

Sentence

NP + VP

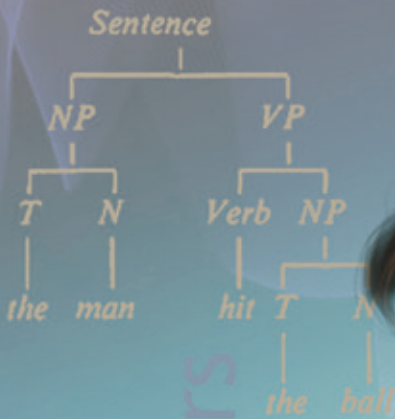
**МОЛОДОЙ**

ISSN 2072-0297

# УЧЁНЫЙ

научный журнал

## Syntactic Structures



Systems of Syntactic Analysis

Certain Formal Systems of Grammars

transformation  $T_{Adj}$ :

of  $S_1$ :  $T - N - is - A$   
of  $S_2$ : same as 24

$X_1 - X_2 - X_3 - X_4; X_5 -$

$X_5 - X_1 + X_4 + X_3$

ence -

$M \rightarrow T + N$

$VP \rightarrow Verb + NP$

$T \rightarrow the$

Three models for description of language

$Verb \rightarrow hit, took, etc.$

In this possibly terminal phase of human existence, democracy and freedom are more than just ideals to be valued - they may be essential to survival.

All over the place, from the popular culture to the propaganda system, there is constant pressure to make people feel that they are helpless, that the only role they can have is to ratify decisions and to consume.

If we don't believe in freedom of expression for people we despise we don't believe in it at all.

Everybody's worried about stopping terrorism. Well, there's a really easy way: stop participating in it.

Education must provide the opportunities for self-fulfillment at best provide a rich and challenging environment for the child to explore, in his own way.

**24**

2015

Часть I

ISSN 2072-0297

# Молодой учёный

Научный журнал

Выходит два раза в месяц

№ 24 (104) / 2015

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Главный редактор:** Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

**Члены редакционной коллегии:**

Ахметова Мария Николаевна, доктор педагогических наук

Иванова Юлия Валентиновна, доктор философских наук

Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук

Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук

Лактионов Константин Станиславович, доктор биологических наук

Сараева Надежда Михайловна, доктор психологических наук

Авдеюк Оксана Алексеевна, кандидат технических наук

Айдаров Оразхан Турсункожаевич, кандидат географических 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

Жураев Хусниддин Олтинбоевич, кандидат педагогических наук

Игнатова Мария Александровна, кандидат искусствоведения

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

Матроскина Татьяна Викторовна, кандидат экономических наук

Матусевич Марина Степановна, 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

Сенцов Аркадий Эдуардович, кандидат политических наук

Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук

Титова Елена Ивановна, кандидат педагогических наук

Ткаченко Ирина Георгиевна, кандидат филологических наук

Фозилов Садриддин Файзуллаевич, кандидат химических наук

Яхина Асия Сергеевна, кандидат технических наук

Ячинова Светлана Николаевна, кандидат педагогических наук

Почтовый адрес редакции: 420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231.

Фактический адрес редакции: 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

E-mail: [info@moluch.ru](mailto:info@moluch.ru); <http://www.moluch.ru/>.

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый».

Тираж 500 экз. Дата выхода в свет: 15.01.2015. Цена свободная.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.



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)

Бидова Бэла Бертовна, доктор юридических наук, доцент (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)

Демидов Алексей Александрович, доктор медицинских наук, профессор (Россия)

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

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

Жолдошев Сапарбай Тезекбаевич, доктор медицинских наук, профессор (Кыргызстан)

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

Кадыров Кутлуг-Бек Бекмурадович, 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)

Колпак Евгений Петрович, доктор физико-математических наук, профессор (Россия)

Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук, профессор (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)

Рахматуллин Рафаэль Юсупович, доктор философских наук, профессор (Россия)

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:** Шишков Евгений Анатольевич

**Верстка:** Голубцов Максим Владимирович

На обложке изображен Аврам Ноам Хомский (род. 1928 г.) — американский лингвист, политический публицист, философ и теоретик, автор классификации формальных языков.

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.

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАТЕМАТИКА

- Букенов М. М., Фазылова Л. С.**  
Двусторонние оценки для вязкоупругих сред.... 1
- Золотухина В. Г., Сильченко Е. Б.**  
Возможные методы решения математических задач гидродинамики и подобных им задач математической физики..... 4
- Исхаков Р. Р.**  
Алгоритмы расщепления для задачи о пропозициональной выполнимости..... 8

### ФИЗИКА

- Емельянов А. А., Бесклеткин В. В., Авдеев А. С., Чернов М. В., Киряков Г. А., Габзалилов Э. Ф., Прокопьев К. В.**  
Математическое моделирование САР скорости системы «АИН ШИМ — АД» с переменными  $\psi_r - i_s$  на основе интегрирующих звеньев .....12

### ХИМИЯ

- Аронбаев С. Д.**  
Биосорбционное концентрирование тяжелых металлов и радионуклидов микроорганизмами и сорбентами на их основе. Обзор.....31
- Зяблицева И. Г.**  
Глютамат натрия (Е 621) .....50
- Колоскова О. О., Буданова У. А.**  
Дизайн адресной липосомальной композиции... 51
- Муминова Н. И., Мурадова Д. К., Юнусова З.**  
Автоматический анализатор для мониторинга фтористого водорода в газовой среде .....55
- Сапаров А. А., Алимкулов С. О., Рустамов А. Ш., Маматмуродова Ф. Б.**  
Применение радиоактивного изотопа фосфора ( $P^{32}$ ) в агрохимических исследованиях.....58

### ИНФОРМАТИКА

- Бобров А. Н.**  
Проблемы выбора языка программирования в школьном курсе информатики.....61
- Киселев Е. С., Козловский А. А.**  
Выбор оптимального маршрута грузоперевозок автомобильным транспортом с использованием искусственных нейронных сетей .....64
- Козлов В. В., Штейнберг А. М., Соколова М. С.**  
Особенности информационной системы оценки бизнес-планов внедрения результатов выпускных квалификационных работ .....66
- Михайлова С. В., Ломакин В. В.**  
Управление человеческими ресурсами IT-проекта .....69
- Молчанова А. А., Петрушенко Р. В.**  
Восстановление данных с Flash-накопителей...72
- Турсунова Д. Г., Ташева М. Х.**  
Программные компоненты многопроцессорных устройств.....76
- Факторов А. К., Смирнов М. Е.**  
Кражи с банковских карт, свой счёт нужно обезопасить! .....78

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Алексеев А. А., Москвин Е. И., Птичников В. А.**  
Улучшение характеристик бетонов путем ввода активной минеральной добавки — молотого доменного шлака .....80
- Амиров А. Ж., Султанова Б. К., Шаханов Д. Ж.**  
Не виртуальные хакеры .....85
- Амиров А. Ж., Султанова Б. К., Шаханов Д. Ж.**  
Социальная составляющая информационной безопасности .....88
- Анисимов С. Л.**  
Реакция синтезаторов на паразитное приращение фазы опорного колебания.....90

<b>Бодошов А. У.</b> Аминокислотный состав зерен фасоли, выращиваемых в Кыргызстане .....94	<b>Гуреев Д. М., Клепикова Н. А., Федулов В. А., Казаков А. А., Дударевич В. Н., Загребин И. А.</b> Техническое диагностирование трубопроводов аммиачных холодильных установок ..... 110
<b>Бруданов А. М.</b> Анализ применения природного газа в качестве моторного топлива на дорожно-строительных и коммунальных машинах.....96	<b>Гуреев Д. М., Салахов Р. Г., Казаков А. А., Пилуй Ю. В., Афримович Г. Г., Репухов С. А.</b> К вопросу о техническом диагностировании сосудов, работающих под давлением ..... 113
<b>Бруданов А. М.</b> Оценка перспектив развития smart-материалов и smart-конструкций.....99	<b>Гуреев Д. М., Салахов Р. Г., Казаков А. А., Пилуй Ю. В., Афримович Г. Г., Репухов С. А.</b> Опыт технического диагностирования криогенных сосудов ..... 115
<b>Бруданов А. М.</b> Практическое применение smart-материалов и smart-конструкций..... 101	<b>Дайчман Р. А.</b> Выбор ветроустановок для систем автономного электропитания ..... 117
<b>Гранкина Т. О., Гранкина О. О.</b> Оценка возможности испарения микрокапли в плазме вакуумного дугового разряда ..... 104	



# МАТЕМАТИКА

## Двусторонние оценки для вязкоупругих сред

Буменов Махат Мухамедиевич, кандидат физико-математических наук, доцент;  
 Фазылова Лейла Сабитовна, старший преподаватель  
 Карагандинский государственный университет им. Е. А. Букетова (Казахстан)

**Доказательство** аналогично доказательству теоремы 2.

Рассмотрим в области  $D \subset R^3$ , с границей  $\gamma \in C^2$ ,  $t_0 > 0$  и  $D_T = \{(x,t) : x \in D, t \in (0, t_0)\}$  — цилиндр, с боковой гранью  $\gamma t_0 = \{(x,t) : x \in \gamma, t \in (0, t_0)\}$ .

Ставится задача найти решение следующих уравнений [1], [2]:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + R^* \sigma = f, \tag{1}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} - Rv = 0, \tag{2}$$

$$B \frac{\partial \sigma}{\partial t} + C\sigma = \Lambda \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}, \tag{3}$$

$$B\sigma = \Lambda \varepsilon + C \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}, \tag{4}$$

здесь (1) — уравнение движения, (2) — закон импульса, (3), (4) — уравнения состояния: (3) — вязкоупругая среда Максвелла, (4) — уравнение Кельвина-Фойгта;  $B$  — матрица коэффициентов Ламе, симметричная, положительно определенная,  $C$  — матрица, состоящая из коэффициентов вязкости, симметричная, положительно определенная,  $\Lambda$  — диагональная матрица,  $\bar{v} = (v_1, v_2, v_3)^*$  — вектор скоростей,  $*$  — означает транспонирование,  $\bar{\sigma} = (\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{23})^*$  — вектор напряжений,  $\bar{\varepsilon} = (\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, \varepsilon_{33}, \varepsilon_{12}, \varepsilon_{13}, \varepsilon_{23})^*$  — вектор деформаций; опорный оператор  $R$  определяется следующим образом [1]:

$$R = \begin{pmatrix} \nabla_1 & 0 & 0 & \nabla_2 & \nabla_3 & 0 \\ 0 & \nabla_2 & 0 & \nabla_1 & 0 & \nabla_3 \\ 0 & 0 & \nabla_3 & 0 & \nabla_1 & \nabla_2 \end{pmatrix}, \tag{5}$$

$$\nabla_i = \frac{\partial}{\partial x_i}, \quad i = 1, 2, 3.$$

Матрицы  $B, C, \Lambda$  — перестановочны.

К соотношениям (1)-(4) нужно добавить соотношения перемещение-деформации:  $\varepsilon = Ru$ . Вектор перемещения  $u$  и скорости  $v$  связаны соотношением  $v = \frac{\partial u}{\partial t}$ .

После несложных преобразований приходим к уравнениям:

$$B \frac{\partial^2 \sigma}{\partial t^2} + C\sigma = -\Lambda RR^* \sigma + \Lambda Rf \tag{6}$$

для среды Максвелла,

$$B \frac{\partial^2 \sigma}{\partial t^2} = \Lambda RR^* \sigma - \Lambda Rf + CRR^* \frac{\partial \sigma}{\partial t} + CR \frac{\partial f}{\partial t} \tag{7}$$

для среды Кельвина-Фойгта.

Решение задачи (1)-(3), (6) будем искать в цилиндре  $Q = D \times [0, t_0]$ . При этом

$$u(M, 0) = \phi(M), \quad \frac{\partial u}{\partial t}(M, 0) = v(M, 0) = \psi(M), \quad M \in D, \tag{8}$$

$$\varepsilon(M,0) = R\phi(M), \quad \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}(M,0) = R\psi(M), \quad M \in D, \tag{9}$$

Предположим, что на боковой поверхности цилиндра  $Q$  искомое решение удовлетворяет одному из приведенных ниже однородных краевых условий;

$$u(N,t) = 0, \quad N \in \gamma, \quad \sum_{k=1}^3 \sigma_{ik}(N,t)n_k = 0, \quad N \in \gamma. \tag{10}$$

Начальные данные (8), (9) и краевые условия (10) будем считать согласованными. При этом задачу (1)-(3), (6) назовем задачей (I), а задачу (1), (2), (4), (7) — задачей (II).

Как известно, если  $f \in L_2(Q)$ ,  $\phi \in W_2^1(D)$ ,  $\sigma \in W_2^{1,1}(Q)$ , то справедлива оценка

$$\|\sigma\|_{W_2^{1,1}(Q)} \leq C_1 (\|f\|_{L_2(Q)} + \|\phi\|_{W_2^1(D)}). \tag{11}$$

В соответствии с методом фиктивных областей [3], [4], дополним исходную область  $D$  некоторой областью  $D_1$  до составной области  $D_0 = D \cup D_1$  с границей  $\Gamma = \partial D_0$ .

В составной области  $D_0$  рассмотрим задачу:

$$\begin{aligned} B \frac{\partial^2 \sigma^\alpha}{\partial t^2} + C \sigma^\alpha &= -\Lambda_\alpha R R^* \sigma^\alpha + \Lambda R f_\alpha, \\ (x,t) &\in Q, \\ \sigma^\alpha(x,0) &= \beta_1, \quad x \in D, \\ \sum_{k=1}^3 \sigma_{ik}(x,t)n_k &= 0, \quad x \in \Gamma, \end{aligned} \tag{12}$$

где  $\alpha > 0$  — малый параметр и

$$\Lambda_\alpha, f_\alpha = \begin{cases} \Lambda, f, & x \in D, \\ \frac{P}{x}, 0, & x \in D_1. \end{cases}$$

На границе  $\gamma t_0 = \gamma \in (0, t_0)$  ставятся условия согласования:

$$\sigma^\alpha \Big|_{\gamma t_0}^+ = \sigma^\alpha \Big|_{\gamma t_0}^-, \quad \frac{\partial \sigma^\alpha}{\partial N} \Big|_{\gamma t_0}^+ = \frac{P}{\alpha} \frac{\partial \sigma^\alpha}{\partial n} \Big|_{\gamma t_0}^-, \tag{13}$$

где  $\frac{\partial \sigma^\alpha}{\partial N} = \sum_{i,j=1}^3 \frac{\partial \sigma_{i,j}}{\partial x_j} \cos(n, x_i)$ ,  $n$  — вектор нормали к границе  $\gamma$ , знаки «+» или «-» означают стремление функции

изнутри и извне границы  $\gamma t_0$ . Параметр  $P$  принимает значение 1 или -1.

Тогда справедлива следующая теорема.

**Теорема 1.** Верна оценка

$$\left\| \sigma - \frac{1}{2}(\sigma_\alpha^+ + \sigma_\alpha^-) \right\|_{W_2^{1,1}(Q)} \leq C \alpha^2, \tag{14}$$

Здесь  $\sigma_\alpha^+$  и  $\sigma_\alpha^-$  соответствуют решению задачи (12), (13) и отвечают значению параметра  $P=1$  и  $P=-1$ .

**Доказательство.** Рассмотрим следующие ряды:  $S_1 = \sum_{k=0}^{\infty} \alpha^k z_k$  в области  $Q$ ,  $S_2 = \sum_{k=1}^{\infty} \alpha^k w_k$  в области  $Q_1 = D_1 \times [0, t_0]$ .

Ряды  $S_1, S_2$  являются абсолютно сходящимися при достаточно малых  $\alpha$ .

В самом деле, для определения функций  $z_k, w_k$  получаем

$$\begin{aligned} Lz_0 &= F, \quad (x,t) \in Q, & Lw_1 &= 0, \quad (x,t) \in Q_1, \\ z_0(x,0) &= \beta(x), \quad x \in D, & w_1(x,0) &= 0, \quad x \in D_1, \\ z_0 &= 0, \quad (x,t) \in \gamma t_0, & \frac{\partial w_1}{\partial n} &= P \frac{\partial v_0}{\partial N}, \quad (x,t) \in \gamma t_0, \\ & & w_1 &= 0, \quad (x,t) \in \Gamma_{t_0}; \end{aligned}$$

для  $k \geq 1$ :

$$\begin{aligned} Lz_k &= F, \quad (x,t) \in Q, & Lw_{k+1} &= 0, \quad (x,t) \in Q_1, \\ z_k(x,0) &= \beta(x), \quad x \in D, & w_{k+1}(x,0) &= 0, \quad x \in D_1, \end{aligned} \tag{15}$$



$$z_k = w_k, (x, t) \in \gamma t_0, \quad \frac{\partial w_{k+1}}{\partial n} = P \frac{\partial z_k}{\partial N}, (x, t) \in \gamma t_0, \\ w_{k+1} = 0, (x, t) \in \Gamma_{t_0};$$

$$Lz = B \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} + Cz + \Lambda_\alpha RR^* z, \quad F = \Lambda Rf_\alpha.$$

Решения (15)  $z_k \in W_2^{1,1}(Q)$ ,  $w_k \in W_2^{1,1}(Q_1)$  имеем из теории неоднородных задач [5]

$$\|w_k\|_{W_2^{1,1}(Q_1)} \leq C_2 \left\| \frac{\partial w_k}{\partial n} \right\|_{W_2^{1,1}(\gamma t_0)} = C_2 \left\| \frac{\partial z_{k-1}}{\partial N} \right\|_{W_2^{1,1}(\gamma t_0)} \leq C_2 C_3 \|z_{k-1}\|_{W_2^{1,1}(Q)}. \quad (16)$$

Далее получим сходимость рядов  $S_1$ ,  $S_2$

$$\|z_k\|_{W_2^{1,1}(Q)} \leq C_4 \|z_k\|_{W_2^{3,1}(\gamma t_0)} = C_4 \|w_k\|_{W_2^{3,1}(\gamma t_0)} \leq C_4 C_5 \|w_k\|_{W_2^{1,1}(Q_1)}.$$

Учитывая (11), (16), получим:

$$\|z_k\|_{W_2^{1,1}(Q)} \leq C_6 \|z_{k-1}\|_{W_2^{1,1}(Q)}, \quad k \geq 1, \quad (17)$$

$$\|z_0\|_{W_2^{1,1}(Q)} \leq C_1 \left( \|f\|_{L_2(Q)} + \|\phi\|_{W_2^1(D)} \right),$$

где  $C_6 = C_2 C_3 C_4 C_5$ .

Если  $\alpha < \alpha_0 = C_6^{-1}$ , то ряд  $S_1$  абсолютно сходится в  $Q$ , а ряд  $S_2$  абсолютно сходится в норме  $W_2^{1,1}(Q_1)$ .

**Теорема 2.** Если  $0 < \alpha < \alpha_0$ , то справедлива следующая оценка:

$$\left\| \sigma - \frac{1}{2}(\sigma_\alpha^+ + \sigma_\alpha^-) \right\|_{W_2^{1,1}(Q)} \leq C_7 \alpha^2 \left( \|f\|_{L_2(Q)} + \|\phi\|_{W_2^1(D)} \right), \quad (18)$$

где  $\sigma_\alpha^+$  и  $\sigma_\alpha^-$  — решения задачи (12), (13) при  $P=1$  и  $P=-1$ ,  $\sigma$  — решение задачи (1).

**Доказательство.** На основании теоремы 1 имеем

$$\sigma_\alpha^+ = \sum_{k=0}^{\infty} \alpha^k z_k^+, (x, t) \in Q, \quad \sigma_\alpha^- = \sum_{k=1}^{\infty} \alpha^k w_k^+, (x, t) \in Q_1, \quad (19)$$

где  $z_k^+$ ,  $w_k^+$  соответствуют параметру  $P=1$ .

Соответственно на основании теоремы 1 имеем

$$\sigma_\alpha^- = \sum_{k=0}^{\infty} \alpha^k z_k^-, (x, t) \in Q, \quad \sigma_\alpha^+ = \sum_{k=1}^{\infty} \alpha^k w_k^-, (x, t) \in Q_1, \quad (20)$$

где  $z_k^-$ ,  $w_k^-$  соответствуют параметру  $P=-1$ .

Очевидно, что  $z_0^+ \equiv z_0^- \equiv \sigma_+$  — решение задачи I.

Введем обозначения

$$\bar{w}_1 = w_1^+ + w_1^-,$$

тогда для функции  $\bar{w}_1$  получим задачу

$$L\bar{w}_1 = 0, (x, t) \in Q_1, \quad \frac{\partial \bar{w}_1}{\partial n} = 0, (x, t) \in \gamma t_0,$$

$$\bar{w}_1(x, 0) = 0, x \in D_1, \quad \bar{w}_1 = 0, (x, t) \in \Gamma_{t_0}.$$

Отсюда получаем  $\bar{w}_1 = 0$  или  $w_1^+ = -w_1^-$ .

Введем функцию  $\bar{z}_1 = z_1^+ + z_1^-$ , где  $\bar{z}_1$  удовлетворяет задаче

$$L\bar{z}_1 = 0, (x, t) \in Q, \quad \bar{z}_1(x, 0) = 0, x \in D,$$

$$\bar{z}_1(x, t) = 0, (x, t) \in \gamma t_0.$$

Отсюда получаем  $\bar{z}_1 = 0$  и, следовательно,  $z_1^+ = -z_1^-$ .

Далее, определим  $\bar{w}_2 = w_2^+ - w_2^-$ ,  $\bar{z}_2 = z_2^+ - z_2^-$ , имеем  $w_2^+ = w_2^-$ ,  $z_2^+ = z_2^-$ . Продолжая аналогичные рассуждения, получим

$$z_k^+ = z_k^-, \quad k - \text{четное}, \quad (21)$$

$$z_k^+ = -z_k^-, \quad k - \text{нечетное}.$$

Учитывая (21), подставляя в (19), (20), получим в  $Q$ :

$$\sigma_\alpha^+ = \sigma + \alpha z_1^+ + \alpha^2 z_2^+ + \dots, \quad (22)$$

$$\sigma_\alpha^- = \sigma - \alpha z_1^+ + \alpha^2 z_2^+ + \dots,$$

Используя (17) и разложение (22), получаем при  $0 < \alpha < \alpha_0$

$$\left\| \sigma - \frac{1}{2}(\sigma_\alpha^+ + \sigma_\alpha^-) \right\|_{W_2^{1,1}(Q)} \leq \alpha^2 \|z_2^+ + \alpha^2 z_4^+ + \dots\|_{W_2^{1,1}(Q)} \leq C_7 \alpha^2 \|z_0^+\|_{W_2^{1,1}(Q)} \leq C_8 \alpha^2 (\|f\|_{L_2(Q)} + \|\phi\|_{W_2^1(D)}).$$

Для задачи II в соответствии с методом фиктивных областей построим вспомогательную задачу

$$B \frac{\partial^2 \sigma^\alpha}{\partial t^2} = CRR^* \frac{\partial \sigma^\alpha}{\partial t} + \Lambda_\alpha RR^* \sigma^\alpha - \Lambda Rf_\alpha + CR \frac{\partial f_\alpha}{\partial t} \quad (23)$$

Дополним начальными и краевыми условиями из (12) и условия сопряжения (13).

Для задачи II верна

**Теорема 3.** Для  $0 < \alpha < \alpha_0$  верна оценка

$$\left\| \sigma - \frac{1}{2}(\sigma_\alpha^+ + \sigma_\alpha^-) \right\|_{W_2^{1,1}(Q)} \leq C\alpha^2. \quad (24)$$

**Доказательство** аналогично доказательству теоремы 1.

Кроме того, справедлива

**Теорема 4.** Если  $0 < \alpha < \alpha_0$ , то верна следующая оценка

$$\left\| \sigma - \frac{1}{2}(\sigma_\alpha^+ + \sigma_\alpha^-) \right\|_{W_2^{1,1}(Q)} \leq C_9 \alpha^2 (\|f\|_{L_2(Q)} + \|\phi\|_{W_2^1(D)}), \quad (25)$$

где  $\sigma$  — решение задачи II,  $\sigma_\alpha^+$  и  $\sigma_\alpha^-$  — решения задачи (23) при  $P=1$  и  $P=-1$ .

Запись исходных задач в терминах оператора  $R^*$  и сопряженного  $R$ , обусловлены возможностью построения консервативных разностных схем, допускающих реализацию с помощью схем расщепления.

Литература:

1. Букенов, М. М., Кузнецов Ю. А. Об одной спектральной задаче теории упругости. // ВЦ СО АН СССР, Препринт, Новосибирск, 1981 г. — 13 с.
2. Букенов, М. М. Постановка динамической задачи линейной вязкоупругости в скоростях напряжений. // Сиб. Журнал вычислительной математики РАН. Сиб. Отд. — Новосибирск, 2005. — т. 8, № 4. — с. 289–295.
3. Коновалов, А. Н. Об одном варианте метода фиктивных областей. // В кн. Некоторые проблемы вычислительной и прикладной математики. — Новосибирск, 1975, с. 191–199.
4. Букенов, М. М. Метод фиктивных областей для среды Максвелла. // Численные методы и пакеты программ для решений уравнений математической физики. — Новосибирск, 1985 — т. 4, № 2. — с. 117–126.
5. Ладыженская, О. А. Линейные и квазилинейные уравнения параболического типа. — Москва: Наука. — 1967. — 736 с.

## Возможные методы решения математических задач гидродинамики и подобных им задач математической физики

Золотухина Вера Геннадьевна, магистрант

Сильченко Евгений Борисович, аспирант

Кубанский государственный университет

*Рассматривается ряд важных гидродинамических задач, обсуждаются возможные пути их решения.*

**Ключевые слова:** уравнение Навье-Стокса, Эйлера, Шрёдингера, Бюргера, Россби, сингулярное множество.

В начале третьего тысячелетия математический институт Клэя поставил перед математическим сообществом 7 важных «классических» математических задач, решение которых не найдено в течение многих лет. Одна из них (гипотеза Пуанкаре) была решена российским математиком Г. Я. Перельманом в 2002 году. В настоящей работе мы коснемся некоторых аспектов другой задачи из этого списка — проблемы решения системы уравнений Навье-Стокса.

Поскольку система Навье-Стокса описывает движение жидкости, то мы также будем рассматривать и другие общие задачи гидродинамики, включая газовую динамику и математическую теорию турбулентности.

Классическая система уравнений Навье-Стокса имеет вид

$$\begin{cases} u_t + (u \cdot \nabla)u = \Delta u - \nabla p, \\ \operatorname{div} u = 0. \end{cases}$$

Здесь предполагается, что плотность жидкости постоянна и равна единице, а также что вязкость тоже равна единице. Задача разрешимости этой системы является шестой проблемой в списке великих проблем тысячелетия, сформулированных математическим институтом Клэя. В настоящей работе мы попытаемся представить некоторые методы и подходы, которые хотя и не решают данную проблему, но могут внести существенный вклад в решение смежных задач гидродинамики, которые тоже очень интересны и, возможно, могут быть решены полностью или хотя бы частично.

Мы начнем с задачи исследования сингулярных множеств решений системы Навье-Стокса. Сингулярное множество решения — это множество, на котором решение является неограниченным в том смысле, что в окрестности любой точки дополнения (к сингулярному множеству) решение является ограниченной функцией. Заметим, что из этого определения следует, что сингулярное множество всегда замкнуто. Оказывается, что для решения проблемы Навье-Стокса достаточно показать, что сингулярное множество пусто (см. [5], [8] и ссылки в этих работах). Возникает «попутная» задача: доказать, что это множество «не очень большое». В работе [5] рассматриваются ситуации, при которых возможно показать, что Хаусдорфова размерность сингулярного множества решения системы Навье-Стокса не превышает единицу. Более того, одномерная Хаусдорфова мера этого множества равна нулю. Это тесно связано с классической теоремой сильно-слабой единственности, которая заключается в том, что если имеются слабое решение и сильное решение с теми же начальными данными, то они совпадают. В частности, оба являются сильными решениями. Поэтому, если удастся показать наличие решения с пустым сингулярным множеством, то оно будет сильным (классическим), и поэтому любое другое решение совпадет с этим.

Математическая теория турбулентности находится очень близкой и тесной связи с классической теорией системы Навье-Стокса, которая описывает движение жидкости. Возможно, именно феномен турбулентности не позволяет найти положительное решение для классической задачи Навье-Стокса. Что же такое турбулентность в этих задачах? Если говорить очень упрощенно, то согласно закону Колмогорова-Обухова и следствиям из него, турбулентность — это особый закон поведения преобразования Фурье решения системы Навье-Стокса. Первоначально этот закон был экспериментальным (с математической точки зрения — всего лишь гипотезой), причем с некоторыми параметрами, которые тоже устанавливаются экспериментально. В работах [1] и [8] показывается, как он может быть получен, исходя из математических уравнений, и дается оценка параметров. Интересно, что такой подход может быть применен не только к решениям уравнений Навье-Стокса, но и ко многим другим уравнениям математической физики. Например, к уравнениям Шрёдингера [6], Бюргерса [2]. Турбулентность в уравнении Бюргерса называется «Бюргентностью». Статистический подход к двумерной турбулентности в уравнении Эйлера описывается в [3]. Важную роль в подходах к установлению единственности и регулярности решений уравнений математической физики играют различные априорные оценки [7], [9], [10].

Еще более сложным, чем уравнение Навье-Стокса, является уравнение Больцмана, которое описывает движение газов с учетом взаимодействия между молекулами. Уравнение Больцмана описывает эволюцию плотности распределения вещества в шестимерном фазовом пространстве координаты-скорость и выглядит следующим образом:

$$\partial_t f + v \cdot \nabla_x f = Q(f, f).$$

Здесь  $x = (x_1, x_2, x_3)$ ,  $v = (v_1, v_2, v_3)$ ,  $t \geq 0$ , функция  $f = f(x_1, x_2, x_3, v_1, v_2, v_3, t)$  имеет смысл плотности в фазовом пространстве. Задав начальную плотность в момент времени  $t = 0$  и решив задачу Коши, мы будем знать, что будет происходить в момент времени  $t$  в каждой точке пространства. В частности, для каждой точки  $x$  мы будем знать в какую сторону, с какой скоростью и сколько вещества движется. Квадратичный оператор  $Q$  — это оператор взаимодействия молекул Максвелла-Больцмана, который иногда называют больцмановским оператором столкновений:

$$Q(f, f)(x, v, t) = \int_{\mathbb{R}^3_*} \int_{S^2_\sigma} (f(v')f(v'_*) - f(v)f(v_*)) K(|v - v_*|, \frac{(v-v_*) \cdot \sigma}{|v-v_*|}) dS_\sigma dv_*.$$

Здесь для краткости опущены аргументы  $x$  и  $t$ . Штрихованные аргументы скорости, появляющиеся в правой части удовлетворяют соотношениям рассеяния:

$$v + v_* = v' + v'_* \quad \frac{v' - v'_*}{|v - v_*|} = \sigma \in S^2$$

и являются функциями от не штрихованных аргументов:

$$v' = v'(v, v_*, \sigma), \quad v'_* = v'_*(v, v_*, \sigma).$$

Через  $S^2$  обозначается стандартная единичная сфера в трехмерном пространстве. Функция двух переменных  $K$  называется ядром больцмановского оператора столкновений. Конкретный ее вид определяется физическими характеристиками вещества и другими предположениями. Например, если  $K \equiv 0$ , то это означает, что столкновений нет.

и вещество может свободно пролетать сквозь себя, без взаимодействий. Интересен случай, когда  $K > 0$ . Однако, в силу сложности поставленной задачи, приходится делать различные предположения относительно ядра  $K$ , которые могут быть не всегда физическими. Наиболее популярные предположения заключаются в том, что ядро  $K$  обращается в ноль в окрестности нуля и бесконечности и ограничено в целом. Заметим, что тогда, как для уравнений Навье-Стокса, фазовое пространство является трехмерным, то для уравнения Больцмана фазовое пространство является шестимерным, поскольку в каждой точке пространства описывается распределение плотности вещества по скоростям (т. е. добавляется еще три координаты). Из-за сложности задачи пока удается решить лишь различные частные случаи. В работе [4] исследуется уравнение Больцмана в предположении, что вещество распределено одинаково по переменным  $x_2$  и  $x_3$ , но произвольно по  $x_1$ . При этом ограничений на вещество по координатам скорости  $v_1, v_2, v_3$  не накладывается. Поэтому в работе [4] изучается динамика в четырехмерном фазовом пространстве.

Еще одним проявлением феноменов гидро и газовой динамики в больших (планетарных) масштабах, учитывающих влияние силы Корриолиса на движение среды, описывается уравнением Россби, которое в простейшем виде выглядит следующим образом:

$$\Delta u_t(x, t) + u_{x_1}(x, t) = f(x, t).$$

В случае, когда  $x$  — двумерная координата, т. е.  $x = (x_1, x_2)$ ; функция  $u$  является функцией тока поля скоростей среды, т. е. само поле скоростей имеет вид  $(u_{x_2}, -u_{x_1})$ . При этом выписанное уравнение Россби интересно и в многомерном случае ( $\dim x > 2$ ). Функция  $f$  описывает различные внешние возмущения. Будем интересоваться решением уравнения Россби в ограниченной области  $Q \subset \mathbb{R}^n$ , граница которой  $\partial Q$  — кусочно-гладкая поверхность. Следуя [15], классическим решением задачи Дирихле для уравнения Россби будем называть функцию  $u \in C^1([0, T]; C^2(\bar{Q}))$ , которая удовлетворяет уравнению Россби в классическом смысле (поточечно), начальному условию  $u(0) = u_0$  и граничному условию  $u|_{\partial Q} = 0$ . Кроме этого, обобщенным решением назовем функцию  $u \in C^1([0, T]; H_0^1(Q))$ , если для любой функции  $h \in H_0^1(Q)$  и для любого  $t \in (0, T)$  выполнено интегральное соотношение:

$$\int_Q (\nabla u_t(x, t) \nabla h(x) - u_{x_1}(x, t) h(x)) dx = - \int_Q f(x, t) h(x) dx.$$

Следующее утверждение устанавливает связь между понятиями обобщенного и классического решения.

**Теорема 1.** Если  $u_0 \in C^2(\bar{Q})$ , то функция  $u \in C^1([0, T]; C^2(\bar{Q}))$  будет являться классическим решением тогда и только тогда, когда она будет являться обобщенным.

**Доказательство.** Если  $u \in C^1([0, T]; C^2(\bar{Q}))$ , то для любой функции  $h \in H_0^1(Q)$  и для любого момента времени  $t$  справедливы равенства:

$$\int_Q (\Delta u_t \cdot h + \nabla u_t \cdot h) dx = \int_Q \operatorname{div}(h \cdot \nabla u_t) dx = \int_{\partial Q} h \cdot \frac{\partial}{\partial \nu} u_t dx = 0.$$

Здесь для краткости опущены аргументы  $(x, t)$  функции  $u$  и аргумент  $x$  функции  $h$ . Точка обозначает обычное (не скалярное) умножение. Таким образом, мы доказали равенство

$$\int_Q (\Delta u_t(x, t) h(x) + \nabla u_t(x, t) h(x)) dx = 0.$$

Вычтя из этого равенства интегральное соотношение, определяющее понятие обобщенного решения, получим эквивалентное равенство:

$$\int_Q (\Delta u_t(x, t) h(x) + u_{x_1}(x, t) h(x)) dx = \int_Q f(x, t) h(x) dx.$$

Таким образом, для функций  $u \in C^1([0, T]; C^2(\bar{Q}))$  определение обобщенного решения можно заменить на только что полученное. С другой стороны, в силу произвольности  $h \in H_0^1(Q)$  и  $t \in (0, T)$ , последнее равенство эквивалентно исходному уравнению Россби. Для завершения доказательства, остается заметить, что для функций  $u \in C^1([0, T]; C^2(\bar{Q}))$  принадлежность пространству  $C^1([0, T]; H_0^1(Q))$  равносильно условию  $u|_{\partial Q} = 0$ . Теорема доказана.

Доказанная теорема играет важную роль в теории уравнения Россби, поскольку она позволяет перенести классическую постановку задачи на «операторный язык». Происходит это потому, что обобщенная постановка задачи для уравнения Россби эквивалентна задаче Коши для обыкновенного дифференциального уравнения в банаховом пространстве  $H_0^1(Q)$ :

$$\begin{cases} u_t = \Delta^{-1} \left( f(t) - \frac{\partial}{\partial x_1} u(t) \right), \\ u(0) = u_0. \end{cases}$$

**Теорема 2.** Функция  $C^1([0, T]; H_0^1(Q))$  удовлетворяет указанным выше соотношениям тогда и только тогда, когда она является обобщенным решением уравнения Россби.

Для доказательства теоремы нужно разобраться с обозначениями. Оператор

$$\Delta^{-1}: L_2(Q) \rightarrow H_0^1(Q)$$

ставит в соответствие правой части  $\psi$  обобщенное решение  $\varphi$  задачи Дирихле для уравнения Пуассона

$$\begin{cases} \Delta\varphi = \psi, \\ \varphi|_{\partial Q} = 0. \end{cases}$$

Иными словами,  $\Delta^{-1}\psi = \varphi$  тогда и только тогда, когда для любой функции  $h \in H_0^1(Q)$  справедливо интегральное тождество:

$$\int_Q \nabla\varphi(x)\nabla h(x)dx = - \int_Q \psi(x)h(x)dx.$$

Доказательство теоремы 2 заключается в сопоставлении этого тождества и тождества определяющего понятие обобщенного решения.

Оператор  $\Delta^{-1}$  является непрерывным в указанных пространствах, что позволяет эффективно реализовывать различные численные и аналитические методы, разработанные для обратного лапласиана, применительно к уравнению Россби, например, метод точечных потенциалов [11–16].

#### Литература:

1. Бирюк, А. Э. О пространственных производных решений уравнения Навье-Стокса с малой вязкостью // Успехи математических наук. — 2002. — Т. 57. — № 1. — с. 147–148.
2. Biryuk, A. Note on the transformation that reduces the Burgers equation to the heat equation // preprint — 2003. — mp\_arc:03–370
3. Biryuk, A. On invariant measures of the 2D Euler equation // Journal of Statistical Physics. — 2006. — Т. 122. — № 4. — с. 597–616.
4. Biryuk, A., Craig W., Panferov V. Strong solutions of the Boltzmann equation in one spatial dimension // Comptes Rendus Mathematique. — 2006. — Т. 342. — № 11. — с. 843–848.
5. Biryuk, A., Craig W., Ibrahim S. Construction of suitable weak solutions of the Navier-Stokes equations // Contemporary Mathematics. — 2007. — V. 429. — с. 1–18.
6. Biryuk, A. Lower bounds for derivatives of solutions for nonlinear Schrödinger equations // Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. Section A: Mathematics. — 2009. — V. 139. — № 2. с. 237–251.
7. Biryuk, A. An optimal limiting 2D Sobolev inequality // Proceedings of the American Mathematical Society. — 2010. — V. 138. — № 4. — с. 1461–1470.
8. Biryuk, A., Craig W. Bounds on Kolmogorov spectra for the Navier-Stokes equations // Physica D: Nonlinear Phenomena. — 2012. — Т. 241. — № 4. — с. 426–438.
9. Левицкий, Б. Е. Оценки модулей семейств поверхностей, огибающих препятствия. // Сибирский математический журнал. 1990. Т. 31. № 6. с. 104–112.
10. Левицкий, Б. Е., Бирюк А. Э. Сравнение решений нелинейных дифференциальных уравнений с «нагруженными» множествами уровня // Геометрический анализ и его приложения. Материалы II международной конференции, г. Волгоград, 26–30 мая 2014 г. — 2014. — с. 92–94.
11. Свидлов, А. А. Вихревое обтекание острова в канале // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. — 2006. — Спец. выпуск. — с. 141–143.
12. Свидлов, А. А. О начально-краевой задаче для уравнения Россби в ограниченной области // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. — 2008. — № 3. — с. 48–52.
13. Свидлов, А. А. О второй начально-краевой задаче для уравнения Россби в ограниченной области // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. — 2009. — № 3. — с. 80–84.
14. Свидлов, А. А., Бирюк А. Э., Дроботенко М. И. Негладкое решение уравнения Россби // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. — 2013. — № 2. — с. 89–94.
15. Свидлов, А. А. Решение линейного уравнения Россби в ограниченной области // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. — 2013. — Т. 155. — № 3. — с. 142–149.
16. Свидлов, А. А., Дроботенко М. И., Бирюк А. Э. Множество единственности потенциала простого слоя // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. — 2015. — № 2. — с. 77–81.



## Алгоритмы расщепления для задачи о пропозициональной выполнимости

Исхаков Рустам Ринатович, студент  
Сибирский федеральный университет

*В статье исследуется задача о пропозициональной выполнимости и известные алгоритмы ее решения. Приведено обоснование её значимости как широко применимой задачи, для которой впервые было сформулировано и доказано свойство NP-полноты. Автором разработана и описана программа, реализованная на основе DPLL-алгоритма, позволяющая найти решение задачи о пропозициональной выполнимости.*

**Ключевые слова:** ВЫПОЛНИМОСТЬ, SAT, конъюнктивная нормальная форма, литерал, клуз, NP-полнота, DPLL-алгоритмы, PPSZ-алгоритмы, алгоритмы расщепления, декомпозиционные алгоритмы, правила редукции.

Задача о пропозициональной выполнимости (англ. вариант — SATISFIABILITY, или SAT) имеет следующую формулировку [1]. Пусть  $X$  — это конечное множество переменных со значениями false или true. Формула  $F$  в конъюнктивной нормальной форме (КНФ) является конъюнкцией конечного числа клозов, где клуз — это дизъюнкция литералов, не содержащая ни одной переменной одновременно с ее отрицанием, а всякий литерал — это некоторая переменная  $x \in X$  либо ее отрицание  $\neg x$ . Необходимо установить, существует ли для некоторой формулы  $F$ , заданной в КНФ над множеством переменных  $X$ , такой набор значений переменных, при котором каждый клуз формулы  $F$  принимает значение true (такой набор называют выполняющим). Формула считается выполнимой, если для нее существует хотя бы один выполняющий набор, и невыполнимой, если такого набора не существует.

Размерность входной формулы  $F$  обычно характеризует некая числовая величина, которая принимает неотрицательные целые значения. Величины такого рода называют мерами сложности формулы логики высказываний. Среди основных мер сложности рассматривают:  $N = |X|$  — число переменных;  $K$  — число клозов;  $L = |F|$  — длину формулы  $F$ , то есть количество входящих в нее литералов. Относительно этих мер сложности традиционно определяют вычислительную сложность исследуемого алгоритма решения SAT.

Задача SAT является объектом исследований в таких областях как искусственный интеллект, временная и пространственная логика, распознавание образов, автоматическое доказательство теорем, теория реляционных баз данных, теория графов и некоторые разделы комбинаторики, техническое проектирование.

В статье Стивена Кука 1971 года [2] впервые был введен термин «NP-полная задача». Задача SAT была первой задачей, для которой было доказано данное свойство. Многие проблемы из класса NP сводятся к данной задаче [3].

К полиномиально разрешимым случаям для SAT относятся следующие классы формул: пустые формулы (которые не содержат клозов, то есть такая формула интерпретируется как true); формулы в 2-КНФ (каждый их клуз содержит не более двух литералов); хорновские формулы и другие классы формул [4, 5].

Алгоритм полного перебора анализирует все  $2^N$  различных наборов значений  $N$  переменных, устанавливая тривиальную верхнюю оценку вычислительной сложности SAT в худшем случае. С начала 60-х годов прошлого века и до настоящего времени активно ведется поиск алгоритмов, работающих быстрее полного перебора [1]. Среди них наиболее известными являются алгоритмы, основанные на локальном поиске, и алгоритмы расщепления [6] (DPLL-алгоритмы, PPSZ-алгоритмы).

Алгоритм, основанный на локальном поиске, прежде всего выбирает начальный набор и далее изменяет его шаг за шагом в попытке приблизиться к выполняющему набору. Если после некоторого количества шагов не удастся найти выполняющий набор, то алгоритм выбирает другой начальный набор и вновь изменяет его шаг за шагом. Число этих попыток ограничено и если ни в одной из них не удалось найти выполняющий набор, то алгоритм заканчивает работу с ответом «Невыполнима».

Алгоритмы расщепления являются декомпозиционными, то есть сводят задачу SAT для заданной формулы  $F$  к конечному числу подзадач, каждая из которых также является задачей SAT для формул с меньшей сложностью, чем сложность  $F$ . При этом такое сведение может быть детерминированным (алгоритм производит рекурсивные вызовы самого себя для формул с меньшей сложностью, полученных путем расщепления  $F$ ) или вероятностным (случайным образом выбирается одна из образованных расщеплением формул). Детерминированные алгоритмы расщепления обычно называют DPLL-алгоритмами по первым буквам фамилий их авторов: M. Davis, H. Putman, G. Logemann, D. Loveland [7, 8]. Такой алгоритм заменяет заданную формулу  $F$  на две формулы  $F[x]$  и  $F[\bar{x}]$ , полученные путем присваивания некоторой переменной  $x$  значений true и false соответственно. Далее алгоритм упрощает каждую из полученных формул и после рекурсивно вызывает процедуру для каждой из упрощенных формул. Основное отличие PPSZ-подобных алгоритмов от DPLL-подобных алгоритмов заключается в выборе переменных для присваивания значений (производится случайный выбор вместо детерминированного). Большинство алгоритмов из тех, которые были разработаны за последние пятьдесят лет для SAT, основано на идеях, заложенных в DPLL-алгоритмах.

Всякий DPLL-алгоритм выполняется по следующей схеме. [1]

*Вход:* формула  $F$  в КНФ над  $X$ .

*Ответ:* «Выполнима» / «Невыполнима».

1. Редуцирование  $F$ , то есть преобразование формулы  $F$  в  $F_0$  меньшей сложности путем применения конечного набора правил редукции. Эти правила применяются к  $F$  до того момента, пока хотя бы одно из них применимо.

2. Если SAT тривиально разрешима для  $F_0$ , то выдается соответствующий ответ.

3. Выбор переменной  $x \in X$  по определенному правилу. Таких переменных может быть выбрано несколько. Их количество задается правилом расщепления, используемом на следующем шаге.

4. Расщепление формулы  $F_0$  на конечное число формул с меньшей сложностью по указанному правилу расщепления, используя различные значения переменных, выбранных на шаге 3.

5. Осуществление рекурсивных вызовов указанного алгоритма с полученными формулами в качестве входных параметров. Выдача ответа, основанного на результатах, которые были возвращены рекурсивными вызовами. При этом если хотя бы один из рекурсивных вызовов вернул выполняющий набор, то необходимо выдать ответ «Выполнима», в противном случае — «Невыполнима».

Разные расщепляющие алгоритмы отличаются друг от друга преимущественно правилами редукции, стратегией

выбора переменных на шаге 3, правилами расщепления и мерой сложности формул.

Сфера применения DPLL-алгоритмов не ограничивается задачей SAT. Алгоритмы расщепления также успешно применяются для решения многих других NP-полных задач, к примеру, MAX-SAT, MAX-2-SAT [9].

В процессе исследования автором статьи разработана программа DPLL-Solver, реализующая DPLL-алгоритм для задачи SAT. В программе редуцирование входной формулы выполняется по правилам: «чистый литерал», «единичный клоз», «поглощение», «резолуция». Применяемое на шаге 4 правило расщепления заменяет формулу  $F_0$  на две формулы  $F_1 = F_0[x]$  и  $F_2 = F_0[\neg x]$ , где  $x$  на шаге 3 определяется по следующей эвристике: «необходимо выбрать переменную, входящую в наибольшее количество клозов». В качестве тривиальных случаев на шаге 2 выступают: пустой клоз (интерпретируется как false); пустая формула (интерпретируется как true).

Функциональное назначение процедур программы DPLL-Solver представлено в таблице 1.

Для эксплуатации программы необходимо иметь персональный компьютер типа IBM PC Pentium IV с операционной системой Windows XP/Vista и оперативной памятью от 512 Мб.

Для создания программы использована среда разработки Microsoft Visual Studio 2010 Express. Программа работает со структурами, объединяющими два

Таблица 1. Функциональное назначение процедур

Процедура	Назначение процедуры
absorption	Реализует правило редукции «поглощение»
check	Проверяет наличие литерала в клозе
check_for_trivial	Проверяет формулу на наличие пустых клозов (в таком случае формула является невыполнимой)
check_for_unsat	Проверяет формулу на наличие клоза, равного false (в таком случае формула является невыполнимой)
check_solution	Проверяет выполняющий набор подстановкой его в КНФ
choice_variable	Выбор переменной для расщепления (наиболее часто встречающийся литерал)
clear_literal	Реализует правило редукции «чистый литерал»
compare	Сравнение векторов (содержит ли вектор $v$ все элементы вектора $d$ )
compare_res	Проверка одного вектора на содержание отрицания литерала, принадлежащего другому (кроме литерала, выбранного по правилу «резолуция»)
erase_empty_close	Удаление клозов, отмеченных ранее на удаление
find_solution	Выбор выполняющего набора из полученных в ходе решения приближений
kol	Функция, подсчитывающая количество элементов вектора, не равных $-1$
main ()	Главная функция, то есть тело программы
one_close_delete	Реализует правило редукции «единичный клоз»
print_file_mas	Распечатка в файл вектора с КНФ и её выполняющим набором
print_file_mas_2	Распечатка только КНФ (без выполняющего набора)
push_a_in_d	Вставка вектора $a$ в конец вектора $d$
resolution	Реализует правило редукции «резолуция»
search_solution	Поиск возможных выполняющих наборов
set_value	Установка для литерала значения true во всех строках вектора
set_value_res	Отмечает на удаление все строки, содержащие указанный литерал или его отрицание
splitting	Реализует расщепление формулы $F$ по правилу (2.1)

динамических контейнера целых чисел типа `vector<int>` из библиотеки `vector` в C++. Данные структуры инициализируются для работы с входной формулой в программном виде. Первый вектор задает исходную формулу в КНФ, а второй — набор значений переменных, где в процессе работы алгоритма формируется выполняющий набор.

Входные данные задаются в виде текстового файла формата DIMACS, где указываются: число переменных, число клозов и сами клозы. Выходные данные содержат сведения об использованных правилах редукции и найденный выполняющий набор, если он существует.

Разработанная программа DPLL-Solver была проведена на большом количестве формул. Приведем одну из

них. Рассмотрим формулу большой размерности, включающую в себя 12 переменных и 20 клозов:

$$\begin{aligned}
 F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}) = & (x_1 \vee x_2 \vee \neg x_3 \vee \neg x_6) \\
 \wedge (\neg x_1 \vee x_4 \vee x_5 \vee x_6 \vee x_7 \vee \neg x_9 \vee x_{11}) \wedge (x_3 \vee \neg x_5 \vee x_8 \vee \neg x_{10} \vee x_{12}) \\
 \wedge (x_2 \vee x_4 \vee \neg x_6 \vee \neg x_8 \vee x_9 \vee \neg x_{11}) \wedge (x_4 \vee x_5) \wedge (x_2 \vee \neg x_3 \vee \neg x_5 \vee \\
 \neg x_7 \vee x_9 \vee x_{11}) \wedge (\neg x_2 \vee x_3 \vee \neg x_4 \vee \neg x_8) \wedge (x_4 \vee x_5 \vee x_6 \vee x_7 \vee \neg x_9 \vee \\
 x_{10} \vee x_{11}) \wedge (\neg x_5 \vee x_8 \vee \neg x_{10} \vee x_{11}) \wedge (x_4 \vee x_6 \vee x_7 \vee \neg x_8 \vee \neg x_9 \vee x_{11}) \\
 \wedge (\neg x_7 \vee x_9 \vee x_{10}) \wedge (x_1 \vee x_5 \vee \neg x_7 \vee x_8 \vee x_{11}) \wedge (\neg x_2 \vee \neg x_5 \vee \neg x_7 \\
 \vee x_8) \wedge (\neg x_1 \vee x_4 \vee x_5 \vee x_6 \vee x_7 \vee \neg x_9 \vee x_{11}) \wedge (x_3 \vee \neg x_5 \vee x_8 \vee \neg x_{10} \\
 \vee x_{12}) \wedge (\neg x_6 \vee \neg x_8) \wedge (x_5) \wedge (x_7 \vee \neg x_9 \vee x_{11}) \wedge (\neg x_8) \wedge (\neg x_{10} \vee x_{11}).
 \end{aligned}$$

Для данной формулы срабатывают правила редукции «единичный клоз», «поглощение» и «чистый литерал» (рис. 1). В итоге программа находит выполняющий набор за 133 миллисекунды.

```

Result4.txt — Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
Все элементы клоза, равные 14, указывают на то, что полученный выполняющий набор обращает данный клоз в истину
Исходные данные:
КНФ:
1 2 -3 -6 0 0 0 0 0 0 0 0
-1 4 5 6 7 -9 11 0 0 0 0 0
3 -5 8 -10 12 0 0 0 0 0 0 0
2 4 -6 -8 9 -11 0 0 0 0 0 0
4 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2 -3 -5 -7 9 11 0 0 0 0 0 0
-2 3 -4 -8 0 0 0 0 0 0 0 0
10 4 5 6 7 -9 11 0 0 0 0 0
-5 8 -10 11 0 0 0 0 0 0 0
4 6 7 -8 -9 11 0 0 0 0 0 0
-7 9 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1 5 -7 8 11 0 0 0 0 0 0 0
-2 -5 -7 8 0 0 0 0 0 0 0 0
-1 4 5 6 7 -9 11 0 0 0 0 0
3 -5 8 -10 12 0 0 0 0 0 0 0
-6 -8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
7 -9 11 0 0 0 0 0 0 0 0
-8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
-10 11 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Начало поиска выполняющего набора.
Сработало правило редукции: Единичный клоз по переменной 5
Сработало правило редукции: Единичный клоз по переменной -8
Сработало правило редукции: Поглощение
Сработало правило редукции: Поглощение
Сработало правило редукции: Чистый литерал по переменной 1
Сработало правило редукции: Чистый литерал по переменной 11
Сработало правило редукции: Чистый литерал по переменной -2
Сработало правило редукции: Чистый литерал по переменной 3
Сработало правило редукции: Чистый литерал по переменной -7
КНФ:
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14
Выполняющий набор:
1 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1
Время работы = 0.133 секунды

```

Рис. 1. Результат выполнения программы для формулы с 20 клозами

Разработанная программа может быть использована в многочисленных приложениях задачи SAT.

Литература:

1. Быкова, В. В. Об асимптотике решений рекуррентных соотношений специального вида и технике Кульмана — Люкхардта // Прикладная дискретная математика. 2013. — № 4 (22). — с. 56–66.
2. Cook, S.A. The complexity of theorem proving procedures // Proc. 3rd ACM Symp. on Theory of Computing. 1971. — P. 151–158

3. Отпущенников, И. В., Семенов А. А. Технология трансляции комбинаторных проблем в булевы уравнения // Прикладная дискретная математика. 2011. — № 1 (11). — с. 96–115.
4. Franco, J. and Gelder A. V. A perspective on certain polynomial-time solvable classes of Satisfiability // Discr. Appl. Math. 2003. — V. 125. Iss. 2–3. — P. 177–214.
5. Алексеев, В. Б., Носов В. А. NP-полные задачи и их полиномиальные варианты. Обзор // Обозрение прикладной и промышленной математики. 1997. — Т. 4. Вып. 2. — с. 165–193.
6. Всемирнов, М. А., Гирш Э. А., Данцин Е. Я., Иванов С. В. Алгоритмы для пропозициональной выполнимости и верхние оценки их сложности // Теория сложности вычислений. VI. Зап. научн. сем. ПОМИ. СПб., 2001. — Т. 277. — с. 14–46.
7. Davis, M., Logemann G., and Loveland D. A machine program for theorem-proving // Comm. ACM. 1962. — № 5 (7). — P. 394–397.
8. Davis, M. and Putman H. A computing procedure for quantification theory // J. ACM. 1960. — № 7 (3). — P. 201–215.
9. Куликов, А. С., Куцков К. Новые верхние оценки для задачи максимальной выполнимости // Дискретная математика. 2009. — № 21 (1). — с. 139–157.

## ФИЗИКА

### Математическое моделирование САР скорости системы «АИН ШИМ — АД» с переменными $\psi_r - i_s$ на основе интегрирующих звеньев

Емельянов Александр Александрович, доцент;  
Бесклеткин Виктор Викторович, ассистент;  
Авдеев Александр Сергеевич, студент;  
Чернов Михаил Владимирович, студент;  
Киряков Георгий Анатольевич, студент;  
Габзалилов Эльвир Фиргатович, студент;  
Прокопьев Константин Васильевич, студент

Российский государственный профессионально-педагогический университет (г. Екатеринбург)

Эта работа необходима для методических указаний к выполнению студентами лабораторных и практических работ по дисциплине «Системы управления электроприводов» в разделе «Векторное управление асинхронными двигателями». Эта статья является продолжением предыдущей работы [1]. Кроме того, для лучшего понимания логики изложения материала необходимо рассмотреть все наши статьи за 2015 год.

Развернутая схема САР скорости «АИН ШИМ — АД» дана на рис. 1. Задание на скорость  $\omega^*$  формируется в Signal Builder (рис. 2).

Под каждым элементом развернутой схемы САР скорости указаны его номер и название. С целью уменьшения объема статьи произведем группировку некоторых элементов.

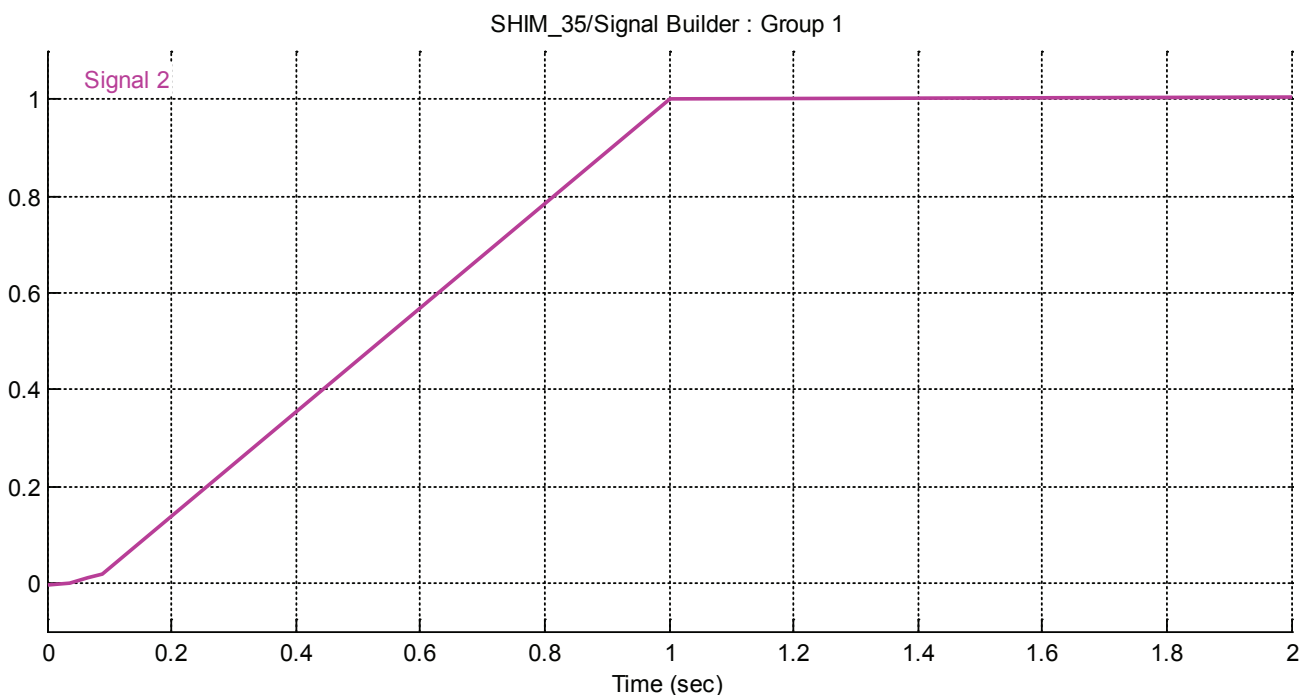


Рис. 2. Задание на скорость  $\omega^*$



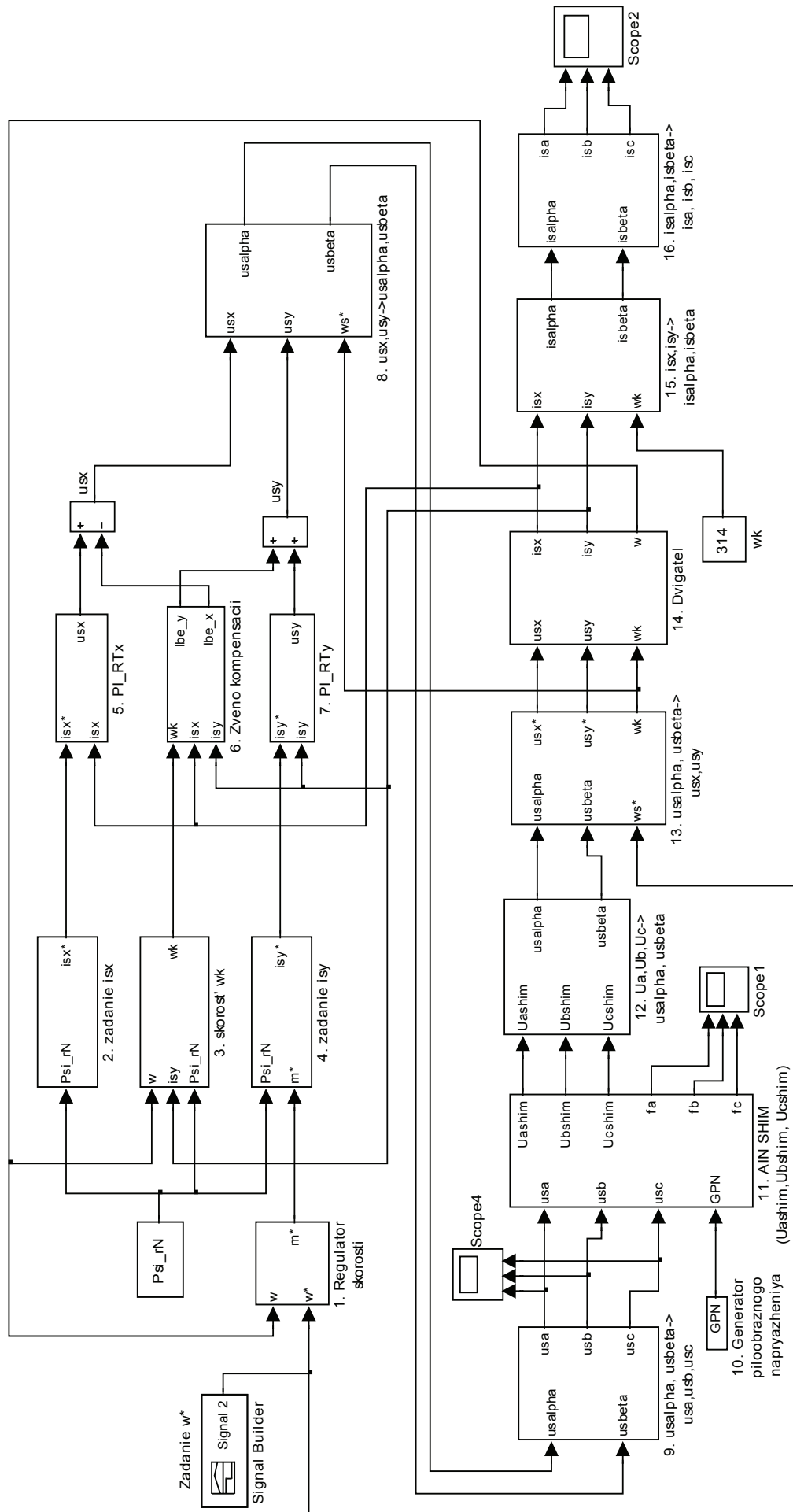


Рис. 1. Развернутая математическая модель САР скорости системы «АИН ШИМ — АД»

Математические модели регулятора скорости (номер 1), задание на проекции статорного тока по оси  $x$  (номер 2) и  $y$  (номер 4) и угловую скорость координатной системы  $\omega_e$  (номер 3) даны на рис. 3, 4, 5, 6 [1], [2], [3], [4], [5].

