,k}^f) - N4 \cdot I_{7,k-1}^f)}_{s_7}. \end{aligned}$$

$$a_{7,5} = -D; a_{7,6} = E; a_{7,7} = B; a_{7,8} = C; a_{7,9} = D; a_{7,13} = Y \cdot (-1) = -Y;$$

$$a_{7,14} = T; a_{7,15} = -T.$$

$$s_7 = -W1 \cdot x_{13,k-1} + Q \cdot x_{7,k-1} + P \cdot (x_{6,k-1} + x_{8,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{7,k}^f + N1 \cdot (I_{8,k}^f - I_{6,k}^f) - N4 \cdot I_{7,k-1}^f).$$

$n = 8.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T \cdot (-1)]}_{a_{8,13}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{13}} + \underbrace{[Y]}_{a_{8,14}} \cdot \underbrace{i_{C,k}^s}_{x_{14}} + \underbrace{[T \cdot (-1)]}_{a_{8,15}} \cdot \underbrace{i_{B,k}^s}_{x_{15}} + \underbrace{[-D]}_{a_{8,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \\ & + \underbrace{[E]}_{a_{8,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} + \underbrace{[B]}_{a_{8,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} + \underbrace{[C]}_{a_{8,9}} \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} + \underbrace{[D]}_{a_{8,10}} \cdot \underbrace{\Phi_{10,k}}_{x_{10}} = \\ & = \underbrace{W1 \cdot i_{C,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{8,k-1} + P \cdot (\Phi_{7,k-1} + \Phi_{9,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{8,k}^f + N1 \cdot (I_{9,k}^f - I_{7,k}^f) - N4 \cdot I_{8,k-1}^f)}_{s_8}. \end{aligned}$$

$$a_{8,6} = -D; a_{8,7} = E; a_{8,8} = B; a_{8,9} = C; a_{8,10} = D; a_{8,13} = -T \cdot (-1) = T;$$

$$a_{8,14} = Y; a_{8,15} = T \cdot (-1) = -T.$$

$$s_8 = W1 \cdot x_{14,k-1} + Q \cdot x_{8,k-1} + P \cdot (x_{7,k-1} + x_{9,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{8,k}^f + N1 \cdot (I_{9,k}^f - I_{7,k}^f) - N4 \cdot I_{8,k-1}^f).$$

$n = 9.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{9,14}} \cdot \underbrace{i_{C,k}^s}_{x_{14}} + \underbrace{[Y \cdot (-1)]}_{a_{9,15}} \cdot \underbrace{i_{B,k}^s}_{x_{15}} + \underbrace{[-D]}_{a_{9,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} + \underbrace{[E]}_{a_{9,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} + \underbrace{[B]}_{a_{9,9}} \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} + \underbrace{[C_1]}_{a_{9,10}} \cdot \underbrace{\Phi_{10,k}}_{x_{10}} + \underbrace{[D_1]}_{a_{9,11}} \cdot \underbrace{\Phi_{11,k}}_{x_{11}} = \\ & = \underbrace{-W1 \cdot i_{B,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{9,k-1} + P \cdot (\Phi_{8,k-1} + \Phi_{10,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{9,k}^f + N1 \cdot (I_{10,k}^f - I_{8,k}^f) - N4 \cdot I_{9,k-1}^f)}_{s_9}. \end{aligned}$$

$$a_{9,7} = -D; a_{9,8} = E; a_{9,9} = B; a_{9,10} = C_1; a_{9,11} = D_1; a_{9,14} = -T; a_{9,15} = Y \cdot (-1) = -Y.$$

$$s_9 = -W1 \cdot x_{15,k-1} + Q \cdot x_{9,k-1} + P \cdot (x_{8,k-1} + x_{10,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{9,k}^f + N1 \cdot (I_{10,k}^f - I_{8,k}^f) - N4 \cdot I_{9,k-1}^f).$$

$n = 10.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T \cdot (-1)]}_{a_{10,15}} \cdot \underbrace{i_{B,k}^s}_{x_{15}} + \underbrace{[-D]}_{a_{10,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} + \underbrace{[E]}_{a_{10,9}} \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} + \underbrace{[B_1]}_{a_{10,10}} \cdot \underbrace{\Phi_{10,k}}_{x_{10}} + \underbrace{[C_2]}_{a_{10,11}} \cdot \underbrace{\Phi_{11,k}}_{x_{11}} + \underbrace{[D_2]}_{a_{10,12}} \cdot \underbrace{\Phi_{12,k}}_{x_{12}} = \\ & = \underbrace{Q_1 \cdot \Phi_{10,k-1} + P \cdot (\Phi_{9,k-1} + 5 \cdot \Phi_{11,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{10,k}^f + N1 \cdot (I_{11,k}^f - I_{9,k}^f) - N4 \cdot I_{10,k-1}^f)}_{s_{10}}. \end{aligned}$$

$$a_{10,8} = -D; a_{10,9} = E; a_{10,10} = B_1; a_{10,11} = C_2; a_{10,12} = D_2; a_{10,15} = -T \cdot (-1) = T.$$

$$s_{10} = Q_1 \cdot x_{10,k-1} + P \cdot (x_{9,k-1} + 5 \cdot x_{11,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{10,k}^f + N1 \cdot (I_{11,k}^f - I_{9,k}^f) - N4 \cdot I_{10,k-1}^f).$$

$n = 11.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[\frac{-D}{a_{11,9}} \cdot \Phi_{9,k} + \frac{E_1}{a_{11,10}} \cdot \Phi_{10,k} + \frac{B_2}{a_{11,11}} \cdot \Phi_{11,k} + \frac{C_3}{a_{11,12}} \cdot \Phi_{12,k} + \frac{D_3}{a_{11,1}} \cdot \Phi_{1,k} \right]}_{s_{11}} = \\ & = Q_2 \cdot \Phi_{11,k-1} + P \cdot (5 \cdot \Phi_{10,k-1} + 50 \cdot \Phi_{12,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{11,k}^f + N1 \cdot (I_{12,k}^f - I_{10,k}^f) - N4 \cdot I_{11,k-1}^f). \end{aligned}$$

$$a_{11,9} = -D; a_{11,10} = E_1; a_{11,11} = B_2; a_{11,12} = C_3; a_{11,1} = D_3.$$

$$s_{11} = Q_2 \cdot x_{11,k-1} + P \cdot (5 \cdot x_{10,k-1} + 50 \cdot x_{12,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{11,k}^f + N1 \cdot (I_{12,k}^f - I_{10,k}^f) - N4 \cdot I_{11,k-1}^f).$$

$n = 12.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[\frac{-D_1}{a_{12,10}} \cdot \Phi_{10,k} + \frac{E_2}{a_{12,11}} \cdot \Phi_{11,k} + \frac{B_3}{a_{12,12}} \cdot \Phi_{12,k} + \frac{C_5}{a_{12,1}} \cdot \Phi_{1,k} + \frac{D_2}{a_{12,2}} \cdot \Phi_{2,k} \right]}_{s_{12}} = \\ & = Q_3 \cdot \Phi_{12,k-1} + P \cdot (50 \cdot \Phi_{11,k-1} + 500 \cdot \Phi_{1,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{12,k}^f + N1 \cdot (I_{1,k}^f - I_{11,k}^f) - N4 \cdot I_{12,k-1}^f). \end{aligned}$$

$$a_{12,10} = -D_1; a_{12,11} = E_2; a_{12,12} = B_3; a_{12,1} = C_5; a_{12,2} = D_2.$$

$$s_{12} = Q_3 \cdot x_{12,k-1} + P \cdot (50 \cdot x_{11,k-1} + 500 \cdot x_{1,k-1}) + \omega_n^r \cdot (N2 \cdot I_{12,k}^f + N1 \cdot (I_{1,k}^f - I_{11,k}^f) - N4 \cdot I_{12,k-1}^f).$$

Элементы строк 13 и 14 и 15 матрицы **A** и соответствующие элементы матрицы-столбца **S** определяются из *баланса электрических напряжений обмоток статора.*

$$\begin{cases} U_A = \omega_n^s \cdot \frac{d}{dt} \cdot (\Phi_4 - \Phi_7) + r^s \cdot i_A^s + L_A^s \cdot \frac{di_A^s}{dt}; \\ U_B = \omega_n^s \cdot \frac{d}{dt} \cdot (\Phi_6 - \Phi_9) + r^s \cdot i_B^s + L_B^s \cdot \frac{di_B^s}{dt}; \\ U_C = \omega_n^s \cdot \frac{d}{dt} \cdot (\Phi_8 - \Phi_5) + r^s \cdot i_C^s + L_C^s \cdot \frac{di_C^s}{dt}, \end{cases} \quad (5)$$

где $U_A = U_M \cdot \cos \omega t$;

$$U_B = U_M \cdot \cos(\omega t - 2\pi / 3); \quad (6)$$

$$U_C = U_M \cdot \cos(\omega t - 4\pi / 3).$$

С учетом шага по времени Δt в k -ый момент времени:

$$\begin{cases} U_{A,k} = U_M \cdot \cos[\omega \cdot (k-1) \cdot \Delta t]; \\ U_{B,k} = U_M \cdot \cos[\omega \cdot (k-1) \cdot \Delta t - 2\pi / 3]; \\ U_{C,k} = U_M \cdot \cos[\omega \cdot (k-1) \cdot \Delta t - 4\pi / 3]. \end{cases} \quad (7)$$

$n = 13.$

Выразим производные тока i_A^s , потоков Φ_4 и Φ_7 через конечные разности:

$$\begin{aligned} \frac{di_A^s}{dt} &= \frac{i_{A,k}^s - i_{A,k-1}^s}{\Delta t}; \quad \frac{d\Phi_4}{dt} = \frac{\Phi_{4,k} - \Phi_{4,k-1}}{\Delta t}; \quad \frac{d\Phi_7}{dt} = \frac{\Phi_{7,k} - \Phi_{7,k-1}}{\Delta t}. \\ U_{A,k} &= \frac{\omega_n}{\Delta t} \cdot \Phi_{4,k} - \frac{\omega_n}{\Delta t} \cdot \Phi_{4,k-1} - \frac{\omega_n}{\Delta t} \cdot \Phi_{7,k} + \frac{\omega_n}{\Delta t} \cdot \Phi_{7,k-1} + r^s \cdot i_{A,k}^s + \frac{L_A^s}{\Delta t} \cdot i_{A,k}^s - \frac{L_A^s}{\Delta t} \cdot i_{A,k-1}^s. \\ \frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot \Phi_{4,k} &+ \underbrace{\left(-\frac{\omega_n^s}{\Delta t} \right)}_{a_{13,7}} \cdot \Phi_{7,k} + \underbrace{\left(r^s + \frac{L_A^s}{\Delta t} \right)}_{a_{13,13}} \cdot i_{A,k}^s = \underbrace{\frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot (\Phi_{4,k-1} - \Phi_{7,k-1}) + \frac{L_A^s}{\Delta t} \cdot i_{A,k-1}^s + U_{A,k}}_{s_{13}}. \end{aligned}$$

Обозначим $\frac{\omega_n^s}{\Delta t} = U$; $r^s + \frac{L_A^s}{\Delta t} = A_S$;

$$a_{13,4} = U; \quad a_{13,7} = -U; \quad s_{13} = U \cdot (x_{4,k-1} - x_{7,k-1}) + \frac{L_A^S}{\Delta t} \cdot x_{13,k-1} + U_{A,k}.$$

Аналогично для строк 14 и 15:

$n = 14.$

$$\underbrace{[U]}_{a_{14,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{[-U]}_{a_{14,9}} \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} + \underbrace{\left(r^S + \frac{L_B^S}{\Delta t}\right)}_{a_{14,15}} \cdot \underbrace{i_{B,k}^S}_{x_{15}} = \underbrace{U \cdot (\Phi_{6,k-1} - \Phi_{9,k-1}) + \frac{L_B^S}{\Delta t} \cdot i_{B,k-1}^S + U_{B,k}}_{s_{14}}.$$

$$a_{14,6} = U; \quad a_{14,9} = -U; \quad a_{14,15} = r^S + \frac{L_B^S}{\Delta t} = B_S; \quad s_{14} = U \cdot (x_{6,k-1} - x_{9,k-1}) + \frac{L_B^S}{\Delta t} \cdot x_{14,k-1} + U_{B,k}.$$

$n = 15.$

$$\underbrace{[U]}_{a_{15,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} + \underbrace{[-U]}_{a_{15,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{\left(r^S + \frac{L_C^S}{\Delta t}\right)}_{a_{15,14}} \cdot \underbrace{i_{C,k}^S}_{x_{14}} = \underbrace{U \cdot (\Phi_{8,k-1} - \Phi_{5,k-1}) + \frac{L_C^S}{\Delta t} \cdot i_{C,k-1}^S + U_{C,k}}_{s_{15}}.$$

$$a_{15,8} = U; \quad a_{15,5} = -U; \quad a_{15,14} = r^S + \frac{L_C^S}{\Delta t} = C_S; \quad s_{15} = U \cdot (x_{8,k-1} - x_{5,k-1}) + \frac{L_C^S}{\Delta t} \cdot x_{15,k-1} + U_{C,k}.$$

$n = 16.$

Наконец, сумма токов определяет элементы шестнадцатой строки матрицы **A** и элемент s_{16} матрицы-столбца **S**.

$$\underbrace{[1]}_{a_{16,13}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^S}_{x_{13}} + \underbrace{[1]}_{a_{16,15}} \cdot \underbrace{i_{B,k}^S}_{x_{15}} + \underbrace{[1]}_{a_{16,14}} \cdot \underbrace{i_{C,k}^S}_{x_{14}} + \underbrace{[-1]}_{a_{16,16}} \cdot \underbrace{i_{0,k}^S}_{x_{16}} = \underbrace{0}_{s_{16}}.$$

Окончательно, матрица **A** примет следующий вид, удобный для программирования в MATLAB (рис.4):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	B ₅	C ₆	D ₁									-D ₂	E ₃			
2	E ₅	B ₆	C ₇	D									-D ₃			
3	-D ₂	E ₆	B ₇	C	D									T		
4		-D ₁	E ₇	B	C	D								Y	-T	
5			-D	E	B	C	D							-T	-Y	T
6				-D	E	B	C	D						-T	T	Y
7					-D	E	B	C	D					-Y	T	-T
8						-D	E	B	C	D				T	Y	-T
9							-D	E	B	C ₁	D ₁				-T	-Y
10								-D	E	B ₁	C ₂	D ₂				T
11	D ₃								-D	E ₁	B ₂	C ₃				
12	C ₅	D ₂								-D ₁	E ₂	B ₃				
13				U										A _S		
14						U										B _S
15					-U			U							C _S	
16									U							1
																1
																-1

Рис. 4

Неизвестные переменные (потоки и токи в статорной обмотке) в k -й момент времени определяются в результате следующей операции с матрицами:

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{S},$$

Далее, подставляя в уравнение (1) $n = 1...12$, определяем суммарные токи в роторе:

$$(i_1^r + I_{1,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\underbrace{\Phi_{12}}_{x_{12}} \cdot (500 \cdot R_\delta) + \underbrace{\Phi_1}_{x_1} \cdot \underbrace{(500 \cdot R_\delta + 50 \cdot R_\delta)}_{550 \cdot R_\delta} - \underbrace{\Phi_2}_{x_2} \cdot (50 \cdot R_\delta);$$

$$(i_2^r + I_{2,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\underbrace{\Phi_1}_{x_1} \cdot (50 \cdot R_\delta) + \underbrace{\Phi_2}_{x_2} \cdot (50 \cdot R_\delta + 5 \cdot R_\delta) - \underbrace{\Phi_3}_{x_3} \cdot (5 \cdot R_\delta);$$

$$(i_3^r + I_{3,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\underbrace{\Phi_2}_{x_2} \cdot (5 \cdot R_\delta) + \underbrace{\Phi_3}_{x_3} \cdot \underbrace{(5 \cdot R_\delta + R_\delta)}_{6 \cdot R_\delta} - \underbrace{\Phi_4}_{x_4} \cdot R_\delta;$$

$$(i_4^r + I_{4,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot \underbrace{i_A^s}_{x_{13}} - \underbrace{\Phi_3}_{x_3} \cdot R_\delta + \underbrace{\Phi_4}_{x_4} \cdot (R_\delta + R_\delta) - \underbrace{\Phi_5}_{x_5} \cdot R_\delta =$$

$$= -\omega_n^s \cdot x_{13} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_4 - R_\delta \cdot (x_3 + x_5);$$

$$(i_5^r + I_{5,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot (-1) \cdot x_{14} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_5 - R_\delta \cdot (x_4 + x_6);$$

$$(i_6^r + I_{6,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot x_{15} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_6 - R_\delta \cdot (x_5 + x_7);$$

$$(i_7^r + I_{7,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot (-1) \cdot x_{13} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_7 - R_\delta \cdot (x_6 + x_8);$$

$$(i_8^r + I_{8,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot x_{14} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_8 - R_\delta \cdot (x_7 + x_9);$$

$$(i_9^r + I_{9,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\omega_n^s \cdot (-1) \cdot x_{15} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_9 - R_\delta \cdot (x_8 + x_{10});$$

$$(i_{10}^r + I_{10,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\underbrace{\Phi_9}_{x_9} \cdot R_\delta + \underbrace{\Phi_{10}}_{x_{10}} \cdot \underbrace{(5 \cdot R_\delta + R_\delta)}_{6 \cdot R_\delta} - \underbrace{\Phi_{11}}_{x_{11}} \cdot (5 \cdot R_\delta);$$

$$(i_{11}^r + I_{11,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\underbrace{\Phi_{10}}_{x_{10}} \cdot (5 \cdot R_\delta) + \underbrace{\Phi_{11}}_{x_{11}} \cdot \underbrace{(50 \cdot R_\delta + 5 \cdot R_\delta)}_{55 \cdot R_\delta} - \underbrace{\Phi_{12}}_{x_{12}} \cdot (50 \cdot R_\delta);$$

$$(i_{12}^r + I_{12,k}^f) \cdot \omega_n^r = -\underbrace{\Phi_{11}}_{x_{11}} \cdot (50 \cdot R_\delta) + \underbrace{\Phi_{12}}_{x_{12}} \cdot \underbrace{(500 \cdot R_\delta + 50 \cdot R_\delta)}_{550 \cdot R_\delta} - \underbrace{\Phi_1}_{x_1} \cdot (500 \cdot R_\delta);$$

Электромагнитные усилия на зубцовом делении определяются по следующим формулам:

$$F_1 = \frac{x_2 - x_{12}}{2t_z} \cdot (i_1^r + I_{1,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_2 = \frac{x_3 - x_1}{2t_z} \cdot (i_2^r + I_{2,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_3 = \frac{x_4 - x_2}{2t_z} \cdot (i_3^r + I_{3,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_4 = \frac{x_5 - x_3}{2t_z} \cdot (i_4^r + I_{4,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_5 = \frac{x_6 - x_4}{2t_z} \cdot (i_5^r + I_{5,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_6 = \frac{x_7 - x_5}{2t_z} \cdot (i_6^r + I_{6,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_7 = \frac{x_8 - x_6}{2t_z} \cdot (i_7^r + I_{7,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_8 = \frac{x_9 - x_7}{2t_z} \cdot (i_8^r + I_{8,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_9 = \frac{x_{10} - x_8}{2t_z} \cdot (i_9^r + I_{9,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_{10} = \frac{x_{11} - x_9}{2t_z} \cdot (i_{10}^r + I_{10,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_{11} = \frac{x_{12} - x_{10}}{2t_z} \cdot (i_{11}^r + I_{11,k}^f) \cdot \omega_n^r;$$

$$F_{12} = \frac{x_1 - x_{11}}{2t_z} \cdot (i_{12}^r + I_{12,k}^f) \cdot \omega_n^r.$$

$$\text{Суммарное усилие: } F_\Sigma = \sum_{n=1}^{12} F_n.$$

$$\text{Линейная скорость ротора в } k\text{-й момент времени: } v_k = v_{k-1} + \frac{F_\Sigma - F_c}{m} \cdot \Delta t.$$

Математическая модель синхронного неявнополюсного дугостаторного двигателя реализована в программном пакете MATLAB методом Гаусса-Жордана. Ниже приведен пример расчета.

```

% Математическая модель СНДД с укладкой статорной обмотки классическим
% способом (z=6) с нулевым проводом
% function lad_z12_6_zero
% Исходные данные синхронного двигателя
Rb=0.1003*10^7;
rs=9.98;
LsA=0.22;
LsB=0.23;
LsC=0.21;
rr=47.25;
Lr=0.18;
dt=0.001;
As=rs+LsA/dt;
Bs=rs+LsB/dt;
Cs=rs+LsC/dt;
tz=9.769*10^-3;
m=2.66;
v0=0;
wns=200;
wnr=1200;
UA=wns/dt;
X=zeros(16,1);
F=0;
Ufm=65;
Ifm=Ufm/rr;
w12=1.12;
mass_Um = 0;
mass_f = 0;
mass_t = 0;
tk=8;
Ukon=80;
Unach=3;

K=input('Длительность цикла k=');
for k=1:(K+1)
    if ((k*dt >= 0) && (k*dt <=tk))
        fc = k*dt*45/tk;
        w=2*pi*fc;
        Um = Unach+(Ukon-Unach)*((k*dt)^1.6)/((tk)^1.6);
    end;
    if (k*dt > tk)
        fc=45+5*((tanh(k*dt-1)^0.6))*0;
        w=2*pi*fc;
        Um = Ukon+10*((tanh(k*dt-1)^0.6))*0;
    end;
    if ((k*dt >= 0) && (k*dt <= 5))
        Fc = 0;
    end;
    if (k*dt > 5)
        Fc=0;
    end;

    v(1,k)=v0; % Создание вектор-строки для графика скорости

```

```

f(1,k)=sum(F)-Fc;      % Создание вектор-строки для графика усилия
    Ua=Um*cos(w*(k-1)*dt);
    Ub=Um*cos(w*(k-1)*dt-2*pi/3);
    Uc=Um*cos(w*(k-1)*dt-4*pi/3);
    i0(1,k)=X(16);
    i_a(1,k)=X(13);
    i_b(1,k)=X(15);
    i_c(1,k)=X(14);

% Формирование матрицы A
A=zeros(16);

N1=Lr*v0/(wnr*2*tz);
N2=(rr+Lr/dt)/wnr;
N3=wnr/dt;
N4=Lr/(wnr*dt);
N5=(wnr^2)/Lr;

B=2*Rb*N2+N3;
B1=6*Rb*N2-4*Rb*N1+N3;
B2=55*Rb*N2-45*Rb*N1+N3;
B3=550*Rb*N2-450*Rb*N1+N3;
B5=550*Rb*N2+450*Rb*N1+N3;
B6=55*Rb*N2+45*Rb*N1+N3;
B7=6*Rb*N2+4*Rb*N1+N3;

C=-Rb*N2+(2*Rb+N5)*N1;
C1=-Rb*N2+(6*Rb+N5)*N1;
C2=-5*Rb*N2+(55*Rb+N5)*N1;
C3=-50*Rb*N2+(550*Rb+N5)*N1;
C5=-500*Rb*N2+(550*Rb+N5)*N1;
C6=-50*Rb*N2+(55*Rb+N5)*N1;
C7=-5*Rb*N2+(6*Rb+N5)*N1;

D=-Rb*N1;
D1=5*D;
D2=50*D;
D3=500*D;

E=-Rb*N2-(2*Rb+N5)*N1;
E1=-5*Rb*N2-(6*Rb+N5)*N1;
E2=-50*Rb*N2-(55*Rb+N5)*N1;
E3=-500*Rb*N2-(550*Rb+N5)*N1;
E5=-50*Rb*N2-(550*Rb+N5)*N1;
E6=-5*Rb*N2-(55*Rb+N5)*N1;
E7=-Rb*N2-(6*Rb+N5)*N1;

T=-wns*N1;
Y=-wns*N2;

for n=1:12
    If(n)=Ifm*sin(w*k*dt+((pi/3)*n-wl2*pi/6));
end;
for n=1:12
    If1(n)=Ifm*sin(w*(k-1)*dt+((pi/3)*n-wl2*pi/6));
end;

```

```
W1=-wns*N4;
P=-Rb*N4;
Q=2*Rb*N4+N3;

Q1=6*Rb*N4+N3;
Q2=55*Rb*N4+N3;
Q3=550*Rb*N4+N3;

for n=1:3
    A(n+2,n+12)=(-1)^(n+1)*T;
    A(n+3,n+12)=(-1)^(n+1)*Y;
    A(n+4,n+12)=(-1)^n*T;
    A(n+5,n+12)=(-1)^n*T;
    A(n+6,n+12)=(-1)^n*Y;
    A(n+7,n+12)=(-1)^(n+1)*T;
end;

for n=1:3
    A(16,n+12)=1;%hh
end;
    A(16,16)=-1;%jgj

for n=1:6
    A(n+3,n+3)=B;
    A(n+4,n+3)=E;
    A(n+2,n+3)=C;
end;

for n=1:7
    A(n+1,n+3)=D;
    A(n+4,n+2)=-D;
end;

A(1,1)=B5;
A(1,2)=C6;
A(1,3)=D1;
A(1,11)=-D2;
A(1,12)=E3;
A(2,1)=E5;
A(2,2)=B6;
A(2,3)=C7;
A(2,12)=-D3;
A(3,1)=-D2;
A(3,2)=E6;
A(3,3)=B7;
A(4,2)=-D1;
A(4,3)=E7;
A(9,10)=C1;
A(9,11)=D1;
A(10,10)=B1;
A(10,11)=C2;
A(10,12)=D2;
A(11,1)=D3;
A(11,10)=E1;
A(11,11)=B2;
```

```

A(11,12)=C3;
A(12,1)=C5;
A(12,2)=D2;
A(12,10)=-D1;
A(12,11)=E2;
A(12,12)=B3;

A(13,4)=UA;
A(14,6)=UA;
A(15,8)=UA;
A(13,7)=-UA;
A(14,9)=-UA;
A(15,5)=-UA;
A(13,13)=As;
A(14,15)=Bs;
A(15,14)=Cs;

% Матрица свободных членов
S=[
      Q3*X(1)+P*(500*X(12)+50*X(2))+wnr*N2*If(1)+wnr*N1*(If(2)-If(12))-
wnr*N4*If1(1); %1
      Q2*X(2)+P*(50*X(1)+5*X(3))+wnr*N2*If(2)+wnr*N1*(If(3)-If(1))-wnr*N4*If1(2);
      %2
      Q1*X(3)+P*(5*X(2)+X(4))+wnr*N2*If(3)+wnr*N1*(If(4)-If(2))-wnr*N4*If1(3);
      %3
      W1*X(13)+Q*X(4)+P*(X(3)+X(5))+wnr*N2*If(4)+wnr*N1*(If(5)-If(3))-wnr*N4*If1(4);
      %4
      (-1)*W1*X(14)+Q*X(5)+P*(X(4)+X(6))+wnr*N2*If(5)+wnr*N1*(If(6)-If(4))-wnr*N4*If1(5);
      %5
      W1*X(15)+Q*X(6)+P*(X(5)+X(7))+wnr*N2*If(6)+wnr*N1*(If(7)-If(5))-wnr*N4*If1(6);
      %6
      (-1)*W1*X(13)+Q*X(7)+P*(X(6)+X(8))+wnr*N2*If(7)+wnr*N1*(If(8)-If(6))-wnr*N4*If1(7);
      %7
      W1*X(14)+Q*X(8)+P*(X(7)+X(9))+wnr*N2*If(8)+wnr*N1*(If(9)-If(7))-wnr*N4*If1(8);
      %8
      (-1)*W1*X(15)+Q*X(9)+P*(X(8)+X(10))+wnr*N2*If(9)+wnr*N1*(If(10)-If(8))-
wnr*N4*If1(9); %9
      Q1*X(10)+P*(X(9)+5*X(11))+wnr*N2*If(10)+wnr*N1*(If(11)-If(9))-
wnr*N4*If1(10); %10
      Q2*X(11)+P*(5*X(10)+50*X(12))+wnr*N2*If(11)+wnr*N1*(If(12)-If(10))-
wnr*N4*If1(11); %11
      Q3*X(12)+P*(50*X(11)+500*X(1))+wnr*N2*If(12)+wnr*N1*(If(1)-If(11))-
wnr*N4*If1(12); %12
      UA*(X(4)-X(7))+(LsA/dt)*X(13)+Ua; %13
      UA*(X(6)-X(9))+(LsB/dt)*X(15)+Ub; %14
      UA*(X(8)-X(5))+(LsC/dt)*X(14)+Uc; %15
      0]; %16

% Решение методом Гаусса-Жордана
Z=rref([A S]); %Приведение расширенной матрицы к треугольному виду
X=Z(1:16,17:17); %Выделение последнего столбца из матрицы

% Ток в роторе
IR=[
      Rb*(550*X(1)-50*X(2)-500*X(12)); %1
      Rb*(55*X(2)-5*X(3)-50*X(1)); %2
      Rb*(6*X(3)-X(4)-X(2)); %3
      (-wns*X(13)+Rb*(2*X(4)-X(5)-X(3))); %4

```

```

((-1)*(-wns)*X(14)+Rb*(2*X(5)-X(6)-X(4))); %5
(-wns*X(15)+Rb*(2*X(6)-X(7)-X(5))); %6
((-1)*(-wns)*X(13)+Rb*(2*X(7)-X(8)-X(6))); %7
(-wns*X(14)+Rb*(2*X(8)-X(9)-X(7))); %8
((-1)*(-wns)*X(15)+Rb*(2*X(9)-X(10)-X(8))); %9
Rb*(6*X(10)-5*X(11)-X(9)); %10
Rb*(55*X(11)-50*X(12)-5*X(10)); %11
Rb*(550*X(12)-500*X(1)-50*X(11)]; %12

% Электромагнитное усилие
F(1)=(X(2)-X(12))* (IR(1))/(2*tz);
for n=1:10
    F(n+1)=(X(n+2)-X(n))* (IR(n+1))/(2*tz);
end;
F(12)=(X(1)-X(11))* (IR(12))/(2*tz);

% Скорость
v0=v0+((sum(F)-Fc)/m)*dt;
mass_Um(k)=Um;
mass_fc(k)=fc;
mass_t(k)=k*dt;
end;

% Построение графиков
figure(1);
plot(mass_t,mass_Um,'r',mass_t,mass_fc,'b');
grid on;
axis([0 10 0 100]);
figure(2);
k=0:K;
subplot(2,1,1);
plot(k*dt,v);
title('Скорость');
xlabel('t, c');
ylabel('v, m/c');
grid on;
subplot(2,1,2);
plot(k*dt,f);
title('Сила');
xlabel('t, c');
ylabel('F, H');
grid on;
%end

```

Временные зависимости скорости и электромагнитного усилия синхронного неявнополюсного дугостаторного двигателя в режиме частотного пуска, полученные на математической модели при $U_m^f = 65$ (80 и 100) В, представлены на рис. 5–10.

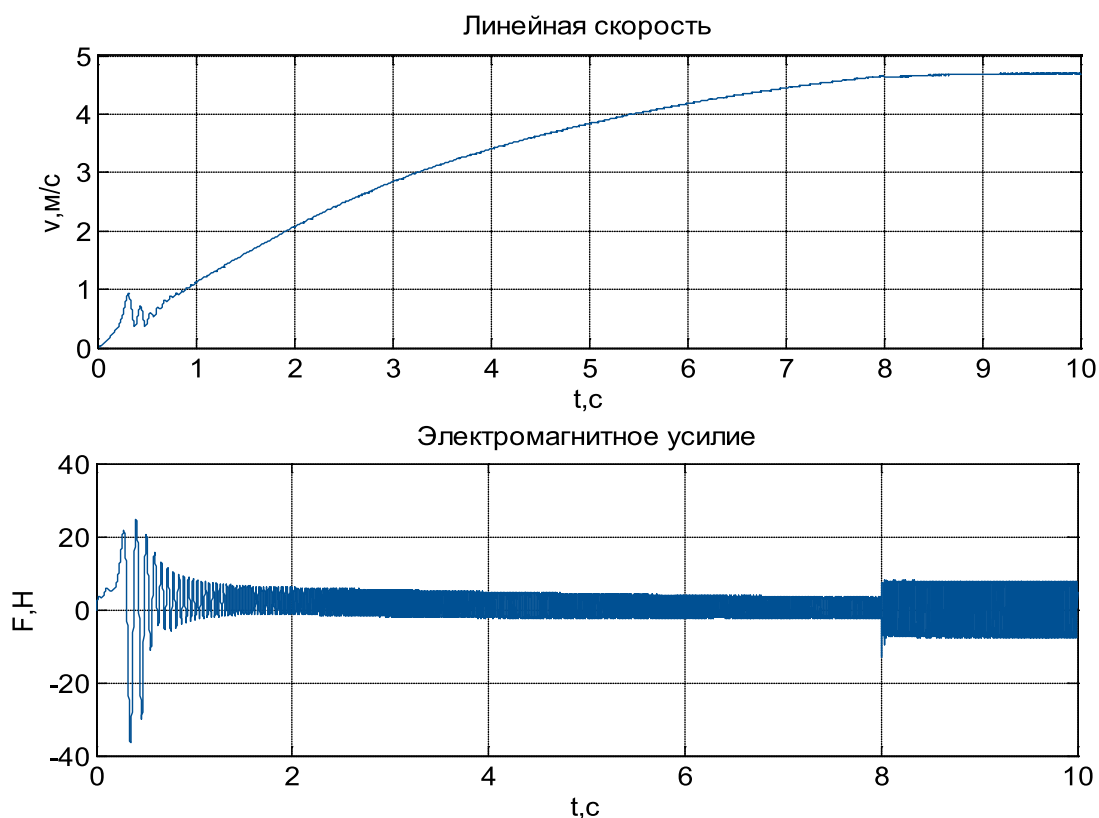


Рис. 5. Результат моделирования синхронного неявнополюсного дугостаторного двигателя в режиме частотного пуска при $U_m^f = 65 \text{ В}$

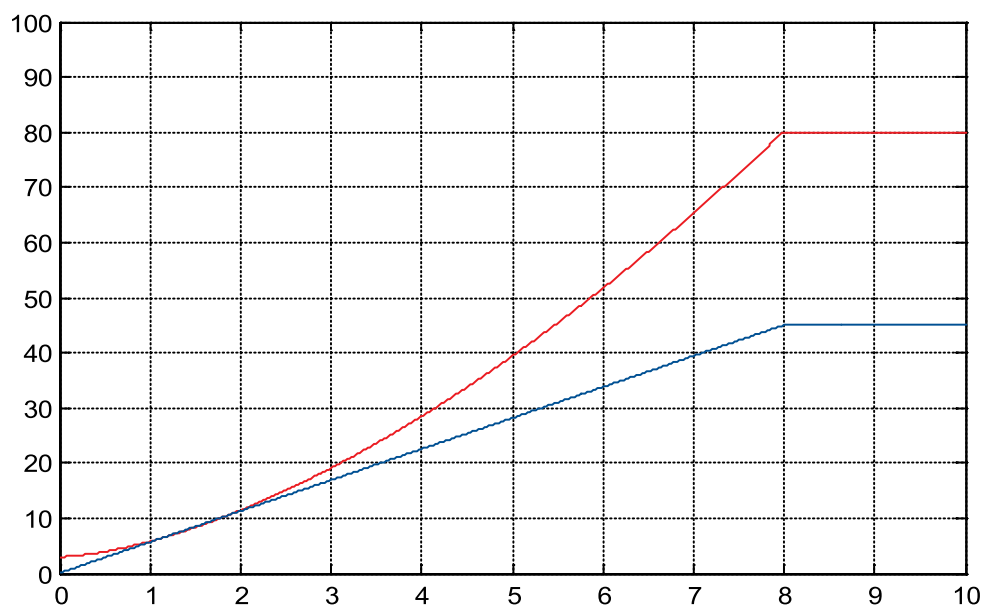


Рис. 6. Изменение напряжения U_m и частоты f при частотном пуске с напряжением $U_m^f = 65 \text{ В}$

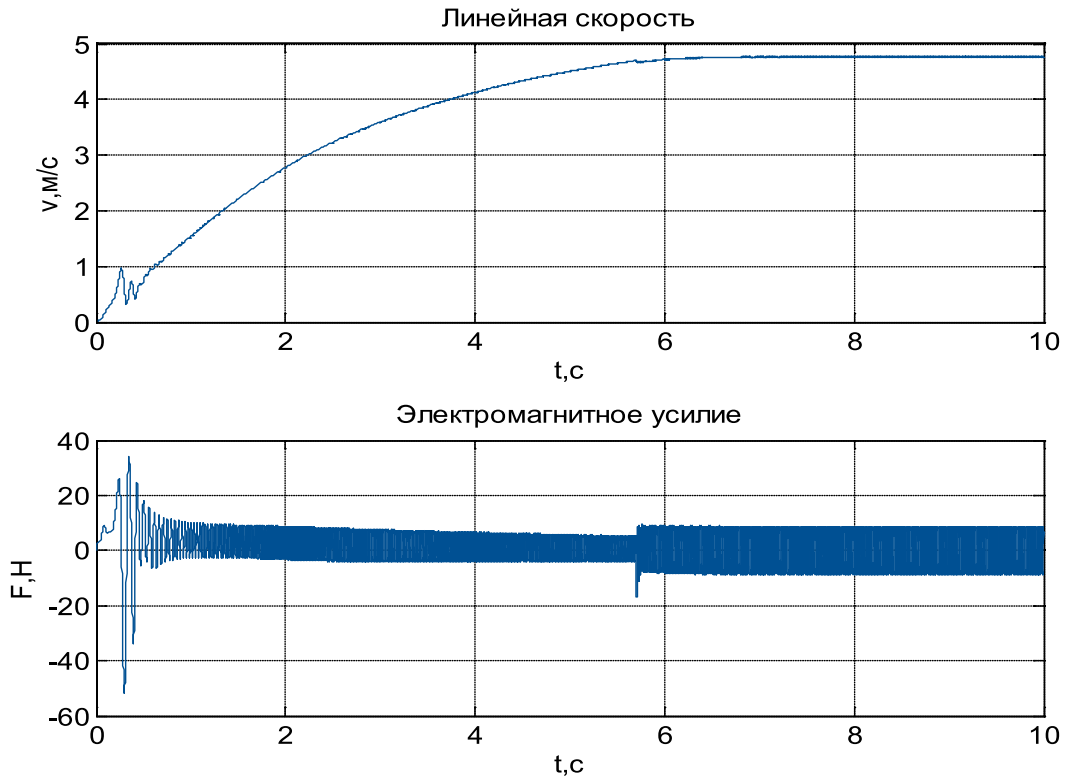


Рис. 7. Результат моделирования синхронного неявнополюсного дугостаторного двигателя в режиме частотного пуска при $U_m^f = 80$ В

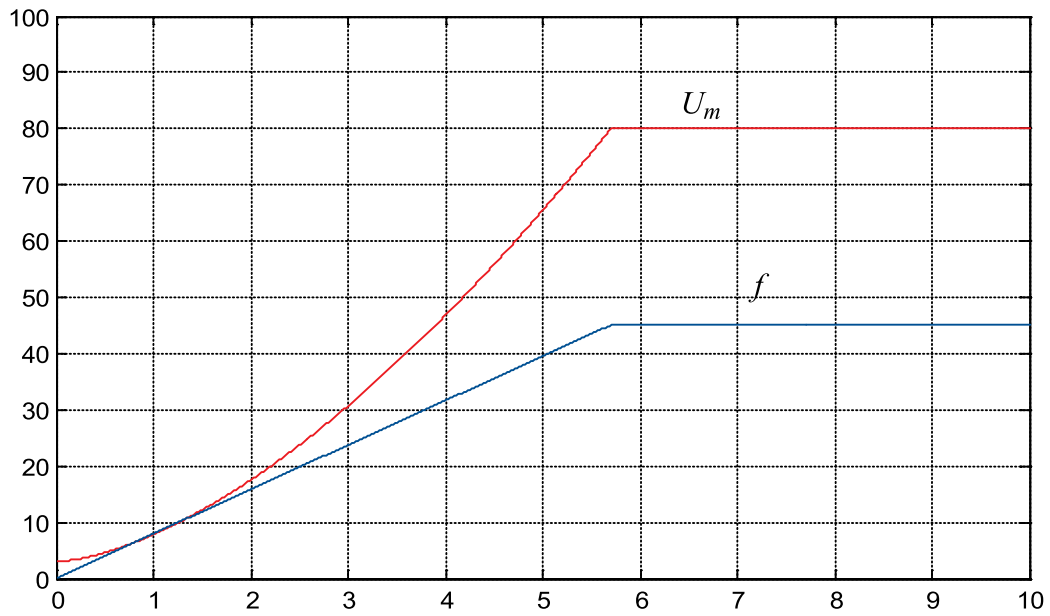


Рис. 8. Изменение напряжения U_m и частоты f при частотном пуске с напряжением $U_m^f = 80$ В

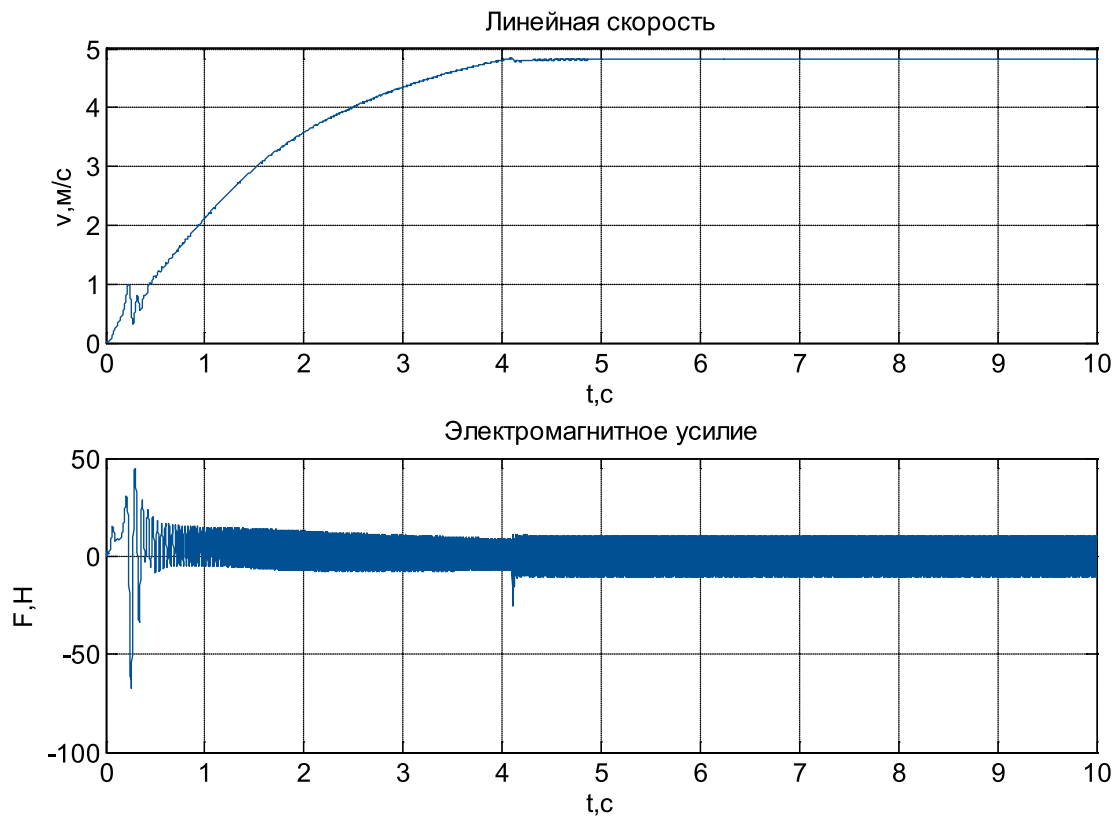


Рис. 9. Результат моделирования синхронного неявнополюсного дугостаторного двигателя в режиме частотного пуска при $U_m^f = 100$ В

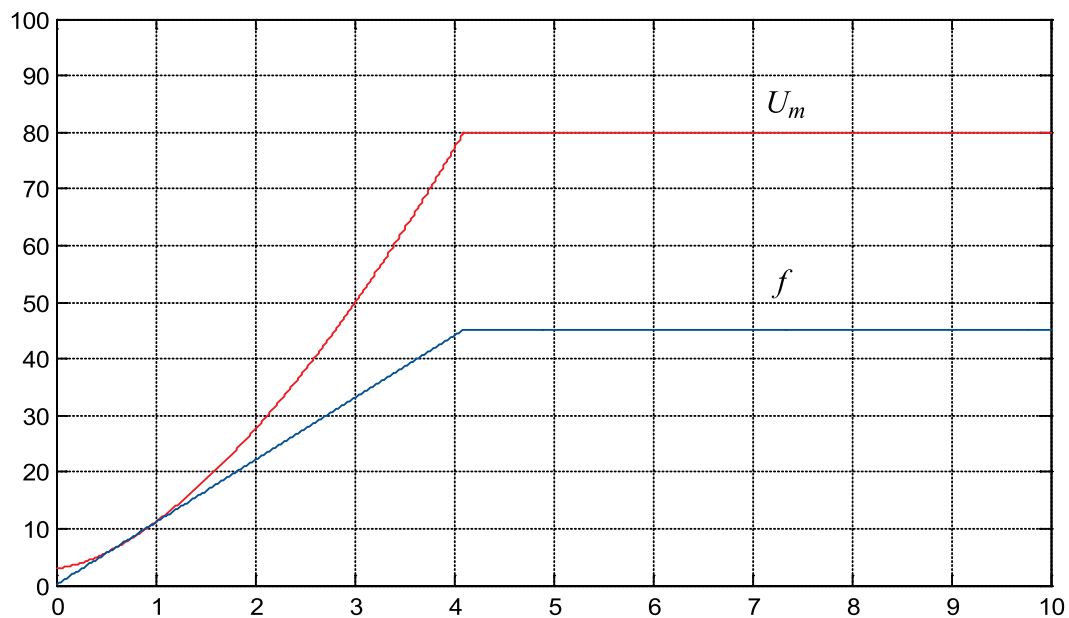


Рис. 10. Изменение напряжения U_m и частоты f при частотном пуске с напряжением $U_m^f = 100$ В

Данная модель позволяет легко смоделировать прямой пуск асинхронного дугостаторного двигателя [4], [5], [6] и [7], для этого необходимо задать $U_m^f = 0$, $f = 45$ Гц и $U_m = 80$ В. Соответствующие пункты в математической модели с законами $f(t)$ и $U_m(t)$ необходимо закомментировать (рис. 11).

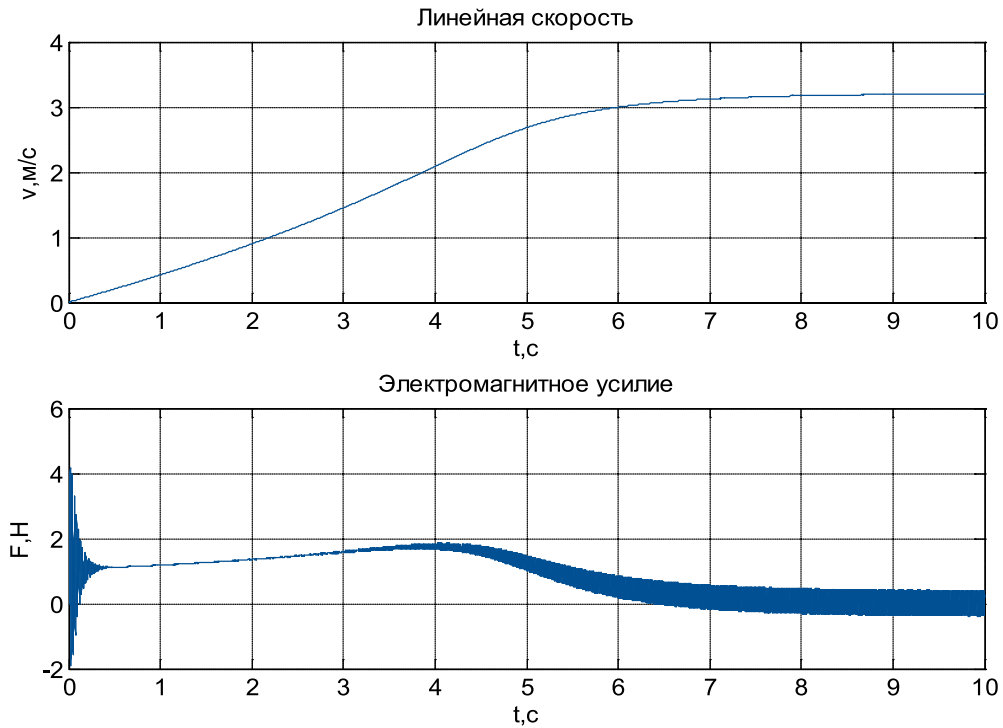


Рис. 11. Результат моделирования асинхронного дугостаторного двигателя в режиме прямого пуска при $U_m = 80$ В и $f = 45$ Гц

Результаты расчетов СНДД потока Φ и М.Д. С. $F_{синхр.}^f$ в различные моменты времени в установившемся режиме с напряжением $U_m^f = 80$ (проверка на синхронность), рис. 12 и рис. 13.

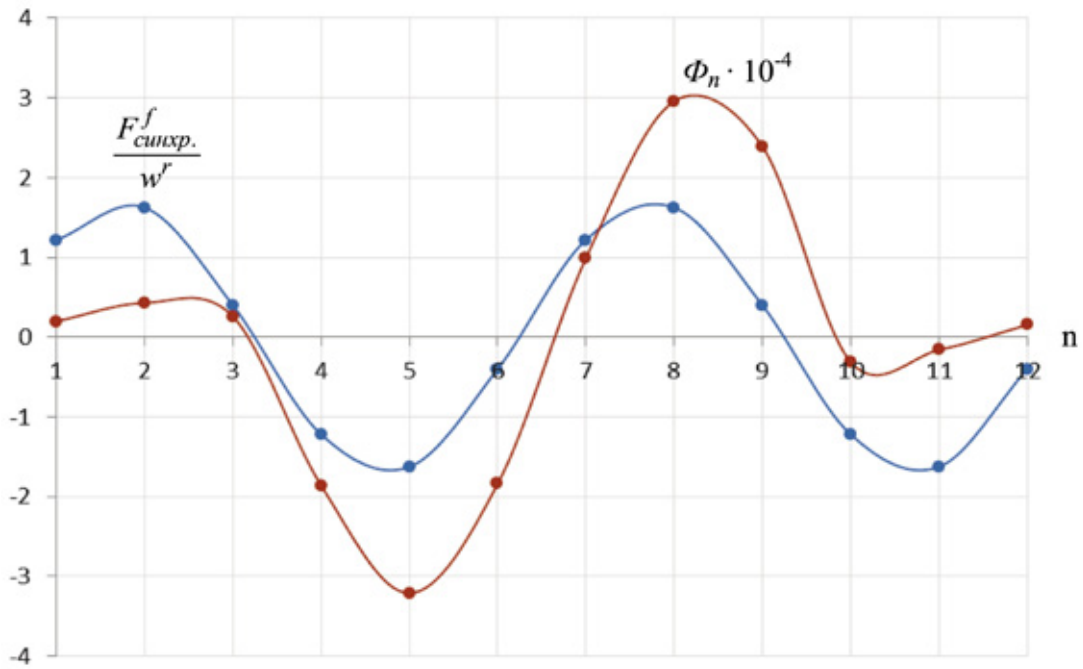


Рис. 12. Результат моделирования СНДД в установившемся режиме при $U_m^f = 80$ В и $k = 7000$

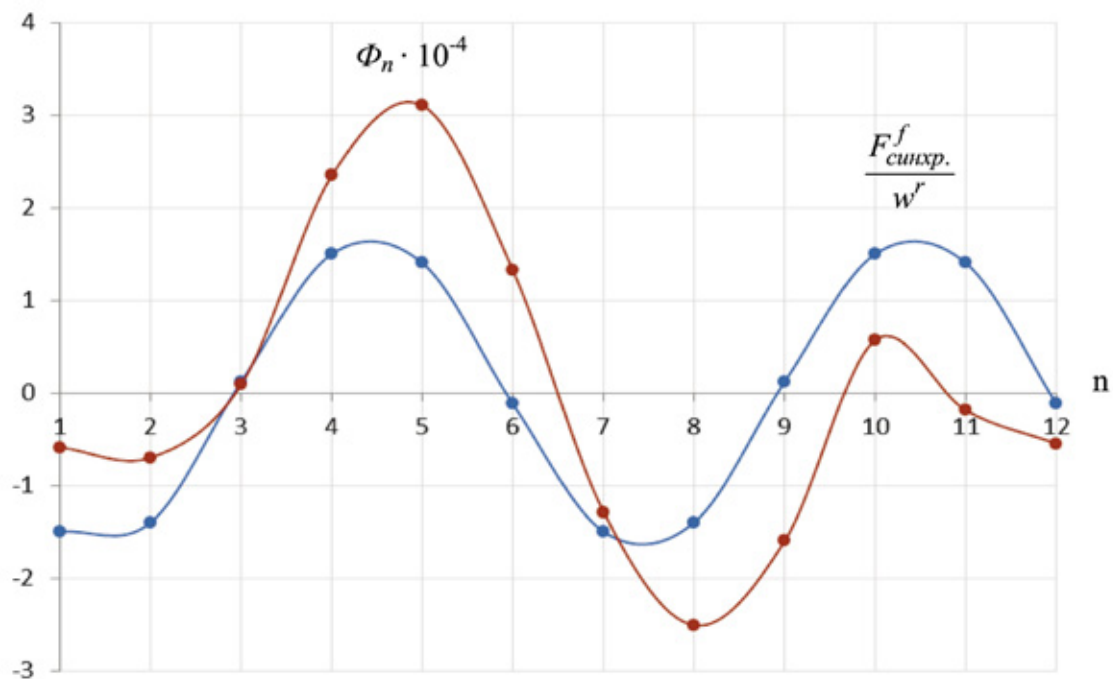


Рис. 13. Результат моделирования СНДД в установившемся режиме при $U_m^f = 80$ В и $k = 6990$

Зависимости токов i_A^s , i_B^s , i_C^s и i_0^s даны на рис. 14.

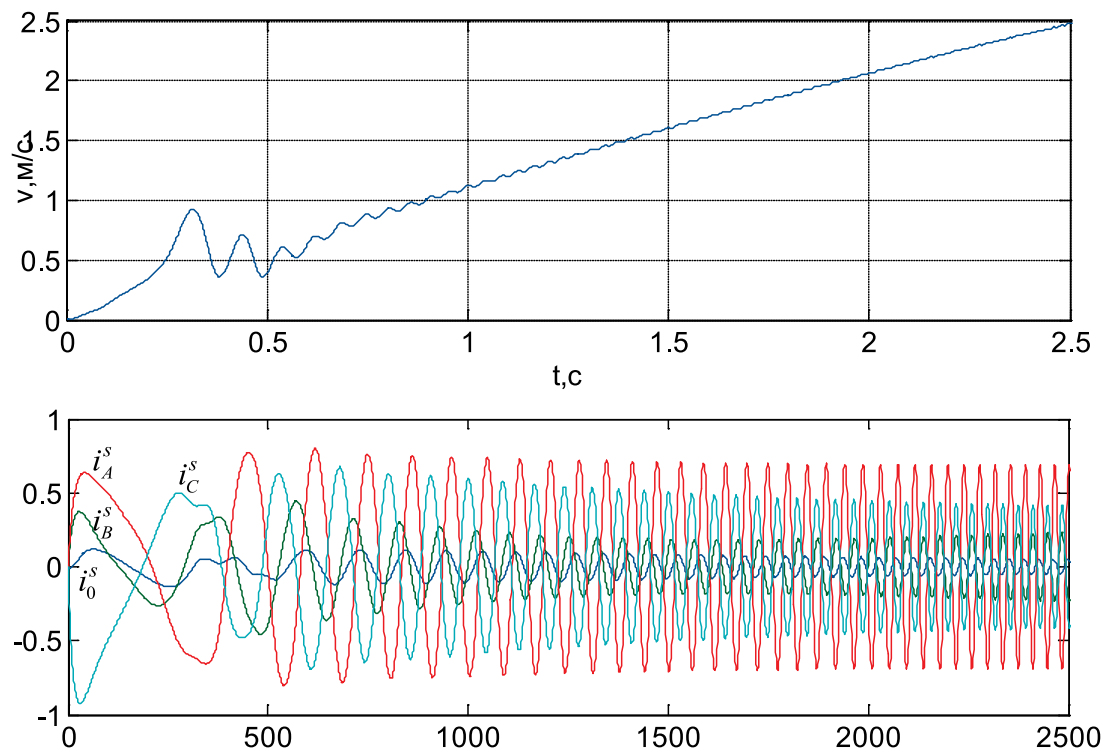


Рис. 14. Временные зависимости i_A^s , i_B^s , i_C^s и i_0^s при $k = 2500$

Литература:

1. Веселовский, О.Н. и др. Линейные асинхронные двигатели/Веселовский О.Н., Коняев А.Ю., Сарапулов Ф.Н. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 256 с.

2. Емельянов, А. А., Богатов Е. А., Клишин А. В., Медведев А. В., Симонович В. Г. Математическая модель линейного асинхронного двигателя на основе магнитных схем замещения // Молодой ученый. — 2010. — №5. — с. 14–22.
3. Емельянов, А. А., Медведев А. В., Богатов Е. А., Кобзев А. В., Бочкарев Ю. П. Программирование линейного асинхронного двигателя в MATLAB // Молодой ученый. — 2013. — №3. — с. 129–143.
4. Емельянов, А. А., Медведев А. В., Кобзев А. В., Козлов А. М., Бесклеткин В. В., Авдеев А. С., Киряков Г. А., Чернов М. В., Габзалилов Э. Ф., Иванин А. Ю. Программирование линейного асинхронного двигателя с числом пазов в индукторе равно шесть // Молодой ученый. — 2013 —. №10 — с. 23–38.
5. Емельянов, А. А., Медведев А. В., Кобзев А. В., Козлов А. М., Бесклеткин В. В., Авдеев А. С., Киряков Г. А., Чернов М. В., Габзалилов Э. Ф., Иванин А. Ю. Моделирование линейного асинхронного двигателя с укладкой обмотки индуктора ($Z_1=6$) через спинку ярма // Молодой ученый. — 2013 —. №10 — с. 39–54.
6. Емельянов, А. А., Кобзев А. В., Козлов А. М., Бесклеткин В. В., Бочкарев Ю. П., Авдеев А. С., Киряков Г. А., Чернов М. В., Габзалилов Э. Ф., Иванин А. Ю. Программирование линейного асинхронного двигателя ($Z_1 = 6$) с трехфазной обмоткой индуктора с нулевым проводом // Молодой ученый. — 2014. — №2. — с. 36–51.
7. Емельянов, А. А., Кобзев А. В., Козлов А. М., Бесклеткин В. В., Авдеев А. С., Чернов М. В., Габзалилов Э. Ф., Киряков Г. А. Моделирование системы АИН ШИМ — линейный асинхронный двигатель ($Z_1 = 6$) с классическим типом обмотки с нулевым проводом // Молодой ученый. — 2014. — №6 (65, май). — с. 24–43.

Методы формирования пористого кремния с различным размером пор и его состав

Ципенюк Владимир Николаевич, аспирант
Воронежский государственный университет

В настоящее время ведется достаточно интенсивные исследования в области создания различных структур на основе пористого кремния (por-Si) для его практических применений. Пористый кремний, полученный на высоколегированных подложках кристаллического кремния перспективен для создания оптических волноводов и лавинных светодиодов [1,2], в то время как por-Si, полученный на подложках с сопротивлением 1–5 Ом·см, может использоваться для создания микроактюаторов, самоуничтожающихся кремниевых чипов, различных кремниевых мембран [3]. На исходных пластинах с более высоким сопротивлением создаются микрореакторы, микрорезонаторы, фотонные кристаллы [4,5]. Одной из перспективных возможностей использования пористого кремния является использование его в качестве чувствительного элемента в различных датчиках [6] а так же для обнаружения бактерий и других биологических объектов, направленной доставки лекарств в определенные органы и ткани [7].

В связи с этим достаточно большое количество современных научных работ посвящено исследованиям особенностей формирования различных структур на основе пористого кремния [8–11] и управления функциональными характеристиками исследуемого материала [12–14].

Образцы пористого кремния были получены в один день, их выдержка на атмосфере в лабораторных условиях составляла около месяца. Технологические параметры методик получения образцов представлены в таблице I. Образцам присвоен номер в соответствии с внутренним порядком их получения.

Растровые изображения сколов образцов были получены на электронном микроскопе компании JEOL — JSM 6380LV (Рис. 1 и 2). На Рис. 1 представлены изображения пористого кремния полученного на подложках марки КЭФ <100> (а — образец 3) и КЭФ <111> (b — образец 7) в спиртовом растворе плавиковой кислоты, а также пористого кремния полученного на подложках марки КЭФ <100> (с — образец 18) в растворе ДМФА-плавиковая кислота при одинаковом режиме травления.

Анализируя изображения, можно отметить, что ориентация подложки при небольшой разнице в легировании существенно влияет на морфологию порообразования, но слабо влияет на диаметр крупных вертикальных пор. Разница в морфологии состоит в появлении более мелких боковых пор в виде так называемых «ёлочек» в пористом кремнии, выращенном на подложках <111>. Образцы пористого кремния, полученные с использованием раствора ДМФА-плавиковая кислота, имеют больший средний диаметр вертикальных пор, чем в por-Si, полученном по стандартной методике при тех же технологических параметрах.

На рис. 2 представлены образцы пористого кремния, полученные электрохимическим травлением пластины n-типа КЭФ <111> с сопротивлением 10 Ом·см. (а — образец 29) и пластины КЭФ <111>, 10 Ом·см. с эпитаксиально нанесенным на нее р-слоем КДБ (111) 0,4 Ом·см (b — образец 30). Толщина пористого слоя образца 29 составляла ~ 30 мкм, в котором мы не обнаружили пор с размерами более 10 нм.

Таблица 1. Режимы получения и характеристики исследуемых образцов пор-Si

Маркировка образца	Исходная пластина, удельное сопротивление ρ , Ом·см	Состав травителя	Плотность тока и время травления	Размер пор по данным РЭМ, нм
3	КЭФ (100), 0.3	HF: C ₃ H ₇ OH: H ₂ O ₂	15мин ~30мА/см ²	50–100
7	КЭФ (111), 1.0	HF: C ₃ H ₇ OH: H ₂ O ₂	15мин ~30мА/см ²	50–100
18	КЭФ (100), 0.3	ДМФА: HF: H ₂ O ₂	15мин ~30мА/см ²	150–200
29	КЭФ (111), 10	HF: C ₃ H ₇ OH: H ₂ O ₂	15мин ~50мА/см ²	Менее 10
30	многослойный КДБ (111) p-/n p-слой: 0.4 n-слой: КЭФ (111), 10	HF: C ₃ H ₇ OH: H ₂ O ₂	25мин ~30мА/см ²	а) p-слой ~ 1000–2000 б) n слой под p слоем — поры различного диаметра. Мелкие меньше 30 нм, крупные до 2000 нм

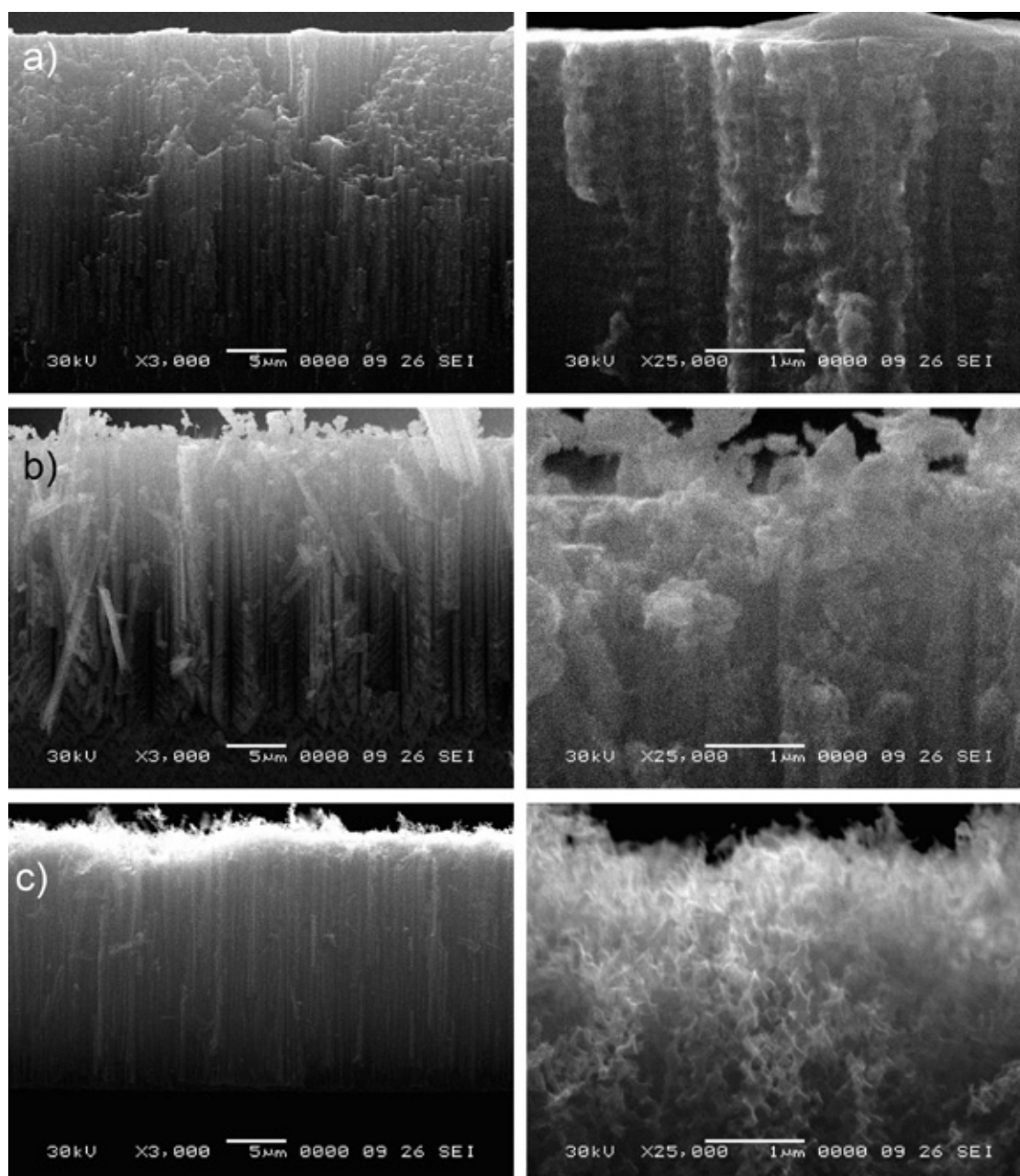


Рис. 1. РЭМ — изображения сколов образцов пористого кремния, полученного на подложке а) обр. №3, б) обр. №7, с) обр. №18 (общий план — слева и крупный план справа)

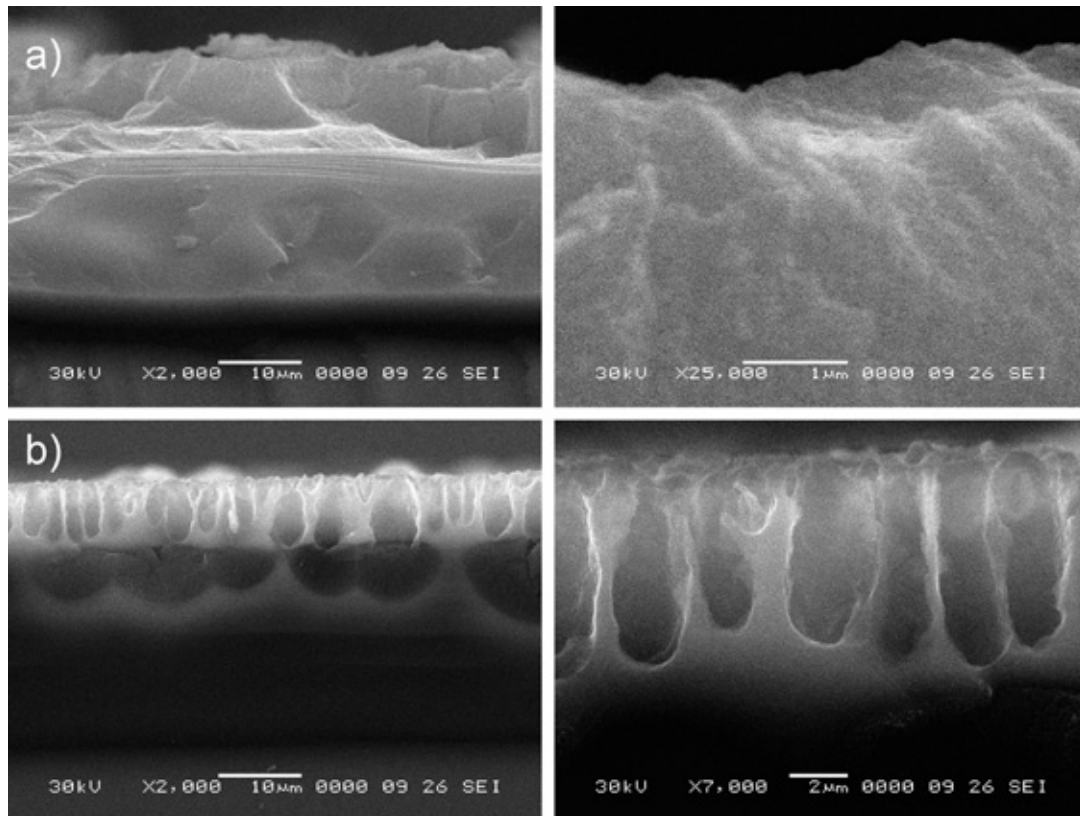


Рис. 2. РЭМ — изображения сколов образцов пористого кремния, полученного на подложке а) обр. №29, б) обр. №30 (общий план — слева и крупный план справа)

При этом образец проявил достаточно хорошие люминесцентные свойства, что в совокупности с типичной методикой получения пористого кремния позволило нам классифицировать его как нанопористый кремний. Из сравнения морфологии образца 29 с образцами 3 и 7, видно, что при травлении в приблизительно одинаковых технологических режимах, диаметр пор у высоко легированных образцов получается больше, чем у слабо легированных. Это вполне можно объяснить присутствием у первых гораздо большего количества примесных дефектов, способствующих образованию пор с размером 10–100 нм.

На РЭМ-изображениях сколов образца 30, сформированного на р/п переходе, со стороны пластины с р-слоем четко наблюдаются два пористых слоя с различным размером упорядоченных вертикальных макропор и граница раздела между ними. Толщина слоев составляет ~10 мкм для р-слоя и ~15 мкм для расположенного под ним слоя п-рог-Si. Впоследствии часть р-слоя была механически удалена и были проведены исследования ИК как верхнего слоя (30-р), так и слоя под ним (30-п).

Для того чтобы получить данные о химических связях и их возможных деформациях на поверхности образцов рог-Si были проведены исследования с использованием метода ИК-спектроскопии. ИК-спектры пропускания образцов пористого кремния были получены на ИК Фурье спектрометре Vertex 70 (Bruker) с использованием при-

ставки для спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО).

На основе сравнения данных, полученных методом ИК-спектроскопии, с фотолюминесцентными характеристиками образцов отметить следующие закономерности: во-первых, на ИК-спектрах всех образцов, имеющих наиболее яркую фотолюминесценцию, в оптическом диапазоне в значительной степени выражена широкая полоса 600–700 см⁻¹, с пиком в области 616 см⁻¹, характерным для связей Si-Si. Для образцов с меньшей ФЛ эта полоса проявляется слабее и исчезает для образцов не обладающих ФЛ свойствами. Данную закономерность можно объяснить присутствием в образцах с яркой люминесценцией значительного количества нанокристаллов/кластеров кремния. Второй отличительной особенностью ИК-спектров образцов, обладающих яркой фотолюминесценцией, является наличие полосы поглощения Si-H связей в области (2100–2140 см⁻¹).

Учитывая то, что данные связи являются достаточно слабыми, они могут активно принимать участие в различных естественных или технологических поверхностных процессах, таких как окисление, карбонизация и т. п., приводящих к усилению или ослаблению люминесцентных свойств рог-Si, что так же предполагает развитие возможностей управления функциональными характеристиками структур пористого кремния для нужд оптоэлектроники.

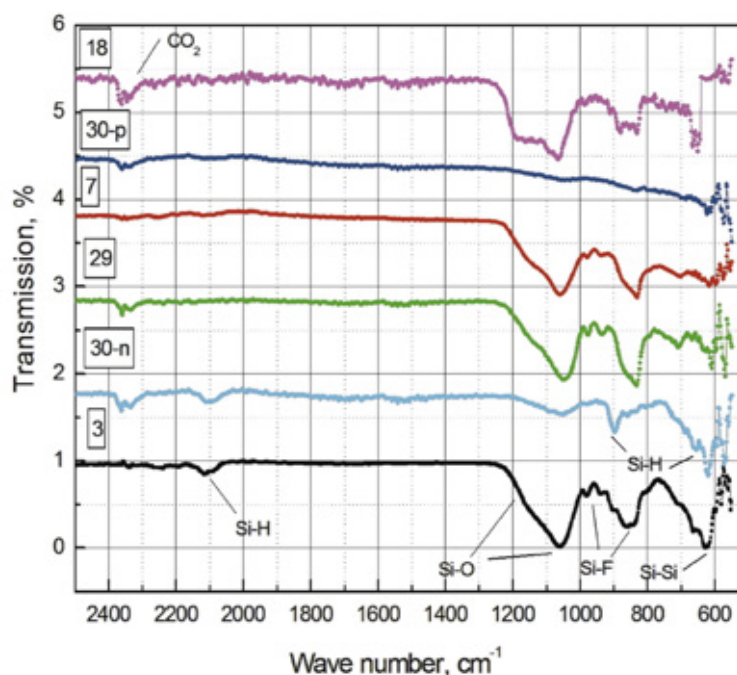


Рис. 5. ИК-спектры пропускания образцов пористого кремния различной пористости

Литература:

1. Бондаренко, В.П., Яковцева В.А., Долгий Л.Н., Ворозов Н.Н., Казючиц Н.М., Цыбесков Л., Фуше Ф. // ПЖТФ. 1999. Т. 25. Вып. 17. С. 69–73.
2. Лазарук, С.К., Лешок А.А., Лабунов В.А., Борисенко В.Е. // ФТП. 2005. Т. 39. Вып. 1. С. 149–152.
3. Горячев, Д.Н., Беляков Л.В., Сресели О.М. // ФТП. 2010. Т. 44. Вып. 12. С. 1636–1639.
4. Акципетров, О.А., Долгова Т.В., Соболева И.В., Федянин А.А. // ФТТ. 2005. Т. 47. Вып. 1. с. 150–152.
5. Жарова, Ю.А., Федулова Г.В., Астрова Е.В., Балдычева А.В., Толмачев В.А., Перова Т.С. // ФТП. 2011. Т. 45. Вып. 8. С. 1136–1143.
6. Moshnikov, V.A., Gracheva I., Lenshin A.S., Spivak Y.M., Anchkov M.G., Kuznetsov V.V., Jan M. Olchowik. // Journal of Non-Crystalline Solids. 2012. V. 358. Issue 3. P. 590–595.
7. C. RoyChaudhuri, S. Gangopadhyay, R. DevDas, S.K. Datta, H. Saha // International journal on smart sensing and intelligent systems, 2008, vol. 1, №3.
8. Леньшин, А.С., Кашкаров В.М., Середин П.В., Минаков Д.А., Агапов Б.Л., Кузнецова М.А., Мошников В.А., Домашевская Э.П. // ФТП. 2012. Т. 46. №8. с. 1101–1107.
9. Леньшин, А.С., Кашкаров В.М., Голощапов Д.Л., Середин П.В., Полуместная К.А., Мараева Е.В., Солдатенко С.А., Юраков Ю.А., Домашевская Э.П. // Неорганические материалы. 2012. Т. 48. №10. с. 1091.
10. Леньшин, А.С., Кашкаров В.М., Турищев С.Ю., Смирнов М.С., Домашевская Э.П. // ЖТФ. 2012. Т. 82. №2. с. 150–152.
11. Kashkarov, V., Nazarikov I., Lenshin A., Terekhov V., Turishchev S., Agapov B., Pankov K., Domashevskaya E. // Physica Status Solidi (C) Current Topics in Solid State Physics. 2009. Т. 6. №7. с. 1557–1560.
12. Кашкаров, В.М., Леньшин А.С., Агапов Б.Л., Турищев С.Ю., Домашевская Э.П. // ПЖТФ. 2009. Т. 35. №17. с. 89–96.
13. Соцкая, Н.В., Долгих О.В., Кашкаров В.М., Леньшин А.С., Котлярова Е.А., Макаров С.В. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2009. Т. 9. №5. с. 643–652.
14. Kashkarov, V., Lenshin A., Agapov B., Turishchev S., Domashevskaya E. // Physica Status Solidi (C) Current Topics in Solid State Physics. 2009. Т. 6. №7. с. 1656–1660.

ХИМИЯ

Поиск неорганических материалов для создания Na-ионных электрохимических батарей с использованием кристаллохимического анализа

Арсентьев Максим Юрьевич, кандидат химических наук;
Калинина Марина Владимировна, кандидат химических наук;
Егорова Татьяна Леонидовна, инженер-исследователь;
Институт химии силикатов им. И. В. Гребенщикова РАН (г. Санкт-Петербург)

Приходько Артем Вячеславович, студент
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Известно, что создание Li-ионных батарей было успешным в большой степени благодаря высокой ионной проводимости в структуре LiCoO_2 [1]. Предсказание свойств материалов с помощью компьютерных вычислений позволяет значительно сократить время разработки новых материалов. В данном исследовании с использованием кристаллохимического анализа (программный пакет TOPOS) были проанализированы 2367 неорганических Na-содержащих соединений. Выявлено, что 192 соединения способны обладать ионной проводимостью при комнатной температуре. Из них 43—1D ионные проводники, 55—2D, 94—3D. Результаты могут быть использованы в дальнейших расчетах количественных характеристик ионной проводимости из первых принципов и создании новых ионных проводников.

Ключевые слова: кристаллохимический анализ, твердые электролиты, суперионные проводники, электрохимические батареи, суперконденсаторы, твердотельные газовые сенсоры.

Ионные проводники представляют интерес при создании суперконденсаторов [2–4], топливных элементов, электрохимических батарей [5–8]. Выбор материалов катодов электрохимических батарей для каждого конкретного применения нетривиален — он определяется балансом удельной запасаемой энергии, удельной мощности, срока службы, безопасности, стоимости [9]. К примеру, несмотря на то, что такой известный материал как LiFePO_4 обладает приемлемыми электрохимическими характеристиками, безопасностью, термической стабильностью, у него имеются такие недостатки как меньшая в сравнении с другими аналогами удельная энергия и снижение характеристик при высокой и низкой температурах. LiNiCoAlO_2 , напротив, несмотря на то, что менее широко используется на потребительском рынке, обладает высокой удельной запасаемой энергией, удельной мощностью и длительным сроком службы, чем привлекает внимание производителей автомобильной продукции. Именно LiNiCoAlO_2 используется в электромобилях Tesla. Требования, предъявляемые к катодным материалам, разнообразны, не удовлетворены в полной степени, а некоторые важные свойства известных материалов не понятны, поэтому поисковые исследования в данном направлении продолжаются. Наноматериалы позволяют раскрыть высокую

производительность материалов, как это было в случае с LiFePO_4 [10–15]. Также имеются компьютерные ресурсы, помогающие инженерам и ученым в поиске новых материалов, например AFLOWLIB.org консорциум [16] и Materials Project [17]. В качестве дополнительного инструмента, позволяющего определять возможность существования ионной проводимости, может рассматриваться метод кристаллохимического анализа с использованием программного пакета TOPOS [18]. Данный подход позволяет доступными компьютерными средствами оценить возможность существования ионной проводимости в исследуемых соединениях и структурах. Определение количественных характеристик, влияющих на величину ионной проводимости возможно с использованием более точных подходов метода теории функционала плотности. Первичный анализ данным методом, тем не менее, позволяет исключить структуры, в которых не может наблюдаться ионная проводимость, сэкономить имеющиеся у исследователя компьютерные ресурсы. Наличие в ресурсе Materials Project информации о величине запрещенной зоны, положению уровня Ферми для интересующего материала позволяет также, не прибегая к ресурсоемким расчетам в первом приближении оценить порядок электронной проводимости. Высокая электронная проводимость необходима для сво-

бодного перемещения электронов в область протекания электрохимической реакции, а также быстрого установления равновесия между данными областями, отсутствие которого может отразиться на величине саморазряда [19]. Данные рассуждения верны для материалов катодов электрохимических батарей и электродов суперконденсаторов с псевдоемкостным накоплением заряда [20]. Следует отметить, что твердых электролитов твердотельных электрохимических батарей величина электронной проводимости, напротив, должна быть минимальной.

Тем не менее, имеются исключения из правил: LiFePO_4 несмотря на невысокие электронную и ионную проводимости (для монокристаллического материала) демонстрирует высокие скорости заряда-разряда и длительный срок службы (в виде нанопорошков, при допировании материала и покрытии их углеродом). Предполагается, что данный факт можно объяснить существованием фазы метастабильного твердого раствора на границе $\text{LiFePO}_4/\text{FePO}_4$ [21].

Данный метод анализа не является достаточным — некоторые из катионов могут быть неподвижными, формировать вместе с анионами многогранники и не участвовать в ионной проводимости. Такие многогранники способны соединяться с другими и образовывать устойчивый каркас как, например, это имеет место в случае с $\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$ [22]. Возможно улучшение данной методики — определение неподвижных катионов Li и исключение позиций, занимаемых ими из определения путей миграции. Данный способ мог бы быть реализован, например, построением доменов Дирихле вокруг каждого катиона Li и определение неподвижных на основе измерения телесных углов данных доменов. Мы предполагаем продемонстрировать перспективность данного подхода на примере соединения $\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$ в дальнейших публикациях.

Анализируя результаты расчетов (табл. 1) видно, что с увеличением размерности путей миграции катионов число соединений, в которых может наблюдаться ионная

проводимость при комнатной температуре, увеличивается (43 для 1D, 55 для 2D, 94 для 3D). Для пространственной группы $P1$, напротив, уменьшается, (14 для 1D, 16 для 2D, 7 для 3D): вероятно с уменьшением симметрии кристаллической решетки наблюдение 3D ионной проводимости все менее вероятно. Однако следует отметить, что пример наличия высокой ионной проводимости у 2D ионного проводника LiCoO_2 доказывает, что размерность каналов не является определяющей для высокой ионной проводимости. Только использование более точных (и ресурсоемких) компьютерных вычислений методами теории функционала электронной плотности позволяет определять энергии активации ионной проводимости и в данном случае метод кристаллохимического анализа также не является достаточным.

Для соединений, в которых возможна ионная проводимость, помимо замещения среди переходных и редкоземельных металлов, распространены случаи замещения P^{5+} на V^{5+} (3 случая — см. табл. 1). Данные соединения при замещении приобретают различную электронную структуру согласно информации ресурса Materials Project: ширина запрещенной зоны, как и для других случаев, различается существенно — 3,279 и 2,395 эВ для $\text{Na}_3\text{P}(\text{SO})_2$ и $\text{Na}_3\text{V}(\text{SO})_2$ соответственно. На примере данных соединений допирование позволило бы понижать ширину запрещенной зоны и повышать электронную проводимость, необходимую для материалов катодов электрохимических батарей. Использование допирования для повышения электронной проводимости используется для такого известного материала как LiFePO_4 . Как и в случае с Li-ионными проводниками, метод кристаллохимического анализа с использованием программного пакета TOPOS позволяет производить экспериментальный поиск новых ионных проводников путем гетеровалентного замещения катионов каркаса [23]. Термодинамически нестабильные ионные проводники при этом можно получить, например, методом ионного обмена термодинамически стабильных.

Таблица 1. Размерность путей миграции ионов Na в неорганических Na-содержащих материалах

Состав	Число соединений	Пространственная группа
1D путь миграции		
Na_5WO_5	1	$C2/c$
$\text{Na}_2\text{Co}_2(\text{B}_4\text{O}_7)_3$	1	$C2/c$
$\text{Na}_2\text{Tl}_2\text{B}_{10}\text{O}_{17}$	1	$C2/c$
Na_2FeO_3	1	$Ccmm$
Na_4TiO_4	1	$Cmcm$
$\text{Na}_4\text{CoAuO}_5$	1	$Cmcm$
NaCr_4O_8	1	$I4/m$
$\text{Na}_2\text{DyMoPO}_8$ M = Y, Tb, Dy, Yb	8	$Ibca$
Na_2MO_2 M = Ni, Pt	2	$Immm$
$\text{Na}_{25}\text{Zr}_{11}\text{Sc}_5\text{Si}_{12}(\text{PO}_8)_{12}$	1	$P1$
$\text{Na}_3\text{Zr}_2\text{Si}_2\text{PO}_{12}$	2	$P1$
$\text{Na}_{10}\text{Zr}_6\text{Si}_7(\text{PO}_{18})_2$	2	$P1$
$\text{Na}_{20}\text{Zr}_{11}\text{Si}_{10}(\text{PO}_9)_8$	2	$P1$
$\text{Na}_7\text{Bi}_3\text{P}_{12}(\text{Pb}_5\text{O}_{24})_2$	1	$P1$

$\text{Na}_{17}\text{Zr}_{12}\text{Si}_{11}\text{P}_7\text{O}_{72}$	2	$P1$
$\text{Na}_4\text{Al}_2\text{Si}_6\text{ClO}_{24}$	2	$P1$
$\text{Na}_2\text{Zn}_3(\text{SiO}_4)_2$	1	$P1$
$\text{Na}_{10}\text{Zr}_6\text{Si}_7(\text{PO}_{18})_2$	1	$P1$
$\text{Na}_6\text{Si}_8\text{O}_{19}$	1	$P2_1/c$
$\text{Na}_2\text{Pr}_4\text{Cl}_9\text{O}_2$	1	$P2_1/m$
$\text{Na}_2\text{V}_3\text{O}_7$	1	$P31c$
$\text{Na}_3\text{TmSi}_2\text{O}_7$	1	$P6_3$
$\text{NaP}_3(\text{PbO}_3)_4$	1	$P6_3$
$\text{NaSb}_3(\text{PO}_5)_2$	1	$Pbc2_1$
NaASbO_5 , A = Si, Ge	2	$Pc2_1n$
Na_5AsO_5	1	$Pcmb$
$\text{Na}_5\text{Lu}(\text{SiO}_3)_4$	1	$R32$
$\text{Na}_2\text{V}_3\text{O}_7$	1	$P\bar{3}$
$\text{Na}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	1	$P\bar{1}$
2D путь миграции		
$\text{Na}_5\text{Bi}_2\text{As}(\text{CO}_4)_4$	1	$C2/c$
$\text{Ba}_3\text{NaBiO}_6$	1	$C2/c$
$\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{PO}_4)_3$	1	Cc
$\text{NaCo}_2\text{H}_3(\text{SeO}_5)_2$	1	Cm
Na_3MnO_3	1	$Cmce$
Na_5MoNO_4	1	$Cmcm$
$\text{Na}_5\text{Bi}_2\text{P}(\text{CO}_4)_4$	1	$F222$
$\text{Na}_4\text{Bi}_2\text{C}_4\text{SO}_{16}$	1	$F222$
$\text{Na}_4\text{Bi}_2\text{As}(\text{CO}_4)_4$	1	$Fddd$
$\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{Sb}_2\text{O}$	1	$I4/mmm$
$\text{Na}_3\text{Zr}_2\text{Si}_2\text{PO}_{12}$	10	$P1$
$\text{Na}_{11}\text{Zr}_8\text{Si}_7\text{P}_5\text{O}_{48}$	2	$P1$
$\text{Na}_4\text{Ga}_3\text{Si}_3\text{NO}_{14}$	2	$P1$
$\text{Na}_{13}\text{Zr}_8\text{Si}_9(\text{PO}_{16})_3$	2	$P1$
$\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Ge}_3\text{NO}_{15}$	2	$P2$
NaBiPCO_7 , M = Zr, Ce, Pr, Nd, Bi	5	$P2_1$
NaBiACO_7 , A = S, As	2	$P2_1$
$\text{Na}_8\text{M}_2\text{O}_7$, M = Fe, Ga	2	$P2_1/c$
Na_3FeO_3	1	$P2_1/c$
Na_2FeO_2	1	$P2_1/c$
$\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{O}_5$	1	$P2_1/c$
$\text{Na}_3\text{B}_5\text{SO}_8$	1	$P2_1/c$
$\text{Na}_3\text{NbAs}_2\text{O}_9$	1	$P2_1/c$
$\text{Na}_2\text{CoGeO}_4$	1	$P2_1nm$
$\text{Na}_3\text{Fe}_2\text{P}_2\text{O}_8\text{F}_3$	2	$P4_2/mbc$
$\text{Na}_2\text{ZnP}_2\text{O}_7$	1	$P4_2/mnm$
NaHg_2IO_2	1	$P6_222$
NaAsO_2	1	$Pcab$
$\text{Na}_3\text{V}_2\text{P}_2\text{O}_8\text{F}_3$	2	$Pnmm$
$\text{NaAl}_{11}\text{O}_{17}$	1	$R3m$
Na_2SO_4	1	$P\bar{3}m1$
Na_2CrO_4	1	$P\bar{1}$
$\text{NaTl}_3(\text{SO}_3)_2$	1	$P\bar{3}m1$
NaNiAsO_4	1	$R\bar{3}$
3D путь миграции		
Na_2CdO_2	1	$C2$
$\text{Na}_7(\text{CO}_3)_2$	1	$C2/c$
$\text{Na}_2\text{Sb}_4\text{O}_7$	1	$C2/c$
$\text{NaW}_2(\text{Br}_3\text{O})_2$	1	$C2/m$
Na_4FeO_5	1	Cc

$\text{Na}_4\text{BeAlSi}_4\text{ClO}_{12}$	1	<i>Cc</i>
Na_8FeO_6	1	<i>Cc</i>
$\text{Na}_3\text{AS}_3\text{O}$ A = P, V	2	<i>Ccm2_1</i>
$\text{Na}_{22}\text{In}_5\text{O}_{15}$	1	<i>Cm</i>
Na_5WNO_4	1	<i>Cmc2_1</i>
$\text{Na}_2\text{Bi}_2\text{C}_4\text{SO}_{16}$	1	<i>Fddd</i>
$\text{Na}_2\text{Sn}_2\text{O}_3$	1	<i>I2_13</i>
$\text{Na}_5\text{M}(\text{MoO}_4)_4$ M = Y, La, Gd, Tb, Er, Lu	6	<i>I4_1/a</i>
$\text{Na}_5\text{M}(\text{WO}_4)_4$ M = Y, La, Nd, Tb, Lu	5	<i>I4_1/a</i>
$\text{Na}_4\text{Th}(\text{MoO}_4)_4$ M = Th, U, Pu	3	<i>I4_1/a</i>
$\text{Na}_2\text{Sc}_4\text{Zn}_2(\text{MoO}_4)_9$	2	<i>P1</i>
$\text{Na}_2\text{Li}_5\text{Al}_7\text{Si}_{29}\text{O}_{72}$	1	<i>P1</i>
$\text{Na}_{13}\text{Zr}_7\text{Si}_5\text{P}_7\text{O}_{48}$	2	<i>P1</i>
Na_4CoO_4	1	<i>P1</i>
$\text{Na}_8\text{Be}_3\text{Si}_9(\text{ClO}_{12})_2$	1	<i>P1</i>
$\text{Na}_2\text{Pr}_4\text{Br}_9\text{NO}$	2	<i>P2_1</i>
$\text{Na}_{14}\text{Al}_4\text{O}_{13}$	1	<i>P2_1/c</i>
$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{S}_3(\text{Cl}_4\text{O}_3)_2$	2	<i>P2_1/c</i>
Na_3VO_3	1	<i>P2_1/c</i>
$\text{Na}_2\text{TiS}_2\text{O}$	1	<i>P2_1/c</i>
$\text{Na}_3\text{Si}_2\text{PO}_8$	1	<i>P2_12_12_1</i>
$\text{Na}_2\text{MoSeO}_6$	1	<i>P2_13</i>
Na_3MoNO_3	1	<i>P2_1nm</i>
$\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{SO}_{28}$	1	<i>P23</i>
Na_5MSO_2 M = Co, Ni	2	<i>P4/mmm</i>
$\text{Na}_3\text{Nd}_2(\text{NO}_3)_9$	1	<i>P4_132</i>
Na_3NiO_2	1	<i>P4_2/mnm</i>
Na_6MO_4 M = Co, Ni	2	<i>P4_2/nmc</i>
$\text{NaAl}_3\text{Tl}_2(\text{SiO}_4)_3$	2	<i>P4mm</i>
$\text{Na}_3\text{LuSi}_2\text{O}_7$	1	<i>P6_3/m</i>
Na_3IO	1	<i>P6_3/mmc</i>
Na_8AO_6 A = Ti, Co, Sn	3	<i>P6_3cm</i>
Na_6CoO_4	1	<i>P6_3mc</i>
Na_5FeO_4	1	<i>Pbca</i>
$\text{Na}_9\text{Fe}_2\text{O}_7$	1	<i>Pca2_1</i>
Na_5FeO_4 A = Fe, Co, Ni, Ga, Tl	5	<i>Pcab</i>
$\text{Na}_3\text{A}(\text{SO})_2$ A = P, V	2	<i>Pcab</i>
Na_3TlO_2	1	<i>Pcmn</i>
Na_8TiO_6	1	<i>Pna2_1</i>
$\text{Na}_3\text{VS}_3\text{O}$	1	<i>Pnma</i>
Na_7SbO_6	1	<i>R3</i>
Na_3ASO_3 A = P, V	2	<i>R3c</i>
$\text{NaSn}_4(\text{PO}_4)_3$	1	<i>R3c</i>
$\text{Na}_8\text{BeAl}_4\text{Si}_7(\text{AO}_{12})_2$ A = Cl, Br	2	<i>P\bar{4}</i>
Na_3VO_4	1	<i>I\bar{4}2m1</i>
Na_3BiO_3	1	<i>P\bar{1}</i>
NaSbO_3	1	<i>P\bar{1}</i>
$\text{Na}_{14}\text{Ni}_2\text{O}_9$	1	<i>P\bar{3}</i>
Na_2CrO_4	1	<i>R\bar{3}</i>
Na_5CrO_4	1	<i>R\bar{3}</i>
$\text{Na}_4\text{M}(\text{NO})_2$ M = Mo, W	2	<i>P\bar{1}</i>
$\text{Na}_3\text{SO}_4\text{F}$	1	<i>P\bar{4}3m</i>
$\text{NaLa}_6\text{OsI}_{12}$	1	<i>R\bar{3}</i>
$\text{Na}_3\text{Sc}_2(\text{BO}_3)_3$	1	<i>R\bar{3}c</i>
$\text{Na}_4\text{Al}_3\text{A}_3\text{IO}_{12}$ A = Si, Ge	4	<i>P\bar{4}3n</i>
$\text{Na}_4\text{Ga}_3\text{Si}_3\text{IO}_{12}$	2	<i>P\bar{4}3n</i>

С использованием кристаллохимического анализа (программный пакет TOPOS) проанализированы 2367 неорганических Na-содержащих соединений на способность обладать ионной проводимостью, определена размерность ион-проводящих каналов. Выявлено, что 192 соединения способны обладать ионной прово-

димостью при комнатной температуре. Метод позволяет провести топологический анализ структур и ион-проводящих каналов с использованием минимальных требований к компьютерным ресурсам и таким образом произвести подготовку к дальнейшим расчетам из первых принципов.

Литература:

1. Guyomard, D., in *New Trends in Electrochemical Technology: Energy Storage Systems in Electronics*, ed. Osaka T. and Datta M., Gordon and Breach Publishers, Philadelphia, 2000, ch. 9.
2. Коваленко, А. С., Шилова О. А., Морозова Л. В., Калинина М. В., Дроздова И. А., Арсентьев М. Ю. Особенности синтеза и исследование нанокристаллической кобальто-никелевой шпинели // *Физика и химия стекла*, 2014, т. 40, № 1, с. 135–145.
3. Арсентьев, М. Ю., Тихонов П. А., Калинина М. В., Цветкова И. Н., Шилова О. А. Синтез и физико-химические свойства электродных и электролитных нанокомпозитов для суперконденсаторов // *Физика и химия стекла*, 2012, т. 38, № 5, с. 653–664.
4. Шилова, О. А., Антипов В. Н., Тихонов П. А., Кручинина И. Ю., Арсентьев М. Ю., Панова Т. И., Морозова Л. В., Московская В. В., Калинина М. В., Цветкова И. Н. Керамические нанокомпозиты на основе оксидов переходных металлов для ионисторов // *Физика и химия стекла*, 2013, т. 39, № 5, с. 803–815.
5. Тихонов, П. А., Попов В. П., Арсентьев М. Ю., Подзорова Л. И., Ильичева А. С., Чернышева И. В., Андреева Н. С. Керамика и тонкие слои на основе трех-компонентной системы ZrO_2 - CeO_2 - Al_2O_3 как перспективные твердые электролиты // *Огнеупоры и техническая керамика*, 2009, № 6, с. 7–11.
6. Тихонов, П. А., Калинина М. В., Арсентьев М. Ю., Пугачев К. Э. Протонопроводящая керамика и тонкие пленки на основе цирконатов La и Sm // *Физика и химия стекла*, 2012, т. 38, № 4, с. 553–564.
7. Тихонов, П. А., Арсентьев М. Ю., Калинина М. В. Наноразмерные пленки на основе диоксидов циркония и церия // *Физика и химия стекла*, 2010, т. 36, № 2, с. 289–296.
8. Арсентьев, М. Ю., Калинина М. В., Тихонов П. А., Морозова Л. В., Коваленко А. С., Ковалько Н. Ю., Хламов И. И., Шилова О. А. Синтез и свойства сенсорных оксидных наноразмерных пленок в системе ZrO_2 - CeO_2 // *Физика и химия стекла*, 2014, т. 40, № 3, с. 478–484.
9. http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion
10. Грачева, И. Е., Мошников В. А., Абрашова Е. В. Обобщение результатов анализа величины фрактальной размерности золь-гель пористых иерархических структур // *Материаловедение*, 2013, № 6, с. 13–22.
11. Abrashova, E. V., Gracheva I. E., Moshnikov V. A. Functional nanomaterials based on metal oxides with hierarchical structure // *Journal of Physics: Conference Series*, 2013, Vol. 461, conference 1, P. 012019.
12. Abrashova, E. V., Gracheva I. E., Moshnikov V. A. Metal oxide SnO_2 — ZnO — SiO_2 films prepared by sol-gel // *Smart Nanocomposites*, 2014, Vol. 4, Iss. 2, pp. 1–7.
13. Абрашова, Е. В., Барановский М. В. Получение и анализ спектральных характеристик нанокомпозитов на основе широкозонных проводящих металлоксидов системы ZnO - SnO_2 - SiO_2 // *Известия СПбТЭТУ «ЛЭТИ»*, 2013, т. 5, с. 16–21.
14. Шмигель, А. В., Тихонов П. А., Арсентьев М. Ю., Дроздова И. А. Получение и исследование наночастиц металлического серебра методом анодного окисления // *Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов*, 2013, № 5, с. 390–396.
15. Шмигель, А. В., Тихонов П. А., Арсентьев М. Ю., Лапшин А. Е. Электрохимическое получение наноструктурированных материалов на основе никеля // *Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов*, 2013, № 5, с. 385–389.
16. Curtarolo, S. et al. AFLOWLIB. ORG: A distributed materials properties repository from high-throughput ab initio calculations // *Comp. Mater. Sci.*, 2012, Vol. 58, pp. 227–235.
17. Jain, A. et al. A high-throughput infrastructure for density functional theory calculations // *Comp. Mater. Sci.*, 2011, Vol. 50, Iss. 8, pp. 2295–2310.
18. Blatov, V. A. Multipurpose crystallochemical analysis with the program package TOPOS // *IUCr CompComm Newsletter*, 2006, pp. 4–38., Anurova N. A., Blatov V. A., Ilyushin G. D., Blatova O. A., Ivanov-Schitz A. K., Dem'yanets L. N. Migration maps of Li^+ cations in oxygen-containing compounds // *Solid State Ionics*, 2008, Vol. 179, Iss. 39, pp. 2248–2254.
19. Liu Tongchang, Pell W. G., Conway B. E. Self-discharge and potential recovery phenomena at thermally and electrochemically prepared RuO_2 supercapacitor electrodes // *Electrochimica Acta*, 1997, Vol. 42, Iss. 23–24, pp. 3541–3552.

20. Chung S.-Y., Bloking J. T., and Chiang Y.-M. Electronically Conductive Phospho-Olivines as Lithium Storage Electrodes // *Nature Materials*, 2002, Vol. 1, Iss. 2, pp. 123–128.
21. <http://www.greencarcongress.com/2014/06/20140609-mit.html>
22. Kayama, N., Homma K., Yamakawa Y., Kanno R., Yonemura M., Kamiyama T., Kato Y., Hama S., Kawamoto K., Mitsui A. A lithium superionic conductor // *Nature Materials*, 2011, Vol. 31, Iss. 10, pp. 682–686.
23. Anurova, N. A., Blatov V. A., Ilyushin G. D., Blatova O. A., Ivanov-Schitz A. K., Dem'yanets L. N. Migration maps of Li⁺ cations in oxygen-containing compounds // *Solid State Ionics*, 2008, Vol. 179, Iss. 39, pp. 2248–2254.

Оценка возможности определения ионов тяжелых металлов в присутствии мешающих ионов и способы их устранения при потенциометрическом определении

Боган Владимир Иванович, аспирант;

Чупракова Анна Михайловна, аспирант

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) (г. Челябинск)

Максимюк Николай Несторович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (г. Великий Новгород)

Представлены результаты исследования возможности определения ионов кадмия (II), свинца (II) и меди (II) потенциометрическими методами стандартных добавок, прямой потенциометрии и потенциометрическим титрованием в пределах концентрация находящихся за пределами нижней границы чувствительности электродов заявленной производителем, в присутствии мешающих ионов, а также при совместном присутствии. Определены ионы, влияющие на показание иономера, и выявлено, что влияние мешающих ионов может быть устранено простыми физико-химическими способами.

Ключевые слова: физико-химические методы, лабораторные методы исследования, аналитическая химия, биотехнология.

Наши работы [3–7] проводятся по контракту «Разработка технологий, технических решений и программного обеспечения в сфере информационно-телекоммуникационных систем, электроники, медицины, машиностроения, получения новых материалов и производства новых видов пищевых продуктов», заключенного в рамках программы «У. М. Н. И. К». Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. Расширение используемых методов анализа, приводит к изменению структуры применяемых физико-химических методов и увеличению объемов проводимых лабораториями исследований [1–2]. С целью внедрения новых экспресс методов определения токсичных веществ, гарантирующих точность измерений содержания определяемых веществ в исследуемом объекте и оценки показателей безопасности продовольственного сырья и пищевой продукции в частности, нами поставлена задача разработки метода исследования, в основе которого заложены следующие параметры: простота исполнения и повышение качества анализа (на результаты определения не влияет состав исследуемого образца («фон»); снижение инструментальной ошибки определения; сокращение ассортимента используемых реактивов, а так же использование оборудования многоцелевого использования (в методике используются приборы (рН-метр и бюретки), которые ис-

пользуются в любых лабораториях по контролю качества) позволяет сократить экономические издержки; возможность использовать в «полевых» условиях.

Одним из этапов является [8–10] необходимость оценить влияние сопутствующих ионов и возможность совместного определения ионов кадмия (II), свинца (II) и меди (II) или на фоне друг друга. Для этого были приготовлены стандартные растворы ионов кадмия (II), свинца (II) и меди (II) в которые вносились добавки стандартных растворов ионов кальция (II), магния (II), цинка (II) и железа (III). Измерение показаний потенциалов до внесения и после внесения каждой из добавок показало, что мешающим ионом для всех трех ионселективных электродов является ион железа (III), влияние которого устраняется кипячением раствора с последующим фильтрованием, на содержание определяемых ионов кипячения влияния не оказало.

Нами были проведены исследования по возможности использования данного определения по методу потенциометрического титрования стандартным раствором Трилона-Б на фоне ацетатного буферного раствора с рН = 6. С этой целью были приготовлены стандартные растворы ионов кадмия (II), свинца (II) и меди (II) на фоне 10 кратного избытка ионов кальция (II), магния (II), цинка (II) и железа (III), оценка их влияния осуществлялась путем

Таблица 1. Возможность совместного определения ионов кадмия (II), свинца (II) и меди (II)

Электрододы	Мешающее влияние оказывает	Завышая результаты определения	Примечание
<i>По методу стандартных добавок с использованием ионселективных электродов:</i>			
ЭЛИС-131Cd	ионы свинца (II),	кадмия на количество внесенного количества ионов свинца (II)	Ионы меди (II) влияния не оказывают
ЭЛИС-131Pb	ионы кадмия (II)	свинца на количество внесенного количества ионов кадмия (II)	
ЭЛИС-131Cu	ионы свинца (II) и кадмия (II)	кадмия на соответствующее количество внесенных ионов свинца (II) и кадмия (II)	-
<i>По методу потенциометрического титрования с использованием ионселективных электродов:</i>			
ЭЛИС-131Cd	ионы свинца (II) и меди (II)	кадмия на количество внесенного количества ионов свинца (II) и меди (II)	Мешающее влияние меди (II) устраняется добавлением к исследуемому раствору стандартного раствора тиосульфата натрия, на содержание определяемого иона присутствие тиосульфата влияние не оказывает
ЭЛИС-131Pb	ионы кадмия (II) и меди (II)	свинца на количество внесенного количества ионов кадмия (II) и меди (II)	
ЭЛИС-131Cu	ионы свинца (II) и кадмия (II)	кадмия на соответствующее количество внесенных ионов свинца (II) и кадмия (II)	-

сравнения результатов потенциометрического титрования и полученных кривых титрования с результатами титрования контрольных проб. На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что на результаты потенциометрического титрования оказывает влияние ион железа (III), сглаживая кривую титрования, что не дает возможности определить точку эквивалентности. После кипячения исследуемого раствора, результаты титрования совпадают с результатами контрольной пробы, на содержание определяемых ионов кипячения влияния не оказало.