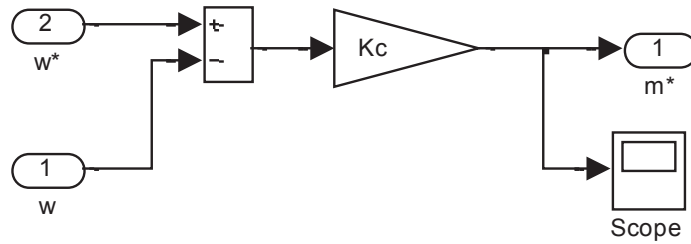


Рис. 3. Регулятор скорости

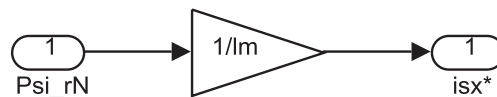


Рис. 4. Задание  $i_{sx}^*$

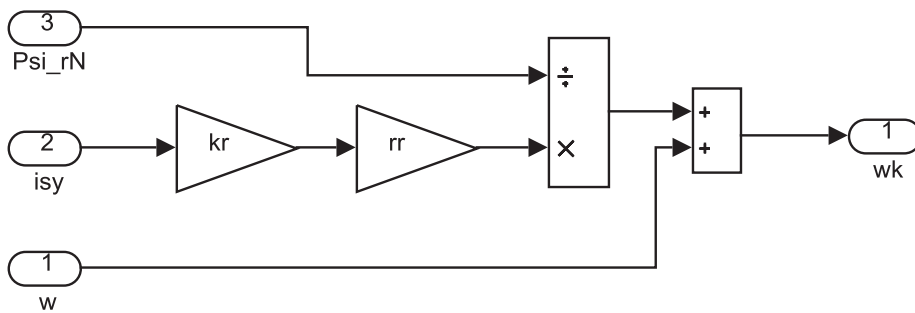


Рис. 5. Задание скорости координатной системой

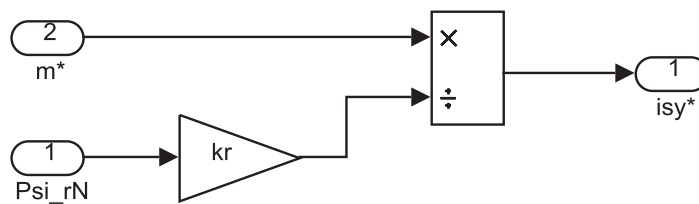


Рис. 6. Задание  $i_{sy}^*$

Регуляторы тока по проекциям  $x$  и  $y$  даны на рис. 7 и 9 [1], [2], [3], [4]. Звено компенсации внутренних перекрестных связей [5] дано на рис. 8.

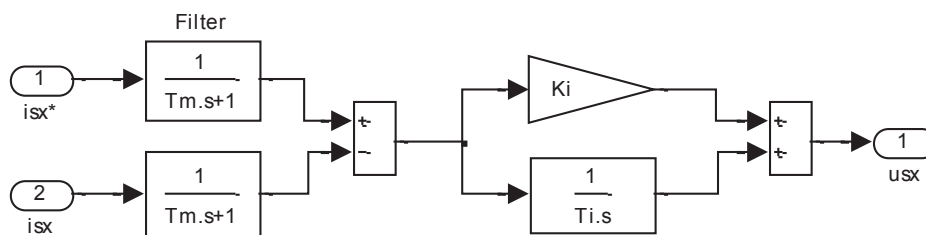


Рис. 7. Регулятор статорного тока по проекции  $x$ : ПИ-РТх

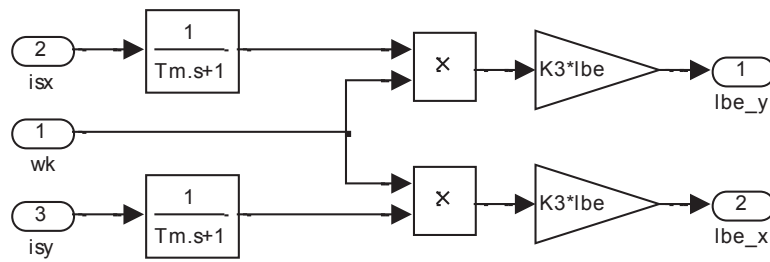


Рис. 8. Звено компенсации внутренних перекрестных связей

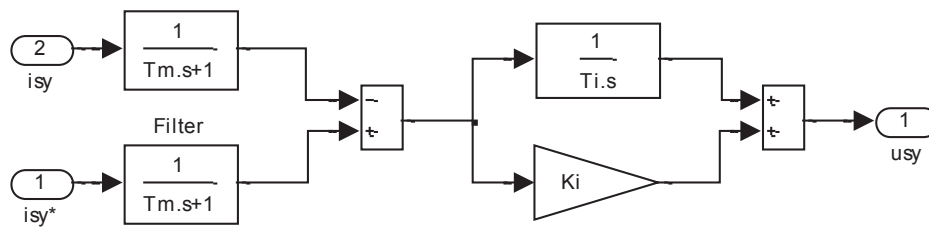


Рис. 9. Регулятор тока по проекции у: ПИ-РТу

Преобразователи координат на развернутой схеме САР скорости даны под номерами 8 и 9 ( $x, y \rightarrow \alpha, \beta$  и  $\alpha, \beta \rightarrow a, b, c$ ) приведены на рис. 10 и 11 [4].

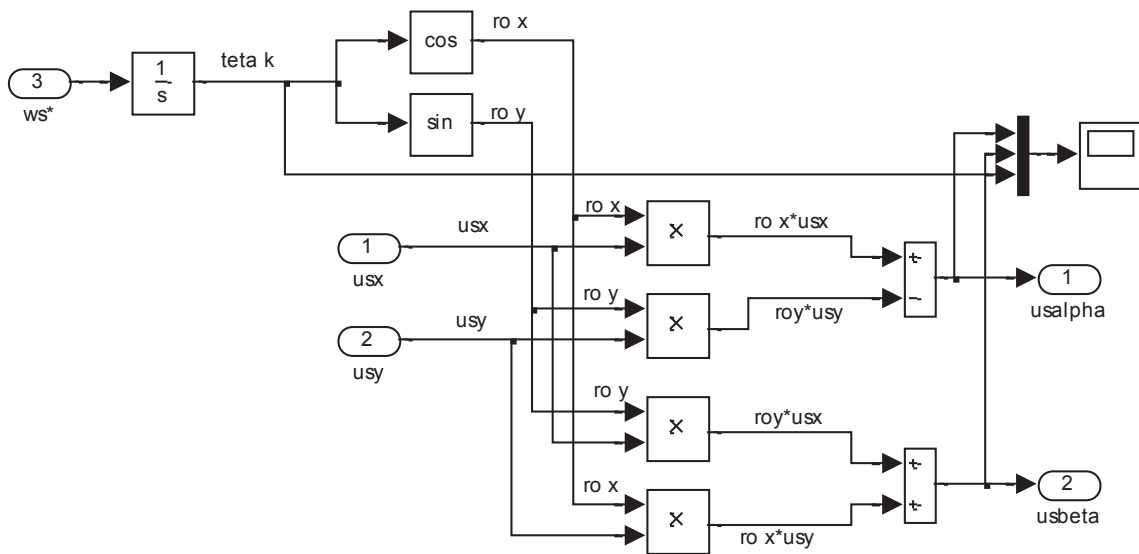


Рис. 10. Преобразователь координат:  $x, y \rightarrow \alpha, \beta$

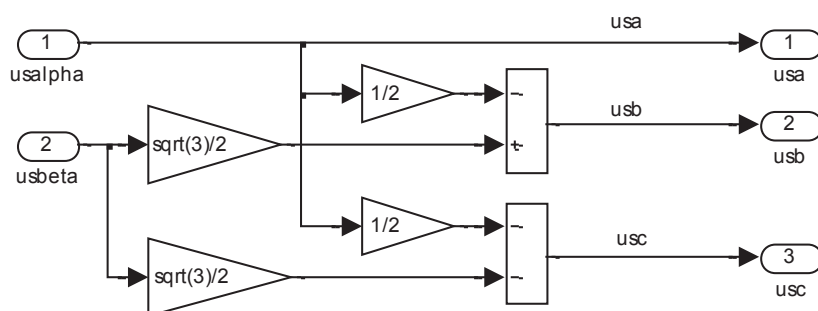


Рис. 11. Преобразователь координат:  $\alpha, \beta \rightarrow a, b, c$

Математическая модель АИН ШИМ (номер 11) вместе с генератором пилообразного напряжения GPN (номер 10) даны на рис. 12 и 13.

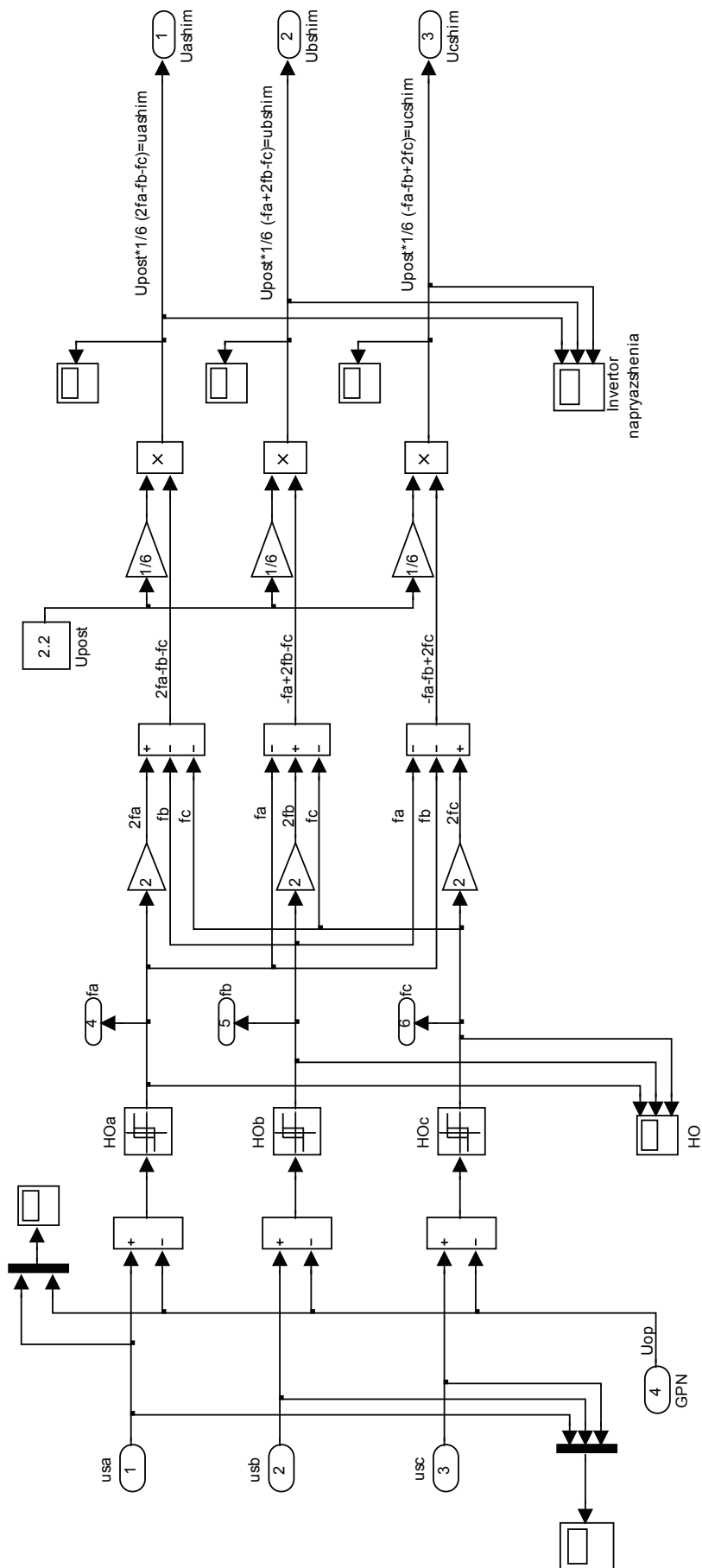


Рис. 12. Математическая модель АИН ШИМ

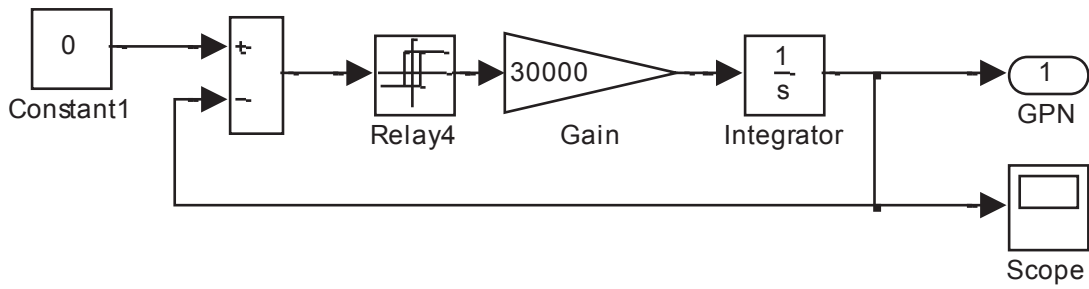


Рис. 13. Генератор пилообразного напряжения (GPN)

Преобразователи координат под номерами 12 и 13 ( $u_{a\text{ шим}}, u_{b\text{ шим}}, u_{c\text{ шим}} \rightarrow u_{s\alpha}, u_{s\beta}$  и  $u_{s\alpha}, u_{s\beta} \rightarrow u_{sx}, u_{sy}$ ) даны на рис. 14 и 15.

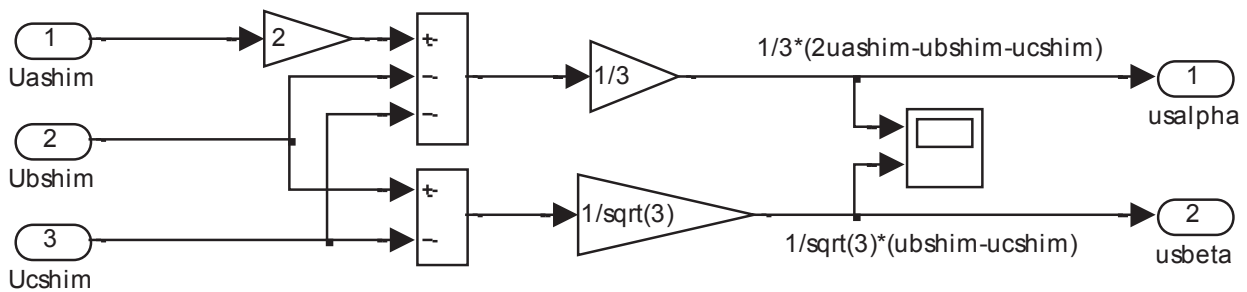


Рис. 14. Преобразователь координат:  $u_{a\text{ шим}}, u_{b\text{ шим}}, u_{c\text{ шим}} \rightarrow u_{s\alpha}, u_{s\beta}$

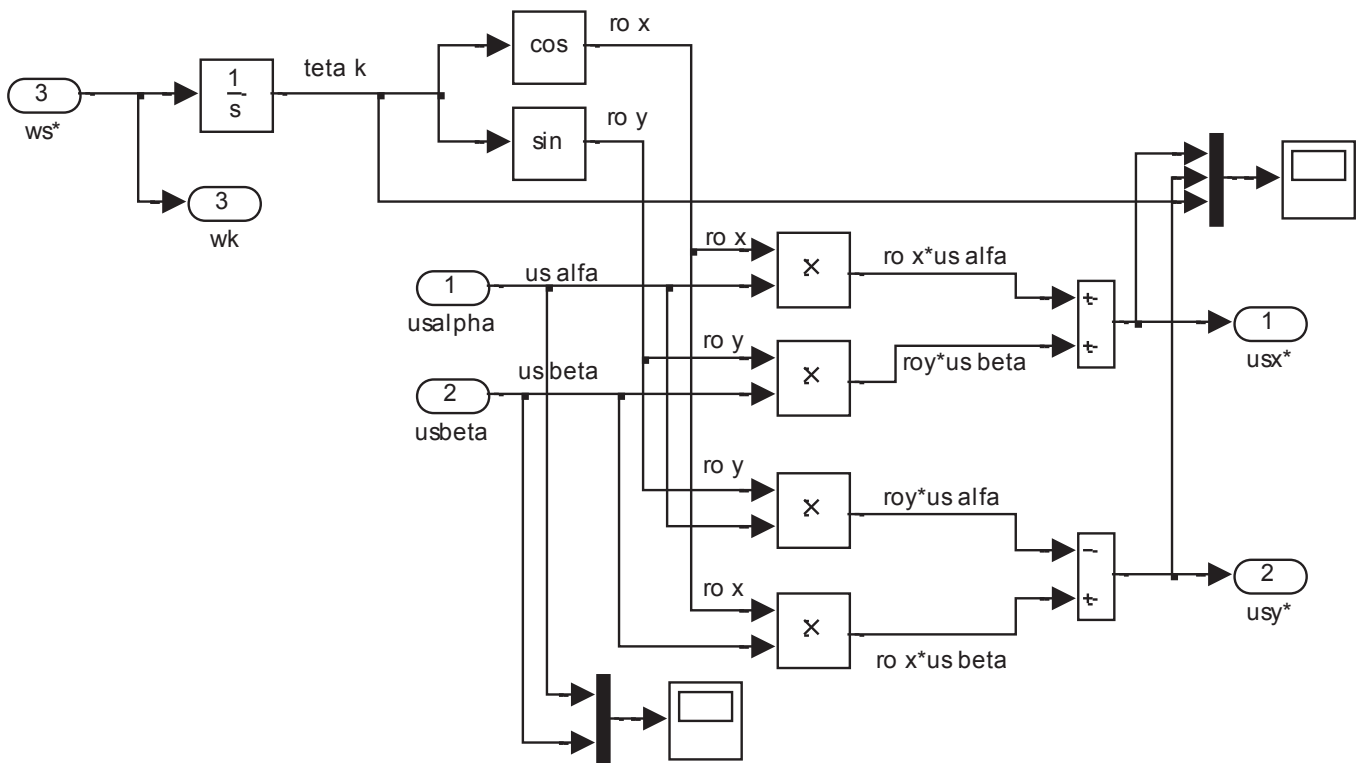


Рис. 15. Преобразователь координат:  $u_{s\alpha}, u_{s\beta} \rightarrow u_{sx}, u_{sy}$



Математическая модель двигателя (номер 15) дана на рис. 16, 17, 18 и 19.

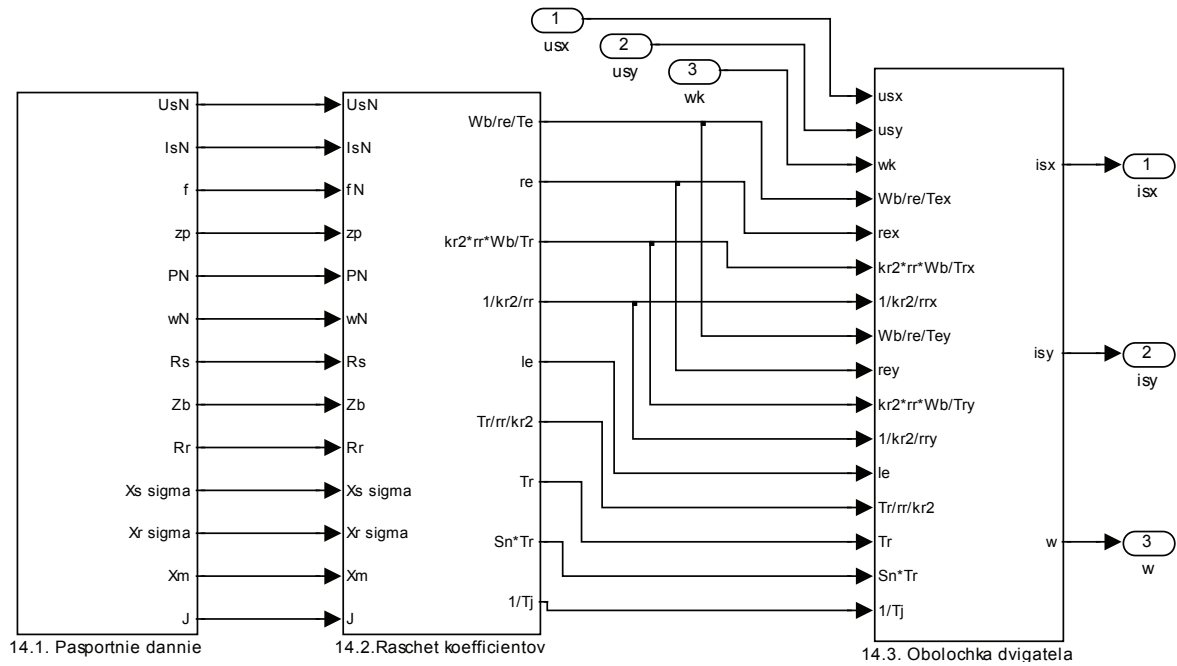


Рис. 16. Математическая модель АД с переменными  $\psi_r - i_s$

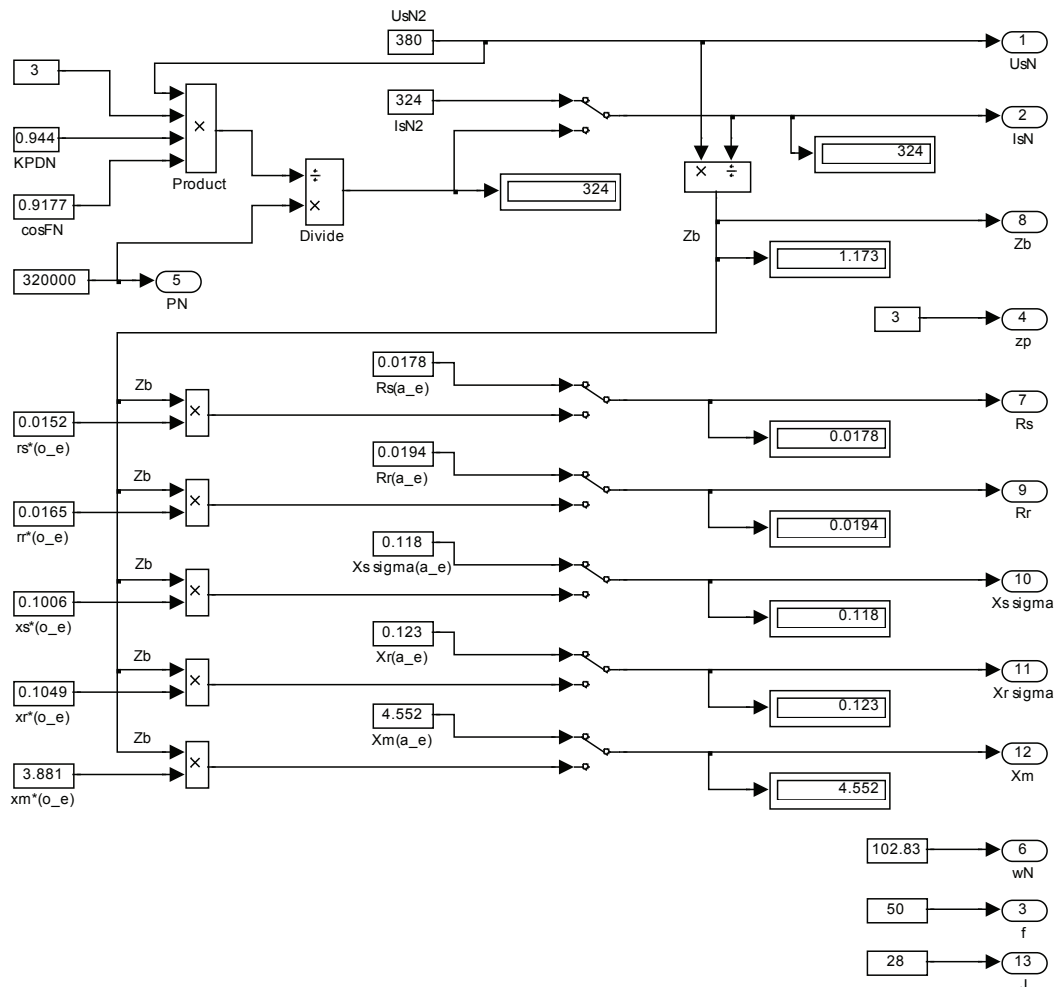


Рис. 17. Расчет коэффициентов по паспортным (справочным) данным

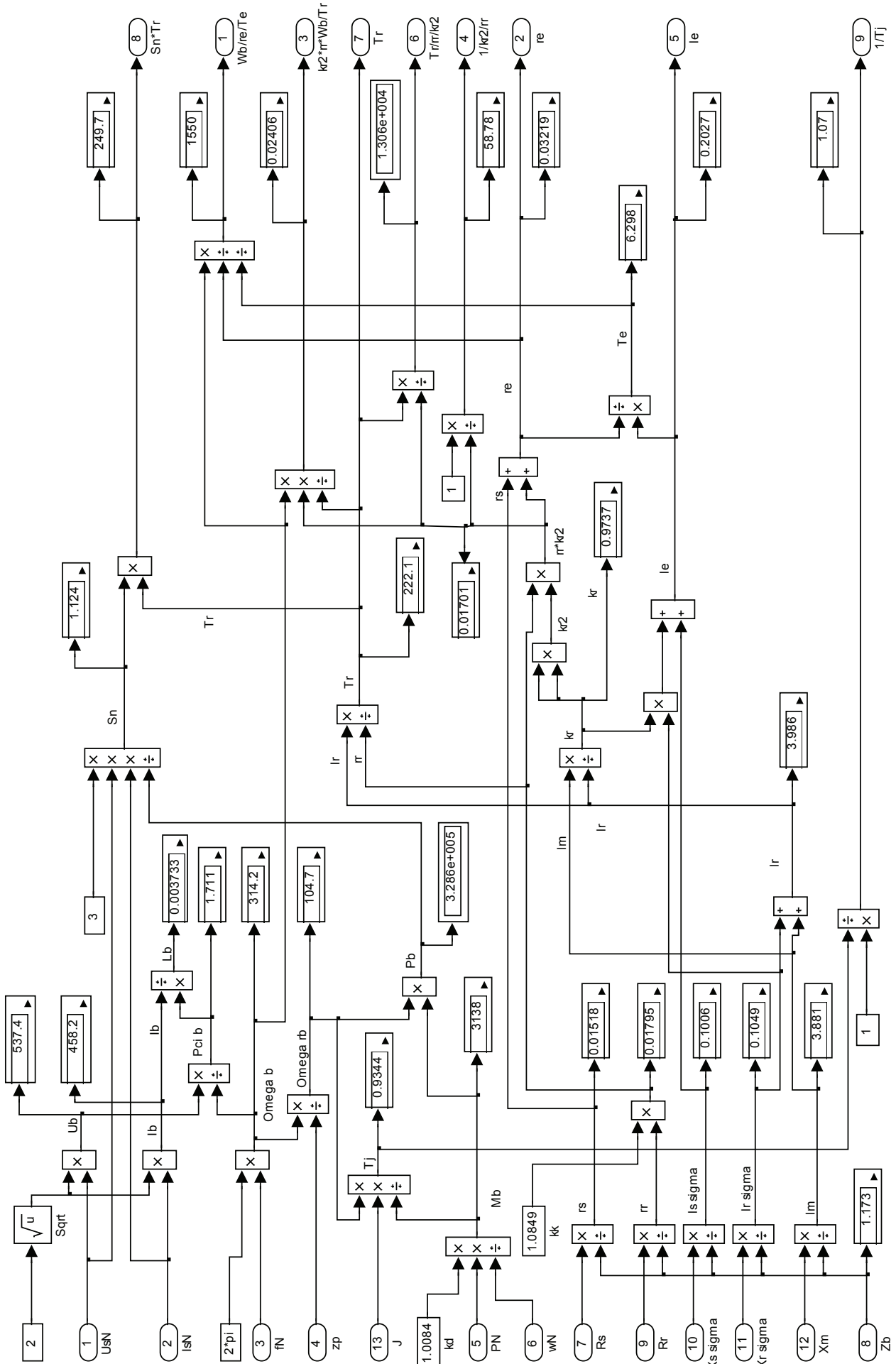


Рис. 18. Определение коэффициентов оболочки АД в Simulink-Matlab

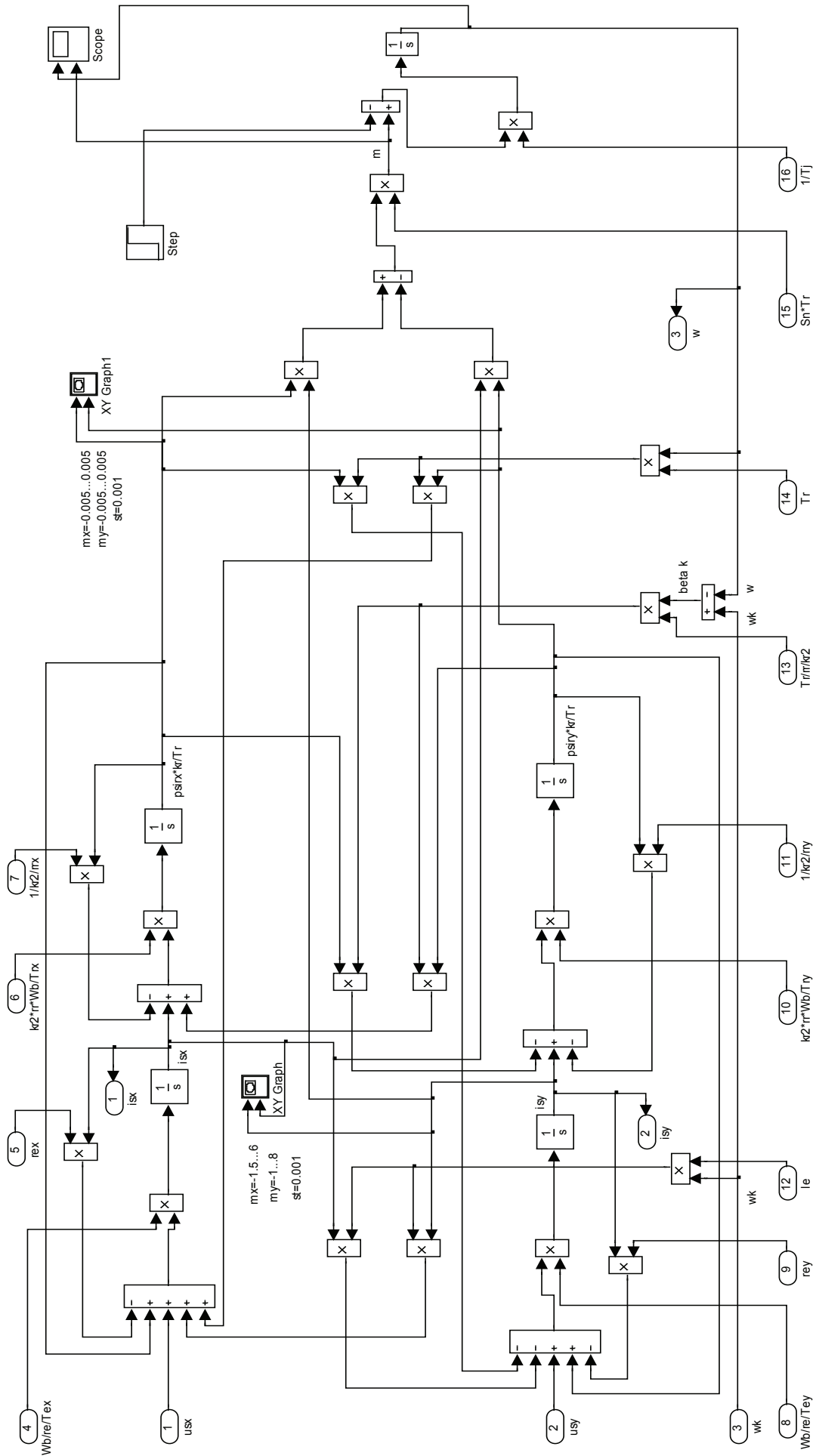


Рис. 19. Модель оболочки АД с переменными  $\psi_r, -i_3$  в Simulink-Matlab на основе интегрирующих звеньев

Обратные преобразователи координат по статорным токам с номерами 15 и 16 на развернутой схеме САР скорости приведены на рис. 20 и 21 [4].

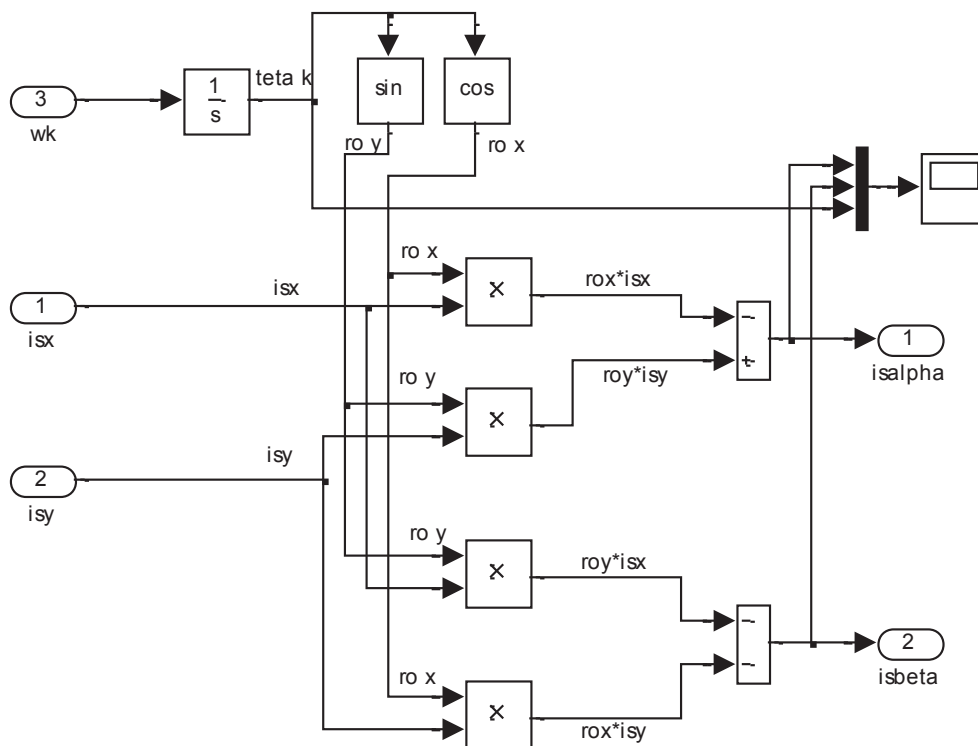


Рис. 20. Обратное преобразование (1-я ступень):  $x, y \rightarrow \alpha, \beta$

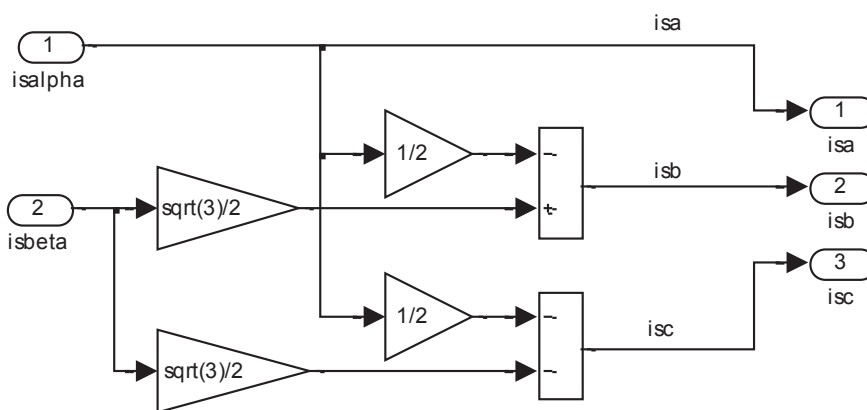


Рис. 21. Преобразователь координат (2-я ступень):  $\alpha, \beta \rightarrow a, b, c$

**Примечания**

**1. К пониманию преобразователей координат**

Наиболее важной частью в САР скорости системы «АИН ШИМ – АД» являются преобразования координат. Технология преобразования состоит в следующем: переход из неподвижной трехфазной системы координат  $(a, b, c)$  в неподвижную прямоугольную систему  $(\alpha, \beta)$ , далее переход во вращающуюся систему  $(x, y)$  и, наоборот, обратное преобразование координат.

Для лучшего понимания студентами процесса перехода из одной системы координат в другую дадим проекции одного и того же вектора  $\vec{U}_s$  в двух системах координат  $a, b, c$  и  $\alpha, \beta$  (рис. 22).

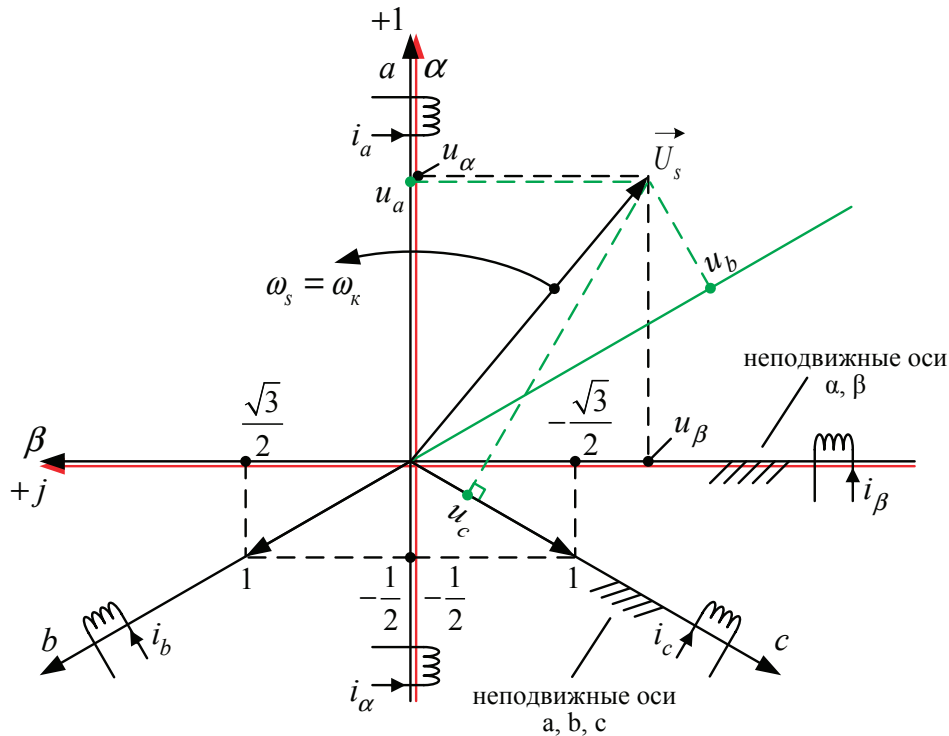


Рис. 22. Проекции вектора  $\vec{U}_s$  в системах координат  $a, b, c$  и  $\alpha, \beta$

**А) Переход из трехфазной системы в двухфазную:  $a, b, c \rightarrow \alpha, \beta$ .**

Пространственный вектор  $\vec{U}_s$  в системе координат  $a, b, c$  определяется по следующей зависимости:

$$\vec{U}_s = \frac{2}{3} \cdot (u_a \cdot \vec{a}_1 + u_b \cdot \vec{a}_2 + u_c \cdot \vec{a}_3). \tag{1}$$

где  $\vec{a}_1, \vec{a}_2$  и  $\vec{a}_3$  — единичные пространственные векторы, определяемые:

$$\vec{a}_1 = 1e^{j0}; \quad \vec{a}_2 = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}; \quad \vec{a}_3 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}. \tag{2}$$

Подставим (2) в уравнение (1):

$$\begin{aligned} \vec{U}_s &= \frac{2}{3} \cdot \left( u_a \cdot 1 + u_b \cdot \left( -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) + u_c \cdot \left( -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \right) = \\ &= \frac{2}{3} \cdot \left( u_a - \frac{1}{2} \cdot u_b + j\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot u_b - \frac{1}{2} \cdot u_c - j\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot u_c \right) = \\ &= \underbrace{\left( \frac{2}{3} \cdot u_a - \frac{1}{3} \cdot u_b - \frac{1}{3} \cdot u_c \right)}_{Re} + j \underbrace{\left( \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot u_b - \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot u_c \right)}_{Im}. \end{aligned}$$

С другой стороны, этот же пространственный вектор  $\vec{U}_s$  (рис. 22) можно определить в прямоугольной системе координат  $\alpha, \beta$ :

$$\vec{U}_s = \underbrace{u_\alpha}_{Re} + j \underbrace{u_\beta}_{Im}.$$

Приравняв действительные и мнимые части, получим:

$$\begin{cases} u_\alpha = \frac{2}{3} \cdot u_a - \frac{1}{3} \cdot u_b - \frac{1}{3} \cdot u_c; \\ u_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot u_b - \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot u_c. \end{cases} \tag{3}$$

С помощью уравнения (3) производится переход из одной системы координат в другую:  $a, b, c \rightarrow \alpha, \beta$ .

В матричной форме система уравнений (3) примет следующий вид:

$$\begin{vmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{vmatrix} \quad (3')$$

**Б) Переход из двухфазной системы в трехфазную:  $\alpha, \beta \rightarrow a, b, c$ .**

Из системы уравнений (3):

$$\begin{cases} u_\alpha = \frac{2}{3} \cdot u_a - \frac{1}{3} \cdot u_b - \frac{1}{3} \cdot u_c; \\ u_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot u_b - \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot u_c. \end{cases}$$

Примем  $u_a = u_\alpha$ , тогда первое уравнение примет следующий вид:

$$\begin{aligned} u_\alpha &= \frac{2}{3} \cdot u_a - \frac{1}{3} \cdot u_b - \frac{1}{3} \cdot u_c; \\ \left(1 - \frac{2}{3}\right) \cdot u_\alpha &= -\frac{1}{3} \cdot u_b - \frac{1}{3} \cdot u_c; \\ u_\alpha &= -u_b - u_c. \end{aligned}$$

Система уравнений (3) преобразуется к виду:

$$\begin{cases} u_\alpha = -u_b - u_c; \\ u_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot u_b - \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot u_c. \end{cases} \quad (4)$$

Обе части первого уравнения умножим на  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  и сложим со вторым:

$$\begin{aligned} &+ \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot u_\alpha = -\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot u_b - \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot u_c; \\ u_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot u_b - \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot u_c. \end{cases} \\ u_\beta + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot u_\alpha &= -\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot u_c. \end{aligned}$$

Отсюда:

$$u_c = -\frac{1}{2} \cdot u_\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot u_\beta. \quad (5)$$

Подставим (5) в первое уравнение (4):

$$\begin{aligned} u_\alpha &= -u_b + \frac{1}{2} \cdot u_\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot u_\beta; \\ u_b &= -u_\alpha + \frac{1}{2} \cdot u_\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot u_\beta = -\frac{1}{2} \cdot u_\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot u_\beta. \end{aligned}$$

Итак, если имеются проекции вектора в системе координат  $\alpha, \beta$ , то можно перейти к проекциям этого же вектора в системе координат  $a, b, c$ :

$$\begin{cases} u_a = u_\alpha; \\ u_b = -\frac{1}{2} \cdot u_\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot u_\beta; \\ u_c = -\frac{1}{2} \cdot u_\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot u_\beta. \end{cases} \quad (6)$$



В матричной форме:

$$\begin{pmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} u_{s\alpha} \\ u_{s\alpha} \\ u_{s\beta} \end{pmatrix} \quad (6')$$

**В) Переход из неподвижной системы координат  $(\alpha, \beta)$  во вращающуюся систему  $(x, y)$ :  $\alpha, \beta \rightarrow x, y$ .**

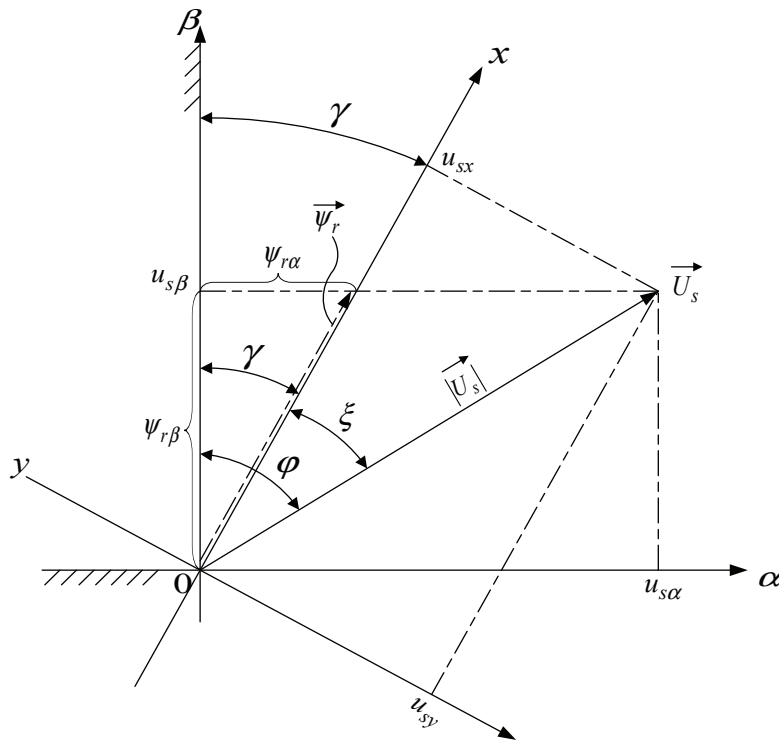


Рис. 23. Пересчет проекций вектора  $\vec{U}_s$  при переходе из одной системы координат в другую

Для пояснения этого перехода рассмотрим формулы пересчета:

$$\vec{U}_s = |U_s| \cdot e^{-j\varphi}.$$

$\varphi = \gamma + \xi$  - угол поворота вектора  $\vec{U}_s$  по отношению к  $O\beta$  в системе координат  $O\alpha\beta$ .

$$|\vec{U}_s| = \sqrt{u_{s\alpha}^2 + u_{s\beta}^2} - \text{модуль вектора } \vec{U}_s.$$

$\vec{U}_s = |U_s| \cdot e^{-j\xi}$  - этот же вектор в системе координат  $Oxy$ .

$u_{s\alpha}, u_{s\beta}$  - проекции вектора  $\vec{U}_s$  на оси  $O\alpha$  и  $O\beta$  в системе координат  $O\alpha\beta$ .

$u_{sx}, u_{sy}$  - проекции вектора  $\vec{U}_s$  на оси  $Ox$  и  $Oy$  в системе координат  $Oxy$ .

$\gamma$  - угол поворота между осями.

Пусть новая система координат  $Oxy$  ориентирована по вектору потокоцепления обмотки ротора  $\vec{\psi}_r$ , тогда координатные функции поворота ( $\rho_x$  и  $\rho_y$ ) определяются по следующим зависимостям:

$$\rho_y = \sin \gamma = \frac{\psi_{r\alpha}}{|\vec{\psi}_r|} \text{ и } \rho_x = \cos \gamma = \frac{\psi_{r\beta}}{|\vec{\psi}_r|},$$

где  $|\overline{\psi}_r| = \sqrt{\psi_{rx}^2 + \psi_{ry}^2}$ .

$$\begin{cases} u_{sx} = |\overline{U}_s| \cdot \cos(\varphi - \gamma) = \underbrace{|\overline{U}_s| \cdot \cos \varphi}_{u_{s\beta}} \cdot \underbrace{\cos \gamma}_{\rho_x} + \underbrace{|\overline{U}_s| \cdot \sin \varphi}_{u_{s\alpha}} \cdot \underbrace{\sin \gamma}_{\rho_y} = \rho_x \cdot u_{s\beta} + \rho_y \cdot u_{s\alpha}; \\ u_{sy} = |\overline{U}_s| \cdot \sin(\varphi - \gamma) = \underbrace{|\overline{U}_s| \cdot \sin \varphi}_{u_{s\alpha}} \cdot \underbrace{\cos \gamma}_{\rho_x} - \underbrace{|\overline{U}_s| \cdot \cos \varphi}_{u_{s\beta}} \cdot \underbrace{\sin \gamma}_{\rho_y} = -\rho_y \cdot u_{s\beta} + \rho_x \cdot u_{s\alpha}. \end{cases}$$

Для системы, вращающейся со скоростью  $\omega_k$ , полученные выражения можно записать в следующем виде:

$$\omega_k = \frac{d\theta_k}{dt} \rightarrow \frac{d}{dt} = s \rightarrow \omega_k = s \cdot \theta_k \rightarrow \boxed{\theta_k = \frac{1}{s} \cdot \omega_k}.$$

Обозначим  $\cos \theta_k = \rho_x$ ;  $\sin \theta_k = \rho_y$ , тогда [4, с. 552]:

$$\begin{cases} u_{sx} = \rho_x \cdot u_{s\alpha} + \rho_y \cdot u_{s\beta}; \\ u_{sy} = -\rho_y \cdot u_{s\alpha} + \rho_x \cdot u_{s\beta}. \end{cases}$$

## 2. К расчету параметров асинхронного двигателя

В работе [3] в главе 6 «Примеры» дан образец расчета параметров асинхронного двигателя. В наших дальнейших работах направленных на подготовку студентов к исследовательской работе, глава 6 окажет неоценимую помощь. Можно было бы по аналогии рассмотреть паспортные данные любого другого двигателя, но для проверки правильности выводов уравнений сделанных исследовательской группой самостоятельно, необходимо постоянно выходить на многие полученные результаты в работе [4]. Поэтому, этот пример расчета окажется очень полезным.

*Номинальные данные:*

Номинальный режим работы	S1;
Номинальная мощность	$P_N = 320 \text{ кВт};$
Номинальное фазное напряжение	$U_{s.N} = 380 \text{ В};$
Номинальный фазный ток	$I_{s.N} = 324 \text{ А};$
Номинальная частота	$f_N = 50 \text{ Гц};$
Номинальная синхронная скорость	$\Omega_{0N} = 104,7 \text{ рад/с};$
Номинальная скорость ротора	$\Omega_N = 102,83 \text{ рад/с};$
Номинальный КПД	$\eta_N = 0,944;$
Номинальный коэффициент мощности	$\cos \varphi_N = 0,92;$
Число пар полюсов	$z_p = 3.$

*Параметры T-образной схемы замещения при номинальной частоте:*

Активное сопротивление обмотки статора	$R_s = 0,0178 \text{ Ом};$
Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора	$X_{s\sigma} = 0,118 \text{ Ом};$
Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к статору	$R_r = 0,0194 \text{ Ом};$
Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, приведенное к статору	$X_{r\sigma} = 0,123 \text{ Ом};$
Главное индуктивное сопротивление	$X_m = 4,552 \text{ Ом};$
Суммарный момент инерции двигателя и механизма	$J_\Sigma = 28 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$

*Базисные величины системы относительных единиц:*

Напряжение	$U_\sigma = \sqrt{2}U_{s.N} = \sqrt{2} \cdot 380 = 537,4 \text{ В};$
Ток	$I_\sigma = \sqrt{2}I_{s.N} = \sqrt{2} \cdot 324 = 458,2 \text{ А};$
Частота	$\Omega_\sigma = \Omega_{s.N} = 2\pi f_N = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314,16 \text{ рад/с};$

Скорость ротора

$$\Omega_{r.\delta} = \frac{\Omega_{\delta}}{z_p} = \frac{314,16}{3} = 104,72 \text{ рад/с};$$

Сопротивление

$$Z_{\delta} = \frac{U_{\delta}}{I_{\delta}} = \frac{537,4}{458,2} = 1,1728 \text{ Ом};$$

Потокоцепление

$$\Psi_{\delta} = \frac{U_{\delta}}{\Omega_{\delta}} = \frac{537,4}{314,16} = 1,711 \text{ В}\cdot\text{с};$$

Индуктивность

$$L_{\delta} = \frac{\Psi_{\delta}}{I_{\delta}} = \frac{1,711}{458,2} = 3,733 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Используя номинальные данные двигателя, определяем:

$$M_{\delta} = k_{\Delta} \cdot M_N = k_{\Delta} \cdot \frac{P_N}{\Omega_N},$$

где  $k_{\Delta} > 1$  – коэффициент, учитывающий различие значений электромагнитного момента и момента на валу двигателя в номинальном режиме ( $k_{\Delta} = 1,0084$ ).

$$M_{\delta} = k_{\Delta} \cdot \frac{P_N}{\Omega_N} = 1,0084 \cdot \frac{320 \cdot 10^3}{102,83} = 3138,07 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

В качестве базисной мощности выбираем значение электромагнитной мощности двигателя в номинальном режиме, определяемое по следующей формуле:

$$P_{\delta} = M_{\delta} \cdot \Omega_{p.\delta} = 3138,07 \cdot 104,72 = 328,62 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

Относительные значения параметров схемы замещения двигателя:

$$r_s = \frac{R_s}{Z_{\delta}} = \frac{0,0178}{1,1728} = 0,0152;$$

$$l_{s\sigma} = \frac{L_{s\sigma}}{L_{\delta}} = \frac{X_{s\sigma}}{(\Omega_{\delta} \cdot L_{\delta})} = \frac{X_{s\sigma}}{Z_{\delta}} = \frac{0,118}{1,1728} = 0,1006;$$

$$r_r = \frac{R_r}{Z_{\delta}} = \frac{0,0194}{1,1728} = 0,0165;$$

$$l_{r\sigma} = \frac{X_{r\sigma}}{Z_{\delta}} = \frac{0,123}{1,1728} = 0,1049;$$

$$l_m = \frac{X_m}{Z_{\delta}} = \frac{4,552}{1,1728} = 3,881.$$

Механическая постоянная времени:

$$T_j = J_{\Sigma} \cdot \frac{\Omega_{r.\delta}}{M_{\delta}} = 28 \cdot \frac{104,72}{3138,07} = 0,934 \text{ с.}$$

Номинальное значение скольжения:

$$\beta_N = \frac{\Omega_{0N} - \Omega_N}{\Omega_{0N}} = \frac{104,72 - 102,83}{104,72} = 0,018.$$

Относительное значение номинальной скорости ротора:

$$\omega_N = (1 - \beta_N) = (1 - 0,018) = 0,982.$$

Нормирующий энергетический коэффициент:

$$\zeta_N = \frac{S_{s.N}}{P_{эм.N}} = \frac{3 \cdot U_{s.N} \cdot I_{s.N}}{P_{\delta}} = \frac{3 \cdot 380 \cdot 324}{328620} = 1,124;$$

$$S_{s.N} = 3 \cdot U_{s.N} \cdot I_{s.N} = 369360 \text{ ВА};$$

$$k_s = \frac{l_m}{l_m + l_{s\sigma}} = \frac{3,881}{3,881 + 0,1006} = 0,9749;$$

$$k_r = \frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} = \frac{3,881}{3,881 + 0,1049} = 0,9737;$$

$$l_{\sigma\sigma} = l_{s\sigma} + l_{r\sigma} + l_{s\sigma} \cdot l_{r\sigma} \cdot l_m^{-1} = 0,1006 + 0,1049 + \frac{0,1006 \cdot 0,1049}{3,881} = 0,2082.$$

При расчете режимов работы, для того чтобы  $i_{sn} = 1$ ,  $m_N = 1$ ,  $u_{sN} = 1$ ,  $\omega_{sN} = 1$  и  $\beta_N = 0,018$ , необходимо откорректировать  $r_r$ :

$$r_{rk} = \rho_N \cdot \beta_N = 0,9962 \cdot 0,018 = 0,0179,$$

где  $\rho_N = 0,9962$  – корректирующий коэффициент [3, с. 296].

$$kk = \frac{r_{rk}}{r_r} = 1,0849 \text{ - коэффициент, показывающий отношение } r_{rk} \text{ к } r_r.$$

$$\alpha_r = k_r \cdot \frac{r_{rk}}{l_m} = 0,9737 \cdot \frac{0,0179}{3,881} = 0,00451;$$

$$l_3 = k_r \cdot l_{r\sigma} + l_{s\sigma} = 0,9737 \cdot 0,1049 + 0,1006 = 0,20274;$$

$$l_3 = k_r \cdot l_{\sigma\sigma} = 0,9737 \cdot 0,2082 = 0,20274;$$

$$r_3 = r_s + k_r^2 \cdot r_{rk} = 0,0152 + 0,9737^2 \cdot 0,0179 = 0,032171;$$

$$T_3 = \frac{l_3}{r_3} = \frac{0,20274}{0,032171} = 6,302;$$

$$k_r^2 \cdot r_{rk} = 0,9737^2 \cdot 0,0179 = 0,017;$$

$$\frac{1}{r_3} = \frac{1}{0,032171} = 31,084;$$

$$T_{r\sigma} = \frac{l_{r\sigma} + k_s \cdot l_{s\sigma}}{r_{rk}} = \frac{0,1049 + 0,9749 \cdot 0,1006}{0,0179} = 11,339;$$

$$T_{s\sigma} = \frac{l_{s\sigma} + k_s \cdot l_{r\sigma}}{r_s} = \frac{0,1006 + 0,9737 \cdot 0,1049}{0,0152} = 13,338;$$

$$\frac{T_r}{k_r^2 \cdot r_{rk}} = \frac{222,676}{0,9737^2 \cdot 0,0179} = 13098,587;$$

$$\frac{k_r}{T_{s\sigma}} = \frac{0,9737}{13,338} = 0,073;$$

$$\frac{T_{s\sigma}}{k_r} = \frac{13,338}{0,9737} = 13,698;$$

$$\frac{T_{r\sigma} \cdot T_{s\sigma}}{k_r \cdot k_s} = \frac{11,339 \cdot 13,338}{0,9737 \cdot 0,9749} = 159,324;$$

$$k_r \cdot k_s \cdot T_{s\sigma}^{-1} = \frac{k_r \cdot k_s}{T_{s\sigma}} = 0,073 \cdot 0,9749 = 0,0712;$$

$$\frac{T_{r\sigma}}{\Omega_{\delta}} = \frac{11,339}{314,16} = 0,036;$$

$$\frac{T_{s\sigma}}{\Omega_{\delta}} = \frac{13,338}{314,16} = 0,0425;$$

$$\frac{T_3}{\Omega_{\delta}} = \frac{6,302}{314,16} = 0,02006;$$

$$\frac{T_r}{\Omega_{\delta}} = \frac{222,676}{314,16} = 0,7088;$$

$$\frac{\zeta_N}{l_{\sigma_3}} = \frac{1,124}{0,2082} = 5,3987;$$

$$\zeta_N \cdot T_r = 1,124 \cdot 222,676 = 250,29;$$

$$\frac{\Omega_0}{r_3 \cdot T_3} = \frac{314,16}{0,032171 \cdot 6,302} = 1549,558;$$

$$\frac{k_r}{T_r} = \frac{0,9737}{222,676} = 0,00437;$$

$$\frac{1}{r_{rk} \cdot k_r^2} = \frac{1}{0,0179 \cdot 0,9737^2} = 58,824;$$

$$\frac{r_{rk} \cdot k_r^2 \cdot \Omega_0}{T_r} = \frac{0,0179 \cdot 0,9737^2 \cdot 314,16}{222,676} = 0,024.$$

Расчет этих коэффициентов производим в Script:

%Номинальные данные

PN=320000;

UsN=380;

IsN=324;

fN=50;

Omega0N=104.7;

OmegaN=102.83;

nN=0.944;

cos\_phiN=0.92;

zp=3;

%Параметры Т-образной схемы замещения при номинальной частоте

Rs=0.0178;

Xs=0.118;

Rr=0.0194;

Xr=0.123;

Xm=4.552;

J=28;

%Базисные величины системы относительных единиц

Ub=sqrt(2)\*UsN;

Ib=sqrt(2)\*IsN;

OmegasN=2\*pi\*fN;

Omegab=OmegasN;

Omegarb=Omegab/zp;

Zb=Ub/Ib;

Psib=Ub/Omegab;

Lb=Psib/Ib;

kd=1.0084;

Mb=kd\*PN/OmegaN;

Pb=Mb\*Omegarb;

rs=Rs/Zb;

ls=Xs/Zb;

lr=Xr/Zb;

lm=Xm/Zb;

```

Tj=J*Ome garb/Mb;
betaN=(Omega0N-OmegaN)/Omega0N;
wN=(1-betaN);
SsN=3*UsN*IsN;
zetaN=SsN/Pb;
ks=lm/(lm+ls);
kr=lm/(lm+lr);
lbe=ls+lr+ls*lr*lm^(-1);
roN=0.9962;
rr=roN*betaN;
alphan=kr*rr/lm;
le=kr*lbe;
re=rs+(kr^2)*rr;
Te=le/re;
Tr=(lm+lr)/rr;
Psi_rN=0.942;
Tm=0.005;
K1=1.5;
K2=1.5;
K3=0.1;
K4=0.65;
Ki=0.87*K1;
Ti=0.41/K2;
Kc=100*K4;
    
```

Результаты расчетов скорости  $\omega$  и электромагнитного момента  $m$  при  $K_1 \cdot K_i = 1,305$ ;  $\frac{1}{K_2 \cdot T_i \cdot s} = \frac{1}{0,273 \cdot s}$ ;  $K_3 \cdot I_{os} = 0,0208$ ;  $K_4 \cdot K_c = 65$  приведены на рис. 24.

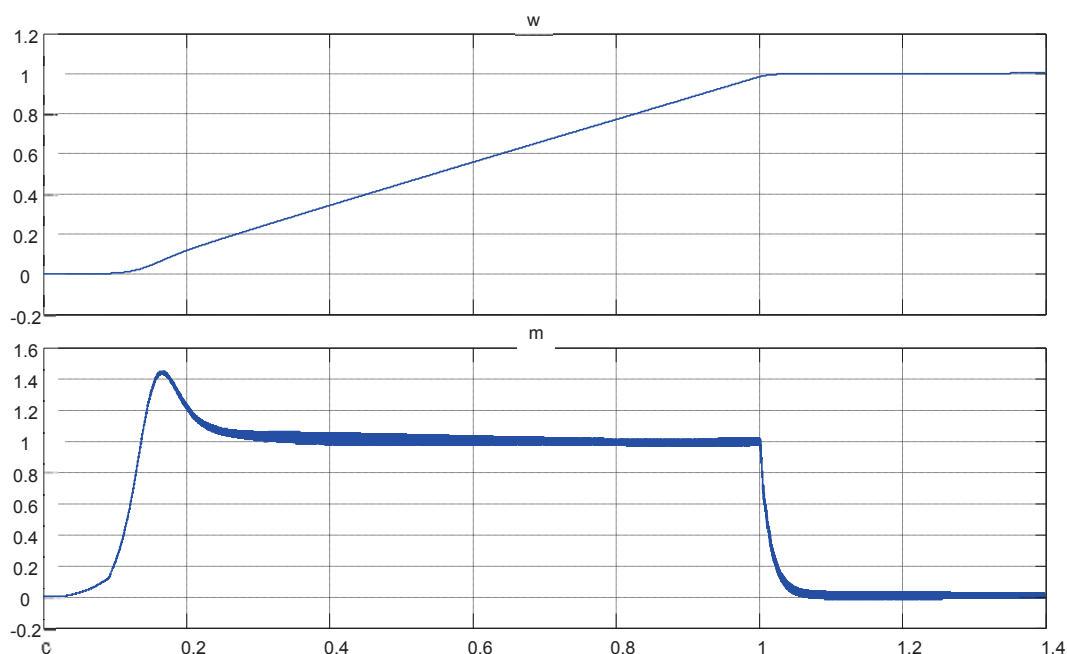


Рис. 24. Графики скорости и момента



## Литература:

1. Емельянов, А. А., Бесклеткин В. В., Авдеев А. С., Чернов М. В., Киряков Г. А., Габзалилов Э. Ф. Моделирование САР скорости асинхронного двигателя с переменными  $\theta_r - I_s$  на основе апериодических звеньев в Script-Simulink // Молодой ученый. — 2015. — № 23. — с. 24–34.
2. Шрейнер, Р. Т. Системы подчиненного регулирования электроприводов: учеб. пособие / Р. Т. Шрейнер. — Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО «Рос. гос. проф. — пед. ун-т», 2008. — 279 с.
3. Шрейнер, Р. Т. Электромеханические и тепловые режимы асинхронных двигателей в системах частотного управления: учеб. пособие / Р. Т. Шрейнер, А. В. Костылев, В. К. Кривовяз, С. И. Шилин. Под ред. проф. д. т. н. Р. Т. Шрейнера. — Екатеринбург: ГОУ ВПО «Рос. гос. проф. — пед. ун-т», 2008. — 361 с.
4. Шрейнер, Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. — Екатеринбург: УРО РАН, 2000. — 654 с.
5. Шрейнер, Р. Т. Электроприводы переменного тока на базе непосредственных преобразователей частоты с ШИМ: монография / Р. Т. Шрейнер, А. И. Калыгин, В. К. Кривовяз; под. ред. Р. Т. Шрейнера. — Екатеринбург: ФГАОУ ВПО «Рос. гос. проф. — пед. ун-т», 2012. — 223 с.