Возможность совместного определения ионов кадмия (II), свинца (II) и меди (II) или на фоне друг друга, оценивалась методом добавок и методом потенциометрического

титрования (см. табл. 1). Анализ выполнялся в условиях повторяемости и внутрилабораторной прецизионности [11].

Из полученных данных можно сделать вывод, что при совместном присутствии ионов кадмия (II), свинца (II) и меди (II), ионы кадмия (II) и свинца (II) определяются только совместно, как методом стандартных добавок, так и методом потенциометрического титрования. Содержание меди (II) можно определить путем косвенного потенциометрического титрования, с использованием электрода ЭЛИС-131Cu, определив сначала суммарную концентрацию ионов кадмия, свинца и меди, а после суммарную концентрацию ионов кадмия и свинца, замаскировав ионы меди раствором тиосульфата натрия.

Литература:

1. Белокаменская, А. М., Ребезов М. Б., Мазаев А. Н., Ребезов Я. М., Максимюк Н. Н., Асенова Б. К. Исследование пищевых продуктов и продовольственного сырья на содержание ртути атомно-абсорбционным методом. Молодой ученый. 2013. № 10. с. 98–101.
2. Ребезов, М. Б., Зыкова И. В., Белокаменская А. М., Ребезов Я. М. Контроль качества результата анализа при реализации методик фотоэлектрической фотометрии и инверсионной вольтамперометрии в исследовании проб пищевых продуктов на содержание мышьяка. Вестник Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого. 2013. Т. 2. № 71. с. 43–48.
3. Голованов, В. И., Боган В. И. Обработка результатов потенциометрических измерений при использовании метода двойных стандартных добавок. Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78. № 12. с. 26–28.
4. Патент № 2413211 Российская Федерация, МПК G01N27/42. Способ потенциометрического определения вещества/Голованов В. И., Боган В. И.; заявитель и патентообладатель «Южно-Уральский государственный университет». № 2009147066/28; заявл. 17.12.2009; опубл. 27.02.2011.
5. Боган, В. И., Гайсина А. Р. Способ потенциометрического контроля качества продовольственного сырья и пищевой продукции. Естественные и математические науки в современном мире. 2013. № 10–11. с. 169–174.

6. Боган, В.И., Гайсина А.Р. Способ потенциометрического определения токсичных веществ в пищевой продукции. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2013. №10–2 (17). с. 13–14.
7. Боган, В.И., Ребезов М.Б., Гайсина А.Р., Максимюк Н.Н., Асенова Б.К. Совершенствование методов контроля качества продовольственного сырья и пищевой продукции. *Молодой ученый*. 2013. №10. с. 101–105.
8. Белокаменская, А.М., Ребезов М.Б., Мухамеджанова Э.К. Подбор современного оборудования для определения токсичных элементов с целью обеспечения качества испытаний. *Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства*. 2013. №1. с. 292–296.
9. Ребезов, М.Б., Белокаменская А.М., Максимюк Н.Н., Наумова Н.Л., Зинина О.В. Оценка методов инверсионной вольтамерометрии, атомно-абсорбционного и фотометрического анализа токсичных элементов в продовольственном сырье и пищевых продуктах. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2012. 128 с.
10. Белокаменская, А.М., Ребезов М.Б., Мазаев А.Н., Ребезов Я.М., Зинина О.В. Применение физико-химических методов исследований в лабораториях Челябинской области. *Молодой ученый*. 2013. №4. с. 48–53.
11. Ребезов, М.Б., Лукьянов С.И. Обеспечение качества испытаний. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. №. 4. Магнитогорск, 2006. с. 115–117.

Природа стадии обрыва цепи разветвленных твердофазных цепных реакций

Боровикова Анастасия Павловна, кандидат физико-математических наук, инженер;
Ананьева Марина Владимировна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник;
Одинцова Оксана Витальевна, студент
Кемеровский государственный университет

Исследовано влияние предварительного облучения образца на вероятностную кривую взрыва в кристаллах азидов серебра. Показано, что причиной вероятностного характера взрыва является нормальное распределение концентрации центров обрыва цепи в различных кристаллах одной партии. Экспериментально показано, что увеличение концентрации центров рекомбинации электронно-дырочных пар в результате коротковолновой засветки (380 нм) приводит к увеличению энергетического порога иницирования азидов серебра. Последующая длинноволновая засветка (550 нм) уменьшает порог иницирования и сужает вероятностную кривую. Показано, что движение фронта реакции взрывного разложения по кристаллу азидов серебра связано с распространением твердофазной цепной реакции.

Ключевые слова: цепная модель реакции, предварительное облучение, взрывное разложение, вероятность взрыва, азид серебра.

Закономерностям взрывного разложения азидов тяжелых металлов (АТМ) посвящено множество работ [1, с. 195, 2, с. 68, 3, с. 40]. Различные группы авторов интерпретируют экспериментальные закономерности взрывного разложения с позиций модели теплового взрыва [4, с. 6, 5, с. 79, 6, с. 99, 7, с. 140] или вариантов модели цепного взрыва [8, с. 15, 9, с. 22, 10, с. 37]. Показано, что взрыв в условиях импульсного лазерного иницирования вызван развитием твердофазной цепной реакции [9, с. 23], экспериментально установлено наличие предвзрывной проводимости [11, с. 95] и люминесценции [12, с. 5], являющиеся следствием размножения электронных возбуждений в ходе реакции. Цепная природа взрывного разложения АТМ доказана экспериментально и теоретически, однако в литературе отсутствует единое мнение о конкретном механизме процесса. Целью настоящей работы явилось определение природы стадии

обрыва цепи при взрывном разложении азидов серебра (АС).

В рамках цепной модели порог иницирования определяется конкуренцией стадий развития и обрыва цепи [8, с. 15]. Вблизи порога иницирования взрыв образца носит вероятностный характер, графическим выражением которого является вероятностная кривая взрыва. Поэтому идентификация природы обрыва цепи связана с определением природы вероятностного характера взрыва вблизи порога.

Вероятностный характер взрыва

В работе [11, с. 97] высказано предположение, что при контролируемых параметрах иницирующего импульса существует определенная вероятность взрыва каждого отдельного образца (стохастический характер

процесса инициирования). При следующем испытании с такими же параметрами инициирования он снова может взорваться с той же вероятностью, при уменьшении плотности энергии иницирующего импульса вероятность взрыва данного образца уменьшается, при увеличении — увеличивается. Однако экспериментально доказано, что образец, не взорвавшийся при данной плотности энергии иницирующего импульса, невозможно инициировать импульсом с меньшей плотностью энергией [13, с. 26].

Рассмотрим природу вероятностного характера взрывного разложения АС в рамках бимолекулярной модели цепной реакции [8, с. 15]. Скорость рекомбинации (V_r) описывается выражением:

$$V_r = \frac{k_1 k_2 R n p}{k_1 n + k_2 p} \approx k_2 R p = k_r p, \quad (1)$$

где k_1 и k_2 — константы скоростей захвата электронов и дырок на притягивающем и нейтральном центрах соответственно [14, с. 45], R — концентрация центров рекомбинации (ЦР) электронно-дырочных (е. н.) пар в образце, k_r — эффективная константа скорости рекомбинации е.

н. пар. Последняя величина сильно зависит от типа образца, способа синтеза, биографических дефектов и предыстории. Численное значение константы рекомбинации составляет $(1 \div 10) \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ [8, с. 15].

Показано [8, с. 20], что при «коротких» импульсах критическим параметром является плотность энергии:

$$H_c = \left[\frac{k_r}{k_3} + \frac{2k_r^2}{k_3 k_4} \right] \cdot \frac{E}{\alpha}. \quad (2)$$

Величины E и α (ширина запрещенной зоны и коэффициент поглощения) являются фундаментальными характеристиками и слабо изменяются от кристалла к кристаллу. Константы скоростей образования и распада комплекса N_6 (k_3 и k_4) не зависят от дефектной структуры кристалла и не могут сильно варьироваться в партии [15, с. 21, 16, с. 14]. Таким образом, единственной величиной, являющейся характеристикой отдельного кристалла, является концентрация центров обрыва цепи и k_r . Тогда концентрацию ЦР или константу рекомбинации можно рассматривать как случайный фактор, распределение вероятности которого будет характеризовать взятую партию образцов.

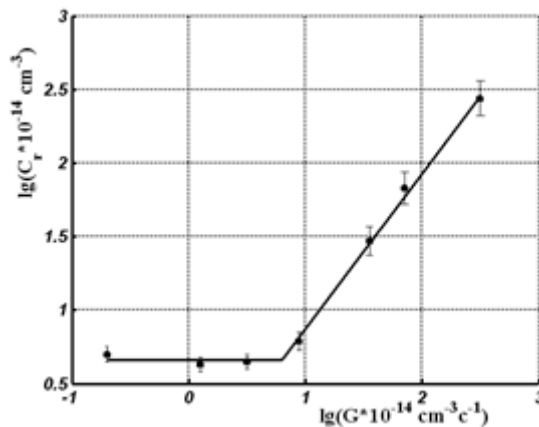


Рис. 1. Зависимость концентрации центров рекомбинации е. н. пар от интенсивности излучения [17, с. 171].

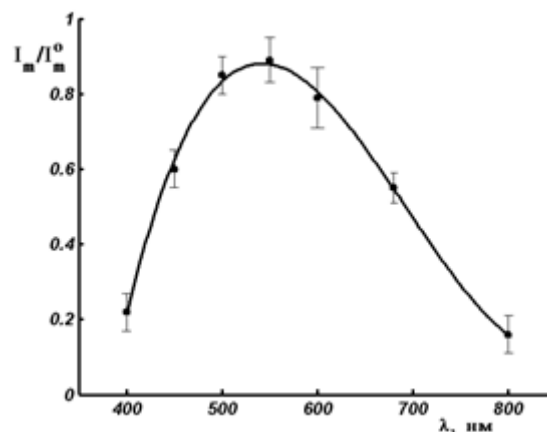


Рис. 2. Восстановление первичного максимума фототока (I_m) при длинноволновой засветке [17, с. 170].

Вероятность взрыва кристалла при плотности энергии иницирования H определяется выражением:

$$w(H) = \int_0^H W(H_c) dH_c \quad (3)$$

где $w(H)$ — вероятность взрыва при плотности энергии иницирования H , $W(H_c)$ — вероятность того, что взятый кристалл имеет собственный порог иницирования H_c . Смысл этой формулы в том, что если мы возьмем большую партию образцов и будем иницировать их с плотностью энергии H , взорвутся те, чей порог ниже H_c .

Так как порог иницирования пропорционален концентрации ЦР, функция $W(H_c)$ должна иметь вид:

$$W(H_c) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(H_c - \tilde{H}_c)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (4)$$

где σ — дисперсия, \tilde{H}_c — значение порога иницирования, соответствующее пику функции ошибок. Тогда вероятностная кривая взрыва описывается интегральной функцией ошибок:

$$w(H) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^H \exp\left(-\frac{(H_c - \tilde{H}_c)^2}{2\sigma^2}\right) dH_c \quad (5)$$

Легко видеть, что вероятность иницирования (5) равна 0.5 при плотности энергии иницирования равной \tilde{H}_c . Значит, введенная нами величина \tilde{H}_c является средним порогом иницирования для партии образцов, что совпадает с классическим определением.

Выражение (5) означает, что, во-первых, вероятностная кривая взрыва должна описываться интегральной функцией ошибок. Во-вторых, изменение концентрации центров обрыва цепи, должно приводить к изменению вероятностной кривой.

Согласно результатам исследований медленного разложения [17, с. 171], облучение образца светом может приводить как к росту концентрации ЦР e. h.-пар при ко-

ротковолновой засветке ($\lambda = 380$ нм), так и к отжигу при длинноволновой засветке ($\lambda = 550$ нм). Зависимость концентрации ЦР от темпа генерации, построенная по данным фотопроводимости, изображена на рис. 1. На рис. 2 показана зависимость восстановления максимума фототока от длины волны повторной засветки, свидетельствующая о регенерации свойств кристалла. Таким образом, если наша модель верна, должна наблюдаться корреляция между концентрацией ЦР e. h.-пар и порогом иницирования.

Влияние предварительного облучения на вероятностную кривую взрыва

Нами были проведены экспериментальные исследования влияния предварительного облучения на пороговую плотность энергии иницирования монокристаллов АС импульсным излучением. В качестве объектов исследования использовали макро- и нитевидные кристаллы с характерными размерами $1 \times 1 \times 0.3$ и $10 \times 0.3 \times 0.05$ мм соответственно. При испытаниях измерялась энергия каждого импульса. Подробное описание установки приведено в работе [8, с. 15].

Для измерения скорости использовалась специальная ячейка, состоящая из непрозрачной пластины с калиброванными отверстиями, под которыми располагался световод, присоединенный к входному окну фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). Нитевидный кристалл помещался над отверстиями. Когда фронт реакции проходит над отверстием, ФЭУ фиксирует сигнал свечения, что позволяло легко вычислить скорость распространения фронта реакции.

Для создания центров рекомбинации кристаллы облучались светом с длиной волны 380 нм интенсивностью $5 \cdot 10^{13}$, $1 \cdot 10^{14}$, $2 \cdot 10^{14}$ см⁻²с⁻¹, в течение времени 20 мин.

На рис. 3 представлена вероятностная кривая перехода к взрывному разложению монокристаллов АС, предварительно облученных в течение 20 мин светом с длиной волны 380 нм и интенсивностью $2 \cdot 10^{14}$ см⁻²с⁻¹.

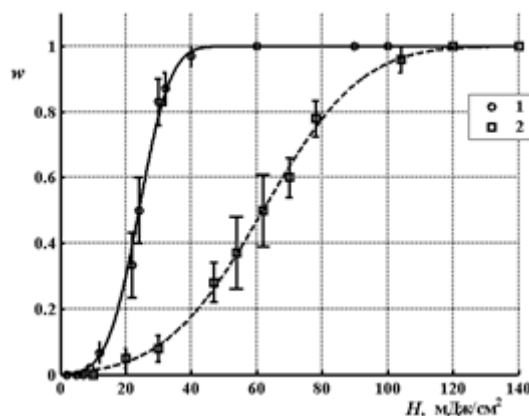


Рис. 3. Вероятностные кривые взрыва азид серебра до (1) и после (2) предварительного облучения светом с длиной волны 380 нм и интенсивностью $2 \cdot 10^{14}$ квант/(с·см²)

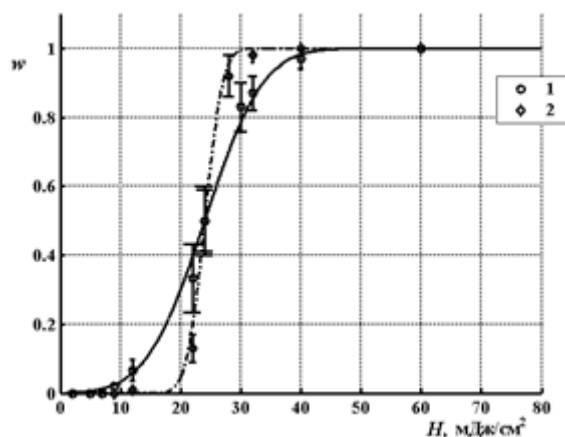


Рис. 4. Вероятностные кривые взрыва для необлученных (1) и облученных вначале светом с длиной волны 380 нм, затем — с длиной волны 550 нм (2), кристаллов АС

Порог иницирования для незасвеченных кристаллов составляет 26 ± 2 мДж/см². Предварительная засветка интенсивностью $2 \cdot 10^{14}$ см⁻²с⁻¹ повышает пороговую плотность энергии иницирования взрывного разложения до 62 ± 11 мДж/см² (более чем в 2 раза). Меняется при этом и вид вероятностной кривой (рис. 3). Несмотря на увеличение пороговой плотности энергии иницирования взрывного разложения после 20 минут облучения кристаллов АС светом с длиной волны 380 нм и интенсивностью $2 \cdot 10^{14}$ см⁻²с⁻¹ более чем в 2 раза, минимальная плотность энергии, при которой может наблюдаться взрывное разложение, практически одинаковое (16 мДж/см² для необлученных кристаллов и 19 мДж/см² для предварительно облученных). В тоже время нижняя граница плотности энергии импульса, при которой взрыв наблюдается всегда, существенно отличается: 38 мДж/см² для необлученных кристаллов и 109 мДж/см² для предварительно облученных. Для разрушения ЦР кристаллы облучались светом с длиной волны 550 нм интенсивностью $1 \cdot 10^{14}$ см⁻²с⁻¹, в течение 20 мин. В кристаллах, облученных вначале светом с длиной волны 380 нм, а потом 550 нм происходит восстановление критической плотности энергии, характерной для необлученных кристаллов (рис. 4). Сужение вероятностной кривой взрыва свидетельствует о сужении распределения концентрации ЦР, то есть о стандартизации образцов в партии.

Предварительное облучение в коротковолновой области спектра, способствующее росту концентрации ЦР е. h. пар, приводит к увеличению энергетического порога иницирования. Облучение в длинноволновой области спектра, способствующее отжигу ЦР е. h.-пар, приводит к уменьшению порога иницирования. В рамках цепной модели эти изменения являются следствием увеличения и уменьшения концентрации центров обрыва цепи соответственно. Наблюдаемая корреляция свидетельствует о тождественности ЦР е. h.-пар и центров обрыва цепи при взрывном разложении.

Заключение

Возможной причиной вероятностного характера взрыва является нормальное распределение концентрации центров обрыва цепи в кристаллах одного способа синтеза. Наблюдаемая корреляция концентрации ЦР е. h. пар и порога иницирования, свидетельствует о тождественности центров обрыва цепи при взрывном разложении АС и ЦР е. h. пар. Проведенное исследование открывает возможность направленно регулировать чувствительность АС предварительным освещением.

Авторы выражают благодарность научному руководителю д. ф.-м. н., профессору А. В. Каленскому.

Литература:

1. Ананьева, М.В. Кинетические закономерности взрывного разложения ТЭНа, содержащего наноразмерные включения алюминия, кобальта и никеля/М.В. Ананьева, А.В. Каленский, Е.А. Гришаева, И.Ю. Зыков, А.П. Никитин// Вестник КемГУ. — 2014. — №1–1 (57). — с. 194–200.
2. Никитин, А.П. Расчет критических параметров иницирования теплового взрыва тэна с наночастицами меди на разных длинах волн/А.П. Никитин// Международное научное издание Современные фундаментальные и прикладные исследования. — 2013. — №4 (11). — с. 68–75.
3. Адуев, Б.П. Взрывчатое разложение ТЭНа с нанодобавками алюминия при воздействии импульсного лазерного излучения различной длины волны/Б.П. Адуев, Д.Р. Нурмухаметов, Р.И. Фурегга, А.А. Звекон, А.В. Каленский// Химическая физика. — 2013. — Т. 32. — №8. — с. 39–42.

4. Ананьева, М. В. Перспективные составы для капсуля оптического детонатора/М. В. Ананьева, А. А. Звекон, И. Ю. Зыков, А. В. Каленский, А. П. Никитин// Перспективные материалы. — 2014. — №7. — с. 5–12.
5. Зыков, И. Ю. Критическая плотность энергии инициирования тэна с добавками наночастиц алюминия/И. Ю. Зыков// Международное научное издание Современные фундаментальные и прикладные исследования. — 2013. — №1 (8). — с. 79–84.
6. Каленский, А. В. Влияние длины волны лазерного излучения на критическую плотность энергии инициирования энергетических материалов/А. В. Каленский, А. А. Звекон, М. В. Ананьева, И. Ю. Зыков, В. Г. Кригер, Б. П. Адуев// Физика горения и взрыва. — 2014. — Т. 50. — №3. — с. 98–104.
7. Каленский, А. В. Спектральная зависимость критической плотности энергии инициирования композитов на основе пентаэритриттетранитрата с наночастицами никеля/А. В. Каленский, М. В. Ананьева, А. А. Звекон, И. Ю. Зыков// Фундаментальные проблемы современного материаловедения. — 2014. — Т. 11. — №3. — с. 340–345.
8. Кригер, В. Г. Механизм твердофазной цепной реакции/В. Г. Кригер, А. В. Каленский, Ю. А. Захаров, В. П. Ципилев// Материаловедение. — 2006. — №9. — с. 14–21.
9. Кригер, В. Г. Определение пространственных характеристик волны цепной реакции в азиде серебра./В. Г. Кригер, А. В. Каленский, А. А. Звекон, М. В. Ананьева, А. П. Боровикова, И. Ю. Зыков// Химическая физика. — 2014. — Т. 33. — №8. — с. 22–29.
10. Боровикова, А. П., Каленский А. В., Зыков И. Ю. Пространственно-временные характеристики волны горения в азиде серебра/А. П. Боровикова, А. В. Каленский, И. Ю. Зыков// Аспирант. — 2014. — №3. — с. 37–42.
11. Адуев, Б. П. Дивакансионная модель инициирования азидов тяжелых металлов/Б. П. Адуев, Э. Д. Алукер, А. Г. Кречетов// Физика горения и взрыва. — 2004. — №2. — с. 94–99.
12. Кригер, В. Г. Пороговая энергия инициирования азиды серебра эксимерным лазером/В. Г. Кригер, А. В. Каленский, В. В. Коньков// Материаловедение. — 2003. — №7. — с. 2–8.
13. Borovikova, A. P. Time-space parameters of the explosive decomposition of energetic materials moving reaction wave/А. Р. Borovikova, V. G. Kriger, A. V. Kalenskii, M. V. Anan'eva, A. A. Zvekov// Известия высших учебных заведений. Физика. — 2012. — Т. 55. — №11–3. — с. 25–29.
14. Гришаева, Е. А. Неизотермическая модель разветвленной цепной реакции взрывного разложения энергетических материалов/Е. А. Гришаева, А. В. Каленский, М. В. Ананьева, А. А. Звекон// Фундаментальные проблемы современного материаловедения. — 2013. — Т. 10. — №1. — с. 44–49.
15. Кригер, В. Г. Релаксация электронно-возбужденных продуктов твердофазной реакции в кристаллической решетке/В. Г. Кригер, А. В. Каленский, А. А. Звекон// Химическая физика. — 2012. — Т. 31. — №1. — с. 18–22.
16. Каленский, А. В. Кригер В. Г., Звекон А. А. Коэффициент захвата электронных носителей заряда на экранированном отталкивающем центре/А. В. Каленский, М. В. Ананьева, В. Г. Кригер, А. А. Звекон// Химическая физика. — 2014. — Т. 33. — №4. — с. 11–16.
17. Кригер, В. Г. Кинетические закономерности фотопроводимости азиды серебра в режиме освещения с темновой паузой/В. Г. Кригер, А. В. Каленский, Г. М. Диамант, Ю. А. Захаров// Фундаментальные проблемы современного материаловедения. — 2004. — Т. 1. — №1. — с. 169–172.

Применение инверсионной вольтамперметрии при контроле содержания мышьяка в алкогольных напитках

Чупракова Анна Михайловна, аспирант;

Боган Владимир Иванович, аспирант

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) (г. Челябинск)

Максимюк Николай Несторович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (г. Великий Новгород)

Асенова Бахыткуль Кажженовна, кандидат технических наук, профессор

Государственный университет имени Шакарима (г. Семей, Казахстан)

Одной из актуальных социальных проблем на территории Челябинской области, как впрочем, и по всей России, остается «алкоголизация» населения и ее по-

следствия. Основную долю потребления алкогольной продукции составляют крепкие напитки: водка, ликероводочные изделия, коньяк, а также пиво. Одной из причин

«алкоголизации» является высокий уровень доступности крепких и слабоалкогольных напитков. «Алкоголизация» населения, особенно молодежи, отрицательно сказывается на генофонде области, деформируется демографический и социальный состав общества. В этой связи проблема предупреждения влияния некачественной и потенциально опасной алкогольной и спиртосодержащей продукции на здоровье населения является актуальной и приоритетной для Челябинской области [2, 6].

Анализ результатов мониторинга качества и безопасности пищевых продуктов 2010–2013 годы показывает, что на потребительский рынок области продолжает поступать продукция, не соответствующая гигиеническим требованиям по показателям безопасности [15–18]. Одной из загрязненных остается группа алкогольных напитков. Наиболее значимыми загрязнителями пищевых продуктов в области остаются токсичные элементы.

Мышьяк — один из тяжелых металлов, обнаруживаемых в продуктах питания, является высокотоксичным кумулятивным ядом. Контроль за его содержанием в пищевых продуктах и продовольственном сырье является обязательным и регулируется законодательством [1, 5, 7–9].

Одним из современных методов исследования пищевых продуктов и продовольственного сырья на содержание мышьяка является инверсионная вольтамперометрия. Практическое применение, анализ данных реализации метода инверсионной вольтамперометрии для осуществления контроля безопасности алкогольных напитков является важной и актуальной задачей. Нами были осуществлены исследования по определению содержания мышьяка в пробах алкогольных напитков методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе «Пан-мышьяк».

Инверсионная вольтамперометрия мышьяка осуществлялась в соответствии со следующими методиками анализа: ГОСТ Р 51962–2002 «Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрический метод определения массовой концентрации мышьяка» и МУ 31–05/04 «Количественный химический анализ проб пищевых продуктов, продовольственного сырья, биологически активных добавок к пище. Методика выполнения измерений массовых концентраций мышьяка методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА».

МУ 31–05/04 устанавливают методику выполнения измерений массовой концентрации мышьяка во всех группах пищевых продуктов и продовольственного сырья, включая алкогольные и безалкогольные напитки, в биологически активных добавках к пище, биологических объектах. Диапазон измерения концентраций мышьяка данным методом составляет от 0,005 мг/кг до 5,0 мг/кг включительно. Предельно-допустимая концентрация мышьяка для алкогольной продукции, а именно: этилового спирта, водки, ликероводочных изделий, бренди (коньяка), вин, слабоалкогольных напитков, пива, составляет 0,2 мг/кг [1, 4].

Для исследовательских целей были использованы стандартные образцы состава раствора ионов мышьяка (ГСО 7264–96 ФГУП «Уральский научно-исследовательский институт метрологии», аттестованное значение образца — 0,1 мг/см³). С целью контроля достоверности результатов анализа осуществлялся оперативный контроль погрешности с применением метода добавок. Анализ выполнялся в условиях повторяемости и внутрилабораторной прецизионности [14].

Измерения массовой концентрации мышьяка выполнялись методом инверсионной вольтамперометрии после предварительной подготовки проб. Использовалась электроактивная форма мышьяка в степени окисления (3+); электронакопление проводилось в форме As (0); аналитический сигнал получали в результате электрохимической реакции As (0) → As (3+). Растворение навески и окисление всех форм мышьяка до As (5+) проводилось при нагревании со смесью азотной кислоты и перекиси водорода в присутствии солей магния. После упаривания раствора осадок помещался в муфельную печь и осуществлялось прокаливание при 500°C для полного сжигания органических веществ. Неорганический осадок обрабатывался восстановителем (сернокислым гидразином) в концентрированной серной кислоте при нагревании, после чего избыток восстановителя и серной кислоты удалялся нагреванием в муфельной печи.

Из полученного раствора As (3+) осуществлялось накопление в виде As (0) на золото-углеродсодержащем электроде в течение заданного времени накопления (10–300) секунд при потенциале минус 1,6 В. Процесс электрорастворения As (0) с поверхности электрода проводился при изменении потенциала в положительную сторону до плюс 0,2 В. Потенциал анодного пика мышьяка: минус (0,20±0,05) В. Массовая концентрация мышьяка в пробе определялась методом добавок аттестованной смеси As в анализируемый раствор [1, 3, 5].

Результат единичного анализа вычислялся по формуле [1]:

$$X_i = \frac{I_1 \cdot C_d \cdot V_d}{(I_2 - I_1) \cdot m} \cdot \frac{V_{\text{мин}}}{V_{\text{ал}}}$$

где:

X_i — содержание мышьяка в анализируемой пробе, мг/кг;

C_d — концентрация аттестованной смеси мышьяка, из которой делается добавка к анализируемой пробе, мг/дм³;

V_d — объем добавки аттестованной смеси мышьяка, см³;

I_1 — величина пика мышьяка в анализируемой пробе, мкА;

$V_{\text{мин}}$ — объем минерализата, полученного растворением золы в известном объеме растворителя, см³;

$V_{\text{ал}}$ — объем аликвоты, взятой для анализа из минерализата, см³;

I_2 — величина пика мышьяка в пробе с добавкой, мкА;

Таблица 1. Мониторинг результатов анализа проб алкогольных напитков на содержание мышьяка за последние 5 лет

Исследование проб на содержание мышьяка					
Год	Итого	Диапазон концентраций, мг/кг			
		менее 0,02	0,02–0,05	0,05–0,10	0,1–1,0
6 месяцев 2014 г	23	0	19	2	2
2013 г	72	30	33	8	1
2012 г	64	41	8	14	1
2011 г	92	63	23	4	2
2010 г	154	127	18	9	0
2009 г	301	192	79	24	6
ВСЕГО исследований	706	453	180	61	12

m — масса пробы, взятой для анализа, г.

Химические помехи, влияющие на результаты определения мышьяка, устранялись в процессе пробоподготовки [1, 5]. Для алкогольных напитков объем пробы, отбираемый для анализа, составляет 2 см³, сам анализ по продолжительности составляет 3,7 часа. Мониторинг результатов анализа проб алкогольных напитков на содержание мышьяка за последние 5 лет представлен в таблице 1.

Анализ данных мониторинга результатов исследования проб алкогольных напитков на содержание мышьяка показывает, что наибольшее число результатов исследований приходится на диапазон концентраций менее 0,02 мг/кг. Предел обнаружения мышьяка методом инверсионной вольтамперометрии составляет 0,005 мг/кг. В пробах с концентрацией мышьяка менее 0,02 мг/кг метод инвер-

сионной вольтамперометрии, как чувствительный метод, позволял обнаружить содержание мышьяка в исследуемой пробе [1].

В наших работах большое место занимают исследования, проведенные в области инверсионной вольтамперометрии, которая всегда рассматривалась как один из способов повышения чувствительности определений [10–13]. Применение инверсионной вольтамперометрии при мониторинге окружающей среды позволяет обеспечить экспрессный аналитический контроль содержания токсичных элементов в лабораториях, что в свою очередь, позволяет решить проблему предупреждения влияния некачественной и потенциально опасной алкогольной и спиртосодержащей продукции на здоровье населения Челябинской области.

Литература:

1. Ребезов, М. Б., Белокаменская А. М., Максимюк Н. Н., Наумова Н. Л., Зинина О. В. Оценка методов инверсионной вольтамперометрии, атомно-абсорбционного и фотометрического анализа токсичных элементов в продовольственном сырье и пищевых продуктах. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2012. 94 с.
2. Белокаменская, А. М., Максимюк Н. Н., Мазаев А. Н., Ребезов М. Б. Контроль качества результатов анализа пищевых продуктов (при реализации методик фотоэлектрической колориметрии и инверсионной вольтамперометрии). Тамақ, жеңіл өнеркәсіптері мен қонақжайлылық индустриясының, Алматы технологиялық университетінің 55 жылдығына арналған: мат. халықаралық ғылыми-тәжірибелік конф. Алматы: АТУ, 2012. с. 284–287.
3. Белокаменская, А. М., Зинина О. В., Прохасько Л. С., Ребезов Я. М. Сравнительная оценка методов исследований содержания токсичных элементов в продовольственном сырье и пищевых продуктах. Экономика и бизнес. Взгляд молодых. Челябинск:, 2012. с. 236–238.
4. Белокаменская, А. М., Ребезов М. Б., Мазаев А. Н., Ребезов Я. М., Зинина О. В. Применение физико-химических методов исследований в лабораториях Челябинской области. Молодой ученый. 2013. №4. с. 48–53.
5. Ребезов, М. Б., Зыкова И. В., Белокаменская А. М., Ребезов Я. М. Контроль качества результата анализа при реализации методик фотоэлектрической фотометрии и инверсионной вольтамперометрии в исследовании проб пищевых продуктов на содержание мышьяка. Вестник Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого. 2013. Т. 2. №71. с. 43–48.
6. Белокаменская, А. М., Ребезов М. Б., Зинина О. В., Ребезов Я. М. Методы контроля содержания мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах. Знания молодых для развития ветеринарной медицины и АПК страны. СПб: СПбГАВМ, 2013. с. 20–22.
7. Чупракова, А. М., Ребезов М. Б. Обеспечение экологической безопасности в Челябинской области. Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. Материалы Всероссийской научно-методической конференции. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2014. с. 1090–1094.

8. Белокаменская, А. М., Ребезов М. Б., Соловьева А. А., Доронина А. С. Мониторинг результатов анализа проб пищевых продуктов и продовольственного сырья на содержание свинца, кадмия и мышьяка. Ғылым. Білім. Жастар, Алматы технологиялық университетінің 55-жылдығына арналған республикалық жас ғалымдар конференциясы. Алматы: АТУ, 2012. Б. 158–160.
9. Белокаменская, А. М., Ребезов М. Б., Мухамеджанова Э. К. Подбор современного оборудования для определения токсичных элементов с целью обеспечения качества испытаний. Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства. 2013. № 1. с. 292–296.
10. Белокаменская, А. М., Ребезов М. Б., Максимюк Н. Н., Асенова Б. К. Исследование пищевых продуктов и продовольственного сырья на содержание йода методом инверсионной вольтамперометрии. Сборник научных трудов SWorld. 2013. Т. 40. № 2. с. 3–7.
11. Белокаменская, А. М., Ребезов М. Б., Ребезов Я. М., Максимюк Н. Н. Исследование проб воды на содержание йода методом инверсионной вольтамперометрии. Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство. Материалы международной научно-технической конференции. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2013. с. 736–740.
12. Ребезов, М. Б., Белокаменская А. М., Мазаев А. Н., Ребезов Я. М., Максимюк Н. Н. Контроль качества результатов определения кадмия в пищевых продуктах методом инверсионной вольтамперометрии и атомно-абсорбционной спектрометрии. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій Міністерство освіти і науки України. Одеса: ОНАХТ, 2012. Вип. 42. Т. 2. с. 378–384.
13. Белокаменская, А. М., Ребезов М. Б., Ребезов Я. М., Максимюк Н. Н. Исследование проб воды на содержание селена методом инверсионной вольтамперометрии. Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство. Материалы международной научно-технической конференции. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2013. с. 741–744.
14. Ребезов, М. Б., Лукьянов С. И. Обеспечение качества испытаний. Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. № 4. Магнитогорск, 2006. с. 115–117.
15. Боган, В. И., Ребезов М. Б., Гайсина А. Р., Максимюк Н. Н., Асенова Б. К. Совершенствование методов контроля качества продовольственного сырья и пищевой продукции. Молодой ученый. 2013. № 10. с. 101–105.
16. Ребезов, М. Б., Белокаменская А. М., Зинина О. В., Наумова Н. Л., Максимюк Н. Н., Соловьева А. А., Солнцева А. А. Контроль качества результатов исследований продовольственного сырья и пищевых продуктов на содержание свинца. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2012. Т. 2. № 1. с. 157–162.
17. Богатова, О. В., Стадникова С. В., Ребезов М. Б. Накопление тяжелых металлов в молоке кобыл. Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство. Материалы международной научно-технической конференции. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2013. с. 759–761.
18. Белокаменская, А. М., Ребезов М. Б., Мазаев А. Н., Ребезов Я. М., Максимюк Н. Н., Асенова Б. К. Исследование пищевых продуктов и продовольственного сырья на содержание ртути атомно-абсорбционным методом. Молодой ученый. 2013. № 10. с. 98–101.

ИНФОРМАТИКА

Учебная компьютерная модель физического маятника

Данилов Олег Евгеньевич, кандидат педагогических наук, доцент
Глазовский государственный педагогический институт имени В. Г. Короленко (Удмуртская Республика)

В статье приводится описание компьютерного приложения, моделирующего движение физического маятника. Данное приложение может быть использовано при изучении теории колебаний в учебных заведениях.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, модель, физический маятник, обучение физике.

Принцип наглядности можно считать основополагающим при применении информационных технологий в обучении физике [7, с. 43]. Требования наглядности сформулированы еще со времен Я. А. Коменского [6, с. 302–303]. Обучающийся познает окружающий мир с помощью органов чувств, основными из которых являются зрение и слух. Согласно исследованиям, около 90% всей информации человек получает с помощью зрения, 9% — с помощью слуха и только 1% — с помощью других органов чувств [7, с. 44]. В настоящее время происходит эволюция понимания принципа наглядности. Современная интерпретация заключается в том, что он предполагает не только отражение внешних, чувственно воспринимаемых свойств изучаемого объекта, формирование понятий в сознании обучающегося и эмпирического мышления, но и деятельностный подход обучающегося в контексте его самостоятельной работы, предполагающей комплексное использование исследовательских и творческих средств информационных технологий. В своей практике обучающий педагог все чаще сталкивается с необходимостью доступного объяснения объектов и явлений, которые имеют отношение к абстрактным обобщениям [2; 3, с. 6–17]. При таком объяснении обучающийся, чаще всего, получает знания, опираясь на наглядные образы, полученные в ходе своего познавательного опыта и с помощью специальных средств наглядности, которые определяют ориентиры познавательной деятельности [4; 5]. Использование средств наглядности позволяет визуализировать абстрактные теоретические понятия. Реализация принципа наглядности на практике может быть осуществлена с помощью учебных компьютерных моделей — своеобразных дидактических образов-моделей, улучшающих доступность восприятия. Кроме доступности восприятия, к признакам наглядности относят достоверность формируемых образов и визуализацию понятий [7, с. 45].

Под визуализацией в данном случае подразумевается возможность показа, демонстрации объекта или явления, а также его отдельных сторон и признаков. А. В. Смирнов предлагает понимать под наглядностью «образное восприятие явлений и процессов с помощью тех или иных моделей, которые создаются из элементов живого созерцания на основании определенных знаний об этих явлениях и процессах» [7, с. 46].

Рассмотрим, каким образом может быть реализован принцип наглядности в обучении физике, на примере использования учебных компьютерных моделей. В качестве образной модели объекта в нашем случае будет выступать мысленная система — физический маятник. Модель будет являться источником, дающим обучающимся материал для размышления и воображения. Окна компьютерного приложения, реализующего модель представлены на рис. 1 и 2. Такой дизайн приложений мы используем довольно часто [1]. Модель является динамической. Динамичность модели определяется не только тем, что объект исследования движется на экране, но и тем, что синхронно с этим движением осуществляется построение графиков зависимостей характеристик маятника от времени.

Предлагаемая нами модель является интерактивной, что порождает «эффект присутствия» обучающегося в виртуальной среде. Ощущение соучастия формирует необходимую эмоциональную основу. Это облегчает переход от чувственного восприятия образа к абстрагированию и логическому мышлению.

Образная модель может выступать и как средство формирования навыков наблюдения. Наблюдение, как известно, является предпосылкой для анализа, абстрагирования и отбора фактов. Наша модель предусматривает задания для самостоятельных наблюдений и последующих выводов, требующих догадки, опоры на уже известные факты. Главная задача, которую решает такая образная

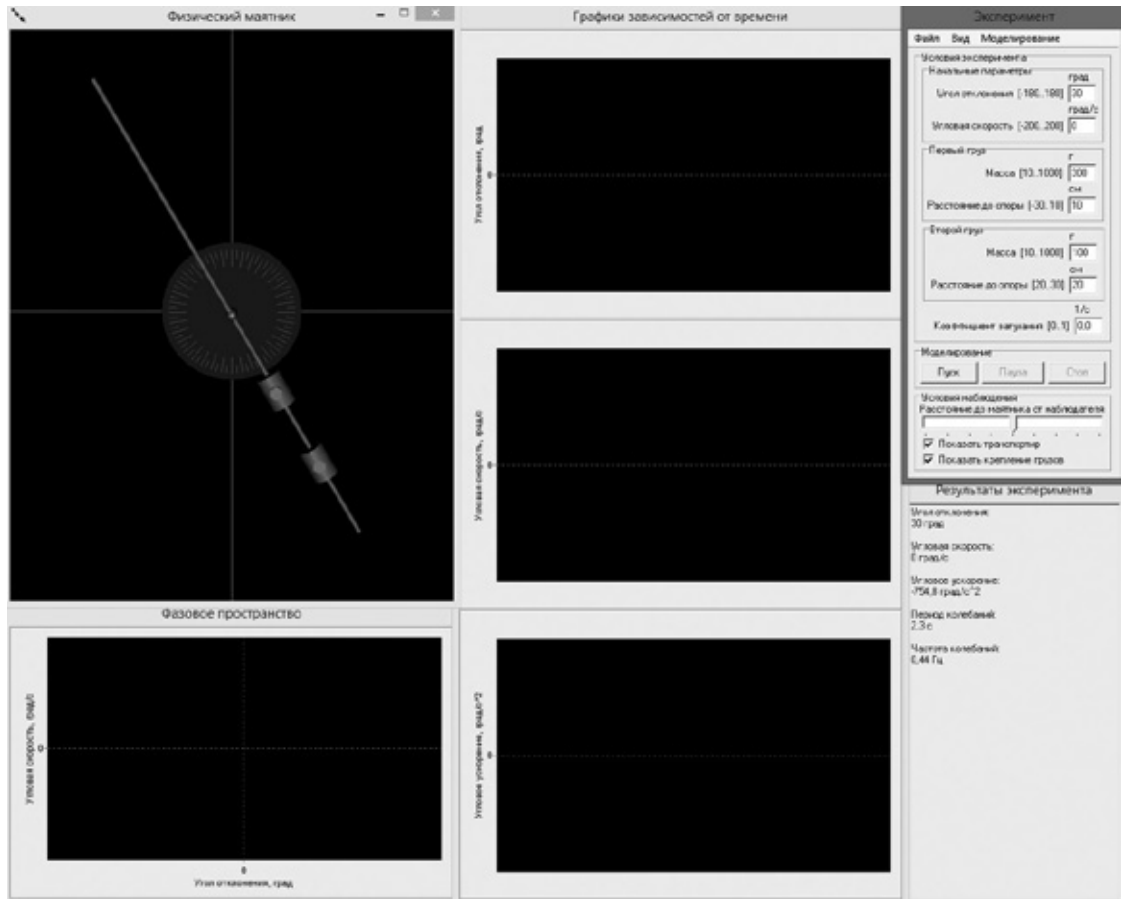


Рис. 1. Вид окон приложения, моделирующего движение физического маятника в ОС Windows 8.1

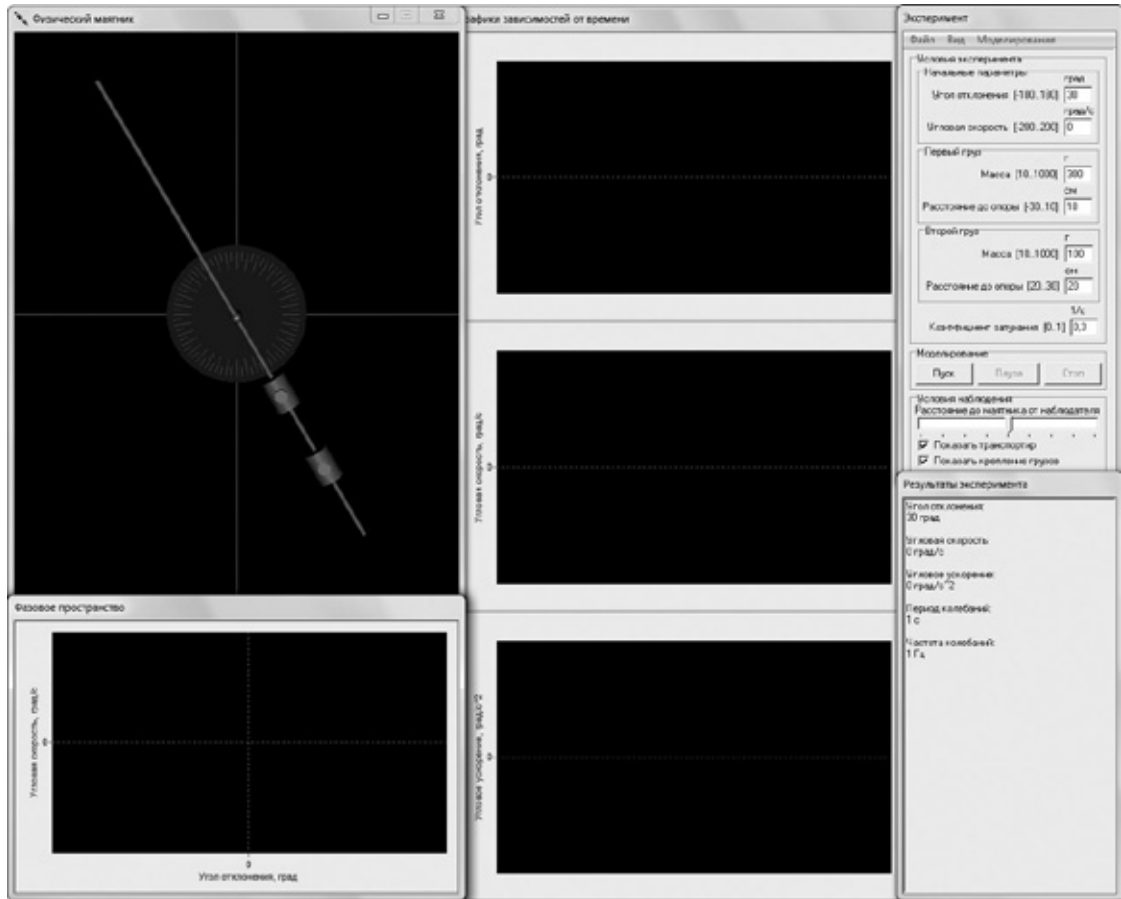


Рис. 2. Вид окон приложения, моделирующего движение физического маятника в ОС Windows 7

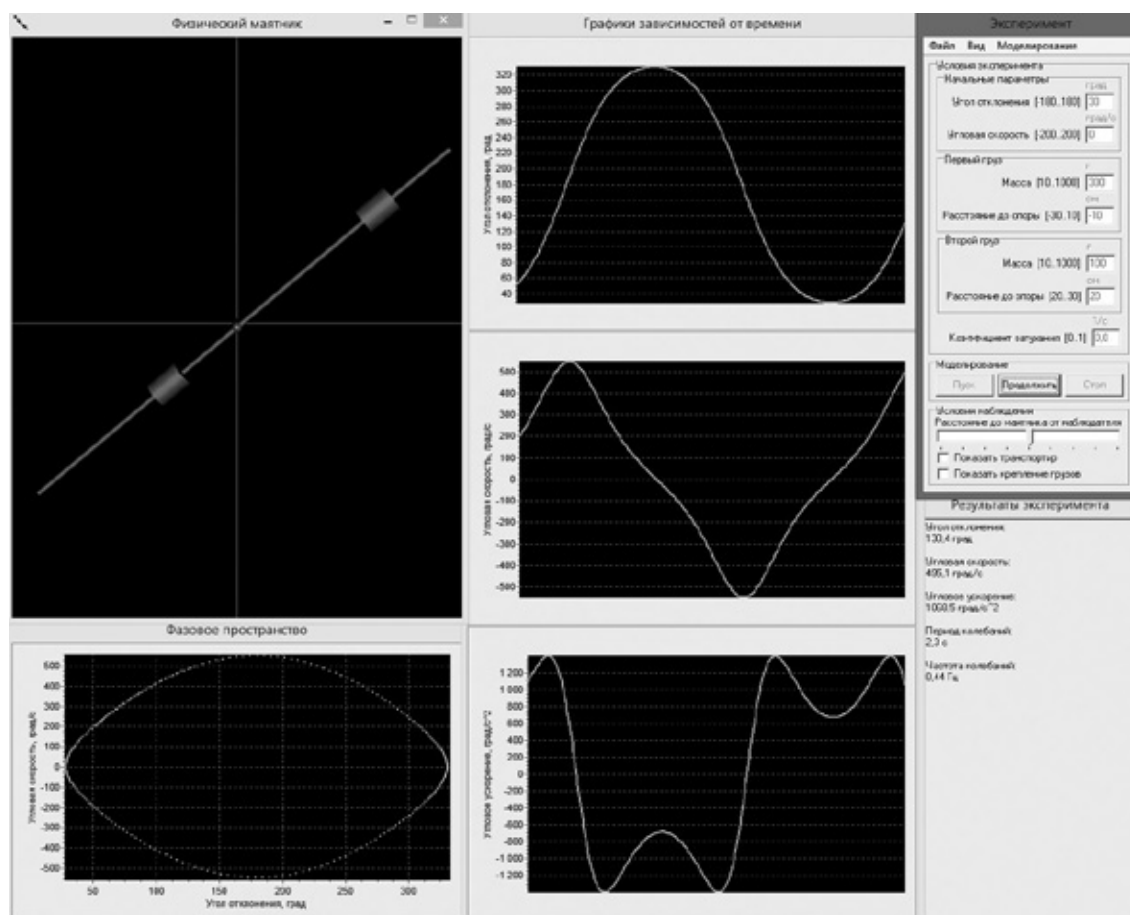


Рис. 3. Моделирование незатухающих колебаний маятника

модель, — это формирование понятия физического маятника, которое складывается в результате анализа и синтеза наблюдаемых фактов. Компьютерная модель позволяет сжать этот процесс во времени.

Кратко, опишем саму модель. В предлагаемом компьютерном приложении физический маятник визуально представляет собой стержень с двумя размещенными на нем грузами, расположение которых может изменяться. Массы грузов, которые считаются материальными точками, могут быть изменены пользователем программы в заданных пределах, масса стержня считается равной нулю. Такое моделирование позволяет при существенном уменьшении массы одного из грузов (или ее равенстве нулю) показать, что система, представляющая собой физический маятник, «вырождается» в математический маятник. Программа позволяет также учитывать при моделировании трение в оси маятника, что позволяет рассматривать незатухающие (рис. 3) и затухающие (рис. 4) колебания маятника. Специфика предлагаемого нами средства информационных технологий заключается в том, что оно позволяет интересно и увлекательно раскрывать обучающимся противоречия между знанием и незнанием. Например, многие обучающиеся (да что скрывать, и обучающие тоже) на-

ходятся в заблуждении, считая, что маятники всегда совершают гармонические колебания (хотя, конечно же, таких колебаний в природе вообще не существует, существуют только колебания, близкие к ним по своим характеристикам). Похожие колебания мы можем наблюдать только при совсем небольших углах отклонения маятника от положения равновесия. При очень больших углах обучающиеся, наблюдающие за моделью, увидят парадоксальную с их точки зрения картину, когда графики зависимостей углового перемещения, угловой скорости и углового ускорения от времени имеют неожиданный для них вид (рис. 3).

Появление таких средств обучения, как представленная выше компьютерная модель физического маятника, произошло благодаря информатизации образования и последующему внедрению в систему этого образования человеко-машинных систем. В этих человеко-машинных системах машинный компонент выступает как средство эффективной реализации образовательной деятельности. В них цель действия системы определяется человеком, а достижение цели осуществляется с помощью машины. Любая человеко-машинная система эффективна только при согласованном и правильном использовании машинной части в деятельности человека.

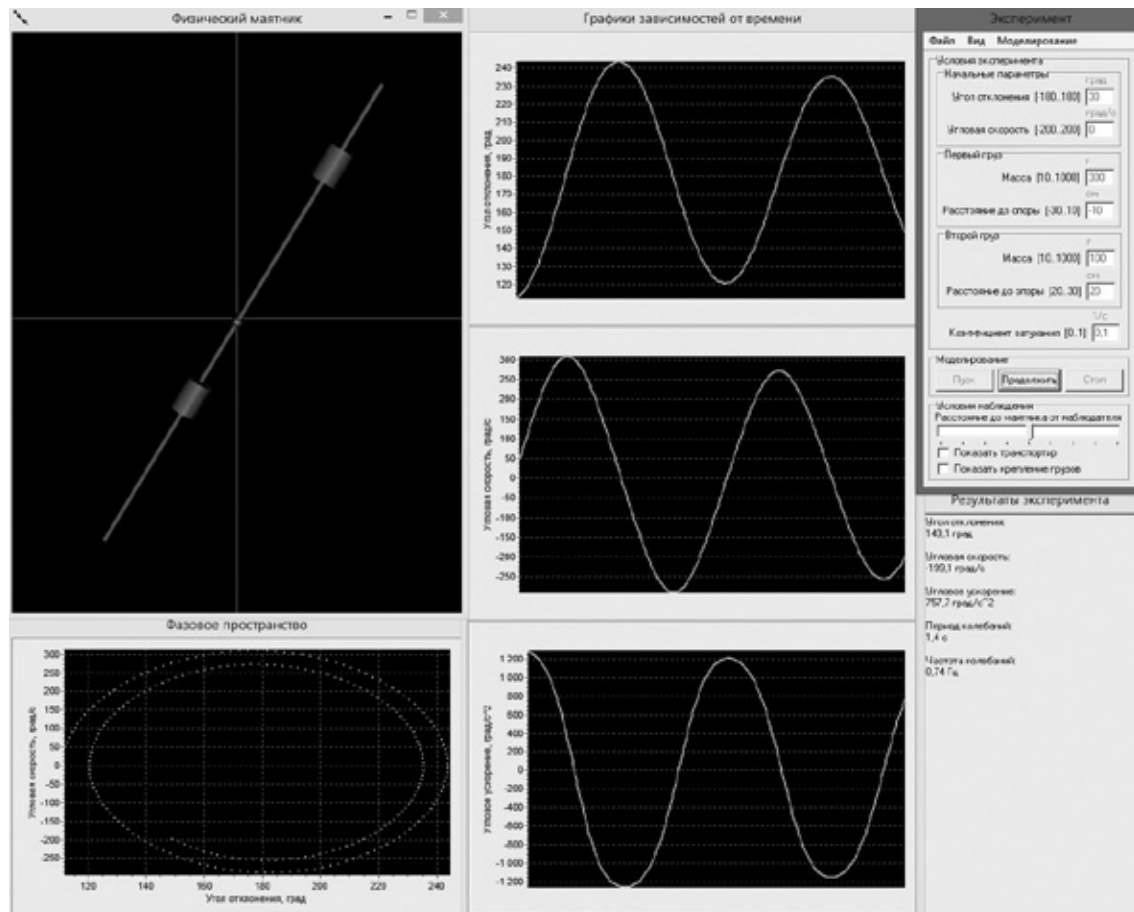


Рис. 4. Моделирование затухающих колебаний маятника

Литература:

1. Данилов, О.Е. Дизайн компьютерных приложений для визуализации информации об учебных компьютерных моделях/О.Е. Данилов // Молодой ученый. — 2014. — № 13. — с. 26–36.
2. Данилов, О.Е. Изучение интерференции с помощью компьютерного моделирования/О.Е. Данилов // Дистанционное и виртуальное обучение. — 2013. — №9. — с. 50–58.
3. Данилов, О.Е. Компьютерное моделирование колебательного движения. Численные методы решения задач: учебно-методическое пособие/О.Е. Данилов, А.Ю. Трефилова. — Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 2012. — 36 с.
4. Данилов, О.Е. Обучение компьютерному моделированию на примере создания компьютерной модели кругового математического маятника/О.Е. Данилов // Дистанционное и виртуальное обучение. — 2013. — № 10. — с. 80–87.
5. Данилов, О.Е. Применение имитационного моделирования механических взаимодействий при обучении физике/О.Е. Данилов // Дистанционное и виртуальное обучение. — 2014. — №5. — с. 97–103.
6. Коменский, Я.А. Избранные педагогические сочинения/Я.А. Коменский. — М.: Учпедгиз, 1955. — 655 с.
7. Смирнов, А.В. Методика применения информационных технологий в обучении физике: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений/А.В. Смирнов. — М.: Издательский центр «Академия», 2008. — 240 с.

Разработка базы данных для автоматизированной информационной системы «Учет оказания услуг в химчистке»

Еременко Лариса Евгеньевна, преподаватель
ОГБОУ СПО Рязанский технологический колледж

Введение

При сильной занятости современного человека несомненным спросом пользуются организации, работающие в сфере услуг. Химчистка является примером такой организации. Конечно, трудно представить себе жизнь без функциональной стиральной машины, но в некоторых случаях справиться с чисткой вещей невозможно без помощи квалифицированных специалистов.

Работникам химчистки приходится выполнять множество повторяющихся действий по оформлению документов при работе с клиентами: оформление заказа на услуги, расчет стоимости услуг, оформление оплаты заказов, предоставление информации об услугах и ценах на них. А поскольку подобная работа выполняется вручную, то имеет смысл выполнить их автоматизацию. Тогда сотрудники смогут без особых усилий работать с заказами, печатать квитанции, составлять отчетные документы и т.д. Основная работа будет выполняться программой, которая к тому же позволит оперативно обрабатывать информацию. Преимуществом программы перед ручной работой является удобное представление данных, автоматическое заполнение некоторых данных, богатые возможности по обработке данных. К тому же автоматизация сервисных служб, в данном случае химчистки, повышает уровень и качество сервиса.

Подводя итог, можно сказать, что автоматизация работы химчистки в части учета оказания услуг является необходимым и перспективным процессом.

Чтобы разработать полноценную информационную систему следует создать соответствующую базу данных [1]. Структура базы данных напрямую будет зависеть от задач, которые должна будет выполнять информационная система, и от среды разработки этой системы. Вероятно, было бы предпочтительней разработать базу данных, не зависящую от конкретной СУБД, но все-таки среда разработки накладывает свой отпечаток, заставляя разрабатывать наиболее оптимальную и удобную с точки зрения реализации модель базы данных. В дальнейшем будут указаны конкретные примеры такой зависимости.

1. Описание бизнес-процесса и задачи

Пусть в некоторой химчистке бизнес-процесс протекает следующим образом. В химчистку обращается клиент, желающий отдать вещи на обработку. При этом он может ознакомиться с прайс-листом предоставляемых видов чистки на разные категории изделий. Если клиент собирается заказать обработку вещей, то в базу данных

вносится контактная информация о клиенте. Затем сотрудник оценивает перечень необходимых видов обработки для каждой вещи и приступает к оформлению заказа. В заказе указывается перечень изделий на обработку, вид обработки каждого изделия, количество изделий каждого вида, автоматически рассчитывается общая длительность выполнения заказа, дата выполнения заказа, стоимость заказа, скидка клиента. Если клиент заказывает доставку обработанных изделий, то дополнительно фиксируется адрес доставки и происходит пересчет стоимости услуг. Доставка возможна только в пределах города расположения самой химчистки и предоставляется только в том случае, если сумма заказа составляет не менее, например, 1000 руб.

Пусть требуется разработать информационную систему для автоматизации работы химчистки в части учета заказов. Средством разработки информационной системы выбрана среда программирования MS Visual FoxPro 9.0. Согласно краткому описанию бизнес-процесса химчистки будущая информационная система должна обладать следующими функциями:

- регистрация клиентов химчистки;
- ведение каталога услуг по чистке изделий;
- оформление заказов на чистку изделий;
- расчет стоимости чистки изделий;
- формирование квитанций к заказам;
- начисление скидки;
- формирование отчетов по выручке;
- определение готовых и неготовых заказов;
- определение выданных заказов;
- определение заказов на доставку.

В дальнейшем при разработке базы данных будут учитываться требования к перечисленным функциям системы, а также используемая среда разработки.

Одним из отправных пунктов в разработке базы данных для будущей информационной системы может стать проектирование главного документа системы [2]. Очевидно, что таковым станет диалоговое окно (форма), при помощи которого и будет выполняться оформление заказа на чистку изделий. Составляющие этого окна определяются в соответствии с предполагаемыми функциями будущей разработки. На рис. 1 приведен пример такого окна.

2. Определение сущностей и взаимосвязей между ними

Анализ бизнес-процесса позволяет подойти к построению информационной модели химчистки. Перечень информации, которая будет храниться в базе данных, по-

Рис. 1. Примерный вид диалоговой формы оформления заказов

нятен из главной формы системы (рис. 1). На первом этапе уже возможно определить некоторое начальное количество сущностей, которые будут содержать эту информацию в качестве своих атрибутов. Сущности и связи между ними изображается в виде диаграммы, которая представлена на рис. 2.

В данной диаграмме используются следующие связи:
 — между сущностями «Изделие» и «Заказ» установлена связь «многие-ко-многим», поскольку один вид из-

делия может быть указан в нескольких заказах, а в одном заказе может быть указано несколько видов изделий;

— между сущностями «Клиент» и «Заказ» установлена связь «один-ко-многим», поскольку один клиент может быть указан в нескольких заказах, но в одном заказе может быть указан только один клиент;

— между сущностями «Вид_обработки» и «Заказ» установлена связь «многие-ко-многим», поскольку один вид обработки может быть указан в нескольких за-

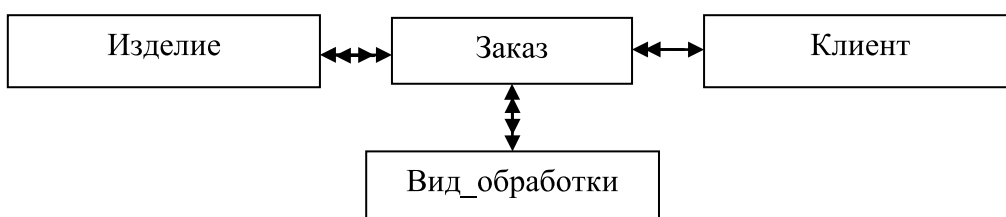


Рис. 2. Диаграмма «сущность — связь»

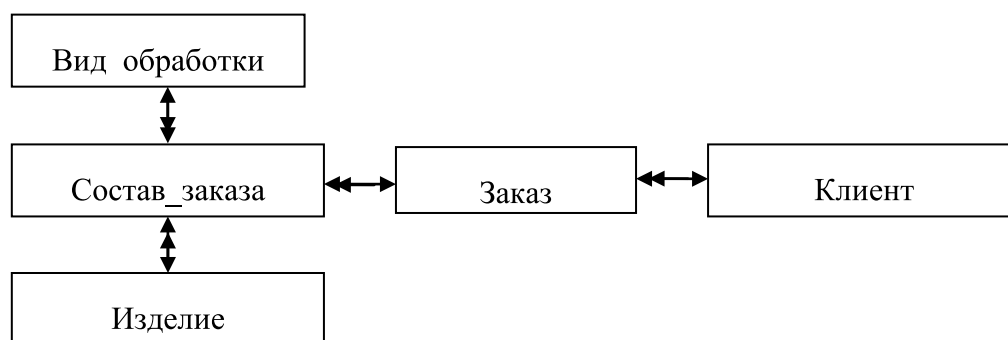


Рис. 3. Эквивалентный вариант диаграммы «сущность-связь»

казах для нескольких изделий, а в одном заказе для одного изделия может быть указано несколько видов обработки.

При определении типов связей между сущностями следует обратить внимание на сущность «Вид_обработки». Конечно, по смыслу хочется установить связь этой сущности и сущности «Изделие», но, во-первых, разные изделия могут подвергаться одинаковым видам обработки, и тогда возникает необходимость несколько раз вносить в базу данных один и тот же вид, а это влечет избыточность данных и увеличение используемой памяти; во-вторых, установление связи между сущностями «Вид_обработки» и «Заказ» позволит облегчить реализацию в системе MS Visual FoxPro 9.0.

Итак, на основе диаграммы взаимосвязей между сущностями (рис. 2) будет разработана модель базы данных, доведенная до третьей нормальной формы. Понятие нормализации применимо только к реляционным базам данных, поэтому следует преобразовать исходную модель, так как в реляционной базе данных не должны присутствовать связи «многие-ко-многим». Для этого следует добавить еще одну сущность, получив эквива-

лентный вариант диаграммы, представленный на рис. 3. Стоит обратить внимание, что в диаграмме присутствовало две связи «многие-ко-многим», но сущность будет добавлена только одна, т.к. обе связи используют одну сущность «Заказ» (это один из плюсов использования связи Заказ-Вид_обработки вместо Изделие-Вид_обработки).

3. Задание первичных ключей, определение атрибутов сущностей

Для каждой сущности определяются атрибуты, которые будут храниться в базе данных. Результат представлен в таблице 1.

Следует обратить внимание на то, что в сущности «Вид_обработки» присутствует атрибут «коэффициент_обр». Какого его назначения? Дело в том, что цена обработки одного и того же изделия может быть разной в зависимости от того, какой вид чистки к нему применяется (деликатная стирка, выведение пятен, обычная стирка и т.д.). Естественно, нецелесообразно хранить в базе данных полный перечень цен на каждый вид обработки

Таблица 1. Атрибуты и первичные ключи сущностей информационной модели

Сущность	Первичный ключ	Атрибуты
Заказ	код_заказа	код_заказа код_клиента дата_составления общ_длительность дата_исполнения сумма_заказа скидка сумма_со_скидкой готовность выдача
Состав_заказа		код_заказа код_изделия код_вида кол-во сумма_за_позицию

Клиент	код_клиента	код_клиента ФИО_клиента тел_клиента адрес_клиента
Изделие	код_изделия, код_категории	код_изделия наименование цена длительность код_категории категория
Вид_обработки	код_вида	код_вида вид_обработки коэффициент_обр

Таблица 2. Атрибуты и первичные ключи сущностей в первой нормальной форме

Сущность	Первичный ключ	Атрибуты
Заказ	код_заказа	код_заказа код_клиента дата_составления общ_длительность дата_исполнения сумма_заказа скидка сумма_со_скидкой готовность выдача
Состав_заказа		код_заказа код_изделия код_вида кол-во сумма_за_позицию
Изделие	код_изделия, код_категории	код_изделия наименование цена длительность код_категории кол-во_в_категории категория
Клиент	код_клиента	код_клиента фам_клиента имя_клиента отч_клиента тел_клиента улица_клиента дом_клиента корпус_клиента кварт_клиента
Вид обработки	код_вида	код_вида вид_обработки коэффициент_обр

каждого изделия, поэтому можно по каждому изделию хранить некоторую базовую цену, которая будет меняться в зависимости от вида обработки путем ее умножения

на коэффициент обработки. Вообще говоря, такой прием помножающих коэффициентов эффективен во многих подобных случаях.

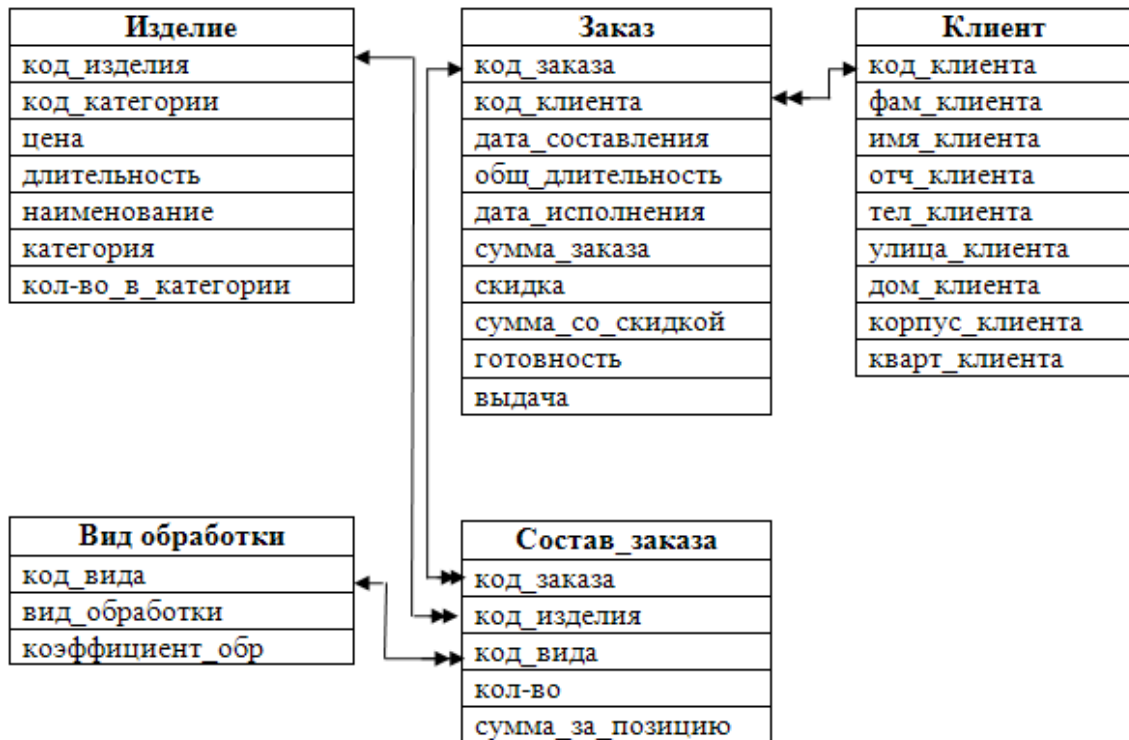


Рис. 4. Диаграмма взаимосвязей между атрибутами сущностей в первой нормальной форме

4. Приведение модели базы данных к первой нормальной форме

Отношение находится в первой нормальной форме, если для каждой сущности выполняются условия:

- должны отсутствовать повторяющиеся записи;
- должны отсутствовать повторяющиеся атрибуты;
- каждый атрибут должен быть неделим [3].

Согласно требованиям первой нормальной формы необходимо преобразовать атрибуты «ФИО_клиента» и «адрес_клиента» в сущности «Клиент» так, чтобы получить неделимые атрибуты. Результат преобразования представлен в таблице 2.

Диаграмма взаимосвязей между атрибутами сущностей в первой нормальной форме представлена на рис. 4.

5. Приведение модели базы данных ко второй нормальной форме

Отношение находится во второй нормальной форме, если оно удовлетворяет следующим требованиям:

- выполняются условия первой нормальной формы;
- первичный ключ однозначно определяет запись;
- все поля записи функционально полно зависят от первичного ключа [3].

В сущности «Изделие» атрибуты «категория», «кол-во_в_категории» зависят только от части «код_категории» составного первичного ключа. Поэтому отношение «Изделие» не находится во второй нормальной форме и его следует преобразовать, выделив из него отдельную сущность «Категория». Результат преобразования представлен в таблице 3.

Таблица 3. Атрибуты и первичные ключи сущностей во второй нормальной форме

Сущность	Первичный ключ	Атрибуты
Заказ	код_заказа	код_заказа код_клиента дата_составления общ_длительность дата_исполнения сумма_заказа скидка сумма_со_скидкой готовность выдача

Состав_заказа		код_заказа код_изделия код_вида кол-во сумма_за_позицию
Изделие	код_изделия	код_изделия наименование цена длительность код_категории
Клиент	код_клиента	код_клиента фам_клиента имя_клиента отч_клиента тел_клиента улица_клиента дом_клиента корпус_клиента кварт_клиента
Вид обработки	код_вида	код_вида вид_обработки коэффициент_обр
Категория	код_категории	код_категории категория кол-во_в_категории

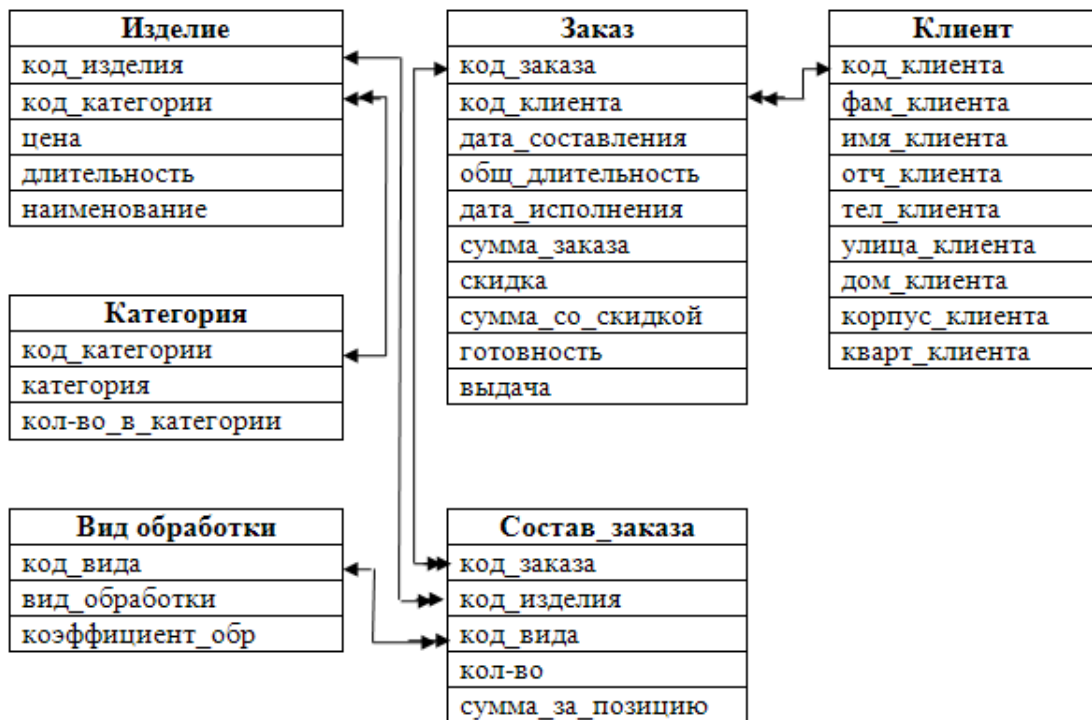


Рис. 5. Диаграмма взаимосвязей между атрибутами сущностей во второй нормальной форме

Диаграмма взаимосвязей между атрибутами сущностей во второй нормальной форме представлена на рис. 5.

6. Приведение модели базы данных к третьей нормальной форме

Условия третьей нормальной формы:

— должны выполняться условия второй нормальной формы;

— внутри каждой сущности должны отсутствовать транзитивные зависимости [3].

В сущности «Состав_заказа» атрибут «сумма_за_позицию» зависит от атрибута «кол-во» этой же сущности. Поэтому данный атрибут следует удалить из сущности,

Таблица 4. Атрибуты и первичные ключи сущностей в третьей нормальной форме

Сущность	Первичный ключ	Атрибуты
Заказ	код_заказа	код_заказа код_клиента дата_составления общ_длительность сумма_заказа готовность выдача
Состав_заказа		код_заказа код_изделия код_вида кол-во
Изделие	код_изделия	код_изделия наименование цена длительность код_категории
Вид обработки	код_вида	код_вида вид_обработки коэффициент_обр
Клиент	код_клиента	код_клиента фам_клиента имя_клиента отч_клиента тел_клиента улица_клиента дом_клиента корпус_клиента кварт_клиента
Категория	код_категории	код_категории категория кол-во_в_категории

создав на соответствующей форме поле, вычисляемое по формуле:

$$\text{Сумма_за_позицию} = \text{цена} * \text{коэффициент_обр} * \text{кол-во}, \quad (1)$$

где «коэффициент_обр» — поле из сущности «Вид обработки»,

«цена» — поле из сущности «Изделие».

В сущности «Заказ» атрибут «дата_исполнения» зависит от атрибута «дата_составления» этой же сущности. Поэтому данный атрибут следует удалить из сущности, создав на соответствующей форме поле, вычисляемое по формуле:

$$\text{Дата_исполнения} = \text{дата_составления} + \text{общ_длительность}, \quad (2)$$

где «общ_длительность» — поле из сущности «Заказ».

В сущности «Заказ» атрибут «сумма_со_скидкой» зависит от атрибута «сумма_заказа» этой же сущности. Поэтому данный атрибут следует удалить из сущности, создав на соответствующей форме поле, вычисляемое по формуле:

$$\text{скидка} = F(\text{сумма_заказа}), \quad (3)$$

где F — правило расчета скидки, оно не описывается в явном виде, поскольку может быть любым и не является принципиально важным в контексте данной статьи.

В сущности «Заказ» атрибут «скидка» зависит от атрибута «сумма_заказа» этой же сущности. Поэтому удалим данный атрибут следует удалить из сущности, создав на соответствующей форме поле, вычисляемое по формуле:

$$\text{Сумма_со_скидкой} = \text{сумма_заказа} - \text{скидка}, \quad (4)$$

где «скидка» — поле из сущности «Заказ».

Результат преобразований приведен в таблице 4.

Диаграмма взаимосвязей между атрибутами сущностей в третьей нормальной форме представлена на рис. 5.

7. Физическое описание модели базы данных

Для реализации автоматизированной системы учета оказания услуг в химчистке следует разработать базу данных, состоящую из 6 таблиц. Структура каждой таблицы приведена ниже.

Таблица 5. Таблица «Изделие» (izdelie. dbf)

Имя поля	Тип поля	Размер поля	Содержание
kod_izd	Integer (AutoInc)	4	код_изделия
kod_kat	Integer	4	код_категории
cena	Numeric	10.2	цена_за_обработку
dlit	Numeric	4.1	длительность_обработки
naim	Character	30	наименование

Таблица 6. Таблица «Вид обработки» (vid_obrabot. dbf)

Имя поля	Тип поля	Размер поля	Содержание
kod_vid	Integer (AutoInc)	4	код_вида
vid	Character	30	вид_обработки
koeffic	Numeric	4.2	коэффициент_обработки

Таблица 7. Таблица «Состав заказа» (sostav. dbf)

Имя поля	Тип поля	Размер поля	Содержание
kod_zakaz	Integer	4	код_заказа
kod_izd	Integer	4	код_изделия
kod_vid	Integer	4	код_вида_обработки
kol	Integer	4	количество_изделий

Таблица 8. Таблица «Заказ» (zakaz. dbf)

Имя поля	Тип поля	Размер поля	Содержание
kod_zakaz	Integer (AutoInc)	4	код_заказа
kod_kl	Integer	4	код_клиента
data_sost	Date	8	дата_составления
o_dlit	Integer	4	общая_длительность
summa	Numeric	10.2	сумма_заказа
gotov	Logical	1	готовность
vadacha	Logical	1	выдача

Таблица 9. Таблица «Клиент» (klient. dbf)

Имя поля	Тип поля	Размер поля	Содержание
kod_kl	Integer (AutoInc)	4	код_клиента
fam_kl	Character	25	фам_клиента
im_kl	Character	25	имя_клиента
ot_kl	Character	25	отч_клиента
tel_kl	Character	13	тел_клиента
ul_kl	Character	25	улица_клиента
d_kl	Character	3	дом_клиента
k_kl	Character	3	корпус_клиента
kv_kl	Character	3	кварт_клиента

Таблица 10. «Категория» (kategor. dbf)

Имя поля	Тип поля	Размер поля	Содержание
kod_kat	Integer (AutoInc)	4	код_категории
kategor	Character	50	категория
kol_iz	Integer	4	кол-во_в_категории

Литература:

1. Хомоненко, А., Цыганков В., Мальцев М. Базы данных: Учебник для высших учебных заведений. — М.: КОРОНА-принт, 2011.
2. Гурвиц, Г. А. Разработка реального приложения с использованием Microsoft Visual FoxPro 9: учеб. пособие. — Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2007.
3. Клепинин, В. Б., Агафонова Т. П. Visual FoxPro 9.0 в подлиннике. — С-Пб.: БХВ-Петербург, 2008.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Особенности отопления в городе Набережные Челны

Бутяков Николай Анатольевич, студент;

Динмухаметов Айдар Марселевич, студент

Научный руководитель: Галиакбаров Азат Талгатович, кандидат технических наук, доцент
Набережночелнинский филиал Казанского (Приволжского) государственного университета

В статье проведён анализ стоимости тепла в зависимости от отдалённости конечного потребителя от ТЭЦ, рассмотрены тарифы нескольких управляющих компаний. Начало отопительного сезона у жителей Набережных Челнов ассоциируется с повышением расходов на коммунальные услуги. Когда за окном температура отпускается, то суммы в квитанциях растут. Есть множество факторов определяющих конечную стоимость услуг. Среди горожан бытует мнение, что на ценообразование также влияет расстояние, которое преодолевает горячая вода по трубам. В данной статье рассматривается ценообразование тепловых ресурсов, которые используются для обогрева жилых домов в городе Набережные Челны. Проведён анализ стоимости 1 гигакалории в зависимости от отдалённости конечного потребителя от ТЭЦ. За основу анализа были взяты цены на «тепло» от управляющих компаний города. Как пример рассмотрены тарифы нескольких управляющих компаний Автограда, которые обслуживают горожан и поставляют жилищно-коммунальные услуги.

Ключевые слова: отопительный, сезон, Набережные Челны, стоимость, тепло, жилкомсервис, ключевое, электротехников, ремжилстрой, паритет, яшьлек, тэц, гигакалория.

In the article the analysis of the cost of heat according to from the remoteness of the final consumer from CHPP discussed the rates of several governors CompanyName the heating season, residents of Naberezhnye Chelny is associated with higher utility costs. When outside temperature is released, the amount of receipts grow. There are many factors determine the final cost of services. Among the residents are of the opinion that the pricing is also affected by the distance that overcomes hot water pipes. This article discusses the pricing of thermal resources that are used for heating homes in the city of Naberezhnye Celnice cost analysis 1 gigacalorie depending on the remoteness of the final consumer from the plant. The analysis is based were collected prices for «heat» from the management companies of the city. As an example, consider the rates of several management companies of the City that cater to residents and deliver housing services.

Keywords: heating, season, Naberezhnye Chelny, cost, heat, housing, key, electrical engineers, registros, parity, their, CHP, gigacalorie.

В нашем городе поселок Сидровка, поселок ГЭС и ЗЯБ обслуживает одна управляющая компания ООО «Жилкомсервис». Возьмем самую удаленную точку от ТЭЦ — это поселок Сидровка. Управляющая компания ООО «Электротехников» обслуживает часть нового города это 56,58,59 комплексы. Это наиболее близкие комплексы по отношению к ТЭЦ.

На рис. 1 схематично изображены расстояния между ТЭЦ и конечным потребителями. Расстояние между поселком Сидровка и ТЭЦ составляет 13 км, а между 58 комплексом 6.4 км. Трубы проложены не так как показано на карте поэтому расстояние намного больше от генерирующего предприятия до потребителя.

Для того чтобы установить взаимосвязь расстояния и стоимости тепла, были взяты действующие тарифы управляющих компаний находящиеся на разном удалении от ТЭЦ. В таблице 1 приведены тарифы для населения, на жилищно-коммунальные услуги, установленные на 2014 год по городу Набережные Челны.

Несмотря на разницу в расстоянии, видно, что тарифы на тепло, которое поставляет к нам управляющая компания, не зависит от того, насколько далеко расположены потребитель и источник тепловой энергии.

Один кубический метр газа по ГОСТу 10062–75 при сжигании выделяет 8000 килокалорий тепла. [ГОСТ 10062–75. Газы природные горючие. Метод определения

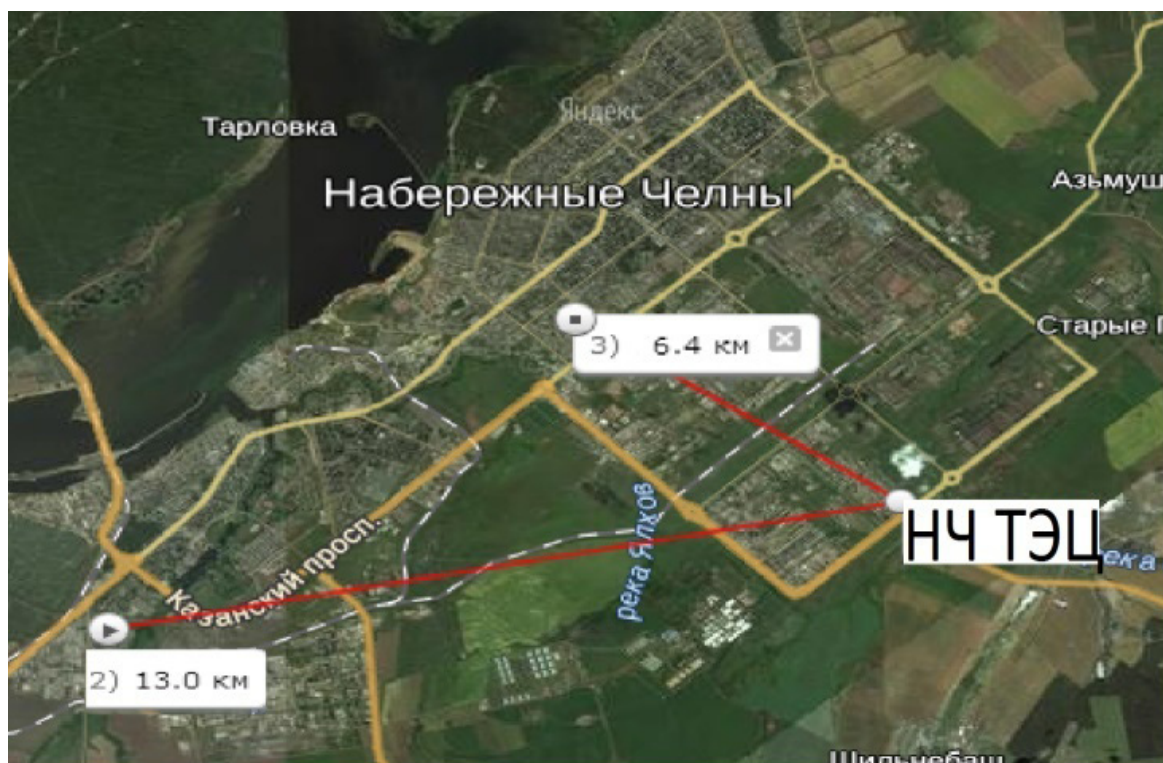


Рис. 1

Таблица 1

Управляющие компании	УК «Ключевое»	«Жилком-сервис»	УК «Электротехников»	УК «Ремжилстрой»	УК «Паритет»	УК «ЯШ-ЛЕК-ФОН»
Оф. сайт упр. компаний	http://www.klyuchevoe.ru/	http://www.pkf-gks.ru/	http://www.elektrotehnikov.ru/	http://ukremgilstroj.ru/	http://uk-paritet.ru/	http://uk-yashlek.ru/
цена за 1 Гкалл отопления с 01.01.14–30.06.14	1400,08	1400,08	1400,08	1400,08	1400,08	1400,08

удельной теплоты сгорания (Сборник). Издательство стандартов. 1987 г. 391 с.] Стоимость 1 кубического метра газа составляет 4 рубля 61 копейку. Жители, которые по техническим причинам не могут подключиться к центральному отоплению, устанавливают стационарные котлы себе в дом. За 1 гигакалорию они платят с учётом КПД котлов примерно 630 рубля. Сюда не входит амортизация котла, зарплата обслуживающего персонала.

ТЭЦ изначально строится для выработки электрической энергии, а не тепловой. После того как вода превращается в пар и греется до 535 С, перегретый пар поступает на турбину где она вращается и вырабатывает электроэнергию. После пар поступает в область пониженного давления в конденсаторы где он конденсируется и уже от туда забирают тепло для отопления. При низком давлении пар не конденсируется и это усложняет забор тепла. Для того чтобы обратно сжать пар и превратить в воду требуется

комплекс мощных компрессоров и насосов. Они потребляют много электрической энергии и занимают большие площади. Из-за этого целесообразно поднять давление в конденсаторах. В этом случае не нужны компрессоры и насосы и не тратится электроэнергия, но падает КПД турбин, так как разность давлений до турбины и после неё уменьшается. В данном случае экономически выгодно использовать такую схему забора тепла не используя принудительное сжатие пара. [3]

В цену «тепла» входит амортизация всего оборудования (трубы, насосы, котельные установки и т.п.) зарплата для обслуживающего, ремонтного, управляющего, персонала, электроэнергия для работы насосов которые перекачивают теплоноситель, теплопотери зависящие от длины трубопровода, стоимость теплоносителя, подготовка теплоносителя (деаэрация, химводоочистка, очищение воды от тяжелых металлов и т.п.), утечки (плохо набитые сальники на задвижках, порывы

Таблица 2. Протяженность труб и теплотери от ТЭЦ до посёлка Сидровка

Участки	Диаметр труб, мм	Длина участка	Как проложены	Теплотери в течении месяца от объема переданной теплоты Гкал (%)	Расход трубопровода в месяц, Гкал
1	1500 мм	6,3 км	воздух	940,9 (0,16%)	565856
2	1000 мм	4,5 км	земля	345,5 (0,14%)	245206
3	1000 мм	5,5 км	воздух	590,8 (0,24%)	245206
4	600 мм	1,7 км	земля	88 (0,11%)	78592
5	50 мм	200 м	земля	2,95 (0,51%)	578

Таблица 3. Протяженность труб и теплотери от ТЭЦ до 58 к-са

Участки	Диаметр труб мм	Длина участка	Как проложены	Теплотери в течении месяца от объема переданной теплоты Гкал (%)	Расход теплоты через трубопровода в месяц, Гкал
1	1500 мм	6,3 км	воздух	940,9 (0,16%)	565856
2	600 мм	1 км	земля	51,8 (0,06%)	78592
3	50 мм	200 м	земля	2,95 (0,51%)	578

в системе отопления, несанкционированный отбор воды для собственных нужд, умышленный сброс теплоносителя в канализацию нерадивыми жильцами). Это все заложено в стоимость гигакалория тепла. Чем большее расстояние преодолевает горячая вода по коммуникациям, тем больше нужно потратить энергии. В поселке сидровка жилой дом С-7 за январь месяц потребил 578 Гкалл тепла с учетом горячего водоснабжения. В течении 31 дня требуется перекачать 8196,04 куб. метров воды. Для обеспечения расхода в 8196,04 куб. метров/месяц требуется труба диаметром в 50 мм.

От ТЭЦ до улицы Машиностроительная проложены по воздуху трубы диаметром в 1,5 метра для обеспечения всего города теплом. Длина труб составляет 6.3 км. Далее от «ЦТП 1» трубы делятся и уходят под землю. Труба диаметром в 600 мм уходит под землю в сторону 58 комплекса предположим это будет 1 км, далее к этой

магистральной сети подключается дом 58/01 — это 200 метров трубопровода диаметром в 50 мм. Диаметр труб после «ЦТП 1» 1 метр. Трубы далее проложены подземлей до улицы Комарова это 4.5 км. Начиная от улицы Комарова (1 автодорога) заканчивая до «ЦТП-2» которая находится на казанском проспекте трубы проложены по воздуху это расстояние 5.5 км. Потом трубы делятся и уходят в сторону замелекесья и в сторону промышленной зоны по воздуху. Предположим что к поселку Сидровка подвели магистральную тепловую сеть диаметр труб у которой 600 мм длина 1.7 км. К этой сети подключили дом С-7, провели трубопровод под землей диаметром 50 мм. Возьмём расстояние 200 м. Все данные занесём в таблицу. [5; 4; 2]

Материальные затраты которые несет ТЭЦ согревая жителей города распределены по ровну, так как видим по таблице 2 и 3 теплотери не значительные.

Литература:

1. ГОСТ 10062–75. Газы природные горючие. Метод определения удельной теплоты сгорания (Сборник). Издательство стандартов. 1987 г. 391 с.
2. Ривкин, С. Л., Александров А. А. Теплофизические свойства воды. Энергия. 1980 г. 424 с.
3. Рыжкин, В. Я. Тепловые электрические станции. Энергоатомиздат. 1987 г. 327 с.
4. Френкель, Н. З. Гидравлика. — М. ГЭИ. — 1956 г. — 226 с.
5. Юдаев, Б. Н. Техническая термодинамика. Теплопередача. Высшая школа. 1988 г. 477 с.

Исследование потерь теплоты котла КЕ-25–14С ТЭЦ-1 города Семей

Величкин Павел Сергеевич, магистрант;
 Мясоедов Дмитрий Викторович, магистрант;
 Золотов Александр Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент
 Государственный университет имени Шакарима города Семей (Казахстан)

Одним из наиболее крупных предприятий энергетического блока на территории города Семей Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан является ГКП «Теплокоммунэнерго». Функционирование котельного оборудования обусловлено многими факторами и от правильной организации процессов, протекающих в нем, зависит эффективность работы всего предприятия, а значит и промышленности города, и ЖКХ [1]. Также объекты энергетики оказывают влияние на экологическую обстановку. Все это объясняет актуальность исследований по эффективности работы котельного оборудования.

Целью работы является анализ тепловых потерь котла КЕ-25–14С ТЭЦ-1 города Семей.

Котел КЕ-25–14С имеет производительность 25 т/ч, номинальное давление 14 кг · с/см² и со слоевым сжиганием топлива. Котел данной марки установлен в ряде котельных города Семей Республики Казахстан. В качестве топлива используется каменный уголь марки «Д» разреза Каражыра ВКО (Восточно-Казахстанской области). Рабочий состав угля данной марки представлен в таблице 1. [2]

Для определения потерь котельного агрегата необходимо произвести тепловой расчет. Подробный тепловой расчет котла КЕ-25–14С представлен в статье [2].

Испытания проводились при различной теплопроизводительности.

По результатам экспериментальных исследований был построен график зависимости потерь тепла в окружающую среду, с уходящими газами q_2 и потерь тепла в окружающую среду через ограждающие поверхности и элементы котла q_5 в зависимости от теплопроизводительности [3] (рисунок 1).

Зависимость потерь тепла в окружающую среду, с уходящими газами q_2 от теплопроизводительности описывается уравнением (1):

$$q_2 = -0,4902 \cdot Q + 3,6857 \quad (1)$$

где Q — теплопроизводительность, Гкал/кг;

q_2 — потеря тепла с уходящими газами, %.

Изменение потерь тепла в окружающую среду q_5 в зависимости от теплопроизводительности описывается уравнением (2):

$$q_5 = -0,0071 \cdot Q + 2,1435 \quad (2)$$

где Q — теплопроизводительность, Гкал/кг;

q_5 — потеря тепла в окружающую среду, %.

По результатам экспериментальных исследований был построен график зависимости температуры уходящих газов от теплопроизводительности котлоагрегата (рисунок 2).

Изменение температуры уходящих газов в зависимости от теплопроизводительности описывается уравнением (3):

$$t = 4,0964 \cdot Q + 71,979 \quad (3)$$

где Q — теплопроизводительность, Гкал/кг;

t — температура уходящих газов, °С.

В ходе теплового расчета [2] было получено значение к. п. д. котла в зависимости от состояния обмуровки.

По результатам экспериментальных исследований был построен график изменения к. п. д. котла в зависимости от теплопроизводительности (рисунок 3).

Изменение к. п. д. котла в зависимости от теплопроизводительности описывается уравнением (4):

$$\eta = -0,6497 \cdot Q + 83,782 \quad (4)$$

где Q — теплопроизводительность, Гкал/кг;

η — к. п. д., %.

Выводы

В ходе проведенного исследования получили расчетную зависимость для определения потерь теплоты с уходящими газами в зависимости от теплопроизводительности. Определили, что потери теплоты q_2 с ростом теплопро-

Таблица 1. Рабочий состав угля марки «Д» «Каражыра»

Показатели	Единица измерения	Индекс	Рабочая смесь
Влага общая	%	W_t^r	14,0
Зольность	%	A^p	19,1
Сера общая	%	S_t^p	0,2
Углерод	%	C^p	49,1
Водород	%	H^p	3,8
Азот	%	N^p	0,9
Кислород	%	O^p	12,9

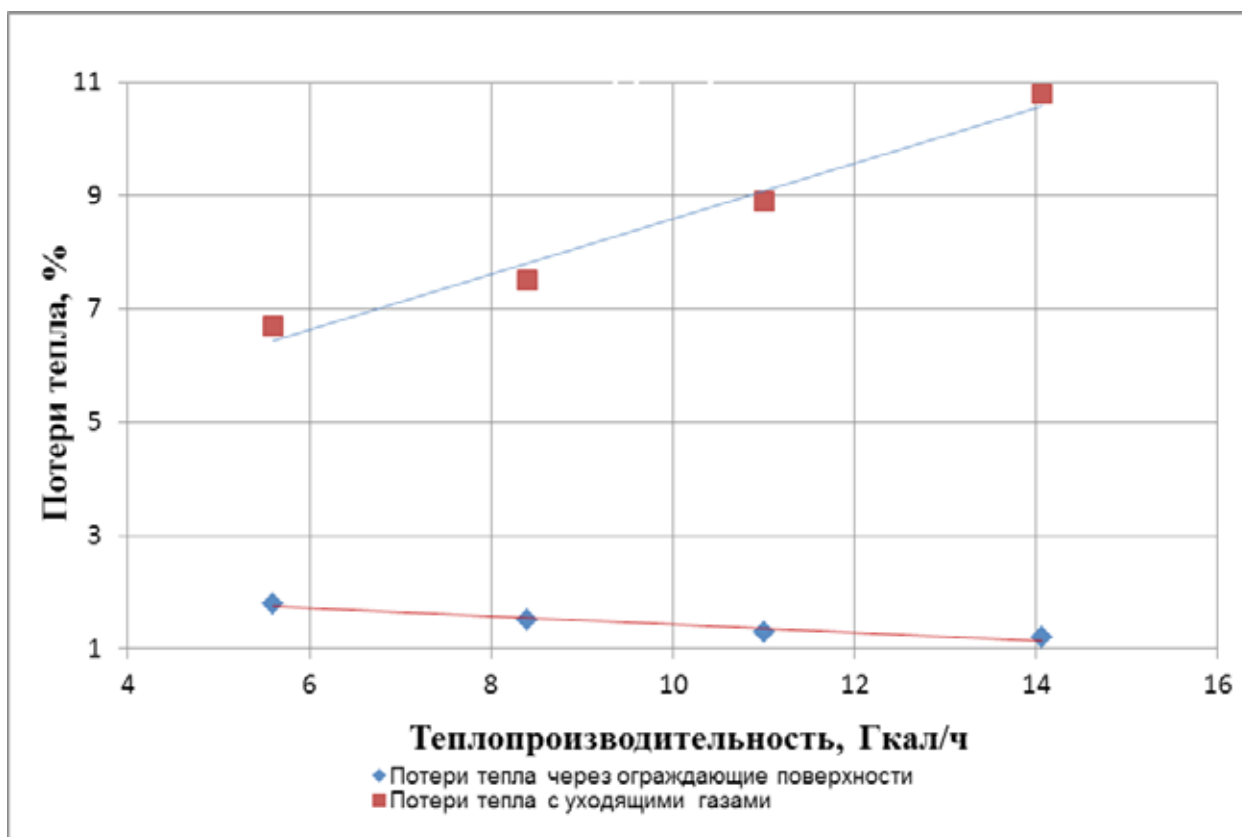


Рис. 1. Потери тепла в окружающую среду, с уходящими газами q_2 и потери тепла в окружающую среду через ограждающие поверхности и элементы котла q_5 в зависимости от теплопроизводительности

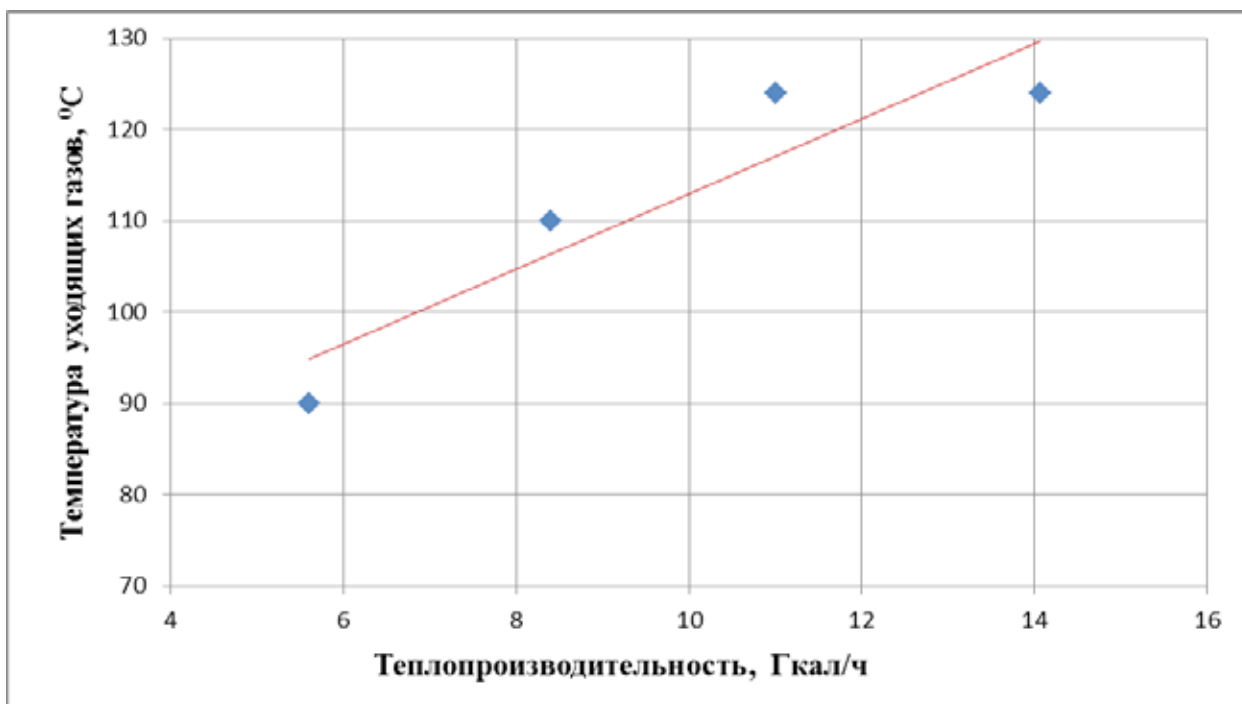


Рис. 2. Изменение температуры уходящих газов в зависимости от теплопроизводительности

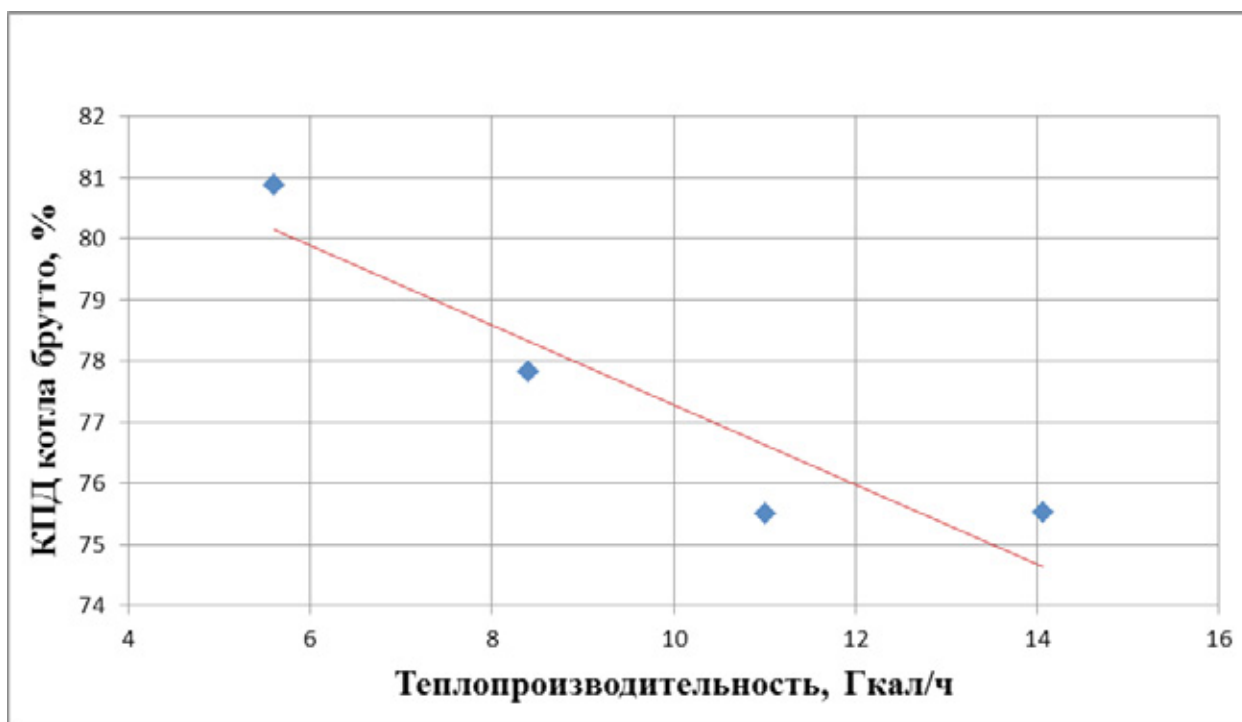


Рис. 3. Изменения к. п. д. котла в зависимости от теплопроизводительности

изводительности возрастают. Это связано с увеличением объема потерь от химического и механического недожога.

Была получена расчетная зависимость для определения потерь теплоты в окружающую среду от теплопроизводительности. Определили зависимость потерь теплоты в окружающую среду q_5 в зависимости от теплопроизводительности котельного агрегата: потери теплоты q_5 с ростом теплопроизводительности уменьшаются.

Получена расчетная зависимость для определения потерь теплоты в окружающую среду от теплопроизводи-

тельности. Определили зависимость К.П. Д. котельного агрегата в зависимости от теплопроизводительности: К.П. Д. котла уменьшается с ростом теплопроизводительности, так как происходит увеличение объема уходящих газов. В результате этого потери теплоты с уходящими газами q_2 растут, КПД и производительность котла снижаются. При восстановлении производительности за счет увеличения расхода топлива потери теплоты с уходящими газами еще больше увеличиваются и КПД уменьшается.

Литература:

1. Энергосбережение — путь повышения эффективности экономики // Fluitech systems URL: <http://fluitech.com.ua/ru/articles/106.html> (дата обращения: 17.04.2014).
2. Мясоедова, Е. Н., Коротецкий И. Н., Степанова О. А., Ермоленко М. В., Надырова А. Р. Исследование эффективности работы котельного агрегата в зависимости от состояния обмуровки. // Молодой ученый. — 2014. — № 6. — с. 203–207.
3. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод Т 34) Под ред. Н. В. Кузнецова и др., М., «Энергия», 1973. 296 с. с ил.

Сравнение консистенции мясных полуфабрикатов, исследованной структурно-механическими и органолептическими методами

Гаврилова Евгения Владимировна, магистрант;

Губер Наталья Борисовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) (г. Челябинск)

Асенова Бахыткуль Кажкеновна, кандидат технических наук, профессор
Государственный университет имени Шакарима (г. Семей, Казахстан)

Мясо и мясные продукты являются одними из самых известных пищевых продуктов, и имеют большое значение в питании людей как полноценные в биологическом отношении. Они в значительных количествах содержат все незаменимые аминокислоты [1–3, 11, 20, 21]. Однако особенности сырья и ограниченность ресурсов не позволяет получить готовый продукт с желаемыми (наиболее высокими) характеристиками. Создание нового поколения продуктов питания немислимо в настоящее время без применения добавок и улучшителей. Они используются в целях повышения пищевой и биологической ценности продуктов, улучшения их органолептических показателей, сохранения качеств пищевой продукции и повышения лечебно-профилактических и диетических свойств [4, 5, 12, 19, 20].