## ХИМИЯ

### Биосорбционное концентрирование тяжелых металлов и радионуклидов микроорганизмами и сорбентами на их основе. Обзор

Аронбаев Сергей Дмитриевич, соискатель ученой степени доктора химических наук  
Самаркандский государственный университет имени А. Навои (Узбекистан)

*В обзорной статье проводится анализ исследований по концентрированию тяжелых металлов и радионуклидов с использованием биосорбционного потенциала различных типов микроорганизмов, и оцениваются возможности их применения в ремедиации сточных и поверхностных вод.*

**Ключевые слова:** *тяжелые металлы, биосорбция, биомасса, микроорганизмы, сточные и поверхностные воды, ремедиация.*

### Biosorption concentration of heavy metals and radionuclides by microorganisms and sorbents based on them. A review

Sergey D. Aronbaev applicant of a scientific degree of Doctor of Science  
Samarkand State University named after A. Navoi.

*In a review article analyzes studies on the concentration of heavy metals and radionuclides using biosorptional potential of different types of microorganisms, and assessed the possibility of their use in the remediation of waste and surface water.*

**Keywords:** *heavy metals, biosorption, biomass, microorganisms, waste and surface water, remediation.*

Издавна было отмечено, что многие микроорганизмы различных таксономических групп, такие как водоросли, бактерии, грибы, мхи, дрожжи, способны накапливать тяжелые металлы, радионуклиды и прочие экотоксиканты из объектов окружающей среды [1–3]. При этом фактор концентрирования экотоксикантов по отношению к среде, из которой они извлекались, может составлять многие сотни и тысячи раз [4–6]. Естественно, что такое явление не могло остаться незамеченным микробиологами, химиками, биотехнологами, экологами. Однако систематизированные исследования по изучению сорбционных свойств микроорганизмов началось только несколько десятилетий назад. Эти исследования были посвящены, в первую очередь, изучению резистентности микроорганизмов к тяжелым металлам и токсинам органических соединений, генно-инженерных решений по модификации микроорганизмов, толерантных к загрязнениям их среды обитания, понятию механизмов взаимодействия тяжелых металлов с клеточными структурами микроорганизмов.

Самые ранние работы по применению микроорганизмов в качестве сорбентов тяжелых металлов из сточных и природных вод были сделаны Ульрихом и Смитом (Ulrich A.H. & Smith M.W.) в 1951 году [7]. Аналогичные решения по применению микроорганизмов по очистке стоков химических производств отмечены в работе [8]. Пожалуй, первым патентом по техническому решению биологической очистки сточных вод был зарегистрирован Ames Crosta Mills & Company Ltd. в 1973 году [9], с которого и началось коммерческое освоение биотехнологической ремедиации сточных промышленных вод.

Однако совершенно новое звучание вопроса о возможности применения микроорганизмов в сорбционных процессах и систематизации исследований отмечено в работах Б. Волеского (Volesky B.), М. Тезоса (Tsezos M.), З. Холана (Holan Z.) [10–12], которых, по праву, можно считать пионерами в этой области научных исследований.

Анализ литературы по исследованиям применения микроорганизмов для извлечения тяжелых металлов, радионуклидов и токсинов из технологических объектов и при-

родных поверхностных вод показывает, что информация носит лавинообразный характер и, по всей видимости, будет только увеличиваться [13].

На рис. 1 представлена диаграмма роста количества публикаций за последние десятилетия.

К этим публикациям, следует добавить несколько десятков обзоров, монографий, книг, учебно-методических пособий, в которых рассматриваются вопросы биоаккумуляции и биосорбции различных экотоксикантов, их механизмы взаимодействия, равновесное и кинетическое моделирование процессов [10,11,14].

Четко прослеживается перемещение центра исследований с Американского континента (Канада, Бразилия, Аргентина) в центр Европы (Чехия, Румыния, Испания) и Турцию, а затем в Африку (ЮАР, Нигерия) и южно-восточный регион — Индию, Южную Корею, Китай. Это можно объяснить поиском эффективной утилизации биомассы пищевых и производственных отходов с одной стороны, а с другой — привлекательностью создания альтернативы дорогостоящим синтетическим ионообменным смолам и активированному углю. Этому также способствует интеграция научных связей и коммерциализация биосорбционных процессов, одними из инициаторов которой были Б. Волеский и Д. Кратчовил (Volesky B. & Kratchovil D.) [15,16].

Однако следует отметить, что при явно стимулирующем эффекте роста публикаций для продолжения исследований в этой области, многие из них, даже в известных рецензируемых журналах, являются простым дублированием своих или повторением работ других исследователей, с нередко противоречивыми полученными результатами (особенно по сорбционной емкости, сорбционным, кинетическим и термодинамическим параметрам). До настоящего времени остается крайне малым число публикаций, в которых проводится сравнение ха-

рактеристик сорбционно-аналитических свойств различных микроорганизмов. Мало информации о синергетическом или ингибиторном действии на сорбционные процессы ионов металлов в многокомпонентных растворах с различной ионной силой, об эффективных способах иммобилизации микроорганизмов для реализации проточных биосорбционных процессов, о селективности и о способах ее повышения при концентрировании тяжелых металлов и другое. Это свидетельствует о необходимости создания алгоритма исследований в области изучения биосорбционных процессов с использованием, как живых, так и мертвых микроорганизмов.

Цель настоящего обзора состоит в обобщении и анализе найденного в открытом доступе материала по изучению концентрирования тяжелых металлов и радионуклидов различными типами биомассы, что позволит оценить коммерческий потенциал биосорбционных технологий в ремедиации сточных и поверхностных вод.

### 1.1. Типы биомассы и биоматериалы

Прежде всего, необходимо указать, что в биосорбционных технологиях может применяться биомасса, содержащая как живые, так и мертвые микроорганизмы. При этом экотоксиканты могут быть удалены из внешней среды как в первом, так и во втором случаях [17]. Разница в механизмах биоконцентрирования заключается в том, что при использовании живых микроорганизмов может осуществляться активная и пассивная сорбция, т.е. аккумуляция и биосорбция. Аккумуляция более сложный механизм, так как в этом случае задействованы метаболические процессы, поддерживающие жизнеобеспечение микроорганизма. Кроме аккумуляции может проходить также и биосорбция, механизм которой также довольно сложен, и обусловлен наличием во внешней оболочке ми-

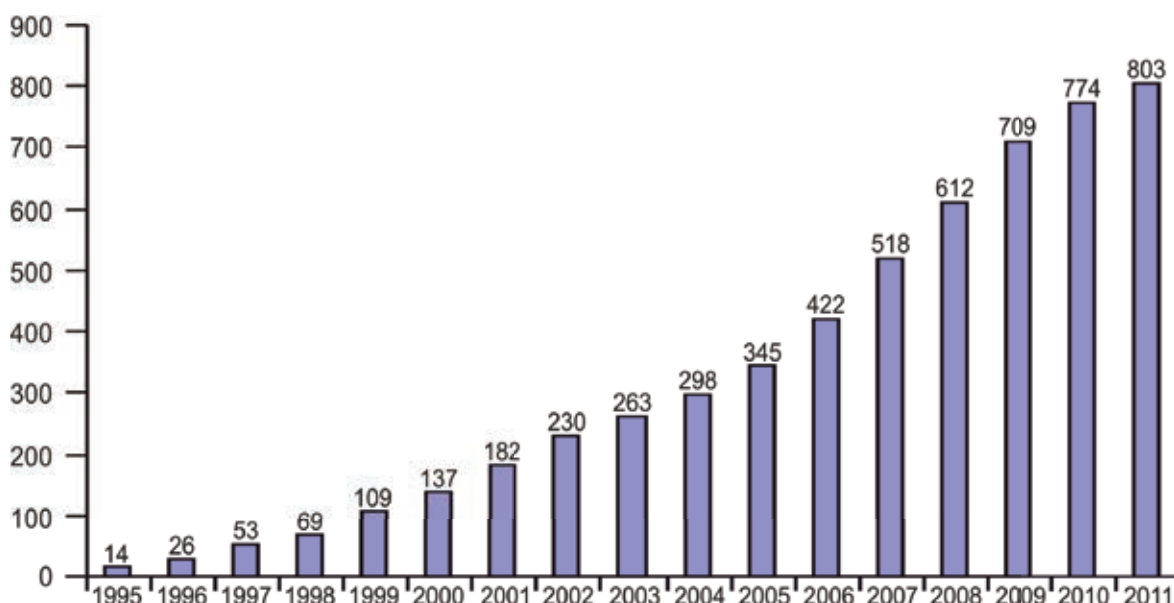


Рис. 1. Диаграмма роста публикаций по биосорбции тяжелых металлов микроорганизмами

кроорганизма специфических функциональных групп. Во втором случае — для мертвых микроорганизмов — осуществляется только биосорбция [18].

Использование живых микроорганизмов более трудоемкий процесс, так как должно предусматривать систему их жизнеобеспечения и размножения.

Десорбция тяжелых и драгоценных металлов из живых микроорганизмов также имеет ряд ограничений, так в этом случае трудно сохранить условия их жизнеобеспечения. Поэтому применение неживых микроорганизмов в технологических процессах более рентабельно и менее затратно [19–21]. Однако, в литературе описаны достаточно примечательные факты использования именно живых микроорганизмов для извлечения из сточных вод токсичных металлов и радионуклидов [22–26].

Останавливаясь на использовании неживых микроорганизмов в биосорбции тяжелых металлов, можно отметить, что для работы следует выбирать доступные и недорогие биоматериалы, с которыми можно провести несложную предобработку без внесения дополнительных загрязнений обрабатываемыми реагентами [27,28]. Таким образом, при выборе биомассы главенствующим фактором должны быть их доступность и дешевизна. Исходная биомасса может быть получена из промышленных отходов, например, биотехнологических производств, из природной среды, или легко выращенная в определенных условиях [29–32]. Имеется достаточно большое количество научных обзоров по использованию различных типов биомассы [33–39]. Описываются случаи, когда извлечение тяжелых или драгоценных металлов достигает 50% от сухого веса биосорбента [40].

Биоматериал для получения на его основе биосорбентов тяжелых металлов можно подразделить на следующие категории: морские водоросли, бактерии, грибы, дрожжи, сельскохозяйственные отходы.

## 1.2. Морские водоросли как биосорбент

Использование биомассы водорослей в качестве биосорбента показано в работах [32,41,42]. В этих исследованиях приводятся доводы в пользу водорослей ввиду их неприхотливости в питании и размножении. Большие количества биоматериала водорослей позволяет их широко использовать в технологических процессах для регионов их произрастания, в первую очередь стран морских и океанических побережий.

Извлечение ионов свинца сухой биомассой зеленых водорослей *Chlorella vulgaris* в диапазоне его концентраций 25–200 мг/л описывается в работе [43]. Изучены влияние pH, температуры и начальной концентрации ионов свинца на сорбционный процесс, описываемый уравнением изотермы Фрейндлиха. Голан и Волеский (Holan Z. & Volesky B.) [32] исследовали биосорбцию ионов тяжелых металлов морскими водорослями в мультиметаллической системе Ni — Pb. Подобные исследования были проведены в [44] с бурными морскими водо-

рослями *Ascophyllum nodosum*. Используя бинарную систему Cu-Zn, Cu-Cd, Zn-Cd этими исследователями было показано, что каждый металл ингибирует сорбцию другого. В работах [45–47] было установлено, что бурые водоросли *Sargassum sp.* обладают способностью извлекать из водных растворов ионы меди (1,08 ммоль/г), Cr (1,3 ммоль/г), а *Eclonia* — Ni (II) [48]. Киран (Kiran B.) и др. [49] сделали сообщение, что извлечение Cr (VI) из водных растворов водорослями *Lyngbya putealis* (НН-15) наблюдалось в диапазоне pH 2,0–10,0. Максимум биосорбции наблюдался при pH=3 при начальной концентрации хромат-иона 50 мг/л и достигал 94,8%, а в присутствии 0,2% посторонних солей снизился до 90,1%. Наиболее представительные обзоры по применению различных типов водорослей в качестве биосорбентов тяжелых металлов приведены в [34,39].

Исследователи отмечают, что из трех групп морских водорослей — красные, зеленые и бурые, последние получили большее внимание ввиду их лучшей сорбционной способности по сравнению с другими.

## 1.3. Бактерии как биосорбент

Бактерии относятся к самой многочисленной и универсальной группе микроорганизмов и по своей совокупной массе превышают  $10^{15}$  кг [50].

Многочисленными исследованиями было показано, что некоторые из них способны накапливать тяжелые металлы, такие как свинец и кадмий в количествах в  $1,7 \cdot 10^5$  и  $1 \cdot 10^5$  раз, соответственно, по сравнению с концентрациями этих металлов в среде обитания. Так, *Bacillus sp.* может показать наличие большого биосорбционного потенциала, позволяющего ее применение в коммерческой биотехнологии [51]. Кроме того, есть сообщения об относительно высокой биосорбционной способности тяжелых металлов *Pseudomonas sp.*, *Zoogloea ramigera* и *Streptomyces sp.* [52–56]. Подобные исследования были выполнены и другими авторами [57,58]. Биосорбционные исследования по отношению ионов свинца и кадмия проводились с использованием несulfурирующих бактерий, роль которых в биоремедиации сточных вод известна давно [22,23].

В работе [57] сообщается о применении *Rhodobacter sphaeroides* и водородредуцирующих бактерий *Alcaligenes eutrophus* H16. в биосорбционном концентрировании тяжелых металлов. Так, Илхан (Ilhan S.) [58] сообщил, о биосорбции хрома, свинца, и меди из сточных промышленных вод *Staphylococcus saprophyticus*: Эти ионы были удалены из растворов при pH 2,0;4,5; 3,5 — соответственно.

Биосорбционные свойства бактериальной биомассы и влияние на нее pH, начальной концентрации ионов тяжелых металлов, время контакта биомассы с адсорбтивом, содержащим хром, свинец и медь, исследовались Оздемиром (Ozdemir G.) и др. [59]. Этими исследователями было показано, что Грам-отрицательные бактерии *Pantoea* TEM 18 способны показать высокие значения биосорбции ионов меди в растворах, загрязненных нефте-

продуктами. Известно, что стенки Грам-отрицательных бактерий более тонкие, чем у Грам-положительных бактерий. Но и те, и другие имеют мембрану, внешняя стенка которой содержит липополисахариды со специфическими функциональными группами, ответственными за осуществление биосорбции [60,61].

Исследователями из Ирана был констатирован факт поглощения Сг (III) Грам-положительными бактериями типа NRC-BT-2 [62]. Были проведены исследования сравнительной сорбции ионов Сг (III) и Сг (VI) на поверхности *Pseudomonas aeruginosa* [63].

В течение последних 10–15 лет исследователями был накоплен большой практический материал по применению бактериальной биомассы для извлечения из водной среды тяжелых металлов и радионуклидов. Было установлено, что бактерии *Bacillus firmus* способны сорбировать свинец, цинк и медь из растворов их солей в количествах 467 мг/г, 418 мг/г и 381 мг/г соответственно [64]. Не менее впечатляющие биосорбционные возможности проявляют бактерии *Corynebacterium glutamicum*, способные сорбировать 567,7 мг/г ионов свинца [65]. Бактерии разновидностей *Pseudomonas* проявляют в большинстве своем превосходные сорбционные свойства по отношению ионов свинца (270,4 мг/г) и меди (96,9 мг/г) [66]. Однако, уже в работе [67] эти же микроорганизмы показали весьма посредственные сорбционные способности — для Pb 56,2 мг/г; Zn — 6,9 мг/г; Cu — 6,6 мг/г; Cd — 8,0 мг/г. Аналогичная картина может наблюдаться при анализе результатов исследований по сорбционной способности бактериальной биомассы по отношению к другим ионам тяжелых металлов и радионуклидов. При этом авторы, показывающие более высокие значения биосорбции при использовании одной и той же разновидности бактерий, например, для ионов свинца или хрома, как правило, показывают и большие значения максимальной емкости биосорбента и для других ионов [68,69]. Объяснение этому, мы находим не только в возможной адаптации бактерий к иону-загрязнителю, но и в различии подходов к стандартизации измерений и определения сухой массы биосорбента. Такая картина наблюдалась нами и при анализе результатов исследований биосорбционных возможностей и для других микроорганизмов.

Таким образом, обнаруженные нами противоречивые факты, касающиеся количественных значений максимальной сорбционной способности бактериальной биомассы, не могут повлиять на признание ее как потенциального биоматериала для решения инженерно-экологических и химико-аналитических задач, учитывая при этом все-таки хорошие биосорбционные способности по отношению к драгоценным металлам (Pd, Pt, Au) [70] и радионуклидам (U, Th) [71].

### 1.3. Фунги как биосорбент

Грибы это одно- или многоклеточные бесхлорофилловые эукариоты, насчитывающие от 89000 до 100000

видов. [72]. Это гетеротрофные формы, использующие энергию, образующуюся при расщеплении органических соединений. Как и у животных, у гетеротрофных грибов и миксомицетов запасующим веществом является полисахарид гликоген.

Грибы широко распространены и обитают почти во всех климатических районах. Их можно обнаружить в почве, пресной и соленой воде. Благодаря огромному разнообразию и исключительной способности к выживанию в разных климатических условиях грибы распространены повсеместно. Они сохраняют жизнеспособность даже при низкой температуре.

По морфологическим признакам все грибы делятся на грибы дрожжевые и грибы мицелиальные. Сюда относят такие разнообразные формы, как хлебная плесень, плесневый грибок пенициллум, шляпочные съедобные грибы, трутовики. У дрожжевых грибов колонии гладкие, у мицелиальных — пушистые. К дрожжевым грибам, в частности, относятся *Candida spp.* и *Cryptococcus spp.*; к мицелиальным — *Penicillium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Rhizopus spp.* и дерматофиты [73].

Пенициллы по праву занимают первое место по распространению. Естественный резервуар их — почва, причем они, будучи в большинстве видов космополитами, в отличие от аспергиллов, приурочены больше к почвам северных широт.

Пенициллы были обнаружены одновременно с аспергиллами благодаря их в общем сходной экологии, широкому распространению и морфологическому сходству.

Мицелий пенициллов в общих чертах не отличается от мицелия аспергиллов. Он бесцветный, многоклетный, ветвящийся. Основное различие между этими двумя близкими родами заключается в строении конидиального аппарата. У пенициллов он более разнообразен и представляет собой в верхней части кисточку различной степени сложности (отсюда его синоним «кистевик»). На основе строения кисточки и некоторых других признаков (морфологических и культуральных) в пределах рода установлены секции, подсекции и серии.

Ввиду их большой распространенности и разнообразия нельзя оставить без комментариев возможности их использования в качестве биоматериала для сорбентов тяжелых металлов и радионуклидов. К преимуществам использования грибной биомассы относится высокий процент биополимеров клеточной стенки, проявляющей в большинстве случаев превосходные биосорбционные характеристики [74]. Кроме того, большое количество грибковой биомассы может быть получено из мицелия в фармацевтическом производстве антибиотиков или пищевой промышленности, например при производстве лимонной кислоты, ферментов, полисахаридов. При этом, как правило, решается сразу несколько проблем: утилизация отходов производства и создание эффективного биосорбента для удаления экотоксикантов из окружающей среды.

Так, Гадд и Де Ром (Gad G.M. & De Rome L.) сообщили о биосорбции ионов меди девятью разновидно-



стями грибов и показали, что присутствие тяжелых металлов затрагивает метаболические процессы грибковых культур [75].

В работе [76] описывается извлечение кадмия в проточном реакторе. Выращенная в лабораторных условиях биомасса, которая загружалась в реактор, была собрана и сохранена в высушенном состоянии. При этом как свежая, так и высушенная грибная биомасса обладала именно биосорбционными свойствами, а не простым осаждением по отношению к ионам меди, свинца, цинка и кобальта.

Особо следует остановиться на так называемых волокнистых грибах: *Penicillium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Mucor sp.*, *Rhizopus sp.* способных эффективно удалять ионы тяжелых металлов и радионуклиды

В работах [28,29] были исследованы биосорбции ионов свинца, меди, кадмия грибом *Aspergillus niger*. В этих же работах были приведены результаты исследований по химической модификации функциональных групп природных биополимеров, с целью изучения их роли в биосорбции тяжелых металлов. Гриб *Aspergillus niger* показал хорошие биосорбционные характеристики по отношению к  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$  и  $\text{Ni}^{+2}$  в однокомпонентных растворах, в то время как это наблюдалось только для меди и цинка в мультикомпонентных растворах [77].

Отработанная грибковая биомасса, содержащая мертвые клетки *Aspergillus niger*, также показала хорошие сорбционные свойства по отношению к токсичным металлам. Адсорбционная способность этой биомассы убывала в ряду  $\text{Cd} > \text{Cr (III)} > \text{Ni} > \text{Fe} > \text{Cr (VI)}$  [78].

Широкая распространенность *Aspergillus niger* стимулирует интерес к их сорбционной способности многих исследователей. Так, в работах [79–82] на протяжении нескольких лет исследовалась максимальная сорбционная способность *Aspergillus niger* по отношению к ионам меди и свинца для биомассы в процессе роста, так и обработанной раствором едкого натра. Полученные результаты показали более высокие значения сорбционной емкостью для указанных ионов металлов при проведении биосорбции биомассой, обработанной раствором щелочи: для  $\text{Cu}$  25,5–28,7 мг/г и для  $\text{Pb}$  28,9–32,6 мг/г. При этом результаты, полученные в различное время, были сопоставимыми, что свидетельствует о положительном (стабилизирующем эффекте) обработки биомассы фунги щелочами. Биомасса *Aspergillus niger* была применена с переменным успехом для биосорбции ионов  $\text{Zn (II)}$ ,  $\text{Ni (II)}$ ,  $\text{Cd (II)}$ ,  $\text{Fe (III)}$ ,  $\text{Cr (VI)}$ , а также радионуклидов и ряда трансурановых элементов [83–87].

Гомес (Gomes N.S) с сотрудниками показал возможность применения биомассы *Aspergillus niger* при цианидном выщелачивании золота, серебра, меди, цинка, железа [88,89]. Янг (Yang Y. Y.) [90] приводит примеры селективного концентрирования  $^{241}\text{Am}$  в диапазоне концентрации 7,2–142,4 МВк/г спорами *Aspergillus niger*, а в работе [91] сообщается об извлечении из водных растворов ионов ртути ( $\text{Hg}^{2+}$ ) и метил ртути ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ).

Грибы *Penicillium* также могут являться хорошими биосорбентами и эффективно удалять из растворов такие ионы, как медь, золото, цинк, кадмий, марганец, уран.

*Penicillium italicum* [92], *Penicillium spinulosum*, *Penicillium oxalicum* [93], *Penicillium austurianum* [94], *Penicillium verrucosum* [95], *Penicillium purpurogenum* [96], *Penicillium canescens* [97], *Penicillium griseofulvum* [98], *P. Austurianum* [99], *Penicillium chrysogenum* были применены различными исследователями для изучения биосорбции тяжелых металлов.

Так, *P. chrysogenum* способен извлекать золото из цианидных растворов. Однако, такие признанные авторитеты, как Волеский (Volesky B.) и Виерра (Vieira R. H. S.F.) [4,5], не отмечали этого. В работе [100] сообщается об успешной биосорбции *P. spinulosum* ионов меди, золота, цинка, кадмия марганца. Наиболее полно была изучена биосорбция *Penicillium sp.*, *P. chrysogenum*, относящихся к малоизвестным гипомицетам. *P. chrysogenum* показали преимущественную сорбцию в ряду:  $\text{Pb}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Co}^{2+}$  [101]. Приблизительно такую же биосорбционную способность показали и мертвые клетки *P. chrysogenum*:  $\text{Pb}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{As}^{3+}$ . *P. canescens* показал тот же сорбционный ряд при неконкурентной сорбции при проведении эксперимента с одним ионом металла. При этом были найдены следующие сорбционные емкости: 26,4 мг/г для  $\text{As (III)}$ , 54,8 мг/г для  $\text{Hg (II)}$ , 102,7 мг/г для  $\text{Cd (II)}$  и 213,2 мг/г для  $\text{Pb (II)}$ . Однако конкурентная адсорбция составляла всего 2,0 мг/г для  $\text{As (III)}$ , 5,8 мг/г для  $\text{Hg (II)}$ , 11,7 мг/г для  $\text{Cd (II)}$  и 32,1 мг/г для  $\text{Pb (II)}$  при начальной концентрации ионов металла 50 мг/л.

Таким образом, разновидность грибов *Penicillium* может показаться хорошей только для урана и свинца [102–104]. Однако, грибы *Rhizopus* и *Penicillium* уже считаются хорошо изученными как потенциальная биомасса для удаления других тяжелых металлов из водных растворов [105]. Более того, большинство исследователей показывают, что грибы рода *Penicillium* способны показать лучшие биосорбционные свойства по сравнению с *Aspergillus niger*. Из разновидностей *Penicillium* наиболее высокие значения сорбционной емкости ( $q_{\text{макс}}$ ) для  $\text{Pb (II)}$  и  $\text{Cd (II)}$  показали *Penicillium canescens*: 213,2 и 102,7 мг/г сухой биомассы, соответственно [106]; *Penicillium simplicissimum* для  $\text{Pb (II)}$  и  $\text{Cd (II)}$  — 298,01 мг/г и 207,68 мг/г [107]; *Penicillium chrysogenum* и *Penicillium sp.* по отношению к урану и продуктам его распада  $\text{U}$  — 70 мг/г и 165 мг/г;  $\text{Th}$  — 142 мг/г,  $\text{Sr}$  — 75 мг/г,  $\text{Nd}$  — 178 мг/г [100,105].

Следует обратить внимание, что наиболее высокие сорбционные характеристики были получены для живых микроорганизмов. Нерастущая или растущая, в средней фазе роста, *Penicillium* показывали существенно меньшие биосорбционные способности. Предобработка грибковой биомассы щелочами также не дала существенного эффекта [106]. В то же время проведение аминокислотной модификации мицелия *Penicillium chrysogenum* привело к улуч-



шению биосорбционных свойств, показав при этом  $q_{\text{макс}}$  для следующих ионов: Cd — 210,2 мг/г; Cu — 108,3 мг/г; Pb — 204 мг/г; Ni — 260 мг/г [107–109]. Приведенный пример наглядно иллюстрирует возможность улучшения биосорбционных возможностей микроорганизмов правильным выбором способа модификации.

Резюмируя информацию о сорбционно-аналитических свойствах биомассы fungi следует сослаться на работы [105, 110], в которых рекомендуется определенный вид биомассы для наиболее эффективного извлечения ионов тяжелых металлов. Эти рекомендации приведены ниже в таблице 1.

Таблица 1. Биосорбция грибковой биомассой (мг/г)

Вид fungi	Металл	Литература
<i>Aspergillus niger</i> , <i>Mucor rouxii</i> , <i>Rhizopus arrhizus</i> (живые клетки)	Au	[151]
<i>Penicillium spp.</i> (живые клетки)	Ag, Cu, Cd, Pb	[151]
<i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Trichoderma</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Mucor</i> , <i>Saccharomyces</i> , <i>Fusarium</i> (живые клетки)	Pb, Cu, Cd, Zn	[151]
<i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Saccharomyces</i> , <i>Trichoderma</i> , <i>Mucor</i> , <i>Rhizopus</i> (живые клетки)	Th, U, Sr, Cs, La	[151]
<i>Phanerochaete chrysosporium</i> (живые клетки)	Cd, Pb, Cu	[159]

#### 1.4. Дрожжи как биосорбент

Дрожжи — одноклеточные микроорганизмы, морфология которых близка к грибам [111]. Присутствие тяжелых металлов отражается на метаболизме культуры дрожжей. Эти исследования в течении прошлого десятилетия рассматривали пекарские или пивоваренные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* как потенциальный биосорбент тяжелых металлов и долгоживущих радионуклидов. Внимание к пивоваренным дрожжам, несмотря на их посредственный сорбционный потенциал по отношению к тяжелым металлам, обусловлено, в первую очередь, их широкой доступностью и уникальности природы как живых, так и мертвых дрожжевых клеток [112], а также их мутантных типов [113], как культивируемых лабораторными методами, так

и получаемых в результате отхода бродильных производств [114].

Биомасса дрожжей успешно использовалась как биосорбент для извлечения Ag, Au, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, U, Th, Zn из водных растворов. Дрожжи родов *Saccharomyces*, *Candida*, *Pichia* оказались довольно эффективными биосорбентами тяжелых металлов в широком диапазоне концентраций указанных металлов в монокомпонентных растворах [115].

Многими исследованиями, особенно в последние годы, было показано, что именно применение *Saccharomyces cerevisiae* экономически целесообразно при создании на их основе биосорбентов [116].

В таблице 2 приведены литературные источники и результаты исследований биосорбционного потенциала дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*.

Таблица 2. Биосорбция тяжелых металлов дрожжами *Saccharomyces cerevisiae*

Ион металла	Форма биосорбента	$Q_{\text{макс}}$ мг/г	Авторы	Литература
Pb	Нативные живые клетки	79,2	Al-Saraj et al. (1999)	[117]
Pb	Иммобилизованные клетки в золь-гель матрице	41,9	Al-Saraj et al. (1999)	[117]
Pb	Получен после дистилляции виски, отмытый и лиофилизирован	18,9	Bustard and McHale (1998)	[118]
Pb	Культивированные в лабораторных условиях дрожжи, высушены при 100°С	270,3	Ozer and Ozer (2003)	[119]
Pb	Пекарские дрожжи, обработанные этанолом	17,5	Goksungur et al. (2005)	[120]
Pb	Клеточные стенки дрожжей после отмывки, автоклавирования и высушивания при 65°С	125,0	Аронбаев с. и др. (2011)	[121]
Cu	Выращены в среде, содержащей ионы меди	2,01–9,05	Donmez and Aksu, (1999)	[122]
Cu	Избыточные дрожжи, получаемые в ферментативном производстве после автоклавирования при 120°С	4,93	Bakkaloglu et al. (1998)	[123]
Cu	Нативные живые клетки	6,4	Al-Saraj et al. (1999)	[117]
Cu	Получен после дистилляции виски, отмытый и лиофилизирован	5,7	Bustard and McHale (1998)	[118]

Cu	Клеточные стенки дрожжей после отмывки, автоклавирования и высушивания при 65° С	25,6	Аронбаев с. и др. (2011)	[121]
Cu	Иммобилизованные на цеолитах	4,7	Bag et al. (1999a)	[122]
Cu	Избыточные дрожжи обработанные формальдегидом для поперечной сшивки с поверхностью носителя в биореакторе колоночного типа	8,1	Zhao and Duncan (1997)	[124]
Zn	Избыточные дрожжи, получаемые в ферментативном производстве после автоклавирования при 120° С	3,45–1,95	Bakkaloglu et al. (1998)	[123]
Zn	Нативные живые клетки	23,4	Al-Saraj et al. (1999)	[117]
Zn	Иммобилизованные клетки в золь-гель матрице	35,3	Al-Saraj et al. (1999)	[117]
Zn	Получен после дистилляции виски, отмытый и лиофилизирован	16,9	Bustard and McHale (1998)	[118]
Zn	Иммобилизованные на цеолитах	8,37	Bag et al. (1999a)	[125]
Zn	Избыточные дрожжи, обработанные формальдегидом для поперечной сшивки с поверхностью носителя в биореакторе колоночного типа	7,1	Zhao and Duncan (1997)	[124]
Cd	Кислотное протонирование осадочных дрожжей	9,91–86,3	Vasudevan et al. (2003)	[126]
Cd	Суспензия нативных клеток в культуральной среде	35,5–58,4	Park et al. (2003)	[116]
Cd	Суспензия нативных клеток в культуральной среде	14,3–20,0	Park et al. (2003)	[116]
Cd	Иммобилизованные на цеолитах	10,9	Bag et al. (1999)	[125]
Cd	Избыточные дрожжи, обработанные формальдегидом для поперечной сшивки с поверхностью носителя в биореакторе колоночного типа	14	Zhao and Duncan (1997)	[124]
Cd	Пекарские дрожжи, обработанные этанолом	15,6	Goksungur et al. (2005)	[120]
Cd	Мертвые клетки из аэробных культур	70	Volesky et al. (1993)	[127]
Cd	Клеточные стенки дрожжей после отмывки, автоклавирования и высушивания при 65° С	34,48	Аронбаев с. и др. (2011)	[121]
Hg	Нативные клетки	64,2	Al-Saraj et al. (1999)	[117]
Co	Нативные клетки	9,9	Al-Saraj et al. (1999)	[117]
Ni	Избыточные дрожжи, получаемые в ферментативном производстве после автоклавирования при 120° С	1,47	Bakkaloglu et al. (1998)	[123]
Ni	Нативные клетки	8	Al-Saraj et al. (1999)	[117]
Ni	Культивированные в лабораторных условиях дрожжи, высушены при 100° С	46,3	Ozer and Ozer (2003)	[119]
Ni	Деактивирование дрожжевой биомассы кислотой при 80° С в течение 24 час.	11,4	Padmavathy et al. (2003)	[128]
Cr (VI)	Лабораторная культура с последующим высушиванием при 30°С до влажности 15% (сохранено 80,5% живых клеток)	Ок. 5,5	Rapoport and Muter (1995)	[176]
Cr (VI)	Осадочные дрожжи — отход пивоварения, с иммобилизацией поперечной сшивкой с носителем формальдегидом в биореакторе колоночного типа	6,3	Zhao and Duncan (1998)	[129]
Cr (VI)	Культивированные в лабораторных условиях и высушенные при 100° С	32,6	Ozer and Ozer (2003)	[119]
Fe	Получен после дистилляции виски, отмытый и лиофилизирован	16,8	Bustard and McHale (1998)	[118]
Pd	Иммобилизованные клетки осадочных дрожжей	40,6	Xie et al. (2003)	[130]
Pt	Иммобилизованные клетки осадочных дрожжей	44	Xie et al. (2003)	[130]
Ag	Получен после дистилляции виски, отмытый и лиофилизирован	59	Bustard and McHale (1998)	[118]
Ag	Промышленные отходы после биосорбционного извлечения серебра, с последующим лабораторным культивированием и высушиванием замораживанием.	41,7	Simmons and Singleton (1996)	[131]
<sup>241</sup> Am	Лабораторная культура, нативные клетки (в пересчете на уран)	7,45–1880 мкг	Liu et al. (2002)	[132]
U	Получен после дистилляции виски, отмытый и лиофилизирован	180	Bustard and McHale (1998)	[118]
U	Пивные дрожжи	150–360	Popa et al. (2003) Riordan et al. (1997)	[133] [134]

U	Отмытые и неотмытые дрожжи с преобладанием мертвых клеток	150	Tsezos (1997)	[135]
U	Клеточные стенки дрожжей после отмывки, автоклавирования и высушивания при 65° С	183,3	Аронбаев с. Д. и др. (2011)	[136]
Th	То же	63	Tsezos (1997)	[135]

Как видно, величины значений максимальной сорбционной емкости тяжелых металлов сильно различаются, порой достигая различий в 2–3 порядка. Так, для свинца, в зависимости от происхождения дрожжевой биомассы максимальная биосорбционная емкость может варьироваться от 2 мг до ~ 300 мг на 1г сухого веса биомассы; для меди, цинка и кадмия наблюдается почти такая же картина. *Saccharomyces cerevisiae* показали хорошую сорбционную способность по отношению к индивидуальным растворам радионуклидов. Такие противоречивые данные могут быть объяснены не только видовыми характеристиками дрожжей и их предобработкой перед использованием, но и самим подходам в расчетах биосорбционных параметров и стандартизации эксперимента [116]. Так было отмечено, что изменение сухого веса биомассы связано с температурой и временем сушки. Так, в работе [116] сушку проводили при 70° С до достижения постоянного веса, а в [119] при 100° С. Поэтому в работе [34] показано, что и результаты отношения максимальной сорбционной емкости к высушенной массе должно быть разным. В связи с этим, как говорится в этой статье, внимание исследователей должно быть обращено на стандартизацию условий сушки дрожжевой биомассы.

### 1.5. Пищевые и сельскохозяйственные отходы как биосорбент

Отходы сельскохозяйственной продукции могут быть применены в качестве сорбентов различных экотоксикантов. Торф, кора деревьев, древесные опилки, кожура бананов и цитрусовых, рисовая шелуха, хлопковые коробочки и др. могут быть использованы в качестве биосорбентов тяжелых металлов [137–140]. Представляя собой практически не истощаемые и возобновляемые ресурсы, они могут успешно конкурировать в качестве дешевых материалов для биосорбентов тяжелых и токсичных металлов. При этом технология извлечения сорбированных драгоценных и редких металлов может быть осуществлена простым сжиганием недорогой биомассы. В работе [141] сообщается об успешном извлечении ионов токсичных металлов Hg (II), Pb (II), Cd (II), Cu (II), Zn (II), Ni (II) из сточных вод с использованием биосорбента на основе выжимок при получении фруктовых соков. Обработанная слабым раствором фосфорной кислоты кожура показала большую сорбционную эффективность. При этом из различных влияющих факторов на кинетику и полноту адсорбции тяжелых металлов показал именно рН фактор.

В работе [142] была изучена способность плодов финиковых и банановых пальм сорбировать ионы свинца, кадмия, меди, хрома, никеля и цинка. Было показано,

что биосорбция указанных ионов протекает довольно быстро, достигая ~ 70 процентного извлечения индивидуальных ионов в течение 15 минут. Сорбционная емкость такого биосорбента убывала в ряду:  $Pb^{+2} > Cd^{+2} > Cu^{+2} > Zn^{+2} > Ni^{+2} > Cr^{+3}$ .

Аджмал (Ajmal M.) и др. [143] изучили биосорбцию ионов никеля, цинка, кадмия и хрома обработанной солями фосфорной кислоты шелухи риса. Ими было установлено, что лучше и полнее всего происходит извлечение ионов Ni (II) и Cd (II) и зависит как от времени контакта, так и от начальной концентрации ионов в растворе, концентрации биосорбента, температуры и значения рН. Оптимальным значением при извлечении ионов меди отрубями пшеницы был рН=5 [144]. Повышение начальной концентрации ионов меди сказывалось на интенсивность сорбционного концентрирования. В работе [145] была показана сорбция ионов Cr (III) биосорбентом из яичной скорлупы домашней птицы. Саид (Saeed A.) [146] применил в качестве сорбента потенциал папайи и изучил сорбцию ионов меди, кадмия и цинка при различных условиях. Им также было показано, что оптимальным значением рН для биосорбции было 5, а время контактирования с адсорбатом — 60 минут. Селективность извлечения ионов указанных металлов находилась в ряду:  $Cu(II) > Cd(II) > Zn(II)$ . В то же время им был установлен приоритет в селективном извлечении ионов свинца в многокомпонентном растворе, содержащем кроме ионов свинца, ионы кадмия, цинка, меди и никеля. Десорбция ионов с биосорбента была проведена 0,1 М раствором HCl [147].

В работе [148] были показаны особенности применения высушенной мякоти сахарной свеклы при биосорбции меди из растворов, содержащих 250 мг/л ионов меди. Максимальная сорбционная емкость — 28,5 мг/г сухого сорбента наблюдалась при рН=4 и 25°С.

Способность сырых отрубей риса удалять хром и никель из водных растворов продемонстрирована в работах [149,150]. Были изучены равновесные модели [150] с применением уравнений Ленгмюра, Фрейндлиха, Темкина. В этой работе была показана правомочность использования всех этих моделей для описания биосорбционного процесса.

В [151] было изучено применение отходов черного чая для удаления Cr (VI). Этот процесс хорошо описывался уравнением Ленгмюра. Внимание экологов к загрязнениям ионами Cr (VI) объясняется наивысшей токсичностью именно этой формы нахождения хрома в водной среде. Поэтому исследования по удалению хрома с использованием эффективных биосорбентов особенно актуальны [152].

Применение биосорбента из панцыря морских крабов показано в работе [153]. Ионы меди и кобальта были удалены из водных растворов почти полностью при следующих условиях: размер частиц биосорбента 0,767 мм, дозировка биосорбента 5 г/л, рН=6. Максимальная емкость, рассчитанная по уравнению Ленгмюра, составляла для ионов Cu (II) — 243,9 мг/г и для ионов Co (II) — 322,6 мг/г.

Удалению ионов Cr (VI) и Hg (II) с использованием мелкодисперсных опилок виноградной лозы, включенных в ПВХ-матрицу, посвящена работа [154].

### 1.6. Сравнение биосорбционной способности различных типов биомассы

Выше нами были приведены литературные данные по применению различных биосорбентов в концентрировании тяжелых металлов. В связи с этим уместен вопрос: какой биосорбент лучше всего использовать для предварительного концентрирования ионов тяжелых металлов и радионуклидов для их последующего извлечения и аналитического определения?

Очевидно, прямого ответа не последует, так как биосорбция, обозначаемая корифеями в этой области науки Валеским Б. и Кратчовилом Д. как «процесс, использующий недорогую биомассу с целью извлечения токсичных тяжелых металлов» [16] относится к явлениям, зависящим от многих факторов. В то же время, в ряде работ уже цитируемых нами [4,11,13,119,155], было проведено сравнение различных типов биомассы. Так, как уже отмечалось, бурые водоросли обладают лучшим биосорбционным потенциалом, по сравнению с зелеными и красными водорослями. [39].

О роли сульфатредуцирующих бактерий *Thiobacillus ferrooxidans* в концентрировании ионов тяжелых металлов говорится в [22,156,157]. Так, *Corynebacterium glutamicum* способна сорбировать свинец в количестве 566,7 мг/г [65], *Bacillus firmus* — Zn (418 мг/г). Pb — 467 мг/г; Cu 381 мг/г) [64]. Цианобактерии способны показать высокую сорбционную способность по отношению к Au (III), Pd, Pt, U, Th [70,71].

Мицелиальные грибы пенициллы — *Penicillium canescens*, *Penicillium purpurogenum*, *Penicillium chrysogenum* показывают превосходные биосорбционные свойства по отношению Cd, Fe, Pb, Th, U [96,97,100, 158],

а модифицированные формы *Penicillium chrysogenum* — Cd, Cu, Pb, Ni [108,109].

Аспергиллюсы, кажется, имеют лучшую сорбционную способность по отношению Au, Co, Th, Zn [89, 159–161].

На этом фоне пивоваренные дрожжи *Saccaromyces cerevisiae* обладают весьма посредственной биосорбционной способностью [10,11,15,34,112,127]. В то же время авторами работ [117,119] показаны довольно хорошие сорбционные емкости дрожжевой биомассы для Pb (270,3 мг/г), Hg (64,2 мг/г), Ni (46,3 мг/г). А в работах [169, 177, 208] исследователи показали сорбционную емкость для дрожжевого биосорбента по отношению к Ag, Pt, Pd — 41,7 мг/г, 44 мг/г, 40,6 мг/г, соответственно. Пивоваренные дрожжи показали себя с наилучшей стороны в качестве биосорбента радионуклидов с емкостью по урану 150–360 мг/г и по торью — 63 мг/г [118, 133-,135].

В работе [162] проведено сравнение  $q_{\text{макс}}$  ионов свинца для семи типов биомасс. Этими исследователями было установлено, что биосорбционные способности дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* находятся посередине по сравнению с другими шестью типами биомассы.

Вианна (Vianna L.) [159] изучал способность к адсорбции ионов меди, кадмия и цинка тремя видами биомассы — отходов бродильной промышленности: *Bacillus lentus*, *Aspergillus oryzae* и *S. cerevisiae*. Исследования показали, что протонированная биомасса *Bacillus lentus* имела самую высокую биосорбционную емкость по Cu и Cd. Донмез и Аксу (Donmez G. & Aksu Z.) [122], изучая биоаккумуляцию меди культивируемыми и приспособленными к ионам меди в лабораторных условиях *S. cerevisiae*, *Kluyceromyces marxianus*, *S. pombe* and *Candida sp.* показали, что значения максимальной биосорбционной емкости для Cu (II) убывают в ряду: *S. cerevisiae* (7.11) > *K. marxianus* (6.44) > *Candida sp.* (4.80) > *S. pombe* (1.27).

Далее было установлено, что *Candida sp* и *Kluyceromyces marxianus* можно считать более эффективными микроорганизмами, чем *S. cerevisiae* для аккумуляционного поглощения меди из растворов с высокой концентрацией Cu (II).

В таблице 3 представлены некоторые исследования, сравнивающие биосорбционные способности микроорганизмов различных таксономических групп и природных и синтетических сорбентов по отношению к ряду тяжелых металлов [163].

Таблица 3. Значения максимальной сорбционной емкости (ммоль/г) для некоторых сорбентов

Сорбент	Cu (II)	Pb (II)	Cr (VI)	Ni (II)
Природные цеолиты	-	0,18	-	-
Активированный древесный уголь (пудра)	-	0,10	-	-
Активированный древесный уголь (гранулы)	0,03	0,15	0,07	-
Ионообменные смолы	-	1,37	0,59	-



<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (бактерии)	0,29	0,33	-	-
<i>Rhizopus arrhizus</i> (фунги)	0,25	0,50	0,27	
<i>Fucus vesiculosus</i>	0,97	1,04	1,12	0,08

Валеский Б., еще в 1994 году [164] отметил, что фунги *Rhizopus* можно считать превосходным биосорбентом свинца, кадмия, меди, цинка, урана, в то время как *S. cerevisiae* не более как посредственный биосорбент, но их сорбционный потенциал выше, чем у других классических адсорбентов, таких как окись алюминия, активированный уголь, цеолиты [105]. Таким образом, несмотря на посредственные биосорбционные характеристики по отношению к большинству тяжелых металлов, пивоваренные дрожжи *S. cerevisiae* представляют собой уникальный биоматериал для применения в коммерческой биотехнологии, использующей биосорбционные процессы.

**1.7. Влияние химической предобработки и иммобилизации микроорганизмов на эффективность биосорбции**

Так как в биосорбционные процессы вовлекается, прежде всего, клеточная стенка микроорганизмов, то очевидно, что в результате ее модификации можно существенно изменить сорбционные характеристики биосорбента.

Наиболее простым способом модификации поверхности клетки микроорганизма могут быть нагревание, автоклавирование, замораживание, сушка в различном диапазоне температур, лиофилизация [165]. Химическая обработка может быть основана на специфической отмывке биомассы (деионизованной водой, метанолом, этанолом, моющими детергентами), поперечной сшивке с использованием формальдегида, глутарового альдегида,

проведении щелочного или кислотного гидролиза с целью изменения поверхности и возможности доступа к функциональным группам, ответственных за биосорбцию [4].

В работе [166] исследователи показали, что клетки дрожжей, подвергнутые экстремальным условиям (физическая или химическая обработка) могут проявлять совершенно другие биосорбционные свойства по отношению к ионам тяжелых металлов. Так, в [100, 167] показано, что щелочная предобработка грибковой биомассы привела к существенному увеличению биосорбции ионов тяжелых металлов, когда кислотная — практически не повлияла на таковые. Автор [167] продемонстрировал изменение биосорбционных характеристик *Saccharomyces cerevisiae* по отношению Cu (II), подвергнув их различной предобработке: метанолом, формальдегидом и глутаровым альдегидом. В результате такой предобработки возможны этерификация карбоксильных групп и метилирование аминогрупп, которые, как оказалось, являются приоритетными в биосорбции ионов меди.

Проведение операций по физической модификации мертвых микроорганизмов, включающих термическую или механическую (возможно и механо-ферментативную) дезинтеграцию клеточной стенки позволяет увеличить поверхность «сайтов» и концентрацию активных функциональных групп, ответственных за биосорбцию тяжелых металлов, радионуклидов и прочих экотоксикантов [168].

На рисунке 1 приведена, ставшая уже классической, схема превращения биомассы микроорганизмов в коммерческий продукт — биосорбент [4].

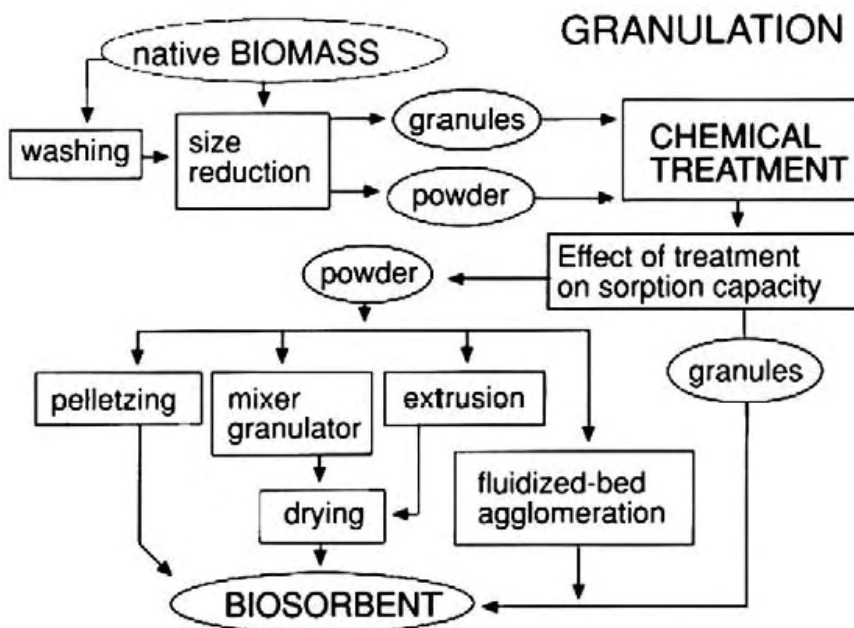


Рис. 1. Схема превращения биомассы в биосорбент.

Очевидно, что поиск эффективной предобработки микроорганизмов, способной повысить сорбционные и эксплуатационные характеристики биосорбентов, может стать прерогативой исследований, направленных на коммерциализацию биотехнологии.

Одним из таких путей является разработка технологий иммобилизации живых и мертвых микроорганизмов на твердой матрице, что позволяет улучшить эксплуатационные характеристики биосорбентов и их применение в непрерывных процессах с использованием проточных биореакторов различных типов. Необходимость проведения иммобилизации микроорганизмов в инертной водонерастворимой матрице обусловлена также целью придания механической прочности аморфному биосорбенту и обеспечению необходимых для оптимизации биосорбционных процессов гидродинамических режимов. Есте-

ственно, что при иммобилизации живых микроорганизмов следует применять более щадящие методы с целью сохранения и поддержания их жизнеобеспечения и метаболизма. В литературе имеется немало примеров иммобилизации ферментов, белков, органелл, тканей и клеток микроорганизмов [169–171].

Различные способы иммобилизации *S.cerevisiae* были изучены в работах [172–174].

В качестве матрицы для иммобилизации различными исследователями предлагались природные неорганические носители, типа гематитов, цеолитов, вермикулита и полиакриламидный и Ca — альгинатный гели, полиуретан [170, 175, 176].

В таблице 4 приведены примеры использования иммобилизационной микробной биомассы для биосорбции ионов тяжелых металлов.

Таблица 4. Матрицы для иммобилизации биомассы микроорганизмов для получения твердых биосорбентов

Матрица	Тип биомассы	Металл	Литература
Альгинат кальция	<i>C. vulgaris</i> <i>S. platensis</i> <i>C. salina</i> <i>R. arrhizus</i>	Au, Cu, Fe, Zn, Co, Mn	[164], [176], [177]
Полиакриламидный гель	<i>Citrobacter</i> <i>Rhizopus arrhizus</i>	U, Cd, Pb, Cu, Co, Cd	[178]
Кварц	Algasorb	Cu, Ni, U, Pb, Hg, Cd, Zn, As, Ag	[177]
Полиуретан	<i>P. aeruginosa</i>	U	[179]
Полисульфон	<i>P. laminosum</i> <i>Citrobacter</i>	Pb, Cd, Zn	[180], [181]

При выборе способа иммобилизации микроорганизмов помимо созданий условий жизнеобеспечения (для живых микроорганизмов), необходимо предусмотреть и возможность легкости десорбции и регенерации биосорбента. А для этих целей, как правило, применяются растворы сильных кислот и оснований, способных вымывать микроорганизмы и разрушать сам твердый носитель. При этом не следует забывать, что и сам носитель, например активированный уголь, цеолиты, кварц, вермикулит, альгинатные гели проявляет способность к сорбции тяжелых металлов и радионуклидов.

### 1.8. Инструментально-техническое и математическое обеспечение исследования биосорбционных процессов

Анализ литературы по биосорбции тяжелых металлов из технологических и сточных вод промышленных и сельскохозяйственных предприятий, показывает, что содержания тяжелых металлов в этих объектах находятся в довольно широких диапазонах концентраций: от нескольких мг/л до десятков г/л. Биосорбция же, как правило, осуществляется в диапазоне 0,1–300 мг/л, т.е.  $\sim 10^{-5}$ – $10^{-3}$  М.

Для того, чтобы уловить изменения начальных концентраций ионов металла в растворе нужны надежные, чувствительные и точные приборы. Традиционно для таких целей используются спектрофотометрические и атомно-абсорбционные методы определения тяжелых металлов [58]. Эти же методы были применены при использовании биосорбентов для предварительного концентрирования ионов токсичных металлов [84,85, 182–185].

Но при изучении механизмов биосорбции, и влияния функциональных групп биополимеров, из которых состоит биомасса, необходимы и другие инструментальные методы исследования. Наличие в распоряжении исследователя того, или другого инструмента, может повлиять на целостность представлений о биосорбции. В литературе [186–189] имеется информация о применении для объяснения механизма сорбции ИК-спектроскопии, электронной сканирующей и электронно-силовой микроскопии. В статьях [190–192] описано применение рентгеноструктурного и рентгенофазового анализа, ядерно-магнитного резонанса, а также применение термогравиметрического анализа и исследования по измерению электрокинетического  $\zeta$  — потенциала [193]. Многие из этих методов требуют дорогостоящего и сложного оборудования.



Кроме того, полученная информация не всегда может быть правильно интерпретирована для того, чтобы получить детальное представление о биосорбционном процессе. Однако не вызывает никакого сомнения, что именно применение этих методов исследования позволяет получить отличительные и дополнительные сведения для создания эффективных биосорбентов и оптимизации условий их использования [194].

В [195] приведен краткий обзор применения аналитической техники для изучения биосорбции и биосорбентов.

Математическое описание биосорбции и моделирование биосорбционных процессов являются важными инструментами в изучении этого явления. Биосорбция, как правило, осуществляется в гетерогенной системе: твердое — жидкое. Такие системы целесообразно исследовать, изучая стационарное равновесное состояние и динамику непрерывного потока.

В обзорах [195,196] были рассмотрены изотермы адсорбции для системы биосорбент — раствор одиночного иона металла. Созданием математической модели адсорбции занимались исследователи [16,158,196–198]. В этих работах были оценены возможности описания биосорбционного концентрирования с использованием уравнений для мономолекулярной адсорбции Фрейндлиха и Ленгмюра.

В большинстве случаев применение этих моделей было достаточно, для описания биосорбционного процесса, так как помогали рассчитать количественные параметры, характеризующие интенсивность и кинетику сорбции и значения максимальной сорбционной емкости.

Но, как правило, эти модели применимы для индивидуального иона металла. На практике сточные и природные воды являются многокомпонентными средами, когда присутствующие в ней вещества могут вступать во взаимодействие не только с адсорбентом, но и между собой. В таких системах построение модели довольно сложное занятие и в каждом конкретном случае должно быть целесообразно обоснованным [198]. Для изучения сорбционных процессов может быть правомочным использование различных моделей, как для индивидуальных веществ, так и их смесей с учетом конкурирующих факторов и температуры.

#### Литература:

1. Эрлих, Х. Жизнь микробов в экстремальных условиях. — М.: Мир, 1981. — 469 с.
2. McCallan, S. E. A., Miller L. P. Innate toxicity of fungicides. In: R. L. Metcalf (ed.). *Advanced in Pest Control Research*. — NY, USA: Interscience, 1956. Vol. II. — P. 107–134.
3. Muraleedharan, T. R., Iyengar L., Venkobachar C.. Biosorption: an attractive alternative for metal removal and recovery. // *Curr. Sci.* — 1991. Vol. 61. — P. 379–385.
4. Vieira, R. H. S. F., Volesky B. Biosorption: a solution to pollution? // *Int. Microbiol.* — 2000. Vol.3. — P.17–24.
5. Volesky, B. Biosorption and me. // *Water Res.* — 2007. Vol. 41. — P 4017–4029.
6. Salehizadeh, H., Shojaosadati S. A. Removal of metal ions from aqueous solution by polysaccharide produced from *Bacillus firmus*. // *Water. Res.* — 2003. Vol. 37. — P. 4231–5.
7. Ullrich, A. H., Smith M. W. The biosorption process of sewage and waste treatment. // *Sewage Ind. Wastes* — 1951. Vol. 23. — P. 1248–1253.

В работах [195,199–203] приводятся различные тематические модели для описания биосорбционных процессов, основанные на равновесных изотермах адсорбции для одно- и мультикомпонентных систем.

Однако, применение только модели Ленгмюра при термодинамических расчетах, как отмечено в работах [204,205], может привести к искажению вычисленной величины  $\Delta G$  — свободной энергии обмена Гиббса. В целом же, все исследователи приходят к заключению, что модели адсорбции по Фрейндлиху и Ленгмюру являются обязательными при изучении биосорбционных процессов и биосорбентов.

#### Заключение

Проведенный анализ литературных источников позволяет прийти к следующим выводам:

- биосорбционные методы концентрирования ионов тяжелых металлов и радионуклидов с использованием различных типов биомассы, не смотря на то, что большинство из этих исследований не вышли за рамки лабораторного эксперимента, являются перспективными и экономически обоснованными методами ремедиации сточных промышленных вод.

- применение биомассы отходов пищевых, ферментативных и бродильных производств позволяет не только осуществить утилизацию этих отходов, но и сделать на их основе высокотехнологичный продукт — биосорбент для извлечения тяжелых металлов, радионуклидов и прочих экотоксикантов из природных и сточных вод с целью возвращения последних в рецикл. При этом осадочные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, которые благодаря их дешевизне и доступности, могут стать привлекательным, с точки зрения коммерциализации биосорбционных технологий, сырьем для получения сорбентов тяжелых металлов и радионуклидов.

- в литературе не нашло должного отражения возможности использования биомассы дрожжей и других микроорганизмов для предконцентрирования ультрамикроразделений экотоксикантов в аналитических целях для их последующего определения на уровне ПДК и ниже.

Эти выводы позволяют установить тенденции развития биосорбционных технологий в ближайшее время.

8. Stasiak, M. Application of biosorption process for renovation of waste waters at chemical industry. // *Przemysl Chemiczny*. — 1969. Vol. 48. — P. 426–428.
9. Ames Crosta Mills & Company Ltd. And J. R. Sanderson Apparatus for the biological treatment of waste water by the biosorption process. Great Britain Patent GB1324358. — 1973.
10. Volesky, B. Biosorption of heavy metals. — Florida, USA. CRC Press, 1990.
11. Volesky, B. Sorption and biosorption. — Quebec: Canada. BVSorbex Inc., 2004.
12. Tsezos, M. Biosorption of metals: the experience accumulated and the outlook for technology development. // *Hydrometallurgy* — 2001. — Vol. 59. — P. 241–243.
13. Park, D., Yun Y.-S., Park J. M. The Past, Present and Future Trends of Biosorption // *Biotechnology and Bioprocess Eng.* — 2010. — Vol. 15. — P. 86–102.
14. John Wase D. A., Forster C. F. Biosorbents for metal ions. — Florida, USA CRC Press, — 1997.
15. Volesky, B. Biosorption and biosorbents. In: *Biosorption of heavy metals*, edited by B. Volesky. — (CRC Press. Boca Raton. Florida), 1990. — P.3–5.
16. Kratchovil, D., Volesky B. Advances in the biosorption of heavy metals. // *Trends Biotechnol.* — 1998. — Vol. 16. — P. 291–300.
17. Gadd, G. M. Heavy metal accumulation by bacteria and other microorganisms. // *Experientia* — 1990. — Vol. 46. — P. 834–840.
18. Modak, J. M., Natarajan K. A. Biosorption of metals using nonliving biomass—a review. // *Miner. Metall. Proc.* — 1995. — Vol. 12. — P. 189–196.
19. Krishnani, K. K., Ayyappan S. Heavy metals remediation of water using plants and lignocellulosic agrowastes. // *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* — 2006. — Vol. 188. P. 59–84.
20. Crini, G. Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment. // *Prog. Polym. Sci.* — 2005. — Vol. 30. — P. 38–70.
21. Hai, F. I., Yamamoto K., Fukushi K. Hybrid treatment systems for dye wastewater. // *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* — 2007. — Vol. 37. — P. 315–377.
22. Буракаева, А. Д., Русанов А. М., Лантух В. П. Роль микроорганизмов в очистке сточных вод от тяжелых металлов. Методическое пособие. — Оренбург, 1999. — 53 с.
23. Каравайко, Г. И. Биотехнология переработки металлсодержащих руд и концентратов. В кн. *Биогеотехнология переработки металлсодержащих руд. Научные обзоры*, 2005. — С. 72–83.
24. Бакеева, А. В. Биоремедиационные свойства фототрофных микроорганизмов из водоемов, загрязненных радиоактивными отходами. // Автореф. дисс... канд. биол. наук. С-Пб., 2011. — 20 с.
25. Черникова, А. А. Накопление меди и марганца в клетках цианобактерий *Spirulina platensis*. // Автореф. дисс... канд. биол. наук. М., 2009. — 22 с.
26. Сиунова, Т. В. Плазмидсодержащие ризосферные бактерии рода *Pseudomonas*, устойчивые к кобальту и никелю и стимулирующие рост растений. // Автореф. дисс... канд. биол. наук. Пушкино, 2011. — 22 с.
27. Kapoor, A., Viraraghavan T. Fungi biosorption—An alternative treatment option for heavy metal bearing wastewaters: A review. // *Bioresour Technol.* — 1995. — Vol. 53. — P. 195–206.
28. Wang, J. L. Immobilization techniques for biocatalysts and water pollution control. — Science Press. Beijing., 2002 (in Chinese).
29. Kapoor, A., Viraraghavan T., Cilliimore D. R. Removal of heavy metals using the fungus *Aspergillus niger*. // *Bioresour Technol.* — 1999. — Vol. 70 — P. 95–104.
30. Volesky, B. Biosorbent materials. // *Biotechnol. Bioeng. Symp.* — 1986. — Vol. 16. — P. 121–126.
31. Ilhan, S., Cabuk A., Filik C., Caliskan F. Effect of pretreatment on biosorption of heavy metals by fungal biomass. // *Trakya Univ. J. Sci.* — 2004. — Vol. 5. — P. 11–17.
32. Holan, Z. R., Volesky B. Biosorption of lead and nickel by biomass of marine algae. // *Biotechnol Bioeng.* — 1994. — Vol. 43. — P. 1001–1009.
33. Das, N., Vimala R., Karthika P. Biosorption of heavy metals. An overview // *Indian J. Biotechnology.* — 2008. — Vol. 7. — P. 159–169.
34. Wang, J., Chen C. Biosorbents for heavy metals removal and their future. // *Biotechnology Advances.* — 2009. — Vol. 27. — P. 195–226.
35. Aksu, Z. Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review. // *Process Biochem.* — 2005. — Vol. 40. — P. 997–1026.
36. Sağ, Y., Kutsal T. Recent trends in the biosorption of heavy metals: a review. // *Biotechnol. Bioprocess Eng.* — 2001. — Vol. 6. — P. 376–385.
37. Babel, S., Kurniawan T. A. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review. // *J. Hazard. Mater.* — 2003. — Vol 97. — P. 219–243.