Традиционно в состав мясных рубленых полуфабрикатов входят пшеничный хлеб или панировочные сухари в качестве наполнителя, загустителя и связующего вещества. Целесообразней с точки зрения обогащения продуктов пищевыми нутриентами заменять пшеничный хлеб на различные виды муки (гречневую, кукурузную, овсяную, льняную), так как они являются источником растительного белка и обладают всеми выше перечисленными свойствами, также они содержат в своем составе витамины, микро- и макроэлементы. Также рецептуры многих котлет имеют в своем составе животный жир. Животные жиры обладают уникальным витаминно-минеральным составом, содержат жирные кислоты, а также витамины группы А, Е, D, а также F. Однако в состав животных жиров входит холестерин. Для придания продукту диетических свойств целесообразнее введение растительных компонентов в виде белково-жировых эмульсий, составленных на основе растительных масел. При введении в фарш полуфабрикатов белково-жировой эмульсии обеспечивается однородная консистенция и улучшается структура фарша, так как мука с остальными компонентами эмульсии образует дисперсии низкой вязкости, действуя как связывающий масло и влагу агент. Это обусловлено увеличением водосвязывающей, жиросвязывающей и жироземульгирующей способностей, а также увеличением содержания клейковины, которая связывает масло, способствуя повышению стабильности белково-жировой эмульсии [4, 6–8, 16].

Оценка консистенции мясopодуkтов осуществляется либо измерением реологических характеристик на спе-

циальных приборах, либо органолептически, как субъективная оценка сопротивляемости и деформации продукта. В зависимости от консистенции продукты по-разному деформируются при избранных видах нагрузки и скорости. Воспроизводимость характерных показателей, полученных при измерении консистенции, гарантирована только в том случае, если все условия измерения постоянны, особенно форма образца и его размеры, вид нагружения и его скорость.

Органолептическая оценка консистенции, которую можно характеризовать как эмпирическую характеристику деформационного поведения материала, была известна до широкого применения реологического анализа и используется до настоящего времени. Причиной этого является простота и высокая скорость измерений, невысокие требования к приборам и процедурам обработки данных. Показатели в достаточной мере отражают анализируемые реологические свойства, обеспечивают быстрый контроль пищевых продуктов относительно соответствия или отклонения того или иного параметра от номинального значения [9, 10, 10, 15].

Опытные образцы с овсяной, гречневой и кукурузной мукой по консистенции очень близки к консистенции контрольного образца. Однако результаты сенсорного анализа зависят от квалификации дегустатора, тщательности проведения контроля, выполнения определенных правил, гарантирующих точность и воспроизводимость результатов, и при отсутствии специально обученных экспертов, часто носят субъективный характер. На рисунке 1 представлены профилограммы дегустационной оценки консистенции опытных образцов [13].

Для получения точных и воспроизводимых результатов целесообразно для оценки консистенции рубленых полуфабрикатов использовать инструментальный метод, применяя специальные приборы. Изучена такая структурно-механическая характеристика как усилие среза фарша котлет, приготовленного на основе мясного сырья и белково-жировой эмульсии с различными видами муки, а также контрольного образца [14, 17, 22]. Опытные образцы с овсяной, кукурузной и льняной мукой обладают большей мягкостью, меньшей прочностью и жесткостью по сравнению с контрольным образцом и опытным образцом с гречневой мукой. Использование данных видов муки является перспективным, так как их введение в состав фарша повышает вязкость и пластичность фарша,

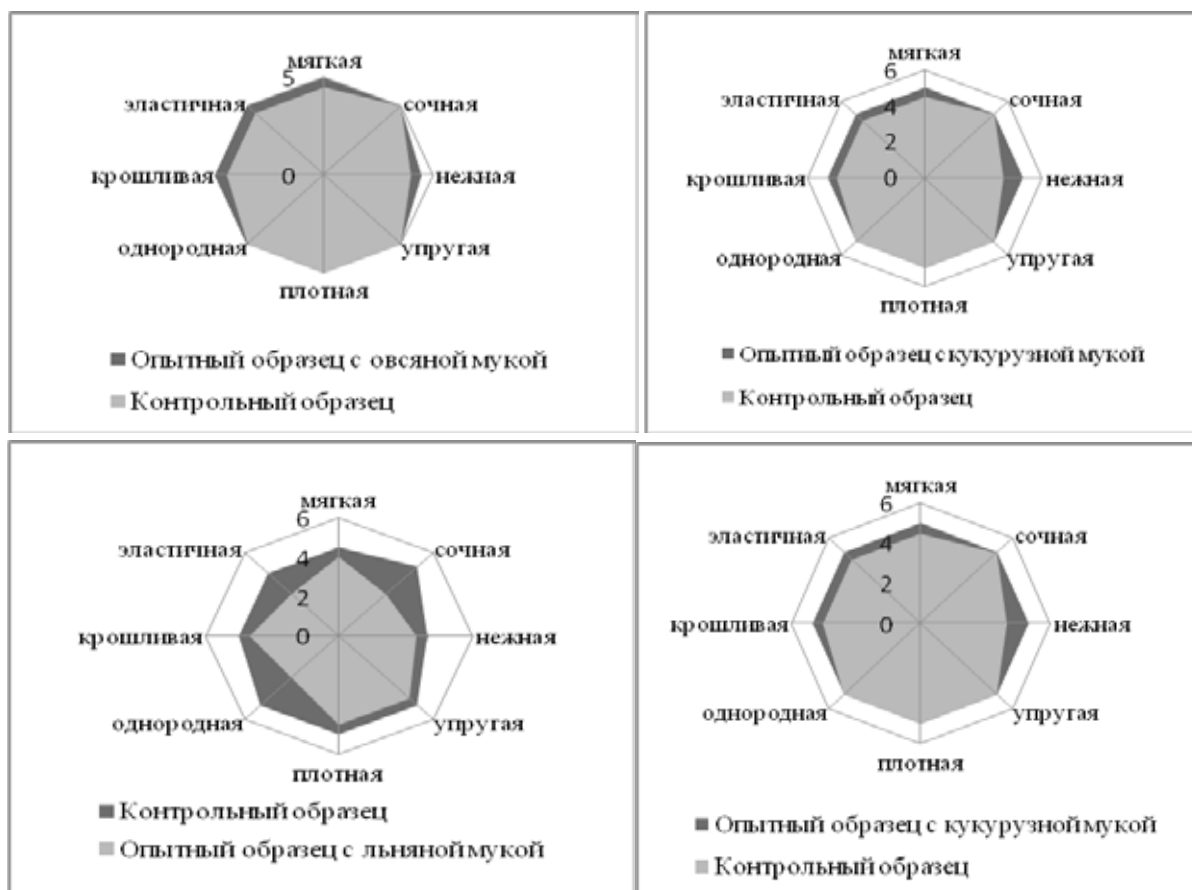


Рис. 1. Профилограммы дегустационной оценки консистенции опытных образцов

Таблица 1. Значение показателя усилие среза для опытных образцов

Образец	Усилие среза, г/см ²
контрольный	2,11
с овсяной мукой	2,03
с гречневой мукой	2,18
с льняной мукой	1,71
с кукурузной мукой	1,93

на овсяную и гречневую муку, которые обладают более высокой пищевой ценностью.

При использовании инструментального метода определения консистенции полуфабрикатов достаточно точно можно определить продукт с лучшей консистенцией, но при органолептической оценке продукта дегу-

статором также можно определить сочность и нежность продукта в зависимости от вкусовых предпочтений человека.

Поэтому можно сделать вывод о том, что лучше совмещать инструментальный способ с органолептической оценкой продукции.

Литература:

1. Альхамова, Г.К., Мазаев А.Н., Ребезов Я.М., Шель И.А., Зинина О.В. Продукты функционального назначения. Молодой ученый. 2014. №12 (71). с. 110–112.
2. Губер, Н.Б., Ребезов М.Б., Топурия Г.М. Инструменты снижения рисков при реализации инновационных проектов в сфере продуктов питания животного происхождения. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2014. Т. 8. №1. с. 156–159.

3. Окусханова, Э.К., Асенова Б.К., Игенбаев А.К., Ребезов М.Б. Тенденции производства функциональных мясных продуктов. В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. Оренбургский государственный университет. 2014. с. 1273–1278.
4. Окусханова, Э.К., Асенова Б.К., Ребезов М.Б., Игенбаев А.К. Белковый обогатитель при производстве функциональных мясных продуктов. Инновационное образование и экономика. 2014. Т. 1. № 14 (25). с. 43–47.
5. Догарева, Н.Г., Стадникова С.В., Ребезов М.Б. Создание новых видов продуктов из сырья животного происхождения и безотходных технологий их производства. В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием). 2013. с. 945–953.
6. Асенова, Б.К., Амирханов К.Ж., Ребезов М.Б. Технология производства функциональных продуктов питания для экологически неблагоприятных регионов. Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства. 2013. №1. с. 313–316.
7. Ребезов, М.Б., Зинина О.В., Максимюк Н.Н., Соловьева А.А. Использование животных белков в производстве мясопродуктов. Вестник Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого. 2014. №76. с. 51–53.
8. Ребезов, М.Б., Мирошникова Е.П., Богатова О.В., Максимюк Н.Н., Хайруллин М.Ф., Лукин А.А., Зинина О.В., Залилов Р.В. Технохимический контроль и управление качеством производства мяса и мясопродуктов. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2011. 107 с.
9. Белокаменская, А.М., Ребезов М.Б., Мазаев А.Н., Ребезов Я.М., Зинина О.В. Применение физико-химических методов исследований в лабораториях Челябинской области. Молодой ученый. 2013. №4. с. 48–53.
10. Гаязова, А.О., Ребезов М.Б., Попова М.А., Лукиных С.В. Оценка качества и безопасности разработанного мясорастительного рубленого полуфабриката. Молодой ученый. 2014. №10 (69). с. 133–136.
11. Зинина, О.В., Тарасова И.В., Гаврилова Е.В. Направление рационального использования биомодифицированного коллагенсодержащего сырья. Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2013. Т. 1. №71. с. 326–329.
12. Гаврилова, Е.В., Бажина К.А. Органолептическая оценка полуфабрикатов мясных рубленых с растительными компонентами. Молодой ученый. 2013. №11. с. 84–86.
13. Кофанова, М.Ю., Губер Н.Б., Переходова Е.А., Косолапова А.С. Тенденции развития технологий производства продуктов питания животного происхождения. Молодой ученый. 2014. №8. с. 188–191.
14. Кузнецов, О.А., Волошин Е.В., Сагитов Р.Ф. Реология пищевых масс: учебное пособие. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. 106 с.
15. Губер, Н.Б., Ребезов М.Б., Асенова Б.К. Перспективные способы разработки мясных биопродуктов. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2014. Т. 2. №1. с. 72–79.
16. Тарасова, И.В., Ребезов М.Б., Переходова Е.А., Косолапова А.С., Зинина О.В. Оценка показателей качества полуфабрикатов мясных рубленых с биомодифицированным сырьем. Молодой ученый. 2014. №8. с. 279–281.
17. Соловьева, А.А., Ребезов М.Б., Зинина О.В. Изучение влияния стартовых культур на функционально-технологические свойства и микробиологическую безопасность модельных фаршей. Актуальная биотехнология. 2013. №2 (5). С 18–22.
18. Зинина, О.В., Ребезов М.Б., Жакслыкова С.А., Солнцева А.А., Чернева А.В. Полуфабрикаты мясные рубленые с ферментированным сырьем. Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2012. №3. с. 19–25.
19. Хайруллин, М.Ф., Ребезов М.Б., Наумова Н.Л., Лукин А.А., Дуць А.О., О потребительских предпочтениях при выборе мясных продуктов. Мясная индустрия. 2011. №12. с. 15–17.
20. Ребезов, М.Б., Лукин А.А., Хайруллин М.Ф., Лакеева М.Л., Пирожинский С.Г., Дуць А.О., Ребезов Я.М. Изменение соединительной ткани под воздействием ферментного препарата и стартовых культур. Вестник мясного скотоводства. 2011. Т. 3 №64. с. 78–83.
21. Ребезов, М.Б., Мирошникова Е.П., Богатова О.В., Лукин А.А., Хайруллин М.Ф., Зинина О.В., Лакеева М.Л. Физико-химические и биохимические основы производства мяса и мясопродуктов. Часть 2. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2011. Ч. 2. 133 с.

Математическое моделирование неоднородного электрического поля в аппаратах для разделения водонефтяных эмульсий

Зайковский Всеволод Викторович, аспирант
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Добыча и подготовка нефтяного сырья неразрывно связана с такими процессами как увеличение давления в пластовой зоне с помощью нагнетательных водных скважин, смешение нефти с водой при ее поднятии, обессоливание нефти с помощью промывки водой. На сегодняшний день водонефтяные эмульсии являются естественным продуктом инженерного процесса получения жидких углеводородов. Совершенствование процессов разделения (демульсификации, обезвоживания) водонефтяных эмульсий — одна из актуальных научно-производственных задач нефтяного хозяйства, решение которой способно принести значительный экономический эффект, повысить надежность промыслового и магистрального транспорта нефти, улучшить качество нефтепродуктов [1, с. 157].

В настоящее время в качестве физического принципа разделения водонефтяных эмульсий в промышленных масштабах на объектах нефтедобычи используется эффект электрофореза (движения заряженных частиц вдоль линий напряженности электрического поля) и диэлектрфореза (движения поляризованных веществ в сторону наибольшей напряженности электрического поля).

Наибольшее распространение получила конструкция электродегидратора, при которой водонефтяная эмульсия подвергается воздействию однородного электрического поля плоского конденсатора (Рис. 1).

При этом, в межэлектродном пространстве заряды в каплях воды приходят в движение (электрофорез), концентрируются на противоположных концах капель и вытягивают каплю вдоль линий электрического поля. Заряды, сконцентрированные на концах капель, создают

мелкомасштабную неоднородность электрического поля, которая, в свою очередь, создает условия для взаимного притяжения капель под действием сил диэлектрфореза. Основной физической механизм, приводящий к взаимному слиянию капель (диэлектрфорез), при такой конструкции электродегидратора, реализуется лишь при небольших расстояниях между поляризованными каплями [3, с. 67].

Интенсификация электрокоалесценции капель возможна при расширении масштаба действия эффекта диэлектрфореза, а именно, за счет использования изначально неоднородного электрического поля. В неоднородном электрическом поле за счет диэлектрфореза капли воды, даже при значительных расстояниях между другими каплями, будут стремиться двигаться в сторону наибольшего возрастания напряженности электрического поля. Таким образом реализуется дополнительный сближающий механизм, который будет приводить к сокращению расстояния между каплями воды и интенсификации их слияния.

Основная цель данной работы состоит в составлении алгоритма к расчету сложной конфигурации неоднородного электрического поля, возникающего в электродегидраторах с несимметричной конфигурацией электродов. Именно наличие неоднородного электрического поля во всем объеме электродегидратора является необходимым условием к появлению сил диэлектрфореза.

Основным рабочим органом современных электродегидраторов является симметричный плоский конденсатор, модуль напряженности поля внутри которого однозначно определяется напряжением на электродах и расстоя-

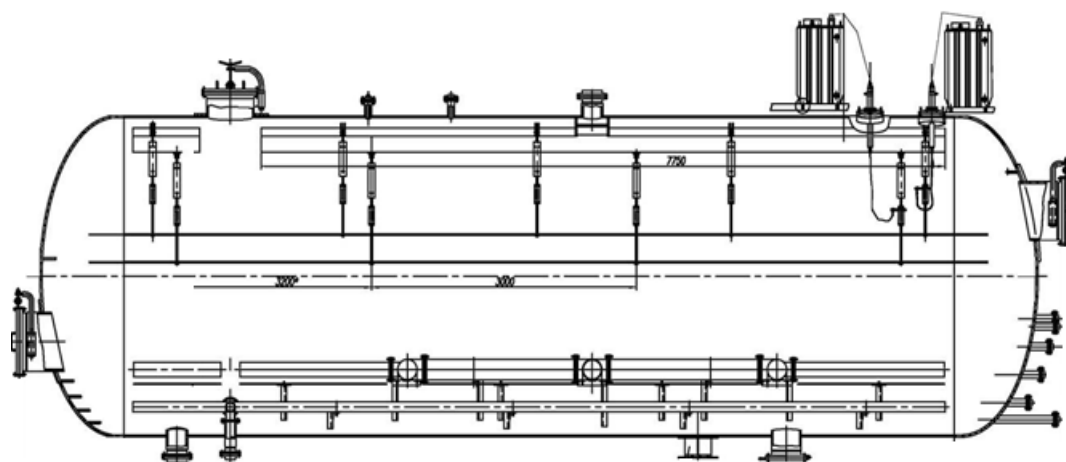


Рис. 1. Схема типового цилиндрического электродегидратора горизонтального исполнения [2, с. 67]

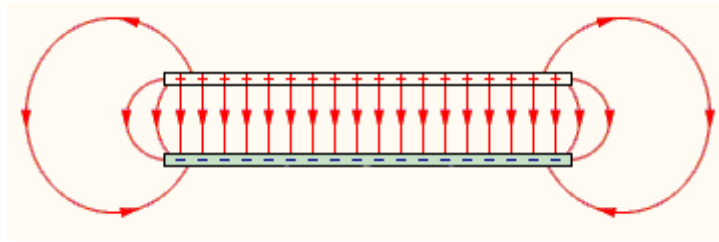


Рис. 2. Схематичное изображение поля симметричного плоского конденсатора. Слева и справа от пластин — изображение «краевого эффекта» — неоднородности электрического поля

нием между ними, а направление поля строго перпендикулярно электродам (Рис. 2).

В практике расчетов симметричных плоских конденсаторов как правило пренебрегают так называемыми «краевыми» эффектами — неоднородностью поля на краях электродов, в связи с чем обобщенные соотношения к расчету таких конфигураций поля отсутствуют. Таким образом, для расчета случая несимметричной конфигурации электродов, при котором основную роль будет играть именно неоднородное электрическое поле, необходима разработка нового алгоритма к расчету таких полей, а также «краевых» эффектов поля конденсатора любой конфигурации.

Соотношение к расчету напряженности стационарного электрического поля, исходя из определения данной величины, может быть записано для двумерного случая как вектор в виде набора координат [4, с. 2]:

$$\vec{E} = \left\{ -\frac{\partial \varphi}{\partial x}; -\frac{\partial \varphi}{\partial y} \right\}$$

Принимая во внимание, что в расчетной области между пластинами конденсатора отсутствуют свободные заряды, для вычислений потенциала используем уравнение Ла-

пласа, которое для двумерного случая может быть записано в виде [4, с. 8]:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0$$

Данное уравнение дополним краевыми условиями нескольких видов исходя из особенностей расчетной области, которая представлена на рисунке 3.

Для границ расчетной области, которые должны находиться на достаточном удалении от пластин конденсатора, примем потенциал равным нулю, то есть:

$$\{\varphi_{\text{к}}\} = 0$$

Для верхней и нижней пластин конденсатора потенциал должен быть различен, известен и задан условиями расчета, то есть:

$$\{\varphi_{\text{вп}}\} = \varphi_1 \quad \{\varphi_{\text{нп}}\} = \varphi_2$$

Для численного расчета приведенные выше соотношения аппроксимируются с использованием конечно-разностного метода. Таким образом, для получения результата, необходимо построить численный алгоритм к вычислению потенциала в точках между и вокруг пла-



Рис. 3. Расчетная область плоского несимметричного конденсатора



Рис. 4. Блок-схема алгоритма к расчету напряженности поля несимметричного конденсатора

стин конденсатора, учитывающий постоянные значения потенциала как на границе, так и внутри расчетной области.

Блок-схема разработанного алгоритма представлена на Рисунке 4. Вследствие того, что рассматривается статическое электрическое поле, можно, без больших потерь в производительности, вместо итерационного способа расчета использовать единовременное построение и решение системы уравнений для всех точек потенциала. Однако, для расчета потенциала в рамках рассматриваемой задачи, с учетом наличия «внутренних» краевых условий, указанный способ нуждается в модификации.

Внутренние краевые условия требуют, чтобы, при использовании способа «единовременного» расчета, из вычислений были исключены те уравнения, которые описывают потенциал точек конденсатора, так как он задается заранее и поддерживается постоянным в течение всего срока эксплуатации установки. Для этой

цели предлагается вычислять координаты точек конденсатора на расчетной сетке, а также их порядковые номера, и затем исключать из системы алгебраических уравнений, описывающих потенциал по всей расчетной области, уравнения для расчета уже известных значений потенциала пластин конденсатора. Таким образом исключаются ошибки, связанные с возможностью повторного расчета и замены значений потенциала, повышается точность значений, так как используются максимально достоверные данные из соседних точек расчетной сетки.

Приведенный алгоритм расчета был апробирован на двумерном расчете плоского несимметричного конденсатора с параметрами, представленными в Таблице 1.

Результаты апробации приведены на рисунке 5, где показаны результаты совместного расчета полей потенциала и напряженности электрического поля в исследуемой области.

Таблица 1. Исходные данные для апробации алгоритма

Параметр, единица измерения:	Значение:
Длина верхней пластины конденсатора, м	0,5
Длина нижней пластины конденсатора, м	0,1
Напряжение на верхней пластине конденсатора, В	2000
Напряжение на нижней пластине конденсатора, В	0
Расстояние между пластинами конденсатора, м	0,2
Количество точек расчетной сетки в горизонтальном направлении, штук	100
Количество точек расчетной сетки в вертикальном направлении, штук	200

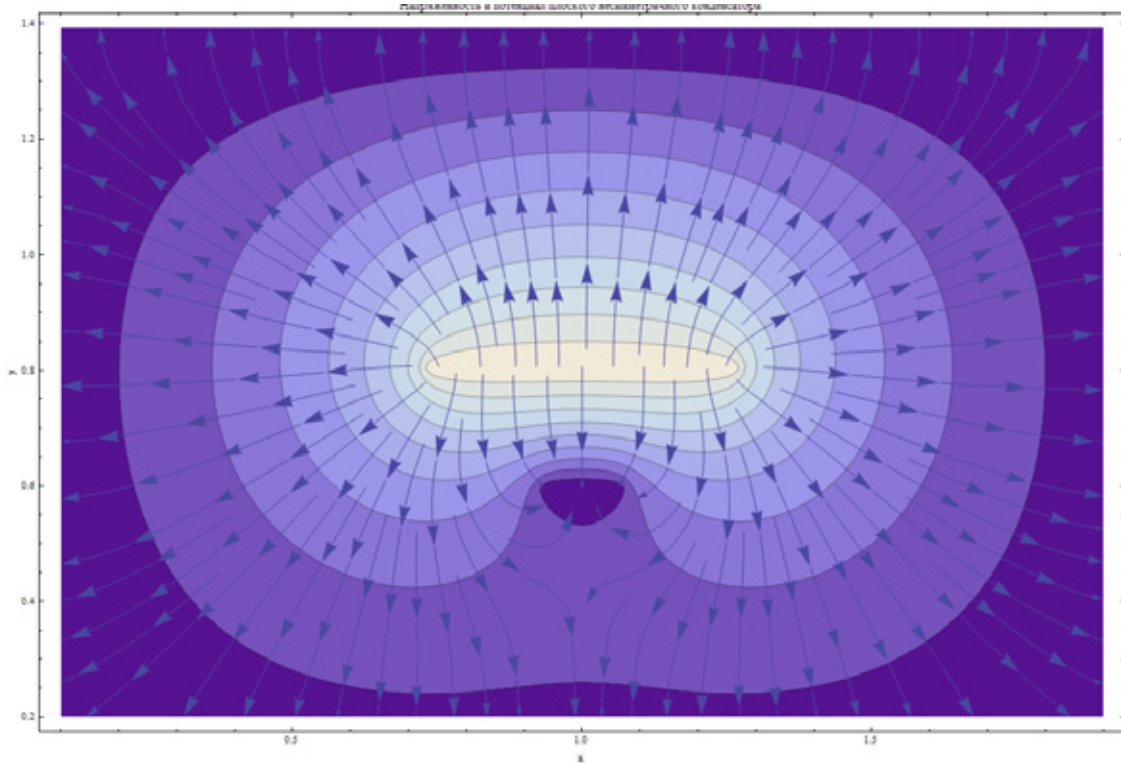


Рис. 5. Иллюстрация совмещенных скалярного поля потенциала (белое — 1800–2000 В, темное — 0–200 В) и векторного поля напряженности в расчетной области

Видно, что поля не смещены относительно друг друга и физическая природа передана верно — вектора поля напряженности направлены перпендикулярно эквипотенциальным поверхностям. Также наблюдается 4 зоны скопления силовых линий напряженности поля: у левого и правого краев верхней пластины, и у левого и правого краев нижней пластины.

В результате выполнения исследования был составлен и апробирован алгоритм к расчету неоднородного электрического поля плоского несимметричного конденсатора. Указанный алгоритм без существенных изменений

может быть расширен для трехмерного случая, а также для конденсаторов и электродов более сложной конфигурации.

Дальнейшим направлением исследования является расчет поля сил диэлектрофореза, а также моделированием движения капли воды в поле сил, совместно с постановкой физического эксперимента по оценке степени достоверности результатов математического моделирования, а также предложение конкретных технических решений по модернизации принципа работы существующих электрообессоливающих установок.

Литература:

1. Байков, Н. М., Колесников Б. В., Челпанов П. И. Сбор, транспорт и подготовка нефти. — М., «Недра», 1975. — 317 с.
2. Левченко, Д. Н. Эмульсии нефти с водой и методы их разрушения/Д. Н. Левченко, Н. В. Бергштейн, А. Д. Худякова, Н. М. Николаева. — М., Издательство «Химия», 1967. — 200 с.
3. Панченков, Г. М. Поведение эмульсии во внешнем электрическом поле/Г. М. Панченков, Л. К. Цабек. — М.: Химия, 1969. — 190 с.
4. James, R. Nagel Solving the Generalized Poisson Equation Using the Finite-Difference Method (FMD). URL: http://www.ieeeaps.org/pdfs/FA_Numerical_Poisson_Nagel.pdf (дата обращения: 28.08.2014).

Исследование диагностических признаков технического состояния газоперекачивающих агрегатов ГТК-25i фирмы Нуово-Пиньоне

Замиховский Леонид Михайлович, доктор технических наук, профессор;

Павлык Владимир Васильевич, соискатель

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа (Украина)

Обосновывается необходимость проведения диагностирования технического состояния газоперекачивающих агрегатов (ГПА) ГТК 25i, которые используются на магистральном газопроводе «Уренгой — Помары — Ужгород». Приводится анализ методов диагностирования технического состояния лопаточного аппарата ГПА в процессе эксплуатации, основанных на получении акустического сигнала, генерируемого лопаточным аппаратом в процессе эксплуатации ГПА и дальнейшей его обработке.

На основании анализа спектров акустических сигналов, полученных в результате обработки данных экспериментальных исследований, рассматриваются диагностические признаки технического состояния осевого компрессора ГТК 25i, которые могут быть положены в основу метода его диагностирования в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: *диагностический признак, акустический сигнал, спектр, методы диагностирования, лопаточный аппарат.*

Введение

Введенный в эксплуатацию в 70–80-х годах прошлого века газотурбинный парк компрессорных станций (КС) газотранспортной системы Украины и России, часть которого составляют газоперекачивающие агрегаты (ГПА) зарубежных фирм-изготовителей, сегодня продолжает активно использоваться. Так, из более 150 ГПА ГТК-25i фирмы Нуово-Пиньоне (Италия) находящихся в эксплуатации на магистральном газопроводе «Уренгой-Помары-Ужгород» 50% ГПА отработало установленный моторесурс или близки к этому [1, с. 154, 2, с. 28].

Дальнейшая эксплуатация ГПА приводит к ухудшению их технического состояния и, как следствие, возникновению отказов и аварийных ситуаций. В связи с этим актуальной является задача диагностического обеспечения надежной и эффективной эксплуатации ГПА ГТК 25i [2, с. 28].

Анализ исследований и публикаций

Сегодня для контроля технического состояния ГПА и его лопаточного аппарата используют методы вибрационной диагностики, ультразвукового контроля, магнитопорошковой диагностики, цветной дефектоскопии, вихретоковый метод, метод акустической эмиссии и другие. Наиболее эффективными методами диагностирования ГПА являются методы вибродиагностики, обуславливаемые высокой информативностью вибрационных процессов, сопровождающая работу ГПА, их органической связью с динамическими процессами возбуждения и распространения колебаний в механизмах и узлах ГПА, а также возможностью автоматизации процессов сбора и обработки диагностической информации с использованием современных средств микропроцессорной тех-

ники и новейших пакетов прикладных программных продуктов [3, с. 159, 4, с. 136, 5, с. 115, 6].

Выделение нерешенных проблем

Несмотря на широкое применение и эффективность методов вибродиагностики, их использование для диагностирования состояния лопаточного аппарата ГПА является недостаточным с точки зрения обеспечения его надежности, что объясняет значительный процент дефектов, который приходится на долю лопаточного аппарата ГПА в процессе эксплуатации и требует разработки новых методов, в частности методов акустической диагностики [2, с. 25] и современных методов аэродинамики дозвуковых потоков газа для контроля технического состояния [7, с. 24].

Формирование цели

Целью данной работы является исследование диагностических признаков спектра акустических колебаний, генерируемых лопаточным аппаратом ГПА, которые могут быть положены в основу метода диагностирования их технического состояния в процессе эксплуатации.

Результаты

Для получения акустических характеристик осевого компрессора была использована разработанная система акустического контроля работы осевого компрессора (ОК) [8, с. 46] реализованная на чувствительном электретном микрофоне, смонтированном во взрывобезопасном корпусе у опорного подшипника №1 ОК и, специально разработанной, электронной измерительной схеме. Принцип действия электретного микрофона ос-

нован на способности некоторых диэлектрических материалов (электретов) сохранять поверхностную неоднородность распределения заряда в течении длительного времени. С использованием разработанной системы контроля были получены временные реализации акустического сигнала при работе ОК ГТК 25i до и после ремонта в широком частотном диапазоне (40–15000 Гц).

С целью выделения группы собственных частот были построены спектры акустических сигналов, записанных в процессе пуска ГТК 25i, находящихся в эксплуатации на КС Богородчанского ЛПУМГ УМГ «Прикарпаттрансгаз», для интервалов времени от 4 до 5-й минуты (переходный процесс) и от 7 до 8-й минуты (установившейся режим с относительно постоянной частотой вращения). Для построения спектра использовали метод Уэлча, предусматривающий усреднения спектров для последовательных интервалов времени, перекрывающихся с взвешиванием на каждом интервале с помощью функции окна (длину окна принято 65536, коэффициент перекрытия 0.95).

С целью предварительной оценки динамических свойств спектра было построено частотно-временное представление акустического сигнала при пуске ОК с помощью преобразования Фурье (STFT) с длиной окна 2048 отсчетов и функцией окна Блэкмена-Харриса (использовалась программа Adobe Audition).

Проведенный анализ частотно-временного представления акустического сигнала показал наличие двух групп частотных составляющих:

- пропорциональных частоте вращения ротора осевого компрессора;
- не зависящих от этой частоты, которые гипотетически могут быть обусловлены колебаниями на собственных частотах его узлов и деталей. Для второй группы частот в спектре могут наблюдаться «размытые» максимумы, что обусловлено наличием демпфирования, причем степень демпфирования определяет добротность колеблющегося контура и, соответственно, ширину частотной полосы максимума в спектре.

Для выявления диагностических признаков технического состояния ОК был проведен анализ уровней ам-

плитуд акустического сигнала на частотах, связанных с частотой вращения его ротора и обусловленных конструктивными характеристиками элементов механизма ОК для сигналов, измеренных в процессе его запуска и в установившемся режиме работы до, и после ремонта ОК.

Исходными данными для расчета была информация о количестве лопаток на всех ступенях ОК, лопаток турбины высокого давления (ТВД), а также кинематическая схема редуктора и информация о количестве зубьев на колесах каждой из ступеней редуктора n1, n2, n3, n4, n5, n6.

Анализ спектров показал, что на частотах вращения промежуточного вала, валов генератора и смазочного насоса, а также на частотах зубозацепления редуктора заметных максимумов не наблюдается. Поэтому для анализа выбрано лопаточные частоты по каждой из ступеней ОК и первые три их гармоники. Отдельные результаты приведены в табл. 1–6.

Из табл. 1 видно, что, несмотря на незначительное изменение частот гармоник, из-за снижения частоты вращения вала ОК на 38 об/мин., на рабочих режимах наблюдается снижение уровня амплитуд гармоник ОК после проведения ремонта его лопаточного аппарата ($\Delta f_1=31,64\%$, $\Delta f_2=20,21\%$, $\Delta f_4=18,25\%$, $\Delta f_5=1,64\%$), что обусловлено улучшением технического состояния ОК в результате проведенного ремонта. Исключение составляет третья гармоника, амплитуда которой возросла на $\Delta f_3=15,76\%$ (табл. 1).

Рассматривая распределение амплитуд гармоник на лопаточных частотах в процессе пуска ОК (табл. 2), можно отметить следующие закономерности: незначительный уровень первой гармоники 0,1,2-ой ступеней с последующим его возрастанием на 3–6,15-ых ступенях с 16,08 дБ до 28,88 дБ. Затем падение до 25,40 дБ на 7,13и14-ой ступенях с последующим возрастанием до 35,53 дБ на 9–12-ой ступенях и 46,71 дБ на ТВД. Распределение амплитуд второй гармоники по ступенях ОК, как видно из табл. 2, не имеет четкой закономерности.

В то же время прослеживается четкая закономерность возрастания уровня амплитуды 3-ей гармоники лопаточной частоты по ступеням ОК и ТВД. Исключение со-

Таблица 1. Амплитуды гармоник акустического сигнала осевого компрессора ГТК 25i №3

Гармоника	Частота, Гц		Амплитуда, дБ		
			До ремонта ($N_0=5076$)*		После ремонта ($N_0=5038$)
	$N_0=5076$	$N_0=5038$	После пуска	Рабочий режим	Рабочий режим
1	84,6	84	-13,9	-33,979	-23,2309
2	169,2	168	-8,5	-16,278	-12,9908
3	253,8	252	-19,1	-22,022	-25,493
4	338,2	336	-19,7	-34,02	-27,809
5	423	420	-26,6	-34,828	-34,272

* — N_0 — частота вращения ротора осевого компрессора, об/мин.

Таблица 2. Амплитуды гармоник лопатковых частот акустического сигнала осевого компрессора ГТК 25i №3 после его пуска (до ремонта)

Ступень	Частота, Гц	Амплитуда, дБ ($N_0=5076$ об/мин)		
		1-я гармоника	2-я гармоника	3-я гармоника
0, 1, 2	2707	-5,2882	-10,191	-29,44
3	3384	-16,078	-46,706	-42,49
4	3722	-27,57	-40,813	-37,12
5, 15	4737	-27,075	-47,109	-46,292
6	4906	-28,88	-56,981	-48,09
7, 13, 14	5076	-25,396	-42,49	-53,326
8	5245	-29,382	-35,071	-55,712
9–12	5583	-35,527	-37,12	-62,068
Лопатка ТВД	6768	-46,706	-37,164	-68,612

Таблица 3. Амплитуды гармоник лопаточных частот акустического сигнала осевого компрессора ГТК 25i №3 в рабочем режиме (до ремонта).

Ступень	Частота, Гц	Амплитуда, дБ ($N_0=5076$ об/мин)		
		1-я гармоника	2-я гармоника	3-я гармоника
0, 1, 2	2707	-13,34	-27,51	-42,403
3	3383	-23,813	-57,262	-49,889
4	3722	-37,533	-50,661	-63,623
5, 15	4737	-43,026	-49,266	-50,043
6	4906	-42,889	-68,671	-51,147
7, 13, 14	5075	-35,687	-52,939	-52,794
8	5244	-38,45	-42,011	-56,134
9–12	5582	-47,552	-64,845	-75,311
Лопатка ТВД	6767	-57,43	-49,191	-77,797

ставляет 4-ая ступень на которой наблюдается снижение уровня амплитуды до 37,12 дБ (см. табл. 2).

Анализируя распределение амплитуд гармоник на лопатковых частотах в рабочем режиме ОК (табл. 3), отметим, что им характерны те же закономерности, которые присущи ОК после его пуска. Отличие наблюдается в уровнях амплитуд гармоник на лопатковых частотах по 0,1,2-ой и 9–12-ой ступенях ОК и ТВД:

— для 1-й гармоники: с 5,29дБ после пуска ОК до 13,34дБ в рабочем режиме и с 35,53 дБ и 46,71дБ после пуска ОК до 47,55 дБ и 57,43 дБ в рабочем режиме;

— для 3-й гармоники: с 29,44 дБ после пуска ОК до 42,4 дБ в рабочем режиме и с 62,07 дБ до 68,61 дБ после пуска ОК до 75,31дБ и 77,8 дБ в рабочем режиме.

Анализ полученных результатов по всему объему проведенных экспериментов показывает, что можно установить зависимости между уровнями акустического сигнала на лопаточных частотах и их гармониках, с одной стороны, и техническим состоянием лопаточного механизма ОК, с другой стороны, т.е. выявить диагностические признаки, на основании которых могут быть разработаны методы диагностирования ОК.

Полезными для построения эталона ОК «бездефектного» ГТК 25i могут быть результаты измерений по ГПА №2 (наработка после ремонта — 5450 моточасов, регламентный межремонтный интервал — 16000 моточасов (см. табл. 4).

Таблица 4. Амплитуды гармоник акустического сигнала осевого компрессора ГТК 25i №2

Гармоника	Частота, Гц	Амплитуда, дБ ($N_0= 5071$ об/мин.)
1	84,5	-11,68
2	169	-2,5696
3	253,5	-16,38
4	338	-19,633
5	422,5	-29,168

Как видно из табл. 4 прослеживается определенная закономерность возрастания уровня амплитуд гармоник за исключением 2-ой гармоники, уровень которой должен был составить около 13,0 дБ, а составил 2,6 дБ.

В табл. 5 приведены уровни амплитуд лопаточных частот по каждой из ступеней ОК и первые три их гармоники за результатами экспериментов, проведенных 12.10.2012 г. на КС Богородчанского ЛУМГ по ГТК 25i №2.

В табл. 6 приведены результаты аналогичных экспериментов по ГТК 25i №2 проведенных 18.12.2012 г., т.е. после 1032 часов наработки.

Проанализируем данные табл. 5 и 6. Как видно из указанных таблиц после 1032 часов наработки проследить закономерности изменения амплитуд гармоник лопаточных частот по ступеням ОК, т.е. выбрать диагностические признаки для оценки его технического состояния, не представляется возможным. В то же время четко прослеживается возрастание уровня амплитуды 3-ей гармоники по отдельным ступеням ОК (в табл. 5,6 выделены жирным): по ступеням 0,1,2-ой на 58,33%, по 3-ей ступени на 9,73%, по 4-ой ступени на 14,56% и по 5 и 15 ступеням — на 6,25%. Из рассмотренных ступеней наиболее чувствительными к изменению технического состояния являются 0,1,2-ая ступень — изменение на 58,33%,

а также 4-ая ступень — изменение на 14,56%. Ниже на рис. 1 приведена амплитудно-частотная характеристики акустического сигнала работающего ГПА ГТК-25i, на которой четко прослеживаются значительные уровни амплитуд, вызванные работой наиболее нагруженных узлов (в частности лопаток 0,1,2-ой ступеней ОК ГТК-25i №3 $f_{л_{0,1,2}} = 2710$ Гц при $N_0 = 5085$ об/мин.). Как видно из рис. 1 акустические колебания более информативны, характеризуются широким непрерывным спектром с гармоническими и субгармоническими составляющими лопаточных частот ступеней ОК и отдельными спектральными составляющими с амплитудами достаточно высокого уровня.

Выводы

Акустические колебания, генерируемых лопаточным аппаратом в процессе запуска и эксплуатации осевого компрессора ГПА ГТК 25i, являются наиболее информативными для оценки технического состояния ОК.

Проведенный анализ лопаточных частот по каждой из ступеней ОК и первых трех гармоник показал отсутствие четких закономерностей их изменения по мере наработки ГТК 25i, т.е. изменения его технического состояния.

Таблица 5. Амплитуды гармоник лопаточных частот акустического сигнала осевого компрессора ГТК 25i №2 после пуска 29.10.2012 г

Ступень	Частота, Гц	Амплитуда, дБ ($N_0 = 5071$ об/мин.)		
		1-я гармоника	2-я гармоника	3-я гармоника
0, 1, 2	2704,6	-20,303	-34,872	-31,025
3	3380,5	-36,93	-51,924	-59,001
4	3718,4	-38,313	-55,588	-49,855
5, 15	4732,8	-40,972	-66,154	-54,047
6	4901,8	-40,079	-70,27	-67,849
7, 13, 14	5071	-37,357	-59,406	-62,01
8	5239,9	-38,065	-44,321	-68,774
9-12	5578,1	-43,404	-50,171	-74,523
Лопатка ТВД	6761,5	-51,924	-65,31	-81,615

Таблица 6. Амплитуды гармоник лопаточных частот акустического сигнала осевого компрессора ГТК 25i №2 после пуска 18.12.2012 г.

Ступень	Частота, Гц	Амплитуда, дБ ($N_0 = 5071$ об/мин.)		
		1-я гармоника	2-я гармоника	3-я гармоника
0, 1, 2	2706,4	-20,58	-34,072	-49,092
3	3383	-32,766	-59,767	-61,451
4	3721,3	-38,541	-54,8	-57,125
5, 15	4736,4	-43,822	-61,209	-57,433
6	4905,2	-40,537	-68,318	-65,195
7, 13, 14	5074,3	-38,566	-61,62	-64,267
8	5243,3	-38,793	-48,808	-64,376
9-12	5581,9	-44,794	-57,449	-69,206
Лопатка ТВД	6765,9	-59,767	-48,383	-75,966

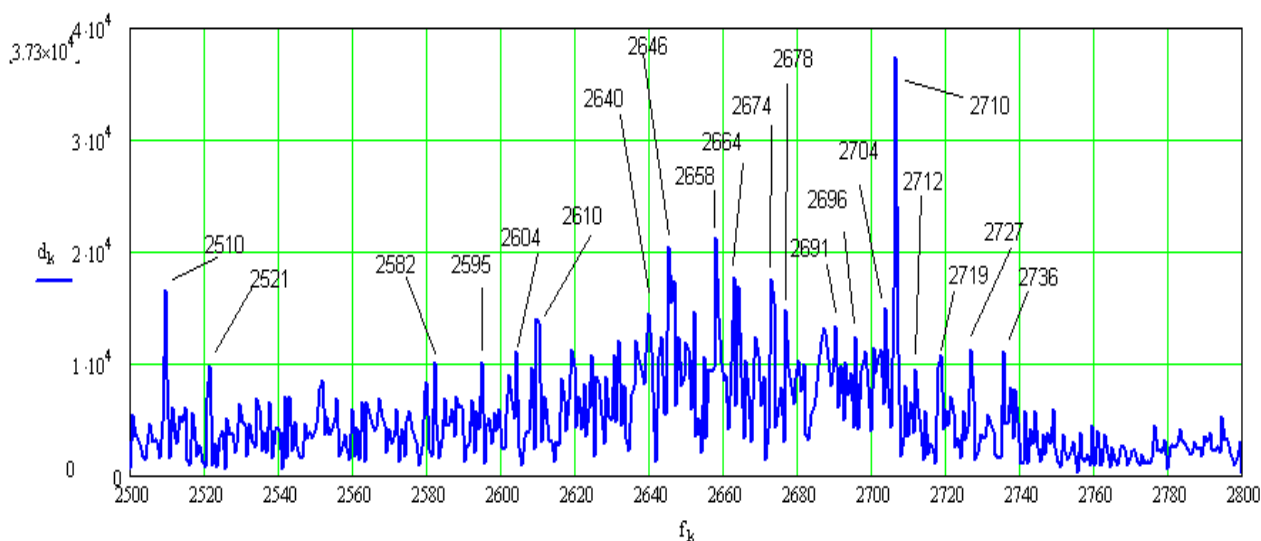


Рис. 1. Амплитудно-частотные характеристики акустического сигнала 1-ой ступени осевого компрессора ГПА ГТК-25i №3

Наиболее чувствительными к изменению технического состояния являются 0,1,2-я и 4-я ступени ОК ГТК 25i. Так, при наработке равной 1032 часа, изменение уровня акустического сигнала по 0,1,2-й ступеням составило 58,33 %, а по 4-й ступени — 14,56 %, что позволяет использовать их в качестве диагностических признаков при контроле технического состояния лопаточного аппарата ОК ГТК 25i.

Анализ изменения уровня амплитуды гармонических, субгармонических составляющих лопатковых частот в спектре акустических колебаний 0,1,2-й ступеней ОК ГТК 25i, а также спектральных составляющих большой амплитуды, позволит выявить дополнительные диагностические признаки, которые могут быть положены в основу разработки метода диагностирования его лопаточного аппарата.

Литература:

1. Замиховский, Л. М., Скрипюк, Р.Б. Использование SCADA системы WinCC для создания тренажера диспетчера компрессорной станции. Молодой ученый, 2014, №9 (68), 154–158.
2. Замиховський, Л. М., Павлик В.В. Дослідження вібраційного стану осевого компрессора ГПА ГТК 25i фірми «Ново Піньюне». Прилади і методи контролю якості, 2014, №1 (32), 28–38.
3. Васильев, Ю.Н., Бесклетный М.Е., Игуменцев Е.А. Вибрационный контроль технического состояния газотурбинных газоперекачивающих агрегатов. М.: Недра. 1987, 196 с.
4. Сапрыкин, С.А. Методы и технические средства вибрационной диагностики газоперекачивающего оборудования. Х., 2009, 368 с.
5. Бесклетный, М.Е., Игуменцев Е.А. Вибрационная диагностика лопаток ГТУ по предельным уровням крутильных колебаний ротора. Проблемы прочности./М.Е. Бесклетный, Е.А. Игуменцев. — М.: Недра., 1981, с. 114–117.
6. Барков А.В. Интеллектуальные системы мониторинга и диагностики машин [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.vibrotek.ru/russian/biblioteka/book16>
7. Замиховський, Л. М., Іванюк Н.І., Криштопа В.С. Дослідження впливу зміни профіля лопатей газоперекачувальних агрегатів на характер коливних процесів, що генеруються ними. Проблеми машиностроення, 2013, Т. 16, №4, 23–30
8. Павлик, В.В. Напрямки підвищення ефективності експлуатації газоперекачувальних агрегатів в умовах Богородчанського ЛВУМГ. Наукові вісті Галицької академії, 2012, №2 (22), 44–49.

Квантово-химическое исследование форм тяжелых металлов, извлекаемых из водных растворов методом ионной флотации

Захарова Виктория Сергеевна, студент;

Амангусова Лаура Аяпбергеновна, студент

Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова (Челябинская обл.)

Перспективным методом извлечения тяжелых металлов из техногенных вод промышленных предприятий является ионная флотация. При разработке теоретических основ и практической реализации данного метода важным представляется применение квантово-химического подхода к выбору реагентов-собираателей для селективного флотационного выделения тяжелых металлов, для моделирования процесса взаимодействия между извлекаемой формой металла и собирателем, образующихся систем «извлекаемая форма металла-реагент-собираатель», изучение форм тяжелых металлов, извлекаемых во время флотационного процесса.

В работах [8, 13, 14] по извлечению катионов металлов из техногенных и сточных вод указывается на то, что эффективными формами их выделения являются либо ионная, либо гидроксидная. При этом авторы не учитывают, что в минерализованных растворах катионы металлов гидратированы и находятся в виде аквакатионов и/или гидроксоаквакатионов, заведомо упрощая теорию процесса извлечения ценных компонентов в соответствии с решаемыми задачами.

В данной работе проведено квантово-химическое исследование эффективных, извлекаемых из техногенных вод в процессе ионной флотации реагентом-собираателем, форм таких металлов, как медь, цинк, железо, марганец на основании расчёта квантово-химических параметров их реакционной способности. Комплекс этих параметров для различных систем, образующихся в процессе ионной флотации, подробно рассмотрен в работах [7, 9–12, 15]. К ним относят абсолютную жесткость η , абсолютную мягкость S , химический потенциал χ , глобальную электрофильность I_E и локальную электрофильность I_E^+ .

Для вычисления абсолютной жесткости и мягкости, химического потенциала реагентов использовали формулы R. Pearswoon и R. Parf [3–5]:

$$\eta = E_{LUMO} - E_{HOMO}; \quad S = \frac{1}{\eta};$$

$$\chi = \frac{-[E_{LUMO} + E_{HOMO}]}{2},$$

где E_{HOMO} и E_{LUMO} — значения энергии граничных орбиталей атомов тяжелых металлов: $HOMO$ — высшая заполненная молекулярная орбиталь, $LUMO$ — низшая свободная молекулярная орбиталь.

При расчётах квантово-химических параметров реакционной способности извлекаемых форм изучаемых ме-

таллов было учтено, что их катионы во флотационных системах находятся в виде аквакатионов и аквагидро-сокомплексов, т.е. они, согласно концепции R. Pearson и R. Parf [3, 5], в реакциях комплексообразования с реагентами-собираателями являются кислотами Льюиса, содержащими электрофильные центры с электроноакцепторными свойствами. Количественно электрофильность (и реакционную способность) различных извлекаемых форм, согласно R. Parf [4], можно оценить, используя индекс глобальной электрофильности I_E , который рассчитывается, как $I_E = \frac{\chi^2}{2\eta}$. В сложных по составу извлекаемых

формах изучаемых металлов более значимым критерием, характеризующим способность металла к электрофильной атаке при взаимодействии с реагентом-нуклеофилом является индекс локальной электрофильности I_E^+ , его рассчитывали значения с учетом функции Фукуи [1] $f^+ : I_E^+ = f^+ \cdot I_E$.

Расчеты квантово-химических параметров проводились полуэмпирическим методом PM3 в приближении RHF/6–311G (d) [2]. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Проанализировав полученные результаты, можно отметить, что катионы металлов, за исключением Zn^{2+} (диамагнитный ион), характеризуются высокими значениями абсолютной жесткости и химического потенциала (эВ): от 19,965 и 38,177 (Cu^{2+}) до 13,172 и 35,312 (Mn^{2+}), соответственно. Наибольший химический потенциал наблюдается у ионов Fe^{3+} (50,110 эВ). Такие высокие значения η и χ катионов металлов говорят об их значительной химической активности и о склонности к электрофильным свойствам. Химический потенциал всех исследуемых гидроксоаквакомплексов металлов примерно одинаков и составляет –6 эВ, что говорит об одинаковой абсолютной электроотрицательности молекул, находящихся в гидроксидной форме извлечения.

Абсолютная жесткость гидроксидов марганца (II), железа (II, III), меди (II) и цинка меняется в пределах 9,263–11,43 эВ. Абсолютная жесткость молекулы $Cu(OH)_2$ (11,23 эВ) на 1,64 эВ больше, чем у аквакатионов $[Cu(H_2O)_6]^{2+}$, в виде которых ионы меди (II) преимущественно находятся в кислых растворах, что позволяет говорить о большей жесткости меди (II) в структуре $Cu(OH)_2$ и, следовательно, о большей эффективности взаимодействия гидроксида меди (II) с органическими реагентами согласно принципу Пирсона [3, 5]. Подтверждением вышесказанного может служить сравнение рассчитанных

Таблица 1. Рассчитанные квантово-химические параметры реакционной способности для различных форм тяжелых металлов, извлекаемых из водных растворов

Извлекаемые формы металлов	$E_{\text{НОМО}}$	$E_{\text{ЛУМО}}$	η , эВ	χ , эВ	S , эВ ⁻¹	I_E , эВ	I_E^+ , эВ
Zn ²⁺	*	-18,532	-	-	-	-	-
Cu ²⁺	-48,159	-28,194	19,965	38,177	0,050	36,501	-
Fe ²⁺	-41,692	-27,589	14,103	34,641	0,071	42,544	-
Fe ³⁺	-57,190	-43,029	14,161	50,110	0,071	88,659	-
Mn ²⁺	-41,898	-28,726	13,172	35,312	0,076	47,33	-
Zn (OH) ₂	-11,589	-0,162	11,427	5,876	0,089	1,511	0,783
Cu (OH) ₂	-11,510	-0,275	11,230	5,893	0,089	1,546	0,658
Fe (OH) ₂	-11,361	-0,623	10,738	5,992	0,093	1,672	0,582
Fe (OH) ₃	-10,744	-0,891	9,853	5,818	0,102	1,718	0,339
Mn (OH) ₂	-10,562	-1,299	9,263	5,931	0,108	1,900	0,193
[Zn (H ₂ O) ₆] ²⁺	-21,484	-9,648	11,836	15,566	0,085	10,236	3,050
[Zn (H ₂ O) ₄] ²⁺	-23,268	-10,891	12,377	17,080	0,081	11,785	5,480
[Zn (H ₂ O) ₂] ²⁺	-25,081	-13,626	11,455	19,354	0,087	16,350	12,083
[Cu (H ₂ O) ₆] ²⁺	-18,761	-9,171	9,590	13,966	0,104	10,169	0,539
[Cu (H ₂ O) ₄] ²⁺	-20,242	-10,602	9,640	15,422	0,104	12,336	1,209
[Cu (H ₂ O) ₂] ²⁺	-27,324	-14,283	13,041	20,804	0,076	16,594	3,713

Примечание: «-» обозначает, что расчёты не проводились; * — параметризация полуэмпирических методов не позволяет определять энергии $E_{\text{НОМО}}$ диамагнитных ионов с закрытой электронной оболочкой

индексов I_E^+ меди (II) в извлекаемых формах: реакционная способность Cu (OH)₂ выше, чем у [Cu (H₂O)₆]²⁺, так как $I_{E(\text{Cu}(\text{OH})_2)}^+$ больше $I_{E[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}}^+$ на 0,12 эВ, следовательно, доминирующей формой извлечения ионов Cu²⁺ будет гидроксидная.