38. Crini, G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review. // *Bioresour. Technol.* — 2006. — Vol. 97. — P. 1061–1085.
39. Romera, E., Gonzalez F., Ballester A., Blázquez M. L., Muñoz J. A. Biosorption with algae: a statistical review. // *Cri. Rev. Biotechnol.* — 2006. — Vol. 26. — P. 223–235.
40. Ahluwaha, S. S., Goyal D. Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from waste water. // *Bioresour Technol.* — 2007. — Vol. 98. — P. 2243–2257.
41. Aksu, Z., Sag Y., Kutsal T. The biosorption of copper by *C. vulgaris* and *Z. ramigera*. // *Environ Technol.* — 1992. — Vol. 13. — P. 579–586.
42. Singh, S., Rai B. N., Rai L. C. Ni (II) and Cr (VI) sorption kinetics by *Microcystis* in single and multi-metallic system. // *Process Biochem.* — 2001. — Vol. 36. — P. 1205–1213.
43. Aksii, Z., Kutsal T. A bioseparation process for removing lead (II) ions from waste water using *Chlorella vulgaris*. // *J. Chem. Technol. Biotechnol.* — 1991. — Vol. 52. — P. 109–118.
44. De Carvalho R. P., Cliong K. H., Volesky B. Evaluation of the Cd, Cu and Zn biosorption in two-metal systems using an algal biosorbent. // *Biotechnol.* — 1995. — Vol. 11. — P. 394.
45. Antunes, W. M., Luna A. S., Henriques C. A., Costa A. C. An evaluation of copper biosorption by a brown seaweed under optimized conditions. // *Electronic J. biotechnol.* — 2003. — Vol. 6.
46. Gupta, V. K., Shrivastava A. K., Jain N. Biosorption of chromium (VI) from aqueous solutions by green algae *Spirogyra* species. // *Water Res.* — 2001. — Vol. 25. — P. 4079–4085.
47. Cossich, E. S., Tavares C. R., Ravagnani T. M. Biosorption of chromium (III) by *Sargassum* sp. Biomass. // *Electronic J. biotechnol.* — 2004. — Vol. 5. — P. 1–6.
48. Park, D. I. Y., Yim K. H., Park J. M. Effect of Ni (II) on the reduction of Cr (VI) by *Ecklonia* biomass. // *Bioresour Technol.* — 2006. — Vol. 97. — P. 1592–1598.
49. Kiran, B., Kaushik A., Kaushik C. P. Biosorption of Cr (VI) by native isolate of *Lyngbya pinnatis* (HH-15) in the presence of salts. // *J. Hazard. Mater.* — 2006.
50. Mann, H. Removal and recovery of heavy metals by biosorption. In: Volesky B., editor. // *Biosorption of heavy metals*. Boca Raton: CRC press. — 1990. — P. 93–137.
51. Brierley, J. A., Brierley C. L., Goyak G. M. AMT-BIOCLAIM™: A new wastewater treatment and metal recovery technology, in *Fundamental and applied biohydrometallurgy*, edited by R. W. Lawtence. // R. M. R. Branion & H. G. Ebner (Elsevier, Amsterdam). — 1986. — P. 291–300.
52. Addour, L., Beshoche D., Boudries N., Comeau Y., Pauss A. Zinc uptake by *Streptomyces rimosus* biomass using a packed-bed column. // *J. Chan. Technol. Biotechnol.* — 1999. — Vol. 74. — P. 1089–1095.
53. Mullen, L. D., Wolfe D. C., Ferris F. G., Beveridge T. J., Flenuning C. A. Bacterial sorption of heavy metal. // *Appl. Environ Microbiol.* — 1989 — Vol. 55. — P. 3143–3149.
54. Nakajima, A., Sakaguchi T. Selective accumulation of heavy metals by microorganisms. // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* — 1986 — Vol. 24. — P. 59–64.
55. Norberg, A., Persson H. Accumulation of heavy metal ions by *Zoogloea ramigera*. // *Biotechnol. Bioeng.* — 1984. — Vol. 26. — P. 239–246.
56. Norberg, A., Rydin S. Development of a continuous process for metal accumulation by *Zoogloea ramigera*. // *Biotechnol. Bioeng.* — 1984 — Vol. 26. — P. 265–268.
57. Seki, H., Suzuki A., Mitsue S. L. Biosorption of heavy metal ions on *Rhodobacter sphaeroides* and *Alcaligenes eutrophus* H16. // *J. Colloid. Interface Sci.* — 1998. — Vol. 197. — P. 185–190.
58. İlhan, S., Noubakhsh M. N., Kilicarslan S., Ozdag H. Removal of chromium, lead and copper ions from industrial waste water by *Staphylococcus saprophyticus* Turk. // *Electronic J. biotechnol.* — 2004. — Vol. 2. — P. 50–57.
59. Ozdemir, G., Ceyhan N., Ozturk T., Akirmak F., Cosar T. Biosorption of chromium (VI), Cadmium (II) and copper (II) by *Pantoea* sp. // *TEM 18. ChemEngJ.* — 2004. — Vol. 102. — P. 249–253.
60. Remacle, J. The cell wall and metal binding, in *Biosorption of heavy metals*, edited by B. Volesky. // CRC Press Boca Raton, Florida. — 1990 — P. 83–92.
61. Gourdon, R., Bheude S., Rus E., Sofer S. S. Comparison of cadmium biosorption by Gram-positive and Gram-negative bacteria from activated sludge. // *Biotechnol Lett.* — 1990. — Vol. 12. — P. 839–842.
62. Rabbani, M., Ghafourian H., Sadeghi S., Nazeri Y. Biosorption of Cr (VI) by new bacterial strain (NRC-BT-2). // *Int. Cons. Ser.* — 2005. — Vol. 1276. — P. 268–269.
63. Tunalı, S., Cabuk A., Akar T. Removal of lead and copper ions from aqueous solutions by bacterial strain isolated from soil. // *Chem. Eng.* — 2006. — Vol. 115. — P. 203–211.
64. Salehizadeh, H., Shojaosadati S. A. Removal of metal ions from aqueous solution by polysaccharide produced from *Bacillus firmus*. // *Water Res.* — 2003. — Vol. 37. — P. 4231–4235.

65. Choi, S. B., Yun Y. S. Lead biosorption by waste biomass of *Corynebacterium glutamicum* generated from lysine fermentation process. // *Biotechnol. Lett.* — 2004. — Vol.26. — P.331–336.
66. Uslu, G., Tanyol M. Equilibrium and thermodynamic parameters of single and binary mixture biosorption of lead (II) and copper (II) ions onto *Pseudomonas putida*: effect of temperature. // *J Hazard Mater.* — 20063-Vol. 135. — P.87–93.
67. Pardo, R., Herguedas M., Barrado E., Vega M. Biosorption of cadmium, copper, lead and zinc by inactive biomass of *Pseudomonas putida*. // *Anal. Bioanal Chem.* — 2003 — Vol. 376. — P. 26–32.
68. Ziagova, M., Dimitriadis C., Aslanidou D., Papaioannou X. Tzannetaki E. L., Liakopoulou-Kyriakides M. Comparative study of Cd (II) and Cr (VI) biosorption on *Staphylococcus xylosus* and *Pseudomonas sp.* in single and binary mixtures. // *Bioresour Technol.* — 2007. — Vol.98. — P.2859–2865.
69. Loukidou, M. X., Karapantsios T. D., Zouboulis A. I., Matis K. A. Diffusion kinetic study of cadmium (II) biosorption by *Aeromonas caviae*. // *J. Chem. Technol. Biotechnol.* — 2004. — Vol.79. — P.711–719.
70. de Vargas I., Macaskie L. E., Guibal E. Biosorption of palladium and platinum by sulfate-reducing bacteria. // *J. Chem. Technol. Biotechnol.* — 2004. — Vol.79. — P.49–56.
71. Nakajima, A., Tsuruta T. Competitive biosorption of thorium and uranium by *Micrococcus luteus*. // *J. Radioanal. Nucl. Chem.* — 2004. — Vol.260. — P. 13–18.
72. Мир растений. Энциклопедия в семи томах / Тахтаджян А.Л. (гл. ред.), под ред. Горленко М.В. (Т. 2). — М.: «Просвещение», 1991. — Т. 2. Грибы. — с. 370–375.
73. Жизнь растений. Энциклопедия в шести томах. Том 2. Грибы. — М.: Просвещение, 1976. — 480 с.
74. Horikoshi, T., Nakajima A., Sakaguchi T. Studies on the accumulation of heavy metal elements in biological systems: Accumulation of uranium by microorganisms. // *Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* — 1981. — Vol.12. — P. 90–96.
75. Gadd, G. M., De Rome L. Biosorption of copper by fungal melanin. // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* — 1988. — Vol.29. — P. 610–617.
76. Huang, C. P., Westman D., Quirk K., Huang J P. The removal of cadmium (II) from dilute solutions by fungal biomass. // *Water Sci. Technol.* — 1988. — Vol.20. — P. 369–376.
77. Filipovic-Kovacevic, Z., Sipos Lbriski F. Biosorption of chromium, copper, nickel and zinc ions onto fungal pellets of *Aspergillus niger* 405 from aqueous solutions. // *Food Technol. Biotechnol.* — 2000. — Vol.38. — P. 211–216.
78. Natarajan, K. A., Subramanian S., Modak J. M. Biosorption of heavy metal ions from aqueous and cyanide solutions using fungal biomass. *Biohydrometallurgy and the environment toward the mining of the 21<sup>st</sup> century*, Pt B 1999. // *Process Metallurgy Amsterdam: Elsevier Science Publ.* — 1999. — Vol.5. — P. 351–361.
79. Dursun, A. Y., Uslu G., Cuci Y., Aksu Z. Bioaccumulation of copper (II), lead (II) and chromium (VI) by growing *Aspergillus niger*. // *Process Biochem.* — 2003. — Vol.38. — P 1647–1651.
80. Dursun, A. Y. The effect of pH on the equilibrium of heavy metal biosorption by *Aspergillus niger*. // *Fresenius Environ Bull.* — 2003. — Vol.12. — P. 1315–1322.
81. Dursun, A. Y., Uslu G., Tepe O., Cuci Y., Ekiz H. I. A comparative investigation on the bioaccumulation of heavy metal ions by growing *Rhizopus arrhizus* and *Aspergillus niger*. // *Biochem. Eng.* — 2003. — Vol. 15. — P. 87–92.
82. Dursun, A. Y. A comparative study on determination of the equilibrium, kinetic and thermodynamic parameters of biosorption of copper (II) and lead (II) ions onto pretreated *Aspergillus niger*. // *Biochem. Eng.* — 2006. — Vol.28. — P. 187–195.
83. Barros, L. M., Macedo G. R., Duarte M. M., Silva E. P., Lobato A. Biosorption of cadmium using the fungus *Aspergillus niger*. // *Braz. J. Chem. Eng.* — 2003. — Vol. 20. — P. 229–239.
84. Bag, H., Turker A. R., Tunceli A., Lale M. Determination of Fe (II) and Fe (III) in water by flame atomic absorption spectrophotometry after their separation with *Aspergillus niger* immobilized on sepiolite. // *Anal. Sci.* — 2001. — Vol. 17. — P. 901–904.
85. Bag, H., Turker A. R., Lale M. Determination of trace metals in geological samples by atomic absorption spectrophotometry after preconcentration by *Aspergillus niger* immobilized on sepiolite. // *Anal. Sci.* — 1999 — Vol.15. — P. 1251–1256.
86. Magyarosy, A., Laidlaw R. D., Kilaas R., Echer C., Clark D. S., Keasling J. D. Nickel accumulation and nickel oxalate precipitation by *Aspergillus niger*. // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* — 2002. — Vol.59. — P. 382–388.
87. Kapoor, A., Viraraghavan T., Cullimore D. R. Removal of heavy metals using the fungus *Aspergillus niger*. // *Bioresour Technol.* — 1999 — Vol.70. — P. 95–104.
88. Bhainsa, K. C., D'Souza S. F. Biosorption of uranium (VI) by *Aspergillus fumigatus*. // *Biotechnol. Techniques.* — 1999. — Vol.13. — P. 695–699.
89. Spanelova, M., Machovic V., Brezina M. Characterization and sorption properties of *Aspergillus niger* waste biomass. // *Cent. Eur. J. Chem.* — 2003 — Vol.1. — P. 192–200.



90. 88. Gomes N. C., Figueira M. M., Camargos E. R., Mendonca-Hagler L. C., Dias J. C., Linardi V. R. Cyano-metal complexes uptake by *Aspergillus niger*. // *Biotechnol. Lett.* — 1999. — Vol.21. — P. 487–490.
91. Gomes, N.C., Linardi V.R. Removal of gold, silver and copper by living and nonliving fungi from leach liquor obtained from the gold mining industry. // *Rev. Microbiol.* — 1996. — Vol.27. — P. 218–222.
92. Yang, Y. Y., Liu N., Luo S. Z., Liao J. L., Jin J. N., Zhang T. M. Sorption of  $\text{Am}^{241}$  by *Aspergillus niger* spore and hyphae. // *J. Radioanal. Nuc.l Chem.* — 2004. — Vol.260. — P. 659–663.
93. Karunasagar, D., Arunachalam J., Rashmi K., Latha J. N. L., Mohan P. M. Biosorption of inorganic and methyl mercury by a biosorbent from *Aspergillus niger*. // *World J. Microbiol Biotechnol.* — 2003. — Vol.19. — P.291–295.
94. Mendil D, Tuzen. M, Soylak M. A biosorption system for metal ions on *Penicillium italicum* loaded on Sepabeads SP 70 prior to flame atomic absorption spectrometric determinations. // *Hazard Mater.* — 2008. — Vol.152. — P.1171–1178.
95. Svecova, L., Spanelova M., Kubal M., Guibal E. Cadmium, lead and mercury biosorption on waste fungal biomass issued from fermentation industry. 1. Equilibrium studies. // *Sep. Purif. Technol.* — 2006. — Vol.52. — P. 142–153.
96. Awofolu, O. R., Okonkwo J. O., Roux van der Merwe R., Badenhorst J., Jordaan E. A new approach to chemical modification protocols of *Aspergillus niger* and sorption of lead ion by fungal species. // *Electron. J. Biotechnol.* — 2006. — Vol.9. — P. 340–348.
97. Cabuk, A., Ilhan S., Filik C., Caliskan F.  $\text{Pb}^{2+}$  biosorption by pretreated fungal biomass. // *Turk. J. Biol.* — 2005 — Vol.29. — P. 23–28.
98. Say, R., Yilmaz N., Denizh A. Biosorption of cadmium, lead, mercury, and arsenic ions by the fungus *Penicillium purpurogenum*. // *Sep. Sri. Technol.* — 2003 — Vol.38. — P. 2039–2053.
99. Say, R., Yimaz N., Denizli A. Removal of heavy metal ions using the fungus *Penicillium canescens*. // *Adsorpt. Sci. Technol.* — 2003. — Vol. 21. — P. 643–650.
100. Shah, M. P., Vora S. B., Dave S. R. Evaluation of potential use of immobilized *Penicillium griseofulvum* in bioremoval of copper. // *Biohydrometallurgy and the environment toward the mining of the 21<sup>st</sup> century*, Pt B 1999. *Process Metallurgy Amsterdam: Elsevier Science Publ. B V*; — 1999. — Vol 5. — P. 227–235.
101. Rostami, K., Joodaki M. R. Some studies of cadmium adsorption using *Aspergillus niger*, *Penicillium austurianum*, employing an airlift fermenter. // *Chem. Big. J.* — 2002. — Vol.89. — P. 239–252.
102. Kapoor, A., Viraraghavan T. Fungal biosorption — an alternative treatment option for heavy metal bearing wastewaters: a review. // *Bioresour Technol.* — 1995. — Vol.53. — P. 195–206.
103. Puranik, P. R., Paknikar K. M. Influence of co-cations on biosorption of lead and zinc — a comparative evaluation in binary and multimetal systems. // *Bioresour Technol.* — 1999. — Vol.70. — P. 269–76.
104. Volesky B, Holan Z. R. Biosorption of heavy metals. // *Biotechnol. Prog.* — 1995. — Vol.11. — P. 235–50.
105. 102. Volesky B. Biosorption by fungal biomass. In: Volesky B, editor. // *Biosorption of heavy metals*. Florida: CRC press. — 1990. — P. 139–71.
106. Volesky, B. Introduction. In: Volesky B, editor. // *Biosorption of heavy metals*. Boca Raton: CRC press. — 1990-. — P. 3–5.
107. Volesky, B. Removal and recovery of heavy metals by biosorption. In: Volesky B., editor. // *Biosorption of heavy metals*. Florida: CRC press — 1990. — P. 8–43.
108. Kapoor A, Viraraghavan T. Fungi as biosorbents. In: Wase J, Forster C, editors. *Biosorbents for metal ions*. London, UK: CRC Press, 1997. — P. 67–86.
109. Say, R., Yimaz N., Denizli A. Removal of heavy metal ions using the fungus *Penicillium canescens*. // *Adsorpt. Sci. Technol.* — 2003. — Vol.21. — P.643–650.
110. Xu X.Q, Li X.M, Yang Q, Liao D.X, Zeng G.M. Biosorption of lead and copper ions by *Penicillium simplicissimum* immobilized on a loofa sponge immobilized biomass. // *Acta Sci. Circumst.* — 2008. — Vol.28. — P.95–100.
111. Deng, S. B., Ting Y. P. Fungal biomass with grafted poly (acrylic acid) for enhancement of Cu (II) and Cd (II) biosorption. // *Langmuir.* — 2005. — Vol. 21. — P. 5940–5948.
112. Tan T.W, Hu B, Su H.J. Adsorption of  $\text{Ni}^{2+}$  on amine-modified mycelium of *Penicillium chrysogenum*. // *Enzyme Microb. Technol.* — 2004. — Vol.35. — P.508–513.
113. Day, R., Denizli A., Arica M. Y. Biosorption of cadmium (II), lead (II) and copper (II) with the filamentous fungus *Phanerochaete chrysosporium*. // *Bioresour Technol.* — 2001. — Vol.76. — P. 67–70.
114. Дрожжи // <http://ru.wikipedia.org/wiki/>.
115. Wang J.L, Chen C. Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: a review. // *Biotechnol. Adv.* — 2006. — Vol.24. — P.427–451.
116. Park, J. K., Lee J. W., Jung J. Y. Cadmium uptake capacity of two strains of *Saccharomyces cerevisiae* cells. // *Enzyme Microb. Technol.* — 2003. — Vol.33. — P.371–378.
117. Marques, P. A., Pinheiro H. M., Teixeira J. A., Rosa M. F. Removal efficiency of  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  by waste brewery biomass: pH and cation association effects. // *Desalination.* — 1999. — Vol. 124. — P.137–144.

118. Podgorskii V.S., Kasatkina T.P., Lozovaia O.G. Yeasts-biosorbents of heavy metals.// *Mikrobiol. Z.* — 2004. — Vol.66. — P.91–103.
119. Park, J. K., Lee J. W., Jung J. Y. Cadmium uptake capacity of two strains of *Saccharomyces cerevisiae* cells.// *Enzyme Microb. Technol.* — 2003. — Vol.33. — P.371–378.
120. Al-Saraj, M., Abdel-Latif M. S., El-Nahal I., Baraka R. Bioaccumulation of some hazardous metals by sol gel entrapped microorganisms. // *J Non-Cryst Solids.* — 1999. — Vol.248. — P.137–140.
121. Bustard, M., McHale A. P. Biosorption of heavy metals by distillery-derived biomass.// *Bioprocess Engineering.* — 1998. — Vol.19. — P.351–353.
122. Ozer A, Ozer D. Comparative study of the biosorption of Pb (II), Ni (II) and Cr (VI) ions onto *S. cerevisiae*: determination of biosorption heats. // *J. Hazard. Mater.* — 2003. — Vol. 100. — P.219–229.
123. Goksungur, Y., Uren S., Guvenc U. Biosorption of cadmium and lead ions by ethanol treated waste baker's yeast biomass.// *Bioresour Technol.* — 2005. — Vol.96. — P. 103–109.
124. Насимов, А. М., Аронбаев С. Д. Биосорбция ионов свинца, кадмия и меди осадочными дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* // *Экологические системы и приборы, ЭСип.* — 2011. — № 2. — С.3–7
125. Donmez G, Aksu Z. The effect of copper (II) ions on the growth and bioaccumulation properties of some yeasts.// *Process Biochem.* — 1999. — Vol.35. — P.135–142.
126. Bakkaloglu, I., Butter T. J., Evison L. M., Holland F. S., Hancock I. C. Screening of various types biomass for removal and recovery of heavy metals (Zn, Cu, Ni) by biosorption, sedimentation and desorption.// *Water Sci. Technol.* — 1998. — Vol. 38. — P.269–277.
127. Zhao, M., Duncan J. R. Use of formaldehyde cross-linked *Saccharomyces cerevisiae* in column bioreactors for removal of metals from aqueous solutions.// *Biotechnol. Lett.* — 1997. — Vol.19. — P.953–955.
128. Bag, H., Lale M., Turker A. R. Determination of Cu, Zn and Cd in water by FAAS after preconcentration by baker's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) immobilized on sepiolite. // *Fresenius Journal of Analytical Chemistry.* — 1999. — Vol.363. — P. 224–230.
129. Vasudevan, P., Padmavathy V., Dhingra S. C. Kinetics of biosorption of cadmium on baker's yeast.// *Bioresour. Technol.* — 2003. — Vol.89. — P. 281–7.
130. Volesky, B., May H., Holan Z. R. Cadmium biosorption by *Saccharomyces cerevisiae*.// *Biotechnol Bioeng.* — 1993. — Vol.41. — P.826–829.
131. Padmavathy, V., Vasudevan P., Dhingra S. C. Biosorption of nickel (II) ions on baker's yeast.// *Process Biochem.* — 2003. — Vol.38. — P.1389–1395.
132. Rapoport A.J, Muter O. A. Biosorption of hexavalent chromium by yeasts. // *Process Biochem.* — 1995. — Vol.30. — P.145–149.
133. Xie, D. D., Liu Y. Y., Wu C. L., Chen P., Fu J. K. Studies of properties on the immobilized *Saccharomyces cerevisiae* waste biomass adsorbing  $Pt^{4+}$  (in Chinese).// *Journal of Xiamen University.* — 2003. —; Vol.42. — P. 800–804.
134. Liu, H., Wang J. L., Wen X. H. Study on biosorption of lead by yeast. // *Res. Environ Sci.* — 2002. — Vol.15. — P. 26–29.
135. Popa, K., Cecal A., Drochioiu G, Humelnicu D. *Saccharomyces cerevisiae* as uranium bioaccumulating material: the influence of contact time, pH and anion nature. // *Nukleonika.* — 2003. — Vol.48. — P.121–125.
136. Riordan, C., Bustard M., Putt R., McHale A. P. Removal of uranium from solution using residual brewery yeast: combined biosorption and precipitation.// *Biotechnol Lett.* — 1997. — Vol.19. — P. 385–387.
137. Tsezos, M. Biosorption of lanthanides, actinides and related materials in biosorbents for metal ions. In: Wase J, Forster C, editors. *Biosorbents for metal ions.* London UK: CRC Press. 1997. — P. 87–113.
138. Аронбаев, С. Д., Насимов А. М., Аронбаев Д. М. Биосорбция урана (VI) из водных растворов клеточными оболочками дрожжей *S.cerevisiae* // *Вода: химия и экология.* — 2011. — № 12. — С.51–55
139. Ozer A., Ozer D. The adsorption of copper ions onto dehydrated wheat bran (DWB): Determination of equilibrium and thermodynamic parameters. // *Process Biochem.* — 2004. — Vol.39. — P. 2183–2191.
140. Bailey, S. E., Olin T. J. Bricka R. M., Adrian D. D. A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals.// *Water Res.* — 1999. — Vol.33. — P. 2469–2479.
141. Ho, Y. S. Removal of copper from aqueous solution by tree fern.// *Water Res.* — 2003. — Vol.37. — P. 2323–2330.
142. Aronbaev, S. D., Ziydullaeva G. Z. Minireview of potentially low cost biosorbents from natural products for removing of heavy metals // *European science review*, 2014, № 11–12 (November-December) — P.88–92.
143. Senthilcumaar, S., Bharathi S., Nithyanandhi D., Subburam V. Biosorption of toxic heavy metals from aqueous solutions. // *Bioresour Technol.* — 2000. — Vol.75. — P. 163–165.
144. Iqbal, M., Saeed A., Akhtar N. Petiolar felt-sheath of palm: A new biosorbent for the removal of heavy metals from contaminated water. // *Bioresour Technol.* — 2005. — Vol.81. — P. 151–153.
145. Ajmal, M., Rao R. A. K., Anwer S., Ahmad J., Ahmad R. Adsorption studies on rice husk: Removal and recovery of Cd (II) from wastewater. // *Bioresour Technol.* — 2003. — Vol.86. — P. 147–149.



146. Basci, N., Kocadagistan E., Kocadagistan B. Biosorption of aqueous solutions by wheat shell. // *Destination*. — 2004. — Vol. 164. — P. 135–140.
147. Chojnacka, K. Biosorption of Cr (III) by eggshells. // *Hazard Mater B*. — 2005. — Vol 121. — P. 167–173.
148. Saeed, A., Akhtar M. W., Iqbal M. Removal and recovery of heavy metals from aqueous solution using papaya wood as a new biosorbent. // *Sep. Purif. Technol.* — 2005. — Vol. 45. — P. 25–31.
149. Saeed, A., Iqbal M., Akhtar M. W., Removal and recovery of lead (Pb) from single and multimetal (Cd, Cu, Ni, Zn) solutions by crop milling waste (black gram husk). // *J Hazard Mater. B*. — 2005. — Vol. 117. — P. 65–73.
150. Aksu, Z., Isoglu I. A. Removal of copper (II) ions from aqueous solution by biosorption onto agricultural waste sugar beet pulp. // *Process Biochem.* — 2005. — Vol. 40. — P. 3031–3044.
151. Oliveira, E. A., Montanher S. F., Andrade A. D., Nobrega J. A., Rollemberg M. C. Equilibrium studies for the sorption of chromium and nickel from aqueous solutions using raw rice bran. // *Process Biochem.* — 2005. — Vol. 40. — P. 3485–3490.
152. Wang, X., Qin Y. Equilibrium sorption isotherms for Cu<sup>2+</sup> on rice bran. // *Process Biochem.* — 2005. — Vol. 40. — P. 677–680.
153. Hossain, M. A., Kuinita M., Optimization of parameters for Cr (VI) adsorption on used black tea leaves. // *Adsorption*. — 2005. — Vol. 11. — P. 561–568.
154. Ahalya, N., Kanamadi R. D., Ramachandra T. V. Biosorption of chromium (VI) from aqueous solutions by the husk of Bengal gram (*Cicer arietinum*). // *Electronic J. Biotechnol.* — 2005. — Vol. 8. — P. 258–264.
155. Vijayaraghavan, K., Palanivelu K., Velan M. Biosorption of copper (II) and cobalt (II) from aqueous solutions by crab shell particles. // *Bioresour Technol.* — 2006. — Vol. 97. — P. 1411–1419.
156. Fiol, N. Torre F. Demeyere P, Florido A & Villaescusa I, Vegetable waste-based sensors for metal ion determination. *Sens Actuators B*. 2006 (in press).
157. Nourbakhsh, M., Sag Y., Ozer D., Aksu Z., Kutsal T., Caglar A. A comparative study of various biosorbents for removal of chromium (VI) ions from industrial waste waters. // *Process Biochem.* — 1994. — Vol. 29. — P. 1–5.
158. Celaya, R. J., Noriega J. A., Yeomans J. H., Ortega L. J., Ruiz-Manriquez A. Biosorption of Zn (II) by *Thiobacillus ferrooxidans*. // *Bioproc. Eng.* — 2000. — Vol. 22. — P. 539–542.
159. Liu, H. L., Chen B. Y., Lan Y. W., Cheng Y. C. Biosorption of Zn (II) and Cu (II) by the indigenous *Thiobacillus thiooxidans*. // *Chem. Eng.* — 2004. — Vol. 97. — P. 195–201.
160. Veglio, F., Beolchini F. Removal of metals by biosorption: a review. // *Hydrometallurgy*. — 1997. — Vol. 44. — P. 301–316.
161. Vianna LNL, Andrade MC, Nicoli JR. Screening of waste biomass from *Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus oryzae* and *Bacillus lentus* fermentations for removal of Cu, Zn and Cd by biosorption. // *World J. Microbiol. Biotechnol.* — 2000. — Vol. 16. — P. 437–440.
162. Alasheh, S., Duvnjak Z.. Adsorption of copper and chromium by *Aspergillus carbonarius*. // *Biotechnol. Prog.* — 1995. — Vol. 11. — P. 638–642.
163. Gulati, R., Saxena R. K., Gupta R. Fermentation waste of *Aspergillus terreus*: a potential copper biosorbent. // *World J. Microbiol. Biotechnol.* — 2002. — Vol. 18. — P. 397–401.
164. Kogej, A., Pavko A. Comparison of *Rhizopus nigricans* in a pelleted growth form with some other types of waste microbial biomass as biosorbents for metal ions. // *World J. Microbiol. Biotechnol.* — 2001. — Vol. 17. — P. 677–685.
165. Rincon, J., Gonzalez F., Ballester A., Blazquez M. L., Munoz J. A. // Biosorption of heavy metals by chemically-activated alga *Fucus vesiculosus*. // *J. Chem. Technol. Biotechnol.* — 2005. — Vol. 80. — P. 1403–1407.
166. Volesky, B. Advances in biosorption of metals — selection of biomass types. // *FEMS Microbiol. Rev.* — 1994. — Vol. 14. — P. 291–302.
167. Елинов, Н. П. Основы биотехнологии. — С-Пб.: Наука. 1995. — 601 с.
168. Lu Y. M., Wilkins E. Heavy metal removal by caustic-treated yeast immobilized in alginate. // *J. Hazard Mater.* — 1996. — Vol. 49. — P. 165–179.
169. Wang, J. L. Biosorption of copper (II) by chemically modified biomass of *Saccharomyces cerevisiae*. // *Process Biochem.* — 2002. — Vol. 37. — P. 847–850.
170. Errasquin, E. L., Vazquez C. Tolerance and uptake of heavy metals by *Trichoderma atroviride* isolated from sludge. // *Chemosphere* — 2003. — Vol. 50. — P. 137–143.
171. Вудворд Дж. Имобилизованные клетки и ферменты. Методы. Пер. с англ. — М.: Мир, 1988. — 216 с.
172. Сеницын, А. П., Райнина Е. И., Лозинский В. И. и др. Имобилизованные клетки микроорганизмов. — М. Изд. МГУ, 1994. — 288 с.
173. Wang, J. L. Microbial immobilization techniques and water pollution technology. // Beijing: Science press. — 2002. — Vol. 11. — P. 233–248.

174. Гаранин, Р. А. Метод биосорбции тяжелых металлов из промышленных сточных вод с использованием пивоваренных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. // Автореф. дис... канд. биол. наук. М., 2011. — 25 с.
175. Карпенко, Д. В. Разработка технологии получения биосорбентов на основе осадочных пивных дрожжей и их применения для производства пива, этилового спирта и других пищевых продуктов // Дис... д-ра техн. наук. М., 2005. — 373 с.
176. Аронбаев, С. Д., Насимов А. М., Аронбаев Д. М. Сравнительная характеристика методов иммобилизации клеточной биомассы пивоваренных дрожжей на твердых носителях // Научный Вестник СамГУ, 2015 № 3. — с. 95–102.
177. Никовская, Г. Н., Гордиенко А. С., Глоба Л. Н. Сорбция микроорганизмов волокнистыми материалами. // Микробиология. — 1986. — Т. 55, № 4. — с. 691–694.
178. Vijayaraghavan, K., Yun Y. S. Bacterial biosorbents and biosorption. // *Biotechnol. Adv.* — 2008. — Vol. 26. — P. 266–291.
179. Wase, J., Foster C. *Biosorbents for metal ions.* — (Taylor & Francis. London), 1997.
180. Beveridge, T. J., Fyfe W. S. Metal fixation by bacterial cell walls. // *Can. J. Earth Sci.* — 1985. — Vol. 22. — P. 1893–1898.
181. Macaskie, L. E., Dean A. C. R. Microbial metabolism, desolubilization. and deposition of heavy metals: Metal uptake by immobilized cells and application to the detoxification of liquid wastes. In *Biological waste treatment*, edited by A. Mizrahi (Alan R Liss Inc. New York) 1989. — P. 159–201.
182. Hu, M. Z. C., Reeves M. Biosorption of uranium by *Pseudomonas aeruginosa* strain CSU immobilized in a novel matrix. // *Biotechnol. Prog.* — 1997. — Vol. 13. — P. 60–70.
183. Blanco A B. Sanz B. Llama M J & Serra J L, Biosorption of heavy metals to immobilized *Phormidhim laminosum* biomass. // *J. Biotechnol.* — 1999. — Vol. 69. — P. 227–240.
184. Puranik, P. R., Paknikar K. M. Biosorption of lead, cadmium and zinc by *Citrobacter* strain of MCM B-181: Characterization studies. // *Biotechnol. Prog.* — 1999. — Vol. 15. — P. 228–237.
185. Maqulelra, A., Elmahadi H. A. M., Puchades R. Use of *Saccharomyces cerevisiae* in flow injection atomic absorption spectrometry for trace metal preconcentration // *Anal. Chem.* — 1994. — Vol. 66. — P. 1462–1467
186. Bag, H., Lale M., Turker A. R. Determination of iron and nickel by flame atomic absorption spectrophotometry after preconcentration on *Saccharomyces cerevisiae* immobilized sepiolite // <http://dx.doi.org/10>
187. Zou, A. — M., Chen M. — L., Shu Y., Wang J. — H. Biological cell-sorption for separation / preconcentration of ultra-trace cadmium in a sequential injection system with detection by electrothermal atomic absorption spectrometry // *J. Anal. At. Spectrom.* — 2007. — Vol. 22. — P. 292–298.
188. Godlewska-Zylkiewicz, B. Microorganisms in inorganic chemical analysis // *Anal. and Bioanal. Chem.* — 2006. — Vol 384, № 1. — P. 144–123.
189. Bishnoi, N. R., Garima A. Fungus-an alternative for bioremediation of heavy metal containing wastewater: a review. // *J. Sci. Ind. Res.* — 2005. — Vol. 64. — P. 93–100.
190. Varma, A. J., Deshpande S. V., Kennedy J. F. Metal complexation by chitosan and its derivatives: a review. // *Carbohydr. Polym.* — 2004. — Vol. 55. — P. 77–93.
191. Andrus, Y., Texier A. C., Le Cloirec P. Rare earth elements removal by microbial biosorption: a review. // *Environ. Technol.* — 2003. — Vol. 24. — P. 1367–1375.
192. Zhao, G., Wu X., Tan X., Wang X. Sorption of Heavy Metal Ions from Aqueous Solutions: A Review // *The Open Colloid Science Journal* — 2011. — Vol. 4. — P. 19–31.
193. Kwiatkowski, S., Thielen U., Glenney P., Moran C. A Study of *Saccharomyces cerevisiae* Cell Wall Glucans // *J. Inst. Brew.* — 2009. — Vol. 115. № 2. — P. 151–158.
194. Аронбаев, Д. М., Насимов А. М., Аронбаев С. Д., Куватов А. К. Исследование биосорбции ионов свинца клеточными стенками дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* методами ИК-спектроскопии // Сб. материалов II-ой Межд. Казахстанско-Российской конф. Караганда, КарГУ. — 2012. — С. 308–312.
195. Singh, N., Gadi R. Studies on Biosorption of Pb (ii) by the Nonliving Biomasses of *Pseudomonas Oleovorans* and *Brevundimonas Vesicularis* and its Removal from Wastewater Samples // *E. J. Sci. Res.* — 2012. — Vol. 69, № 2. — P. 279–289
196. Шевчук, И. А., Клименко Н. А. Изменение электрокинетического потенциала клеток *Vacillus polytuxa* ИМВ 8910 при взаимодействии с ионами U (VI) и стронция // *Химия и технология воды.* — 2010. — Т. 32, № 1. — с. 97–106.
197. Аронбаев, С. Д., Насимов А. М., Аронбаев Д. М. Применение физико-химических методов в исследовании клеточных стенок дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* // *Вестник Московского Государственного областного Университета (МГОУ).* — 2013. — № 2. — С. 84–89.

198. Аронбаев, С.Д., Зиядуллаева Г.З., Аронбаев Д.М., Исмаилов З.Ф.. Обзор инструментально-технического и математического обеспечения исследований биосорбционных процессов // Всероссийский журнал научных публикаций. — 2014. — № 4 (24). — С.8–12.
199. Yu, J. W., Neretnieks I. Single-component and multicomponent adsorption equilibrium on activated carbon of methylcyclohexane, toluene, and isobutyl methyl ketone. // Ind. Eng. Chem. Res. — 1990. — Vol. 29. — P.220–231.
200. Aksu, Z. Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review. // Process Biochem. — 2005. — Vol.40. — P. 997–1026.
201. Pagnanelli, F., Esposito A., Veglio F. Multi-metallic modeling for biosorption of binary systems. // Water Res. — 2002. — Vol.36. — P. 4095–4105.
202. Volesky, B. Biosorption process simulation tools. // Hydrometallurgy. — 2003. — Vol.71. — P.179–190.
203. Gerente, C., Lee V. K. C., Le Cloirec P., MaKay G. Application of chitosan for the removal of metals from wastewaters by adsorption — mechanisms and models review. // Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. — 2007. — Vol.37. — P. 41–127.
204. Crini, G., Badot P. — M. Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal by aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: a review of recent literature. // Prog. Polym. Sci. — 2008. — Vol.33. — P.399–447.
205. Ho, Y. — S. Review of second-order models for adsorption systems. // J. Hazard. Mater. — 2006. — Vol.136. — P. 681–689.
206. Liu, Y. and Y. — J. Liu. Biosorption isotherms, kinetics, and thermodynamics. // Sep. Purif. Technol. — 2008. — Vol. 61. — P. 229–242.
207. Baysal, Z., Çinar E., Bulut Y., Alkan H., Dogru M. Equilibrium and thermodynamic studies on biosorption of Pb (II) onto *Candida albicans* biomass // J. Hazard. Mater. — 2009. — Vol. 161. — P. 62–67.
208. Liu, Y. Some consideration on the Langmuir isotherm equation. // Colloid Surf. A.: Physicochem. Eng. Aspects. — 2006. — Vol. 274. — P. 34–36.
209. Lu, X. Comment on “Thermodynamic and isotherm studies of the biosorption of Cu (II), Pb (II), and Zn (II) by leaves of saltbush (*Atriplex canescens*)”. // J. Chem. Thermodyn. — 2008. — Vol. 40. — P. 739–740.

## Глютамат натрия (Е 621)

Зяблицева Ирина Геннадьевна, студент  
Пермская государственная фармацевтическая академия

**П**ищевые добавки — это вещества, которые специально добавляют в продукты для того, чтобы придать им яркий вкус, цвет, аромат, форму, консистенцию и для того, чтобы продукты длительно хранились. Данные добавки могут оказаться природного происхождения, либо могут быть получены искусственным (синтетическим) путем. В наше время для производства продуктов питания применяют до пятисот разных добавок и их различные комбинации.

Согласно распоряжению Миндравсоцразвития, есть такие добавки, которые не являются опасными для человека, но у некоторых они способны вызвать приступ астмы или аритмию. Именно из-за этого этой части населения крайне важно иметь в виду, о том что же скрывается под буквами и цифрами добавок и знать, как себя поведет собственный организм на данную добавку, например, глютамат натрия или улучшитель вкуса Е-621. Он придает продуктам питания привкус мяса. Он добавляется в состав готовых супов и лапши быстрого приготовления, в консервы из различного мяса, соусы, готовые блюда, смеси приправ, маринады, и колбасу.

Глютамат натрия (Е 621) — это пищевая добавка, которая является усилителем вкуса, но ее присутствие в пище носит спорный характер. Некоторые ученые говорят, о том что вред этой добавки неоспорим: это химическое соединение, которое может вызвать наркотическое привыкание, также вызывает нарушения нормальной работы органов и систем органов и в целом может привести к ожирению. Другие исследователи, наоборот, утверждают о полной безопасности глютамата натрия. Будто, все это слухи, а, реально, Е 621 — фактически безопасен для человека и используется в пищевой промышленности многих стран.

Конечно, хочется верить, что вред глютамата натрия — это выдумки, потому что в настоящее время он является неотъемлемой частью продуктов питания. Зачастую все эти продукты оказываются на столе большинства населения. Но противники пищевых добавок очень насторожены по отношению к Е 621. Глютамат натрия — это белый порошок, состоящий из одной части поваренной соли и одной части глютаминной кислоты. Его используют для усиления вкуса многих продуктов питания. Иногда это крайне необходимо. Например, когда сырые продукты, такие как рыба,

мясо, теряют свой вкус в процессе обработки. Или в целях экономии овощей, зерновых, мяса, в тех случаях когда себестоимость на сырье весьма высока.

Если приправы добавляют в блюда, для того, чтобы сделать их более аппетитными, то глутамат натрия применяют для возникновения приятных вкусовых ощущений. Е 621 не является консервантом, но и не является полезным. Эта добавка является токсином, который возбуждает нервную систему, он заставляет думать наш мозг о том, что пища, которую мы употребляем, вкусная.

Врачи говорят, что вред глутамат натрия может выявиться, даже если принимать его ежедневно по несколько грамм. Больше всего подвержены опасности люди, которые употребляют в пищу полуфабрикаты. Каждая новая порция порошка химического соединения вызывает психологическую зависимость и привязанность.

Опасность глутамата натрия заключается в том, что регулярно поступающая в организм добавка, вызывает серьезные последствия для здоровья человека. К ним относятся стремительный набор веса, падения зрения, склероз, диспепсические расстройства, астма, проблемы с дыханием, головные боли, тревожные расстройства и панические приступы. Медицинские наблюдения показали, что вред глутамата натрия, несколько связан с синдромом Альцгеймера (нарушение памяти), диабетом, болезнью Паркинсона. Будущим мамам необходимо иметь в виду, что Е 621 легко проходит через плацентарный барьер и отрицательно влияет на мозг зародыша.

В случае, если в составе продукта питания не указано содержание глутамата натрия, это еще не говорит о том, что его там нет. Производители идут все на новые и новые хитрости. В продаже все чаще появляются супы и соусы «без усилителей вкуса». А загвоздка вся в том, что вместо глутамата в продуктах добавлен дрожжевой экстракт, который содержит три вещи: глутамат, инозинат и гу-

анилат. Всех вместе их можно отнести к приправам, которые усиливают вкус. Напрашивается вывод о том, что в промышленности используется дрожжевой экстракт, который пропитан глутаматом.

На сегодняшний день достаточно сложно полностью предотвратить попадание в организм глутамата натрия. Эта добавка применяется очень широко, но мы можем свести получаемую дозу к минимуму. Необходимо избегать приема полуфабрикатов, не нужно покупать готовых приправ. То же самое можно отнести к готовым супам, картофелю, соусам и другим продуктам. Внимание, Е 621 может «скрываться» под словами «вкусовая добавка», «усилитель вкуса», «улучшитель вкуса».

Хотя глутамат натрия является опасным для организма, его нет в списке запрещенных добавок. Критики Е 621 говорят, что и в будущем запрет наложен не будет, ведь производство глутамата натрия — это богатое производство. Количество добавления Е 621 в продукты питания растет с каждым годом.

Именно из-за этого необходимо пересмотреть принципы питания и важно кушать больше натуральных и полезных продуктов. Запомните, что еда должна обеспечивать наш организм необходимой энергией и веществами, а также усиливать нам иммунитет. [<http://eda-da.info/vred-glyutamata-natriya-e621/>]

Таким образом, в том случае если гражданин внушил сам себе о том, что Е 621 — зло, которое может вызвать аллергию, а газеты и телевидение об этом твердят направо и налево, то «аллергическую реакцию» он дать может. Но в том случае, когда человек в курсе того, что в этом продукте питания есть его «аллерген». Данные исследования были проведены многократно, а наблюдаемый эффект имеет название ноцебо, некий «черный» вид плацебо, отрицательное ожидание на подсознании, которое проявляется, например, в виде зуда, сыпи или приступа бронхоспазма.

#### Литература:

1. Сарафанова, Л. А. Пищевые добавки: Энциклопедия
2. Булдаков, А. Пищевые добавки

## Дизайн адресной липосомальной композиции

Колоскова Олеся Олеговна, аспирант

Буданова Ульяна Александровна, старший научный сотрудник

Московский государственный университет тонких химических технологий имени М. В. Ломоносова

Способность управлять физическими, химическими и биологическими свойствами наноструктур дает исследователям возможность рационально разрабатывать и использовать наночастицы для эффективного направленного транспорта биомолекул к определенным клеткам и тканям [1]. Активное нацеливание липосомальных препаратов может до-

стигаться присоединением к поверхности липосом «молекулярного адреса» — маркера, для связывания с которым клетка-мишень имеет соответствующие рецепторы [2].

Одним из таких маркеров может служить остаток фолиевой кислоты, поскольку фолатные рецепторы в больших количествах присутствуют на поверхности опу-

холевых клеток, в то время как их распределение на нормальных органах и тканях значительно меньше [3].

Целью данной работы является конструирование и изучение свойств липосомальной системы адресной доставки биомолекул в опухолевые клетки.

В данной работе были использованы производные фолиевой кислоты, ПЭГ и диэфира L-глутаминовой кислоты (соединения 1, 2 и 3) (схема 1) для поверхностной модификации липосом на основе липо-пептидов [4].

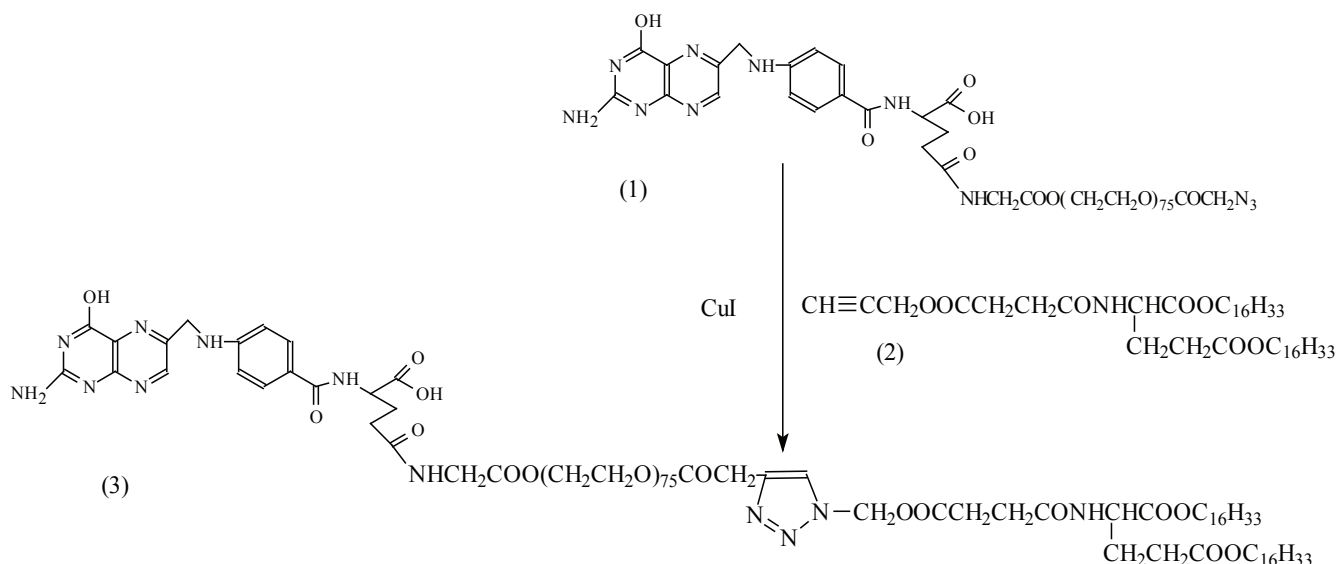


Рис. 1

Поверхностную функционализацию липосом проводили двумя способами: в процессе их приготовления (рис. 1а), используя соединение 3, а также модификацией

соединением 1 уже сформированных частиц (рис. 1б), содержащих соединение 2.

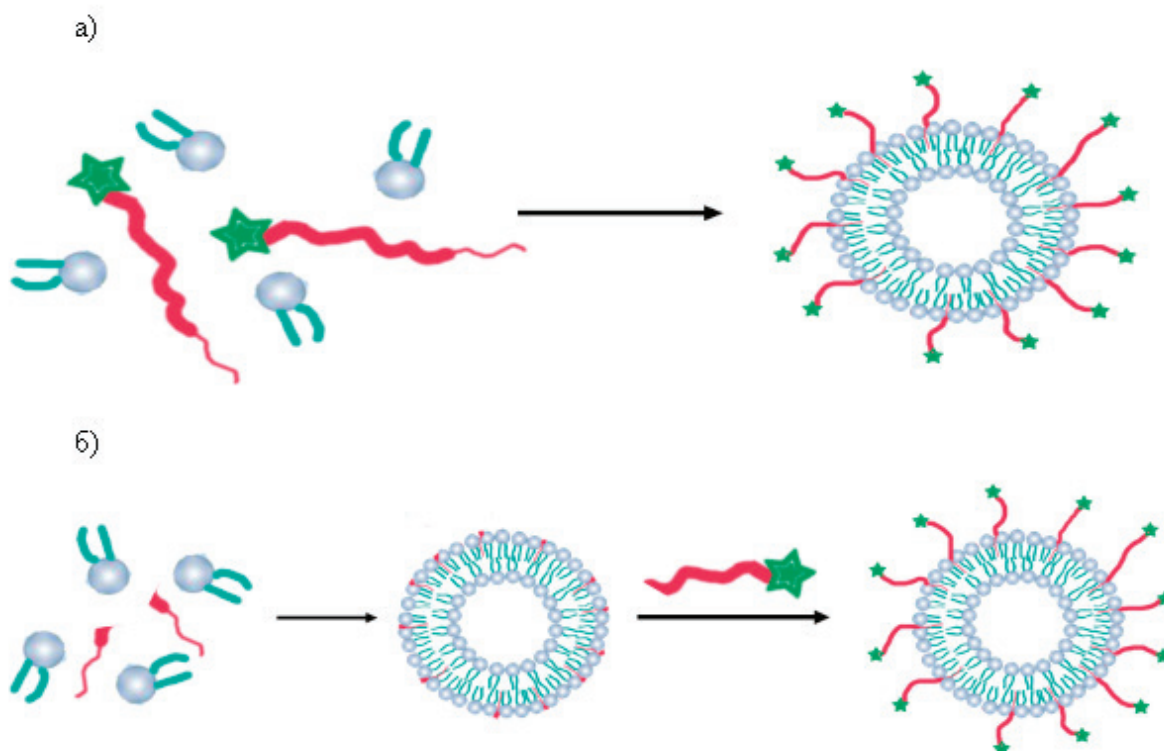


Рис. 1. Функционализация липосом: а) в процессе их приготовления, б) после получения бислойных агрегатов



В качестве основы для липосом использовали алифатические производные ди- и трипептидов строения OrnGlu ( $C_{16}H_{33}$ )<sub>2</sub> или OrnOrnGlu ( $C_{16}H_{33}$ )<sub>2</sub> соответственно. Для придания им адресной функции встраивали 5% (по массе) соединения 3 или 1,5% (по массе) соединения 2.

Изучены физико-химические свойства полученных частиц. Температуру фазового перехода (ТФП) бислойных агрегатов оценивали по графику зависимости отношения интенсивностей оптического поглощения эозина, встроенного в липосомы, от температуры. Было показано, что введение модифицирующего агента, также как и изменение строения полярной части амфифила в составе липосом не приводит к изменению ТФП бислойных агрегатов и для исследуемых композиций составляет 38–40°C.

Размер частиц оценивали методом фотонно-корреляционной спектроскопии, основанном на принципах динамического светорассеяния, на анализаторе размеров частиц серии LSTM 13320 Beckman Coulter, USA. Установлено, что увеличение размера полярной части в случае мономеров приводит к уменьшению размера немодифицированных липосом от  $150 \pm 10$  нм для алифатических производных дипептидов и до  $100 \pm 10$  нм для липотрипептидов. Введение производного фолиевой кислоты, напротив, приводит к увеличению размера частиц в случае липосом на основе липотрипептидов до  $130 \pm 10$  нм, и снижению размера модифицированных липосом на основе алифатических производных дипептидов до  $40 \pm 10$  нм (рис. 2).

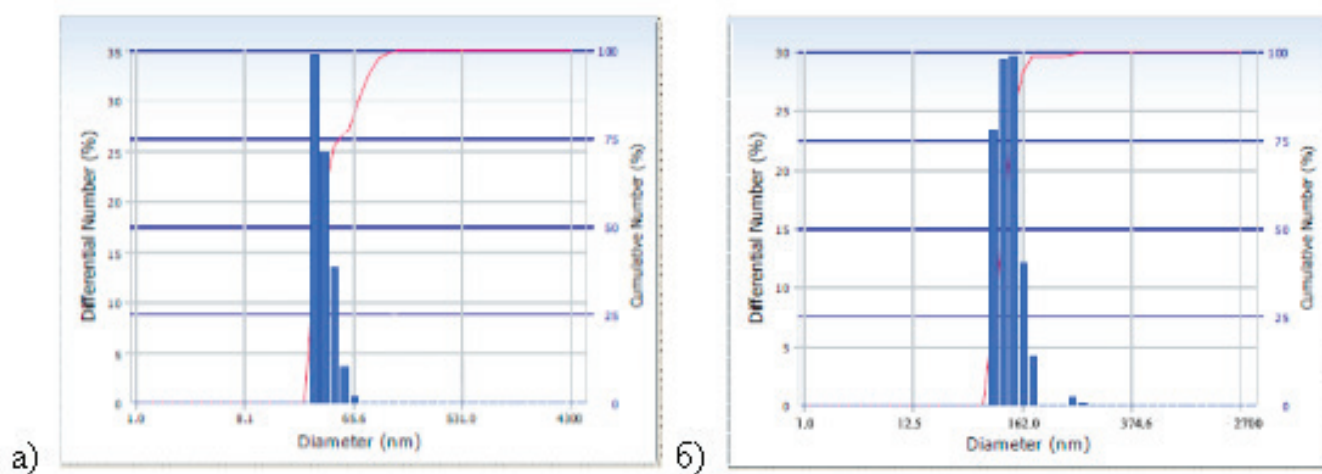


Рис. 2. Размер липосом на основе а) OrnGlu ( $C_{16}H_{33}$ )<sub>2</sub>, б) OrnOrnGlu ( $C_{16}H_{33}$ )<sub>2</sub> после модификации вектором направленной доставки.

Стабильность липосомальных дисперсий при хранении оценивали по изменению оптической плотности во времени (рис. 3). Установлено, что введение производного фолиевой кислоты в состав липосом, также как и изме-

нение строения липидов в составе частиц, не приводят к снижению седиментационной и агрегационной устойчивости, которая сохраняется более 100ч.

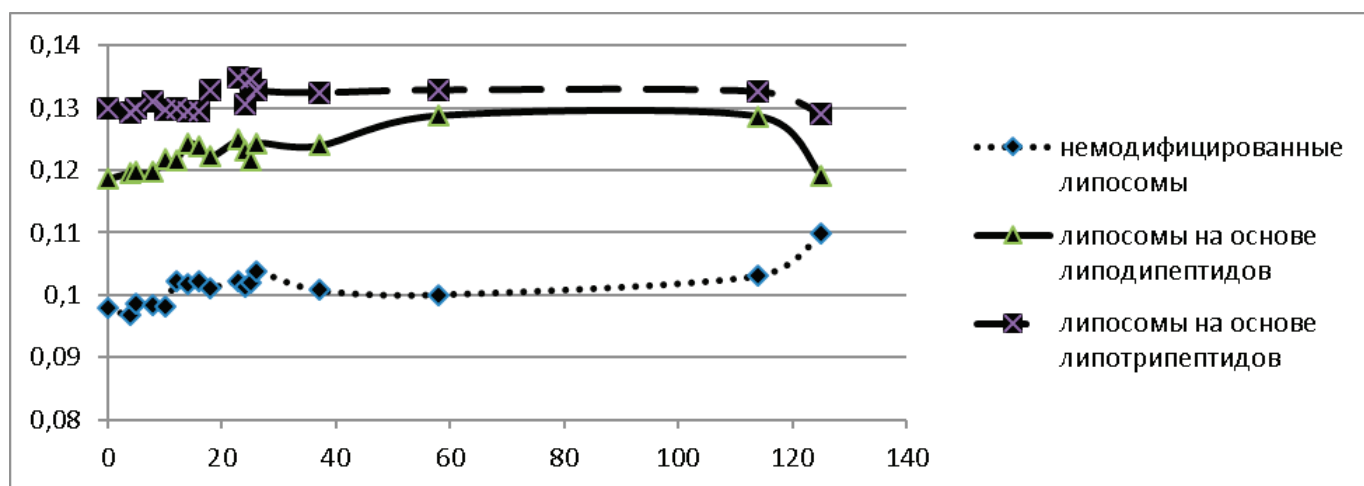


Рис. 3. Стабильность липосом при хранении



Цитотоксичность липосом определяли посредством МТТ теста в культуре клеток СНО. Метод основан на способности митохондриальных и цитоплазматических дегидрогеназ живых метаболически активных клеток восстанавливать бесцветный водорастворимый 3-(4,5-диметилтиазол-2-ил) – 2,5-дифенил- 2Н-тетразолиум бромид (МТТ) в формазан, который кристаллизуется внутри клеток. Кристаллы формазана переводят в раствор с помощью органических растворителей, таких как диметилсульфоксид (ДМСО), с последующей

спектрофотометрией. Восстановление клетками нитросинего тетразолия показывает метаболическую активность дегидрогеназ и является адекватным показателем жизнеспособности клеток в культуре, что позволяет оценить специфическую гибель клеток, вызванную агентом. Для немодифицированных липосом индекс цитотоксичности  $IC_{50}$  составил 27,5мкг/100мкл (рис. 4а), введение производного фолиевой кислоты не приводит к статистически достоверному изменению цитотоксичности (рис. 4б).

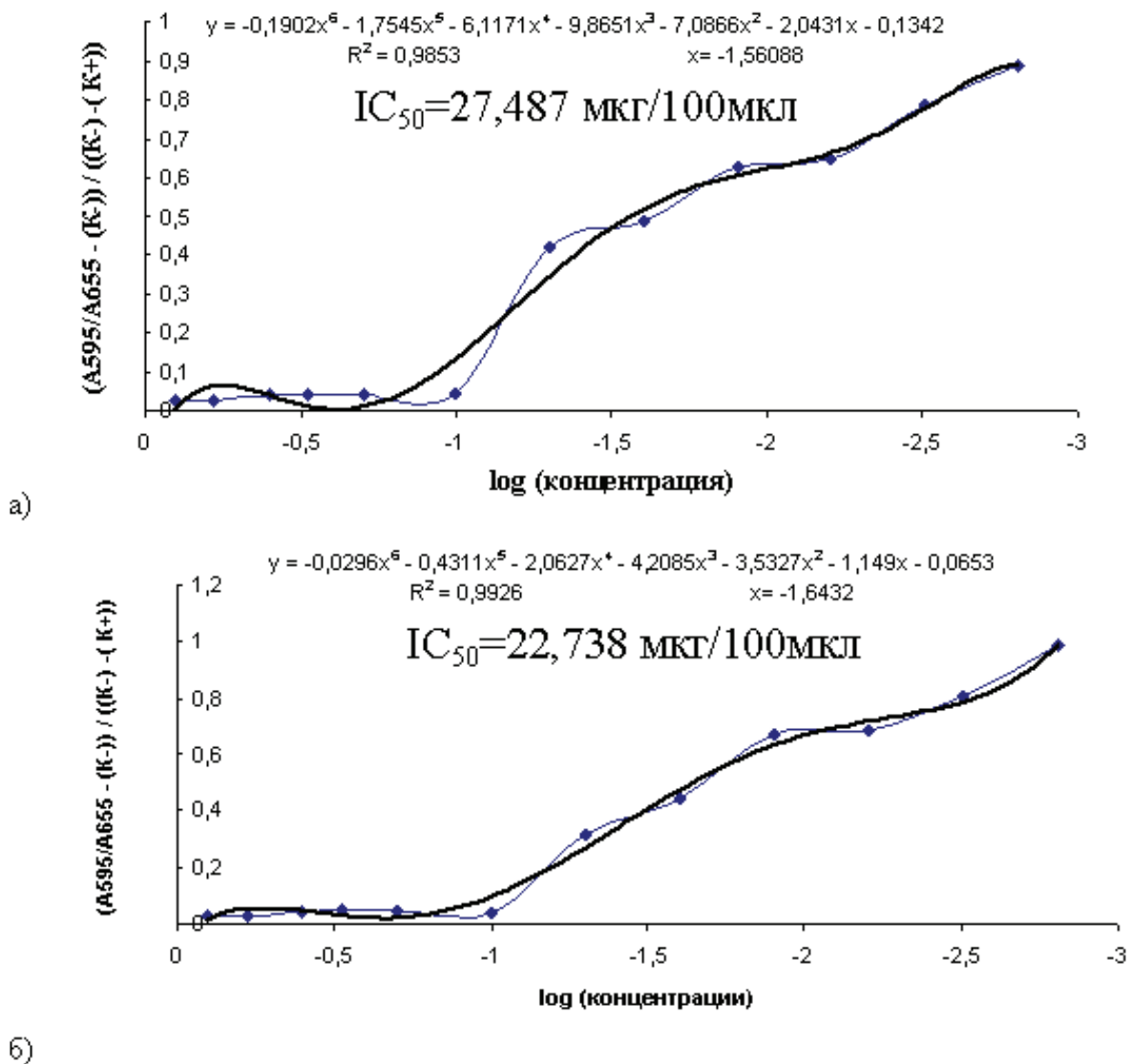


Рис. 4. Результаты МТТ теста для а) немодифицированных и б) модифицированных липосом на основе липопептидов

Таким образом, в результате работы предложен универсальный подход к созданию адресных липосом, который позволяет модифицировать в том числе уже скон-

струированные частицы, при этом цитотоксичность агрегатов не изменяется.

#### Литература:

1. Omid, C. Farokhzad, Robert Langer, Impact of Nanotechnology on Drug Delivery // ACSNANO, 2009, 16–20

2. Ryo Suzuki, Daiki Omata, Yusuke Oda, Johan Unga, Yoichi Negishi, Kazuo Maruyama. Cancer therapy with nanotechnology-based drug delivery systems: applications and challenges of liposome technologies for advanced cancer therapy // *Nanomaterials in Pharmacology*, 2016, 457–482
3. Muller C, Schibli R. Folic acid conjugates for nuclear imaging of folate receptor-positive cancer // *Journal of Nuclear Medicine*, 2011, 52 (1), 1–4
4. Колоскова, О. О., Буданова У. А., Себякин Ю. Л. Дизайн многофункциональных фолат-нацеленных систем доставки лекарственных препаратов // *Биофармацевтический журнал* № 4, Т. 3, С.14–20, 2011

## Автоматический анализатор для мониторинга фтористого водорода в газовой среде

Муминова Наргиза Исатуллаевна, кандидат химических наук, старший преподаватель;  
Мурадова Дилафруз Кадировна, преподаватель;  
Юнусова Зеби, кандидат химических наук, доцент  
Джизакский государственный педагогический институт (Узбекистан)

*Разработан сенсор и анализатор для непрерывного автоматического контроля содержания фтористого водорода в газовых средах. Анализатор ГА-НF может работать в непрерывном режиме в различных системах контроля фтористого водорода, а также в сочетании с устройствами сигнализации при индикации утечки НF.*

Производство минеральных удобрений, алюминия, урана, бериллия, марганца и др. неизбежно сопряжено с загрязнениями воздушной среды фтороводородом, предельно допустимая концентрация (ПДК) которого в рабочей зоне составляет 0,05 мг/м<sup>3</sup> или 0,06 ррт.

В связи с этим большую актуальность приобретают исследования, направленные на создание новых высокоэффективных и совершенствование существующих методов и средств определения фтористого водорода в газовых средах. В настоящее время в анализе горючих компонентов воздуха широкое распространение получают полупроводниковые методы [1–3]. Основным преимуществом подобных методов и созданных на их основе приборов является простота эксплуатации, портативность, значительный ресурс работы, высокая точность и быстродействие, что позволяет легко автоматизировать технологический процесс и способствовать сбору и накоплению аналитической информации.

С учетом специфики решаемой задачи нами разработан автоматический газоанализатор фтористого водорода на основе базового полупроводникового сенсора. Электропитание прибора осуществляется либо от сети переменного тока напряжения 220В, либо от встроенного блока питания постоянного тока напряжением 12 В.

Газоанализатор ГА-НF состоит из двух блоков, размещенных внутри одного корпуса. В блоке (1) смонтированы аналого-цифровой преобразователь, стабилизатор напряжения и усилитель сигнала сенсора.

В блок (2) ГА-НF смонтированы микрокомпрессор для отбора пробы, газа, камера для установки сенсора и сенсор. На лицевой панели прибора находится цифровое отсчетное устройство. Прибор оснащен сигнали-

зацией тревоги — звуковой сигнал или мигающий свет в случае повышения содержания паров фтористого водорода выше заданного.

Сигнал сенсора поступает на дифференциальный усилитель, который может усиливать сигнал сенсора от 20 до 200 раз.

Далее усиленный сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), работающий по принципу двойного интегрирования. Дешифратор АЦП выдает семисегментный код, который поступает на светодиодные индикаторы. Шкала прибора трехзарядная.

Усиленный сигнал сенсора поступает на сравнивающее устройство (компаратор), которое при достижении содержания углеводородов выше заданного значения допускает генератор, работа которого индуцируется светодиодом. Были проведены испытания анализатора с целью определения основных и дополнительных метрологических характеристик.

Метрологические характеристики анализатора изучали с помощью стандартных газовых смесей фтористого водорода в воздухе. Испытаниям подвергали 3–5 газоанализатор ГА — НF с диапазоном измерений, соответственно, 0–0,025% об. Во всех случаях условия, порядок, методы проведения и количество испытаний соответствовали ГОСТу 13320–81. Определение диапазона измерений и основной приведенной погрешности приборов проводились при температуре окружающей среды 20±1°C; давление окружающей среды 600–900 мм. рт. ст.; относительная влажность 30–80%.

В качестве газовых смесей (ГС) использовали смесь фтористого водорода в воздухе с концентрацией от 0,0012 до 0,025% об. Проверка диапазона измерений, опреде-

ления основной абсолютной и приведенной погрешностей газоанализатора ГА — HF в интервале концентрации 0—0,025% об проводилась подачей на вход анализатора ГС в определенной последовательности.

Все опыты повторялись не менее пяти раз и их средние результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Результаты проверки диапазона измерений газоанализатора (n-5, P-0,95)

Введено фтористого водорода, % об	Найдено фтористого водорода, % об.		
	$x \pm Dx$	S	Sr*102
0,0012	0,0012±0,01	0,004	2,6
0,0025	0,0024±0,01	0,006	2,3
0,0038	0,0036±0,01	0,008	2,2
0,0052	0,0053±0,01	0,006	1,2
0,0064	0,0062±0,02	0,012	2,1
0,0072	0,0070±0,01	0,009	1,3
0,0104	0,0107±0,02	0,013	1,2
0,0133	0,0135±0,02	0,017	1,4
0,0147	0,0143±0,03	0,021	1,3
0,0168	0,0163±0,03	0,024	1,4
0,0196	0,0190±0,02	0,014	0,9
0,0221	0,0222±0,02	0,016	0,9
0,0239	0,0233±0,02	0,014	0,7
0,0250	0,0247±0,02	0,016	0,6

Таблица 2. Результаты определения основной абсолютной и приведенной погрешностей газоанализатора ГА — HF в интервале концентрации 0—0,025% об.

Найденное значение D% об. и ;пр.%	Содержание HF в смеси, % об.					Допуск. по ТУ
	0,00	0,0025	0,0052	0,0168	0,025	
Основ. абс. погр. (Δ)	0,00	0,01	0,01	0,05	0,03	±0,25, % об
Основ. привед. погр. ( )	0,00	0,4	0,4	2,0	1,2	±5,0%
Основ. абс. погр. (Δ)	0,00	0,01	0,02	0,04	0,04	±0,25, % об
Основ. привед. погр. ( )	0,00	0,4	0,8	1,6	1,6	±5,0%
Основ. абс. погр. (Δ)	0,00	0,02	0,03	0,03	0,04	±0,25, % об
Основ. привед. погр. ( )	0,00	0,8	1,2	1,2	1,6	±5,0%

Основная абсолютная погрешность газоанализатора (D) в точках проверки определялась по формуле:

$$D = A_1 - A_0 \quad (1)$$

где  $A_1$  — показания прибора.  $A_0$  — действительное содержание измеряемого компонента в поверочной газовой смеси.

Расчет значения основной приведенной погрешности проводился по формуле:

$$g_{пр} = (A_{ij} - A_{oj}) * 100 / C_k - C_n \quad (2)$$

где  $A_{ij}$  — показания прибора на содержание измеряемого в j-ГС j-той точки.  $A_{oj}$  — содержание измеряемого компонента в j-той ГС.  $C_n$  — начальный предел измерения концентрации определяемого компонента газовых сред, мг/м<sup>3</sup>.  $C_k$  — конечный предел измерения концентрации определяемого компонента газовых сред, мг/м<sup>3</sup>.

Вариации (B) показаний газоанализаторов определялись по формуле:

$$B = A_{max} - A_{min} \quad (3),$$

где  $A_{max}$  ( $A_{min}$ ) — показание (содержание компонента, определяемое по выходному сигналу) при подходе к точке проверки со стороны больших или меньших содержаний. Газоанализатор считают выдержавшим испытание, если в каждой из точек поверки соблюдаются неравенство:  $B < Bg$  ( $Bg$  — допустимая вариация сигнала).

Таким образом, найденные значения погрешностей и вариации аналитического сигнала не превышают допустимые пределы необходимых параметров, установленных при нормальных условиях работы прибора согласно ГОСТу 13320—81.

Зависимость выходного сигнала анализатора от температуры окружающей среды изучали в интервале температур от 0 до +50 °С. Результаты опытов представлены в таблицах 4 и 5. Влияние температуры газовой среды для каждой точки на дополнительную погрешность ( $i_{доп}$ ) газоанализатора определяли по формуле:

$$i_{доп} = i_{осн} - i_{норм} \quad (4)$$

где  $i_{\text{норм}}$  — основная погрешность по градуировочной характеристике;

$i_{\text{осн}}$  — основная погрешность газоанализатора для каждого измерения.

Результаты определения дополнительной погрешности газоанализатора, обусловленные изменением тем-

пературы окружающей среды, представлены в таблице 5, из которых следует, что ошибка не превышает 4,0%. Во всех случаях дополнительная погрешность ( $i_{\text{доп}}$ ) намного меньше, чем основная погрешность самого прибора.

**Таблица 3. Результаты по установлению зависимости сигнала газоанализатора ГА-НФ от температуры газовой среды (ГС № 3–0,0072% об НФ в воздухе; ГС № 4–0,0104% об НФ в воздухе; ГС № 5–0,0168% об НФ в воздухе,  $n=5$ ,  $P=0,95$ )**

Температура, °C	Найдено фтористого водорода, % об					
	ГС № 3		ГС № 4		ГС № 5	
	$x \pm Dx$	$Sr \cdot 10^2$	$x \pm Dx$	$Sr \cdot 10^2$	$x \pm Dx$	$Sr \cdot 10^2$
+20	0,0070±0,01	1,1	0,0107±0,01	0,7	0,0163±0,02	0,9
0	0,0069±0,01	1,3	0,0105±0,02	1,5	0,0161±0,03	1,5
+10	0,0069±0,01	1,2	0,0105±0,02	1,5	0,0162±0,02	0,9
+25	0,0071±0,01	1,0	0,0107±0,02	1,5	0,0164±0,03	1,7
+30	0,0071±0,01	1,1	0,0106±0,01	0,7	0,0166±0,03	1,4
+40	0,0069±0,01	1,3	0,0107±0,02	1,5	0,0167±0,02	1,0
+50	0,0071±0,01	1,1	0,0106±0,02	1,6	0,0166±0,02	0,9

Известно, что допустимая дополнительная погрешность по ГОСТу 13320–81 на изменение давления по данному классу газоанализаторов не должна превышать основной погрешности. Из полученных результатов (таблица 6.) видно, что газоанализатором ГА-НФ в интервале давления 600–900 мм рт.ст. с допускаемой погрешностью практически можно определить концентрацию фтористого водорода при оптимизированных условиях.

Суммарная дополнительная погрешность, характеризующая совокупность значений погрешностей от влияния различных факторов, определялась по формуле:

$$g_{\text{доп}} = g_{1\text{доп}} + g_{2\text{доп}} + \dots + g_{n\text{доп}} \quad (5)$$

где  $g_{1\text{доп}}$ ,  $g_{2\text{доп}}$ ,  $g_{n\text{доп}}$  — значения дополнительных погрешностей, полученных при изменении влияющих факторов.

Согласно ГОСТу 13320–81, этот показатель не должен превышать удвоенного значения предела допу-

стимой основной погрешности. Суммарная дополнительная погрешность газоанализатора ГА-НФ за счет изменения температуры, влажности и давления газовой среды, составила не более 1,5%.

Таким образом, можно заключить, что разработанный сенсор и анализатор вполне пригодны для непрерывного автоматического контроля содержания фтористого водорода в газовых средах. Анализатор ГА-НФ может работать в непрерывном режиме в различных системах контроля фтористого водорода, а также в сочетании с устройствами сигнализации при индикации утечки НФ. Разработанный анализатор по точности и воспроизводимости не уступает известным приборам контроля фтористого водорода, сохранив следующие характеристики: экспрессность, портативность, простоту в эксплуатации и изготовлении.

#### Литература:

1. Абдурахманов, Э. Разработка термokatалитических методов для создания высокоселективных автоматических анализаторов токсичных и взрывоопасных газовых смесей // Автореф. докт. дис. Ташкент, 2004, 42 с.
2. Абдурахманов, Э., Абдурахманов Б. М., Нормурадов З. Н., Геворгян А. М. Селективность некоторых оксидов и сульфидов в процессе термokatалитического мониторинга сероводорода // Журн. Химическая промышленность. Санкт-Петербург, Т. 85. — № 6, 2008. — С.314–319.
3. Абдурахманов, Э., Абдурахманов Б. М., Нормурадов З. Н., Геворгян А. М. Сенсор для контроля микроконцентрации сероводорода // Экологические системы и приборы № 5 2009. — с. 10–13.

## Применение радиоактивного изотопа фосфора ( $P^{32}$ ) в агрохимических исследованиях

Сапаров Акмал Абдурахмонович, преподаватель;

Алимкулов Сирожиддин Олимжон угли, студент;

Рустамов Абдусамат Шукруллаевич, студент;

Маматмуродова Фарида Барот кизи, студент

Джизакский государственный педагогический институт (Узбекистан)

Метод меченых атомов получил широкое распространение почти во всех отраслях науки. Меченые атомы содержат изотопы, которые по своим свойствам отличаются от других изотопов данного элемента. Как известно, по химическим свойствам изотопы одного и того же элемента не отличаются друг от друга, но зато радиоактивный изотоп сигнализирует о своем местонахождении радиоактивным излучением. Это позволяет проследить за определенным химическим веществом, установить последовательность этапов его химических превращений, продолжительность их во времени, зависимость от условий и т.д. Их добавляют к химическому соединению или смеси, где находится исследуемый элемент; поведение меченых атомов характеризует поведение элемента в исследуемом процессе. В качестве меченых атомов используют как стабильные изотопы, так и радиоактивные изотопы. Для регистрации радиоактивных меченых атомов применяют счетчики, ионизационные камеры; нерадиоактивные изотопы регистрируют с помощью масс-спектрографов.

Важное место занимают радиоактивные изотопы в биологических исследованиях и особенно в агрономической и биологической химии. Преимущества этого метода в исследованиях различных проблем использования удобрений прежде всего связаны с возможностью непосредственного качественного определения элементов питания, усвоенных растениями из удобрений и почвы.

Радиоактивный изотоп фосфора ( $P^{32}$ ) был первым искусственным радиоизотопом, использованным в агрохимических опытах. Работы с радиоактивным фосфором и до последнего времени занимают одно из ведущих мест в агрохимических исследованиях с применением метода меченых атомов. Это объясняется не только тем, что получение значительных количеств  $P^{32}$  при ядерных реакциях технически осуществляется значительно легче чем для изотопов других элементов, и что радиоактивный фосфор имеет весьма удобный для проведения достаточно длительных экспериментов период полураспада (14,3 дня), но и большим стремлением к разрешению важных практических вопросов фосфатного питания растений и применения фосфорных удобрений.

Использование меченых фосфорных удобрений привело к пересмотру ряда основных представлений о фосфатном питании растений. В частности, ранее считалось, что фосфаты почвы одинаково используются растениями при внесении удобрений и без них. В экспериментах с радиоактивным фосфором было выяснено, что в зависи-

мости от условий опыта при применении фосфорных удобрений поступление фосфора в растения из почвенных фосфатов в одних случаях уменьшается, в других — усиливается.

С помощью радиоактивного изотопа фосфора уточнен коэффициент использования фосфора удобрений. Прежние представления о сравнительно низком коэффициенте использования растениями фосфатов удобрений оказались неверными.

Использование меченых фосфатов позволило существенно изменить и дополнить методику сравнительного испытания различных форм фосфорных удобрений. В этих целях предложено проводить опыты по методу избирательного поглощения фосфатов (А.В. Соколов).

Этот метод заключается в том, что дозу вносимых в вегетационный сосуд удобрений делят на две части, первую из которых дают в виде одной формы фосфорных удобрений, меченных  $P^{32}$ , а вторую — в виде другой, немеченой формы. Таким образом, одному и тому же растению как бы предоставляется право выбора желательной для него формы фосфорной кислоты. В том случае, если одна из двух форм фосфатов менее, а другая более подвижна, последняя в большей мере переходит в раствор и может быть в большей степени усвоена корнями растений.

В схему опыта включают вариант с внесением полной дозы фосфора в виде меченого удобрения, на основании данных этого варианта устанавливают удельную активность фосфатов в растениях. Если в опыте меченой формой является стандартное удобрение, то с ним можно сравнить ряд других форм фосфатов, находящихся в немеченой форме.

Указанная методика применима в песчаных культурах. При изучении разных форм фосфатов в условиях почвенных культур желательна постановка двойного опыта, когда в одном варианте дают меченую стандартную форму и немеченую изучаемую, а в другом варианте — немеченую стандартную и меченую изучаемую.

Если удельная активность фосфора растений при внесении двух форм фосфатов равна половине удельной активности фосфора варианта с полной дозой меченой фосфата, то в этих условиях поступление  $P_2O_5$  из обоих фосфатов (стандартного и изучаемого) идет одинаково. Если же удельная активность фосфора растения при совместном внесении двух форм фосфатов будет меньше половины удельной активности фосфора в варианте опыта с полной дозой меченого фосфата, то более интенсивное



поглощение фосфора происходило из немеченой формы фосфата. При величине удельной активности фосфора растений более половины таковой в варианте с полной дозой меченого фосфата растения лучше усваивают фосфор меченой формы удобрения.

Метод меченых атомов может быть также использован для оценки усвояемости фосфатов почвы. Для этого в почву вносят небольшое количество фосфора, обладающего большой удельной активностью. После тщательного перемешивания почвы и меченого фосфата происходит взаимодействие между растворимыми фосфатами фосфорнокислой соли и легкоподвижными (усвояемыми) фосфатами почвы. Предполагается, что при установлении через небольшой промежуток времени постоянного соотношения между радиоактивным и нерадиоактивным фосфором поступление этих изотопов в растения будет пропорционально их содержанию в почве.

На основе этих допущений А. В. Соколов предложил формулу расчета количества усвояемых фосфатов в почве:

$$P_{\text{запас}} = \frac{P_{\text{растение}} \cdot 100}{K}$$

где  $P_{\text{запас}}$  — количество усвояемых фосфатов в почве;  
 $P_{\text{растение}}$  — общее количество фосфора, усвоенного растением;

$K$  — процент использования растениями внесенного в почву радиоактивного фосфора.

С помощью радиоактивного фосфора было достигнуто дальнейшее совершенствование изотопной методики в ее приложении к сравнительной оценке разных сроков и способов внесения удобрений. Показано, что путем небольшого усложнения схемы опыта можно подразделить фосфор, содержащийся в растениях в ту или иную фазу развития, на три фракции: фосфор, усвоенный из удобрения, внесенного в рядки или в подкормку; фосфор, усвоенный из основного удобрения, и фосфор, усвоенный из почвы.

Применение радиоизотопного метода в значительной степени упростило наблюдения за темпами поступления в растения питательных веществ из удобрений. При этом было выяснено, что соотношение между фосфатами почвы и удобрений, усвоенными растениями в течение вегетационного периода, значительно изменяется. Оно неодинаково для различных сельскохозяйственных культур и зависит от формы удобрений, доз, сроков и способов их внесения. Например, в одном из опытов с пшеницей, где в качестве источника фосфора был использован меченый  $P^{32}$  моноаммонийфосфат, в двухнедельном возрасте растения усвоили из почвы пятую часть от общего фосфора; еще через две недели доля фосфора почвы увеличилась до 37%, а в возрасте шести недель уже две трети общего содержания фосфора в растениях было представлено фосфатами, усвоенными из почвы. На примере этого опыта можно также проследить роль фосфорных удобрений в первый период жизни растений.

Изотопный метод помог установить, как влияет размер гранул фосфорных удобрений и частота их расположения

в почве на ход усвоения фосфора растениями. Оказалось, что растения в начале вегетации очень чувствительны к частоте расположения гранул и большее количество фосфора усваивается из гранул меньшего размера. В последующие периоды вегетации более активное поступление фосфатов наблюдалось из гранул более крупного диаметра (до 4 мм), что объясняется меньшим связыванием почвой фосфора более крупных гранул.

В опытах, где изучали влияние способов внесения меченого суперфосфата на усвоение растениями фосфора, было показано, что лучшее усвоение фосфатов наблюдалось при глубокой заделке удобрения, оно особенно усиливалось в более поздние периоды вегетации, когда растения образовывали мощную корневую систему, проникающую в глубь почвы. При совместном внесении суперфосфата и извести было установлено, что усвоение фосфора зависит от кислотности почвы и содержания подвижного алюминия. На окультуренных почвах со слабо выраженной кислотностью при совместном внесении извести и меченого суперфосфата поступление фосфора в растения было меньшим, чем в варианте без известкования, в то время как на сильнокислых почвах с высоким содержанием подвижного алюминия известкование стимулировало усвоение растениями фосфора удобрения.

Весьма плодотворным оказалось использование метода меченых атомов при изучении некорневого питания растений фосфором через листья. С помощью  $P^{32}$  удалось проследить за процессами поступления фосфора в ткани листа, скоростью вовлечения его в реакции биохимического обмена в растении и передвижения из листьев в другие органы растения.

Использование радиоактивного изотопа фосфора в почвенно — агрохимических исследованиях позволило подойти к более ясному пониманию процессов адсорбционного и химического связывания фосфатов в разных типах почв.

В многочисленных опытах с применением изотопа  $P^{32}$  установлена высокая скорость передвижения фосфатов из внешней среды в растение и внутри его. Уже через несколько минут после помещения проростков в питательный раствор, содержащий  $P^{32}$ , радиоактивный фосфор обнаруживали в верхних листьях растений. Очень небольшое время было необходимо и для поступления фосфора в надземные части растений при контакте корневой системы с меченым суперфосфатом в почве.

С помощью радиоизотопа фосфора была показана неравномерность распределения фосфора между различными тканями и органами растений. Наибольшее количество фосфора поступало в условиях опытов в активно растущие клетки меристематической ткани корней и листьев. Содержание  $P^{32}$  в этих новообразованиях было в сотни и даже тысячи раз большим, чем в тех местах, где деление клеток уже прекратилось.

Во время вегетации наиболее обильно снабжаются фосфором молодые листья растений. При недостатке



фосфатов для питания растений наблюдается активное перераспределение фосфатов внутри растительного организма, перемещение фосфора из старых по возрасту листьев к молодым, а в период созревания — к репродуктивным органам.

Ученые внесли большой вклад в изучение действия фосфорных удобрений с помощью метода меченых атомов. Несомненно, что и в дальнейшем использование изотопов поможет решить многие теоретические и практические проблемы современной агрономической химии.

#### Литература:

1. Клечковский, В. М. Изотопы в современной агрохимии. М., 1957 г.
2. Соколов, А. В., Сердобольский И. П. Применение изотопа фосфора в агрохимических исследованиях. — М., 1954 г.
3. Kemal, T. Saracoglu, Ahmet H. Acar, Tamer Kuzucuoglu, Sezer Yakupoglu White phosphorus burn (англ.) // The Lancet. — 2010. — Vol. 376, no. 9734. — P. 68.
4. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
5. [www.ngpedia.ru/id055114p1.html](http://www.ngpedia.ru/id055114p1.html)

# ИНФОРМАТИКА

## Проблемы выбора языка программирования в школьном курсе информатики

Бобров Александр Николаевич, старший преподаватель  
Институт развития образования Сахалинской области

Мнения о том, какой язык программирования лучше преподавать в школе, разнятся: от того, что программирование изучать не нужно, а следует просто поднимать компьютерную грамотность и осваивать офисные программы (как Западе), до того, что нужно изучать операционные системы и несколько языков программирования с различными парадигмами. Это крайние случаи, но золотую середину найти непросто. В первую очередь, нужно определить цель. Научить школьников логически и алгоритмически мыслить? Познакомить с компьютерами на бытовом уровне, чтобы школьники умели пользоваться Интернетом, электронной почтой, текстовым графическим редакторами? Заложить базовые знания, необходимые для будущих инженеров, математиков, физиков и специалистов по информационным технологиям? А может, нужно каждого школьника познакомить с программированием как явлением, чтобы он представлял потенциал компьютерных систем? Много ли школьников станет программистами? Немного. Безусловно, в науке о программировании есть фундаментальная составляющая, но определить её непросто. Некоторые считают, что не так важно, какой язык программирования взять: на уроках информатики нужно учить не языку программирования, а методам программирования и системному подходу решения задач. Нужно развивать алгоритмическое мышление и на примерах знакомиться с принципами построения современных компьютерных систем.

Неужели действительно не так важно, какая среда и какой конкретный язык программирования будет использован для практических занятий? У каждого преподавателя есть свой список требований к учебному языку программирования. Набор требований может быть, например, таким: простой, интуитивный синтаксис, наличие высокоуровневых инструментов для обнаружения и недопущения ошибок и для отладки программ, наличие качественной документации с примерами, наличие дружественной среды разработки, кроссплатформенность (наличие версий под различные платформы), ...

С одной стороны, школьная программа не предполагает подготовку специалистов и базовые понятия алгоритми-

зации можно традиционно давать на Паскале. Для школы нет особой разницы, какой именно язык учить, база у всех языков идентична, надстройку над базой дают уже в профильных учебных заведениях. Ученику достаточно знать набор базовых понятий бинарной логики, условий, циклов и т.п. а они присутствуют практически в любом языке программирования. Проблема кроется в том, что в школе стоит задача ознакомить с тем, что такое программирование и дать примерное представление о том, как это делается.

С другой стороны ИТ-технологии развиваются очень быстро, появляются новые платформы, языки программирования (Java, C#, Python...), технологии. Современному программисту приходится постоянно «держать руку на пульсе». Именно поэтому программу обучения школьников программированию нужно тщательно продумывать со взглядом в будущее.

Подходы к программированию в частности и информационным технологиям, в общем, постоянно изменяются, но что-то остается неизменным. Эту базу необходимо передавать учащимся, в первую очередь, чтобы школьники учились самостоятельно искать нужный материал и изучать его. Нужно учить базовые вещи, которые будут востребованы всегда, независимо от технологий.

В программировании есть несколько парадигм, подходов к созданию программ: модульная парадигма, процедурные парадигма, объектно-ориентированная парадигма. В школах обычно преподают процедурный подход к программированию, в то время как ООП (объектно-ориентированное программирование) — очень редко или никогда.

Выбор языка и системы программирования имеет принципиальное значение, т.к. от этого во многом зависит методика изучения курса, содержание и последовательность предъявления учебного материала, система учебных заданий и, главное, вся дальнейшая работа по овладению программированием для решения реальных практических задач на компьютере. От этого выбора напрямую зависит доступность восприятия, изучения и овладения учащимся приемами и методами программирования.

Какие из современных используемых на практике языков годятся на роль первого языка? Наверное, это им-

перативный, строго типизированный, со статической типизацией и строгой семантикой язык. Turbo-Pascal всему этому соответствует, но он уже почти мертв.

В последнее время наметилась явная тенденция перехода обучения от алгоритмических к объектно-ориентированным языкам с использованием визуальных систем программирования (Delphi, Visual Basic, Visual C++ и т.д.). Прежде всего, программирование подразумевает написание программы, а что для учащегося означает «программа»? Ответ очевиден, программа — это то, с чем он работает на компьютере каждый день, например, текстовый процессор или Интернет-обозреватель. Т. е. для ученика программа — это приложение с графическим оконно-кнопочным интерфейсом. Значит, программа, которую он будет составлять должна быть такой же. И здесь визуальные среды программирования дают широкие возможности ученику в реализации такого приложения. Старый добрый Turbo-Pascal тоже хорош для изучения принципов программирования, но его терминальный интерфейс плохо воспринимается современными школьниками.

Так как объектно-ориентированное программирование (ООП) — это основа всех современных языков программирования, то его необходимо начинать изучать ещё в школе, чтобы учащиеся, придя в высшие учебные заведения, уже имели правильное представление о программировании. Такое утверждение очевидно не является бесспорным, так как для большинства учащихся их дальнейшее образование не связано с разработкой IT технологий.

Первый язык программирования должен быть требовательным к ученику. Необходимо, чтобы ученик имел чёткое представление о том, что его программа делает на каждом шаге, и уметь записывать алгоритмы на строгом формальном языке, без лишних “вольностей”. Первый язык должен быть строго типизированным, ибо смешение целых чисел, вещественных чисел и текстовых переменных приводит у начинающих программистов к неправильному представлению о методах хранения данных в памяти компьютера. Чем больше сообщений об ошибках ученики увидят от компилятора, и чем больше из этих сообщений они поймут, тем больше фундаментальных знаний о программировании они получат. Паскаль — неплохой язык в этом смысле. Но этот язык редко применяется на практике, и специалист по Паскалю оказывается мало востребованным на рынке труда.

Вероятно, в этом заключается основная “неудовлетворенность” учащихся, которые решили совершенствоваться в программировании. Для реальной работы им приходится учить более популярный язык (Java, C/C++, PHP, Python и т.д.). Однако использование Си в качестве начального языка программирования имеет ряд проблем: в нём много отпугивающих конструкций даже для интересующихся программированием учащихся. С другой стороны, никто не заставляет учителей показывать все глубины Си. С ним можно работать на том же уровне, что и с Паскалем, используя соответствующие конструкции.

Одним из лучших языков программирования для старта считался и считается Pascal, так как он был придуман специально для обучения основам программирования. Но есть «но»: язык устарел, его никто из компаний не использует в коммерческих целях. Можно, конечно, начать изучение программирования с Pascal, но после основ всем придётся учить новый язык, с другим синтаксисом, с новыми правилами. Паскаль даёт свои плюсы в обучении и, возможно, даже стоит самые основные понятия показать на Паскале. Но нет смысла обучать всему «от и до» на языке Pascal и его библиотеки. Лучше это время потратить на изучение языков и технологий, которые сейчас используются и будут использоваться ближайшие 10–20 лет.

Паскаль — это тот самый инструмент (более упрощённый, чем C), который научит, как вообще нужно «идеологически» подходить к программированию. Почему сначала нужно объявлять типы переменных, что операция присваивания значения и логическое равенство — это разные вещи. Когда делаешь элементарные ошибки в Паскале, то программа не будет работать. Это чисто обучающая база. Существуют альтернативы для Turbo Pascal, которые можно использовать в учебном процессе.

FreePascal — бесплатный компилятор Паскаля, отвечающий современным требованиям и обладающий средой разработки один в один похожей на Turbo Pascal, что делает возможным использования большей части методической литературы, написанной для последнего. Работает под Windows и Linux. Рекомендуются как самый простой способ замены Turbo Pascal. Отсутствуют проблемы с лицензией.

PascalABC — удобная среда разработки, работающая под Windows. С 2007 года разрабатывается версия PascalABC.net — та же среда, но написанная с использованием технологии.NET. Система создавалась на факультете математики, механики и компьютерных наук ЮФУ как учебная среда программирования. С лицензией проблем нет.

Lazarus — среда разработки, использующая компилятор FreePascal, но при этом поддерживающая разработку современных оконных приложений. Позиционируется как, совместимая с Delphi, но учебный материал, написанный для последней, применим не всегда. Интерфейс более сложен по сравнению с IDE FreePascal. Рекомендуются использовать при достаточной квалификации преподавателя.

Использование Turbo/Free Pascal в процессе обучения программированию — это почти идеальный вариант для обучения алгоритмам, без понимания которых дальше лучше не программировать (и не имеет значения дальнейшая специализация — будет ли человек работать на ассемблере под микроконтроллеры, или посвятит себя разработке софта на языках высокого уровня с применением современных парадигм).

Выбор современных систем визуального проектирования (Delphi, Lazarus, Visual Studio и т.д.) на начальном этапе обучения программирования вызывает ряд проблем. При создании проекта система автоматически ге-

нерирует большой объем кода, связанный с работой визуальных компонентов и не относящийся к решению поставленной задачи. Всё сразу объектно-ориентированное, а ученику, для начала бы, разобраться с циклами, массивами, условными операторами...

На сегодняшний день наиболее удачным выбором, скорее всего, был бы Питон (Python) + приличная IDE (Eclipse или PyCharm), с тестированием приложений во встроенной консоли. Питон был создан более 20 лет назад и по сей день используется и в обучении основам программирования, и в коммерческих целях. На нем можно разрабатывать серверные и клиентские программы, сайты и веб сервисы, мобильные приложения и программировать роботов. Самое главное, что на рынке труда Python-программисты получают широкую востребованность, и она будет расти еще много лет, ведь язык Python используют крупные корпорации в своих коммерческих проектах.

Python — это полноценный язык программирования высокого уровня. Он поддерживает целый ряд парадигм: модульная парадигма, процедурная парадигма, объектно-ориентированная парадигма, функциональная парадигма. Немаловажно, что Python распространяется свободно на основании лицензии подобной GNU General Public License.

Программа на Питоне зачастую не требует изменений для запуска ее на другой операционной системе. Программы успешно работают как под Linux, так и под Windows. Питон является интерпретируемым языком. Это очень хорошо, так как можно пробовать идеи «на ходу», без ввода ненужного кода. Python характеризуется ясным синтаксисом. Читать код на этом языке программирования достаточно легко, т.к. в нем мало вспомогательных элементов, а правила языка заставляют программистов делать отступы. Понятно, что хорошо оформленный текст с малым количеством отвлекающих элементов читать и понимать легче.

Питон относится к языкам с динамической типизацией. В этом случае нагрузка на программиста меньше ввиду того, что теперь не надо самостоятельно следить за типами данных. Иногда это приводит к трудноотлавливаемым ошибкам (это является существенным недостатком на начальном этапе изучения программирования), но в основном достаточно хорошо помогает писать код. Паскаль или Си относятся к языкам с статической типизацией и начинающему программисту самому приходится следить за типами данных.

Питон относится к языкам с практическим отсутствием программной «магии». Исключения составляют только метаклассы, но до них нужно дорасти. А это минимум 2–3 года изучения. Питон обладает большим количеством го-

товых решений и библиотек. Большая часть из них бесплатна.

В ряде школ проводят интересные эксперименты по преподаванию программирования на базе языка Python. Отзывы учителей и школьников очень положительные. За рубежом накоплен большой опыт в преподавании информатики в школах и колледжах с практикой программирования на самых разных языках, в частности и на Python. Конечно переход в школьной информатике на “новый” язык программирования Python связан целым рядом трудностей, в первую очередь отсутствие учебно-методического материала и необходимости самостоятельно изучать особенности языковых конструкций.

Не смотря на то, что в учебниках по информатике есть только один язык программирования Pascal и всё примеры приводятся на нём, наблюдается общая тенденция перехода на Python преподавателей информатики для обучения основам программирования. И всё больше и больше появляется олимпиад, которые предоставляют возможность решать задачи на Python.

Многие преподаватели заявляют, что не важно, какому языку обучать, главное — чтобы ученик разобрался в алгоритмах. Это правда, но только отчасти. Изучение алгоритмистики, умение читать и составлять качественные алгоритмы — это основы основ. Понимая азы программирования, и разбираясь в синтаксисе одного языка, можно разобраться в синтаксисе другого языка. Но есть языки с отличными синтаксисами, собственными конструкциями, которых нет в других языках. В результате может получиться так, что понимание алгоритма есть, а синтаксис без справочника прочитать сложно или невозможно.

Нет необходимости знакомить учащихся со всеми тонкостями и техническими подробностями языка программирования. Необходимые детали он сможет узнать сам, если его научат пользоваться документацией. Гораздо важнее познакомить учащегося с различными парадигмами программирования. Но при этом есть опасность того, что учащиеся столкнутся с большими трудностями в написании программы для решения конкретной задачи. Мнений очень много, и нельзя ничего здесь категорично заявлять.

Важно, чтобы учитель информатики не забывал о главном — что цель не изучить конкретный язык программирования, а развивать алгоритмическое мышление, знакомить с разными стилями мышления и методами, которые применимы при решении различных задач. Одним из вариантов такого подхода является знакомство (без детального изучения) с несколькими языками программирования. Достаточно вместе с классом разобрать несколько простых классических алгоритмических задач.

#### Литература:

1. Лапчик, М.П., Семакин И.Г., Хеннер Е.Г. Методика преподавания информатики: Учебное пособие для студентов педвузов — М.: Издательский центр “Академия”, 2003—624 с.

2. Захарова, И.Г. Информационные технологии в образовании: Учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений — М.: Издательский центр “Академия”, 2005—192 с.
3. Угринович, Н.Д. Информатика и ИКТ. Профильный уровень: учебник для 10 класса / 9-е изд., испр. и доп. — М.: БИНОМ, Лаборатория знаний. 2012. — 295с.
4. Поляков, К. Ю. Информатика. Углубленный уровень: учебник для 10 класса: в 2ч. Ч. 2 — М.: БИНОМ, Лаборатория знаний. 2013. — 304 с.
5. Поляков, К. Ю. Информатика. Углубленный уровень: учебник для 11 класса: в 2ч. Ч. 2 — М.: БИНОМ, Лаборатория знаний. 2013. — 304 с.
6. Авдошин, С.М., Ахметсафина Р.З., Максименкова О.В. Информатика и ИКТУ”Учебно-справочные материалы. М.: СПб.: Просвещение. 2012. —252с.

## Выбор оптимального маршрута грузоперевозок автомобильным транспортом с использованием искусственных нейронных сетей

Киселев Евгений Сергеевич, аспирант;  
Козловский Александр Анатольевич, аспирант  
Тверской государственный университет

*Планирование маршрута грузоперевозок является ключевой задачей логистов любой транспортной компании. Использование нейронных сетей для этого позволяет учитывать неопределенность и неполноту исходной информации. В работе описывается процедура выбора оптимального маршрута на базе модели многослойного перцептрона с использованием модуля STATISTICA Automated Neural Networks (SANN).*

**Ключевые слова:** грузоперевозки, оптимальный маршрут, автомобильный транспорт, нейронные сети, многослойный перцептрон, алгоритм обучения.

Автомобильный транспорт является одной из главных составляющих экономической системы России. Так в октябре 2015 года автомобильным транспортом было перевезено свыше 472 млн. тонн груза. И хотя по суммарному грузообороту (в тонно-километрах) этот вид транспорта всё еще значительно уступает железнодорожному, его роль в экономике очень высока.

Стоит отметить, что перевозка грузов автомобильным транспортом имеет ряд преимуществ, которые и обеспечивают широту его использования:

1. возможность доставки непосредственно до места назначения;
2. возможность отправки груза в любое удобное время (в отличие, например, от авиационного сообщения);
3. возможность выбора оптимального маршрута и его изменения по ходу поездки;
4. большое разнообразие транспортных средств по грузоподъемности и другим техническим характеристикам.

В свою очередь перевозка грузов автомобильным транспортом усложняется особенностями транспортных систем, различием правил дорожного движения, а также спецификой локальных нормативно-правовых актов государств, на территории которых пролегает маршрут движения. Все эти особенности в первую очередь влияют на стоимость грузоперевозки, а значит и на выбор оптимального маршрута.

В работе мы полагаем, что основными факторами, определяющими выбор оптимального маршрута для автомобильного транспорта, являются: стоимость ГСМ (расход топлива, цена ГСМ за литр); класс груза (скоропортящийся, срочный, обычный); габариты груза; стоимость проезда по автодороге; объем груза; время в пути и время простоя; заработная плата водителя ТС; состояние дорожного полотна и т.п.

Для выявления закономерностей между стоимостью перевозки и факторами, влияющими на нее, мы будем использовать искусственные нейронные сети. Эффективность подобного подхода объясняется в первую очередь свойствами, присущими таким сетям, а именно [2]:

- способность к обучению;
- способность к выявлению скрытых закономерностей;
- возможность моделирования на персональных компьютерах;
- устойчивость к неполноте входной информации и помехам.

Фактически искусственные нейронные сети созданы по образу и подобию биологического прототипа. Так каждая искусственная нейронная сеть представляет собой систему соединенных и взаимодействующих между собой простых искусственных нейронов. Каждый такой нейрон получает на вход некоторое множество сигналов  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ . Каждый такой сигнал, в свою



очередь, умножается на соответствующий ему вес  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$  и поступает на суммирующий блок, создавая выход  $S$ .

$$S = \sum_{i=1}^n w_i x_i = WX$$

Затем сигнал  $S$  преобразуется активационной функцией  $F$  и определяет выход нейрона  $OUT$ .

$$OUT = F(S) = F(WX) = F\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i\right)$$

В качестве базовой структуры в своей работе мы выбрали, пожалуй, самую распространенную и универсальную нейронную сеть — многослойный персептрон

(см. рис. 1), структура которого формируется исходя из следующих условий:

1. количество элементов во входном слое определяется по числу факторов, влияющих на стоимость перевозки;
2. выходной слой содержит один элемент, определяющий выбранный маршрут  $M$ .

Вопрос о количестве элементов в скрытом слое будем решать эмпирическим путем, исходя из минимума относительной ошибки прогноза  $E$ .

Выбор оптимального маршрута осуществляется с помощью модуля STATISTICA Automated Neural Networks (SANN), входящего в состав пакета STATISTICA 12, разработанного компанией StatSoft Inc. [2].

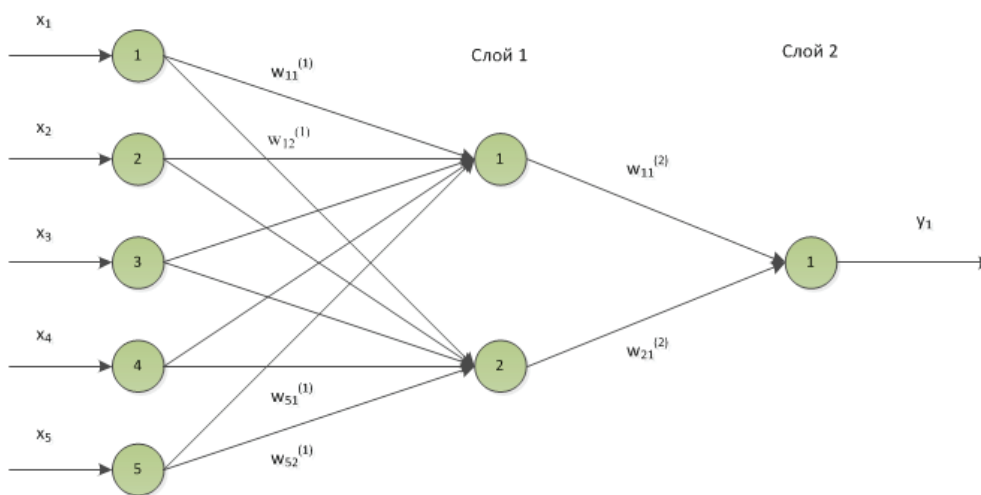


Рис. 1. Многослойный персептрон

Исходные данные представляют собой сведения о совершенных грузоперевозках одной из транспортных компаний города Твери в виде Excel-таблицы.

Размерность обучающей выборки составляет 1250 рейсов, отражающих статистические данные о выполненных грузоперевозках за последние два года (см. рис. 2).

	A	B	C	D	E	F	G
	Пункт отправления	Пункт назначения	Объем груза, м3	Масса груза, т	Класс груза	Стоимость ГСМ, руб	Стоим
1	Тверь	Москва	70	20	обычный	1837	
2	Санкт-Петербург	Екатеринбург	65	17	скоропорта	21873	
3	Москва	Тверь	80	19	обычный	1850	
4	Тверь	Владимир	72	19	срочный	3558	
5	Казань	Нижний Новгород	60	15	обычный	3921	
6	Ржев	Тверь	10	3	обычный	1156	
7	Торжок	Тверь	12	3	скоропорта	693	
8	Тверь	Старица	12	3	обычный	748	
9	Минск	Москва	80	24	скоропорта	7583	
10	Рига	Санкт-Петербург	70	16	обычный	6450	
11	Москва	Рига	76	19	обычный	11232	
12	Челобсары	Москва	60	12	обычный	5329	
13	Великий Новгород	Москва	55	16	скоропорта	6264	
14	Москва	Санкт-Петербург	45	11	скоропорта	6258	

Рис. 2. Исходные статистические данные для обучения нейронной сети



Обучение искусственной нейронной сети представляет собой процесс настройки модели по данным из ретроспективной выборки. Во время обучения на вход нейронной сети подаются входные сигналы в виде вектора, и в зависимости от выхода нейронной сети происходит процесс модификации весовых коэффициентов.

Качество работы нейронной сети будем оценивать по среднеквадратичному отклонению от целевых значений:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^L E^j = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^L (d^j - Y^j)^2$$

где  $E$  — ошибка обучения, а  $d^j$  и  $Y^j$  —  $j$ -е значение желаемого и фактического выходов нейронной сети.

Для модификации матрицы весовых коэффициентов  $W$  будем использовать алгоритм обратного распространения ошибки, состоящий в общем случае из следующих шагов [4]:

ШАГ 1. Инициализировать весовые коэффициенты  $\{w_j\}$  небольшими случайными значениями.

ШАГ 2. Подать на вход персептрона один из входных векторов, которые сеть должна научиться различать, и вычислить выход каждого узла  $Y_i$ .

ШАГ 3. Для всех  $k \in \text{Outputs}$  вычислить

$$\delta_k = -Y_k(1 - Y_k)(d^k - Y_k)$$

Шаг 4. Для каждого узла  $j$  слоя  $l$ , начиная с предпоследнего слоя, вычислить:

$$\delta_j = -Y_j(1 - Y_j) \sum_{k \in \text{Children}(j)} \delta_k w_{jk}$$

Литература:

1. Круглов, В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. — 2-е изд., стереотип. — М.: Горячая линия-Телеком, 2002.
2. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных / Под редакцией В. П. Боровикова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Горячая линия-Телеком, 2008.
3. Уоссермен, Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. Пер. с англ. Ю. А. Зуева, В. А. Точенова. — М.: Мир, 1992.
4. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд., пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.

Шаг 5. Модифицировать веса в соответствии с формулой

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \mu \delta_j x_{ij}$$

где  $\mu > 0$  — коэффициент скорости обучения,  $t$  — номер итерации.

ШАГ 6. Цикл с шага 2, не наступит условие выхода.

Процесс обучения будем считать законченным по истечении определенного числа шагов или, если ошибка  $E$  для всех входных сигналов не будет превышать заданного малого числа  $\varepsilon > 0$ .

В своей работе для обучения мы также использовали адаптивную скорость обучения — так в начале обучения коэффициент скорости обучения на первой итерации составлял 0,1, а в конце обучения — 0,01.

Для различных моделей многослойного персептрона удалось добиться уровня ошибки определения оптимального маршрута от 4% до 7%. Наилучшие результаты показал многослойный персептрон с линейной функцией активации, адаптивной скоростью обучения и 5 нейронами в скрытом слое. Дальнейший рост числа нейронов в скрытом слое не привел к ощутимым улучшениям в работе представленной модели.

Стоит также отметить, что в связи с сезонностью, имеющей место на рынке автоперевозок, представленная математическая модель требует периодической адаптации, сопровождающейся процессом повторного обучения искусственной нейронной сети.

Полученные результаты нашли применение в одной из транспортных компаний города Твери.

## Особенности информационной системы оценки бизнес-планов внедрения результатов выпускных квалификационных работ

Козлов Вячеслав Васильевич, кандидат технических наук, доцент, декан;  
Штейнберг Александр Михайлович, кандидат экономических наук, доцент;  
Соколова Марина Сергеевна, студент  
Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Как правило, выпускные квалификационные работы (ВКР) бакалавров и магистров по техническим специальностям включают экономический раздел. В этом разделе должны

быть проанализированы возможности, условия и предполагаемые эффекты от реального применения полученных результатов в конкурентных условиях рыночной экономики.

В настоящей работе описывается программный комплекс (ПК), который может служить инструментом для разработки указанного раздела ВКР и позволяет рассчитать и наглядно представить динамику показателей бизнес-плана (инвестиционного проекта) коммерческого использования результатов, полученных будущим бакалавром или магистром.

При работе с созданной нами системой по заполняемым пользователем типовым формам рассчитываются критерии эффективности бизнес-плана, обеспечивается выдача документации — таблиц и графиков, отражающих динамику экономических показателей проекта.

Потребность в такой системе обусловлена тем, что распространенные программные инструменты для разработки и оценки бизнес-планов (такие как COMFAR III Expert, Plan Business Intelligent, ALTInvest, Project Expert, Бизнес План PL v3.6.0) при всех своих достоинствах весьма громоздки, требуют занесения большого количества детальной информации о бизнес-проекте и его экономическом окружении и неудобны для применения в студенческих выпускных работах (естественно, что они ориентированы на профессиональную и трудоемкую разработку бизнес-плана с учетом множества нюансов).

Например, «COMFAR III Expert» — предоставляет возможность составить профессиональный бизнес-план для внешнего или внутреннего использования, но требует глубоких базовых знаний в области экономики. Кроме того, в этой системе отсутствует возможность учитывать российское налоговое законодательство [3].

Простой и понятный интерфейс программы «Plan Business Intelligent 2014» позволяет быстро и легко разобраться во всех настройках и начать работу любому пользователю ПК. Работа с самой программой не требует углубленных знаний, и пользователь без труда может составить все необходимые рабочие документы, но все возможности можно по достоинству оценить только после покупки полного пакета программы [4].

Основное преимущество программных продуктов ALTInvest заключается в открытости алгоритма и методики расчетов, в отличие от большинства аналогичных программ. Минусом программ ALTInvest является то, что программы предназначены для профессиональных экономистов-аналитиков, понимающих суть экономических явлений [5].

Нами разработан ПК, предназначенный для оценки бизнес-планов внедрения результатов выпускных квалификационных работ, который в настоящее время используется в тестовом режиме на факультете информационных систем и технологий СамГАСУ. Этот ПК ориентирован на особенности ВКР по информационным системам, позволяя учесть, всю необходимую для оценки их экономического потенциала, информацию и получить все существенные для этого показатели без излишней на данном этапе детализации, например, рассмотрения различных схем финансирования и кредитования, выбора учетной политики и, соответственно, нюансов налоговой системы.

Разработанный ПК обеспечивает расчет базовых экономических показателей для оценки возможности коммерческой реализации и эффективности результатов ВКР:

1. Чистый доход — сумма платежей (положительных — притоков и отрицательных — оттоков) за весь период использования (горизонт планирования) [1].

2. Чистый дисконтированный доход (NPV) — сумма дисконтированных значений потока платежей, приведенных к сегодняшнему дню.

3. Внутренняя норма доходности (IRR) — процентная ставка, при которой чистая приведенная стоимость (чистый дисконтированный доход — NPV) равна нулю [1].

4. Срок окупаемости с учетом дисконтирования — период от начала реализации проекта до момента времени, после которого накопленный чистый дисконтированный доход становится (и в дальнейшем остается) неотрицательным.

5. Срок окупаемости без учета дисконтирования («простой» срок окупаемости) — период от начального момента до момента окупаемости по чистому доходу.

6. Рентабельность с учетом дисконтирования и без учета дисконтирования — отношения суммы притоков к сумме оттоков (доходов к вложениям)

7. Потребность в дополнительном финансировании — максимальный по модулю накопленный чистый доход (среди отрицательных значений такого дохода).

При использовании разрабатываемого программного комплекса пользователь должен занести во входные таблицы:

1. Горизонт планирования — срок, за который предполагается реализовать составленный план или программу действий.

2. Шаг планирования — периодичность, с которой в пределах горизонта планирования формируется данный бюджет

3. Ставку дисконтирования — процентную ставку, используемую для пересчета будущих потоков доходов в единую величину текущей стоимости. Ставка дисконтирования применяется при расчете дисконтированной стоимости будущих денежных потоков NPV

4. Параметры налоговой системы

5. Перечень продукции и услуг — вариантов коммерческого использования разработки;

6. Динамику объемов реализации по каждому виду продукции и услуг;

7. Перечень используемых ресурсов;

8. Динамику потребности в каждом ресурсе;

9. Динамику цен на продукцию, услуги и ресурсы.

Экранные формы для ввода информации автоматически подстраиваются по заданным параметрам проекта, в частности, горизонту и шагу планирования. Пользователю предоставляется возможность легко и удобно пополнять и корректировать перечни продукции, услуг и ресурсов. При этом отдельно рассматриваются материальные ресурсы и категории специалистов, необходимых

для реализации проектов (с учетом ставок оплаты и числений на фонд оплаты).

Эти показатели представляются в виде автоматически формируемых таблиц и графиков, отражающих динамику их изменения.

Обеспечивается возможность анализа различных вариантов проекта с сохранением их в архиве и последующим сравнением, а также возможность анализа чувствительности показателей проекта к варьированию исходных данных в указанных пользователем пределах с заданным абсолютным или процентным шагом.

На рисунке 1 изображена начальная форма программы. Она включает в себя поля для ввода данных: «Автор», «Тема», «Год выпуска», «Направление».

Добро пожаловать! Введите первичные данные	
Автор	Кузнецов Павел Сергеевич
Тема	Информационная система управления кадрами малого предприятия
Год выпуска	2015
Направление	Информационные системы и технологии

Рис. 1. Титульный лист

Общие характеристики работы можно внести в окне «Общие характеристики». В поле «Горизонт» выбира-

ется значение из выпадающего списка, что отчетливо видно на рисунке 2.

Введите общие характеристики работы		Введите общие характеристики работы	
Начало внедрения	2015	Начало внедрения	2015
Шаг планирования	год	Шаг планирования	год
Горизонт	7	Горизонт	год
Налог на прибыль, %	20%	Налог на прибыль, %	квартал
Отчисление в социальные фонды, %	26%	Отчисление в социальные фонды	месяц
Базовая ставка дисконтирования, %	25%	Базовая ставка дисконтирования, %	полугодие
Границы варьирования ставки дисконтирования, %	20%	Границы варьирования ставки дисконтирования, %	25%
	35%		20%
			35%

Рис. 2. Общие характеристики

Для расчета ставки дисконтирования, внутренней нормы доходности вводятся данные в окне «Расчеты» (рис.3).

Ставка дисконтирования	25%		
год	ДП	ФВ	ДДП
0	-100	1,00	-100
1	50	0,80	40
2	150	0,64	96
3	150	0,51	76,8
		<b>Итого (ЧДД, NPV)</b>	<b>112,800000</b>
		<b>ВНД, IRR</b>	<b>80%</b>

Рис. 3. Расчеты

В специальные табличные формы, которые автоматически настраиваются и модифицируются после задания общих характеристик проекта, заносятся сведения о составе продукции, услуг и основных видах затрат, а затем прогноз динамики продаж, цен, издержек.

Для расчетов используются следующие формулы:

1. Чистый дисконтированный доход (NPV) [2]:

$$NPV(p) = -IC + \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+p)^t};$$

2. Внутренняя норма доходности (IRR) — ставка определяется из уравнения [2]:

$$NPV(IRR) = -IC + \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0,$$

где  $p$  — ставка дисконтирования,  
 $T$  — горизонт планирования,  
 $CF_t$  — денежный поток (cash flow) за период  $t$ ,  
 $IC$  — начальное вложение (инвестиции) до 1-го периода.

По результатам проводимого в настоящее время тестирования, предполагается оформить описанную в статье разработку, как коммерческий программный продукт для использования в режиме offline учебными заведениями, факультетами и выпускниками, которые выполняют квалификационную работу.

В дальнейшем, предполагается разработка на его основе сетевого продукта, который позволит выполнять такие расчеты на специальном сайте. Это, кроме всего

прочего, позволило бы накапливать единую базу данных по экономическим характеристикам выпускных квалификационных работ. В такой базе должна быть обеспечена анонимность, с возможностью доступа, согласованного с автором, к конкретному содержанию расчетов, и, в то же время, получения доступной общей статистики по отраслям, уровням эффективности, учебным заведениям и т.д.

Разработанный программный комплекс в настоящее время используется в режиме тестирования при подготовке экономической части выпускных работ бакалавров и магистров факультета информационных систем и технологий Самарского государственного архитектурно-строительного университета.

#### Литература:

1. Непомнящий, Е. Г. Инвестиционное проектирование // Учебное пособие. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003.
2. Шахназаров, А. Г., Лившиц В. Н., Коссов В. В. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. — М.: Экономика, 2000.
3. Центр международного промышленного сотрудничества ЮНИДО в РФ [Электронный ресурс]: URL: <http://www.unido.ru/resources/software/comfar>
4. Программы для составления бизнес-планов [Электронный ресурс]: URL: [http://homestartup.ru/cons\\_programmi-dlya-sostavleniya-biznes-plana.html](http://homestartup.ru/cons_programmi-dlya-sostavleniya-biznes-plana.html)
5. Программы — инвестиционный и финансовый анализ, программы и семинары, бизнес-план, управление инвестиционными проектами, бюджетирование. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.alt-invest.ru/index.php/ru/programmy>

## Управление человеческими ресурсами IT-проекта

Михайлова Светлана Валерьевна, магистрант

Научный руководитель: Ломакин Владимир Васильевич, кандидат технических наук, доцент

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

По результатам множества опросов менеджеров проектов в России и за рубежом, до 80% успеха при реализации проектов обусловлены слаженной работой проектной команды, которая, в свою очередь, обеспечивается верным распределением ролей среди ее участников [1]. При формировании проектной команды ресурсные менеджеры сосредотачивают свое внимание не только на наличие технических компетенций у исполнителей проекта, но и на оптимальном соотношении личностных (психологических) качеств каждого участника. Безусловно, для достижения успеха проекта необходимо сформировать оптимальный состав исполнителей задач проекта, и управление человеческими ресурсами занимает важное место в общем процессе проектного управления.

Управление человеческими ресурсами проекта (далее — ресурсное обеспечение проекта) включает в себя процессы организации, управления и руководства командой проекта и включает следующие итерационные шаги:

- Разработка плана ресурсного обеспечения проекта;
- Набор команды проекта;
- Развитие команды проекта;
- Управление командой проекта [2].

Владельцем процесса ресурсного обеспечения, формирования и развития команды IT-проекта, как правило, является ресурсный менеджер проекта или функциональный руководитель штатного подразделения компании. Управление командой проекта выполняет руководитель проекта. Часть функций управления может быть делегировано функциональным лидерам по направлениям проекта.

По мере выполнения проекта профессиональный и численный состав команды проекта может часто меняться. Отсутствие исполнителей для проекта может значительно повлиять на сроки, бюджет, удовлетворенность заказчика, качество и риски проекта [2].

Следует отметить, высокий уровень возникновения внештатных ситуаций в процессе внедрения IT-проектов, вызванных влиянием внешней среды, сложностью плани-



Рис. 1. Основные этапы процесса Управления человеческими ресурсами на проекте

рования и нормирования работ ИТ-специалистов, не достаточным уровнем проработки технических требований, текучестью кадров и пр. В подобных условиях ресурсному менеджеру необходимо максимально быстро реагировать на запросы проекта, обеспечивая задачи проекта наиболее эффективными исполнителями, без увеличения объема бюджета проекта, а так же рисков, связанных со сроками и качеством выполняемых работ.

Таким образом, деятельность менеджера в части ресурсного обеспечения проекта, в конечном счете, нацелена на повышение эффективности исполнения проектов путем рационального распределения исполнителей в ходе выполнения отдельных заданий проекта. Достижение цели невозможно без поддержки данного процесса средствами информационных систем управления, поддержки принятия решений (далее — СППР), обеспечивающих менеджеров проекта необходимой и актуальной информацией на каждом шаге процесса. Особого внимания требует этап определения исполнителей для каждого задания проекта, где ресурсному менеджеру необходимо принять решение в выборе наилучшей кандидатуры для выполнения декомпозированных задач проекта и сформировать проектную команду.

Для создания СППР необходимо проработать ряд основных методологических вопросов, а именно:

- Выполнить разработку методики оценки компетенций исполнителей ИТ-проектов, учитывающей специфические компетенции отрасли;
- Выбрать метод решения многокритериальных задач выбора для определения наилучшей альтернативы;
- Выполнить построение информационного обеспечения поддержки принятия решений по рациональ-

ному распределению исполнителей при реализации ИТ-проектов.

Представим себе процесс назначения сотрудника на задание как задачу оптимального выбора, подлежащую автоматизации в рамках создания СППР.

Задача сформулирована следующим образом: **для выполнения задания проекта по разработке и реализации ИТ-решений необходимо выбрать сотрудника из штатного состава или резерва компании, который выполнит данную задачу в минимальные сроки с необходимым качеством.**

Для этого определим функцию времени  $T(Z, S)$ , необходимого для выполнения поставленного задания  $Z$  сотрудником  $S$ , где:

–  $Z = \langle V, C, K_{проб} \rangle$  — кортеж, описывающий объемы работ  $V$ , необходимый для настройки программного компонента  $C$ , с требуемым уровнем компетенции  $K_{проб}$ ;

–  $S = \langle O, C, K_{тек} \rangle$  — кортеж, описывающий сотрудника по общей информации  $O$  (ФИО, должность, образование и пр.), обладающего текущим уровнем компетенции  $K_{тек}$  в области программного компонента  $C$ ;

–  $C = \langle C_1, C_2, \dots, C_m \rangle$  — кортеж, параметры которого описывают программный компонент (обозначение, модуль, сложность, код и раздел обучающего курса и пр.);

–  $K = \langle K_1, K_2, \dots, K_n \rangle$  — кортеж, описывающий оценку текущей или требуемой компетенции сотрудника, где  $K_1, K_2, \dots, K_n$  — компетенции разных типов для заданного программного компонента (знания методологии бизнеса, теоретические знания компонента, технические компетенции в области стандартных настроек компонента, знания языка программирования, инструмен-



тальных средств системы, знание английского языка, личные качества, проектные навыки и пр.);

Таким образом, задачей оптимального выбора является назначения такого сотрудника на задание, который бы минимизировал время выполнения работы  $T(Z, S)$  при выполнении полного объема поставленной задачи  $Z(V, C, K_{треб})$ :

$$\begin{cases} T(Z, S) \rightarrow \min \\ Z(V, C, K_{треб}) \geq Z_0(V, C, K_{треб}) \\ K_{тек} \rightarrow K_{треб} \end{cases}$$

где  $Z_0(V, C, K_{треб})$  — заданная регламентированная задача.

Далее необходимо осуществить проектирование целевой структуры СППР, что в дальнейшем позволит детальнее спроектировать систему и выполнить ее реализацию.

Структура СППР должна включать в состав модули, функциональность которых позволит выполнять задачи проектного и ресурсного управления, в рамках процесса назначения оптимальных исполнителей на задачи проекта.

Один из вариантов организации структуры подобной системы представлен на рисунке 2.

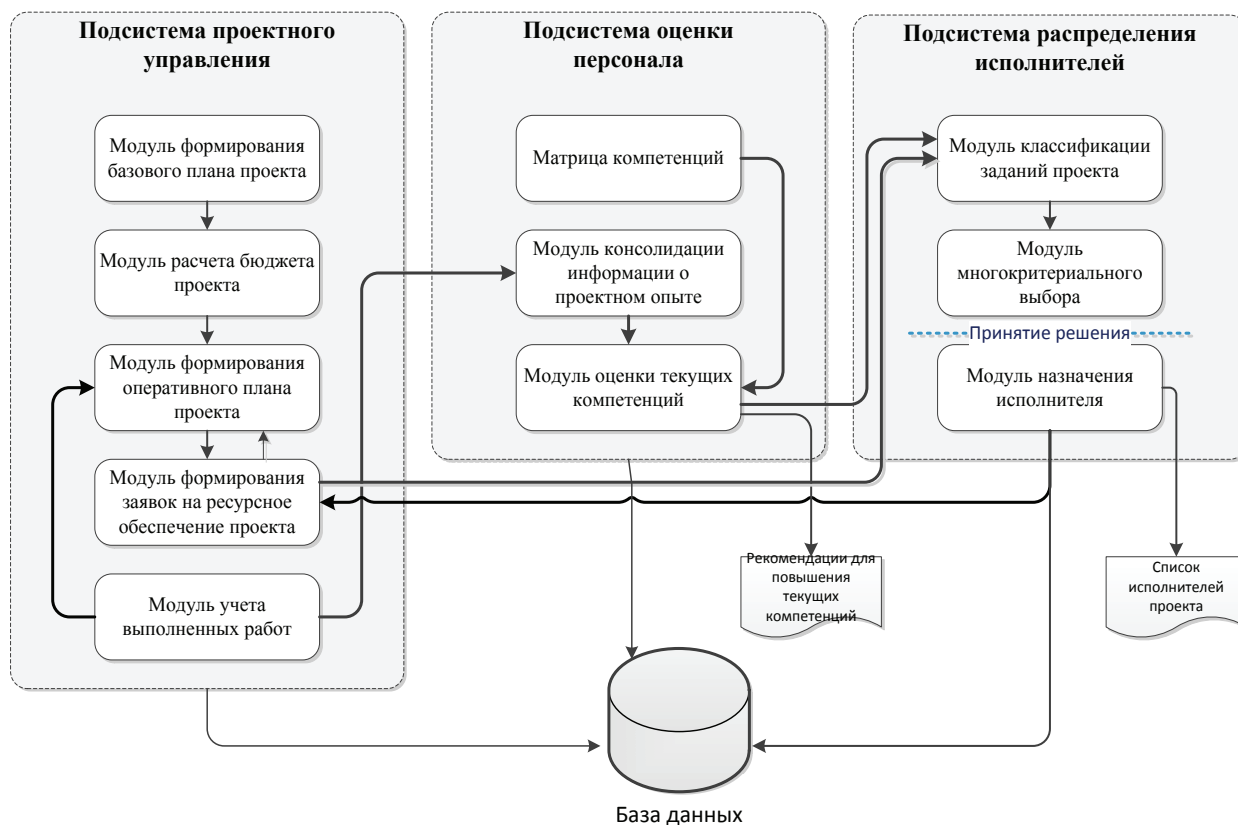


Рис. 2. Модульная структура СППР

Процесс ресурсного обеспечения проекта может быть организован следующим образом:

- На первом этапе руководителем проекта выполняется создание и/или актуализация оперативного плана проекта в заданном горизонте планирования. На данном этапе происходит декомпозиция базового плана до уровня локальных заданий, для которых установлены четкие сроки, результаты и обозначен необходимый ресурс с учетом последних изменений проекта. На основании реестра заданий формируются заявки на ресурс и передаются ресурсному менеджеру проекта. Поддержка данного процесса осуществляется с помощью «Подсистемы проектного управления»;

- Ресурсный менеджер проводит анализ заданий, классифицирует их по типам, сложности и пр. К этому мо-

менту ресурсный менеджер должен обладать актуальной информацией о текущих компетенциях имеющихся сотрудников, а так же сотрудников, составляющих кадровый резерв структурного подразделения. Выполняется актуализация оценок компетенций всех сотрудников. На данном этапе необходима «Подсистема оценки персонала»;

- Далее информация по классифицированным заданиям и актуальной оценке персонала передается в «Подсистему распределения исполнителей», где осуществляется выбор оптимального исполнителя. После этого ресурсный менеджер принимает окончательное решение, назначает исполнителя задания и закрывает заявку. Информация об исполнителе передается в «Подсистему проектного управления», где информация об уровне ис-



полнителя участвует в расчете оперативного бюджета проекта. На данном шаге сформирована проектная команда исполнителей.

— По итогам подтверждения руководителем проекта выполнения задания исполнителем, информация о типе и сложности выполненных работ из «Подсистемы проектного управления» передается в «Подсистему оценки персонала», где сохраняется история проектного опыта сотрудника, которая учувствует в следующей итерации оценки персонала.

Таким образом, построение и реализация СППР для поддержки процесса ресурсного обеспечения IT-проекта, требует проработки ряда основополагающих методологических и концептуальных вопросов, которые должны стать основой оперативной системы ресурсного обеспечения IT-проекта. Реализация подобной системы в дальнейшем позволит повысить эффективность исполнения как отдельных заданий проекта, так и проекта в целом за счет оптимального распределения проектно-технологических функций между исполнителями.

Литература:

1. Портал ITeam «Портал корпоративного управления». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.iteam.ru/articles.php?id=342&pid=6&sid=37&tid=2>, свободный.
2. Стандарт ANSI PMI PMBOK, Глава 2. Управление человеческими ресурсами проекта (Project Human Resource Management).
3. Демарко Том, Листер Тимоти. Человеческий фактор: успешные проекты и команды: Символ-Плюс, 2005. — 142 с.
4. Управление знаниями: Хрестоматия. 2-ое изд. / Пер. с англ. под ред. Т. Е. Андреевой, Т. Ю. Гутниковой; Высшая школа менеджмента СПбГУ. СПб.: Изд-во «Высшая школа менеджмента», 2010. — 514 с.
5. ГОСТ Р 53894–2010. Менеджмент знаний (ГОСТ Р 53894–2010) введ. с 01.01.2011. — [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&baseC=6&page=1&month=8&year=-1&search=&id=176600>, свободный. — Загл. с экрана.

## Восстановление данных с Flash-накопителей

Молчанова Анастасия Александровна, студент;

Петрушенко Роман Вадимович, студент

Южно-Российский государственный политехнический университет имени М. И. Платова

*В данной статье рассмотрены способы восстановления данных в случаях повреждения файловой системы, аппаратных неисправностей, физической поломки.*

**Ключевые слова:** информация, flash-накопители, электронные накопители, электронные носители, программное обеспечение «Resuva»

### Введение

В современном мире на электронных носителях хранится большая часть документации и иных данных. Хорошо, если в случае возникновения неисправности, ваш электронный носитель не содержал какой-либо не восстанавливаемой информации, и его можно выкинуть, но порой там содержатся важные уникальные данные. В связи с этим все актуальнее вопрос о восстановлении данных или ремонта электронного носителя в случае поломки.