Для ионов Zn²⁺, ввиду их диамагнитных свойств, возможные извлекаемые формы цинка Zn (OH)₂ и [Zn (H₂O)₆]²⁺ характеризуются близкими значениями абсолютной жёсткости: 11,427 эВ и 11,836 эВ. Однако химический потенциал ионов цинка в аквакатионной форме значительно выше (15,566 эВ), чем в гидроксидной форме (5,876 эВ), что позволяет прогнозировать и большую реакционную способность [Zn (H₂O)₆]²⁺ во флотационной системе в сравнении с Zn (OH)₂. Это подтверждается и значениями индексов локальной электрофильности цинка в указанных формах: $I_{E[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}}^+ > I_{E(\text{Zn}(\text{OH})_2)}^+$ на 2,3 эВ. Так как $\chi[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+} > \chi[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ на 1,6 эВ, можно предположить, что активность цинка в аквакатионной форме выше, чем у меди в такой же форме.

Значение индекса локальной электрофильности Mn²⁺ (0,193 эВ) — самое низкое в представленном ряду, что может свидетельствовать о его меньшей активности при взаимодействии с нуклеофильными центрами реагентов-собирающих. Вероятно, его извлечение методом ионной флотации будет неэффективным из-за слабой реакционной способности марганца (II) по отношению к нуклеофильным центрам реагентов.

Общая или глобальная электрофильность гидроксидов металлов первого переходного ряда снижается

от Mn (OH)₂ к Zn (OH)₂, что указывает на уменьшение в данном ряду положительной электростатической составляющей энергии межмолекулярных взаимодействий: гидроксид Me: Mn (OH)₂ > Fe (OH)₃ > Fe (OH)₂ > Cu (OH)₂ > Zn (OH)₂

I_E , эВ: 1,9001, 7181, 6721, 5461, 511

Согласно W. Yang и W. Mortier [6], возникновение конкуренции между гидроксидами переходных металлов при их взаимодействии с молекулами реагентов-нуклеофилов возможно при разнице значений электрофильности гидроксидов не менее 0,4 эВ. Выполнение этого условия позволит проводить селективное извлечение металлов из растворов. Так как в приведенном выше ряду разницы значений электрофильности даже между крайними членами ряда — Mn (OH)₂ и Zn (OH)₂ — меньше 0,4 эВ, возможно только коллективное извлечение гидроксидных форм изучаемых субстратов, их последовательное избирательное взаимодействие с органическим реагентом невозможно.

При сравнении полученных результатов квантово-химических исследований субстратов Mn (OH)₂, MnO (OH) и MnO (OH)₂ отмечаются следующие зависимости: а) абсолютная жесткость субстратов увеличивается в ряду Mn (OH)₂ > MnO (OH) > MnO (OH)₂, что позволяет выделить молекулы MnO (OH) и MnO (OH)₂ как наиболее стабильные и конформационно устойчивые структуры во флотационной системе.

Выводы:

Абсолютная жёсткость молекулы Cu (OH)₂ (11,23 эВ) больше, чем у иона [Cu (H₂O)₆]²⁺ (9,59 эВ), на 1,64 эВ,

и индекс локальной электрофильности $\text{Cu}(\text{OH})_2$ выше, чем у $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ на 0,12 эВ, что позволяет говорить о большей реакционной способности гидроксида меди (II) по отношению к нуклеофильным центрам хемосорбции реагентов.

Для ионов Zn^{2+} , ввиду их диамагнитных свойств, извлекаемые формы $\text{Zn}(\text{OH})_2$ и $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ характеризуются близкими значениями абсолютной жёсткости (11,427 эВ и 11,836 эВ, соответственно). Однако

при взаимодействии с нуклеофильными центрами реагентов преимущество имеет гидратированная структура цинка, т.к. для нее $I_E^+[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ больше $I_E^+(\text{Zn}(\text{OH})_2)$ на 2,3 эВ.

Среди изученных катионов металлов самое низкое значение индекса локальной электрофильности у катионов Mn^{2+} (0,193 эВ), что свидетельствует о его низкой электрофильной активности при взаимодействии с нуклеофильными центрами реагентов-собираателей.

Литература:

1. Ayers, P. W., Parr R. G. Variation Principles for Describing Chemical Reactions: The Fukui Function and Chemical Hardness Revisited // J. Am. Chem. Soc. 2000. V. 122. P. 2010.
2. Chattaraj, P. K., Maiti B., Sarkar U. A Unified Treatment of Chemical Reactivity and Selectivity // J. Phys. Chem. 2003. V. 107. P. 4973–4975.
3. Parr, R. G., Pearson R. G. Absolute hardness: companion parameter to absolute electronegativity // J. Am. Chem. Soc. 1983. V. 105. P. 7512–7516.
4. Parr, R. G., Szentpaly L., Liu S. Electrophilicity Index // J. Am. Chem. Soc. 1999. V. 121. P. 1922–1930.
5. Pearson, R. G. Chemical hardness and density functional theory // J. Chem. Sci. 2005. V. 117. №5. P. 369–377.
6. Yang, W., Mortier W. J. The use of global and local molecular parameters for the analysis of the gas-phase basicity of amines // J. Am. Chem. Soc. 1986. V. 108. P. 5708–5712.
7. Влияние квантово-химических параметров органических соединений на их сорбционные свойства/Варламова И. А., Гиревая Х. Я., Калугина Н. Л., Медяник Н. Л. Депонированная рукопись № 110-В2009. 26.02.2009.
8. Гольман, А. М. Ионная флотация. М.: Недра, 1982. 144 с.
9. Изучение свойств органических молекул квантово-химическими методами/Медяник Н. Л., Калугина Н. Л., Варламова И. А., Гиревая Х. Я., Бодьян Л. А. Депонированная рукопись № 224-В201301.08.2013
10. Медяник, Н. Л., Варламова И. А., Калугина Н. Л. Квантово-химический метод подбора органических реагентов-комплексобразователей для селективного извлечения катионов цинка и меди (II) из растворов // В сборнике: Химия. Технология. Качество. Состояние, проблемы и перспективы развития. Сборник материалов международной заочной научно-технической конференции. Под ред. Медяник Н. Л.. 2012. с. 3–12.
11. Методология создания ресурсовоспроизводящих технологий переработки техногенного гидроминерального сырья/Медяник Н. Л., Калугина Н. Л., Варламова И. А., Строкань А. М. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2011. № 1. с. 5–9.
12. Прогнозирование флотационной активности реагентов для извлечения цинка и меди (II) по квантово-химическим дескрипторам/Медяник Н. Л., Варламова И. А., Калугина Н. Л., Строкань А. М. // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2011. № 3. с. 83–89.
13. Радушев, А. В., Чеканова Л. Г., Гусев В. Ю. Гидразиды и 1,2-диацилгидразиды. Получение, свойства и применение в процессах концентрирования металлов. Екатеринбург: Уральский центр академического обслуживания, 2010. 140 с.
14. Скрылев, Л. Д., Сазонова В. Ф., Скрылева Т. Л. Влияние растворимости сублата на эффективность флотационного выделения ионов тяжелых металлов, собранных с помощью жирнокислотных собирателей // Химия и технология воды. 1992. Т. 14. № 5. с. 386–389.
15. Физико-химические закономерности извлечения тяжелых металлов из техногенных гидроминеральных месторождений/Варламова И. А., Гиревая Х. Я., Калугина Н. Л., Куликова Т. М., Медяник Н. Л. Магнитогорск, 2010.

Модель поперечных перемещений заглубленного трубопровода при воздействии ударной нагрузки

Инютин Сергей Арнольдович, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник;
Елькин Алексей Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник
ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии МО РФ» (г. Санкт-Петербург)

Прохоров Александр Анатольевич, начальник отдела
ООО «Балтнефтепровод» (г. Санкт-Петербург)

В статье анализируется изгиб линейной части трубопровода, возникающий при ударных нагрузках. Предложена модель поперечных перемещений заглубленного трубопровода, которая позволяет оценить параметры импульсной ударной нагрузки.

Ключевые слова: *воздействие взрывной нагрузки, нагрузки на трубопровод, поперечные перемещения трубопровода.*

При воздействии ударной импульсной нагрузки на заглубленные сооружения (трубопровода) обычно выделяют три типа деформации:

- изгиб линейной части;
- продольное растяжение;
- смятие цилиндрических диаметров линейной части.

В статье анализируется первый тип деформаций, возникающий чаще всего даже при сравнительно малых ударных нагрузках, если эпицентр её приложения попадает в критическую зону. Этот тип деформаций приводит при превышении допустимых нагрузок и достижению пределов текучести материала трубопровода к трещинообразованию в линейной части трубопровода и, как следствие, катастрофическим последствиям.

Рассматривая воздействие ударной волны в среде с преградой, на основе решения волнового уравнения в лагранжевых координатах, при известных начальных условиях получена приближенная формула, определяющая распределение давления по времени и длине заглубленного трубопровода:

$$P(x,t) = 2P_i(x,t) - A \frac{\partial u(x,t)}{\partial t}, \tag{1}$$

при начальных условиях:

$$u(x,0) = 0,$$

где $P_i(x,t)$ — давление падающей волны на трубопроводе; $u(x,t)$ — смещение (прогиб) трубопровода на расстоянии x от начала координат в момент времени t (при этом начало координат находится в точке пересечения оси трубопровода с перпендикуляром, опущенным из эпицентра ударной нагрузки на ось трубопровода); A — акустическое сопротивление грунта.

При создании модели поперечных перемещений под воздействием ударной импульсной нагрузки предположим, что заглубленный трубопровод лежит на Винклеровом основании [1]. Дифференциальное уравнение в частных производных, описывающее вынужденные поперечные колебания (перемещения) трубопровода в грунте, с учетом соотношения (1) имеет вид:

$$EI \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + m_1 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + AD_n \frac{\partial u}{\partial t} + K_x u = 2P_y D_n, \tag{2}$$

где $u(x, t)$ — прогиб трубопровода на расстоянии x от начала координат в момент времени t ; I — осевой момент инерции сечения стержня (трубопровода); E — модуль упругости материала трубопровода; m_1 — масса единицы длины трубопровода; K_x — коэффициент постели; D_n — наружный диаметр трубопровода; P_y — нагрузка, действующая по нормали к оси трубопровода.

Известно, что плоскостная задача решается проще, чем пространственная, учитывая, что трубопровод заглублен в грунт на 1...2 метра, рассмотрим задачу вычисления прогиба его линейной части на плоскости. Начало координат выберем в точке пересечения оси трубопровода и перпендикуляра, опущенного из эпицентра приложения ударной импульсной нагрузки на трубопровод, и вследствие симметрии будем рассматривать только его половину.

Зная, что на бесконечности функция $u(x,t)$ и ее производные до третьего порядка включительно должны обращаться в нуль, запишем граничные условия

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} = 0, \text{ при } x = 0. \quad (3)$$

В начальный момент времени $t=0$ трубопровод находится в состоянии покоя, поэтому начальные условия примут вид:

$$u(x,0) = \frac{\partial u(x,0)}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

Для решения уравнения (2) с граничными (3) и начальными (4) условиями воспользуемся интегральным косинус-преобразованием Фурье, для чего слагаемые уравнения умножим на $\sqrt{\frac{2}{\pi}} \cos \xi x dx$ и проинтегрируем от нуля до бесконечности (здесь ξ — частотный коэффициент при переменной x):

$$EI \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\infty} \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} \cos \xi x dx + m_1 \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\infty} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \cos \xi x dx + AD_n \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\infty} \frac{\partial u}{\partial t} \cos \xi x dx + K_x \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\infty} u \cos \xi x dx = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\infty} 2P_1 D_n \cos \xi x dx$$

Для удобства последующих вычислений введем обозначения

$$c^4 = \frac{AD_n}{EI}; \beta^4 = \frac{m_1}{EI}; \alpha = \frac{c^4}{2\beta^4}; \gamma^4 = \frac{K_x}{EI}; \omega^2 = \frac{\xi^4 + \gamma^4}{\beta^4}.$$

Обозначая $\sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\infty} u \cos \xi x dx = V(\xi, t)$, введем новую функцию от двух переменных — частотного коэффициента

ξ и времени t . Интегрируем первое слагаемое $\sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\infty} \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} \cos \xi x dx$ последовательно по частям с учётом граничных условий (3). Получим для функции $V(\xi, t)$ обыкновенное дифференциальное уравнение

$$\frac{\partial^2 V}{\partial t^2} + 2\alpha \frac{\partial V}{\partial t} + \omega^2 V = \varphi(\xi, t), \quad (5)$$

где

$$\varphi(\xi, t) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{2D_n}{m_1} \int_0^{\infty} P_1(x, t) \cos \xi x dx \quad (6)$$

с начальными условиями

$$V(\xi, 0) = 0; V'(\xi, 0) = 0. \quad (7)$$

Решение уравнения (5) содержит частное решение неоднородного дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами и общее решение однородного линейного дифференциального уравнения:

$$\mathbf{V}(t) = \bar{V}(t) + c_1 u_1(t) + c_2 u_2(t),$$

где $\bar{V}(t)$ — некоторое частное решение, $c_1 u_1(t) + c_2 u_2(t)$ — общее решение соответствующего однородного уравнения.

Общее решение однородного уравнения

$$u'' + 2\alpha u' + \omega^2 u = 0 \quad (8)$$

будем искать в виде $u = e^{Pt}$ (здесь P — некоторая постоянная, которую необходимо найти).

Вычислим $\frac{\partial u}{\partial t} = P e^{Pt}$, $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = P^2 e^{Pt}$. После подстановки в (8) и сокращения на неравное нулю e^{Pt} , для определения P получим квадратное характеристическое уравнение:

$$P^2 + 2\alpha P + \omega^2 = 0.$$

Корни квадратного уравнения в зависимости от знака дискриминанта D уравнения $D = \alpha^2 - \omega^2 = 0$ являются вещественными или комплексными. Обозначим $\omega_1 = \sqrt{\alpha^2 - \omega^2}$. Если трение в грунте при смещении трубопровода

большое, что определяется неравенством $\alpha^2 > \omega^2$, то характеристическое уравнение имеет вещественные корни $P_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega^2}$.

Общее решение уравнения (8) имеет вид:

$$V(t) = c_1 u_1(t) + c_2 u_2(t),$$

где C_1 и C_2 некоторые постоянные, которые определяются исходя из начальных условий (7), следовательно:

$$u(t) = \frac{1}{2\omega_1} [e^{-t(\alpha-\omega_1)} - e^{-t(\alpha+\omega_1)}]$$

Если трение в грунте при смещении трубопровода незначительно, что определяется неравенством $\omega^2 > \alpha^2$, характеристическое уравнение имеет мнимые сопряжённые корни $P_{1,2} = \alpha \pm i\omega_1$, где i — мнимая единица ($i^2 = -1$). В этом случае общее решение дифференциального уравнения (8) имеет вид:

$$u(t) = e^{-2t} (c_1 e^{i\omega_1 t} + c_2 e^{-i\omega_1 t})$$

Из начальных условий найдем значения констант C_1 и C_2 , получим:

$$u(t) = \frac{e^{-2t} \sin \omega_1 t}{2\omega_1},$$

Для нахождения частного решения уравнения (5) применим функцию Грина, для этого нужно при начальных условиях (3) решить уравнение:

$$\frac{\partial^2 \bar{V}}{\partial t^2} + 2\alpha \frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + \omega^2 \bar{V} = \delta(t - \tau), \tag{9}$$

Полагая, что $t > t_0$ и находится в следующих пределах $t_0 < t < \tau$, найдем решение однородного уравнения (8) при начальных условиях:

$$\left. \frac{\partial V}{\partial t} \right|_{\tau+0} = 1 \tag{10}$$

$$V|_{\tau+0} = V|_{\tau-0} = 0 \tag{11}$$

Проинтегрируем (9) по t от t_0 до τ , учитывая, что интегралы от конечных второго и третьего слагаемых в (9) равны нулю. Для общего решения уравнения (8) с использованием корней характеристического уравнения P_1 и P_2 получим:

$$\bar{V}(\xi, t) = \frac{1}{P_1 - P_2} [e^{P_1(t-\tau)} - e^{P_2(t-\tau)}]$$

Это решение применимо для любых значений трения в грунте при смещении трубопровода.

Для последующих преобразований получим функцию Грина

$$\tilde{\delta}(t - \tau) = \begin{cases} 0 & (t_0 < t < \tau) \\ \frac{1}{P_1 - P_2} [e^{P_1(t-\tau)} - e^{P_2(t-\tau)}] & (\tau < t < \infty) \end{cases}$$

Эта функция всюду непрерывна, кроме точки $t = \tau$, в которой происходит скачкообразное изменение. В этом случае решение уравнения (9) примет вид

$$\bar{V}(\xi, t) = \frac{1}{2\omega_1} \int_{t_0}^t e^{-\alpha(t-\tau)} \sin \omega_1 t \varphi(\tau) d\tau \tag{12}$$

Заметим, что для нагрузок, распределённых по времени и по длине трубопровода в общем случае решение задачи о вычислении его смещения является чрезвычайно сложным.

Экспериментальными исследованиями установлено, что для заглубленных в грунте магистральных трубопроводов имеет место только случай малого трения при смещении трубопровода, т. е. $\omega^2 > \alpha^2$.

На основе полученного решения (12) дифференциальной модели (2), а также литературных данных [2] можно утверждать, что при кратковременной ударной импульсной нагрузке, характерной для взрывов, имеет значение только величина и продолжительность импульса, что позволяет пренебречь формой импульса:

$$S = \int_0^{t_0} P(t) dt.$$

Величина ударного импульса S , сообщаемого волной трубопроводу нами принята в качестве критерия разрушительной способности взрывной волны.

Проанализируем напряжения, возникающие от линейного смещения и изгибающих моментов в трубопроводе при действии сосредоточенного ударного импульса на рассматриваемой математической модели.

В начальный момент ударный импульс сообщает трубопроводу скорость $u'_{(0)}$, но не вызывает его перемещения $u(x, 0)$. Следовательно

$$u'_{(0)} = \frac{S}{m_l},$$

где $S = P_l t_0$ — величина импульса; t_0 — продолжительность действия импульса; m_l — масса единицы длины трубопровода.

Для анализа воздействия на трубопровод сосредоточенного ударного импульса, применим функцию Дирака $\delta(x)$. Тогда для функции давления, действующего на трубопровод, учитывая (6) получим:

$$\varphi(\xi, t) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\infty} \frac{2P_y D_H}{m_l} \cos(x) \delta(x) dx = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{2P_y D_H}{m_l}.$$

Общее решение дифференциального уравнения (5) запишется в виде

$$V(\xi, t) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{P_y D_H}{m_l} \int_0^t e^{-\alpha t} \sin \omega_1 t dt. \quad (13)$$

Обозначим $B = \frac{\varphi(\xi, t)}{2} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{P_y D_H}{m_l}$. Интегрируя (13) от 0 до произвольного момента времени получаем:

при $t \leq t_0$

$$V(\xi, t) = \frac{B}{\omega_1} \left[\frac{\omega_1 - e^{-\alpha t} (\alpha \sin \omega_1 t + \omega_1 \cos \omega_1 t)}{\alpha^2 + \omega_1^2} \right]; \quad (14)$$

при $t > t_0$

$$V(\xi, t) = \frac{B}{\omega_1} \left\{ \frac{e^{-2\alpha(t-t_0)}}{\alpha^2 + \omega_1^2} [\alpha \sin \omega_1(t-t_0) + \omega_1 \cos \omega_1(t-t_0)] - \frac{e^{-2\alpha t}}{\alpha^2 + \omega_1^2} (2 \sin \omega_1 t + \omega_1 \cos \omega_1 t) \right\}. \quad (15)$$

По формуле обращения косинус-преобразования Фурье получим смещение трубопровода $u(x, t)$ в грунте:

при $t \leq t_0$

$$u(x, t) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\infty} \frac{B}{\omega_1} \left[\frac{\omega_1 - e^{-\alpha t} (\alpha \sin \omega_1 \cos \omega_1 t)}{\alpha^2 + \omega_1^2} \right] \cos \xi x d\xi \quad (16)$$

при $t > t_0$

$$u(x, t) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\infty} \frac{B}{\omega_1} \left\{ \frac{e^{-\alpha(t-t_0)}}{\alpha^2 + \omega_1^2} [\alpha \sin \omega_1(t-t_0) + \omega_1 \cos \omega_1(t-t_0)] - \frac{e^{-2t}}{\alpha^2 + \omega_1^2} (2 \sin \omega_1 t + \omega_1 \cos \omega_1 t) \right\} \cos \xi x d\xi. \quad (17)$$

Вычисление в общем случае интегралов (16) и (17), описывающих прогиб трубопровода, представляет большие трудности. Поэтому рассмотрим решения для сосредоточенного импульса в сечении трубопроводов только в точке $x=0$ (в ней возникают наибольшие напряжения и деформации), что позволяет получить решение в виде удобных для практических применений формул, с использованием быстро сходящихся степенных рядов.

Для вычисления интегралов (16) и (17) выполним последовательные преобразования, включающие разложение подынтегральных функций в ряды по функциям Бесселя, разложение в ряды Тейлора и интегрирование полученных рядов. Окончательно получим формулу для определения смещения (прогиба) трубопровода в следующем виде:

$$u(0, \tau) = B \cdot s(\tau) = s(\tau) \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{2\bar{k}WD_H}{EI\beta^4 r^3}. \tag{18}$$

где $s(\tau)$ — функция времени, параметров трубопровода и среды, предварительно вычисляемая по следующей формуле:

$$s(\tau) = \frac{\beta^4 \pi \sqrt{2}}{4\gamma^3} - \frac{\alpha\beta^6 e^{-2\tau}}{2n^5} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(-1)^i \tau^{2i+\frac{3}{2}}}{2^i i!} * F_1(i, EI, A) + \frac{\beta^4 e^{-2\tau}}{n^3} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(-1)^i \tau^{2i+\frac{7}{2}}}{(2i+\frac{7}{2})2^i i!} * F_2(i, EI, A),$$

здесь $n^4 = \gamma^4 - \frac{c^8}{4\beta^4}$, $\tau = \frac{tn^2}{\beta^2}$, $\alpha^2 = \frac{\tau^2 \gamma^4}{n^4}$, $h = \tau^2$ — введенные обозначения, F_i — произведения гамма-

и гипер-геометрических функций с определенными параметрами, зависящими от индекса суммирования, жесткости трубопровода и акустического сопротивления грунта, r — расстояние от эпицентра приложения взрывного импульса, W — приведенная мощность взрывного импульса, \bar{k} — коэффициент, зависящий от свойства грунта.

При известных значениях нагрузки и коэффициентов, описывающих свойства грунтов формула (18) позволяет определить значение прогиба трубопровода $u(0, \tau)$ после воздействия ударной импульсной нагрузки в произвольный момент времени τ .

Для определения максимальных изгибающих моментов в точке $x=0$ при взрывном импульсе математические выкладки аналогичны ранее изложенным. Опустив их, приведем соответствующую формулу для вычисления изгибающего момента:

$$M(0, \tau) = EI \cdot B \cdot s(\tau) / (2\sqrt{2\pi} m_1) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{2\bar{k}WD_H}{EI\beta^4 r^3} EI \cdot s(\tau) / (2\sqrt{2\pi} m_1). \tag{19}$$

Ряды, необходимые для вычисления выражений (18) и (19) сходятся быстро и для практических расчётов достаточно взять нескольких первых членов ряда. Эти формулы предназначены для вычисления деформаций от воздействия сосредоточенного ударного импульса.

Полученные в результате математического моделирования выражения для вычисления значений прогиба (18) и изгибающих моментов (19) для линейной части заглубленного в грунт трубопровода целесообразно сравнить с результатами натурных экспериментов. Их сопоставление показывает, что расчётные значения прогиба и изгибающих моментов несколько меньше экспериментальных. Это объясняется тем, что значения экспериментальных данных учитывают влияния рассеяния энергии взрыва в материале трубы и инерции основания. Из литературных источников известно, что разница в определении изгибающих моментов с учётом затухания энергии взрыва получается одного порядка с точностью вычислений [4]. Это объясняется тем, что изгибающий момент достигает своего максимума немного раньше смещений, при этом рассеяние энергии взрыва в материале трубопровода практически не влияет на величину его максимального значения.

Для практической оценки реакции линейной части трубопровода на воздействие взрывной нагрузки в зависимости от времени целесообразно ввести динамические коэффициенты изгибающего момента и смещения трубопровода. На

рисунке 1 приведены зависимости динамических коэффициентов изгибающего момента ($\frac{M(t)}{A}$) и смещения

трубопровода ($\frac{u(t)}{A}$) от продолжительности действия взрывной нагрузки (здесь A — акустическое сопротивление

грунта). Как видно, поведение временных функций динамических коэффициентов аналогично.

Графики на рисунке 1 построены на основе данных проведенного эксперимента для нефтепродуктопровода диаметром 325 мм с толщиной стенки 9 мм, приведенной мощности взрывного импульса $W = 100$ кг в тротиловом эквиваленте и расстояния от эпицентра взрыва до нефтепродуктопровода $r = 9$ м. Для расчетов используются коэффициенты среды $\bar{k} = 30$ и $\mu = 3$, зависящие от свойств грунтов, экспериментально определенные для широко распространенного глинистого песка в работе [3].

Из графика видно, что при мгновенном действии взрывного импульса трубопровод подвергается значительной нагрузке. С увеличением продолжительности действия взрывной нагрузки величина смещения из-за деформации трубопровода растёт и достигает своего максимума, который имеет значение 1,2...1,4, а для изгибающего момента — 1,6...1,8. Затем величины динамических коэффициентов сглаживаются (затухают) и уже при $t > 14 \cdot 10^{-3}$ с быстро приближаются к единице.

На рисунках 2 и 3 приведены графики распределения смещения и изгибающего момента по длине трубопровода для различных временных интервалов.

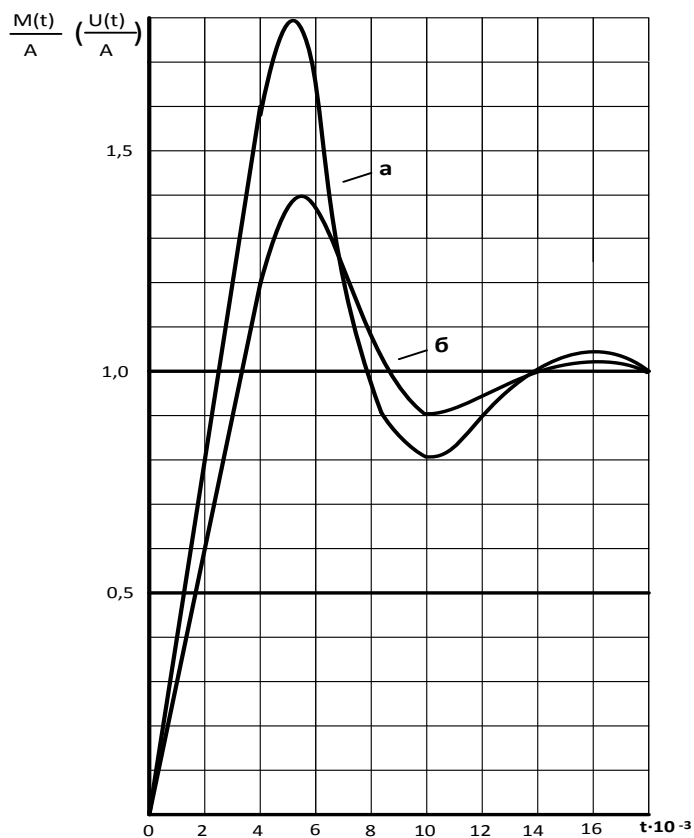


Рис. 1. Зависимости динамических коэффициентов от продолжительности действия взрывной нагрузки:
а) для изгибающего момента; б) для смещения трубопровода

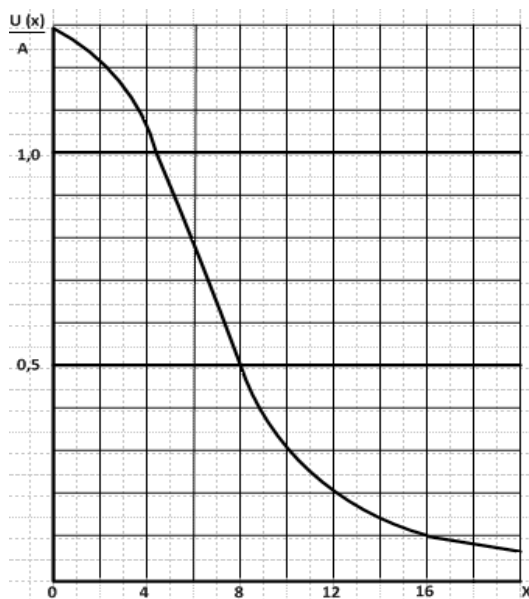


Рис. 2. График распределения динамического коэффициента прогиба (смещения) по длине трубопровода при продолжительности действия ударной нагрузки $t_0 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ с}$

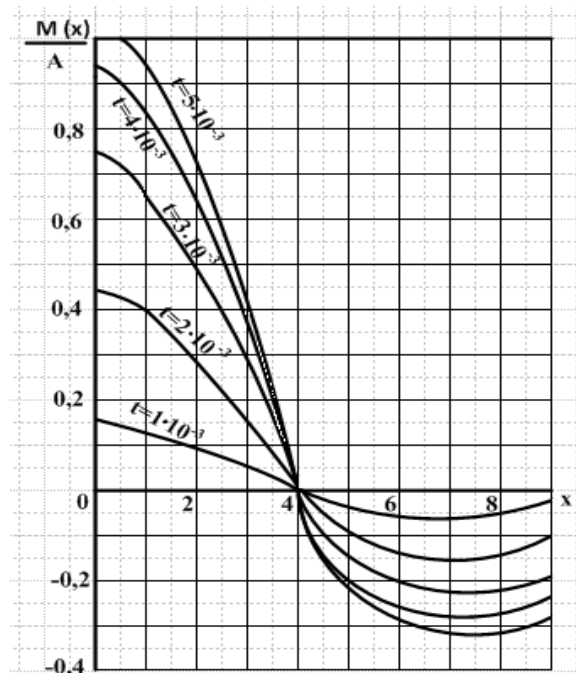


Рис. 3. График распределения динамического коэффициента изгибающего момента по длине трубопровода при различной продолжительности действия нагрузки

Из графиков на рисунках 2 и 3 видно, что характер распределения изгибающего момента по длине нефтепродуктопровода практически не зависит от продолжительности действия нагрузки, при изменении длительности лишь меняются амплитуды прогибов линейной части и изгибающих моментов нефтепродуктопровода.

Предлагаемая модель поперечных перемещений заглубленного трубопровода является адекватной, результаты расчетов в достаточной степени согласуются с экспериментальными данными. Модель позволяет оценить критические ситуации и параметры импульсной ударной нагрузки, приводящие к значениям смещения (прогиба) линейной части, изгибающих моментов трубопровода и деформациям, при которых достигаются пределы текучести, возникает усталость материала оболочки и трещинообразование в линейной части трубопровода под воздействием импульсных ударных нагрузок.

Литература:

1. Ляхов, Г. М. Основы динамики взрывов в грунтах и жидких средах. — М.:Недра, 1964
2. Садовский, М. А. Механическое действие воздушных ударных волн по данным экспериментальных исследований// Сб. Физика взрыва. — М.: Изд-во АН СССР, 1952.
3. Мавлютов, Р. М. Исследование поражаемости и напряженного состояния магистральных нефтепродуктопроводов при проведении взрывов: дисс. ... канд. техн. наук. — Уфа: УГНТУ, 1971.
4. Взрывные явления. Оценка и последствия: в 2 кн./У. Бейкер, П. Кокс, П. Уэстайн [и др.]; пер. с англ. — М.: Мир, 1986.

Модель продольных перемещений заглубленного трубопровода при воздействии ударной нагрузки

Инютин Сергей Арнольдович, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник;
Елькин Алексей Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник
ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии МО РФ» (г. Санкт-Петербург)

Прохоров Александр Анатольевич, начальник отдела
ООО «Балтнефтепровод» (г. Санкт-Петербург)

В статье анализируется изгиб линейной части трубопровода, возникающий при ударных нагрузках. Предложена модель поперечных перемещений заглубленного трубопровода, которая позволяет оценить параметры импульсной ударной нагрузки.

Ключевые слова: *воздействие взрывной нагрузки, нагрузки на трубопровод, поперечные перемещения трубопровода.*

При воздействии ударной импульсной нагрузки на заглубленные сооружения (трубопроводы) обычно выделяют три типа деформации:

- изгиб линейной части;
- продольное перемещение;
- смятие цилиндрических диаметров линейной части.

В статье анализируется второй тип деформаций, возникающий достаточно часто даже при средних ударных нагрузках, если эпицентр её приложения попадает в некоторую критическую зону вблизи заглубленного трубопровода. При превышении допустимых нагрузок и пределов текучести материала трубопровода такие деформации приводят к трещинообразованию в его линейной части и, как следствие, техногенным авариям.

Целесообразно рассмотреть две модели продольных деформаций трубопровода:

- без учёта рассеивания ударной энергии в материале трубопровода;
- с учетом влияния рассеивания ударной энергии.

При составлении этих моделей полагаем:

- трубопровод заглублен в грунт на 1–2 метра, что позволяет рассматривать плоскостную задачу, имеющую меньшую сложность по сравнению с объёмной задачей;
- координатная ось (абсцисс) направлена вдоль условной оси бесконечного трубопровода;
- начало координат находится в точке пересечения оси с перпендикуляром, опущенным из эпицентра приложения ударной импульсной нагрузки.

Дифференциальное уравнение вынужденных продольных перемещений «бесконечного» трубопровода при воздействии на него взрывной волны записывается в виде [1]:

$$EF \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \rho F \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - AF \frac{\partial u}{\partial t} - \pi D_H k_x u = -2P_x F, \quad (1)$$

где $u(x, t)$ — перемещение поперечного сечения трубопровода на расстояние x от начала координат в момент

времени t ; k_x — коэффициент касательного сопротивления грунта; E — модуль упругости материала; ρ — плотность материала; F — площадь поперечного сечения; D_H — наружный диаметр трубопровода, P_x — проекция нагрузки вдоль оси трубопровода.

Предполагается, что между контактными касательными напряжениями τ_x и осевыми перемещениями u существует линейная зависимость, т. е.

$$\tau_x = -k_x u$$

Возможность использования линейной зависимости подтверждается экспериментальными данными [2].

Значение коэффициента k_x определяется свойствами грунта. Для приближённых расчётов рекомендованы следующие значения:

для грунтов малой плотности — $k_x \cong 0,3 \text{ кг/см}^3$;

средней плотности — $k_x \cong 1 \text{ кг/см}^3$;

повышенной плотности - $k_x \cong 2 \text{ кг/см}^3$.

Продольные деформации сопровождаются также поперечными деформациями, т. е. изменением поперечных сечений при удлинении трубопровода. Однако, при воздействии волн, длина которых значительно превышает размеры поперечных сечений трубопровода, этими изменениями можно пренебречь [3].

Скорости распространения волн в материале стальных труб отличаются от скоростей распространения волн в грунте. В нашей модели предполагается, что при прохождении взрывного импульса по стальному трубопроводу до точки x , грунт в этой точке ещё неподвижен.

Вследствие симметрии деформации трубопровода в упругой среде под воздействием взрывной волны рассмотрим только на положительной полуоси.

Учитывая, что в начальный момент трубопровод находится в покое, зададим граничные условия:

$$u = 0 \text{ при } x = 0;$$

$$u = 0 \text{ при } x = \infty,$$

а также начальные условия при $t = 0$:

$$u = 0; \frac{\partial u}{\partial t} = 0 \tag{2}$$

Уравнение (1) запишем в виде:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} - m^2 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \beta^2 \frac{\partial u}{\partial t} - k^2 u = \frac{2P_x}{E}, \tag{3}$$

$$\text{где } m^2 = \frac{\rho}{E}; \beta^2 = \frac{A}{E}; k^2 = \frac{\pi D_H k_x}{EF}.$$

Для решения уравнения (3) с граничными и начальными условиями (2) применим косинус-преобразование Фурье.

Для функции $V(\xi, t)$ получим дифференциальное уравнение:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial t^2} + 2\alpha \frac{\partial V}{\partial t} + \omega^2 V = q(\xi, t) \tag{4}$$

при начальных условиях $t = 0$:

$$V = \frac{\partial V}{\partial t} = 0,$$

$$\text{где } 2\alpha = \frac{\beta^2}{m^2}; \omega^2 = \frac{\xi^2 + k^2}{m^2};$$

$$q(\xi, t) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^\infty \frac{2P_x}{Em^2} \cos x dx. \tag{5}$$

Из полученных уравнений (4) и (5) видно, что если известен закон распределения нагрузки во времени, то можно получить решение для вычисления деформаций, распределенных по длине трубопровода. При кратковременном воздействии импульсной нагрузки, используя дельта-функцию Дирака и проинтегрировав (5), получим

$$q(\xi, t) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^\infty \frac{2P_x}{Em^2} \cos(x - 0) \delta(x) dx = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{2P_x}{Em^2}. \tag{6}$$

Проекцию взрывной ударной нагрузки P_x на ось x , вызывающей продольные деформации трубопровода, определим из известного соотношения:

$$P_x = \frac{\bar{k}xW}{(r^2 + x^2)^2}, \tag{7}$$

где W — приведенная мощность взрывного импульса, \bar{k} — коэффициент, зависящий от свойства грунта, r — расстояние от эпицентра приложения взрывного импульса.

Решением уравнения (4) является сумма общего решения однородного линейного дифференциального уравнения и частного решения неоднородного дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами.

Учитывая, что деформация трубопровода достигает максимального значения в конце воздействия ударной нагрузки (т. е. при $t = t_0$), для продольных перемещений трубопровода получим:

$$V = \frac{B}{2\omega_2} \int_0^t e^{-\alpha(t-\tau)} \sin \omega_2(t-\tau) d\tau = \frac{B}{2\omega_2} \left[\frac{\omega_2 - e^{-\alpha t} (\alpha \sin \omega_2 t + \omega_2 \cos \omega_2 t)}{\alpha^2 + \omega_2^2} \right]; \tag{8}$$

где $\omega_2 = \sqrt{\omega^2 - \alpha^2}$; $B = \sqrt{\frac{2}{\pi} \frac{2P_x}{m^2 E}}$.

Используя формулу обращения косинус-преобразования Фурье, получим:

$$u(x,t) = \sqrt{\frac{2}{\pi} \frac{B \pi m^2}{4n}} e^{-nx} \left[1 - e^{-\alpha t} \left(\cos \frac{t}{m} \sqrt{k^2 - n^2} + \frac{m \alpha \sin \frac{t}{m} \sqrt{k^2 - n^2}}{\sqrt{k^2 - n^2}} \right) \right], \tag{9}$$

где $k^2 = \frac{\pi K_x D_n}{E}$, $n^2 = k^2 - \frac{\beta^4}{4m^2}$.

В полученной модели (9) первый член представляет продольное смещение «полубесконечного» трубопровода, лежащего в грунте на Винклеровом основании при статическом действии нагрузки. Динамический коэффициент смещения, в первом приближении, можно считать постоянным, не зависящим от инерционных свойств или массы трубопровода [4].

После дифференцирования уравнения (9) по переменной x , получим напряжения растяжения (сжатия):

$$\sigma_0 = E \frac{\partial u}{\partial x} = C_0 \frac{e^{-nx}}{(x^2 + r^2)^2} \left(1 - nx - \frac{4x^2}{x^2 + r^2} \right); \tag{10}$$

где C_0 – некоторый коэффициент в частном решении неоднородного дифференциального уравнения, вычисляемый по формуле:

$$C_0 = \frac{\bar{k}W}{n} \left[1 - e^{-\alpha t} \left(\cos \frac{t}{m} \sqrt{k^2 - n^2} + \frac{m \alpha \sin \frac{t}{m} \sqrt{k^2 - n^2}}{\sqrt{k^2 - n^2}} \right) \right] \tag{11}$$

В вышеприведенной модели продольных деформаций трубопровода (9, 10) не учитывалось рассеивание энергии в материале трубопровода.

Рассмотрим модель продольных деформаций трубопровода с учетом влияния рассеивания энергии взрывной ударной нагрузки.

Предположим, что диссипация энергии в материале трубопровода зависит только от продолжительности взрывного импульса и свойств материала трубопровода. Исследование влияния рассеяния энергии в материале трубопровода проведено с учетом зависимости напряжения от деформации материала трубопровода Кельвина-Фохта:

$$\sigma = E \varepsilon + K_0 \frac{d\varepsilon}{dt},$$

где K_0 – коэффициент вязкости, ε — относительная деформация материала трубопровода.

С учетом затухания энергии рассеивания дифференциальное уравнение продольных смещений подземного трубопровода примет вид:

$$EF \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \rho F \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - K_0 \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} - K_x F u - AF \frac{\partial u}{\partial t} = -2P_x F \tag{12}$$

Для решения уравнения (12) выполним математические выкладки аналогичные ранее приведенным. Получим следующие соотношения для вычисления смещения трубопровода:

$$V = \frac{B}{2\omega_2} \left[\frac{\omega_2 - e^{-\alpha t} (\alpha \sin \omega_2 t + \omega_2 \cos \omega_2 t)}{\alpha^2 + \omega_2^2} \right];$$

где $2\alpha = \frac{\xi^2 K_0 + AF}{\rho F}$; $\omega^2 = \frac{\xi^2 + k^2}{m^2}$; $m^2 = \frac{\rho}{E}$; $k^2 = \frac{\pi D_n K_x}{EF}$; $\omega_2 = \sqrt{\omega^2 - \alpha^2}$.

По формуле обращения косинус-преобразования Фурье получим:

$$u(x,t) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^\infty \frac{B}{2\omega_2} \left[\frac{\omega_2 - e^{-\alpha t} (\alpha \sin \omega_2 t + \omega_2 \cos \omega_2 t)}{\alpha^2 + \omega_2^2} \right] \cos \xi x d\xi \tag{13}$$

Для вычисления интеграла разобьем выражение (13) на три интеграла.

Первый интеграл, описывающий статическую деформацию трубопровода, примет вид:

$$u_1(x, t) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Bm^2}{2} \int_0^\infty \frac{\cos \xi x d\xi}{\xi^2 + k^2} = \sqrt{\frac{\pi}{8}} \frac{Be^{-kx} m^2}{k}$$

Второй интеграл

$$u_2(x, t) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Bm^2}{2} e^{-b} \int_0^\infty \frac{e^{-a\xi^2} (a\xi^2 + b) \sin \frac{t}{m} \sqrt{\xi^2 + k^2} \cos \xi x d\xi}{(\xi^2 + k^2) \sqrt{\frac{\xi^2 + k^2}{m^2} - (a\xi^2 + b)^2}}$$

где $a = \frac{k_0}{2\rho F}$; $b = \frac{AD_n}{2\rho F}$,

имеет главную часть на участке от нуля до единицы, далее его подынтегральная функция быстро убывает, так как наличие экспоненты с отрицательной степенью в подынтегральном выражении приводит к тому, что величина интеграла в дальнейшем становится незначительной. По этой причине вторым интегралом можно пренебречь.

При вычислении третьего интеграла:

$$u_3(x, t) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Bm^2}{2} e^{-b} \int_0^\infty \frac{e^{-a\xi^2} \cos \frac{t}{m} \sqrt{\xi^2 + k^2}}{\xi^2 + k^2} \cos \xi x d\xi$$

учтем, что в него входят быстро осциллирующие функции, которые делают достаточно сложным его аналитическое вычисление.

Окончательное вычисление продольного смещения заглубленного трубопровода под воздействием ударной импульсной нагрузки можно выполнить только численными методами исходя из следующей формулы:

$$u(x, t) = \sqrt{\frac{\pi}{8}} \frac{Be^{-kx} m^2}{k} - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Bm^2 e^{-b}}{2} \int_0^\infty \frac{e^{-a\xi^2} \cos \frac{t}{m} \sqrt{\xi^2 + k^2}}{\xi^2 + k^2} \cos \xi x d\xi. \tag{14}$$

Для определения максимальных значений продольных напряжений вычислим интеграл при $x=0$. Продифференцировав уравнение (14) по переменной x и разложив подынтегральную функцию в ряд по функциям Бесселя, получим продольное напряжение в точке $x=0$ с учетом рассеивания энергии в материале трубопровода:

$$\sigma(0, \tau) = \frac{\bar{k}W}{kr^4} \cdot s(\tau), \tag{15}$$

где $s(\tau)$ — функция времени, параметров трубопровода и среды, предварительно вычисляемая по следующей формуле:

$$s(\tau) = 1 + \frac{2e^{-b}}{k\sqrt{\pi a}} \sum_{i=0}^\infty \frac{(-1)^i \tau^{3i+1}}{(3i+1)2^{2i+\frac{3}{2}} i! \Gamma(i + \frac{3}{2})} F(\nu, r, A, \tau), \tag{16}$$

где $\nu = \frac{ak^2 t}{\tau^2}$, $\tau = \frac{tk}{m}$, $\alpha^2 = \frac{\tau^2 \gamma^4}{n^4}$, $\Gamma(i)$ - гамма-функция, $F(i, r, A, \tau)$ — обобщенная, функция, полученная на основе гипер-геометрической, с параметрами, зависящими от индекса суммирования, жесткости трубопровода и акустического сопротивления грунта.

Ряд в функции (16) сходится достаточно быстро, и для ее вычисления достаточно взять 3–4 члена ряда.

На рисунке 1 приведены зависимости максимальных значений напряжений продольного перемещения от расстояний до эпицентра приложения взрывной нагрузки:

- сплошной линией отображена зависимость без учета рассеяния энергии взрывной нагрузки в материале трубопровода;
- пунктирной линией отображена аналогичная зависимость с учетом рассеяния энергии взрывной нагрузки;
- точками отображены величины напряжений, полученные экспериментальным путем.

При построении графиков расчеты выполнены для магистрального трубопровода диаметром 325 мм с толщиной стенок 9 мм. Вычисление нагрузки произведено по формуле (7), при зависящих от свойств грунта значениях коэффициентов \bar{k} и μ , типичных для большинства областей европейской части РФ.

В полученном решении (15), позволяющем найти продольные напряжения трубопровода, учитывается рассеяние энергии в материале трубопровода.

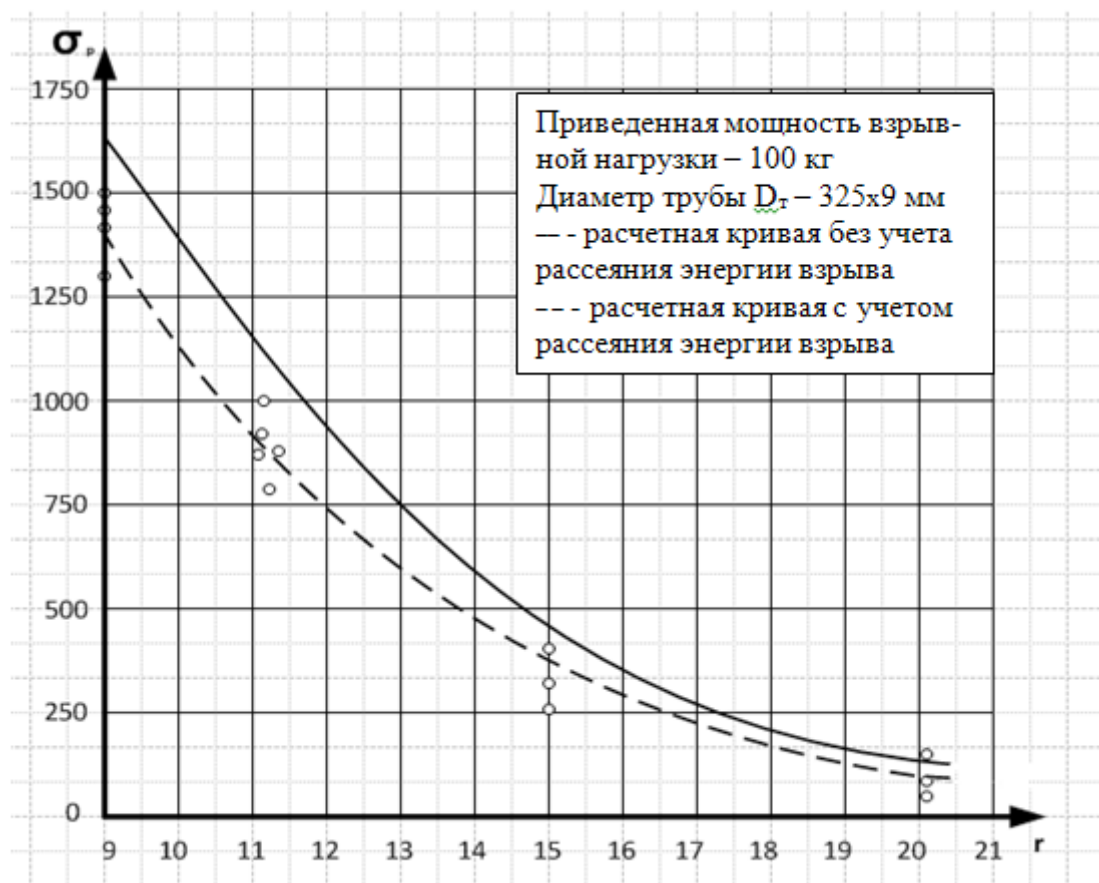


Рис. 1. График зависимостей продольных напряжений σ_p в заглубленном трубопроводе от расстояний r до эпицентра взрывной нагрузки

Из приведенных графиков видно, что экспериментальные точки расположены несколько ниже расчетной кривой, полученной по формулам (10) и достаточно близко к расчетной кривой (15), что свидетельствует о фактическом рассеивании энергии взрывной нагрузки в материале трубопровода.

Рассмотренные модели продольных перемещений заглубленного трубопровода с учетом и без учета рассеивания энергии взрывной нагрузки в материале трубопровода являются адекватными экспериментальным данным, т. к. результаты расчетов в достаточной степени согласуются с ними.

Полученные соотношения (9, 10, 14, 15) позволяют оценить критические параметры внешней нагрузки, приводящей к продольным перемещениям трубопровода и деформациям, при которых достигаются пределы текучести, возникает усталость материала оболочки и происходит трещинообразование в линейной части трубопровода под воздействием импульсных ударных нагрузок.

Литература:

1. Мавлютов, Р.М. Исследование поражаемости и напряженного состояния магистральных нефтепродуктопроводов при проведении взрывов: дисс. ... канд. техн. наук. — Уфа: УГНТУ, 1971.
2. Большаков, Ю.Н. Разработка метода демонтажа трубопроводов энергией взрыва: дисс. ... канд. техн. наук. — Тюмень, 2004.
3. Садовский, М.А. Механическое действие воздушных ударных волн по данным экспериментальных исследований// Сб. Физика взрыва. — М.: Изд-во АН СССР, 1952.
4. Ляхов, Г.М. Основы динамики взрывов в грунтах и жидких средах. — М.:Недра, 1964.
5. Взрывные явления. Оценка и последствия: в 2 кн./У. Бейкер, П. Кокс, П. Уэстайн [и др.]; пер. с англ. — М.: Мир, 1986.

Дизайн транспортной упаковки как целесообразная необходимость

Кузьмина Татьяна Евгеньевна, студент;

Абучкаев Роман Равильевич, студент

Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова (Челябинская обл.)

Бодьян Анастасия Николаевна, архитектор

ООО «Архивариус» (г. Магнитогорск, Челябинская обл.)

Прач Мария Дмитриевна, студент

Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова (Челябинская обл.)

Рассмотрены необходимость и особенности работы над дизайном транспортной тары, этапы разработки дизайна, представлены отдельные варианты дизайна, дано обоснование композиционного решения.

Ключевые слова: дизайн, транспортная тара, этапы работы над дизайном.

Транспортная упаковка сегодня предназначена не только непосредственно для доставки товара по назначению, сохранению товара. Транспортная упаковка, как любая другая упаковка, является одним из основных носителей фирменного стиля, который призван формировать имидж предприятия, отражать характер его деятельности, способствовать запоминанию торговой марки, идентификации производителя и т.д. Транспортная тара не должна быть безликой. Что требует проработки дизайна и подобной упаковки. Понимание этого демонстрируют все крупные производители, к этому пониманию приходят и все остальные.