### Основные причины поломок

Причин поломок Flash-накопителей действительно очень много, наиболее часто встречающиеся — это аппаратные проблемы, аппаратно-механические, выработка ресурса циклов чтения-записи Flash-накопителем,

системные ошибки, нарушение структуры данных, хранящихся на электронном носителе.

Аппаратная проблема заключается в повреждении контакта между USB-контроллером и компьютерным разъемом.

Аппаратно-механическая неполадка чаще всего связана с повреждением основного звена в работе накопителя-контроллера. В нем содержатся микросхемы, неисправности которых могут повлечь за собой фатальные ситуации, в результате восстановления данных будет либо весьма проблематичной задачей, либо невозможной.

Причинами системных ошибок чаще всего являются вирусы.

У каждого электронного носителя информации есть свойство: продолжительность хранения данных, которое характеризуется количеством циклов чтения — записи. В случае, если Flash-накопитель перешел порог количе-

ства этих циклов, то информацию на нем уже невозможно будет восстановить.

Нарушение структуры хранимых данных на электронных накопителях чаще всего заключается в повреждении системной информации о хранимых данных, например, размера и имен документов, структуры каталогов, а также файловой системы электронного накопителя.

### Восстановление данных в случае системных неполадок

Самой частой причиной потери данных является повреждение файловой системы Flash — накопителя. Электронный носитель с такой ошибкой в основном при подключении к системе выглядит как не отформатированный диск, который корректно определяется и отображается.

Данные восстанавливаются с помощью специального программного обеспечения по следующему плану:

Вначале производится сканирование всего Flash-накопителя.

На основе полученной служебной информации составляется карта расположения данных, в которой содержится информация о том, какой сектор к какому файлу или каталогу относятся, и другие свойства элементов файловой системы.

Далее выполняется восстановление данных. Заключается оно в переносе нужной информации в соответствии с картой на другой носитель.

### Восстановление файлов с помощью программного обеспечения «Rescuva»

«Rescuva» — программное обеспечение, от авторов CCleaner, предоставляющее пользователям мощный инструмент для восстановления потерянных в результате удаления или сбоя данных.

Процесс поиска и восстановления файлов достаточно прост, как и интерфейс программы.

При открытии программного обеспечения запускается мастер «Rescuva» (Рисунок 3).

При нажатии «Далее», высвечивается окно, в котором следует выбрать тип данных, требующих восстановления, это могут быть, например, музыкальные файлы или документы (Рисунок 4).

Затем следует указать путь к директории, где находится утерянный файл, (при наличие такой возможности), (Рисунок 5).

После завершения поиска всех удаленных данных на носителе нужно отметить файлы, которые требуется восстановить (Рисунок 6).

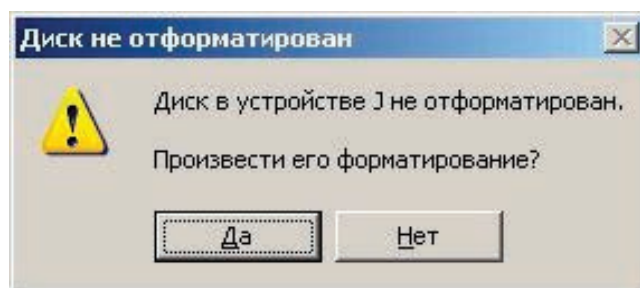


Рис. 1. «Диск не отформатирован»



Рис. 2. Логотип «Rescuva»

Важный момент заключается в том, что нежелательно сохранять данные на тот же носитель с которого они восстанавливаются, иначе есть вероятность потерять файлы без возможности их воссоздания.

После окончания программа оповещает о завершении действия всплывающим окном. (Рисунок 7).

Программа может полностью восстановить данные, то есть файлы будут корректно открываться, но есть вероятность, что она восстановит их «частично», такие файлы будут доступны для просмотра или редактирования в зависимости от типа.

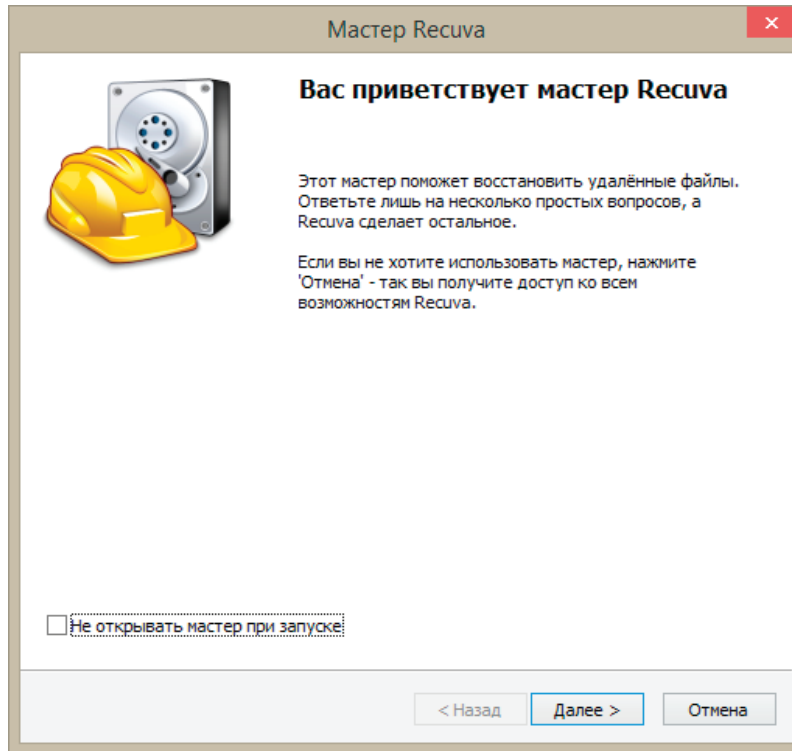


Рис. 3. Приветственное сообщение

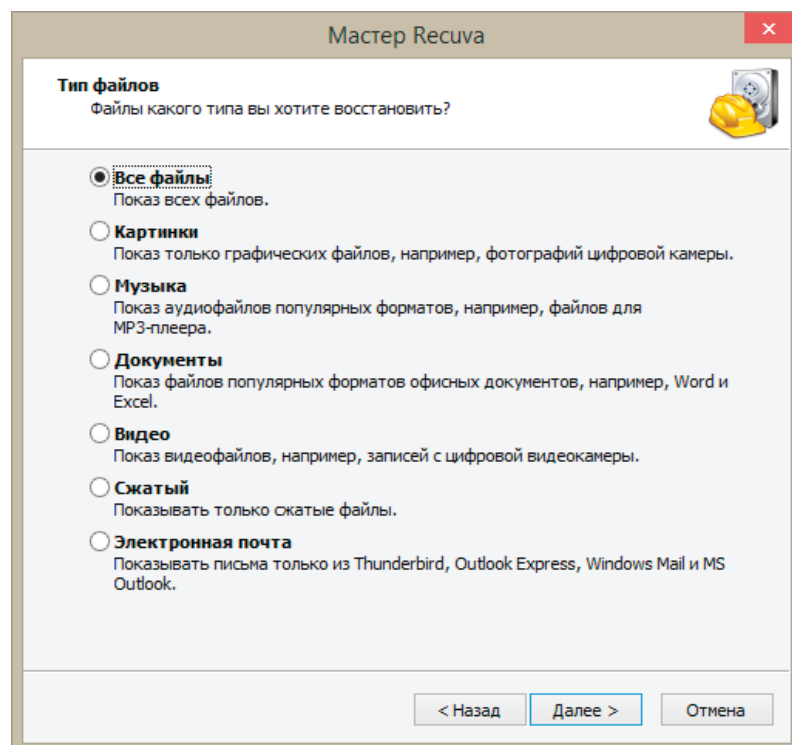


Рис. 4. Выбор типа файлов, подлежащих восстановлению

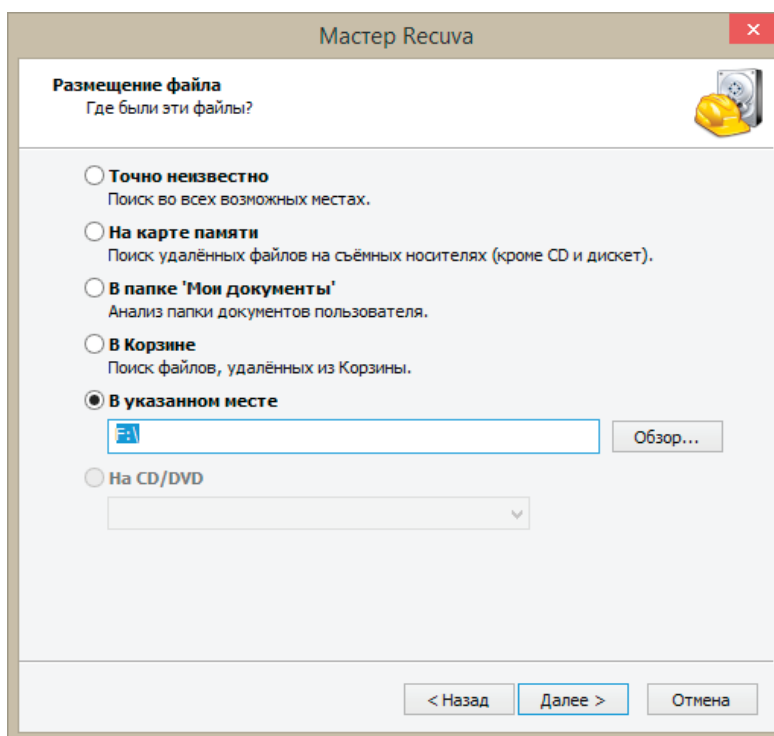


Рис. 5. Место расположения утерянного файла

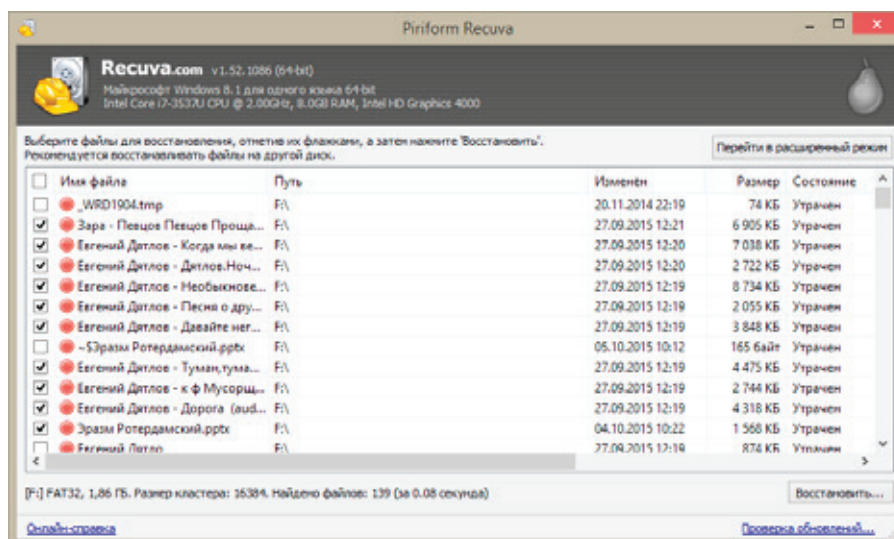


Рис. 6. Список всех удаленных файлов, найденных на Flash-накопителе

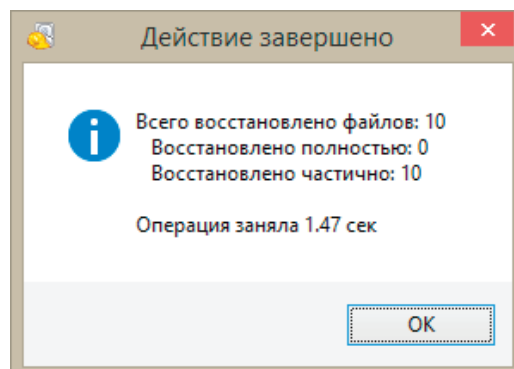


Рис. 7. Все отмеченные файлы восстановлены

### Восстановление в случае аппаратных и аппаратно-механических повреждений

Аппаратные и аппаратно-механические повреждения происходят из-за сбоя в работе электроники, обеспечивающей обмен информации между меду USB — контроллером и компьютерным разъемом. При этом во время подключения к системе Flash — накопитель определяется некорректно, или не определяется совсем.

Такое повреждение заключается либо в физической неисправности микросхем контроллера, либо программы, определяющей их работу.

Восстановление данных в случаях аппаратных и аппаратно-механических повреждений происходит следующим образом:

Вначале выпаивается микросхема памяти, это делается очень аккуратно во избежание повреждений элементов схемы.

Далее микросхема подключается к программатору, аппаратно-программному устройству, которое предназначено для записи и считывания информации в ПЗУ, на котором считывается содержимая на информация.

Затем проводится программная обработка полученных данных, для того, чтобы получить образ файловой системы.

Литература:

1. [Электронный ресурс] <http://www.piriform.com/>
2. П. Ташков «Восстановление данных на 100%» 2010
3. [Электронный ресурс] <http://habrahabr.ru/>
4. [Электронный ресурс] <http://www.studfiles.ru/>

Поскольку контроллер Flash-накопителя не хранит данные в памяти в таком виде, как они представлены на мониторе, требуется программная обработка полученного образа памяти.

Также есть вероятность восстановления информации на переносном носителе с помощью перепайки микросхемы на исправный аналог.

### Вывод

Восстановить утраченную информацию возможно в большинстве случаев. Самое важное это не совершать каких-либо действий над электронным носителем на котором обнаружилась пропажа или повреждение необходимых данных.

Для восстановления файлов можно воспользоваться специализированным программным обеспечением или услугами фирм, занимающихся воссозданием данных. Выбор средства восстановления зависит от степени повреждения Flash-накопителя, важности информации и доступной суммы.

Стоит, однако, отметить, что все-таки не всегда удастся восстановить данные при нынешнем уровне технологий, даже при обращении к специалистам, либо же их удастся переписать лишь частично.

## Программные компоненты многопроцессорных устройств

Турсунова Дилфуза Гиясовна, преподаватель ИИТ;  
Ташева Матлюба Ханноновна, преподаватель ИИТ  
Зарафшанский промышленный профессиональный колледж (Узбекистан)

*В статье рассмотрено применение многопроцессорных устройств, преимущества и возможности их применения.*

**Ключевые слова:** информационная технология, процессор, вычислительная техника, операционные системы, программное обеспечение.

Развитие технологии производства электронной компонентной базы привело к снижению ее стоимости при создании и использовании, что позволило значительно расширить область ее экономически обоснованного применения [1, с. 62]. Сегодня можно говорить о сформировавшихся основных сферах использования многопроцессорных вычислительных систем: обработка транзакций в реальном времени, создание хранилищ данных для организации систем поддержки принятия решений, ресурсо-

емкие процессы управления производством и исследованиями, геоинформационные системы [2, с. 212]. Решения подобного уровня развивают там, где кратковременные простои информационной системы могут привести к серьезным убыткам. Приложения реального времени, анализ больших объемов информации, распределенные базы данных, предъявляют все возрастающие требования к вычислительным мощностям современных информационных систем. Многопроцессорная вычислительная

система (МВС) это комплекс, который объединяет несколько микропроцессоров, имеющих общую основную память, общие устройства ввода-вывода информации и работающих под управлением специализированной операционной системы. Операционная система, в свою очередь, осуществляет общее управление программно-аппаратными средствами этого комплекса в интересах решения задачи эффективной и высокопроизводительной обработки информации. При этом каждый из микропроцессоров может иметь локальные, доступные только ему аппаратные ресурсы, такие как основная (внешняя) память и различные периферийные устройства [2, с. 99].

В связи с этим основная функция по организации реализации вычислительного процесса возлагается на информационное обеспечение, что значительно усложняет построение соответствующего системного программного обеспечения и операционных систем. Программное обеспечение (ПО) многопроцессорных устройств отличается большим многообразием, как по своему составу, так и по выполняемым функциям. Оно автоматизирует процессы программирования задач обработки информации, осуществляет планирование и организацию коллективного доступа к телекоммуникационным, вычислительным и информационным ресурсам многопроцессорных устройств, динамическое распределение и перераспределение этих ресурсов с целью повышения оперативности и надежности удовлетворения запросов пользователей и др. Вместе с тем, несмотря на все трудности, связанные с технической и информационной реализацией, МВС получают все большее распространение, так как обладают рядом существенных, неоспоримых достоинств [1, с. 166], которые сложно или невозможно реализовать другими способами: высокая экономическая эффективность за счет повышения коэффициента использования информационно-технического оборудования подобных систем; высокая производительность за счет возможности гибкой организации параллельной обработки данных и максимально эффективного использования всего вычислительного оборудования; высокая надежность из-за возможности реконфигурирования масштабируемой системы и резервирования вычислительных узлов. Многообразие

методик оценки производительности таких МВС базируется на их моделях функционирования. При всем своем разнообразии, такие оценки не дают полной информации о поведении каждой конфигурационной схемы многопроцессорной вычислительной системы при выполнении определенного класса приложений [2, с. 161].

Для оценки производительности МВС при обработке транзакций необходимо использовать специализированные наборы тестов. Качественное увеличение номенклатуры выполняемых приложений предполагает отказ от однозначного рейтинга, являющегося результатом анализа количества реализуемых МВС команд. В реальных многопроцессорных вычислительных системах могут использоваться разные ее возможности: ведение баз данных, управление сетью, управление технологическим и научным оборудованием.

Эффективность таких многопроцессорных вычислительных систем, предназначенных для работы с базами данных, решения задач информационного обеспечения, определяется числом транзакций, выполняемых в конечный промежуток времени. Под транзакцией понимается последовательность таких операций, во время проведения которых база данных не изменяется. Транзакция представляет собой единую операцию, любые изменения в результате выполнения которой актуализируются после ее выполнения и отсутствуют до тех пор, пока она не будет выполнена. До недавнего времени все производители многопроцессорных вычислительных систем использовали уникальные способы оценки их производительности. Отсутствовала методика проведения таких тестовых работ, общая для всех видов МВС. Задачи проектирования информационного обеспечения и оценки производительности МВС, выбора оптимальной модели и методики тестирования крайне важны для разработки современных, конкурентоспособных систем. Какое из современных или перспективных решений не, казалось бы, оптимальным, по мере совершенствования технологий и снижения стоимости вычислительных мощностей, многопроцессорные вычислительные системы все больше проникают в экономические отношения субъектов взаимодействия изменяя сами принципы функционирования бизнес приложений.

#### Литература:

1. Бабешко, В.Н. Многопроцессорные системы в туманных вычислительных сетях. «Инновации, качество и сервис в технике и технологиях» Сборник научных трудов 1-й Международной научно-практической конференции: в 2-х томах. Отв. редактор Горохов А.А. Издательство: Закрытое акционерное общество «Университетская книга» (Курск), 2011. — с. 62–61.
2. Павлова, А.И. Применение нейронной экспертной системы и ГИС для классификации эрозионных земель // «Современные информационные технологии и ИТ-образование» / Сборник избранных трудов IX Международной научно-практической конференции. Под ред. проф. В.А. Сухомлина. М.: ИНТУИТ.РУ, 2011. — с. 212–219.



## Кражи с банковских карт, свой счёт нужно обезопасить!

Факторов Александр Константинович, студент;  
Смирнов Михаил Евгеньевич, старший преподаватель  
Дальневосточный федеральный университет

**Ключевые слова:** банковские карты, взлом карт, кардинг, воровство с банковских карт, мошенничество с банковскими картами.

Сегодня в России 65% населения активно пользуется банковскими картами, а 95% населения — держатели карт. Преимущество банковских карт очевидно — это удобство при оплате, контроль расходов, скидки и бонусы, гигиеничность и безопасность. Но говоря о безопасности, нельзя быть опрометчивыми. Конечно, банковская безопасность входит в обязанности государства, но оно выполняет только функции правового и административного пресечения незаконных действий. Как показывает практика, когда с банковских карт исчезают деньги, клиент обращается в банк, там, чаще всего пожимают плечами, гражданин приходит в полицию, но и там помочь могут в считанных случаях. В итоге держатель карты остается без денег. По статистике 0.1% россиян ежемесячно теряют деньги с карт, по данным официальной статистики только за первые 6 месяцев 2014 года с карт россиян злоумышленниками было украдено около 1 млрд. рублей. Начав пользоваться пластиковой картой, и не выполняя элементарных правил безопасности — каждый из нас автоматически становится потенциальной жертвой. Как только Вы потеряете бдительность, Вас ограбят. Без принятия мер безопасности — это лишь дело времени.

В интернете довольно большое количество одинаковых статей на тему краж с банковских карт. В них описываются невозможные и редкие для нашего времени вещи: например, технические накладки на клавиатуры банкоматов (скимминг), скрытые камеры, фальшивые банкоматы и прочие страшилки, для обывателя. Все эти десятки тысяч страниц создают информационно-шумовой барьер, который не даёт возможности пользователю найти по-настоящему стоящую информацию о том, как себя обезопасить. Нередко, эти источники, косвенно принадлежат людям, которые профессионально занимаются кардингом (от англ. Carding — вид мошенничества с банковскими картами).

Всегда, когда Ваша карта попадает в руки к чужому человеку, Вы рискуете потерять деньги. Мошеннику достаточно запомнить 19 цифр, и деньги могут уйти на чужой счёт. Ниже представлены самые популярные места кражи данных с карты:

1. Кафе. Если при оплате Вы дадите официанту в руки карту, и он с ней уйдет за терминалом, есть вероятность что данные будут сворованы. Официант может их: записать, сфотографировать или запомнить.

2. Магазин. При оплате Вы даёте карту в руки кассиру, и есть риск, что где-то рядом установлена микро-

камера, которой достаточно продемонстрировать карту с двух сторон и данные будут украдены. Также известны случаи скимминга в торговых точках.

3. Интернет.

Если Вы расплачиваетесь в интернет магазинах, есть вероятности:

— что сервис, через который Вы произвели оплату, сохранит данные Вашей карты, которые позже будут использованы злоумышленниками;

— что вы зайдёте на фишинговый (от англ. — fishing-ловля на крючок) сайт-имитатор интернет-банка (как правило точная копия) и введенные данные уйдут к злоумышленникам, после чего Вас переадресуют на другой сайт;

— что Ваш компьютер заразят вредоносной программой (вирусом) которая будет отправлять на адрес злоумышленников пароли, логины и PIN-коды.

4. Мобильные банковские приложения, менее защищены, поскольку, при определенном старании можно записать дубликат SIM карты и получать одноразовые пароли при платежах. Не исключается и кража телефона или смартфона (после сбора данных из компьютера паролей и логинов). Статистика компании Zsciper утверждает, что количество граждан РФ, потерявших деньги со счетов, или в результатах хакерских атак и краж смартфонов в первом полугодии 2015 г. составило почти 11 млн. человек.

5. Отдельно нужно сказать о таком способе снятия информации с карты, как RFID-reader. Считыватели подобного типа позволяют считать данные с Вашей карты на расстоянии и определить этот момент весьма затруднительно. Как правило это происходит в людном месте, в толпе, или общественном транспорте.

Мошеннику — Кардеру достаточно знать номер карты, срок действия, фамилию, имя и CVV/CVC код — 3 цифры с обратной стороны карты. Далее он даже без подтверждений по СМС сможет снять деньги с Вашей карты. Чтобы этого не произошло, достаточно защитить свой CVV/CVC и PIN коды.

### Защита карты off-line

1. Храните Вашу банковскую карту в месте исключая, или существенно затрудняющем доступу к ней посторонних. Старайтесь не давать её в чужие руки и лишней раз не «светить» ей. При платежах в коммерческих точках, старайтесь не выпускать ее из вида и следите за действиями продавца.

2. В идеале, цифры, которые находятся с обратной стороны карты стоит стереть или заклеить. Запомните эти цифры, без них Вы не сможете пользоваться интернет переводами. Но если нет возможности запомнить — создайте код восстановления. Для создания кода восстановления необходимо выбрать любую однозначную цифру, к примеру «5». Далее, если Ваш CVV код «824», то от каждой цифры отнимите «5». У Вас получится «3, —3, —1». Запишите этот код на карте, вместо стёртого. Теперь, когда Вам понадобится ввести CVV код, достаточно будет вспомнить цифру восстановления и прибавить её к каждой цифре кода восстановления, в итоге Вы получите исходный CVV код. Очень удобно, если у Вас несколько карт.

3. Старайтесь пользоваться банкоматами, установленными в помещениях кредитных организаций. Кстати, там всегда висят инструкции о прикрытии рукой набора PIN-кода.

4. Никогда не отвечайте на SMS и звонки якобы сотрудников банка, требующие набрать PIN, назвать одно-разовый пароль, или перевести деньги на другой счет.

5. Если ваша карта была похищена или утеряна, сразу же обратитесь в банк и заблокируйте ее.

### Защита карты online

1. Старайтесь не оплачивать покупки на сайтах интернет-магазинов своей зарплатной картой. Для оплаты используйте агрегаторы платежей, такие как gobokassa, payonline Яндекс Касса и другие.

2. Заведите отдельную карту для покупок в интернете и не храните на ней деньги. Переводите на данный пластик сумму непосредственно перед самой оплатой. Это снимает 99% риска, что деньги будут украдены.

3. Настройте работу с зарплатной банковской картой таким образом, чтобы все платежные операции подтверждались PIN-кодом. В этом случае мошенники, сделавшие копию карты, не смогут провести платеж без знания вашего пароля.

4. Используйте на компьютере только полноценные лицензионные версии антивирусного ПО.

Если Вы будете соблюдать простые правила при пользовании банковскими картами, то с легкостью обезопасите себя и не потеряете деньги. А безналичный расчёт действительно станет для Вас удобным, комфортным и безопасным средством оплаты.

### Литература:

1. В. А. Гамза, Банковская безопасность: современная ситуация // Information Security — URL: [http://www.itsec.ru/articles2/tema/bank\\_bezopasn\\_sovremen\\_situac](http://www.itsec.ru/articles2/tema/bank_bezopasn_sovremen_situac)
2. Мошенничество с банковскими картами // Банки.ру — информационный портал — URL: <http://www.banki.ru/>
3. Статистика поиска в интернете // Яндекс — URL: <https://wordstat.yandex.ru/>

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### Улучшение характеристик бетонов путем ввода активной минеральной добавки — молотого доменного шлака

Алексеев Алексей Александрович, магистр;  
Москвин Евгений Игоревич, магистр;  
Птичников Владимир Александрович, аспирант  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

*Современное строительство предъявляет все более высокие требования к бетону, а это влечет за собой необходимость использования огромного количества цемента на основе клинкера. Его производство негативно сказывается экологической ситуации в мире. Поэтому появляется необходимость использования альтернативных видов вяжущих. Одним из таких является молотый доменный гранулированный шлак. Ещё в середине прошлого века было проделано много работы по применению такого вида отходов в качестве вяжущего. В начале прошлого года на российском строительном рынке появился молотый доменный гранулированный шлак, производства ООО «ПСК «Мечел Материалы». В статье проведен анализ активных минеральных добавок и приведены результаты испытаний бетона с применением молотого доменного шлака на прочность.*

**Ключевые слова:** шлакощелочной бетон, вяжущее, молотый шлак, отходы.

В настоящее время портландцемент по сумме технико-экономических факторов — наличия во всем мире практически неограниченной сырьевой базы, освоенного технологического процесса и оборудования, соответствия необходимому уровню свойств и долговечности — является основным общестроительным вяжущим веществом. Однако производство портландцемента по обжиговой технологии достаточно энергоемкое и сопровождается большими выбросами CO<sub>2</sub> (6–8% от массы сжигаемого топлива), что негативно влияет на экологическую ситуацию в мире. Поэтому создание безобжиговых вяжущих и строительных материалов на их основе для замещения энергоемкого портландцемента остается актуальной задачей для современного строительного материаловедения [1,2,3].

Так же, одной из важнейших задач современного строительства является повышение экономической эффективности при одновременном обеспечении высоких показателей долговечности и физико-механических свойств искусственного камня [4,5].

Много публикаций, особенно зарубежных, посвящено поиску альтернативных вяжущих на основе безклинкерных материалов. Такими материалами могут стать вещества щелочной активации, более известные в иностранной технической литературе как геополимеры [6,7].

Внедрение эффективных и дешевых вяжущих и композиционных материалов на их основе, способных сво-

бодно конкурировать с портландцементом, является актуальной задачей, решение которой позволит снизить себестоимость строительства [8]. Тем более в России, с точки зрения доступности сырьевой базы, имеются возможности производства достаточно перспективных строительных материалов, к числу которых относятся шлакощелочные вяжущие (ШЩВ). [9].

#### 1. Минеральные активные добавки

##### 1.1 Сравнение свойств минеральных добавок

Минеральные добавки отличаются от заполнителя мелким размером зерен, менее 0.16мм, а от химических добавок тем, что не растворяются в воде.

Минеральные добавки делятся на активные и инертные:

— Активные, в присутствии воды способны взаимодействовать с диоксидами кальция при обычной температуре, образуя соединения, обладающие вяжущими свойствами;

— Инертные, при обычной температуре не вступают в реакцию с компонентами цемента, однако при определенных условиях, они могут проявлять реакционную способность.

Минеральные добавки из техногенного сырья имеют различный минеральный состав и дисперсность, в связи

с чем обладают различным влиянием на бетонную смесь, что определяет область их применения. Рассмотрим ха-

рактеристики минеральных добавок из техногенного сырья (табл. 1).

Таблица 1. Характеристики минеральных добавок

	Фактор прочности	Размер частиц, Мкм	Удельная поверхность	Пуццолановая активность
Портландцемент	1.0	1–100	2800–3500	
Микрокремнезём	1.8–2.0	≤ 1.0	≥15000	85–98%
Доменный шлак	0.9	≤ 50	4900–5200	≥55%
Кремнистая зола-унос	0.8–1.0	1–100	1500–3000	≥70%
Основная зола-унос	0.5–0.7	1–100	1500–3000	≥50%

Микрокремнезем представляет собой отходы производства кремнийсодержащих сплавов: ферросилиция, кристаллического кремния и др. От других активных минеральных добавок отличается крайне малым размером частиц, как видно из таблицы 1, и высокой удельной поверхностью. Располагаясь в порах цементного камня, он способствует повышению плотности, а следовательно, обладает рядом положительных свойств, таких как увеличение прочности, непроницаемости и главное, долговечности бетона.

Шлак доменный гранулированный — представляет собой материал, получаемый мелким измельчением вторичных продуктов при выплавке чугуна. Химический со-

став шлака характеризуется содержанием 30–45% CaO, 35–45% SiO<sub>2</sub>, 8–16% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 6–15% MgO.

Зола-унос тонкодисперсный материал, образующийся на тепловых электростанциях в результате сжигания углей в топках котлоагрегатов и собираемый золоулавливающими устройствами.

### 1.2 Сравнение преимуществ и недостатков минеральных добавок

Сведем в таблицу основные преимущества и недостатки минеральных добавок.

Таблица 2. Преимущества и недостатки минеральных добавок

Мин. добавка	Микрокремнезём	Доменный шлак	Зола уноса
Удобоукладываемость	↓	↑	↑
Долговременная прочность	—	↑	↑
Сроки схватывания	↓	↑	↑
Воздухововлечение	↓	↕	↓
Водоотделение	↓	↕	↓
Химическая устойчивость	—	↑	↕
Тепловыделение	—	↓	↓
Коррозионная стойкость	↓	↑	↑
Способность к перекачке насосами	↑	↑	↑
Сроки распалубливания	↑	—	↑
Пластическая усадка	—	—	↕

Как видно из представленных таблиц, по совокупности показателей, учитывая стоимость материала, молотый доменный шлак обладает лучшими характеристиками, по сравнению с другими активными минеральными добавки. На основании этого нами было принято о дальнейшем исследовании молотого доменного шлака.

## 2. Доменный молотый шлак

Сейчас наблюдается активное падение спроса на шлакопортландцемент, что вызывает рост шлаковых отвалов вокруг металлургических заводов России.

Обратим внимание, что применение молотого доменного шлака в бетонах, влечет за собой ряд положительных свойств. Доменный молотый шлак в составе портландцементного бетона, выполняет роль активного заполнителя, т.е. он реагирует с гидроксидом кальция. При этом образуется дополнительное количество гидросиликатов кальция, полностью исчезают капиллярные каналы, которые в результате усадки цементного камня образуются между ним и поверхностью заполнителя. Это приводит к значительному повышению коррозионной стойкости бетона с активным заполнителем по сравнению с традиционными составами в большинстве агрессивных сред, в том числе даже против кислоты. Кроме того, благодаря специфической структуре и отсутствию микрозазоров на границе раздела вяжущего и заполнителя, такие бетоны обладают отличительными физико-механическими характеристиками, в связи с чем применение бетонов на шлаковом заполнителе широко распространено в Китае, Великобритании, Японии, США и других странах.

При использовании шлака гранулированного молотого многими исследователями было отмечено положительное влияние его на свойства бетонов, а именно:

- высокая реакционная способность, коррозионная стойкость;
- повышенная долговечность в условиях действия агрессивных сред;
- низкие усадочные деформации при твердении;
- плотная и высокопрочная структура искусственного камня;
- высокая водонепроницаемость; сульфатостойкость;
- морозостойкость;
- сохраняемость бетонной смеси;
- повышенная устойчивость к образованию трещин;
- низкая деформативность.

Вопросов по достижению необходимой прочности, морозостойкости и водонепроницаемости бетонов при использовании шлака молотого возникать не должно, если проведен правильный подбор состава на требуемый класс бетона на имеющихся инертных материалах и добавках.

Положительные отличия смеси цемента со шлаком молотым — первая группа эффективности при пропаривании, минимальное присутствие щелочных оксидов, нулевое водоотделение, стабильность прочностных характеристик, минимальное трещинообразование.

### 2.1 Испытания по замещению (частичному замещению) портландцемента молотым шлаком.

Были проведены следующие испытания:

- 1) Замещение портландцемента молотым доменным шлаком (табл. 3).

Таблица 3. Замещение портландцемента молотым доменным шлаком

Класс бетона	B22.5	B22.5	B22.5	B22.5	B22.5
Ввод молотого шлака%	0	30	50	70	50% +хим. Добавка 2,35%
Состав, кг					
Портландцемент ПЦ500 Д0	420	295	210	125	200
Молотый шлак	0	125	210	295	200
Песок	690	635	700	560	87
Щебень 5–20мм	1100	1140	1050	1100	950
Вода	170	170	170	170	185
Прочность 28 суток, Мпа	37	31,4	29,8	17,7	38,5

**Вывод:** При твердении бетона в н.у. при замещении 30 и 50% портландцемента молотым шлаком без применения добавок прочность 28 суток соответствует нормируемой. Опытным путем было выявлено, что большее замещение цемента шлаком, без добавления добавок, является не рациональным.

#### 2) Испытания на морозостойкость

Проводились испытания на морозостойкость бетона класса В25 с подвижностью ПЗ, с замещением 50% порт-

ландцемента шлаком молотым с применением противоморозной добавки ПМД (СП-15–2).

Для данного испытания был выбраны следующие составы:

Портландцемент — 235кг;

Шлак молотый — 235 кг;

Песок — 765 кг;

Щебень 5–20мм — 1015кг;

Добавка ПМД — 7.05кг;

Вода — 176кг;

Получены следующие значения по морозостойкости (табл. 4).

Таблица 4. Морозостойкость с применение ПМД

	№	Размер образца, мм	Объем образца, см <sup>3</sup>	Вес, г		Показатели морозостойкости			Марка бетона по морозостойкости
				В исходном состоянии	После испытания	$\Delta V$ , см <sup>3</sup>	$\Theta_i$ x 10	$\Theta_{ср}$ x 10	
Б25 ПЗ	1	100x100x101	1010	2428	2486	0.13	0.13	0.3	300
	2	100x100x101	1010	2430	2481	0.36	0.36		
	3	100x100x100	1000	2434	2487	0.36	0.36		

Портландцемент — 235 кг; Шлак молотый — 235 кг; Вода — 176 кг;  
 Песок — 765 кг; Получены следующие значения по морозостойкости (табл. 5).  
 Щебень 5–20 мм — 1015 кг;  
 Добавка ПМД (Криопласт экстра) — 7.05 кг;

Таблица 5. Морозостойкость с применение Криопласт экстра

	№	Размер образца, мм	Объем образца, см <sup>3</sup>	Вес, г		Показатели морозостойкости			Марка бетона по морозостойкости
				В исходном состоянии	После испытания	$\Delta V$ , см <sup>3</sup>	$\Theta_i$ x 10	$\Theta_{ср}$ x 10	
Б25 ПЗ	1	101x101x101	1010	2411	2429	0.12	0.12	0,1	600
	2	100x100x102	1030	2442	2441	-0,19	-0,19		
	3	100x101x101	1020	2411	2429	0,10	0,36		

**Вывод:** По результатам испытаний в соответствии с требованиями ГОСТ 26633–91 образцы бетона изготовлено при замещении 50% портландцемента шлаком молотым соответствуют от 300 до 600 циклам по морозостойкости, в связи с чем можно сделать выводы, что молотый гранулированный шлак является микрозаполнителем, способствующим улучшению структуры и строительно-технических свойств бетонов, улучшающих морозостойкость.

3) Испытания на сохраняемость удобоукладываемости.

Сохраняемость удобоукладываемости бетонной смеси — это время, в течение которого смесь в процессе своего выдерживания после окончания перемешивания теряет удобоукладываемость в пределах диапазона марок по удобоукладываемости, указанных в ГОСТ 7473.

В процессе производства бетонных и железобетонных изделий и особенно в монолитном строительстве требуется замедлить схватывание бетонных и растворных смесей. Для замедления процессов структурообразования и продолжительной сохраняемости начальных свойств бетонных смесей исследовались смеси с различными, популярными на рынке добавками. Испытания проводились при температуре окружающего воздуха 22°С для составов с замещением портландцемента 50% шлака молотого.

Оценка сохраняемости свойств бетонной смеси заключается в получении и оценке данных об изменении свойств в течении 5 часов.

Первое испытание выполнялось непосредственно после окончания перемешивания смеси, второе и последующее — через каждый час в течении 5 часов, предположительное время транспортировки бетона.

**Вывод:** наибольшей сохраняемостью обладает смесь с добавкой ПМФ, в течение часа состав оставался в диапазоне марки В25П4, через 2 часа смесь перешла в диапазон В25П2. Остальные смеси перешли в диапазон П2 в течении 30 минут. С добавкой Экопласт П-11 смесь в течении 2-х часов показывает снижение подвижности, затем процесс замедляется и смесь остается подвижной, в диапазон П2 переходит через 5 часов. Наиболее оптимальной добавкой для сохранения подвижности бетонной смеси является добавка ПФМ — НЛК.

4) Испытания при вводе различных химических добавок.

Применение химических добавок позволяет нивелировать отрицательные свойства ввода молотого шлака для достижения ранней и марочной прочности.

Испытания проводились для различных видов химических добавок, где достигнуты аналогичные результаты для бетонов в монолитном строительстве:

— Удобоукладываемость бетонной смеси и ее сохранность во времени в значительной мере определяется совместимостью химической добавки, цемента и шлака. Наилучшие результаты получены при использовании добавок MC Bauchemie (2,35%) и Sika (1%) при В/Ц=0,38.



Таблица 6. Сохраняемость бетонной смеси

№	Состав бетона, Кг	Добавка, кг	Время выдержки бетона	Осадка конуса, см
1	В25 П4 Цемент — 195 Шлак — 195 Песок — 720 Щебень — 1055 Вода — 140	ПФМ-НЛК 6.7	1 час	26
			2 часа	17
			3 часа	9
			4 часа	5
			5 часов	2
2	В25 П4 Цемент — 210 Шлак — 210 Песок — 760 Щебень — 1100 Вода — 180	Экопласт П-11 4.2	1 час	20
			2 часа	11
			3 часа	10
			4 часа	8
			5 часов	4
3	В25 П4 Цемент — 210 Шлак — 210 Песок — 760 Щебень — 1110 Вода — 135	Динамикс РС — 1.26 СП1-7.2	1 час	21
			2 часа	6
			3 часа	5
			4 часа	5
			5 часов	4

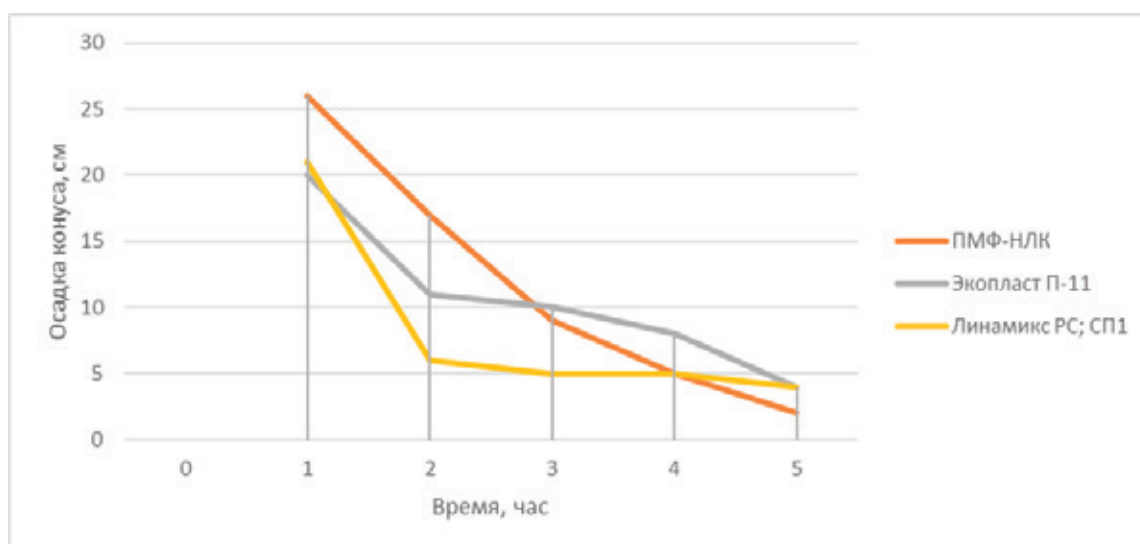


Рис. 1. Сохраняемость бетонной смеси

— Для некоторых добавок отмечена необходимость увеличения их расхода при повышении содержания шлака из-за высокой дисперсности молотого шлака, которая приводит к абсорбции добавки его частицами и к потере эффективности ее действия в бетоне.

Введение в состав бетонов со шлаком химических добавок достигается один или несколько показателей эффективности:

— дополнительное снижение расхода цемента до 10% и повышение прочности бетона в проектном возрасте до 25%;

Таблица 7. Использование различных химических добавок при замещении цемента

№ образца бетона В25	Ввод шлака	Добавка	Прочность МПа, 3 суток	Прочность МПа, 7 суток	Прочность МПа, 28 суток
1	30%	PFM ISO 1,2%	19,8	25,9	38,4
2	50%	MasterGlenium115 2,8%	21,6	37,3	44,1
3	50%	MasterGlenium116W 1%	25,9	30,8	35,5
4	50%	СП-1	22,1	27,6	32,1

- улучшение технологических свойств бетонной смеси (удобоукладываемости, однородности, нераслаиваемости);
- регулируемость потери подвижности бетонной смеси во времени, скорости процессов схватывания, твердения, тепловыделения;
- сокращения продолжительности тепловлажностной обработки изделий, ускорение сроков распалубивания и нагружения монолитных конструкций;
- придание уплотненному бетону способности твердения в зимнее время без обогрева;
- повышение морозостойкости бетона в 2–3 раза и более, повышение плотности и водонепроницаемости бетонов на одну-две марки, повышения стойкости бетонов и железобетонов в агрессивных средах.

### Заключение

В результате анализа проведенных испытаний и литературных источников можно сделать следующие выводы:

- В результате ввода молотого шлака и различных специальных химических добавок имеется возможность получения высокопрочных бетонов (В60, В80);
- Ввод молотого шлака в состав бетонной смеси, в зависимости от способов твердения бетонов, улучшает структуру поверхности изделий, что снижает объемы использования шпаклевки и колера при последующих операциях отделки;
- Ввод молотого доменного шлака улучшает ряд свойств бетона, таких как: морозостойкость, сохраняемость, увеличение коррозионной стойкости, долговечность
- Также шлак молотый возможно использовать в качестве замещения импортных микроцементов при производстве самоуплотняющихся бетонов, особенно в тоннельном строительстве
- По сравнению с другими активными минеральными добавками доменный молотый шлак обладает меньшей стоимостью, что в последствии сильно влияет на себестоимость строительства в целом;
- Производство доменного молотого шлака в 10 раз благоприятнее для окружающей среды, а также уменьшает объемы захоронений металлургических отходов;

### Литература:

1. Purdon, A. O. The action of alkalis on blast furnace slag // Journal of the Society of Chemical Industry. 1940. Vol. 59. September. P. 35–37.
2. Глуховский, В. Д., Пахомов В. Л. Шлакощелочные цементы и бетоны. Киев: Будивельник, 1978. 184 с.
3. Ватин, Н. И., Петросов Д. В., Калачев А. И., Лахтинен П., «Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве» // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 4. с. 16–21.
4. Шахов, С. А., Ключникова Н. С. «Геополимерные вяжущие. Отличительные особенности и перспективы». // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2014. № 1 (661). с. 18–25.
5. Шишкин, А. А., Щелочные реакционные порошковые бетоны // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 2 (17). с. 56–65.
6. Davidovitz, J., Geopolymer. Chemistry and applications / J. Davidovitz. — Saint-Quentin: Institute Geopolymer, 2008. — 592 p.
7. Sialite technology — sustainable alternative to Portland cement // H. Sun, R. Jain, K. Nguyen, J. Zuckerman / Clean Techn. Environ. Policy. DOI 10.1007 / s10098–009–0258–8. Published online 29 Sept 2009 (www.springerlink.com).
8. Shishkin, A., Shishkina, A., Vatin, N., Low-shrinkage alcohol cement concrete // (2014) Applied Mechanics and Materials, 633–634, pp. 917–921. Cited 1 time.
9. Банул, А. В., «Состав, свойства и технология получения безклинкерных высокопрочных шлакощелочных бетонов» // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2007. № 17. с. 225–228.

## Не виртуальные хакеры

Амиров Азамат Жанбулатович, доктор PhD;  
 Султанова Бахыт Каиркеновна, профессор педагогических наук, доцент;  
 Шаханов Данияр Жанатулы, магистрант  
 Карагандинский государственный технический университет (г. Караганда)

Всё не секрет, что продукты компьютерных технологий (КТ) проникают во все сферы общественной жизни и это проникновение носит массовый характер.

Очевидно, что наряду с положительными результатами таких изменений, новые информационные технологии (ИТ) создают дополнительные угрозы человечеству, в том

числе неявные, т.е. неосознаваемые большинством пользователей этих технологий. В силу массовости и потенциальной небезопасности использования КТ очевидно, что общество слабо подготовлено и защищено от возможных опасных последствий использования уязвимостей данных технологий. Тем более, что на сегодняшний момент в обществе сформировалась определенная субкультура, связанная с использованием ИТ и их развитием нестандартным образом, т.е. не так как это изначально предполагали создатели современных технологий.

К примеру, хакерство, т.е. искусство манипуляций со программно-аппаратными комплексами, стало достаточно массовым и может перерасти из любительского, безобидного хобби до информационного терроризма. Вторжение в информационные системы атомных электростанций, проникновение в базы данных военных, финансовых, хозяйственных, коммерческих структур и т.д., может повлечь за собой катастрофические последствия. Нередко оказывается так, что менее зависящая от компьютеров инфраструктура оказывается более защищенной от информационных террористов и способной противостоять угрозам безопасности.

Сегодня, хакер, в общем — это эксперт и энтузиаст в любой технической или научной области, высоко ценящий нестандартное мышление и способность решать нетипичные задачи. Субкультура хакеров выработала определенный кодекс поведения по отношению друг к другу и систему ценностей, в которой особое место занимает тяга к знаниям и способность решать сложнейшие практические задачи. Представители данной субкультуры как правило не задумываются о возможных последствиях своих экспериментов, которые несут и без того деструктивный характер.

В связи с этим, с каждым годом во всем мире всё больше появляются клубы по интересам, так называемых «хакспейсов». Хакспейс — реальное (не виртуальное) место, где собираются люди с одинаковыми интересами, чаще всего научными, технологическими для общения, обмена знаниями и совместной деятельности и творчества. Хакспейсы предоставляют инфраструктуру необходимую для различных действий: помещения, электроэнергию, серверы и компьютерные сети с доступом в интернет, разнообразнейшие инструменты, аудио-оборудование, видеопроекторы и т.д. Фактически, появляются места, которые открывают новые возможности и предоставляют материальную и информационную базу для реализации различных проектов, которые ничем и никем не контролируются. Важно отметить, что возможности хакеров, при данном развитии общества, преумножаются путем использования доступных электронных устройств и современных технологий, таких как открытое программно-аппаратное обеспечение, быстрое прототипирование с использованием САПР, а так же 3D-печать. В совокупности с уменьшением цены различных технических средств и увеличением их доступности, проявляется проблема безопасности использования современных тех-

нических средств хакерами, которая затрагивает как безопасность человека, так и общества в целом.

На данный момент простой в использовании и доступной базой для создания инструментов, с помощью которых совершаются нарушения в сфере безопасности, являются микроконтроллерные наборы. Это некая программно-аппаратная вычислительная платформа, основными компонентами которой являются простая плата ввода-вывода с установленным на ней микроконтроллером и среда разработки программного обеспечения на си-подобном языке. Микроконтроллеры допускают достаточно несложное программирование и находятся в свободном доступе. Самые популярные из такого рода устройств на сегодня — это проект «Arduino» и другие конструкторы на базе микроконтроллеров семейства AVR. Такое устройство может использоваться как для создания автономных объектов, так и взаимодействовать с программным обеспечением, выполняемым на персональном или специализированном (военном, промышленном и т.п.) компьютере.

Применение микроконтроллеров и руководств по изготовлению различных устройств, которые находятся в свободном доступе в интернете на различных специализированных сайтах и форумах, мало чем ограничено. Среди всего многообразия использования можно выделить потенциально опасные направления, которые весьма популярны и широко представлены в Интернете:

- изготовление на основе наборов Arduino и специальных технических средств устройств, позволяющие взламывать электронные замки;
- подключение микроконтроллера к компьютеру, для дальнейшего взлома и подбора пароля для BIOS;
- сборка устройств, позволяющие перехватывать кодировку Princeton, с помощью которой общаются между собой бытовые приборы, для дальнейшего перехвата управления;
- разработка дешевых устройств для перехвата управления фарами авто, сигнализацией, оборудованными электроприводом окнами и электронными системами управления тормозами;
- сборка в домашних условиях на базе любого доступного микроконтроллера собственный беспилотный летательный аппарат, который может переносить предметы на расстояние или нести на борту камеру, что позволит производить видеозапись во время полета устройства;
- создание собственной системы безопасности для дома или умного дома, а так же устройств, предназначенных для взлома подобных систем.

Такое направление развития электроники и общества хакеров, а так же общественного движения под лозунгом «Сделай сам» ничем не ограничиваются. Постоянно появляются новые исследователи и первопроходцы, которые даже не догадываются о том, как воспримет общественность их наработки, и как они будут использованы.

Исходя из вышесказанного, можно выделить ряд задач, которые в дальнейшем могут стать серьезными пробле-

мами в сфере информационной безопасности, тесно переплетенными с административными и уголовно-наказуемыми правонарушениями. В первую очередь речь идет о бесконтрольности потенциально опасных и легко повторяемых разработок. Такие эксперименты и устройства могут быть использованы для разрушения промышленной инфраструктуры, а также для причинения вреда человеку или обществу. Очевидно, что необходим механизм контроля и регулирование таких действий, а так же размещения, воспроизведения, распространения, копирования такого рода информации или устройств. На данный момент в РФ законодательно регулируется только промышленное создание и изготовление автоматизированных систем (ГОСТ 34.601—90 «Разработка автоматизированных систем управления (АСУ)», стандарты ISO Standards — ICS 25.040.01 «Промышленные автоматизированные системы в целом»). [1,2]

Механизм контроля необходим для того, чтобы общество было готово и знало о такой угрозе, которая исходит не только со стороны хакеров и любителей, но и со стороны самих КТ, которые в последнее время выходят из виртуальности в реальный физический мир. На общедоступных сайтах в интернете, сегодня, можно приобрести практически любой материал для создания робота, беспилотного летательного аппарата, либо устройств, которые помогут вам перехватить управление уже существующими моделями. Использование собранного робота или устройства никак и ничем не регламентируется.

Так, люди все чаще приобретают роботов или умные устройства для улучшения качества своего быта, связи, развлечений и общения. Однако риск безопасности сбора информации объектами, которые движутся, для примера, вокруг дома, и нарушения конфиденциальности, еще не решен надлежащим образом. В последнее время появляются исследования зарубежных ученых, в которых анализируются проблемы безопасности, возникающие при повседневном использовании высокотехнологичных устройств и интеллектуальных систем. «Это не вопрос о злых роботах, но о роботах, которые могут неправильно использоваться. Надо уделять больше внимания роботам, которые становятся умнее и превращаются в злых. Но

есть и гораздо более широкие и более близкие перспективы риска, и это плохие люди, которые могут использовать роботов, чтобы делать плохие вещи». [3]

Известно, что Организация Объединённых Наций (ООН) уже сегодня обсуждает меры, которые предусматривают ограничение производства смертельного оружия — роботов и дронов.

«Слишком часто международное право реагирует лишь на следствия вместе со зверствами и страданиями, которые приносят боевые действия. Вместо созерцания и порицания уже произошедших событий, мы имеем реальный шанс сыграть на опережение и гарантировать обществу, что решение прервать чью-то жизнь будет находиться под жесточайшим контролем и целиком в руках человека, но не машины».

В качестве примера эффективности обсуждаемых мер в ООН можно привести запрет об использовании ослепляющего лазерного оружия, до того как начались испытания на людях. Так, комиссия взялась за роботов-убийц, против которых уже высказываются такие неправительственные организации, как Amnesty International и Human Rights Watch. [4]

Хакерство и ИТ не разделимые вещи, поэтому при увеличении количества умных и интеллектуальных устройств в повседневной жизни, мы увеличиваем количество потенциальных уязвимостей. Эти уязвимости могут быть в дальнейшем использованы хакерами. Таким образом, мы создаем все больше возможностей для злоумышленников, которые могут повлиять уже непосредственно на наш физический мир и нашу безопасность, что раньше не было характерно для слова «хакер».

Возможно, необходимо использовать полный или частичный запрет на разработку интеллектуальных автоматизированных систем или устройств, связанных с высокой потенциальной опасностью. А для этого необходимо достаточно оперативно выработать принципы классификации разрабатываемых устройств по уровню их потенциальной опасности. Скорее всего, необходимо лицензирование данного вида деятельности, ведь разработкой подобных систем могут заниматься не только фирмы, организации, но и группы энтузиастов в хакспейсах и других подобных местах.

#### Литература:

1. По материалам сайта it-gost.ru [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://it-gost.ru/content/view/56/40>, свободный. — Яз. рус. — Загл. с экрана.
2. По материалам сайта Международной организации по стандартизации [Электронный ресурс] — Режим доступа: [http://www.iso.org/iso/ru/iso\\_catalogue/catalogue\\_ics/catalogue\\_ics\\_browse.htm?ICS1=25&ICS2=040&ICS3=01](http://www.iso.org/iso/ru/iso_catalogue/catalogue_ics/catalogue_ics_browse.htm?ICS1=25&ICS2=040&ICS3=01), свободный. — Яз. рус. — Загл. с экрана.
3. Новостной сайт Робо-Новости [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://robomaniac.ru/news/Research/household\\_robots\\_news.html](http://robomaniac.ru/news/Research/household_robots_news.html), свободный. — Яз. рус. — Загл. с экрана.
4. По материалам сайта BBC-news [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.bbc.com/news/technology-27343076>, свободный. — Яз. англ. — Загл. с экрана.

## Социальная составляющая информационной безопасности

Амиров Азамат Жанбулатович, доктор PhD;

Султанова Бахыт Каиркеновна, профессор педагогических наук, доцент;

Шаханов Данияр Жанатулы, магистрант

Карагандинский государственный технический университет (г. Караганда)

Вопросы защиты от различных видов информационных воздействий, актуализовавшиеся в связи с развитием информатизации, интересуют многих исследователей современного общества, что подтверждается регулярным появлением в печати работ, затрагивающих проблемы информационной безопасности. В то же время, анализ научной литературы показывает, что методология исследования социально-философских, общетеоретических и правовых аспектов информационной безопасности разработана недостаточно глубоко. Отсутствие общепринятых понятий и категорий приводит к полисемии, обуславливает методологическую неопределенность целого ряда положений и терминов в области информационной безопасности и в свою очередь значительно снижает эффективность соответствующих научных разработок, а также результативность их практического применения. Дисциплинарная разрозненность имеющегося знания находится в неснятом противоречии с комплексным характером задач безопасности, что особенно ярко проявляется в условиях современного информационного общества.

Фрагментарное отображение проблемы информационной безопасности в общественном сознании приводит к разработке и реализации таких же фрагментарных мер защиты от информационной опасности, которые оставляют незащищенными наиболее критической и уязвимый элемент социально-технологической системы — человека и в первую очередь его сознание. До сих пор распространён выборочный подход к отдельным, преимущественно техническим и технологическим аспектам информационной безопасности, тогда как настоящей проблемой общества сегодня, вероятно, следует признать безопасность знания человека, являющееся наименее защищенным звеном социальной системы. Информация в современном обществе является важным условием прогрессивного развития человека и человечества в целом, но в тоже время, из-за своей амбивалентности, она может выступать катализатором негативных изменений.

Раскрытию некоторых аспектов информационной безопасности в контексте противодействия деструктивным влияниям информации на сознание современного человека и посвящена данная статья.

Каждая социальная система определяет, логически детерминирует информационные потоки, необходимые для ее нормального функционирования, поэтому объективной необходимостью является то, что информация, информационные влияния и способы обмена информацией в социуме видоизменяются по мере развития самих социальных систем. Так появление письменности, с ко-

торой связывают первую информационную революцию, было вызвано потребностью фиксации, концентрации и опосредствованной передачи имеющегося знания. Организация информационных потоков в объективируемой форме обеспечила передачу информации как пространственных, так и во временных границах. Возникновение следующей культуры передачи информации произошло вследствие изобретения печатного станка и привело к широкому распространению разнообразной информации, в том числе научных знаний. Эта информационная революция имела значительное влияние на развитие промышленности, культуры и других сфер человеческой деятельности. Следующая организационная структура информационных потоков связана с возникновением телеграфа, телефона, радио, а позднее и телевидения, которые еще большее расширили возможности сохранения и обратного (теперь уже практически мгновенного) распространения информации. С течением времени человечество стало ощущать потребность в еще более прогрессивных методах сохранения и передачи информации, а значит другой организации информационного пространства. Новую эпоху в истории человечества в 70-х гг. XX ст. открыли микропроцессорная техника и технологии, персональный компьютер, компьютерные сети и электронные коммуникации, а в настоящее время ее продолжают нанотехнологии и квантовый компьютер.

Как видим, давнее стремление человечества к экономии времени и затрат до сих пор актуально. Общественная потребность постоянного уплотнения временных рамок является одним из базовых принципов организации современной социальной системы, который в настоящее время реализуется путем создания все более емких, мощных и быстродействующих информационных систем, дальнейшей универсализации и стандартизации языков общения, знаковых систем и т.д. Как отмечает Г. Атаманов, «информация, которая циркулирует в обществе, моделирует, отображает в своей организации базовые принципы данной общественной системы» [1, 31], поэтому объективным в информационном обществе можно считать организационные структуры, в которых существует информация, пространство ее распространения.

Если объективность информации выражается в информационных процессах и отношениях, то ее субъективность — в сохранении способности субъектов отделяться от информации, принимать или отвергать, оценивать, формировать на ее основе свое собственное поведение и т.д. Субъективность как идеально-смысловая позиция человека в мире, объединяясь с предметно-деятель-



ностной активностью, воплощается в субъектность — возможность человека отделять себя от сообщений, событий в системе, способность строить такие отношения, в которых предметы и любые объекты (в том числе информация) приобретают некоторое значение и содержание, открывают себя субъекту.

Рассмотрим социально-правовые основания информационной безопасности через призму субъективности и объективности информационной среды.

Абсолютно логично предположить, что поскольку информационная сфера в своей структуре имеет объективные и субъективные составляющие, то и информационная безопасность должна быть направлена на защиту субъективного и объективного, материального и идеального. Не смотря на существование официального определения информационной безопасности, а также на довольно высокий профессиональный уровень ее изучения, на текущий момент с определением понятия «информационная безопасность» сложилась парадоксальная ситуация. С одной стороны, термин «информационная безопасность» давно известен и широко используется в публикациях, учебной литературе и законодательных документах разного уровня, а с другой стороны, в это понятие до сих пор вкладывается различное содержание. Так в учебном пособии Шаньгина [3, 10] приведено предельно суженное понятие информационной безопасности: «защищенность информации от незаконного ознакомления, преобразования и уничтожения, а также защищенность информационных ресурсов от воздействий, направленных на нарушение их работоспособности». То есть в данном случае под информационной безопасностью понимается лишь защита объективной составляющей информационной среды, а диалектически связанная с ней защита субъективной составляющей, т.е. возможность человека формировать свою идеально-смысловую позицию, игнорируется.

Определенной мерой такой терминологической неопределенности обусловлена тем, что проблематика информационной безопасности является очень сложной и многоаспектной. Чрезмерное внимание к проблемам защиты информации и пренебрежение другими аспектами информационной безопасности обусловлено тем, что знаковой особенностью трансформационных процессов середины XX века стало увеличение ценности информации во всех ее проявлениях. Практически сразу же в сознании людей укоренилось понимание того, что основным ресурсом современного глобализованного общества является информация, а созданные на ее основе информационные продукты являются условием эффективного функционирования и комфортного существования в данном социуме. Способность получить, обработать и использовать информацию во многом детерминирует уровень успешности человека в информационном обществе. Информация сегодня выступает и специфическим ресурсом, и важным фактором осуществления власти, организации и управления. В общественном сознании

информация начала воспринимается как товар, а товар нужно защищать от неправомерных посягательств. Информация является социальной ценностью, которую необходимо защищать от деструктивных влияний, способных привести к ее потере, снижению точности и полноты, изменению других параметров ее качества.

Основными свойствами информации как объекта защиты принято считать доступность, целостность и конфиденциальность. Доступность — это возможность использования информации всякий раз, когда в этом возникает необходимость. Информация становится недоступной в случае ее блокирования или уничтожения. Целостность информации (полнота и точность) нарушается при фальсификации, несанкционированной модификации, искривлении и т.п. Безопасность конфиденциальной информации (т.е. не подлежащей оглашке) нарушается вследствие ее несанкционированного копирования, похищения или потери.

Итак, в общем случае угрозы информационной безопасности можно разделить на:

1) нарушение доступности информации, то есть угрозы объективной составляющей информационной среды;

2) нарушение безопасности объекта / субъекта защиты вследствие деструктивных информационных воздействий дезориентации сознания, то есть угрозы субъективной составляющей информационной среды.

При исследовании субъективности и объективности в разрезе информационной безопасности четко прослеживается их диалектическое взаимодействие. Угрозы объективности, которые проявляются в искажении информации, разрушении механизмов, организационных структур и форм, в которых существуют информационные потоки и воплощаются базовые принципы существования всей социальной системы, оказывают влияние и на субъективную составляющую, ведь человеку гораздо тяжелее выработать свою идеально-смысловую позицию в состоянии хаоса и сплошной неразберихи, чем в состоянии относительного порядка. С другой стороны человек, который испытал деструктивное информационное влияние, может утратить способность оценивать информацию, принимать самостоятельные решения.

Усложнение общественной жизни, неравномерное распределение образования, культуры и информации неизбежно приводит к формированию «познавательных барьеров», затрудняющих осмысление социальных и культурных реалий. Человеку все труднее становится ориентироваться в происходящем, он теряет системный образ действительности, предпочитая упрощенную интерпретацию событий и явлений, поскольку серьезные знания и информация становятся для него слишком тяжелыми.

Таким образом, надежно защитить общество от деструктивного влияния современных информационно-коммуникационных технологий представляется возможным лишь путем развития информационной культуры и компетенции.