Этапы разработки дизайна транспортной тары рассмотрим на примере упаковки для ОАО «ММК-Метиз». Ключевыми моментами при работе над дизайном являются: понимание идейных, стилевых и индивидуальных особенностей; поиск соответствующего композиционного и графического оформления, проработки изобразительных образов, цветовое и шрифтовое решение, соединенные в единое художественное целое всех ее элементов, а также верстка с учетом требований к допечатной подготовке и особенностей печатных технологий. Как и в любой сфере дизайна, создавая дизайн упаковки, нужно опираться на классические законы композиции: цельность и единство, равновесие, соподчинение и т.д. Композиция делает произведение цельным, выразительным и гармоничным, создает единое композиционное пространство в соответствии с определенной идеей [1, 2, 3, 4].

Работа требует последовательного решения следующих задач: литературный обзор, анализ проектной ситуации, анализ аналогов подобной продукции, выявление проблемы, формулировка проектной концепции, требований к предмету проектирования, разработка поисковых вариантов дизайна упаковки, проработка и обоснование итогового варианта дизайна, согласование с заказчиком [4, 5].

Прежде, чем приступить к работе над дизайном, необходимо не только получить исходные данные у заказчика, выслушать его пожелания, предпочтения, но и мак-

симально полно уточнить и зафиксировать в виде технического задания все возможные ключевые моменты. Важность этого этапа трудно переоценить. Грамотно составленное техническое задание будет способствовать не только творческому поиску дизайнера, определит ожидаемый объем и состав работы по дизайну, но и поможет в определенной степени «обезопасить» дизайнера на завершающем этапе от непредвиденных ситуаций. Предприятие ОАО «ММК-Метиз» производит крепежные изделия (метизная продукция), для которых требовалось разработать дизайн транспортной упаковки. При этом предполагалось, что производство упаковки будет осуществляться на предприятии, выпускающем упаковку из гофрокартона. При составлении технического задания согласовывались следующие основные моменты: на какую целевую аудиторию позиционируется продукт; технологические, маркетинговые особенности упаковываемых изделий; используемая графика (основные элементы фирменного стиля, в т.ч. фирменный знак предприятия, фирменный цвет, используемая графика) и размещаемый текст (сведения о производителе, контактная информация, технические характеристики изделий и т.п.); используемый материал упаковки (гофрокартон), точные размеры упаковки, форма; ожидаемый объем и состав работы по дизайну; другие рекомендации (пожелания) заказчика.

Творческий поиск начинается с литературного обзора по теме и анализа проектной ситуации. Особенности упаковываемого материала, безусловно, влияют как на характер используемой в дизайне графики, так и на выбор упаковочного материала, который, в свою очередь, влияет на выбор способа нанесения печати. Важно сразу на первом этапе работы определиться с выбором способа печати, ознакомиться с используемым печатным оборудованием, выяснить требования по допечатной подготовке, т.к. это может существенно повлиять на особенности разрабатываемого дизайна. Учитывая используемый материал упаковки — гофрокартон, наиболее оптимальным способом печати будет флексография [6, 7, 8]. Предприятие-производитель гофротары располагает возможно-

стью нанесения флексопечати, но печатное оборудование довольно старое, печать осуществляется в 1–2 краски, но в нашем случае это не является существенным недостатком. Анализируя проектную ситуацию, определились не только с выбором материала и способа печати, литературный обзор по теме способствовал формированию общего идейного решения, выбору цветового и графического решения.

Особое внимание уделяется этапу анализа аналогов упаковки, в результате которого выявлены характерные достоинства и недостатки, что позволило учитывать их при работе над дизайн-проектом.

Формулировка проектной концепции. Дизайн упаковки должен, в первую очередь, соответствовать фирменному стилю предприятия-производителя крепежной продукции. Кроме того, упаковка должна отвечать следующему комплексу требований:

- функциональные (обеспечение сохранности упаковываемого продукта, возможность использования упаковки на протяжении всего промежутка логистических операций),

- эргономические (простота и удобство в использовании, в процессе эксплуатации),

- эстетические (узнаваемость, выделение среди аналогов, привлекательность, информативность, читаемость

информации, выбор цветографического решения должен соответствовать как фирменному стилю предприятия, так и характеру продукта, композиционная проработка и целостность образа, графические элементы должны быть представлены в жесткой векторной графике),

- технологические (соблюдение требований по используемым форматам, размерам, 1 или 2-х цветная флексопечать (Panton), печать на 4-х лицевых сторонах упаковки, отказ от градиентов, исключить изображения — фотографии, учет комплекса требований по допечатной подготовке, дизайн и допечатная подготовка должны обеспечивать наиболее полное соответствие параметров при печати),

- требования стандартов к информации на упаковках, маркировке упаковок.

Далее разрабатывались варианты дизайна упаковки (представление должно быть и в виде развертки упаковки, и в объемном виде, для удобства оценки и согласования с заказчиком), на рисунке представлены некоторые из них. Использовались графические редакторы: Adobe Photoshop, Corel DRAW. Этап разработки поисковых вариантов может оказаться самым продолжительным, поэтому желательно с заказчиком оговорить количество вариантов и прописать это в техническом задании. Итак, итоговые варианты удовлетворяют предъяв-



Рис. 1. Варианты дизайна

ляемым требованиям. Стилизованная графика наиболее полно и точно выражает идею и характер упаковываемых изделий, соответствует фирменному стилю предприятия-производителя. Грамотно решено взаимное расположение графики и текстовых блоков. Текст читаемый. Композиционное решение целостно. Учтены все технологические требования, при допечатной подготовке учтены особенности печати. Дизайн гармоничен, привлекает внимание, способствует запоминанию торговой марки и идентификации производителя продукции. Выполнен

комплекс потребительских требований к предмету проектирования.

Таким образом, в основе разработанного дизайна транспортной упаковки лежат факторы: сбалансированности, контраста, пропорциональности, направленности взгляда и целостности композиции. Дизайном подчеркнуты характер, индивидуальность товара и торговой марки. Подбранное стилевое решение в целом способствует ассоциативной идентификации и запоминаемости товаропроизводителя.

Литература:

1. Бодьян, Л. А., Агапова И. Б., Трофимов Д. В., Ерочкина И. В. Роль дизайнера в современном упаковочном производстве / Л. А. Бодьян, И. Б. Агапова, Д. В. Трофимов, И. В. Ерочкина // Химия. Технология. Качество. Состояние, проблемы и перспективы развития: межвузовский сборник научных трудов. — Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2009. с. 23–25.
2. Дизайн упаковки: форма и оформление [на англ.] [Текст]. / [Л. Херриотт] — М.: РИП-холдинг, 2007. — 304 с.
3. Волошко, Н. И. Эстетика и дизайн товаров [Текст]: учебно-практ. пособие / Н. И. Волошко. — М.: ИТК Дашков и К. 2008. — 254 с.
4. Бодьян, Л. А., Медяник Н. Л., Савочкина Л. В. Основы теории цвета. Физиологические и психологические основы цветосприятия: учеб. пособие / Л. А. Бодьян, Н. Л. Медяник, Л. В. Савочкина. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2010. 90 с.
5. Бодьян, Л. А., Грачева Н. А. Разработка дизайна обложки книги / Л. А. Бодьян, Н. А. Грачева // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70 межрегион. науч.-техн. конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2012. Т. 1. № 71. с. 289–293
6. Бодьян, Л. А., Бербер С. С. Актуальные вопросы в области нанесения качественной печати на упаковочные материалы и упаковку / Л. А. Бодьян, С. С. Бербер // Химия. Технология. Качество. Состояние, проблемы и перспективы развития: Сб. материалов международной заочной научно-технической конф. (22 мая 2012 года). — Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2012. с. 70–74.
7. Бодьян, Л. А., Гукова В. А. Гибкая упаковка и печатные технологии сегодня / Л. А. Бодьян, В. А. Гукова // Тенденции и перспективы развития современного научного знания: материалы X Международной научно-практической конференции, 7 апреля 2014 г. — Москва: Изд-во «Спецкнига», 2014. с. 44–50
8. Бодьян, Л. А., Кремнева А. В. Цветовые измерения как один из этапов обеспечения качественной печати на упаковочных материалах и упаковке / Л. А. Бодьян, А. В. Кремнева // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70 межрегион. науч.-техн. конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2012. Т. 1. № 70. с. 206–208.

Модернизации системы управления образовательным учреждением путем использования современных электронных технологий

Куличенко Александр Иванович, кандидат технических наук, директор;
Козлов Денис Вячеславович, руководитель компьютерного центра
Брянский строительный колледж имени профессора Н. Е. Жуковского

Шпинько Эдуард Анатольевич, кандидат военных наук, руководитель центра дистанционного обучения
Воронежский институт высоких технологий, филиал в г. Брянске

В данной статье проанализированы проблемы автоматизации управления образовательных учреждений среднего профессионального образования. Рассмотрены программные продукты для модернизации системы управления образовательным учреждением, путем использования современных электронных технологий.

Ключевые слова: автоматизация, дистанционное обучение, информационные системы, управление, образовательные учреждения среднего профессионального образования.

Для эффективного управления образовательными учреждениями и принятия грамотных и эффективных управленческих решений требуется точная и достоверная информация о деятельности образовательного учреждения. В связи с низким уровнем автоматизации учета в колледжах получение оперативной и достоверной информации порой затруднительно или занимает настолько продолжительный промежуток времени, что к моменту получения нужной информации ее актуальность исчезает.

Успешность реализации задач управления образовательными учреждениями профессионального образования на сегодняшний момент не может быть достигнута без применения эффективных информационно-коммуникативных технологий в управлении. Использование этих информационно-коммуникативных технологий в образовательном учреждении является залогом успешности вывода образовательного учреждения на качественно новый уровень управляемости, последующего устойчивого развития системы образования в целом и является фактором успешности реализации задач модернизации образования.

На сегодняшний день ситуация в системе профессионального образования усугубляется следующими факторами:

- накопившееся отставание в сфере информатизации учебных заведений;
- повышение требований к скорости и качеству принятия управленческих решений, эффективности использования ресурсов;
- требованиями формирования в учебных заведениях профессионального образования гибкой, оперативно реагирующей на требование рынков труда и технологий инновационной образовательной, исследовательской и технологической инфраструктуры.

В настоящий момент подавляющее число образовательных учреждений среднего профессионального образования имеют так называемую лоскутную автоматизацию, то есть имеют в наличии ряд различных информационных систем, внедренных на отдельных участках (этапах) процессов учебного заведения. Это означает, что между ними

(информационными системами) отсутствует взаимосвязь (или она реализована частично). Такая ситуация обязательно приводит к необходимости многократного ввода одних и тех же данных, увеличивает трудоемкость при переносе данных из одной системы в другую, значительно увеличивает вероятность ошибок.

В связи с этим в системе профессионального образования возникает потребность в переходе от «лоскутной» информационной системы управления финансово-хозяйственной деятельности учебного заведения к единой платформе и созданию единой точки ввода информации, локализация информационных потоков внутри одного решения (включая учет контингента, приема, трудоустройства, управленческий учет, учет материальных ценностей, кадровый учет, и т. д.).

Такая система также позволит управлять информацией об обучающихся с первого момента их регистрации в информационной системе, накапливать информацию о движении обучающихся на всех ступенях получения образования в учебном заведении, взаимодействовать с выпускниками после окончания обучения. Важнейшей потребностью является потребность в эффективном управлении ресурсами в рамках образовательной деятельности (аудиторный фонд, специализированный фонд — лаборатории, компьютерные классы, спортивные сооружения, материально-техническая база, обучающиеся, преподаватели).

Для эффективного управления низкоэффективными образовательными учреждениями и успешности их последующего устойчивого развития информационная система должна обеспечивать отслеживание и автоматизацию широкого спектра информационных потоков по следующим направлениям деятельности образовательного учреждения профессионального образования:

1. Прием абитуриентов;
2. Движение студенческого контингента;
3. Трудоустройство выпускников;
4. Социальная часть;
5. Контроль успеваемости;

6. Контроль посещаемости;
7. Формирование расписания;
8. Планирование учебного процесса (формирование учебных планов);
9. Учет преподавательской нагрузки;
10. Кадровый учет;
11. Формирование дипломов;
12. Учет библиотечного фонда

Такая автоматизация должна привести к сокращению времени на подготовку отчетности для внутреннего использования и отчетности для вышестоящих организаций.

Современный мир диктует условия и в части организации образовательного процесса. Все большее число учебных заведений в мире начинает использовать электронные и дистанционные образовательные технологии. Все большая и большая доля знаний начинает передаваться при помощи компьютеров, планшетов, смартфонов.

Дистанционное обучение — это самостоятельная форма обучения, информационные технологии в дистанционном обучении являются ведущим средством. Современное дистанционное обучение строится на использовании следующих основных элементов [1,3]:

- среды передачи информации (почта, телевидение, радио, информационные коммуникационные сети);

- методов, зависящих от технической среды обмена информацией.

Дистанционное обучение позволяет:

- снизить затраты на проведение обучения (не требуется затрат на аренду помещений, поездок к месту учебы, как учащихся, так и преподавателей и т. п.);

- проводить обучение большого количества человек;

- повысить качество обучения за счет применения современных средств, объемных электронных библиотек и т. д.

- создать единую образовательную среду.

Дистанционное обучение занимает всё большую роль в модернизации образования. Дистанционные образовательные технологии с использованием Интернет применяются как для освоения отдельных курсов повышения квалификации пользователей, так и для получения среднего профессионального образования. Можно выделить следующие основные формы дистанционного обучения: в режиме on-line и в режиме off-line. Обучение через интернет обладает рядом существенных преимуществ:

- Гибкость — студенты могут получать образование в подходящее им время и в удобном месте;

- Дальнодействие — обучающиеся не ограничены расстоянием и могут учиться в независимости от места проживания;

- Экономичность — значительно сокращаются расходы на дальние поездки к месту обучения [3,6].

Новые технологии позволяют сделать визуальную информацию яркой и динамичной, построить сам процесс образования с учетом активного взаимодействия студента с обучающей системой.

Сравнение эффективности дистанционного и аудиторного обучения на основе опроса преподавателей США в институтах, предлагающих курсы дистанционного обучения и там, где такого обучения нет показало: по мнению 57% преподавателей, результаты дистанционного обучения не уступают или даже превосходят результаты традиционных занятий. 33,3% опрошенных преподавателей считает, что в ближайшие годы результаты дистанционного обучения превзойдут результаты аудиторного [5].

Доступность и открытость обучения — возможность учиться удалено от места обучения, не покидая свой дом или офис. Это позволяет современному специалисту учиться практически всю жизнь, без специальных командировок, отпусков, совмещая с основной деятельностью. При этом делая упор на обучение вечером и в выходные дни.

Можно учиться, находясь практически в любой точке земного шара, где есть компьютер и Интернет. Дистанционные технологии упрощают организацию процесса обучения, как для обучаемых, так и для организаторов обучения, убирают формальные ограничения для начала обучения.

При этом человек может учиться в другой стране, находясь на другом континенте, в удобное для себя время, при этом не нужны визы, билеты, гостиницы.

Обучение в любое время в любом месте позволяет студентам не только оставаться в привычной для них обстановке и сохранить привычный ритм жизни, но и выработать индивидуальный график обучения [2].

Использование электронных образовательных технологий может позволить студентам совмещать обучение и работу, а также предоставить возможность для обучения инвалидов и людей с ограниченными возможностями здоровья.

Кроме того, при использовании программ дистанционного обучения учебное заведение может получить большее количество студентов за счет привлечения дистанционных слушателей из других стран и городов.

На сегодняшний день для решения этих задач разработаны различные программные продукты:

- **«Управление колледжем»** — разработана на новой технологической платформе «1С: Предприятие 8.2», предназначенный для комплексной автоматизации управления бизнес-процессами учреждений среднего профессионального образования, в частности, оперативного управления учебно-методическим процессом, студенческим контингентом, работой приемной комиссии, библиотекой и т. д.

- **«Портал колледжа»**, представляющий собой, быстро разворачиваемый типовой сайт ССУЗа тесно интегрированный с управленческой системой «Управление колледжем».

- **1С: Электронное обучение. Образовательная организация («1С: ОО»)** — программный продукт, предназначен для поддержки электронным обучением традиционного аудиторного образовательного процесса колледжей.

— **1С: Колледж ПРОФ** — представляет собой комплексное решение для управления деятельностью образовательных организаций профессионального образования.

— **Система автоматизации учебного процесса «GS-Ведомости»** — это современный, не имеющий аналогов программный продукт, позволяющий автоматизировать процессы, связанные с управлением деятельностью средне-специальных учебных заведений — лицеев, колледжей [4,7].

— **Система автоматизации образовательного процесса «Megasampus: Электронный колледж»** — это инновационное решение для создания единого инфор-

мационного пространства в колледже, позволяющее автоматизировать документооборот, управление и учет, использовать технологии электронного обучения, развернуть социальную сеть и современный сайт колледжа.

Таким образом, применение данных продуктов позволит вывести учебное заведение на новый уровень управления, снимет проблемы, связанные с выполнением рутинных операций и позволит освободить время для глубокого анализа качества предоставляемых услуг. Ведь это очень важно, так как никакая модификация экономики невозможна без хорошо обученных специалистов.

Литература:

1. Актуальность дистанционного образования (блог второй минигруппы) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.openclass.ru/blogs/42315>
2. Введение в дистанционное обучение [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://art.ioso.ru/wiki/index.php/Обсуждение:Цифровая_фотография
3. Дистанционное обучение [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Дистанционное_обучение
4. О программе [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.gs-vedomosti.ru/>
5. Преимущества и недостатки дистанционного обучения [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.skachatreferat.ru/referaty/Преимущества-и-недостатки-дистанционного-обучения/271288.html>
6. Что такое дистанционное обучение? [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://sdo.bashedu.ru/mod/page/view.php?id=4785>
7. GS-Ведомости [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://soft.softodrom.ru/ap/GS-Ведомости-p6959>.

Расчет виража с целью повышения безопасности движения на участке автомобильной дороги на подъезде к с. Камаевка Пензенской области

Миненко Екатерина Юрьевна, кандидат технических наук, доцент;
Курамшин Дамир Юнерович, студент
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Наличие виражей, даже на дорогах, имеющих кривые больших радиусов, положительно влияет на состояние водителей, способствуя более уверенному вождению автомобиля при криволинейном движении. Авторами исследован опасный участок автомобильной дороги, где предложено спроектировать вираж с целью повышения безопасности дорожного движения.

Ключевые слова: вираж, радиус кривой, безопасность движения

Современные автомобильные дороги представляют собой сложные инженерные сооружения. Они должны обеспечить возможность безопасного движения как одиночных автомобилей с расчетными скоростями, так и транспортных потоков с высоким уровнем удобства даже в самые неблагоприятные периоды года. Их проектируют и строят таким образом, чтобы автомобили могли реализовать свои динамические качества при нормальном режиме работы двигателя, чтобы на поворотах, подъемах и спусках автомобилю не грозили занос или опрокидывание. В течение всего года дорожная одежда должна

быть прочной, противостоять динамическим нагрузкам, передающимся на нее при движении автомобилей, быть ровной и нескользкой [1, с. 154].

Наличие виражей, даже на дорогах, имеющих кривые больших радиусов, положительно влияет на состояние водителей, способствуя более уверенному вождению автомобиля при криволинейном движении. Поэтому в ряде государств виражи считаются обязательным элементом дорог.

Авторами рассмотрен участок автомобильной дороги на подъезде к с. Камаевка Пензенской области

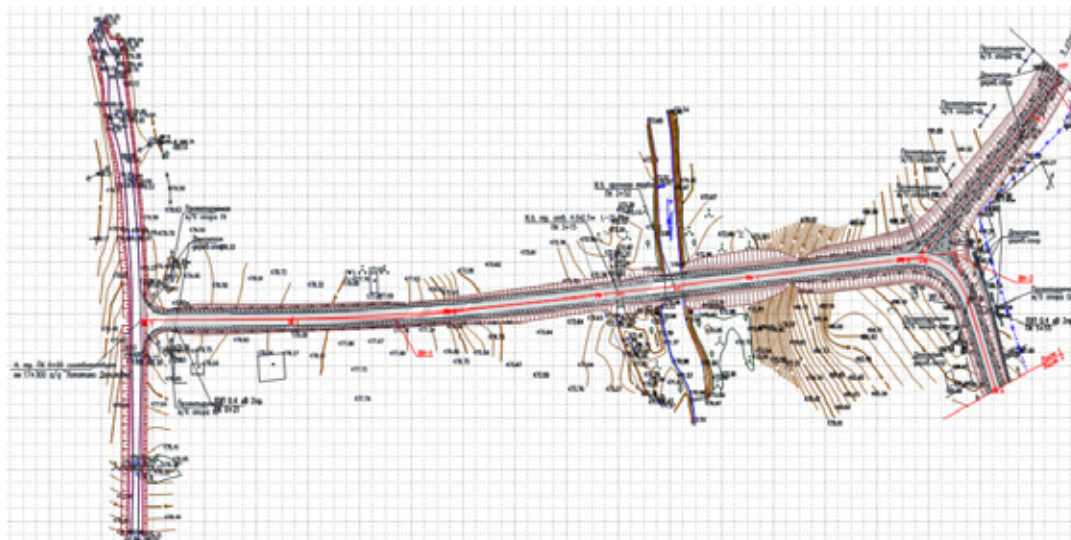


Рис. 1. План трассы Пензенская область Лопатинский район с. Камаевка (участок дороги ПК0+00 — ПК6+00)

(ПК0+00 — ПК6+00). В географическом отношении район расположен в пределах Сердобской возвышенности, средней ступени (до 250 м) западного склона Приволжской возвышенности, поверхность которой расчленена левыми притоками р. Уза, притока первого порядка р. Сура (рис. 1). Основными элементами рельефа ее являются плосковыпуклые поверхности междуречий, слабо пологих и покатых склонов, асимметричного строения речных долин, эрозионной сети, представленной системой ложбин стока, балок, долин ручьев.

План трассы представлен на рис. 1. Анализируя план видно, что начало дороги принято на км 17+300 автомобильной дороги Лопатино — Даниловка на застроенной территории с. Камаевка. Первые двести метров дорога идет по застроенной территории села, затем спускается к реке Чардым и, на км 0+350, пересекает ее под углом 90°. Ширина реки в месте пересечения 7,0 м, глубина воды 2,7 м, скорость течения 2,5 м/сек. Все замеры производились в октябре месяце. По опросам местных жителей вода в реке в паводок поднимается до отметки 173,65 м. Берега реки крутые, заросшие деревьями и кустарником. Диаметр ствола деревьев 16–23 см. С км 0+500 дорога опять идет по застроенной территории с. Камаевка. Ширина улицы села 30 и более метров. Дорога не освещена и знаками не обустроена.

Проезд до центральной части с. Камаевка до настоящего времени осуществлялся по дороге, отмыкающей от автомобильной дороги Лопатино — Даниловка на км 18+300. На момент изысканий проезд по мосту был невозможен. Крутизна левого берега реки за мостом достигает 20%. Проезд транзитного транспорта, в том числе и пассажирского, в осенне — весенний период становится невозможным.

Существующая интенсивность движения автотранспорта составляет 293 авт./сут. Ежегодный средний при-

рост интенсивности составляет 1,5%. На рассматриваемом участке существующей дороги за 3 года на участке км 17+800 произошло 5 ДТП, 2 ДТП на участке км 17+750, 1 ДТП на участке км 17+700 и 2 ДТП на км 17+600.

Проведя анализ существующего участка дороги, авторами предлагается спроектировать вираж, который повысит безопасность движения. Далее рассчитывается вираж. Так как при переходе на кривую автомобиль подвергается воздействию боковой центробежной силы, при этом устойчивость и безопасность движения понижаются [2, с. 103].

Как известно, центробежная сила

$$C = \frac{Qv^2}{gR},$$

где Q — вес автомобиля;

v — скорость автомобиля;

g — ускорение силы тяжести;

R — радиус кривой.

При малом радиусе (R) кривой и большой скорости движения автомобиля (v) под действием центробежной силы (C) может произойти занос автомобиля. Чтобы этого избежать проезжую часть дороги надо устраивать с уклоном в сторону центра кривой, то есть делать односкатной. Участок закругления дороги с односкатным поперечным профилем и уклоном проезжей части и обочин в сторону центра кривой называют виражом. Рассмотрим условия обеспечения устойчивости автомобиля, движущегося по кривой со скоростью v . На закруглении имеется вираж с подъемом в сторону действия центробежной силы C (рис. 2). На автомобиль действует собственный вес Q и центробежная сила C . Разложим эти силы на две составляющие и возьмем сумму проекций всех сил на наклонную поверхность виража.

Тогда, поперечная сила, сдвигающая автомобиль

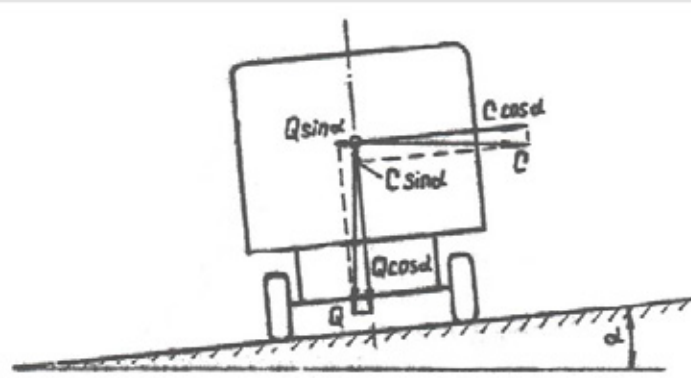


Рис. 2. Силы, действующие на автомобиль, движущийся по виражу

$$Y = C \cos \alpha - Q \sin \alpha.$$

Ввиду малости угла α

$$\sin \alpha \approx \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = i_b;$$

$$\cos \alpha \approx 1,$$

где α, i_b — поперечный уклон дороги (уклон виража).

Откуда:
$$Y = \frac{Q \vartheta^2}{gR} - Q i_b.$$

Заносу автомобиля под действием силы Y препятствует поперечная сила сцепления между колесами и дорогой

$$T_{\text{сц}} = (Q \cos \alpha + C \sin \alpha) \varphi_y,$$

где φ_y — коэффициент поперечного сцепления между колесами и поверхностью дороги.

Заноса автомобиля не будет, если

$$Y < T_{\text{сц}}$$

Решая это неравенство, получим:

$$\left(\frac{Q \vartheta^2}{gR} - Q i_b\right) \leq (Q \cos \alpha + \frac{Q \vartheta^2}{gR} \sin \alpha) \varphi_y.$$

Как и выше $\cos \alpha \approx 1; \sin \alpha \approx i_b$. Тогда, разделив почленно обе части неравенства на Q , получим:

$$\left(\frac{\vartheta^2}{gR} - i_b\right) \leq \left(1 + \frac{\vartheta^2}{gR} i_b\right) \varphi_y.$$

Решая уравнение как равенство

$$\frac{\vartheta^2}{gR} - i_b = \varphi_y + \frac{\vartheta^2}{gR} i_b \varphi_y;$$

$$\frac{\vartheta^2}{gR} - \frac{\vartheta^2}{gR} i_b \varphi_y = \varphi_y + i_b;$$

Откуда:
$$\vartheta \leq \sqrt{\frac{gR(\varphi_y + i_b)}{1 - i_b \varphi_y}};$$

$$R \geq \frac{\vartheta^2 (1 - i_b \varphi_y)}{g (\varphi_y + i_b)};$$

$$i_b \geq \frac{\frac{\vartheta^2}{gR} - \varphi_y}{1 + \frac{\vartheta^2}{gR} \varphi_y}.$$

Величину φ_y принимают в пределах (0,6–0,7) φ , где φ — полный коэффициент сцепления ($\varphi=0,6$ — сухое покрытие; $\varphi=0,4$ — мокрое покрытие; $\varphi=0,25$ — мокрое и грязное покрытие). Обычно в расчетах принимают $\varphi_y=0,25$, что соответствует мокрому и грязному покрытию.

Поперечный уклон проезжей части на вираже согласно СНиП 2.05.02–85* рекомендуется назначать в зависимости от радиуса (табл. 1).

Наибольший поперечный уклон на вираже 60‰, в отдельных случаях (в районах с редкими случаями гололеда и отсутствием снегового покрова) до 100‰. Вираз устраивают на всем протяжении круговой кривой. На участках, где поперечный профиль переходит от односкатного (виража) к двускатному, выполняют отгон виража (рис. 3).

Причем, если уклон виража не превышает поперечного уклона проезжей части, то двускатный профиль переводят в односкатный, не изменяя поперечного уклона внутренней полосы проезжей части. Поперечный же уклон внешней полосы постепенно увеличивают путем ее вращения вокруг оси дороги до тех пор, пока он не станет равным уклону внутренней полосы.

Если уклон виража должен быть больше уклона дороги, то его выполняют сначала с уклоном дороги, а затем доводят до проектного. Отгон виража следует выполнять на протяжении переходной кривой. В населенных пунктах виражи не устраивают, а ставят знаки, ограничивающие скорость движения автомобиля.

Поскольку на поворотах движение усложняется и автомобиль занимает более широкую полосу, так как его передние колеса движутся по траекториям большего ра-

Таблица 1. Поперечный уклон проезжей части на вираже в зависимости от радиуса кривых

Радиусы кривых в плане, м	2000–1000	1000–800	800–700	700–650	650–600	600 и менее
Уклон виража,‰	20–30	30–40	30–40	40–50	50–60	60

диуса, чем задние, на кривых малых радиусов делают уширение проезжей части. На дорогах общей сети, согласно [2, с. 107], уширение проезжей части необходимо предусматривать при радиусах кривых в плане 1000 м и менее (табл. 2).

Поскольку на поворотах движение усложняется и автомобиль занимает более широкую полосу, так как его передние колеса движутся по траекториям большего радиуса, чем задние, на кривых малых радиусов делают уширение проезжей части. На дорогах общей сети, согласно СНиП 2.05.02–85*, уширение проезжей части необходимо предусматривать при радиусах кривых в плане 1000 м и менее (табл. 2). Величина полного уширения зависит от радиуса кривой и длины автопоезда.

Уширение для дорог, с числом полос движения отличным от двух, берется пропорционально числу полос. Уширение делается за счет внутренней обочины одинаковым по всей длине круговой кривой. Изменение его от нуля до расчетной величины производят плавно на участках отвода уширения, которые совмещают с отгоном виража. Ширина оставшейся части внутренней обочины должна быть не менее 1,0 м. Если это условие не выполняется, необходимо уширить земляное полотно (с внутренней стороны кривой).

По формуле $i_v \geq \frac{\frac{g^2}{gR} - \varphi y}{1 + \frac{g^2}{gR} \varphi y}$

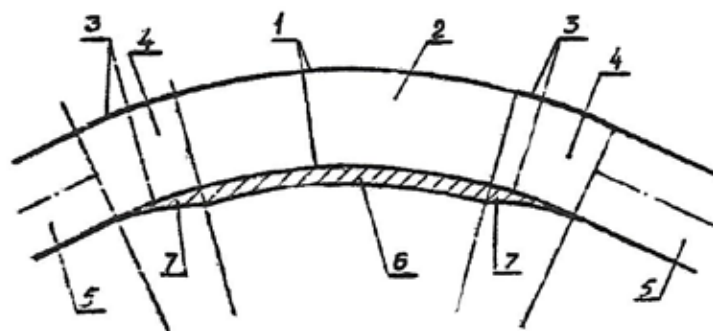


Рис. 3. Схема виража: 1 — круговые кривые; 2 — вираж (односкатный профиль); 3 — переходные кривые; 4 — отгон виража; 5 — двускатный профиль; 6 — уширение проезжей части; 7 — отвод уширения

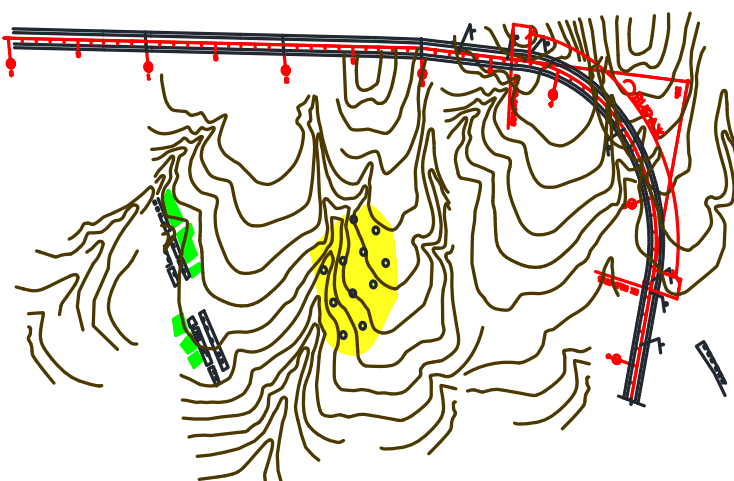


Рис. 4. Спроектированный вираж на исследуемом участке автомобильной дороги

Таблица 2

Радиусы кривых в плане, м	Величина уширения, м, для автомобилей и автопоездов с расстоянием от переднего бампера до задней оси автомобиля или автопоезда, м			
	автомобилей и менее, автопо- ездов — 11 и менее	13	15	18
1000	-	-	-	0,4
850	-	0,4	0,4	0,5
650	0,4	0,5	0,5	0,7
575	0,5	0,6	0,6	0,8
425	0,5	0,7	0,7	0,9
325	0,6	0,8	0,9	1,1
225	0,8	1,0	1,0	1,5
140	0,9	1,4	1,5	2,2
95	1,1	1,8	2,0	3,0
80	1,2	2,0	2,3	3,5
70	1,3	2,2	2,5	-
60	1,4	2,8	3,0	-
50	1,5	3,0	3,5	-
40	1,8	3,5	-	-
30	2,2	-	-	-

рассчитываем уклон виража

$$i_b \geq \frac{\frac{22,2^2}{9,81 \cdot 30} - 0,25}{1 + \frac{22,2^2}{9,81 \cdot 30}} \cdot 0,2$$

$$i_b \geq 1,04$$

$$i_b < i,$$

Поэтому, принимаем $i_b = 20\%$

Итогом является конструирование виража, которое осуществляется в несколько стадий. Сначала за 10 м до начала отгона виража внешней обочине придают уклон, равный поперечному уклону проезжей части, то есть внешнюю бровку земляного полотна поднимают на протяжении 10 м. Затем внешнюю половину дорожного полотна

вращают вокруг оси дороги до тех пор, пока не будет достигнут односкатный поперечный профиль с поперечным уклоном, равным поперечному уклону при двухскатном профиле. Если уклон виража превышает уклон внутренней обочины, то всю линию верха земляного полотна вращают вокруг его внутренней кромки до создания необходимого уклона виража. Проезжую часть уширяют с внутренней стороны кривой за счет обочины. Остающаяся часть обочины должна быть не менее 1,5 м на дорогах I и II категории и не менее 1,0 м — на дорогах III–V категории. При недостаточной ширине обочин уширяют земляное полотно. В пределах кривой уширение имеет постоянный размер, а затем постепенно уменьшается на протяжении переходных кривых.

Литература:

1. Сильянов, В. В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: учебник для студентов выс. учеб. завед./В. В. Сильянов, Э. Р. Домке — 3-е изд. стер. — М.: Изд. центр «Академия», 2009
2. Домке, Э. Р. Пути сообщения. Технологические сооружения: учебник для студентов выс. учеб. завед./Э. Р. Домке, Ю. М. Ситников, К. С. Подшивалова — М.: Изд. центр «Академия», 2013

Оценка обеспеченности транспортной инфраструктурой придорожной полосы федеральной автодороги 1Р-208 Тамбов-Пенза

Миненко Екатерина Юрьевна, кандидат технических наук, доцент;

Сафонова Наталья Алексеевна, студент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Многие проблемы современной России можно было бы решить, найдя выход в сложившейся ситуации с неразвитой сетью автодорог. Это и грунтовые дороги, которые ещё не заасфальтированы, и, по которым невозможно добраться до населенных пунктов при плохой погоде, и дороги, с выбоинами столь частыми, что её и дорогой-то можно назвать с большой натяжкой. При увеличении протяженности автомобильных дорог общего пользования на 15% автомобильный парк вырос почти на 75%, поэтому анализ обеспеченности транспортной инфраструктурой придорожной полосы автомобильной дороги актуален.

Ключевые слова: транспортная инфраструктура, придорожная полоса, придорожный сервис, многофункциональными зонами дорожного сервиса

Программой деятельности Государственной компании «Российские автомобильные дороги» на долгосрочный период (2010–2015 годы), утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2009 г. №2146-р, предусмотрено, что автомобильные дороги Государственной компании должны обустроиваться многофункциональными зонами дорожного сервиса.

Многофункциональные зоны дорожного сервиса на автомобильных дорогах Государственной компании — зоны комплексного обслуживания пользователей и размещения объектов дорожного сервиса, включающие места стоянки транспортных средств, зоны отдыха водителей и пассажиров, туалеты, заправочные станции, объекты общественного питания и торговли, мотели, автомобильные мойки, станции технического обслуживания и другие объекты, обеспечивающие наиболее полный пакет услуг для пользователей автомобильных дорог [1, с. 7]

Многофункциональные зоны дорожного сервиса автомобильных дорог Государственной компании — это зоны комплексного размещения объектов дорожного сервиса, обеспечивающие полный пакет услуг для пользователей автомобильных дорог, поэтому она должна включать в себя:

- отдельные места для стоянки легковых автомобилей, грузовых автомобилей и автобусов;
- многотопливную заправочную станцию;
- туалеты;
- зону отдыха водителей и пассажиров со специально отведенными местами для курения;
- объекты общественного питания;
- магазин;
- мотель;
- автомойку;
- станцию технического обслуживания;
- душевые,
- прачечную;

- пункт медицинской помощи;

- мусоросборники;

- телефон.

В состав объектов МФЗ могут быть включены:

- места (рынок) для розничной реализации продуктов и (или) сувениров местного промысла;

- места для стоянки легковых автомобилей с прицепами — дачами (автокемперы);

- телекоммуникационный сервис (Интернет);

- банкоматы.

МФЗ должна обеспечивать доступ инвалидов (включая инвалидов, использующих кресла-коляски и собак-проводников) к объектам в составе МФЗ. Планировочное решение МФЗ должно обеспечивать возможность реконструкции автомобильной дороги с увеличением числа полос движения без перепланировки системы проездов и переноса зданий сооружений.

Причем принимаемое проектное решение должно обеспечивать: высокое качество обслуживания потребителей; рациональное технологическое решение согласно технических требований; единое архитектурно-конструктивное и цветное решение МФЗ с учетом органического сочетания с прилегающей застройкой, планировкой и ландшафтом, а также обеспечивать экологическую безопасность окружающей природной среды.

Авторами произведена оценка обеспеченности транспортной инфраструктурой придорожной полосы федеральной автодороги 1Р-208 Тамбов-Пенза. На сегодняшний день развитие сети придорожного сервиса является одним из условий, определяющих качество экономических, торговых и культурных связей между Пензенской областью и другими регионами Российской Федерации.

Автомобильные дороги общего пользования, находящиеся в ведении Пензенской области, должны являться современными транспортными магистралями и в перспективе соответствовать общепринятым требованиям и нормам, которые обуславливают преобразование прилегающих к ним территорий за счет оборудования объ-

ектов придорожного сервиса (зон отдыха и комплексного дорожного обслуживания) на определенных участках автомобильных дорог.

Сеть автомобильных дорог Пензенской области составляет более 9,5 тысячи километров. Общая протяженность автомобильных дорог с твердым покрытием превышает более 6,5 тысячи километров. Важнейшими из них являются: Москва — Челябинск, Волгоград — Нижний Новгород, Пенза — Тамбов.

Существующие участки дорог области в основном обустроены автозаправочными станциями, пунктами питания, пунктами торговли и автобусными остановками. Объекты транспортной инфраструктуры придорожной полосы преимущественно размещены вдоль федеральных дорог: Москва — Челябинск, вблизи крупных населенных пунктов (Кузнецк, Городище, Пенза, Мокшан, Нижний Ломов, Спасск), Пенза — Тамбов (подъезд к г. Каменке), Саратов — Нижний Новгород (подъезд к р. п. Исса), т.е. располагаются в местах примыкания к федеральным дорогам и на въездах и выездах из районных центров [2, с. 3].

Состав комплексов (объектов придорожного сервиса), с учетом сложившихся условий, предполагаемой интенсивности движения по основным направлениям, может включать в себя:

- автозаправочные станции (АЗС и ГЗС), автосервис (станции техобслуживания, диагностика и мойка автомобилей), автостоянки, магазины (мини-магазины) автозапчастей и сопутствующих товаров;
- придорожные гостиницы (мотели), пункты торговли, пункты питания, оборудованные места отдыха, рестораны (кафе);
- пункты аптечные и медицинской помощи.

Необходимость придорожного сервиса определяется функциональным назначением объектов, являющихся цепью транспортных передвижений, а также потребностями непосредственных участников движения. В таблице 1 рассмотрена структура формирования объектов придорожного сервиса.

Авторами был проанализирован участок дороги 1Р-208 Тамбов-Пенза с 71 км по 115 км (г. Каменка-г. Белинский).

Таблица 1. Структура формирования объектов придорожного сервиса на территории Пензенской области 2005–2010 годах

	2005 г.	2010 г.	Прирост	
			единицы	%
Предприятия общественного питания	84	130	46	154,7%
Предприятия торговли	120	325	201	в 2,7 раза
Предприятия автосервиса	31	49	18	в 1,6 раза
Автозаправочные станции (АЗС и АГЗС)	86	114	22	79,6%
Комплексы придорожного сервиса (магазины, стоянки, СТО, АЗС, общепит, гостиницы)	29	53	22	в 1,8 раза
ВСЕГО	350	671	321	в 1,9 раза

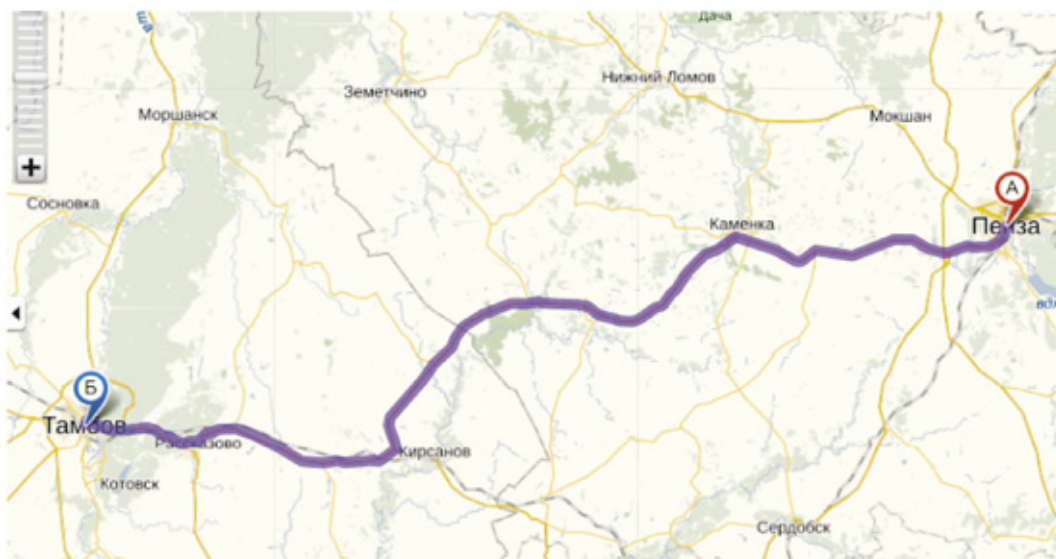


Рис. 1. Исследуемый участок автодороги 1Р-208 Тамбов-Пенза с 71 км по 115 км

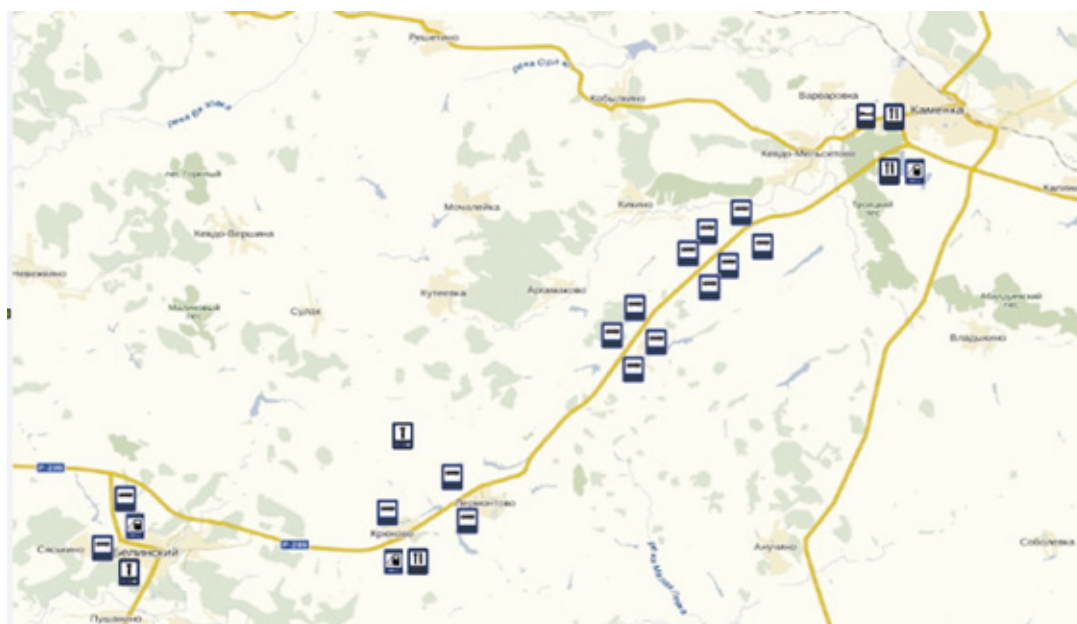


Рис. 2. Оценка обеспеченности транспортной инфраструктурой придорожной полосы федеральной автодороги 1Р-208 Тамбов-Пенза

В г. Каменка присутствует достаточно широкая инфраструктура (СТО, АЗС, отель, кафе). Далее с 74 км по 91 км по обе стороны от трассы присутствуют пять автобусных остановок Ключище, Кевда, Кикино, Аргамаково, Калдусы, на 97 км автодороги 1Р-208 Тамбов-Пенза находится кафе и стоянка представленные на рис. 2.

Далее на 99 км близ с. Лермонтово находится в отдалении СТО — местного обслуживания. Далее на 106 км автодороги находится автобусная остановка (Крюково), 108 км (Языково) и далее только на 115 км. (Белинский).

Анализируя все выше сказанное, на участке в 44 км оборудованное место (СТО, АЗС, отель, кафе) — г. Ка-

менка, 99 км — СТО, 107 км — АЗС и кафе. Поэтому на 91 км трассы авторы предлагают обустройство придорожной полосы около с. Калдусы, т. к жителем этого села и рядом находящихся сел долго ехать до г. Каменки (рис. 3).

Предлагаемое обустройство исследуемого участка федеральной автодороги 1Р-208 Тамбов-Пенза разработано с учетом существующей схемы организации движения и установки дорожных знаков, сигнальных столбиков, нанесения горизонтальной дорожной разметки и установки барьерного ограждения в соответствии с ГОСТ Р 52289–04 «Технические средства организации дорожного движения».

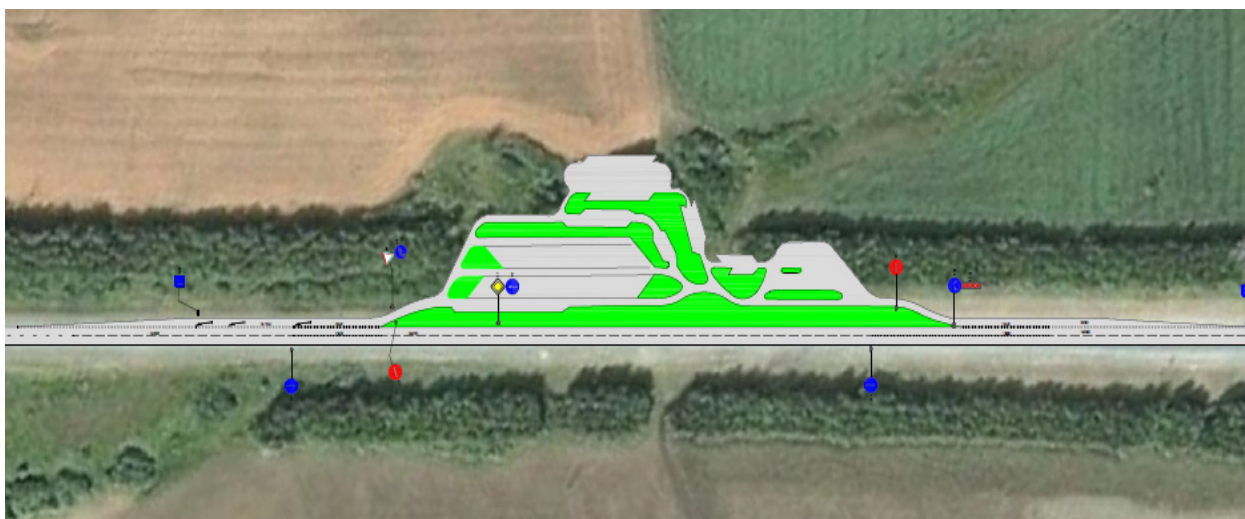


Рис. 3. Предлагаемое обустройство исследуемого участка федеральной автодороги 1Р-208 Тамбов-Пенза

Литература:

1. Регламент размещения многофункциональных зон дорожного сервиса на автомобильных дорогах Государственной компании «Российские автомобильные дороги». — М.: Издательство Инфрмавтодора, 2010
2. Концепция создания и развития объектов придорожного сервиса в полосе отвода автомобильных дорог общего пользования Пензенской области на 2011–2015 годы, — Пенза, 2010
3. ГОСТ Р 52289–2004 «Технические средства организации дорожного движения». — М.: Изд-во стандартов, 2004

Основные направления исследований в области извлечения тяжёлых металлов из техногенных вод методом ионной флотации

Родимова Татьяна Дмитриевна, студент;
Стребкова Людмила Александровна, студент;
Борисова Екатерина Сергеевна, студент

Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова

Сформированные в результате добычи и переработки бедно-колчеданных руд техногенные воды по качественно-количественным показателям сопоставимы с забалансовыми рудами и образуют техногенное гидроминеральное сырьё. Вовлечение такого сырья в переработку связано с необходимостью совершенствования уже имеющихся и с разработкой новых инновационных комплексных технологий, обеспечивающих максимальное извлечение ценных компонентов и предотвращение сброса токсичных стоков в природные водоемы. Учитывая, что техногенные воды отличаются многокомпонентностью состава, различным фазовым состоянием и токсичностью соединений, соотношением и концентрацией загрязняющих примесей, понятно, что их качественная переработка может быть достигнута только с применением комплекса методов, включающих процессы флотации, сорбции, экстракции, коагуляции и флокуляции. Одним из наиболее перспективных для извлечения металлов из техногенных вод является метод ионной флотации.

Разработке физико-химических основ очистки промышленных сточных вод от истинно- и коллоидно-растворённых веществ и созданию новых реагентов для ионной флотации посвящены работы Л.Д. Скрылёва и его учеников. В работах [1, с. 24; 2, с. 386; 3, с. 458; 4, с. 14; 5, с. 2574] показана принципиальная возможность извлечения ионов тяжелых металлов (*Pb*, *Hg*, *Cr*, *Ni*, *Cu*, *Zn* и др.) из техногенных вод путем их осаждения ферроцианидом калия с последующей пенной сепарацией осадка желатином. Те же авторы предложили способ выделения Zn^{2+} из технологических растворов предварительным осаждением цинка в виде сульфида с последующей флотацией в присутствии хлористого лауриламмония. Кроме того, в работах Л.Д. Скрылёва, Т.Ф. Полтораниной, К.А. Разумова [6, с. 78; 7, с. 11; 8, с. 14], Н.Н. Тетериной [9, с. 6], R. E. Baarson и C. L. Ray [10, с. 656] показано, что, используя в качестве собирателя натриевые и калиевые мыла синтетических жирных кислот

фракции C_{10-26} , методом ионной флотации можно извлекать *Cu*, *Fe*, *Zn*, *Ni*, *Co* и другие металлы. Так флотационная очистка растворов, содержащих от 80 до 380 мг/дм³ ионов Ni^{2+} , с помощью лаурата калия снижает их концентрацию в среднем до 0,4 мг/дм³ [11, с. 79].

Т.Ф. Полторанина, К.А. Разумов разработали схему, включающую флотацию железа при pH 2,2–2,6 и последующую флотацию цветных металлов в коллективный концентрат при повышении pH до 8,5–9,0 с регенерацией высокомолекулярных карбоновых кислот.

Е. Mahne и N. Pinfold [12, с. 140] продемонстрировали принципиальную возможность извлечения *Cu*, *Fe*, *Zn*, *Pb*, *Mn*, *Ni*, *Co*, *Pd*, *V*, *Ce*, *Cr*, *Se* из разбавленных (10^{-5} – 10^{-4} М) растворов методами флотации гидрофобных осадков. В качестве осадителей использовались диаминобензин, гидроксихинолин, α -нитрозо- β -нафтол, купферрон, оксимы, в качестве собирателей — хлористый додецилпиридиний и Arquad 2HT ($R(CH_3)_2NCl$, где *R* — длинноцепочечный алкил).

В работах [8, с. 14; 9, с. 6] предложены схемы глубокой переработки технологических растворов, содержащих ионы тяжелых металлов Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , включающие стадию ионной флотации.