Литература:

1. Атаманов, Г. А. Информационная безопасность в современном российском обществе (социально-философский аспект): дис. ... канд. филос. наук: 09.00.11 / Атаманов Геннадий Альбертович. — Волгоград, 2012. — 168 с.
2. Шаньгин, В. И. Информационная безопасность компьютерных систем и сетей: Учеб. пособие / В. И. Шаньгин. — М.: ИД «Форум»: ИНФРА-М, 2013. — 416 с.
3. Information technology — Security techniques — Information security management systems — Requirements: ISO/IEC 27001:2011

## Реакция синтезаторов на паразитное приращение фазы опорного колебания

Анисимов Сергей Леонидович, кандидат технических наук, старший преподаватель  
Воронежский институт МВД России

Исследование реакции схем синтезаторов на паразитное приращение фазы опорного колебания необходимо по двум причинам. Во-первых, необходима проверка стабилизирующих свойств синтезаторов при включении в них цепи автокомпенсации частотных искажений, во-вторых, представляет интерес вопрос о том, каким образом использование цепи автокомпенсации влияет на паразитную фазовую модуляцию (ПФМ) синтезатора, являющуюся следствием действия дестабилизирующих факторов на опорное колебание.

Следует отметить, что в связи с тем, что цепь автокомпенсации используется только в первом кольце импульсно-фазовой автоподстройки частоты (ИФАПЧ1), исследование этой реакции можно провести только для первого кольца ИФАПЧ1, при этом сравнение реакции на паразитное приращение фазы опорного колебания следует провести для первого кольца ИФАПЧ1 схемы синтезатора с модуляцией по методу ЧМ1, а также для первого кольца ИФАПЧ1 схемы синтезатора с модуляцией по методу ЧМ1АК.

Для нахождения передаточных функций систем ИФАПЧ1 первой и второй схем преобразуем их к виду,

когда паразитное приращение фазы опорного колебания проходит на выход генератора, управляемый напряжением (ГУН1) по прямому каналу, при этом в преобразованных структурных схемах не будем учитывать цепи полезной модуляции в силу линейности систем.

На рис. 1 изображена структурная схема ИФАПЧ1 первого синтезатора с модуляцией по методу ЧМ1, а на рис. 2 структурная схема ИФАПЧ1 второго синтезатора с модуляцией по методу ЧМ1АК, в которых паразитные приращения фазы опорного колебания проходят на выход ГУН1.

Для определения передаточных функций колец ИФАПЧ1, изображенных на рис. 1 и рис. 2, составим их эквивалентные операторные схемы, причем под передаточными функциями будем понимать отношение операторного изображения паразитной девиации фазы выходного колебания  $\Delta\varphi_1(p)$  ГУН1 к операторному изображению паразитной девиации фазы опорного колебания  $\Delta\varphi_0(p)$  при нулевых начальных условиях, т.е. при условии, что кольцо ИФАПЧ1 обоих синтезаторов находится в режиме синхронизма и отсутствует полезное модулирующее воздействие.

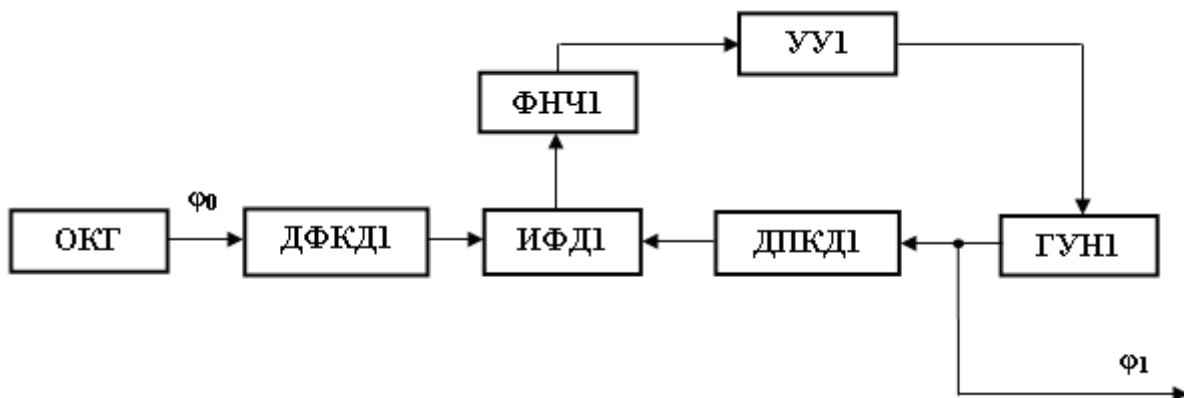


Рис. 1. Структурная схема ИФАПЧ1 синтезатора с модуляцией по методу ЧМ1, в котором ПФМ опорного колебания проходит на выход ГУН1

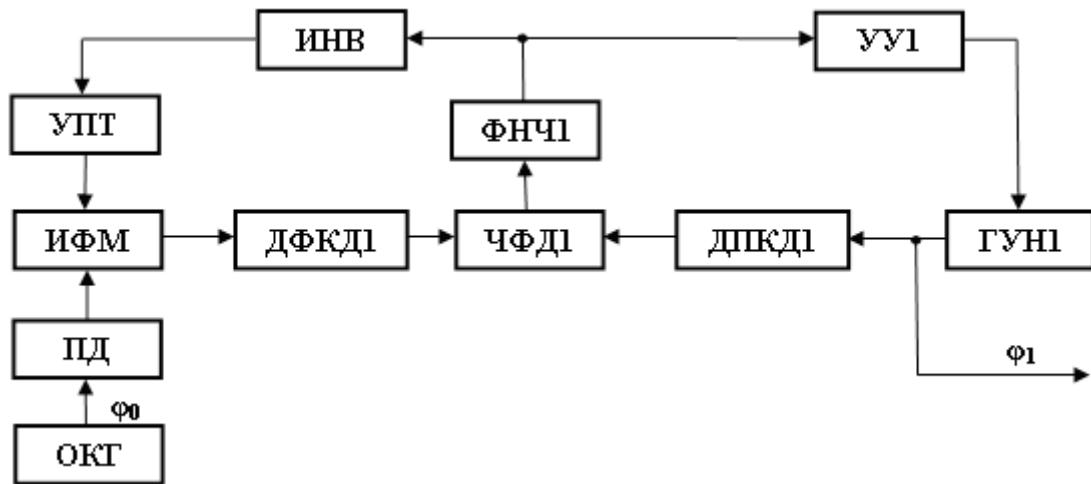


Рис. 2. Структурная схема ИФАПЧ1 синтезатора с модуляцией по методу ЧМ1АК, в котором ПФМ опорного колебания проходит на выход ГУН1

При составлении эквивалентных операторных схем примем коэффициент усиления УУ1  $K_1 = 1$ , а также примем, что коэффициент деления ПД  $R_n$  равен единице. С учетом этого эквивалентные операторные схемы колец

ИФАПЧ1 синтезаторов с модуляцией по методу ЧМ1 и по методу ЧМ1АК, отражающие зависимость  $\Delta\varphi_1(p)$  от  $\Delta\varphi_0(p)$ , будут иметь вид, изображенный, соответственно, на рис. 3 и рис. 4.

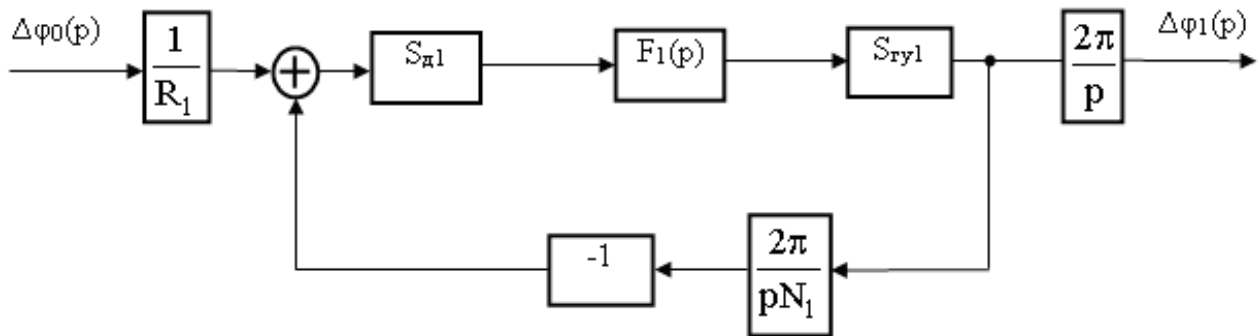


Рис. 3. Эквивалентная операторная схема кольца ИФАПЧ1 синтезатора с модуляцией по методу ЧМ1, отражающая зависимость  $\Delta_1(p)$  от  $\Delta_0(p)$

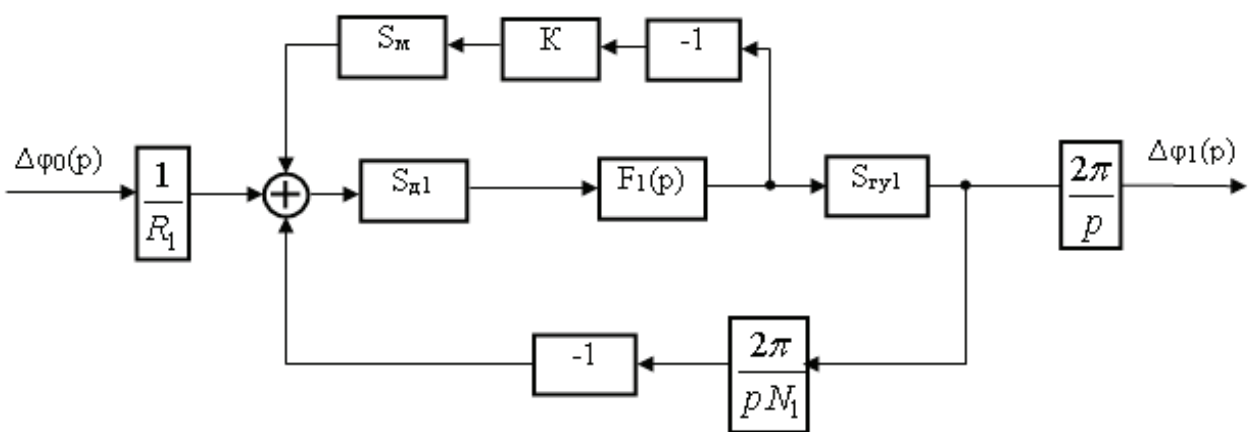


Рис. 4. Эквивалентная операторная схема кольца ИФАПЧ1 синтезатора с модуляцией по методу ЧМ1АК, отражающая зависимость  $\Delta_1(p)$  от  $\Delta_0(p)$

В соответствии с рис. 3 нормированная на  $N_1/R_1$  передаточная функция кольца ИФАПЧ1 первого синтезатора

$$W_{\text{ЧМ1}}^n(p) = \frac{\Delta\varphi_1(p)}{\Delta\varphi_0(p)} = \frac{1}{1 + \frac{pT_1}{F_1(p)}} \quad (1)$$

При использовании в качестве ФНЧ1 интегрирующего фильтра выражение (1) можно переписать в виде:

$$W_{\text{ЧМ1}}^n(p) = \frac{1}{1 + pT_1 + p^2T_1T_{н1}} \quad (2)$$

Эквивалентную операторную схему, изображенную на рис. 4 с помощью метода преобразования эквивалентных схем можно преобразовать к виду, изображенному на рис. 5, на которой передаточная функция автокомпенсатора

$$W_{\text{АК}}^n(p) = \frac{1}{1 + N_p F_1(p)}, \quad (3)$$

где  $N_{p1} = R \cdot S_m \cdot S_{д1} \cdot \frac{1}{R_1}$ .

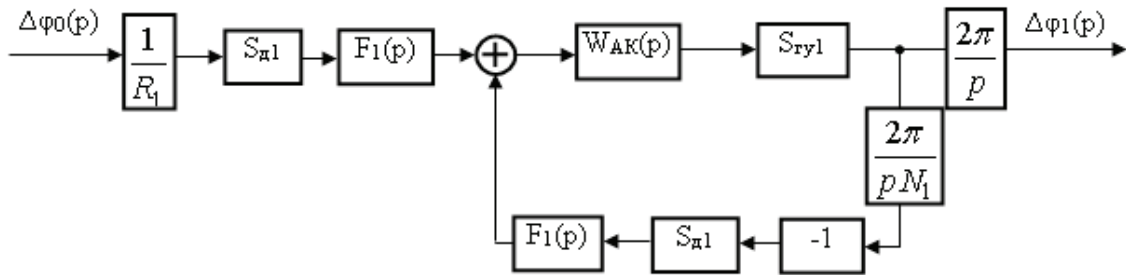


Рис. 5. Преобразованная эквивалентная операторная схема, изображенная на рис. 4

В этом случае нормированная на  $N_1/R_1$  передаточная функция кольца ИФАПЧ1 второго синтезатора

$$W_{\text{ЧМ1АК}}^n(p) = \frac{\Delta\varphi_1(p)}{\Delta\varphi_0(p)} = \frac{1}{1 + \frac{pT_1}{F_1(p)} [1 + N_p F_1(p)]} \quad (4)$$

При использовании в качестве ФНЧ1, как и в предыдущем случае, интегрирующего фильтра выражение (4) можно переписать в виде:

$$W_{\text{ЧМ1АК}}^n(p) = \frac{1}{1 + pT_1(1 + N_p) + p^2T_1T_{н1}} \quad (5)$$

Сравнивая (2) и (5), видно, что их характеристические уравнения совпадают, следовательно, обе эти системы устойчивы.

Кроме этого, из сравнения (5) с (2) видно, что для анализа частотных характеристик колец ИФАПЧ1 обоих синтезаторов можно пользоваться выражением (5), полагая, что для синтезатора с модуляцией по методу ЧМ1  $N_p = 0$ . В связи с этим в дальнейшем для сокращения записи введем для обоих синтезаторов обозначение передаточных функций первых колец ИФАПЧ1  $W^n(p)$ .

Для анализа амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) колец ИФАПЧ1 обоих синтезаторов, которые характеризуют реакцию предложенных схем синтезаторов на паразитные приращения фазы опорного колебания заменим в (5)  $p$  на  $j\Omega$  и получим комплексную частотную характеристику (КЧХ) колец ИФАПЧ1

$$W^n(j\Omega) = \frac{1}{1 - \Omega^2 T_1 T_{н1} + j\Omega T_1 (1 + N_p)} \quad (6)$$

Разделяя КЧХ (6) на действительную и мнимую составляющие и находя модуль (6), получим выражение для АЧХ колец ИФАПЧ1

$$A^n(\Omega) = \frac{1}{\sqrt{(1 - \Omega^2 T_1 T_{н1})^2 + [\Omega T_1 (1 + N_p)]^2}} \quad (7)$$

Расчет АЧХ проведем с использованием программы Math CAD 7.0 по формуле

$$A^n(F) = \frac{1}{\sqrt{[1 - (2\pi F)^2 T_1 T_{н1}]^2 + [2\pi F T_1 (1 + N_p)]^2}} \quad (8)$$

На рис. 6 приведены АЧХ при  $T_{н1} = 16 \cdot 10^{-3}$  с, а на рис. 7 — при  $T_{н1} = 8 \cdot 10^{-3}$  с, при этом на обоих рисунках приведены графики, рассчитанные при  $T_1 = 5 \cdot 10^{-3}$  с. Кроме того, на обоих рисунках сплошные линии соответствуют  $N_p = 0$ , точечные —  $N_p = 10$ , пунктирные —  $N_p = 100$ .

Из сравнения графиков, приведенных на этих рисунках, видно, что введение дополнительной цепи автокомпенсации частотных искажений закона модуляции приводит к сужению полосы пропускания эквивалентного ФНЧ, каковым являются кольца ИФАПЧ1 обоих синтезаторов для паразитных отклонений фазы опорного колебания, являющихся следствием влияния различных дестабилизирующих факторов. Кроме того, анализ этих рисунков показывает, что при использовании цепи автокомпенсации полоса пропускания эквивалентного ФНЧ не зависит от полосы пропускания ФНЧ1 в цепи управления, а опреде-

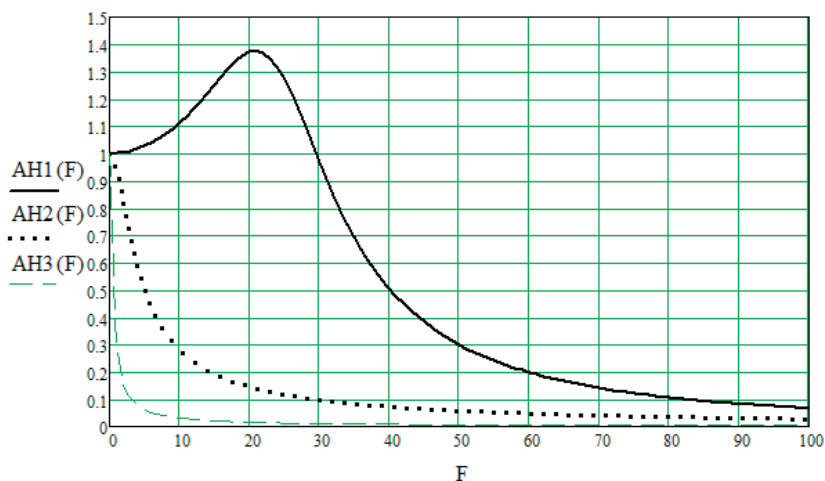


Рис. 6. АЧХ при  $T_{n1} = 16 \cdot 10^{-3}$  с

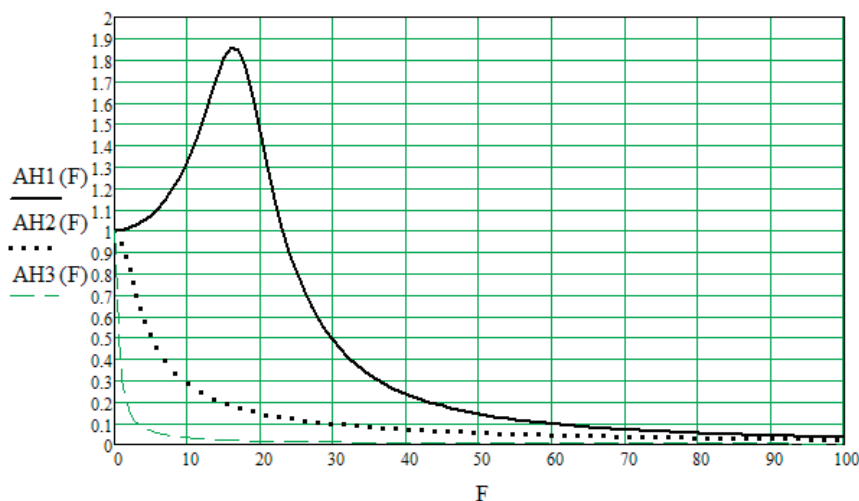


Рис. 7. АЧХ при  $T_{n1} = 8 \cdot 10^{-3}$  с

ляется только значением коэффициента регулирования  $N_p$ . Это благоприятно сказывается на спектральной частоте выходного сигнала синтезатора, так как при этом уменьшается передаточная модуляционная функция.

Введение дополнительной цепи авторегулирования сужает полосу пропускания кольца ИФАПЧ1, что благоприятно сказывается на спектральных характеристиках выходного сигнала.

Литература:

1. Андрищенко, В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Андрищенко. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1990. — 251 с.
2. Анисимов, С.Л. Тандемные цифровые синтезаторы частот с дробно-кратным делителем частоты второго кольца / С.Л. Анисимов // Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы эксплуатации систем охраны и защищенных телекоммуникационных систем»: сборник материалов. — Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2007. — с. 8–9.
3. Анисимов, С.Л. Построение двухкольцевых частотно-модулированных синтезаторов частот на современной цифровой элементной базе / С.Л. Анисимов, П.А. Попов // Вестник Воронежского института МВД России. — 2007. — № 1. — с. 174–177.
4. Артым, Л.Д. Применение фазовой автоподстройки частоты / А.Д. Артым // Радиотехника. — 1958. — № 8. — с. 76–79.
5. Артым, Л.Д. Частотные методы анализа и синтеза систем ФАПЧ / Л.Д. Артым, С.В. Трифонов. — М.: Связь, 1976. — 160 с.

6. А.с. 1707765 СССР, МКИ H03L 7/16. Цифровой синтезатор частот с частотной модуляцией / И.П. Усачев, П.А. Попов (СССР) // Б.И. — 1992. — № 3. — 235 с.
7. Белов, Л. А. Синтезаторы частот и сигналов: учебное пособие / Л. А. Белов. — М.: САЙНС-ПРЕСС, 2002. — 80 с.
8. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического регулирования / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. — М.: Наука, 1972. — 767 с.
9. Борисов, В. И. Помехозащищенность систем радиосвязи. Вероятностно-временной подход / В. И. Борисов, В. М. Зинчук. — М.: Радио и связь, 1999. — 252 с.
10. Борисов, В. И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью / В. И. Борисов, В. М. Зинчук и др. — М.: Радио и связь, 2003. — 640 с.

## Аминокислотный состав зерен фасоли, выращиваемых в Кыргызстане

Бодошов Айбек Умарович, ассистент

Кыргызско-Турецкий университет «Манас» (г. Бишкек, Кыргызская Республика)

*По результатам исследования химического состава зерен фасоли местных сортов зерна содержат: белки 20–30%, липиды 0,7–3,6%, углеводы 50–60%, зола 3,1–4,6%, клетчатка 2,3–7,1%, влага 7,1–8,5%. Как известно, фасоль содержит высокую концентрацию белков приблизительно равно к мясным продуктам. Также известно то, что растительные белки легко усваиваются. Качество белков определяется содержанием незаменимых аминокислот, их соотношение. В исследовании аминокислотного состава зерен фасоли были исследованы 13 местных сортов фасоли и использовано высокоэффективная жидкостная хроматография марки Agilent 1200, универсальная колонка C<sub>18</sub>. Метод аминокислотного анализа состоит из: пробоподготовки, изоляция белков, деривитизация и инъекция проб в хроматограф.*

**Ключевые слова:** зерна фасоли, аминокислотный состав, белки, аминокислоты, хроматография.

Фасоль (*Phaseolus L.*) относится к группе важнейших зернобобовых культур, имеющих большое продовольственное значение. Фасоль бывает однолетним и многолетним. Как известно, бобовые распространены в обоих полушариях планеты, особенно в теплых районах. Родиной зернобобовых считается Южно Американский континент. На сегодняшний день известны более 150 видов фасоли, но к сожалению в агрокультуре выращиваются лишь малая часть из этих видов. Многие виды растут в дикой природе, не освоены связи с чем не употребляются в виде пищи в рационе потребителей. По физическим свойствам фасоль делят на американскую фасоль и на азиатскую фасоль. Американская фасоль крупная и длинная, тогда как азиатская фасоль мелкая и короткая по длине.

В Кыргызстане сегодня в аграрном секторе выращиваются более 20 видов фасоли. По выше указанным критериям многие сорта местной фасоли относятся к американскому виду [2]. К американскому виду из местных сортов можно перечислить такие сорта как: лопатка, китайка, элита, ташкентский, ребая, боксер, скороспелка, мотоциклист, королевский. Также имеются и азиатские виды которым относятся такие сорта как: сахарный, дичка и гусинные лапки. Из этих сортов у фермеров и у потребителей наиболее популярным сортом считают сорт сахарный, относящийся к первому однотонно-белый сорту [1, 2, 3, 4, 5].

По химическому составу в фасоли много углеводов и белка. Высокое содержание белков в фасоли делает

ее одним из важных источников белков и дает возможность использованию ее в решении белкового дефицита в рационе потребителей. Использование фасоли в качестве пищи и пищевых ингредиентов важная стратегическая и экономическая политика для страны в целом. Фасоль в зависимости от сорта содержит в среднем 18–25% белка. Наимаксимальное содержание белка из местных сортов: китайка, элита, пестрый, ребая и дичка [6, 7, 8].

Цель данной работы исследование аминокислотного состава зерен фасоли местных сортов. Выявить сорта наиболее богатые по аминокислотному составу. Подобрать комбинацию этих сортов фасоли по аминокислотному составу для разработки новых рецептов и пищевых добавок в пищевой отрасли.

### Материалы и методы

В исследовании были использованы 13 местных сортов: однотонные-белые сорта: лопатка, сахарный, китайка; однотонно-цветные сорта: ташкентский, элита, черная фасоль; пестрые сорта: боксер, ребая, скороспелка, мотоциклист, гусинные лапки, юбка, королевский, дичка. Образцы были отобраны в Кара-Бууринском и в Бакай-Атинском районах Таласской области. Образцы фасоли были отсортированы и отчищены от загрязненных, потресканных и от поврежденных зерен. После очистки незамедлительно было определено содержание влаги по ГОСТ 9404–88 методу. Пробы хранились при ком-



натной температуре 25°C. После зерна фасоли измельчили в лабораторном блендере и просеивали полученную муку (рис 1. а) на ситах проводимостью 300 микрон. Хроматографический анализ проводился на базе Кыргызско-Турецкого университета “Манас”, в отделении пищевой инженерии на высокоэффективном жидкостном хроматографе марки Agilent 1200. Проводился ввод аминокислотных стандартов: L-аланин, L-аргинин, L-глицин, L-лейцин, L-тирозин, L-валин, L-изолейцин, L-лизин, L-метионин, L-орнитин, L-фенилаланин, L-треонин, L-триптофан, L-гистидин, L-пролин, L-глутаминовая кислота, L-аспаргиновая кислота (рис. 1 ж) и отстроена калибровочная линия, где коэффициент корреляции составил ( $R^2 \geq 0,95$ ). Как мобильная фаза использовались: метанол, ацетонитрил, дистиллированная вода,

буферный раствор. Этапы проведения анализа на высокоэффективном жидкостном хроматографе: взвешивали 0.1 г исследуемого образца, изоляция белков проводилась в специальных посудах фирмы Duran размер 16 x 125 мм (рис. 1 б), куда добавляли 15 мл 6 н. HCL, продували под газом N<sub>2</sub> в среднем 3–4 минут, держали в термостате при 110°C 24 часа [1]. В этапе деривитизации изолированному образцу добавляли диэтил метил, метанол, борат буфер, выдерживали образцы в водяной бане 30 мин. С помощью автоматических пипеток отбирали пробу в объеме 1,0–1,5 мл и фильтровали в фильтрах проводимостью 25/0,45 мк, после инъецируем пробу в хроматограф. Для каждого сорта по аминокислотному составу проводилось параллельно 5 анализа. На программе SPSS обрабатывали данные, полученные результаты приведены в выводах.

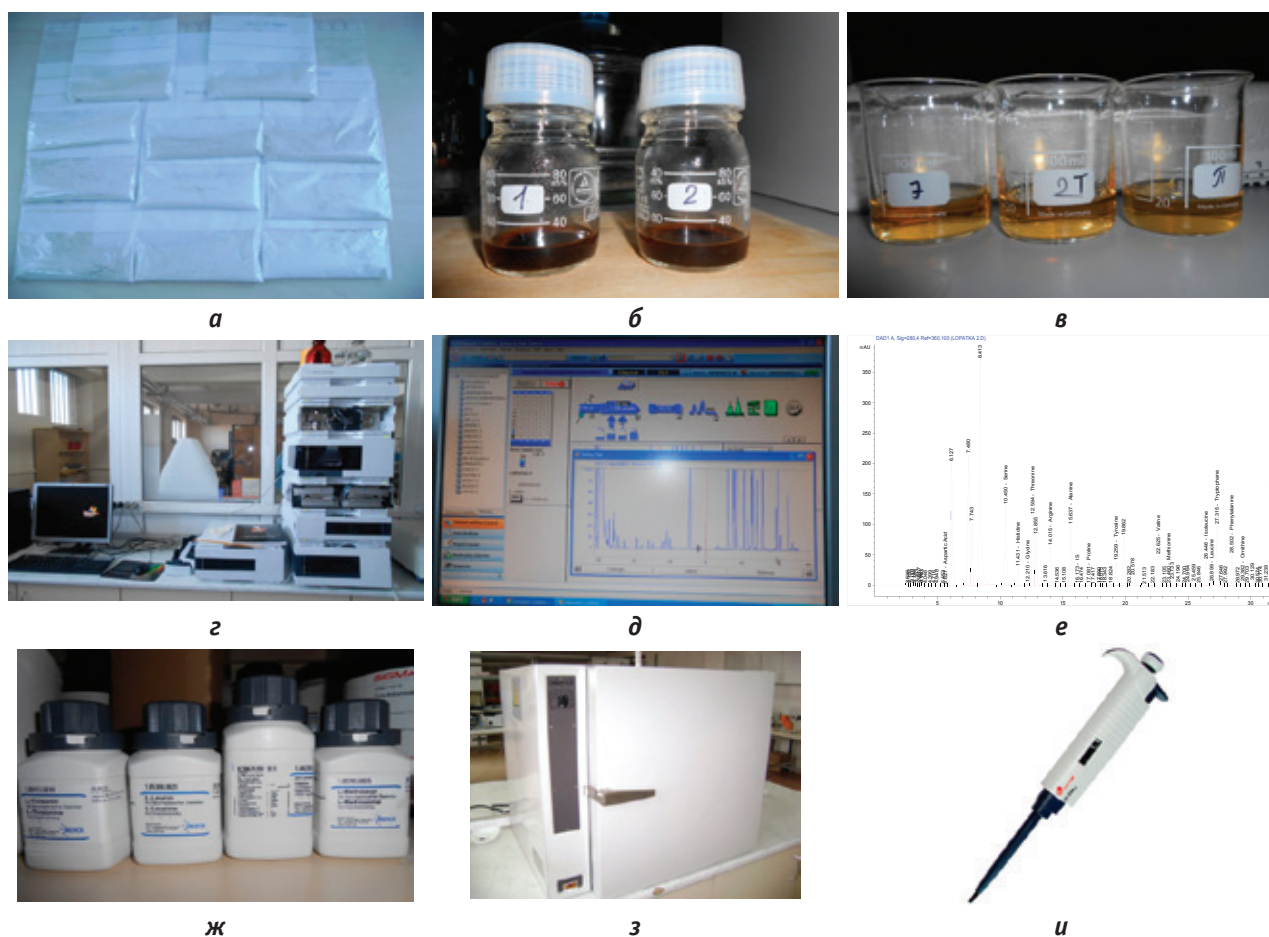


Рис. 1. а — измельченные образцы фасоли, б — изолированные образцы фасоли (Duran), в — деривитизированные образцы фасоли, г — высокоэффективный хроматограф марки Agilent 1200, д — хроматограммы, е — хроматограмма сорта лопатка по аминокислотному составу, ж — стандарты аминокислот, з — термостат марки СНОЛ 3,5, и — автоматические пипетки.

**Вывод**

Из исследованных 13 сортов фасоли местного происхождения по содержанию высокого количества незаменимых аминокислот получены следующие выводы: валин (1,126 г/100г); лейцин (2,403 г/100 г); изолейцин

(0,998 г / 100 г); треонин (1,567 г/100 г); лизин (2,744 г/ 100 г) больше всего в сорте сахарный; метионин (0,422 г/ 100 г) в сорте пестрый; фенилаланин (2,023 г/ 100 г) в сорте ребая, триптофан (1,097 г/ 100 г) в сорте элита. По содержанию белков сорт сахарный является средним, где содержание белков составляет 21,15% по сравне-



нием сортами китайка, элита, пестрый, ребя и дичка, у которых содержание белка в среднем выше 23%. Но по аминокислотному составу данный сорт является лидирующим из всех остальных сортов. При использовании зерен фасоли в пищевой отрасли рекомендуется использование сорта сахарный с связи его богатым аминокислотным составом.

Аргинин (2,407 г/ 100 г); тирозин (1,436г/100г); аланин (1,431г/100г); серин (2,339г/100г) больше всего содержится в сорте сахарный; гистидин (0,992г/100г) в сорте элита; орнитин (0,123г/100г) в сорте боксер, пролин (1,665г/100г) в сорте ташкентский; глутаминовая

кислота (5,00г/100г) в сортах сахарный и (4,276г/100г) гусинные лапки; аспаргиновая кислота (2,039г/100г) в сорте китайка. По итогам аминокислотного состава определены содержание 17 аминокислот в 13 сортах фасоли местного происхождения. Из этих сортов по высокой концентрации аминокислотного состава можно выделить следующие сорта как: сахарный, боксер, китайка, ташкентский, гусинные лапки. Метод по определению аминокислотного состава дал очень хорошие результаты и в дальнейшем планируется его использовании для определения аминокислотного состава зерен фасоли после гидротермической обработки.

Литература:

1. M. J. Gonzalez-Castro, J. Lopez-Hernández\*, J. Simal-Lozano, and M. J. Oruña-Concha Determination of Amino Acids in Green Beans by Derivatization with Phenylisothiocyanate and High-Performance Liquid Chromatography with Ultraviolet Detection. *Journal of Chromatographic Science*, Vol. 35, April 1997.
2. Бодошов, А. У. Материалы научного семинара молодых ученых: "Пищевые науки: перспективы региональных и международных исследований". «Определение физических и химических свойств зерен фасоли, выращиваемых в Кыргызстане». Сборник Докладов. Кыргызстан-Бишкек, 2014-С.84–89.
3. Alimkulov, B. B. *Vodniy rejim fasoli obyknovennoi*. — В.: Typography OcOO «Kut-Ber», 2010. — 146 p.
4. Felix, U. Asoiro, M. Eng. I and Anthony O. Ani, M. Eng. Determination of some Physical Properties of African Yam Beans. *Pacific Journal of Science and Technology*. 12 (1):374–380.
5. Кыдыралиев, Н. А., Бодошов А. У. «Определение некоторых физических свойств зерен фасоли, выращиваемых в Таласской области Кыргызской Республики». Татарстан-Казань, Журнал «Молодой Ученый», 5-й вып., 2014-С.70–74.
6. Бодошов, А. У. Материалы Международного Пищевого Конгресса: Novel Approaches in Food Industry, NAFI 2014. «Some Physical Properties of String Bean Grains», Турция-Кушадасы. 2014-С.59.
7. Асанбаева, Г. А. Төө буурчак. Б.: 2004.
8. Galedar, M.N., A. Jafari and A. Tabatabaee, 2008. Some physical properties of wild pistachio nut and kernel as a function of moisture content. *Journal of Physics and Environmental and Agricultural Sciences*, 22: 117–124.

## Анализ применения природного газа в качестве моторного топлива на дорожно-строительных и коммунальных машинах

Бруданов Антон Михайлович, студент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

### Analysis of the use of natural gas as a fuel for road construction and utility vehicles

Brudanov Anton Mikhailovich

*Статья посвящена оценке применения природного газа в качестве моторного топлива в дизельных двигателях. Отмечены достоинства и недостатки использования компримированного нефтяного газа. Представлены показатели экономичности и эффективности применения газодизельных установок на дизельных двигателях внутреннего сгорания. Рассмотрены особенности эксплуатации газодизельных двигателей.*

**Ключевые слова:** газодизельный двигатель, газозодушная смесь, газовые топлива, природный газ, газодизельное оборудование, газобаллонное оборудование.

В современный век передовых технологий отрасль двигателестроения делает большой упор на экологичность, производительность и эффективность работы

ДВС. Одним из наиболее популярных направлений отрасли является разработка новых или модернизация уже существующих двигателей для работы строительно-до-

рожной и коммунальной техники на альтернативных топливах. Среди ряда альтернативных топлив для дизельных двигателей хорошо зарекомендовал себя природный газ. Содержание метана в природном газе свыше 90%, поэтому его относят к экологически чистому топливу, в нем практически отсутствуют сернистые соединения и ароматические углеводороды, это имеет большое значение для снижения уровня дымности и выбросов твердых частиц с отработавшими газами.

Использование газообразного горючего возможно в дизелях путем преобразования дизельного агрегата в двигатель с искровым зажиганием или полным переходом работы ДВС на газодизельный процесс. Двигатели с воспламенением газовой смеси от запальной дозы дизельного топлива наиболее распространены. Количество запальной дозы в газодизельном цикле составляет 15–30% дизельного топлива в зависимости от режима работы. Преимуществом этого способа является возможность быстрого перехода на работу с жидкого топлива на газообразное и обратно, а так же отсутствие существенных конструктивных изменений базового двигателя.

Машины, работающие на газодизельной смеси отличаются от базовых наличием баллонов с сжатым газом, которые крепятся на крышу или раму машины. Рабочее давление газа в баллонах не более 40 МПа. Так же одной из особенностей модификации техники, имеющей газобаллонное оборудование, является увеличение веса (около 130кг). При работе двигателя

в режиме газ-дизель, 70–85% газовой смеси сгорает без детонации с наибольшей эффективностью.

Используя метан в качестве основного топлива, можно добиться замещения дизельного топлива газом до 80%, тогда как пропаном заместить удастся не более 60%. Достоинством применения в качестве горючего пропана, является широкая заправочная сеть и возможность использования более емких, легких баллонов. Плюсами использования метана являются большой процент замещения топлива и низкая стоимость. Поэтому при переходе на газодизельную смесь чаще всего используют метан.

Основной принцип работы системы питания газодизеля заложен на свободном всасывании газа под действием разрежения во впускном тракте ДВС. Выходящий из баллонов газ, прогревается до температуры не ниже 15°C в теплообменнике жидкостью, которая используется для охлаждения воздушного компрессора двигателя, и поступает в редуктор высокого давления. Под давлением, сниженным до 0,1 МПа, газ подается к электромагнитному клапану с фильтром, который очищает его от различных механических примесей. В редукторе давление газа снижается двумя ступенями (сначала до 0,02 МПа, а затем до нуля) и он через диффузор смесителя засасывается турбокомпрессором во всасывающий коллектор двигателя.

Дозирование газа осуществляется регулируемым дросселем дозатора, который в режиме газодизеля управляется штатным регулятором ТНВД. Разрежение, которое создается в диффузоре смесителя, передается разгру-

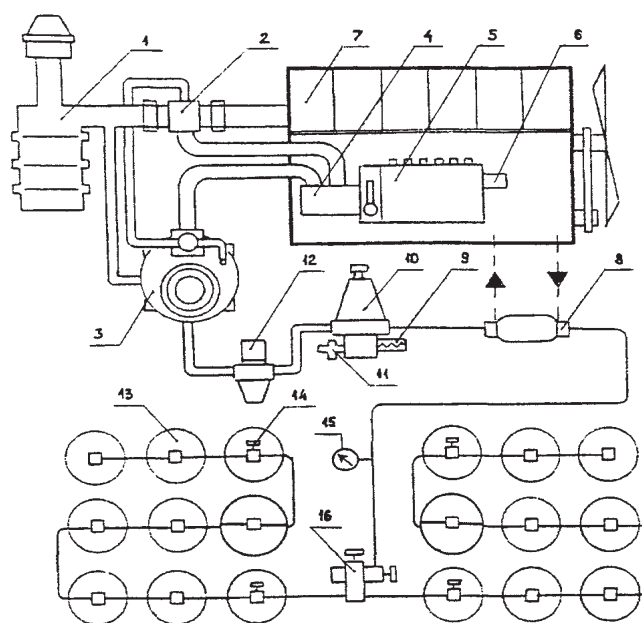


Рис. 1. Схема системы питания газодизеля трактора К-700: 1 — воздухоочиститель; 2 — смеситель; 3 — редуктор низкого давления; 4 — дозатор; 5 — ТНВД; 6 — ограничитель запальной дозы жидкого топлива; 7 — дизель ЯМЗ-240Н; 8 — подогреватель газа; 9 — предохранительный клапан; 10 — редуктор высокого давления; 11 — датчик давления; 12 — электромагнитный клапан-фильтр; 13 — баллон; 14 — расходный вентиль; 15 — манометр; 16 — крестовина с заправочным (наполнительным)

зочному устройству двухступенчатого редуктора 3. Ограничитель запальной дозы 6 выполнен в виде жесткого упора рейки ТНВД с приводом от электромагнита.

В 2005 году под руководством Макаренко Л. В. ФГУ «Кубанская МИС» проводила испытания работы трактора К701 с двигателем ЯМЗ-240Б работающим как на дизельном, так и на газодизельном топливе. Результаты испытаний оказались вполне положительными. Мощность упала всего на 4%, крутящий момент снизился на 2%, а расход дизельного топлива уменьшился на 40%. При этом производительность при выполнении технологических операций снизилась несущественно, качество работы соответствовало ТУ на сельскохозяйственные машины агротехническим требованиям. По словам Макаренко Л. В. за счет разницы в цене газа и дизельного топлива достигается существенный экономический эффект от использования газодизельного топлива. Похожие испытания газобаллонного трактора К-701 в агрегате с почвообрабатывающими машинами в том же году проводил испытатель Гусев В. Г. на ФГУ «Владимирская МИС». Результаты, которых, так же дали положительный результат. В протоколе испытаний Гусев В. Г. отмечает, что руководство по эксплуатации трактора необходимо дополнить сведениями по газобаллонному оборудованию. А так же упоминается о периодичности ТО газобаллонного оборудования, что в свою очередь несет дополнительные затраты. В заключении протокола испытаний сказано, что опытный образец газобаллонного трактора имеет 5 несоответствий стандартам безопасности газобаллонного оборудования. Использование техники несоответствующей стандартам безопасности запрещено Государственным надзором за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники.

Исследования Вербовского В. С. в научной работе подтверждают, что при снижении запальной дозы до 12% сокращается расход дизельного топлива по сравнению с обычным газодизельным процессом на 20–33% условного топлива. Но сказывается ли такой подход положительно на практике? Зачастую техника работает в жестких условиях, например при отрицательных температурах. Тогда двигателю необходимо больше пусковой энергии. В диссертации Камышникова О. В. говорится, что при повышенном количестве природного газа в смесевом топливе цетановое число снижается с 45 до 35 единиц и ниже. При цетановом числе ниже 40 резко возрастает задержка горения и скорость увеличения давления в камере сгорания. Это приведет к невозможности пуска двигателя при газодизельном процессе.

Чаще всего в области исследований использования в качестве топлива газодизельную смесь, акцентируют внимание на экономической эффективности и анализе

производительности работы машины, упуская тот факт, что газодизельные установки имеют значительные недостатки, которые спустя некоторое время могут сформировать затраты перекрывающие изначально сэкономленные денежные средства. К примеру, в статье Позднякова А. А. при сравнительном анализе работы автомобиля на дизельном и газодизельном режиме за основу был взят технико-экономический расчет, который включал в себя только топливно-экономические показатели. Затраты на ТО и ремонт установки, потери по производительности и грузоподъемности, более быстрый износ основных деталей основного агрегата, эти показатели в расчет не входили, хотя и были подчеркнуты как существующие.

Подводя итоги, хочется добавить, что воздушно-газовые смеси сгорают с меньшей скоростью, но при этом с выделением большого количества теплоты относительно воздушно-дизельной смеси. Высокий температурный режим в камере сгорания ДВС и «сухость» газа приводят к заметному износу направляющих втулок и седел клапанов, что повлечет за собой дополнительные затраты на ремонт.

Использование газодизельного топлива приводит:

- не значительной потери мощности;
- быстрому износу клапанов и их седел;
- снижению пусковых качеств, при низких температурах;
- неустойчивой работе при газодизельном режиме в диапазоне частот вращения коленчатого вала двигателя менее 1400 об/мин;
- дополнительным затратам на ремонт и ТО.

Необходимо учитывать, что сеть автомобильных газовых наполнительных компрессорных станций (АГНКС) мало развита в нашей стране, что тоже является большим препятствием для перевода техники на газодизельное топливо. В 2015 году на территории Российской Федерации действует 247 АГНКС. Мировой рынок потребления компримированного природного газа характеризуется большим ростом потребления и опережающим развитием инфраструктуры. Так, например, в Китае на данный момент действует 5730 АГНКС, в Пакистане около 3000, Иране 2186 ед.

В качестве вывода, можно отметить, что при всех своих положительных качествах на данный момент времени, использование газодизельного топлива не является эффективным методом снижения затрат при работе строительной-дорожной и коммунальной техники, так как влечет за собой целый ряд дополнительных затрат и технических недочетов. Для того, чтобы переоборудовать спецмашину необходимо разрабатывать индивидуальное техническое решение из за особенностей конструкции различной техники.

#### Литература:

1. Пугин К. Г., Юшков В. С., Бургонутдинов А. М. Развитие и современное состояние строительной-дорожной отрасли: учебное пособие; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное

образовательное учреждение высш. проф. образования «Пермский нац. исслед. политехн. ун-т». Пермь, 2012. — 193с.

2. Пугин К.Г., Бургонутдинов А.М. Машины для строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог. ч.1. Дорожные катки и одноковшовые погрузчики — Пермь: Пермский нац. исслед. политехн. ун-т». Пермь, 2011. — 172с.
3. Утев, М.А., Пугин К.Г., Кивокурцев О.А Исследование тягово-сцепных характеристик универсальной роботизированной платформы для уборки снега: Бюллетень транспортной информации. 2014. № 1 (223). с. 33–35.
4. Кивокурцев, О. А., Пугин К.Г., Утев М.А. Классификация многопрофильных роботизированных платформ по тягово-сцепным характеристикам: Бюллетень транспортной информации. 2014. № 8 (230). с. 28–33.

## Оценка перспектив развития smart-материалов и smart-конструкций

Бруданов Антон Михайлович, студент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

### Estimation of prospects of development of smart-smart-materials and constructions

*Статья посвящена оценке применения smart-материалов или smart-конструкций. Рассмотрены области использования умных материалов и их способности. Проведен анализ развития концепции систем smart-материалов. Приведены примеры практических приложений smart-материалов.*

**Ключевые слова:** smart-материал, smart-конструкции, датчики, сенсоры, чувствительные системы, пьезоэффект.

Концепция систем smart-материалов или smart-конструкций является относительно новой. В последнее время ей уделяется большое внимание в научных исследованиях и различных приложениях. При оценке перспектив применения smart-материалов в качестве примера можно привести выдержки из отчета 1996 года «Новые материалы для грузовых и пассажирских транспортных средств нового поколения», подготовленного в США совместно Комитетом по новым материалам для современных гражданских самолетов, Комиссией по конструкциям и техническим системам и Национальным исследовательским советом. Эти организации пришли к следующим выводам:

— в ближайшие 15–20 лет конструкции, содержащие элементы из адаптивных материалов, станут доступны, практичны и достаточно экономичны, что сделает возможным их применение для грузовых и пассажирских самолетов;

— область smart-материалов исследуется экстенсивно, но быстро развивающиеся технологии позволяют реализовывать разработки в данной области;

— способности smart-материалов, в первую очередь, найдут применение для мониторинга состояния конструкций и фиксирования состояния окружающей среды;

— сначала smart-материалы найдут применение в самой простой форме — в виде пассивных систем. С момента появления этих выводов прошло уже более 15 лет, и анализ литературы показывает, что они близки к настоящей реальности.

Smart-материалы или smart-конструкции, которые также известны в литературе как интеллектуальные, чувствительные, многофункциональные или адаптивные, можно охарактеризовать как системы, которые изменяют свои свойства в зависимости от изменения окружающей среды, которое они фиксируют.

В общем случае smart-конструкции должны включать в себя элементы, изготовленные из определенных материалов, которые обеспечивают способности:

— изменять свойства всей конструкции в целом под действием внешних полей различной физической природы (электрических, магнитных, температурных и т.п.);

— оценивать данные о состоянии объекта и принимать решение о действии (посредством вычислительных методов, разработанных в рамках исследований таких конструкций);

— определять и выполнять правильное действие (на основе знаний или соответствующих законов управления). Способность к адаптации возникает не только на самом высоком уровне организации конструкции, она может также присутствовать на уровнях основного материала, из которого изготовлены элементы конструкции. Природа, как всегда, является главным источником вдохновения инженеров, что подразумевает подход к созданию технологических устройств, при котором идея и основные элементы устройства заимствуются из живой природы. По аналогии с биологическими объектами smart-системы содержат:

— чувствительные элементы, действующие как нервная система (правый полный круг на рис. 1);



– исполнительные механизмы, подобные мускулатуре (левый полный круг на рис. 1);

– устройства обработки данных в режиме реального времени, действующие как центры по контролю за системой (нижний полный круг на рис. 1).

На рис. 1 также показаны различные классы конструкций с точки зрения технологий. Особенно интересными представляются следующие:

– чувствительные (пассивные) конструкции, которые обладают структурно-интегрированной системой микро-чувствительных элементов для определения состояния объекта и, возможно, окружающей среды, в которой он функционирует;

– реагирующие smart-конструкции, которые имеют «нервную систему» и замкнутую силовую систему автоматического регулирования для изменения свойств конструкции (жесткости, формы, положения, ориентации и скорости);

– интеллектуальные системы, которые способны к самообучению при адаптации.

Наибольшее распространение при изготовлении smart-композиционных материалов получили пьезоэлектрические материалы. В частности, это объясняется наличием у них прямого и обратного пьезоэффекта. Это позволяет использовать пьезоэлементы как в качестве сенсоров, так и в качестве актуаторов.

Smart-материалы выполняют следующие функциональные задачи: контроль профиля объекта, обнаружение повреждений, в том числе на ранней стадии, контроль и управление динамическими процессами, микропозиционирование, управление геометрией, превращение паразитных шумов в полезную энергию.

Примерами практических приложений smart-материалов могут служить работы по их использованию

в авиации для противодействия аэроупругим и вибрационным эффектам, для гашения вибраций кабины самолета, в космической технике для управления динамическим поведением спутниковых конструкций, на железнодорожном транспорте для обнаружения износа вагонных колес и подавления вибраций корпуса вагона, в автомобильной промышленности для устранения вибраций, в тонкой оптике, в высокоточных приборах, в новых поколениях спортивного инвентаря: горных лыж, ракеток для тенниса и гольфа, бейсбольных бит.

Как же это можно реализовать на практике?!

Конструктивно smart-системы (материалы или конструкции) включают в себя (рис. 2):

– встроенные или закрепленные на поверхности датчики;

– встроенные или установленные на поверхности исполнительные механизмы (актуаторы);

– схемы элементов управления для реализации системы контроля (позволяющие обрабатывать данные от датчиков для принятия соответствующего решения).

Датчики и актуаторы в конструкциях копируют природу в значительной степени.

Сообразно нашим пяти чувствам (зрение, слух, обоняние, вкус и осязание) были разработаны визуальные/оптические, акустические/ультразвуковые, электрические, химические и тепловые/магнитные датчики. Отклики от этих первичных датчиков преобразуются в сигналы, которые передаются в центр обработки информации и блок управления (мозг) для дальнейшей обработки. В дополнение к обработке информации этот центр выполняет роль процессора, чтобы принять решение, основанное на входных данных.

За немногими исключениями, рынок smart-материалов и их технологий относительно молод и остается плохо из-

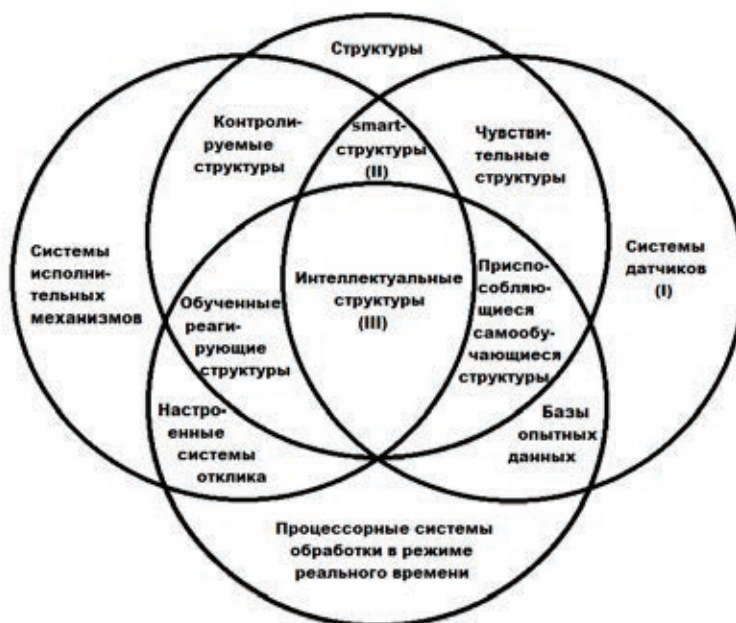


Рис.1. Классификация smart-материалов

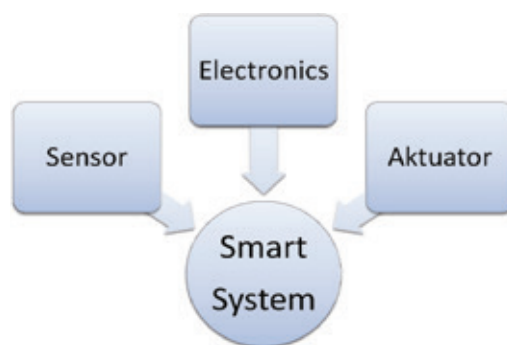


Рис.2. Схема концепции smart-конструкции

ученным. Большинство современных применений весьма просты или являются производными друг от друга. Но эти материалы найдут более сложное применение, новые реализации и приобретут массовость тогда, когда технологии будут достаточно разработаны, а для поставщиков и пользователей эти материалы станут обычными.

Smart-конструкции будут развиваться, постепенно стирая различия между искусственными технологиями и природой, между живым и неживым. Самообучаемые оборудование и программное обеспечение будут производить необходимые и желаемые собственные аппаратные средства и программное обеспечение.

Литература:

1. Матвеевко, В. П., Клигман Е. П., Юрлов М. А., Юрлова Н. А. // Моделирование и оптимизация динамических характеристик smart-структур с пьезоматериалами.: Физическая мезомеханика № 1/2012г – 107 с.
2. Матвеевко, В. П., Клигман Е. П., Юрлов М. А., Юрлова Н. А. // Управление динамическими характеристиками, контроль формоизменения и вибраций smart-структур с пьезоматериалами.: Вестник нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского № 4–5/2011г – 102 с.
3. Матвеевко, В. П., Клигман Е. П., Юрлов М. А., Юрлова Н. А. // Управление динамическими свойствами механических систем, выполненных из Smart-материалов на основе пьезоэлектриков.: Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика № 9/2001г – 97 с.
4. Юрлова, Н. А. // Умные материалы и конструкции: фантастика или реальность? Вестник Пермского научного центра УрО РАН. № 2/2013 г. — с.33–48.

## Практическое применение smart-материалов и smart-конструкций

Бруданов Антон Михайлович, студент  
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

### Practical application of smart-smart-materials and constructions

*Статья посвящена анализу применения smart-материалов или smart-конструкций. Рассмотрены области использования умных материалов и их способности. Проведена оценка развития концепции систем smart-материалов. Представлены примеры практических приложений smart-материалов.*

**Ключевые слова:** smart-материал, smart-конструкции, датчики, сенсоры, чувствительные системы, пьезоэффект.

Для реализации концепции smart-структур в самой простой форме наилучшим образом подходят основные материалы композитов, в которые при их изготовлении могут быть внедрены соответствующие датчики или актуаторы. Рассмотрим основные структурные элементы smart-материалов.

#### Датчики или сенсоры

Smart-структуры, имеющие в своем составе только датчики, называются пассивными. Встраивание датчиков внутрь при изготовлении композитного материала делает возможным наблюдение за внутренним состоянием ма-



териала, поэтому успешное развитие пассивных smart-структур зависит:

- от разработки и настройки пригодных датчиков;
- принципов работы датчиков и методов обработки сигналов;
- выбора подходящей схемы производства, позволяющей без больших затруднений встраивать датчики.

В настоящее время особое внимание исследователей сконцентрировано на двух типах материалов, которые наиболее удобны для встраивания в интеллектуальные системы в качестве датчиков или сенсоров, это оптические волокна и пьезоэлектрические материалы.

Датчики, основанные на волоконной оптике, могут измерять магнитные поля, деформации, вибрации и ускорение, хорошо вписываются в процесс изготовления композитного материала; способны выдерживать деформации, сравнимые с размером самого композита; обладают малыми размерами, легким весом и просты в изготовлении; невосприимчивы к электромагнитной интерференции и в жестких условиях превосходят по чувствительности другие датчики. Оптоволоконные датчики также могут быть легко интегрированы с другим оборудованием для удаленного контроля и позволяют проводить наблюдения за структурой композита в течение всех стадий его существования: изготовления, тестирования и эксплуатации; стойки к агрессивной окружающей среде и нечувствительны к электрическому и магнитному шуму; имеют широкую полосу частот отклика.

Оптоволоконные датчики хорошо себя зарекомендовали как при полном встраивании в материал, так и при внешнем закреплении. Встраивание оптического волокна влечет за собой необходимость внесения изменений в технологический процесс изготовления композитных материалов для того, чтобы расположить датчики строго в требуемых местах и быть уверенными, что сигналы от них могут быть введены и выведены через проводники. Для того чтобы быть пригодным к использованию, волоконный датчик должен:

- вызывать минимальные отклонения от заданного распределения упрочняющих волокон в композитном материале;
- по возможности не снижать механические свойства композита;
- не допускать чрезмерного ослабления сигнала и не разрушаться в процессе встраивания, иначе будет невозможно провести необходимые измерения;
- иметь подходящие средства для ввода и вывода лазерного света в систему через проводники.

Широкое применение пьезоэлектриков в качестве датчиков обеспечили их достоинства:

- широкая полоса частот;
- возможность использования очень тонких слоев пьезоэлектрика при закреплении их на поверхности или при встраивании внутрь материала (композита);
- отсутствие запаздывания регулирующего воздействия;
- механическая простота.

В последнее время чаще всего в качестве датчиков вместо пьезокерамики применяются пьезоэлектрические полимеры, такие как флуорид винилидена (polyvinylidene fluoride — PVDF), которые могут быть закреплены на поверхностях любых типов и любой, даже сильно искривленной, геометрии. Такие датчики способны повторять возможности человеческой кожи, определяя геометрические характеристики, такие как края и углы, температуру или различая разные материалы. Так, чувствительность полосок PVDF является достаточно высокой для того, чтобы различать шрифт в книгах для слепых и сорта наждачной бумаги.

### **Актуаторы (исполнительные механизмы)**

Для изготовления управляемых или реагирующих smart-структур (то есть активных или активно-пассивных) необходимы актуаторы или исполнительные механизмы, которые способны вызывать деформацию конструкции, опираясь на полученную от датчиков информацию, описывающую физическое состояние системы.

В настоящее время в качестве актуаторов применяют:

- сплавы с памятью формы;
- пьезоэлектрические материалы;
- электрострикционные материалы;
- магнестрикционные материалы;
- электрореологические жидкости.

Несмотря на кажущуюся фантастичность, smart-системы (материалы или конструкции) уже нашли применение в реальной жизни, причем неожиданно многочисленное и разнообразное. Например, это простые пьезоэлектрические громкоговорители, механизмы извлечения карт для переносных компьютеров, механизмы позиционирования окуляра на сканирующих микроскопах, самозатемняющиеся автомобильные стекла, автофокусирующиеся моторы для камер, домашний спортивный инвентарь с электрорегулируемым сопротивлением, саморазворачивающиеся устройства для поддержания коронарных сосудов в открытом состоянии после ангиопластики, медицинская аппаратура формирования изображения и т.д.

Конструкции, основанные на применении smart-технологий, начинают находить применение в качестве средств уменьшения шума в кабинах вертолетов и самолетов, в промышленных нагнетателях воздуха, холодильниках и вентиляторах, для звукопоглощения при выхлопах в дизельных двигателях и в кабинах грузовиков; для демпфирования вибраций двигателей, в полуавтоматических автомобильных подвесках, радарных системах избегания столкновений и в системах безопасности, на ответственных производствах или платформах с телекамерами, для подавления вибрации дисководов в компьютерах, лопаток турбомашин и эха от подводной лодки, для контроля формы и демпфирования колебаний космических конструкций, телескопов и т.д. Список можно продолжить, но и этого достаточно, чтобы показать всю широту возможного применения smart-конструкций.

Одним из факторов, которые ограничивают дальнейшее применение композитных материалов, является их относительно высокая восприимчивость к повреждению и, следовательно, проблемы безопасности и обслуживания. Различные типы повреждений материалов, к которым склонны композиты, включают в себя расслаивание, разрыв волокон, поглощение жидкости, ударные повреждения, разрушение матрицы, снижение прочности и жесткости при повышенных температурах, концентрацию напряжений. Таким образом, композитные материалы должны осматриваться или проверяться для обнаружения малых повреждений прежде, чем они станут катастрофическими для конструкции из-за возрастания их количества и, в результате, соединения с другими поврежденными участками.

Эти проблемы можно решить путем применения smart-материалов для мониторинга конструкций в процессе их эксплуатации, так как они могут предоставить информацию, поступающую от системы датчиков, расположенных по месту измерения, в режиме реального времени, образуя пять уровней диагноза:

- 1) обнаружение существования повреждения;
- 2) определение местоположения повреждения;
- 3) оценка величины повреждения;
- 4) обеспечение частичного саморемонта повреждения;
- 5) определение эксплуатационного ресурса конструкции.

В методиках неразрушающих оценок наличия повреждений конструкции в качестве актуаторов и сенсоров эффективно применяется пьезокерамика (PZT). По этой методике PZT-заплата, выполняющая роль актуатора-сенсора, присоединяется к конструкции. Измерением электрического сопротивления, связанного с механическим состоянием рассматриваемой конструкции, может быть обнаружено изменение в свойствах объекта, вызванные повреждением. Преимущество этой техники со-

стоит в том, что она может осуществлять непрерывный контроль on-line; PZT-заплата является очень легкой и достаточно малой, чтобы осуществлять контроль в недоступных местах. Эта методика была успешно проверена на таких конструкциях, как фермы, сложные укрепления стен, железобетонные мосты (рис. 3) трубопроводы и болтовые соединения в конструкциях.

Очень привлекательной выглядит идея частично излечивающей себя конструкции при малых повреждениях активацией растягивающейся арматуры (проводками), выпуском (выдавливанием) клея или другими путями, пока еще реализованная в единичных, в основном лабораторных, приложениях.

Самовосстанавливающиеся конструкции обладают лучшими эксплуатационными свойствами и более продолжительной работоспособностью по сравнению с обычными системами. Большая часть этих систем при появлении повреждения в ответ сразу же приступают к ремонту без внешней координации данного процесса.

Хорошо спроектированная система может обрабатывать широкий диапазон рабочих условий, типичных повреждений и обладает способностью заблаговременного уведомления о критических повреждениях или при угрозе разрушения. Однако такого рода подход имеет целый ряд недостатков:

- применяющаяся сенсорная система опирается на предсказуемость результатов, что является само по себе ограничивающим фактором во всем, кроме космической техники;
- реализованный подход самовосстановления с помощью термопластичных материалов ограничен в практическом применении, так как при работе по восстановлению целостности материала временно ослабляется конструкция, кроме этого, требуется такая геометрия элементов конструкций, чтобы материал мог легко поступить в поврежденные участки;

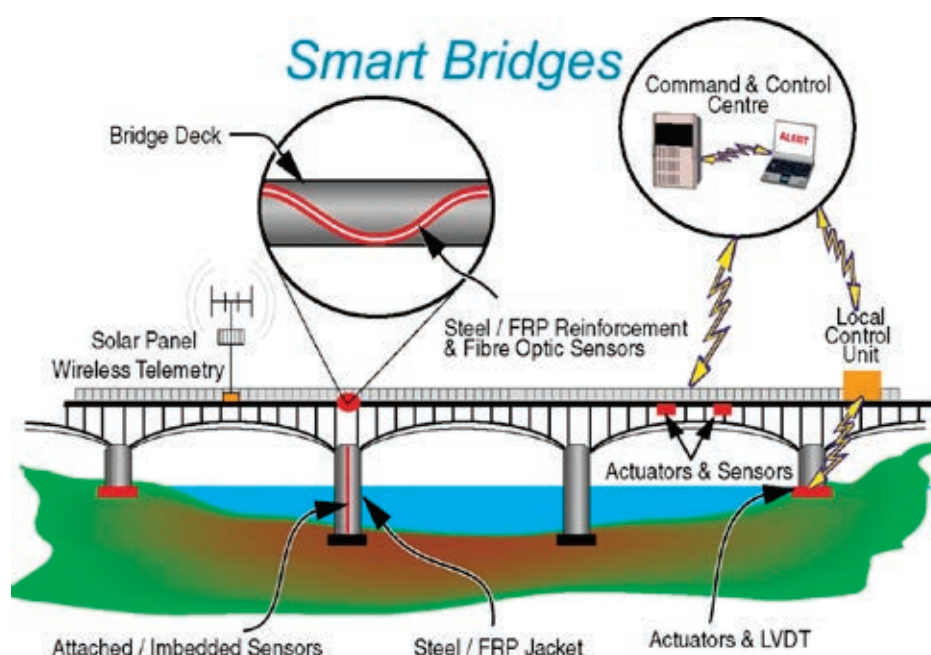


Рис. 3. Схема интеллектуального моста

– недостаточное развитие алгоритмов обнаружения поврежденности: ранее существовавшее повреждение может поставить под угрозу базовые значения для системы мониторинга, снижает эффективность работы алгоритмов обнаружения повреждений;

– зависимость от времени алгоритмов обнаружения поврежденности; медленно растущие повреждения, такие как усталость, в настоящее время пока остаются незамеченными, так как применяемые методы основываются на довольно быстром отклонении отслеживаемой кривой состояния конструкции из-за повреждения (это аналогично различию между острыми и хроническими заболеваниями или болью в биологических системах).