В работе Н.Н. Тетериной и С.М. Адеева исследованы флотационные свойства собирателя ЭМКО, представляющего собой смесь натриевых мыл карбоновых кислот с длиной радикала более C_{21} [9, с. 7]. Установлено, что при извлечении ионов Cu^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} , после предварительного перевода их в нерастворимые гидроксиды, эффективнее применять ЭМКО совместно с пенообразователем НК-82. Степень извлечения металлов в пенную фракцию при оптимальных условиях процесса флотации составляет для Fe^{3+} — 99,5%; Cu^{2+} — 93,3%, Ni^{2+} — 97,9%, Cr^{3+} — 100%.

R. E Baarson. и C. L. Ray [10, с. 656; 13, с. 254] сообщают о возможности концентрирования и разделения ме-

таллов (*Cu, Fe, Zn, Mg, Ni, Co, Cr*) путем ионной флотации предварительно осажденных гидроксидов этих металлов. Установлено, что гидроксид меди (II) может быть сфлотируван как анионными, так и катионными собирателями. Наиболее эффективными оказались жирные кислоты, алифатические первичные амины и диамины, содержащие 12–14 атомов углерода в углеводородной цепи. Во всех случаях оптимальным для флотации гидроксида меди (II) является интервал pH $7 \div 8$. Авторы подчеркивают, что селективное выделение металлов возможно путем ступенчатого повышения pH.

А. Рубин с сотрудниками [14, с. 298; 15, с. 357; 16, с. 1133] изучали раздельное извлечение *Cu* и *Fe* из растворов методами, сочетающими флотацию растворенных в растворе ионов и флотацию предварительно осажденных гидроксидов. Было установлено, что флотация гидроксидов имеет ряд преимуществ: меньший расход собирателя, высокую скорость процесса, низкую чувствительность к присутствующим электролитам и др.

Распространен метод удаления ионов тяжелых металлов из сточных вод сульфгидрильными собирателями, такими, как ксантогенаты, дитиофосфаты, тиокарбаматы, диалкилдитиофосфаты, первичные алифатические амины, алкиларилсульфофосфаты, додецилбензосульфат натрия [17, с. 975; 6, с. 78].

В Пражском институте исследования руд был разработан процесс флотации гидрофобных осадков, позволяющий концентрировать и разделять находящиеся в растворе металлы [18, с. 45]. В качестве собирателей использовали органические вещества, имеющие полярно-аполярную структуру молекул (алкилксантогенаты, алкил- и арилдитиокарбаматы, дитизон), осаждающие катионы большинства цветных и редких металлов в виде труднорастворимых соединений ($PP = 10^{-6} \div 10^{-40}$), обладающих высокой гидрофобностью.

T. Sasaki [19, с. 273] изучал возможность применения метилового и этилового ксантогенатов для извлечения *Co* и *Ni* из растворов выщелачивания пиритного огарка. После цементации железом, раствор, содержащий 0,25 г/дм³ *Co*, 6,50 г/дм³ *Fe*, 3,00 г/дм³ *Zn*,

0,17 г/дм³ *Al* и 0,22 г/дм³ *Mn*, перемешивался с метиловым ксантогенатом при pH 4,5. Извлечение кобальта составило 90%. Разделение *Co* и *Ni* осуществлялось при обработке концентрата раствором аммиака, который селективно растворяет ксантогенат никеля.

Д.Б. Холикулов, Н.М. Рахмонов, С.И. Кодиров и др. рекомендуют использовать в качестве собирателей катионов меди и молибдена амиловый, этиловый, изопропиловый ксантогенаты, диэтилдитиокарбонат натрия [20, с. 34; 21, с. 187]. Достоинством перечисленных собирателей является образование «сухого» сублата, сочетающееся с высоким извлечением *Cu* и *Mo*. Установлено, что извлечение *Cu, Mo, Fe* и *Zn* из раствора происходит в определенном интервале pH. При pH $\sim 5,0-5,5$ флотируется *Cu* и *Fe*, при pH $\sim 3,0-3,5$ — *Mo*.

В работе [22, с. 285] для флотации катионов рекомендуется применение собирателей анионного типа: например, *R-COO*⁻ (карбоксилат), *R-SO*₃⁻ (сульфонат), *R-OSO*₃⁻ (сульфат), *R-C*₆*H*₅-*SO*₃⁻ (бензосульфат), *R-OPO*₃²⁻ (фосфат), *R-CHSO*₃*COO*⁻ (сульфокарбоксилат), где *R* — углеводородный радикал *C*_{*n*}*H*_{*2n+1*} (*n*=10–16).

В работе Н.Н. Воронина [23, с. 22] подробно изучены закономерности ионной флотации меди и цинка с помощью раствора нафтеновой кислоты в керосине.

Специалисты института технической химии Уральского отделения РАН (г. Пермь) занимаются разработкой комплексобразующих реагентов для ионной флотации *Cu*²⁺, *Ni*²⁺, *Co*²⁺ и *Fe*³⁺. Так, А.В. Радусhev и Л.Г. Чеканова с сотрудниками [24, с. 75] установили возможность применения 1,2-диацилгидразинов (ДАГ) в качестве собирателей ионов *Cu*²⁺, *Ni*²⁺, *Co*²⁺ и *Fe*³⁺. В работах Г.И. Зубаревой, С.М. Адеева, А.В. Радусheva [25, с. 46; 26, с. 13] исследованы закономерности извлечения ионов тяжелых металлов из кислых сточных вод флотацией с применением в качестве собирателя гидразина октановой кислоты. А в работе [27, с. 51] рассмотрено использование ДАГ, 1,2-добензил- и 1-бензоил-2-ацетилгидразинов как реагентов-собирателей.

Наиболее перспективными для ионной флотации считаются хелатообразующие реагенты: они селективны, обеспечивают глубокую очистку растворов в одну ступень, при правильной дозировке не требуют дополнительной очистки. Известен способ извлечения металлов в виде хелатов с водорастворимым гидразидом полиакриловой кислоты.

Для извлечения из водных растворов ионов *Mn*²⁺ методом ионной флотации в качестве собирателя используется анионное ПАВ — сульфанола. При этом максимальные показатели извлечения ионов *Mn*²⁺ наблюдаются при pH > 2,0. Концентрирование *Mn(II)* в пену происходит в виде соли состава *R*₂*Mn* по реакции [28, с. 1428] (где *R* — анион [*C*_{*n*}*H*_{*2n+1*}*C*₆*H*₄*SO*₃]⁻): *MnSO*₄ + 2*RNa* = *R*₂*Mn* + *Na*₂*SO*₄.

Ограниченность применения ионной флотации для извлечения ионов *Mn*²⁺ из техногенных растворов объясняется токсичностью флотореагентов. Кроме того, данный метод эффективен только для низкоконцентрированных растворов (*C*_{*Mn*²⁺} — до 5 мг/дм³).

В работах Н.Л. Медяник, Х.Я. Гиревой, И.А. Варламовой, Н.Л. Калугиной для извлечения меди и цинка из техногенных вод рекомендуется комплексный флотореагент, в состав которого входят моно- и диэтиленгликоль-терефталат, терефталевая кислота [29, с. 87]. Кроме того, в работах данных авторов рассмотрена возможность селективного извлечения металлов из сточных вод методом известкования [30, с. 191].

На основе вышесказанного можно сделать следующие выводы: 1) Ионная флотация является технологичным процессом переработки гидроминеральных месторождений. 2) В настоящее время развитие метода ионной флотации для извлечения тяжелых металлов из техногенных вод горных предприятий тормозится тем, что ас-

сортимент реагентов ограничен солями высших жирных кислот, сульфгидрильными и азотсодержащими соединениями, которые, являются дорогостоящими веществами с низкими значениями ПДК. Методы регенерации этих ре-

агентов практически не разработаны. 3) Процесс ионной флотации может быть применен для разделения металлов. 4) Флотация хорошо сочетается с другими способами извлечения тяжелых металлов.

Литература:

1. Скрылев, Л. Д., Сазонова В. Ф. О расчете оптимальных значений рН для ионной флотации поливалентных металлов // Изв. Вузов. Цв. металлургия. 1980. №3. с. 24–27.
2. Скрылев, Л. Д., Сазонова В. Ф., Скрылева Т. Л. Влияние растворимости сублата на эффективность флотационного выделения ионов тяжелых металлов, собранных с помощью жирнокислотных собирателей // Химия и технология воды. 1992. Т. 14. №5. с. 386–389.
3. Скрылев, Л. Д., Аманов К. Б. Некоторые закономерности флотационного выделения ионов тяжелых металлов с помощью лаурата калия // Коллоидн. журн. 1972. Т. 34. №3. с. 458–461.
4. Скрылев, Л. Д., Лопатенко Л. М., Синькова Л. А. Калиевые соли жирных кислот как флотационные собиратели ионов свинца // Химия и технология воды. 1985. Т. 7. №3. с. 14–18.
5. Скрылев, Л. Д., Невинский А. Ф., Пурин А. Н. О влиянии электролитов на кинетику флотационного выделения веществ коллоидной и полукolloидной степени дисперсности // Журн. прикл. химии. 1985. Т. 58. №11. с. 2574–2578.
6. Полторанина, Т. Ф. Выделение тяжелых цветных металлов из разбавленных растворов ионной флотацией // Записки ЛГИ. Т. 42. Вып. 3. 1963. с. 78–84.
7. Полторанина, Т. Ф., Иллювиева Г. В., Разумов К. А. Выделение металлов из разбавленных растворов методом ионной флотации // Обогащение руд. 1964. №3. с. 11–18.
8. Разумов, К. А., Иллювиева Г. В., Полторанина Т. Ф. Селективная флотация железа из растворов // Обогащение руд. 1965. №6. с. 14–18.
9. Способ очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов/Тетерина Н. Н.,
10. Адеев, С. М., Зубарева Г. И., Радусhev А. В. // Изв. вузов. Цв. металлургия. 1997. №3. с. 6–10.
11. Vaarson, R. E., Ray C. L. Precipitate flotation, a new metal extraction and concentration technique // Hydrometallurgy. N. Y.-London: Cordon and Breach Sci. Publ, 1964. P. 656–677.
12. Ласкорин, Б. Н., Гольман А. М., Гвоздева Н. Е. Извлечение молибдена, меди и цинка из промышленных растворов методом ионной флотации и флотации осадков // Физ.-технологич. горные проблемы. 1972. с. 79–85.
13. Mahne, E. J., Pinfold N. A. Precipitate flotation. II. Separation of palladium from platinum, gold, silver, iron, cobalt and nickel // J. Appl. Chem. 1968. V. 18. №5. P. 140–142.
14. Баарсон, Р. Е. Осадительная флотация — новый метод извлечения и концентрирования металлов. // Гидрометаллургия. М.: Металлургия, 1971. 332 с.
15. Rubin, A. I., Johnson J. D. Effect of pH on ion and precipitate flotation systems // Analyt. Chem. 1967. V. 39. №3. P. 298–302.
16. Rubin, A. J., Lapp W. L. Foam fractionation and precipitate flotation of zinc (II) // Separ. Sci. 1971. V. 6. №3. P. 357–363.
17. Rubin, A. J., Lapp W. L. Foam separation of lead (II) with laurylsulfate // Analyt. Chem., 1969. V. 41. №8. P. 1133–1135.
18. Walkowiak, W., Bhattacharyya D., Grieves R. B. Selektive foam fractionation of chloride complexes of zinc (II), cadmium (II), mercury (II), gold (III) // Anal. Chem. 1976. V. 48. P. 975–979.
19. Cap, M., Mazacek I. Pouziti flotace hydrofobnich srazeni kovu v hydrometalurgii // Rudy. 1960. R. 8. №2. P. 45–49.
20. Sasaki, T. Separation of particles, molecules and ions by foaming. Studies in Japan // Absorptive bubble separation techniques. N. Y.-London: Acad. Press, 1972. P. 273–278.
21. Исследование гидродинамических характеристик колонной флотомашин/Стрижко В. С., Шехерев Д. В., Абрютин Д. В., Бернацкая А. В. // Изв. вузов. Цв. металлургия 2000. №1. с. 34–35.
22. Холикулов, Д. Б., Рахмонов Н. М., Кодиров С. И. Возможности применения ионной флотации для извлечения металлов из различных растворов // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Матер. междунар. научн.-техн. конф. Екатеринбург: Форт-Диалог-Исеть, 2007. с. 187–193.
23. Сазонова, В. Ф. Физико-химические основы процесса флотационного выделения и разделения ионов тяжелых металлов: дис. ... докт. хим. наук. Одесса, 1995. 469 с.
24. Воронин, Н. Н. Развитие теории и практики использования флотационных процессов извлечения растворенных веществ в гидрометаллургии и очистке сточных вод: автореф. дис. ... докт. техн. наук. СПб: С-Петербург. горн. ин-т им. Г. В. Плеханова, 1994. 47 с.

25. Радушев, А.В., Чеканова Л.Г., Гусев В.Ю. Гидразиды и 1,2-диацилгидразиды. Получение, свойства и применение в процессах концентрирования металлов. Екатеринбург: Уральский центр академического обслуживания, 2010. 140 с.
26. Зубарева, Г.И. Выбор высокоэффективных собирателей различных классов для флотационного извлечения ионов металлов из промышленных сточных вод // Хим. промышленность. 2001. №10. с. 46–48.
27. Зубарева, Г.И. Технологические схемы глубокой очистки гальваносточков от ионов тяжелых металлов с применением высокоэффективных собирателей // Хим. промышленность. 2002. №8. С. 13–16.
28. Чеканова, Л.Г. Равновесия в растворах при комплексообразовании симметричных 1,2-диацилгидразинов с ионами меди (II) и некоторых d-элементов: дис. ... канд. хим. наук. Пермь: ИТХ УрО РАН, 2002. 143 с.
29. Панов, В.А. Особенности процесса очистки воды методом электрофлотации // Электрохимия. 1974. Т. 10. №9. с. 1427–1431.
30. Прогнозирование флотационной активности реагентов для извлечения цинка и меди (II) по квантово-химическим дескрипторам/Медяник Н.Л., Варламова И.А., Калугина Н.Л., Строкань А.М. // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2011. №3. с. 83–89.
31. Медяник, Н.Л., Калугина Н.Л., Варламова И.А. Изучение возможности селективного извлечения меди методом известкования из сточных вод горных предприятий гидрометаллургического комплекса // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. Т. 42. №2. с. 188–193.

Изучение хранимостпособности рассольного сыра с растительными компонентами

Шель Иван Андреевич, магистрант;

Прохасько Любовь Савельевна, кандидат технических наук, доцент
Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) (г. Челябинск)

Асенова Бахыткуль Кажкеновна, кандидат технических наук, профессор
Государственный университет имени Шакарима (г. Семей, Казахстан)

В данной статье проведен анализ хранимостпособности рассольного сыра с растительными компонентами. Для оценки данного параметра были изучены органолептические, микробиологические показатели, а также было проведено исследование изменения массовой доли влаги в процессе хранения.

Ключевые слова: *рассольный сыр, органолептические показатели, микробиологический контроль, массовая доля влаги, хранение.*

Актуальным направлением в развитии молочной отрасли является создание новых биологически ценных белковых продуктов, в том числе молочных. Молочным продуктам отводится первостепенная роль при организации правильного питания. [1–9]. Анализ рынка белковых продуктов питания показывает возрастающий интерес потребителя к рассольным сырам, как наиболее доступным для всех слоев населения. Пищевая ценность рассольного сыра определяется повышенной концентрацией белков, липидов, минеральных солей, витаминов и других веществ. Рассольные сыры являются важным источником биологически ценного белка. Усвояемость белков сыра составляет 95%, жира — 96% и углеводов — 97%. Данная группа сыров представляет наибольший интерес для производителей ввиду того, что они имеют небольшой срок созревания, требуют меньше сырья для изготовления, широкие возможности рецептуры, что позволяет совершенствовать технологию их изготовления [10–15].

Включение в их состав правильно подобранных растительных компонентов повысит пищевую ценность и улучшит биологические и технологические показатели рассольных

сыров. Так был разработан образец рассольного сыра с растительными компонентами, включающий в себя бобы люпина, сушеный инжир, базилик и перечную мяту [16–22].

В результате исследований, по возрастающей способности синтезировать и накапливать белок люпин находится на втором месте после сои, благодаря чему его можно рассматривать как перспективный источник в производстве функциональных продуктов питания. Исследования функционально — технологических свойств люпиновой муки, полученной методом размола цельных семян люпина, показали, что она обладает более высокой эмульсионной стабильностью и более низкой критической концентрацией гелеобразования в сравнении с обрушенными семенами. Исследования показали, что при добавлении люпиновой муки в пищевые системы рН практически не изменяется, так как рН самого люпина нейтрален.

Основной задачей, решаемой при разработке нового продукта, является определение срока годности готового продукта. Для этого готовый продукт хранили при температуре $8 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение 7 суток. В качестве образца сравнения исследовали контрольный образец без использо-

Таблица 1. Изменение органолептических свойств брынзы при хранении

Наименование продукта	Срок годности, ч	Органолептические показатели			
		Вкус и запах	Консистенция	Внешний вид	Цвет теста
Брынза с растительными компонентами (мука из бобов люпина, базилик, мята перечная)	1	Умеренно выраженный сырный, соленый, с ароматом базилика и мяты и вкусом инжира	Однородная, с равномерным распределением компонентов, умеренно плотная	Корки не имеет, поверхность ровная со следами серпянки, с равномерным распределением по массе компонентов	Беловато-желтый
	72				
	120				
	168	Сырный, соленый, с привкусом горечи, с ароматом трав	Однородная, с равномерным распределением компонентов, плотная	Имеет корку, поверхность ровная с распределением по массе компонентов	Желтый
	192				

вания в составе растительных компонентов. Критерием оценки служили органолептические показатели (табл. 1), количество санитарно-показательных микроорганизмов и массовая доля влаги.

Установлено, что в течение всего срока хранения продукты по микробиологическим показателям соответствовали требованиям Технического регламента Таможенного союза 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции»: БГКП отсутствовали в 0,001 г; *S. aureus* отсутствовал в 0,001 г продукта; патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы отсутствовали в 25 г продукта. Органолептические показатели в течение 7 суток существенно не изменялись. Также было исследовано изменение массовой доли влаги в процессе хранения. Замеры проводили через 1 ч после выработки, а также через 72, 120, 168 и 192 ч. Следует особо отметить, что растительные компоненты способствовали сохранению консистенции продукта к концу срока годности.

При проведении органолептической оценки исследуемого продукта в конце предполагаемого срока годности и аналогичной свежевываротанной продукции отмечалось незначительное изменение консистенции продукта, что в целом не снижало органолептической оценки его качества. Продукт сохранял первоначальный вкус и запах. Консистенция продукта оставалась однородной, без отделения растительных компонентов, которые были равномерно распределены по всему объему.

В исследуемых образцах продукта было проведено исследование изменение массовой доли влаги в процессе хранения (рис. 1). При проведении исследований было выявлено, что в процессе хранения исследуемых образцов массовая доля влаги значительно не изменялась, соответствовала нормативным показателям. Было отмечено, что к концу срока хранения выявлено значительное снижение массовой доли влаги, что характеризует снижение органолептических свойств у продукта.

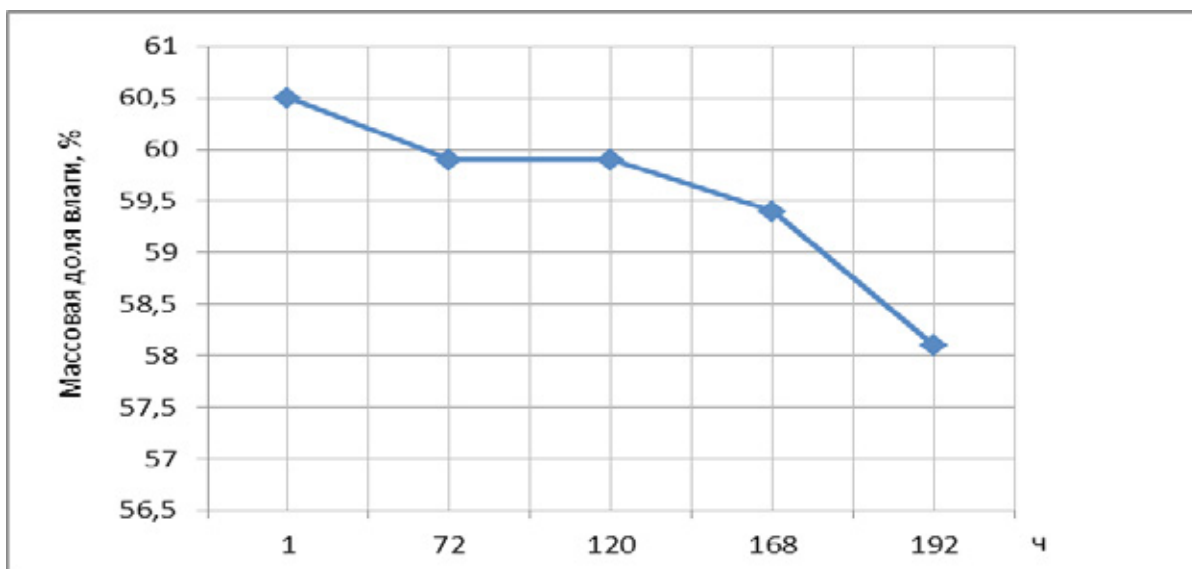


Рис. 1. Изменение массовой доли влаги в процессе хранения

На основании анализа экспериментальных данных по совокупности изучаемых показателей установлен допустимый срок годности брынзы — 7 суток при температуре хранения $8 \pm 2^\circ\text{C}$. Установлено, что продукт обладает

улучшенными функциональными свойствами, а также имеет хорошие микробиологические и органолептические показатели, массовая доля влаги в течение всего срока хранения соответствовала нормативным показателям.

Литература:

1. Уварова, В. М., Мазаев А. Н., Шель И. А., Попова М. А., Шкаева Н. А. Микробиологический контроль молочной продукции. Молодой ученый. 2014. № 12 (71). с. 110–112.
2. Асенова, Б. К., Ребезов М. Б., Топурия Г. М., Топурия Л. Ю., Смольникова Ф. Х. Контроль качества молока и молочных продуктов. Алматы: Халықаралық жазылым агентігі, 2013. 212 с.
3. Ребезов, М. Б., Мирошникова Е. П., Альхамова Г. К., Наумова Н. Л., Хайруллин М. Ф., Залилов Р. В., Зинина О. В. Методы исследований свойств сырья и молочных продуктов. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2011. 58 с.
4. Альхамова, Г. К., Мазаев А. Н., Шель И. А., Прохасько Л. С., Попова М. А., Уварова В. М. Функциональные ингредиенты в молочных продуктах. Молодой ученый. 2014. № 12 (71). с. 65–67.
5. Альхамова, Г. К., Мазаев А. Н., Ребезов Я. М., Шель И. А., Зинина О. В. Продукты функционального назначения. Молодой ученый. 2014. № 12 (71). с. 110–112.
6. Остроумов, Л. А., Попов А. М., Постолова А. М. Функциональные продукты на основе молока и его производных. Молочная промышленность. 2003. № 9. с. 21–22.
7. Асенова, Б. К., Амирханов К. Ж., Ребезов М. Б. Технология производства функциональных продуктов питания для экологически неблагоприятных регионов. Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства. 2013. № 1. с. 313–316.
8. Зобкова, З. С. Цельномолочные продукты, обогащённые функциональными ингредиентами и пищевыми добавками. Молочная промышленность. 2007. № 10. с. 75–76.
9. Догарева, Н. Г., Стадникова С. В., Ребезов М. Б. Создание новых видов продуктов из сырья животного происхождения и безотходных технологий их производства. В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием). 2013. с. 945–953.
10. Наумова, Н. Л., Ребезов М. Б., Варганова Е. Я. Функциональные продукты. Спрос и предложение. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2012. 78 с.
11. Боган, В. И., Ребезов М. Б., Гайсина А. Р., Максимюк Н. Н., Асенова Б. К. Совершенствование методов контроля качества продовольственного сырья и пищевой продукции. Молодой ученый. 2013. № 10. с. 101–105.
12. Ребезов, М. Б., Наумова Н. Л., Альхамова Г. К., Кожевникова Е. Ю., Сорокин А. В. Конъюнктура предложения обогащенных молочных продуктов на примере Челябинска. Молочная промышленность. 2011. № 8. с. 38–39.
13. Ребезов, М. Б., Альхамова Г. К., Наумова Н. Л., Иоголевич Е. В. Экономическая оценка инвестиционных перспектив инновационного проекта (на примере проекта по выпуску новых видов творожных продуктов). Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2012. № 1. с. 114–118.
14. Губер, Н. Б., Ребезов М. Б., Топурия Г. М. Инструменты снижения рисков при реализации инновационных проектов в сфере продуктов питания животного происхождения. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2014. Т. 8. № 1. с. 156–159.
15. Кондратьева, А. В., Ребезов М. Б., Мазаев А. Н., Богатова О. В. Управление качеством на молокоперерабатывающих предприятиях. Молодой ученый. 2014. № 11. с. 55–59.
16. Попова, М. А., Ребезов М. Б., Гаязова А. О., Лукиных С. В. Оценка качества и безопасности разработанного йогурта. Молодой ученый. 2014. № 10. с. 199–202.
17. Попова, М. А., Ребезов М. Б., Ахмедьярова Р. А., Косолапова А. С., Паульс Е. А. Перспективные направления производства кисломолочных продуктов, в частности йогуртов. Молодой ученый. 2014. № 9 (68). с. 196–200.
18. Альхамова, Г. К., Ребезов М. Б., Амерханов И. М., Мазаев А. Н. Анализ потребительских предпочтений при выборе творожных продуктов. Молодой ученый. 2013. № 3. с. 13–16.
19. Ребезов, М. Б., Альхамова Г. К., Наумова Н. Л. Сроки хранения национального творожного продукта. Молочная промышленность. 2011. № 11. с. 66–67.
20. Альхамова, Г. К., Максимюк Н. Н., Наумова Н. Л., Амерханов И. М., Зинина О. В., Залилов Р. В., Ребезов М. Б. Новые творожные изделия с функциональными свойствами. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2011. 94 с.
21. Выдрина, Н. В., Губер Н. Б., Ковтун М. А., Паульс Е. А. Изучение потребительских предпочтений сычужных сыров г. Челябинска. Молодой ученый. 2014. № 9 (68). с. 123–126.
22. Выдрина, Н. В., Губер Н. Б. Тенденции развития новых технологий производства сыра. Молодой ученый. 2014. № 10 (69). с. 130–133.

Органолептическая оценка рассольного сыра с растительными компонентами

Шель Иван Андреевич, магистрант;

Прохасько Любовь Савельевна, кандидат технических наук, доцент;
Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) (г. Челябинск)

Асенова Бахыткуль Кажкеновна, кандидат технических наук, профессор
Государственный университет имени Шакарима (г. Семей, Казахстан)

В статье приведены результаты определения органолептических показателей рассольного сыра с растительными компонентами. В рецептуре рассольного сыра в качестве растительного сырья использовались бобы люпина, сушеный инжир, базилик и мята перечная.

Ключевые слова: рассольный сыр, органолептические показатели, растительные компоненты.

В современном мире проблема питания является одной из важнейших социальных проблем. Согласно теории сбалансированного питания, в рационе человека должны содержаться не только белки, жиры, углеводы в необходимом количестве, но и такие вещества, как незаменимые аминокислоты, витамины, минеральные соли, в определенном необходимом для нормальной жизнедеятельности организма соотношении [1–6].

Уровень питания человечества является неудовлетворительным как в количественном, так и в качественном отношении. Качественный аспект питания связан с дефицитом в рационе: полноценного белка, полиненасыщенных жирных кислот, витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон. В соответствии с изменениями структуры питания населения страны и существующим дефицитом белка особое внимание уделяется созданию новых биологически ценных белковых продуктов, в том числе молочных [7–9].

Молочным продуктам отводится первостепенная роль при организации правильного питания. Сыры являются важным источником биологически ценного белка, жира, усвояемого кальция, фосфора, витаминов. Его высокая биологическая ценность, широкая гамма вкусовых оттенков и способность длительно храниться привлекает повсеместное внимание потребителей [10, 11].

Следует отметить, что в последнее десятилетие получил научное подтверждение тот факт, что образующиеся при созревании сыра короткие цепочки из аминокислот — олигопептиды — имеют такую же биологическую активность, как витамины и гормоны. Пищевая ценность рассольных сыров определяется высоким содержанием белков и жиров. Включение в их состав растительных компонентов повысит пищевую ценность и улучшит биологические и технологические показатели рассольных сыров [12–15].

Анализ рынка белковых продуктов питания показывает возрастающий интерес потребителя к рассольным сырам, как наиболее доступным для всех слоев населения. Поэтому в качестве объекта исследования был выбран рассольный сыр «Брынза», который имеет короткий срок созревания [16–22].

Целью работы являлось исследование органолептических показателей при использовании растительных компонентов в производстве рассольных сыров.

В соответствии с поставленной целью можно выделить следующие задачи: изготовить опытные образцы рассольных сыров с введением в их состав растительных компонентов; определить органолептические показатели (внешний вид, вкус и запах, консистенцию, цвет теста и качество рассола) опытных образцов сыров описательным методом по сравнению с контрольным образцом, изготовленным по стандартной рецептуре; охарактеризовать профильным методом консистенцию опытных образцов сыров с растительными компонентами.

Растительные компоненты, используемые в данном исследовании, были подобраны таким образом, чтобы содержание белка было достаточно высоким, а также чтобы в ней содержались необходимые витамины, макро- и микроэлементы (табл. 1).

Проведенные исследования установили, что опытные образцы сыров с внесенными компонентами обладают умеренно выраженным соленым, сырным вкусом и ароматом базилика и мяты. Цвет теста изменялся с увеличением массы вносимых растительных компонентов — от белого до бледновато-желтого. Консистенция однородная с равномерным распределением компонентов по массе, умеренно плотная. Рисунок сыра без глазков. Поверхность — ровная, со следами серпянки, корки не имеет. Качество рассола изменялось с увеличением массы вносимых компонентов — от прозрачного, с наличием сырной крошки, до мутно-зеленого, с наличием сырной крошки и зелени.

Для более полного отражения влияния введения растительных компонентов на консистенцию продукта, как наиболее важного показателя, как с технологической точки зрения, так и для потребителя, данный показатель был исследован профильным методом.

Результаты исследования, представленные в виде профилограммы на рисунке 1, показывают, что лучшими характеристиками консистенции обладает образец с добавлением растительных компонентов в количестве 15% от массы, имеющий однородно упругую и менее крошливой консистенцией.

Введение растительных компонентов в состав рассольных сыров растительных компонентов, которые обладают более высокой пищевой ценностью, улучшают органолептические показатели готового продукта.

Таблица 1. Пищевая ценность растительного сырья

Показатель	Сырье			
	Бобы люпина	Сушеный инжир	Базилик	Мята перечная
Белки, г	27,8	3,1	3,15	3,75
Жиры, г	3,7	0,8	0,64	0,94
Углеводы, г	17,3	57,9	1,05	6,89
Влага, г	14,8	16	92,06	78,65
Витамины, мг:				
В1	1,1	0,07	0,03	0,08
В2	0,8	0,09	0,08	0,27
В6	0,4	-	0,16	0,13
С	-	-	18	31,8
РР	24	0,7	0,9	-
Макроэлементы, мг:				
Кальций	155	144	117	243
Магний	230	59	64	80
Калий	720	710	295	569
Фосфор	390	68	56	73
Микроэлементы, мг:				
Железо	5,14	0,3	3,17	5,08
Цинк	3,02	-	0,81	1,11
Медь	0,52	-	0,39	0,33
Марганец	2,7	-	1,15	1,18

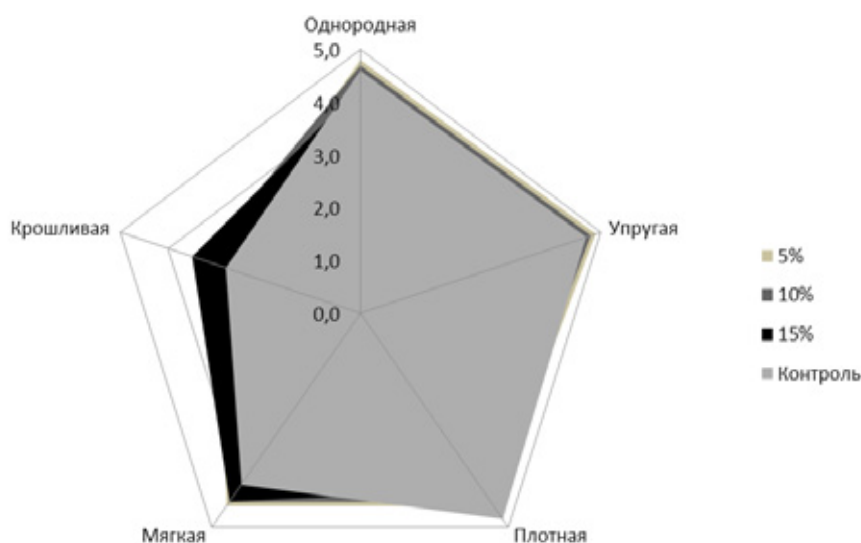


Рис. 1. Консистенция опытных образцов

Литература:

1. Альхамова, Г.К., Мазаев А.Н., Ребезов Я.М., Шель И.А., Зинина О.В. Продукты функционального назначения. Молодой ученый. 2014. №12 (71). с. 110–112.
2. Альхамова, Г.К., Мазаев А.Н., Шель И.А., Прохасько Л.С., Попова М.А., Уварова В.М. Функциональные ингредиенты в молочных продуктах. Молодой ученый. 2014. №12 (71). с. 65–67.
3. Остроумов, Л.А., Попов А.М., Постолова А.М. Функциональные продукты на основе молока и его производных. Молочная промышленность. 2003. №9. с. 21–22.
4. Асенова, Б.К., Амирханов К.Ж., Ребезов М.Б. Технология производства функциональных продуктов питания для экологически неблагоприятных регионов. Торгово-экономические проблемы регионального бизнеса. 2013. №1. с. 313–316.

5. Зобкова, З. С. Цельномолочные продукты, обогащённые функциональными ингредиентами и пищевыми добавками. Молочная промышленность. 2007. №10. с. 75–76.
6. Асенова, Б. К., Ребезов М. Б., Топурия Г. М., Топурия Л. Ю., Смольникова Ф. Х. Контроль качества молока и молочных продуктов. Алматы: Халықаралық жазылым агентігі, 2013. 212 с.
7. Ребезов, М. Б., Наумова Н. Л., Хайруллин М. Ф., Альхамова Г. К., Лукин А. А. Изучение отношения потребителей к обогащенным продуктам питания. Пищевая промышленность. 2011. №5. с. 13–15.
8. Ребезов, М. Б., Наумова Н. Л., Альхамова Г. К., Лукин А. А., Хайруллин М. Ф. Экология и питание. Проблемы и пути решения. Фундаментальные исследования. 2011. №8–2. с. 393–396.
9. Наумова, Н. Л., Ребезов М. Б., Варганова Е. Я. Функциональные продукты. Спрос и предложение. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2012. 78 с.
10. Боган, В. И., Ребезов М. Б., Гайсина А. Р., Максимюк Н. Н., Асенова Б. К. Совершенствование методов контроля качества продовольственного сырья и пищевой продукции. Молодой ученый. 2013. №10. с. 101–105.
11. Догарева, Н. Г., Стадникова С. В., Ребезов М. Б. Создание новых видов продуктов из сырья животного происхождения и безотходных технологий их производства. В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием). 2013. с. 945–953.
12. Ребезов, М. Б., Мирошникова Е. П., Альхамова Г. К., Наумова Н. Л., Хайруллин М. Ф., Залилов Р. В., Зинина О. В. Методы исследований свойств сырья и молочных продуктов. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2011. 58 с.
13. Ребезов, М. Б., Альхамова Г. К., Наумова Н. Л., Иголевиц Е. В. Экономическая оценка инвестиционных перспектив инновационного проекта (на примере проекта по выпуску новых видов творожных продуктов). Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2012. №1. с. 114–118.
14. Губер, Н. Б., Ребезов М. Б., Топурия Г. М. Инструменты снижения рисков при реализации инновационных проектов в сфере продуктов питания животного происхождения. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2014. Т. 8. №1. с. 156–159.
15. Кондратьева, А. В., Ребезов М. Б., Мазаев А. Н., Богатова О. В. Управление качеством на молокоперерабатывающих предприятиях. Молодой ученый. 2014. №11. с. 55–59.
16. Попова, М. А., Ребезов М. Б., Гаязова А. О., Лукиных С. В. Оценка качества и безопасности разработанного йогурта. Молодой ученый. 2014. №10. с. 199–202.
17. Попова, М. А., Ребезов М. Б., Ахмедьярова Р. А., Косолапова А. С., Паульс Е. А. Перспективные направления производства кисломолочных продуктов, в частности йогуртов. Молодой ученый. 2014. №9 (68). с. 196–200.
18. Альхамова, Г. К., Ребезов М. Б., Амерханов И. М., Мазаев А. Н. Анализ потребительских предпочтений при выборе творожных продуктов. Молодой ученый. 2013. №3. с. 13–16.
19. Белокаменская, А. М., Ребезов М. Б., Мазаев А. Н., Ребезов Я. М., Зинина О. В. Применение физико-химических методов исследований в лабораториях Челябинской области. Молодой ученый. 2013. №4. с. 48–53.
20. Альхамова, Г. К., Максимюк Н. Н., Наумова Н. Л., Амерханов И. М., Зинина О. В., Залилов Р. В., Ребезов М. Б. Новые творожные изделия с функциональными свойствами. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2011. 94 с.
21. Выдрина, Н. В., Губер Н. Б., Ковтун М. А., Паульс Е. А. Изучение потребительских предпочтений сычужных сыров г. Челябинска. Молодой ученый. 2014. №9 (68). с. 123–126.
22. Выдрина, Н. В., Губер Н. Б. Тенденции развития новых технологий производства сыра. Молодой ученый. 2014. №10 (69). с. 130–133.

Биомодификация низкосортного мясного сырья

Шхалахов Дамир Сафербиевич, студент;

Погребняк Рустам Андреевич, студент

Кубанский государственный аграрный университет (г. Краснодар)

В последние годы большое внимание уделяется к производству мясных продуктов из нетрадиционного сырья. Для интенсификации существующей технологии целесообразно использовать штаммы молочнокислых и денитрофицирующих бактерий. В связи с этим многими специалистами проведены исследования по определению целенаправлен-

ного воздействия, на низкосортное мясо смеси культур микроорганизмов заданного качественного и количественного составов. Выявлено, что ускорение протеолитических процессов и созревания фарша сыровяленых и сырокопченых колбас сопровождается повышением биологической ценности готовых изделий [1, с. 150, 2, с. 20].

В связи с этим представляет интерес создание и изучение консорциумов микроорганизмов способных размягчать низкосортное и жесткое сырье мясоперерабатывающей промышленности и разработка на базе полученных результатов высокоценных пищевых продуктов широкого спроса [3, с. 217].

Для проведения эксперимента сформированное сочетание бактерий использовали для обработки фарша из говяжьей мышечной ткани, фарша из говяжьей пашины, и фарша из конины.

Для определения липкости (адгезии) образец фарша равномерным слоем толщиной 3 мм наносили на полированную металлическую пластину и прижимали до упора сверху второй полированной металлической пластиной с выступом высотой 2 мм. Таким образом, между пластинами создавался ровный слой фарша толщиной 2 мм. На верхнюю пластину помещали груз массой 1 кг и соединяли ее с динамометром. Увеличивая силу прикладываемую к динамометру добивались отрыва верхней пластины от поверхности фарша. В момент отрыва фиксировали показания динамометра.

Результаты экспериментальных исследований показали, что действие микроорганизмов существенно повышает липкость всех трех видов фаршевых систем (рис. 1). В присутствии консорциума микроорганизмов рост адгезионной способности происходит несколько быстрее, при этом достигаются более высокие максимальные значения липкости (2,8–3,1 Н/см², в зависимости от вида фарша). Полученные результаты, очевидно связаны со снижением рН до 5,3 в ходе чего происходят набухание коллагена, гидролиз низкомолекулярных связей и активация клеточных ферментов [4, с. 218, 5, с. 224]. Увеличение продолжительности воздействия (свыше 8 часов приводило к некоторому

снижению липкости), что, по-видимому, связано с образованием низкомолекулярных продуктов протеолиза, не обладающих высокой адгезионной способностью.

Выход продукта при термической обработке — один из главных показателей, характеризующих экономичность и технологичность принятого решения. В связи с этим были проведены исследования влияния термической обработки на выход продукта.

Образцы модельных фаршей готовили аналогично определению ВСС. Подготовленные образцы выдерживали при температуре 0–4 °С. По истечении заданного времени образцы подвергались термической обработке в СВЧ-печи в течение 15 минут при мощности 100 Вт, после чего повторно взвешивались. Контролем являлись образцы, подвергнутые посолу без микробной обработки в течение 12 часов.

Полученные результаты свидетельствуют о некотором повышении выхода (рис. 2).

Анализируя полученные результаты можно сказать, что добавление нашего комплекса молочнокислых бактерий как к пашине, так и к конине и к говяжьей мышечной ткани ведут к увеличению показателей функционально-технологических свойств таких как, ВСС, ВУС, ЖУС, выход, липкость, а также к снижению рН среды, что является не маловажной при производстве мясных и колбасных изделий.

Следует признать обработку мясного сырья молочнокислыми и бифидобактериями эффективной и экономически целесообразной, так как в процессе добавления молочнокислых и бифидобактерии сроки посола сокращаются вдвое [6, с. 94, 7, с. 97].

Характер действия консорциума микроорганизмов позволяет рекомендовать его для применения с целью мяг-

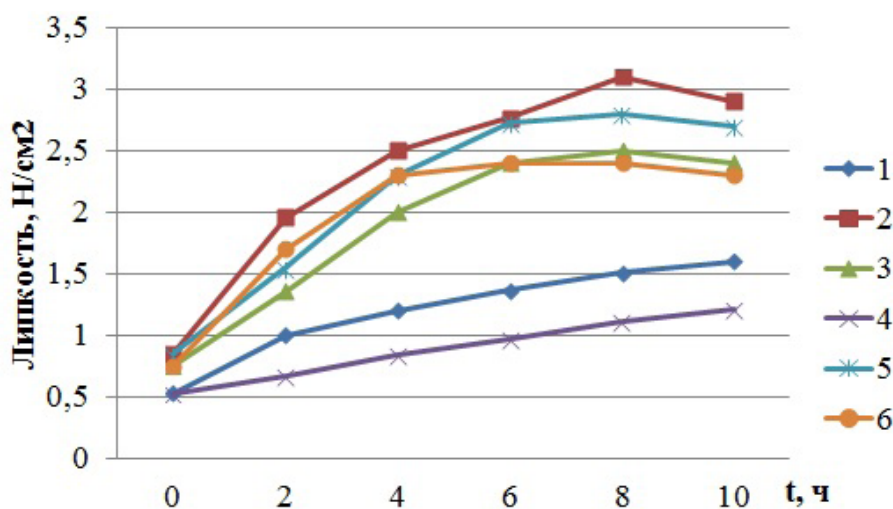


Рис. 1. Динамика изменения липкости модельных фаршей при посоле: 1 — фарш из говяжьей пашины с добавлением стартовых культур; 2 — фарш из конины с добавлением стартовых культур; 3 — фарш из мышечной ткани говядины с добавлением стартовых культур; 4 — фарш из говяжьей пашины без добавления стартовых культур; 5 — фарш из конины без добавления стартовых культур; 6 — фарш из мышечной ткани говядины без добавления стартовых культур



Рис. 2. Изменение относительного выхода модельных мясных продуктов после термообработки: 1 — фарш из говяжьей пашины + стартовые культуры; 2 — фарш из конины + стартовые культуры; 3 — фарш из говяжьей мышечной ткани + стартовые культуры; 4 — контроль (пашина говяжья без стартовых культур); 5 — контроль (конина без стартовых культур); 6 — контроль (мышечная ткань без стартовых культур)

чения, улучшения качества сырья в технологии широкого ассортимента продуктов из мяса с различным соотношением мышечной и соединительной ткани.

Для определения переваримости использовался ферментативный метод определения биологической ценности мяса *in vitro*.

Основой метода является ферментативный гидролиз в условиях, при которых доступность атакуемых пептидных связей определяется не только свойствами белка, но и дополнительными факторами, связанными со структурой и химическим составом пищевого продукта [8, с. 779, 9, с. 790].

Метод заключается в последовательном воздействии на белковые вещества исследуемого продукта системой протеиназ состоящей из пепсина и трипсина при непрерывном перемешивании и удалении из сферы реакции продуктов гидролиза диализом. Это позволяет избежать ингибирования пищеварительных ферментов низкомолекулярными пептидами и свободными аминокислотами [8, с. 780, 10, с. 66].

Гидролиз проводится в специальном приборе, обеспечивающим непрерывное перемешивание и диализ низкомолекулярных белков гидролиза.

При проведении опытов на переваримость были получены результаты приведенные в таблице 1 и на рисунке 3.

Анализируя полученные результаты можно сказать, что степень гидролиза белков в пробах с добавлением комплекса молочнокислых бактерии была выше, чем в пробах чистого мясного фарша без использования молочнокислых бактерии.

При добавлении нашего комплекса молочнокислых бактерии наблюдается увеличение перевариваемости исходных продуктов.

В ходе работы, были изучены консорциумы микроорганизмов на функционально-технологические свойства модельных фаршей. Введение стартовых культур с заданным составом способствует повышению сортности мясного сырья, ускорению посола, влияет на физико-химические, структурно механические и биологическую ценность мясного сырья.

Литература:

1. Бибко, Д.А. Применение инновационных энергосберегающих технологий/Д.А. Бибко, А.И. Решетняк, А.А. Нестеренко. — Германия: Palmarium Academic Publishing, 2014. — 237 с.
2. Нестеренко, А.А. Инновационные технологии в производстве колбасной продукции/А.А. Нестеренко, А.М. Патиева, Н.М. Ильина. — Германия: Palmarium Academic Publishing, 2014—165 с.
3. Нестеренко, А.А. Применение стартовых культур в технологии сырокопченых колбас [Текст]/А.А. Нестеренко, К.В. Акопян // Молодой ученый. — 2014. — №8. — с. 216—219.
4. Нестеренко, А.А. Физико-химические показатели сырья после внесения стартовых культур [Текст]/А.А. Нестеренко, К.В. Акопян // Молодой ученый. — 2014. — №8. — с. 219—221.
5. Нестеренко, А.А. Функционально-технологические показатели сырья после внесения стартовых культур [Текст]/А.А. Нестеренко, К.В. Акопян // Молодой ученый. — 2014. — №8. — с. 223—226.

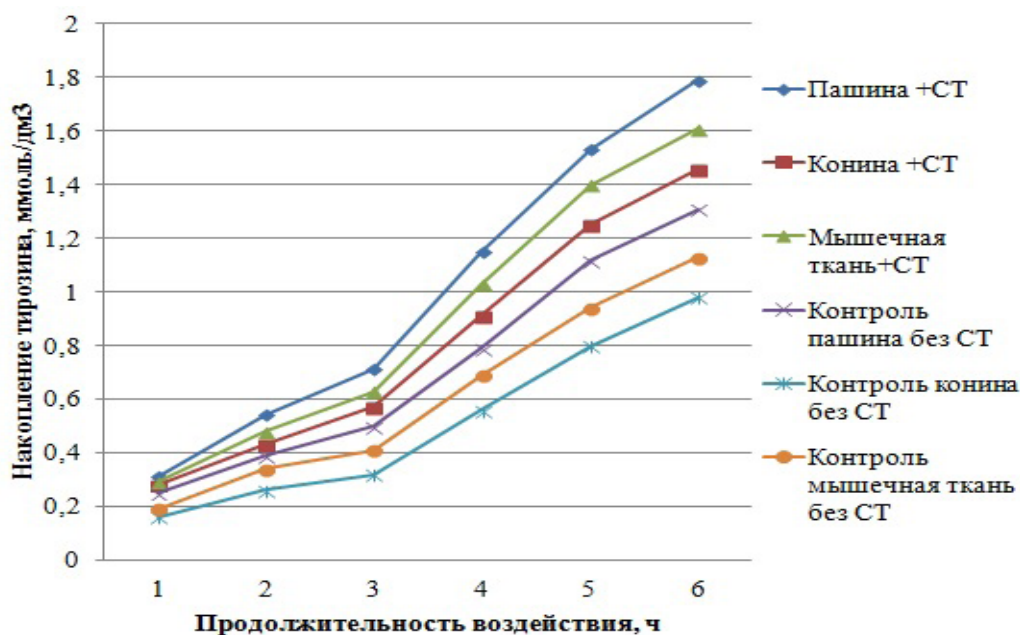


Рис. 3. Перевариваемость ферментированных фаршей системой пищеварительных ферментов «пепсин-трипсин» (in vitro)

Таблица 1. Результаты исследований перевариваемости in vitro

Краткая характеристика продукта	Накопление продуктов ферментативного гидролиза (ммоль/дм³) при длительности гидролиза, ч					
	Пепсином			Трипсином		
	1	2	3	4	5	6
Пашина+МКБ	0,31	0,54	0,71	1,15	1,53	1,79
Конина+МКБ	0,29	0,43	0,57	0,91	1,25	1,46
Говядина 2 сорт+МКБ	0,29	0,48	0,63	1,03	1,4	1,61
Пашина	0,25	0,39	0,5	0,79	1,12	1,31
Конина	0,16	0,26	0,32	0,56	0,8	0,98
Говядина 2 сорта	0,19	0,34	0,41	0,69	0,94	1,13

- Акопян, К. В. Формирование аромата и вкуса сырокопченых колбас [Текст]/К. В. Акопян, А. А. Нестеренко // Молодой ученый. — 2014. — №7. — с. 93–95.
- Акопян, К. В. Способы интенсификации созревания сырокопченых колбас [Текст]/К. В. Акопян, А. А. Нестеренко // Молодой ученый. — 2014. — №7. — с. 95–98.
- Нестеренко, А. А. Биологическая ценность и безопасность сырокопченых колбас с предварительной обработкой электромагнитным полем низких частот стартовых культур и мясного сырья/Нестеренко А. А., Акопян К. В. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2014. — №05 (099). — с. 772–785. — IDA [article ID]: 0991405052. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/52.pdf>, 0,875 у. п. л.
- Нестеренко, А. А. Влияние активированных электромагнитным полем низких частот стартовых культур на мясное сырье/Нестеренко А. А., Горина Е. Г. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. — Краснодар: КубГАУ, 2014. — №05 (099). — с. 786–802. — IDA [article ID]: 0991405053. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/53.pdf>, 1,063 у. п. л.
- Нестеренко, А. А. Применение стартовых культур в технологии производства ветчины/А. А. Нестеренко, Ю. А. Зайцева // Вестник Казанского государственного аграрного университета. — 2014. — №1 (31) — с. 65–68.
- <http://tekhnosfera.com/razrabotka-bifidosoderzhaschih-konsortsiumov-mikroorganizmov-dlya-polucheniya-myasoproduktov-iz-nizkosortnogo-syrya>

Молодой ученый

Ежемесячный научный журнал

№ 15 (74) / 2014

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор:

Ахметова Г. Д.

Члены редакционной коллегии:

Ахметова М. Н.
Иванова Ю. В.
Лактионов К. С.
Сараева Н. М.
Авдеюк О. А.
Алиева Т. И.
Ахметова В. В.
Брезгин В. С.
Данилов О. Е.
Дёмин А. В.
Дядюн К. В.
Желнова К. В.
Жуйкова Т. П.
Игнатова М. А.
Каленский А. В.
Коварда В. В.
Комогорцев М. Г.
Котляров А. В.
Кузьмина В. М.
Кучерявенко С. А.
Лескова Е. В.
Макеева И. А.
Мусаева У. А.
Насимов М. О.
Прончев Г. Б.
Семахин А. М.
Сенюшкин Н. С.
Ткаченко И. Г.
Яхина А. С.

Ответственные редакторы:

Кайнова Г. А., Осянина Е. И.

Международный редакционный совет:

Айрян З. Г. (Армения)
Арошидзе П. Л. (Грузия)
Атаев З. В. (Россия)
Борисов В. В. (Украина)
Велковска Г. Ц. (Болгария)
Гайич Т. (Сербия)
Данатаров А. (Туркменистан)
Данилов А. М. (Россия)
Досманбетова З. Р. (Казахстан)
Ешиев А. М. (Кыргызстан)
Игисинов Н. С. (Казахстан)
Кадыров К. Б. (Узбекистан)
Кайгородов И. Б. (Бразилия)
Каленский А. В. (Россия)
Козырева О. А. (Россия)
Лю Цзюань (Китай)
Малес Л. В. (Украина)
Нагервадзе М. А. (Грузия)
Прокопьев Н. Я. (Россия)
Прокофьева М. А. (Казахстан)
Ребезов М. Б. (Россия)
Сорока Ю. Г. (Украина)
Узаков Г. Н. (Узбекистан)
Хоналиев Н. Х. (Таджикистан)
Хоссейни А. (Иран)
Шарипов А. К. (Казахстан)

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.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», г. Казань, ул. Академика Арбузова, д. 4