Еще одним нерешенным вопросом является масштабируемость. В больших масштабах количество информации, поступающей от сети сенсоров, может стать настолько громоздким, что потребуются специальное управление самовосстановлением конструкции. Биологическим системам удалось справиться с этой проблемой путем добавления уровней иерархии системы через промежуточные узлы фильтрации и делегированием различных функций, каждая из которых может быть применена к инженерным системам.

Применение smart-материалов все расширяется, и в настоящее время их можно встретить даже в бытовых приложениях. Для нового поколения лыжных тремплинов, теннисных ракеток, сноубордов, клюшек для гольфа и бейсбольных бит, становится важным демпфирование возникающих колебаний, так как это не только увеличивает комфорт при их использовании, позволяет достигать лучших результатов, но и предотвращает от поломок.

#### Литература:

1. Матвеевко, В. П., Клигман Е. П., Юрлов М. А., Юрлова Н. А. // Моделирование и оптимизация динамических характеристик smart-структур с пьезоматериалами.: Физическая мезомеханика № 1/2012г – 107 с.
2. Матвеевко, В. П., Клигман Е. П., Юрлов М. А., Юрлова Н. А. // Управление динамическими характеристиками, контроль формоизменения и вибраций smart-структур с пьезоматериалами.: Вестник нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского № 4–5/2011г – 102 с.
3. Матвеевко, В. П., Клигман Е. П., Юрлов М. А., Юрлова Н. А. // Управление динамическими свойствами механических систем, выполненных из Smart-материалов на основе пьезоэлектриков.: Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика № 9/2001г – 97 с.
4. Юрлова, Н. А. // Умные материалы и конструкции: фантастика или реальность? Вестник Пермского научного центра УрО РАН. № 2/2013 г. — с.33–48.

## Оценка возможности испарения микрокапли в плазме вакуумного дугового разряда

Гранкина Татьяна Олеговна, студент

Гранкина Ольга Олеговна, студент

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

Развитие smart-конструкций и smart-материалов, несомненно, становится одной из важнейших задач во многих областях науки и технологий, таких как микроэлектроника, информатика, медицина, науки о жизни, энергетика, транспорт, техника безопасности и военные технологии.

По своей сути технология smart-материалов и конструкций является весьма междисциплинарной областью, охватывающей фундаментальные науки — физику, химию, механику, компьютерную технику и электронику, и прикладные отрасли науки и техники, такие как авиация и машиностроение. Именно этим можно объяснить довольно медленный и осторожный прогресс в применении интеллектуальных конструкций на практике, несмотря на то, что научные разработки в этой области продвигаются очень быстро.

За немногими исключениями, рынок smart-материалов и их технологий относительно молод и остается плохо изученным. Большинство современных применений весьма просты или являются производными друг от друга. Но эти материалы найдут более сложное применение, новые реализации и приобретут массовость тогда, когда технологии будут достаточно разработаны, а для поставщиков и пользователей эти материалы станут обычными.

Smart-конструкции будут развиваться, постепенно стирая различия между искусственными технологиями и природой, между живым и неживым. Самообучаемые оборудование и программное обеспечение будут производить необходимые и желаемые собственные аппаратные средства и программное обеспечение.

*Известно, что в плазме вакуумного дугового разряда микрокапли подвергаются воздействию плазменных компонент, в результате чего может происходить как нагрев капли, так и её охлаждение. В настоящей ра-*

боте проведено исследование возможности испарения капельной фазы с размером частицы диаметром 0,4 мкм и ниже при сообщении дополнительной энергии плазме. При расчёте теплового состояния частицы в плазме применялись модели пылевой плазмы, а также данные об излучательной способности субмикронных тел.

**Ключевые слова:** вакуумная дуга, дуговой испаритель, микрокапли, капля, капельная фаза, испарение, плазма

В последнее время всё более актуальным становится вопрос применения износостойких, упрочняющих, коррозионно-устойчивых покрытий. Одним из наиболее востребованных и распространённых способов осаждения таких покрытий является вакуумно-дуговой способ [1]. Данный метод дает значительный выигрыш в скорости роста осаждаемого покрытия по сравнению с другими способами плазменного осаждения покрытий, обладает высокой энергоэффективностью и позволяет управлять свойствами покрытий. Недостатком технологии является наличие микрокапельной фазы в потоке плазмы разряда — микрочастиц катода, оседающих на поверхности детали. Присутствие этих частиц в покрытии могут значительно снизить качественные показатели покрытия.

Данные микрочастицы на подложке имеют диаметр от 30 нм до 10 мкм [2, 5, 7, 8]. Средняя скорость движения капель от 20 до 200 м/с в пролётной области, её значение может варьироваться, главным образом, в зависимости от материала катода и плотности плазмы. [10, 11]

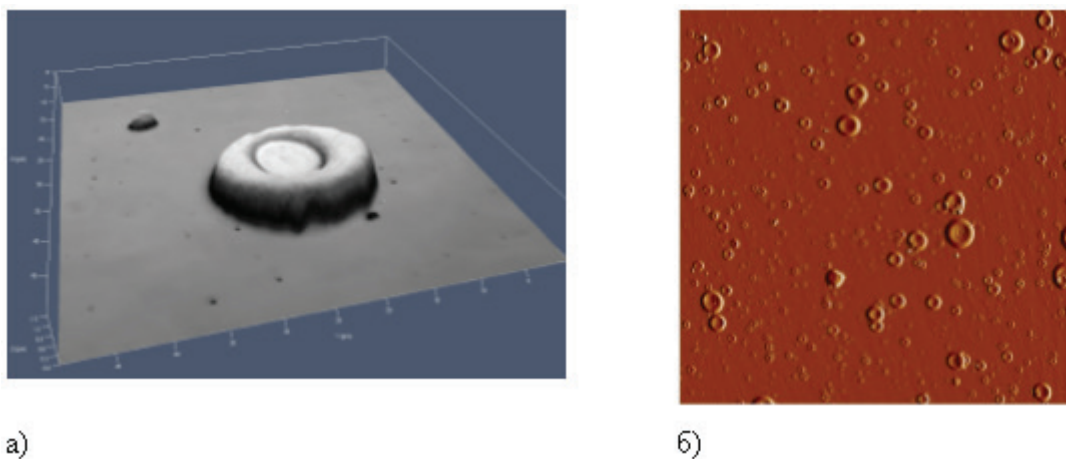


Рис.1 Трехмерный (а) и двухмерный (б) снимок поверхности образца с медным покрытием, нанесённым вакуумно-дуговым методом

Для снижения доли микрокапельной фазы в плазме вакуумно-дугового разряда используют электростатические или магнитные сепараторы плазмы [12, 13]. Однако такой подход более чем в 10 раз снижает эффективность метода, а так же усложняет и удорожает вакуумно-дуговые установки. Другим, менее эффективным способом снижения массы капельной фазы, является увеличение скорости движения катодных пятен с помощью арочного магнитного поля [3, 12, 4, 5]. При движении в арочном магнитном поле наблюдается существенная неравномерность выработки катода, что требует организации управления катодных пятен [3, 4, 5]

В работе [14] рассматривается принципиальная возможность уменьшения доли микрокапель в плазменном потоке вакуумной дуги за счёт их нагрева и испарения под действием потоков заряженных частиц на пути от катода до подложки. Для расчета теплового баланса капли учитывались мощности передаваемые капле электронной и ионной компонентами плазмы, а также взаимодействие капли с нейтральными компонентами плазмы. Было показано, что существует возможность нагрева и испарения капель размером до 10 мкм. В работе [15] приведён расчёт теплового баланса капли только с учётом взаимодействия микрочастицы с электронной и ионной компонентами плазмы. Тепловое излучение капли не учитывалось, но были учтены процессы испарения атомов с поверхности капли в процессе её движения до подложки.

Целью данной работы является оценка возможности уменьшения доли микрокапельной фазы посредством сообщения микрокаплям в объеме плазмы дополнительной мощности для их испарения. Расчёт теплового баланса микрокапли проводился с учётом наработок в области модели пылевой плазмы, а также с учётом данных по излучению микро и нанообъектов.

### Физическая модель

Микрокапли двигаются от поверхности катода по направлению к подложке сквозь плазму вакуумной дуги и подвергаются воздействию электронов и ионов плазмы. Это обуславливает заряд частиц до амбиполярного потенциала,



определяемого параметрами плазмы. Приходящие потоки мощности, передаваемые микрокапле электронной и ионной компонентами плазмы, приводят к её нагреву, но в то же время тепловое излучение с поверхности микрочастицы и испарение атомов приводит к её остыванию. Доля энергии, отводимой от капли излучением, может быть значительна ввиду возможных высоких температур капли — вплоть до нескольких тысяч градусов. Общая схема тепловых потоков на поверхности частицы представлена на рисунке 2.

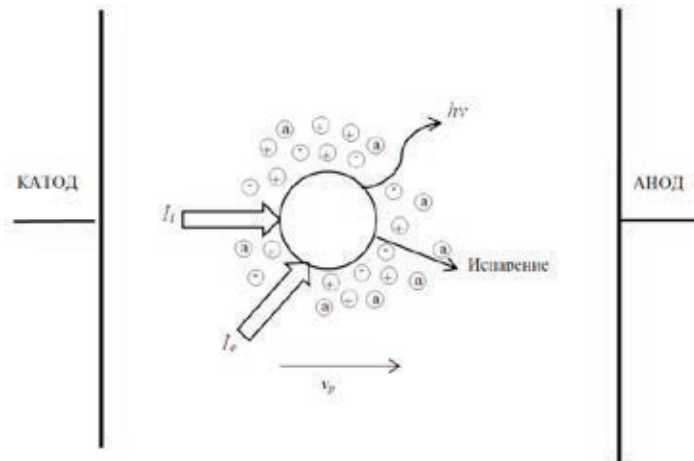


Рис. 2 Общая схема тепловых потоков на поверхности микрочастицы

Микрокапли, находящиеся в межэлектродном зазоре в плазме дугового разряда, электрически изолированы друг от друга и приобретают определённый плавающий потенциал под действием электронного и ионного токов. Таким образом, условия существования микрокапель и микрочастицы в пылевой плазме схожи, и, следовательно, для оценки состояния микрокапли (заряд, токи заряженных частиц) могут быть применены модели, разработанные для расчёта пылевой плазмы. [16, 17, 18].

Для теплового расчёта сначала необходимо задать начальную температуру капли, скорость её движения, размер и параметры плазмы, в которой капля движется. Начальная температура капли неизвестна, и её определение является достаточно трудной задачей. При оценке начальной температуры капли следует учитывать, что катод является интегрально холодным, с оплавленной поверхностью, а капли приходят на подложку в жидком состоянии. То есть температура капли больше температуры плавления, но, скорее всего, значительно ниже температуры кипения. В процессе движения капли от катода к подложке капля может, как нагреваться, так и остывать. Для определённости примем, что температура капли имеет температуру плавления материала. В качестве материала капли примем алюминий. Температура плавления алюминия составляет 933 К, температура кипения — 2792 К. Скорость электронов в плазме принималась равной  $v_e = 1 \times 10^6$  (соответствует температуре 6 эВ), скорость движения ионов  $v_i = 1,25 \times 10^4$  м/с [15, 18]. Для определённости в дальнейшем расчёте примем, что скорость движения капель составляет 100 м/с. Наибольшую массовую долю в потоке плазмы имеют капли с диаметром 1 мкм [23]. При осаждении их на подложку в форме диска высота капли составляет 30 нм. Таким образом, примем радиус капли  $a = 0,175$  мкм.

Модель взаимодействия частиц с заряженными частицами в пылевой пылевой плазме справедлива при допущении, что диаметр частицы гораздо больше радиуса экранирования Дебая и гораздо меньше, чем длина свободного пробега электронов или ионов:

$$\lambda_d \ll a \ll \lambda_{i(e)} \quad (1)$$

Примем, что параметры плазмы вокруг капли не изменяются во время её движения. В таком случае радиус экранирования  $\lambda_d$ , составит [15]:

$$\lambda_d = \left( \frac{2\epsilon_0 k T_e}{e^2 N_i \sum f_s Z_s^2} \right)^{1/2} = 7 \cdot 10^{-7} \text{ м}, \quad (2)$$

где  $\epsilon_0$  - диэлектрическая проницаемость среды в вакууме,  $f_s$  — доля частиц с зарядом типа  $s$ , имеющих ионизированность  $Z_s$ ,  $N_i$  — концентрация ионов в плазме разряда,  $T_e$  - температура электронов в плазме,  $k$  - постоянная Больцмана,  $e$  — заряд электрона.

Длины свободного пробега заряженных частиц  $\lambda_{i(e)}$  составили для электронов и ионов соответственно:

$$\lambda_e = (Q_{ei} N_i)^{-1} = \frac{16(kT_e)^2}{\pi^3 \ln \Lambda} \left( \frac{4\pi\epsilon_0}{e^2 Z} \right)^2 \frac{1}{N_i} = 2.4 \cdot 10^{-4} \text{ м} \quad (3)$$

$$\lambda_i = (Q_{ie} N_e)^{-1} = \frac{16(kT_i)^2}{\pi^3 \ln \Lambda} \left( \frac{4\pi\epsilon_0}{e^2 Z} \right)^2 \frac{1}{N_e} = 8.7 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$



Плотность тока  $J$  должна вычисляться из условия стационарного горения дугового разряда, так как мы рассматриваем состояние капли в объёме плазмы. В таком случае необходимо брать общую рабочую площадь катода на которой существует разряд. Таким образом, плотность тока  $J$  составляет

$$J = \frac{I_p}{S_{кат}} = \frac{4I_p}{\pi d_{кат}^2}, \quad (4)$$

где  $I_p$  — ток разряда,  $d_{кат}$  — диаметр катода.

Для катодного пятна дуги общий ионный ток представляет собой постоянную часть  $f$  от общего тока дуги [19]. Тогда концентрация ионов и электронов в плазме описываемого разряда будет составлять:

$$N_i = \frac{J_i}{eZv_i} = 3.2 \cdot 10^{17},$$

$$N_e = ZN_i = \frac{J_i}{ev_i} = \frac{fJ}{ev_i} = 6.4 \cdot 10^{17}, \quad (5)$$

где  $e$  — заряд электронов,  $Z=2$  — средний заряд иона [20],  $v_i$  — скорость ионов,  $J_i$  — плотность ионного тока дуги,  $J$  — плотность тока дуги.

Таким образом, условие (3) выполняется. Значит, вклад электронного и ионного токов в изменение внутренней энергии капли будет составлять

$$I_e = -eN_e\pi a^2 v_{the} \exp\left(\frac{e\varphi_d}{k_b T_e}\right), \quad (6)$$

$$I_i = eN_i\pi a^2 v_s \left[1 - \frac{2e\varphi_d}{m_i v_s^2}\right], \quad (7)$$

где  $\varphi_d$  — плавающий потенциал микрокапли;  $m_i$  — масса иона;  $k_b$  — постоянная Больцмана;  $T_e$  и  $T_i$  — температура электронов и ионов соответственно,  $N_i$  и  $N_e$  — концентрация ионов и электронов в плазме,  $v_s$  — дрейфовая скорость ионов,  $v_{the}$  — средняя тепловая скорость электронов.

Плавающий потенциал микрокапли вычисляется с помощью выражения [14]:

$$\varphi_d = \frac{T_e}{e} \ln\left(0.6 \sqrt{2 \frac{m_e}{m_i}}\right). \quad (8)$$

В (6) и (7) было принято, что распределение частиц по энергиям теплового движения является максвелловских, и скорость направленного движения ионов больше скорости теплового движения [16].

Охлаждение микрокапли за счет излучения описывается законом Стефана-Больцмана, следовательно,  $dE_R$  можно выразить следующим образом:

$$dE_R = \frac{4}{3} \pi a^3 \varepsilon \sigma T_p^4, \quad (9)$$

где  $a$  — радиус микрокапли,  $\varepsilon$  — степень черноты микрокапли,  $\sigma$  — постоянная Стефана-Больцмана,  $T_p$  — температура микрокапли.

Микрокапли имеют значительную температуру, но размеры большей части микрокапель менее 1 мкм. По данным [21, 22], при субмикронных размерах объекта излучательная способность тела значительно уменьшается. Таким образом, вклад излучения в тепловой баланс будет значительно меньше, чем в случае, если не вводить поправку на излучательную способность субмикронных тел. Согласно данным [22] примем, что излучательная способность поверхности капли составляет 0.05.

Проводя аналогию между взаимодействием микрочастицы пылевой плазмы и микрокапли с плазмой разряда, мощности, передаваемые микрокапле электронными и ионными компонентами плазмы можно описать так [20]:

$$dE_e = -eN_e\pi a^2 v_{the} \exp\left(\frac{e\varphi_d}{k_b T_e}\right) \frac{kT_e}{e},$$

$$dE_i = eN_i\pi a^2 v_s \left[1 - \frac{2e\varphi_d}{m_i v_s^2}\right] \frac{kT_i}{e}, \quad (10)$$

где  $\varphi_d$  — плавающий потенциал микрокапли;  $m_i$  — масса иона;  $k_b$  — постоянная Больцмана;  $T_e$  и  $T_i$  — температура электронов и ионов соответственно,  $N_i$  и  $N_e$  — концентрация ионов и электронов в плазме,  $v_s$  — дрейфовая скорость ионов,  $v_{the}$  — средняя тепловая скорость электронов.

Дрейфовая скорость ионов определяется как [21]:

$$v_s = \sqrt{v_{th_i}^2 + v_{id}^2},$$

$$\vec{v}_{id} = \vec{v}_i - \vec{v}_d,$$

$$\vec{v}_i = \frac{\vec{\Gamma}_i}{N_i},$$

где  $v_d$  — скорость капли,  $\vec{\Gamma}_i$  — степень неидеальности ионной компоненты плазмы,  $Z$  — зарядовое число материала капли,  $T_i$  — температура ионов в энергетических единицах.

Средние тепловые скорости ионов и электронов вычисляются как:

$$v_{th_i} = \sqrt{8k_b T_i / \pi m_i}$$

$$v_{th_e} = \sqrt{8k_b T_e / \pi m_e}. \quad (11)$$

Параметр неидеальности  $\Gamma$  является одной из основных характеристик системы многих взаимодействующих частиц, которую необходимо учитывать.  $\Gamma$ , определяется как отношение потенциальной энергии взаимодействия между соседними частицами к их средней кинетической энергии [20, 21]. Для заряженных частиц

$$\Gamma_i = \frac{ze^2 N_i}{T_i} = \frac{ze^2 N_i}{m_i v_i^2}, \quad (12)$$

Изменение внутренней энергии  $dE_p$ , капли можно описать так:

$$dE_p = \frac{4}{3} \pi a^3 c m_k \frac{dT_p}{dt}, \quad (13)$$

где  $c = 903 \frac{\text{Дж кг}}{\text{К}}$  — удельная теплоемкость материала капли (алюминий),  $m_k = 1.4 \cdot 10^{-15}$  кг — масса капли рассматриваемого диапазона.

### Расчёт

В расчёте будем считать, что подводимая извне энергия идёт на изменение внутренней энергии капли  $dE_p$ , которая ведёт к её нагреву, либо остыванию. Общий вид уравнения теплового баланса капли можно записать так:

$$dE_p = dE_e + dE_i - dE_R, \quad (14)$$

где  $dE_p$  — энергия микрокапли,  $dE_e$  и  $dE_i$  — мощности, передаваемые микрокапле электронной и ионной компонентами плазмы,  $dE_R$  — охлаждение капли за счет излучения.

Таким образом, общее дифференциальное выражение для теплового баланса микрокапли будет иметь вид:

$$\frac{4}{3} \pi a^3 c m_p \frac{dT_p}{dt} = e N_i \pi a^2 v_s \left[ 1 - \frac{ze\varphi_d}{m_i v_s^2} \right] \frac{kT_i}{e} + e N_e \pi a^2 v_{th_e} \exp\left(\frac{e\varphi_d}{k_b T_e}\right) \frac{kT_e}{e} - \frac{4}{3} \pi a^3 \varepsilon \sigma dT_p^4 \quad (15)$$

Правая часть уравнения (15) будет описывать поток энергии на поверхность капли:

$$P_0 = dE_e + dE_i - dE_R \quad (16)$$

Для заданных начальных условий при постоянной температуре поток тепла на каплю со стороны плазмы  $P_0 = 3.54 \cdot 10^{-7}$  Вт. Зная поток энергии на частицу, можно определить, какой удельный поток массы испаряется с неё при нагреве [15,6]:

$$\Gamma_0 = P_0 M m_p / [4\pi r_p^2 (e\psi_v + k_b T_p)] = 2.58 \cdot 10^{-5} \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{с}}, \quad (17)$$

где  $M$  — молярная масса вещества в а. е. м.,  $m_p$  — масса протона,  $P_0$  — подводимая к частице мощность,  $\psi_v$  — энергия испарения, приходящейся на один атом микрокапли. Для заданных начальных и граничных условий

В тоже время, для испарения всей капли, за время её полета от катода к подложке при расстоянии между ними, скажем,  $L = 1$  м за время  $t = \frac{L}{v_k} = \frac{1}{100} = 10^{-2}$  с необходимо, чтобы поток массы с капли составлял  $0.044 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{с}}$ :

$$\Gamma_k = \frac{m_k}{S_k t}, \quad (18)$$

где  $S_k$  — площадь капли,  $m_k$  — масса капли.

Зная необходимый поток массы с капли, можно рассчитать мощность, которую нужно вложить в неё для обеспечения такого потока. Из (17) имеем:

$$P_{\text{исп}} = \frac{\Gamma_k}{M m_p / [4\pi r_p^2 (e\psi_v + k_b T_p)]} \quad (19)$$

Для заданных условий мощность  $P_{\text{исп}}$ , необходимая для испарения капли размером 0,36 мкм составляет  $P_0 = 0.145$  Вт, что значительно больше, чем мощность, подводимая к капле со стороны плазмы. При этом мощности, поступающей на каплю со стороны плазмы, достаточно лишь для испарения капель размером не более 40 нм.

Таким образом, было показано, что мощности, подводимой к капле со стороны плазмы достаточно для испарения капель только размером несколько десятков нанометров. Для испарения капель большего размера в плазму необходимо вводить дополнительную мощность.

### Выводы

В работе был проведён расчёт теплового состояния микрокапли в плазме вакуумного дугового разряда, оценён вклад электронной и ионной компоненты в тепловой баланс капли, а также проведена оценка дополнительной мощности, необходимой для испарения осадившейся на подложке капли размером 1 мкм. При расчёте применялась модель состояния частицы в пылевой плазме и модель излучения субмикронных тел. Было показано, что мощности, подводимой к капле со стороны плазмы, недостаточно, чтобы испарить или хотя бы заметно снизить размеры капли.

### Литература:

1. Духопельников, Д. В., Жуков А. В., Кириллов Д. В., Марахтанов М. К. Структура и особенности движения катодного пятна вакуумной дуги на протяженном титановом катоде // Измерительная техника. 2005. № 10. с. 42–44.
2. Духопельников, Д. В., Кириллов Д. В., Булычёв В. С. Характеристики кремниевых микрокапель в покрытиях, осажённых методом вакуумного дугового испарения // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2015. № 12, с. 18–24.
3. Swift, P. D., McKenzie D. R., Falconer I. S. Cathode spot phenomena in titanium vacuum arcs // J. Appl. Phys., 66 (2), 1989, p. 505–512.

4. Духопельников, Д. В., Жуков А. В., Кириллов Д. В., Марахтанов М. К. Структура и особенности движения катодного пятна вакуумной дуги на протяжённом титановом катоде // Измерительная техника. 2003. № 10. с. 42–44.
5. Духопельников, Д. В., Кириллов Д. В., Щуренкова С. А. Динамика движения катодных пятен по поверхности катода в поперечном магнитном поле // Наука и образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 1. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/256359.html> (дата обращения 10.11.2015).
6. Духопельников, Д. В., Кириллов Д. В., Рязанов В. А., Чжо Вин Наинг. Оптимизация траектории движения катодного пятна для повышения равномерности выработки катода вакуумного дугового испарителя // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 10 (22). с. 42. Режим доступа: <http://engjournal.ru/catalog/machin/plasma/1042.html> (дата обращения 10.12.2015).
7. Духопельников, Д. В., Кириллов Д. В., Марахтанов М. К., Воробьев Е. В., Бульчѳв В. С. Вакуумная дуга на поликристаллическом кремниевом катоде. // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2014. № 11. с. 188–197. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/748209.html> (дата обращения 05.06.2015).
8. Кириллов, Д. В., Рязанов В. А. Исследование профиля выработки катода дугового испарителя при различных токах разряда и индукции магнитного поля // Молодежный научно-технический вестник. 2013. № 5. с. 18.
9. Дѳшман, С. Научные основы вакуумной техники. М.: Изд-во «Мир», 1964. 716 с.
10. McClure, G. W. Plasma expansion as a cause of metal displacement in vacuum arc spots // J. Appl. Phys. — 1974. — Vol.45. — № 5. — P. 2078–2084
11. Utsumi T and English J H 1975 Study of electrode products emitted by vacuum arcs in form of molten metal particles J. Appl. Phys. 46 126–3
12. Takikawa, H.; Tanoue, H. Review of Cathodic Arc Deposition for Preparing Droplet-Free Thin Films. IEEE Trans. Plasma Sci. 2007, 35 (4), 992–999
13. І. І. Аксьонов, В. А. Білоус Вакуумно-дугове обладнання для йонно-плазмового осадження покриттів (огляд) (укр.) // «Вопросы Атомной Науки и Техники» (ВАНТ): Журнал. — Харьков: Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», 2000. — № 4. — с. 153–157. — ISBN нет, УДК546.25. — 162. — ISSN 1562–6016.
14. Бизюков, А. А., Ромашенко Е. В., Серѳда К. Н., Чибисов А. Д., Кашаба А. Е. Динамика капельной фазы в плазме дугового разряда низкого давления // «Вестник Харьковского университета», № 642, 2004. Режим доступа: [http://www-nuclear.univer.kharkov.ua/lib/642\\_3\(25\)\\_04\\_p4246.pdf](http://www-nuclear.univer.kharkov.ua/lib/642_3(25)_04_p4246.pdf) (дата обращения 15. 12.2015).
15. R. L. Voxman and S. Goldsmith, J. Appl. Phys. 51, 3644 (1980).
16. В. Е. Фортов, А. Г. Храпак, С. А. Храпак, В. И. Молотков, О. Ф. Петров, “Пылевая плазма”, УФН, 174:5 (2004), 495–544
17. Morfill, G. E., Thomas H., J. Vac. Sci. Technol. A, 14 (1996), 490
18. W. D. Davis and H. C. Miller, J. Appl. Phys. 40, 2212 (1969).
19. C. W. Kimblin, J. Appl. Phys. 44, 3974 (1973).
20. А. С. Дикалюк, С. Т. Суржиков. Учет процесса зарядки твердых частиц при моделировании эволюции пылевой компоненты плазмы в нормальном тлеющем разряде // Физико-химическая кинетика в газовой динамике, 2, 2011, с.1–9.
21. Yat-Yin Au, Helgi Skuli Skulason, Snorri Ingvarsson, Levente J. Klein, and Hendrik F. Hamann Thermal radiation spectra of individual subwavelength microheaters // PHYSICAL REVIEW B 78, 085402 2008. DOI: <http://journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/PhysRevB.78.085402> (дата обращения: 15.12.2015)
22. Мартыненко, Ю. В., Огнев Л. И. Тепловое излучение наночастиц. — ЖТФ, 2005, т. 75, вып. 11, с. 130–132.
23. Гранкина, О. О., Гранкина Т. О. Исследование поверхностной плотности микрокапель в титановых покрытиях, полученных в вакуумно-дуговом испарителе с арочным магнитным полем // Молодежный научно-технический вестник, электронный журнал, 2015. — № 2, <http://sntbul.bmstu.ru/doc/760856.html>, дата обращения: 29.10.2015.

## Техническое диагностирование трубопроводов аммиачных холодильных установок

Гуреев Дмитрий Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, зам. генерального директора;  
Клепикова Наталья Анатольевна, начальник отдела экспертизы;  
Федулов Владимир Александрович, начальник ПТО;  
Казakov Александр Александрович, ведущий инженер;  
Дударевич Владимир Николаевич, ведущий инженер;  
Загребин Игорь Александрович, инженер  
ООО «ИЦ «АЭ-системы»

*Изложен обобщенный подход к техническому диагностированию трубопроводов аммиачных холодильных установок с анализом возможных причин возникновения аварийных ситуаций.*

**Ключевые слова:** трубопроводы аммиачных холодильных установок, техническое диагностирование

Трубопроводы являются одним из трех основных элементов аммиачных холодильных установок (АХУ), представляющие собой объекты повышенной опасности, и потому полноправно подпадающие под действие Федерального закона № 116-ФЗ от 21.07.1997 г. «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Их техническое диагностирование со всем комплексом работ по полноте и сроках регламентируется РД 09–241–98 «Методические указания по обследованию технического состояния и обеспечения безопасности при эксплуатации аммиачных холодильных установок» и РД 09–244–98 «Инструкция по проведению диагностирования технического состояния сосудов, трубопроводов и компрессоров промышленных аммиачных холодильных установок» с Изменением № 1 (РДИ 09–513 (244)–02.

Техническое диагностирование трубопроводов АХУ должно проводиться путем выполнения комплекса научно-технических мероприятий по исследованию коррозионного состояния, неразрушающему контролю, анализу прочности и др. и определения по результатам такого исследования их соответствия требованиям действующей нормативной документации и ресурса их дальнейшей безопасной эксплуатации. На АХУ диагностированию подлежат нагнетательный трубопровод на участке от компрессора до первого сосуда АХУ и всасывающий трубопровод на участке от последнего сосуда АХУ до компрессора. Диагностирование аммиачных трубопроводов в общем случае предусматривает проведение следующих работ:

- анализ технической документации,
- визуальный контроль и анализ коррозионного состояния трубопроводов,
- проведение толщинометрии,
- неразрушающий контроль сварных соединений,
- проведение расчетов на прочность,
- пневмоиспытания с контролем методом акустической эмиссии или гидроиспытания.

Если техническая документация на трубопроводы отсутствует или она не соответствует по результатам визуального контроля фактической конструкции трубопроводов, то дополнительно проводятся работы по составлению конструктивных схем трубопровода по их

фактическому исполнению. При технической необходимости проводится дополнительное исследование механических свойств, структуры и химического состава металла, измерение твердости.

Диагностирование трубопроводов камер охлаждения, коллекторов, а также других устройств из труб проводится по специальным методикам, учитывающим конструктивные особенности данных устройств, которые разрабатываются организациями, проводящими диагностирование, или экспертными организациями.

При диагностировании аммиачных трубопроводов необходимо обращать внимание на возможные отклонения от требований нормативной документации и характерные дефекты, которые могут оказывать влияние на безопасность эксплуатации. К таким отклонениям и дефектам относятся:

- несоответствие фактического конструктивного исполнения трубопроводов требованиям проекта (расположения и вида опор, геометрических размеров и формы, применения труб с размерами, не предусмотренными проектом и др.);

- нарушение норм проектирования, например, отсутствие в некоторых случаях температурных компенсаторов.

Эти отклонения приводят к перегрузке отдельных узлов трубопроводов, а также к неравномерной нагрузке на опоры (перегрузке, либо нагрузке, не соответствующей расчету по направлению — «на отрыв»). Нормативные условия прочности на таких участках не выполняются, что может привести к снижению ресурса безопасной эксплуатации трубопроводов и аварии.

- коррозия наружных поверхностей труб из-за воздействия внешних коррозионных факторов;
- эрозионно-коррозионный износ внутренней поверхности труб.

Эти дефекты приводят к уменьшению толщин стенок труб, вплоть до значений, при которых не обеспечиваются предусмотренные нормативной документацией условия прочности. При язвенной коррозии возможно образование сквозных отверстий в трубах.

- дефекты в сварных швах, которые возникли на стадии монтажа в сварных стыках труб и в процессе эксплуатации могли развиваться до опасных размеров;



– дефекты типа трещин коррозионного растрескивания, которые при длительном воздействии аммиака могут возникать в сварных швах малоуглеродистых сталей, не подвергнутых локальной термообработке (отпуску) или локальному пластическому деформированию для уменьшения или полного снятия остаточных растягивающих сварочных напряжений.

Эти дефекты могут привести к образованию сквозных трещин, а при определенных условиях, например, при низких температурах, способствующих охрупчиванию металла, к хрупкому разрушению сварных стыков.

– наличие участков трубопроводов, подвергавшихся ремонту с применением сварки или огневых воздействий при отсутствии у владельца требуемой технической документации на проведение таких работ (удостоверений сварщиков, технологий, методик и результатов контроля и т.п.);

– отсутствие сертификатов качества изделий: труб, материалов, арматуры и использование нестандартных узлов, патрубков, заглушек, отводов, фасонных деталей, изготовленных на месте монтажа, ремонта или путем переделки стандартных деталей.

При таких отклонениях возможны скрытые дефекты (изменение структуры и охрупчивание металла, дефекты сварного шва из-за неправильного выбора электродов, режимов сварки и т.д.), которые могут привести к возникновению аварийной ситуации.

При анализе технической документации изучаются паспорт трубопровода и прилагаемая к нему проектная, эксплуатационная, ремонтная и другая документация. В результате должны быть установлены наличие и правильность заполнения паспорта; наименования проектной и монтажной организаций; даты монтажа и ввода трубопровода в эксплуатацию; объем и вид неразрушающего контроля сварных соединений при монтаже трубопровода и его результаты; расчетные и рабочие параметры трубопровода; конструктивная схема трубопровода; сведения о нештатных ситуациях в период эксплуатации трубопровода, об их причинах, а также о ремонтных работах. Особое внимание при этом следует обращать на наличие проектной конструктивной схемы трубопровода, в которой должны быть указаны расположение и конструкция опор, геометрия трубопровода и применяемые размеры труб (диаметры и толщины). При наличии проектной конструктивной схемы проводится контроль ее соответствия фактическому исполнению трубопровода. Если конструктивная схема отсутствует, то выполняются работы по ее составлению.

Визуальный контроль трубопровода и анализ его коррозионного состояния проводятся с целью определения при наличии проектной документации соответствия конструктивного исполнения трубопровода проекту; коррозионного состояния металла трубопровода; внешних условий, как то состояния окружающей среды, наличия неблагоприятных факторов, влияющих на безопасность эксплуатации трубопровода, и др. При определении соответствия трубопровода проекту внимание обращается на сортамент труб, расположение и конструкцию опор, геометрические раз-

меры и форму трубопровода, наличие непредусмотренных проектом или отсутствие предусмотренных участков. При этом определяется также соответствие трубопровода требованиям Правил устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов и Правил устройства и безопасной эксплуатации аммиачных холодильных установок. При анализе коррозионного состояния трубопроводы без термоизоляции подвергаются визуальному контролю в объеме 100%. Трубопроводы с термоизоляцией подвергаются выборочному контролю. При этом зоны осмотра, освобожденные от изоляции, должны находиться на прямолинейных участках на расстоянии не более 10 м друг от друга; в случаях, когда длина прямолинейного участка не превышает 20 м, зоны осмотра должны находиться на расстоянии не более 5 м друг от друга; гибы, отводы и участки сопряжений труб разных диаметров должны подвергаться осмотру в объеме 100%; в перечисленных выше зонах изоляция должна быть удалена на участке длиной не менее 100 мм; если при осмотре в какой-либо из зон под снятой изоляцией будут выявлены значительные коррозионные поражения металла (сплошная или точечно-язвенная коррозия, глубина которой составит более 0,5 мм), то осмотру с удалением изоляции должен быть подвергнут весь участок трубопровода, коррозионное состояние которого вызывает сомнения; удаление изоляции и осмотр проводятся в обоих направлениях от зоны, в которой первоначально выявлена повышенная коррозия. Особое внимание при осмотре должно быть обращено на участки трубопровода в местах установки деревянных опор, где часто наблюдается повышенная коррозия из-за накопления влаги деревом. Если при осмотре будут выявлены участки, на которых трубопровод подвергается неблагоприятным внешним воздействиям, например, заливается водой, то такие участки должны осматриваться по всей длине с удалением изоляции, а наличие нештатных источников воздействия на трубопровод должно быть отмечено в акте визуального контроля, который составляется по его результатам.

Для измерения толщин стенок труб используется преимущественно ультразвуковая толщинометрия. При этом измерения толщин производятся на трубопроводах без изоляции на каждом участке, ограниченном сварными швами, не менее, чем в трех сечениях (около сварных швов и в средней части участка); на трубопроводах с изоляцией в сечениях, подготовленных для визуального контроля; на гйбах без изоляции по каждой стороне гйба не менее, чем в трех сечениях от места гйба до ближайшего сварного шва. В гйбах со снятой для визуального контроля изоляцией — в пределах открытого участка. В каждом сечении измерения должны проводиться в четырех точках через 90° по окружности трубы; в тех случаях, когда измерения в четырех точках из-за сложности доступа невозможны, число точек измерения в сечении может быть уменьшено, но не более, чем до двух точек. При измерении толщин стенок гйбов необходимо обратить особое внимание на растянутую зону в сечении с максимальной



кривизной. На участках трубопровода, на которых измеренные толщины стенок различаются более чем на 10%, необходимо выполнять повторные измерения по сетке с шагом не более 15 мм. Результаты толщинометрии оформляются в виде протокола, в котором должны быть представлены схема расположения точек контроля и численные значения толщин в этих точках.

Для выявления дефектов в элементах трубопроводов АХУ могут быть использованы следующие методы неразрушающего контроля:

- акустико-эмиссионный контроль (АЭ-контроль),
- ультразвуковая дефектоскопия (УЗД),
- радиографическая дефектоскопия (РД),
- цветная дефектоскопия (ЦД),
- магнитопорошковая дефектоскопия (МПД),
- вихретоковая дефектоскопия (ВТД).

При выборе метода контроля (или сочетания нескольких методов) и определения его объема необходимо руководствоваться результатами визуального контроля и анализа технической документации на трубопровод. В случае если при изготовлении (монтаже) трубопровода контроль сварных швов не проводился (или данные о контроле отсутствуют), трубопровод подвергается АЭ-контролю по всей длине трубопровода или УЗД, либо РД в объеме не менее 10% сварных стыков труб. Если при изготовлении (монтаже) трубопровода контроль сварных швов был выполнен (имеются соответствующие данные), то при диагностировании проводится АЭ-контроль в объеме не менее 25% длины трубопровода или УЗД, либо РД в объеме не менее 5% сварных стыков труб. Если при визуальном контроле будут выявлены зоны, в которых возможно наличие трещин, то металл в этих зонах подвергается ЦД, МПД или ВТД в объеме 100% поверхности зон. Если при неразрушающем контроле любым из перечисленных методов будут выявлены недопустимые дефекты, то трубопровод должен быть подвергнут АЭ-контролю в объеме 100% его длины или УЗД, либо РД в объеме 100% сварных стыков труб.

Следует особо подчеркнуть, что основным методом неразрушающего контроля трубопроводов АХУ является АЭ-контроль, позволяющий выявить склонные к развитию дефекты сварных швов и основного металла при охвате 100% длины трубопровода. АЭ-контроль трубопроводов АХУ при этом проводится в соответствии с РД 03–131–97 «Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов». Использование же УЗД или РД требует значительных экономических затрат, обусловленных, в частности, необходимостью демонтажа и последующего монтажа теплоизоляции, и вызывает технические проблемы, связанные часто с отсутствием доступа к контролируемому месту, тогда как во многих случаях стыковые швы труб имеют корневые непровары из-за односторонней сварки, которые при выявлении их УЗД или РД не поддаются однозначной оценке по степени влияния на безопасность эксплуатации трубопро-

вода. Вместе с тем УЗД или РД, а также ЦД, МПД и ВТД должны использоваться в каждом случае обнаружения при АЭ-контроле источника акустически активных сигналов для уточнения вида и размеров дефекта — источника таких сигналов, а также в других случаях, когда это необходимо по решению специалистов, проводящих диагностирование. Давление в трубопроводе при АЭ-контроле должно создаваться пневматически. Допускается нагружение трубопровода гидравлически при условии обеспечения полного удаления воды и просушки трубопровода после испытаний. При гидроиспытаниях должна обеспечиваться прочность трубопровода и опор с учетом весовых нагрузок.

Завершающим этапом технического диагностирования является анализ прочности трубопровода, при выполнении которого определяются фактические нагрузки на его элементы, распределение нагрузок на опоры, устанавливаются запасы прочности на момент диагностирования и соответствие трубопровода требованиям действующей нормативной документации на технологические трубопроводы. Расчет трубопровода на прочность включает в себя следующие этапы:

- оценка статической прочности (расчет на действие весовых нагрузок, внутреннего давления, усилий промежуточных опор в рабочем состоянии);
- расчет нагрузок на опоры и оборудование (сосуды, компрессоры и другие элементы АХУ); в расчете учитываются внутреннее давление, весовая нагрузка, усилия промежуточных опор в рабочем состоянии, температурное расширение (температурная компенсация);
- оценка усталостной прочности (расчет производится на действие температурного расширения);
- расчет для нерабочего (холодного) состояния на совместное действие всех нагрузок.

Для выполнения расчетов трубопровода на прочность осуществляется построение расчетной модели (схемы). Расчетной моделью трубопровода является линейно-упругая пространственная стержневая система, которая с достаточной точностью отражает условия нагружения, физико-механические, а также геометрические характеристики рассматриваемого трубопровода. В целях упрощения формирования исходных данных и анализа результатов расчета трубопровод условно разделяется на участки. Точки сопряжения или граничные точки участков называются узлами. Точки сопряжения участков с жестким основанием системы, например, соединения трубопровода с компрессором называются концевыми защемлениями или заделками. Участком расчетной модели трубопровода может быть любая неразветвляющаяся часть системы, ограниченная двумя узлами или узлом и концевым защемлением. Расчетная модель трубопровода может состоять из одного или нескольких участков и должна иметь, по крайней мере, одно концевое защемление. Расчетные (граничные) сечения отрезков, где определяются перемещения, нагрузки и напряжения, назначаются в точках сопряжения прямых труб с дуговыми коленами, в местах

приложения сосредоточенных нагрузок, установки опор, переходов, тройников и т.п. В результате расчета определяется соответствие нормативным требованиям в области прочности всех элементов трубопровода. Перегруженные (или работающие на отрыв) опоры, перегруженные узлы и другие отклонения от норм прочности должны быть зафиксированы в выводах по результатам расчета, а указанные опоры и узлы — отмечены на схеме трубопровода. Возможность безопасной эксплуатации трубопровода с выявленными при неразрушающем контроле дефектами, за исключением трещин, допускается определять расчетом на прочность с использованием методов механики разрушения.

После завершения всех диагностических работ трубопровод подвергается пневмоиспытанию. При этом пневмоиспытание трубопровода может быть заменено гидроиспытанием при условии обеспечения его прочности от

воздействия весовых нагрузок при заполнении водой и возможности полного удаления воды и просушки трубопровода после гидроиспытания. В тех случаях, когда при неразрушающем контроле трубопровода использовался АЭ-контроль, пневмо- или гидроиспытания могут не проводиться.

Таков самый общий подход к техническому диагностированию трубопроводов АХУ. В заключение следует подчеркнуть, что наиболее опасным дефектом в трубопроводах АХУ является коррозионное растрескивание. Поэтому при их техническом диагностировании выявлению коррозионного растрескивания следует уделять наибольшее внимание и, как следствие этого, для своевременного обнаружения данного дефекта сокращать сроки продления эксплуатации трубопроводов АХУ до очередного их технического диагностирования. Следует также осуществлять периодическое проведение АЭ-мониторинга трубопроводов АХУ в процессе их эксплуатации.

## К вопросу о техническом диагностировании сосудов, работающих под давлением

Гуреев Дмитрий Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, зам. генерального директора;

Салахов Равиль Гакильевич, начальник ЛНК;

Казаков Александр Александрович, ведущий инженер;

Пилуй Юрий Владимирович, ведущий инженер;

Афримович Геннадий Григорьевич, ведущий инженер;

Репухов Сергей Александрович, ведущий инженер

ООО «ИЦ «АЭ-системы»

*При экспертизе промышленной безопасности воздухоборника выявлена причина его разрыва. Обосновано предложение о проведении необходимых дополнительных исследований при техническом диагностировании работающих под давлением сосудов, отработавших нормативный срок своей службы.*

**Ключевые слова:** *сосуды, работающие под давлением, техническое диагностирование, акустико-эмиссионный метод контроля*

## To the issue of technical diagnostics of vessels pressure

Dmitriy Mihaylovich Gureev, Ph.D., professor, deputy general director,

Ravil Gakilevich Salachov, head LNK;

Alexander Alexandrovich Kazakov, lead engineer;

Yriy Vladimirovich Piluy, lead engineer;

Gennadiy Grigorevich Afrimovich, lead engineer;

Sergey Aleksandrovich Repuchov, lead engineer

ООО «ИЦ «АЭ-системы», Samara

*During the examination of industrial safety of air collector revealed the reason for his break. Grounded proposal for carrying out the necessary additional studies at the technical diagnosis of pressure vessels, exhaust standard period of his service*

**Keywords:** *vessels, working under pressure, technical diagnostics, acoustic emission monitoring method*

Техническое диагностирование сосудов, работающих под давлением, осуществляется в рамках проведения экспертизы промышленной безопасности по истечении нормативного срока их службы. Основанием для прове-

дения экспертизы являются требования Федерального закона № 116-ФЗ от 21.07.1997 г. «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» и РД 10–520–02 «Положение по проведению экспертизы

промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используются паровые и водогрейные котлы, сосуды, работающие под давлением, трубопроводы пара и горячей воды». При этом порядок проведения экспертизы с диагностированием технического состояния сосудов и определением срока их службы регламентируется ПБ 03–246–98 «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности» с Изменением № 1 (ПБИ 03–490 (246) –02) и РД 03–421–01 «Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению срока службы сосудов и аппаратов». Этими нормативными документами определяется необходимый объем исследования составных частей тела сосуда, дополнительных элементов на

нем, сварных швов. В частности, дефектоскопии должны подвергаться не все сварные швы, а только пересечения кольцевых и продольных швов, места приварки к сосуду дополнительных элементов. Вместе с тем наш многолетний опыт показывает, что данное положение требует своего развития. В качестве подтверждающего примера рассмотрим результаты проведенной нами экспертизы промышленной безопасности воздухосборника, отработавшего практически два нормативных срока, с целью выявления причин его разрыва.

При работе воздухосборник подвергается циклическим нагрузкам, и потому при своем изготовлении рассчитывается на прочность для наперед заданного количества циклов нагружения в течение срока своей эксплуатации.

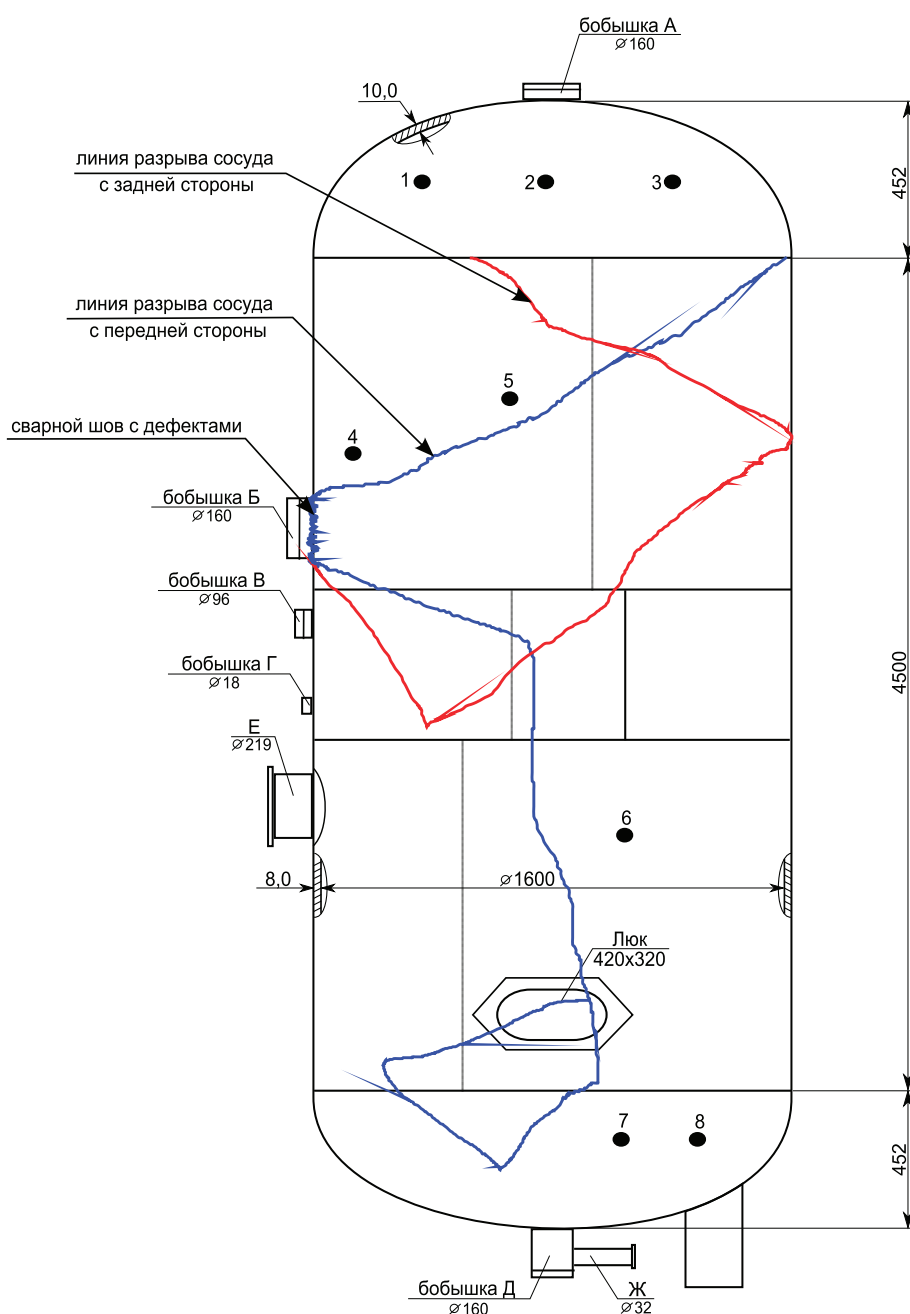


Рис.1. Схема образования трещин при разрыве воздухосборника

Этим определяется химический состав, толщина и твердость металла, из которого изготавливаются его составные части. Визуально-измерительный контроль, ультразвуковая толщинометрия и дюротометрия показали, что все элементы воздухосборника на момент его разрыва были в норме и предполагали возможность дальнейшей его безаварийной эксплуатации. Вместе с тем ультразвуковая дефектоскопия выявила незначительную пустоту в сварном шве в месте приварки бобышки Б к обечайке воздухосборника (рис.), которая в условиях многоциклового нагружения явилась концентратором напряжения и, как следствие этого, источником зарождения трещины, последующее катастрофическое развитие которой привело к разрыву воздухосборника.

Таким образом, результаты проведенной экспертизы показывают, что при определении возможности дальнейшей эксплуатации работающих под давлением со-

судов, отработавших сроки, превышающие нормативный, необходимо проводить дефектоскопию всех их сварных швов без исключения с дополнительным использованием такого активного метода неразрушающего контроля, как акустико-эмиссионный (АЭ) метод. АЭ-метод основан на регистрации и анализе акустических волн, источником которых являются процессы разрушения структурных связей, протекающие, в частности, при зарождении и развитии трещин как в металле основы, так и в зонах сварных швов при нагружении сосуда. Поэтому он позволяет своевременно обнаруживать АЭ-активные области, которые затем должны быть дополнительно подвергнуты дефектоскопии традиционными методами на предмет выявления в них скрытых критических дефектов. Желательно АЭ-метод контроля использовать в режиме периодического мониторинга при каждом очередном нагружении сосуда и при изменении его рабочих параметров.

### Опыт технического диагностирования криогенных сосудов

Гуреев Дмитрий Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, зам. генерального директора;  
 Салахов Равиль Гакильевич, начальник ЛНК;  
 Казаков Александр Александрович, ведущий инженер;  
 Пилуй Юрий Владимирович, ведущий инженер;  
 Афримович Геннадий Григорьевич, ведущий инженер;  
 Репухов Сергей Александрович, ведущий инженер  
 ООО «ИЦ «АЭ-системы»

*Описано поэтапное проведение работ по техническому диагностированию криогенных сосудов. Отмечена важность пневмоиспытаний их внутренних сосудов при одновременном акустико-эмиссионном контроле процесса для своевременного обнаружения в них развивающихся дефектов.*

**Ключевые слова:** криогенные сосуды, техническое диагностирование

### Experience technical diagnostics cryogenic vessels

Dmitriy Mihaylovich Gureev, Ph.D., professor, deputy general director,  
 Ravil Gakilevich Salachov, head LNK;  
 Alexander Alexandrovich Kazakov, lead engineer;  
 Yriy Vladimirovich Piluy, lead engineer;  
 Gennadiy Grigorevich Afrimovich, lead engineer;  
 Sergey Aleksandrovich Repuchov, lead engineer  
 ООО «IC «AE-system», Samara

*Described gradual work on technical diagnostics of cryogenic vessels. The importance of internal pneumoispitany their vessels while acoustic emission monitoring process for the early detection of developing defects in them*

**Keywords:** cryogenic vessels, technical diagnosis

В настоящее время в различных отраслях промышленности используется значительное количество криогенных сосудов, предназначенных для хранения, транспортировки и разлива криогенных жидкостей, со сроком эксплуатации более 20 лет. Криогенные сосуды относятся

к опасным производственным объектам и подпадают под действие Федерального закона № 116-ФЗ от 21.07.1997 г. «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Поэтому по истечении нормативного срока службы они должны быть подвергнуты экспертизе

промышленной безопасности, включающей в себя их техническое диагностирование и расчет остаточного ресурса для определения возможности дальнейшей эксплуатации.

Техническое диагностирование криогенных сосудов осуществляется в соответствии с РД 2082–15–98 «Резервуары криогенные. Методика технического освидетельствования» и РД 2082–18–2005 «Программа технического диагностирования и продления назначенного срока службы криогенных резервуаров». Оно включает в себя:

- анализ технической и эксплуатационной документации,
- визуальный и измерительный контроль,
- толщинометрию и диюметрию,
- дефектоскопию сварных швов,
- проверку вакуумной герметичности термоизоляционного пространства,
- испытание на прочность и расчет остаточного ресурса.

В рамках анализа технической и эксплуатационной документации, прежде всего, уделяется внимание изучению паспорта на внутренний сосуд, подвергающийся воздействию высоких давлений и низких температур, технологической справки на внутренний сосуд, прочностного расчета внутреннего сосуда, сборочного чертежа криогенного сосуда в целом, технического описания и инструкции по его эксплуатации, инструкции по техническому обслуживанию криогенного сосуда, сменного журнала, журнала проверки манометров, предписаний органов Ростехнадзора, ранее выданных заключений экспертизы промышленной безопасности. При изучении паспорта акцентируется внимание на наименование и назначение криогенного сосуда, его заводской номер, завод-изготовитель, даты изготовления и ввода в эксплуатацию, рабочие давления и рабочие температуры составных элементов криогенного сосуда, расчетное и пробное давления внутреннего сосуда, его расчетная температура и рабочий объем, скорость коррозии основных элементов криогенного сосуда, антикоррозионное покрытие, теплоизоляцию, объем неразрушающего контроля на заводе-изготовителе. Важную часть анализа эксплуатационной документации составляют сведения о ремонтах и причинах запрещения эксплуатации криогенного сосуда. Необходимым предварительным этапом технического диагностирования является систематизация сведений об основных элементах внутреннего сосуда (обечайки, днищах, горловинах, крышек люков, трубопроводов): их геометрических параметрах, толщинах стенок, марок материалов, из которых они изготовлены. Следующим этапом является анализ фактических условий эксплуатации сосуда, включающих среднее количество суток работы сосуда в год, количество циклов его нагружения за весь период эксплуатации и в среднем за год, максимальное рабочее давление во внутреннем сосуде, минимальная рабочая температура в нем, рабочая среда, наличие антикоррозионного покрытия, состав теплоизоляции, сведения о технических освидетельствованиях и технических диагностированиях, данные о реконструкциях и модернизациях.

Визуальному и измерительному контролю подвергаются полностью наружная поверхность теплоизоляцион-

ного кожуха, частично (в доступных местах через технологические отверстия) наружная и внутренняя поверхности внутреннего сосуда, трубопроводы обвязки, сварные швы кожуха и доступные участки сварных швов внутреннего сосуда, арматурный шкаф.

Проверяются вентили, мембранные узлы, манометры, предохранительные клапаны.

Толщинометрии (преимущественно ультразвуковой) и диюметрии подвергаются доступные участки составных элементов внутреннего сосуда. Доступными участками ограничивается также дефектоскопия сварных швов внутреннего сосуда.

Вследствие последнего при техническом диагностировании криогенного сосуда важное место отводится проведению пневмоиспытаний его внутреннего сосуда с одновременным акустико-эмиссионным (АЭ) контролем, регламентируемым Правилами ПБ 03–593–03 «Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов». При проведении АЭ-контроля АЭ-преобразователи устанавливаются на естественных волноводах (трубопроводах обвязки) так, чтобы покрыть всю поверхность внутреннего сосуда. Это позволяет надежно выявлять на внутреннем сосуде активные, критически активные и катастрофически активные АЭ-источники. Если таковые отсутствуют, то делается вывод, что внутренний сосуд не содержит развивающихся дефектов и потому криогенный сосуд может быть допущен к дальнейшей эксплуатации. При регистрации же даже признаков активных АЭ-источников в зоне их обнаружения на поверхности теплоизоляционного кожуха вырезаются технологические окна для дефектоскопии подозрительных участков поверхности внутреннего сосуда традиционными методами, и решение о допуске криогенного сосуда к дальнейшей эксплуатации принимается по результатам такой дефектоскопии.

Завершается техническое диагностирование криогенного сосуда восстановлением вакуума в теплоизоляционном пространстве и проверкой его вакуумной герметичности.

По результатам технического диагностирования выполняется прочностной расчет, расчет остаточного ресурса и определяется срок дальнейшей эксплуатации криогенного сосуда до проведения его очередной экспертизы промышленной безопасности.

Таким образом, при поэтапном проведении всего комплекса работ по техническому диагностированию криогенных сосудов из-за их конструктивных особенностей важное и во многом определяющее место отводится пневмоиспытаниям их внутренних сосудов с одновременным АЭ-контролем с целью объективного выявления в них зон возможных развивающихся дефектов. В результате в большинстве случаев техническое диагностирование криогенных сосудов сводится к проведению работ, основанных на использовании только неразрушающих методов контроля.



## Выбор ветроустановок для систем автономного электроснабжения

Дайчман Райнгольд Андреевич, ассистент  
Омский государственный технический университет

*В статье представлен анализ современных конструкций ветроустановок. Выделены критерии оценки, положительные и отрицательные стороны каждого вида.*

**Ключевые слова:** ветроустановка, горизонтально-осевые, вертикально-осевые, ротор Савониуса, ротор Дарье, ротор Горлова, ветроустановки с многолопастным ротором, ветер, скорость, момент

Развитие ветроэнергетики в последнее время все более ускоряется что обусловлено желанием иметь независимую генерацию мощности, повышением тарифов, а также износом отечественных сетей. В данной статье исследуется применение ветроустановки (ВЭУ) для индивидуального пользования.

Все ВЭУ характеризуются положением оси ветроколеса относительно поверхности. Эффективности установки определяется КИЭВ — коэффициент использования энергии ветра, теоретически максимально возможный КИЭВ 60%.

Наиболее применимым типом ветроэнергетических установок является горизонтально-осевой ветродвигатель, рис. 1, ось вращения ветроколеса которого располагается параллельно направлению скорости ветра. Вращающийся момент создается аэродинамическими подъёмными силами. [1]



Рис. 1. Горизонтально-осевые ветродвигатели

Конструктивно более распространены трехлопастные установки с номинальной мощностью до 10 МВт. Ротор этих ветрогенераторов обладает большим моментом инерции, и как следствие, обладает более малыми скоростями вращения, но за счет своих размеров, формирует более высокий крутящий момент.

Другим основным видом являются ветродвигатели с вертикальной осью вращения, рис. 2.



Рис. 2. Вертикально-осевые ветроустановки

Генерация начинается при скорости ветра около 5 м/с, а на номинальную мощность установка выходит при 11 м/с. Максимально установленная мощность до 20 МВт. [2]

Ротор Савониуса имеет лопасти в виде цилиндрических поверхностей, рис. 3. [3]



Рис. 3. Ветроустановка с ротором Савониуса

Вращающийся момент создается различными силами сопротивления воздушному потоку. Наиболее мощные рассчитаны на 5 кВт.

Ротор Дарье состоит из двух лопастей-пластин и вертикальной оси, рис. 4. [4]



Рис. 4. Ветроустановка с ротором Дарье

Ротор Горлова это всего лишь разновидность вертикально-осевой ветроустановки, рис. 5. [5]



Рис. 5. Ветроустановка с ротором Горлова

Многолопастные ветрогенераторы с направляющим аппаратом, конструктивно обладают двумя линиями лопастей, неподвижно закреплённый внешний ряд это концентрирующее ветрозахватное устройство. Ускоренный поток воздуха под наилучшим углом податься на лопасти генератора, рис. 6. [6]



Рис. 6. Ветроустановки с многолопастным ротором с направляющим аппаратом

В таблице 1 приведено сравнение наиболее распространённых конструкций ветроэнергетических установок.

Таблица 1. Характеристики ветроустановок

Тип ветроустановки	Преимущества	Недостатки
Горизонтально-осевая	КИЭВ порядка 47–48%; Малое число лопастей; Простой процесс монтажа; Дешёвые генераторы;	Большая стоимости системы в целом; Необходимость ориентации на ветер; Сложный механизм поворота лопастей;
Вертикально-осевая	Отсутствие механизма, ориентирующего на ветер; Удобство эксплуатации;	Низкая надёжность; Массивная лопастная конструкция; Отсутствие регулировки угла лопастей;
Ротор Савониуса	Само запуск при низких скоростях ветра;	Высокая материалоемкость; Слабый КИЭФ — 15%;
Ротор Дарье	КИЭВ 36%-40%; Простое обслуживание;	Проблемы с самозапуском;
Ротор Горлова	Большой срок службы; Высокая эффективность;	Сложная конструкция лопастей; Высока цена;
Многолопастная с направляющим аппаратом	КИЭФ до 50%; Работа с низкими скоростями ветра;	Большая стоимость; Значительная металлоемкость;

В целом, можно сказать, что ветроустановки с вертикальной осью вращения наиболее рекомендуемы для применения в автономном электроснабжении. При недостаточных скоростях ветра, а это 5 м/с и ниже, предпочтительным является использование комбинированных устройств, состоящих из ротора Дарье и ротора Савониуса, данное сочетание позволяет иметь достаточно низкий момент трогания и сохранять вырабатываемую энергию на приемлемом для потребителя уровне. Также перспективным направление — это развитие принципиально новых конструкций ветроколес, основанных на применение концентраторов и конфузоров, что еще более расширит, сферу применяя ветроэнергетики даже в регионах с относительно низкими скоростями ветра. [7–9]

Литература:

1. HOME: Inhalt der Website Windenergie Technik // Windenergie Technik URL: <http://www.windenergie-technik-crome.de/> (дата обращения 13.11.2015)
2. Энергетика, ресурсосбережение, экономика // Simple Machines URL: <http://vedomo.ru/index.php?topic=491.0> (дата обращения 13.11.2015)
3. Возобновляемые источники энергии. Часть 2. Ветер // URL: <http://www.science-techno.ru/nt/article/vozobnovlyaemye-istochniki-energii-chast-2-veter/page/1> (дата обращения 13.11.2015)
4. Анализ ветроустановок с вертикальной осью вращения для электростанций малой мощности // URL: [http://www.rusnauka.com/27\\_NNM\\_2011/Tecnic/5\\_92716.doc.htm](http://www.rusnauka.com/27_NNM_2011/Tecnic/5_92716.doc.htm) (дата обращения 13.11.2015)
5. Gorlov helical turbine // URL: <http://winddose.com/wind-turbine-technologies.html> (дата обращения 13.11.2015)
6. Ветрогенераторы с многолопастным ротором с направляющим аппаратом // URL: <http://reon.by/ob-energetike/energija-vetra/80-002> (дата обращения 13.11.2015)
7. Дайчман, Р.А. Возможности современной ветроэнергетики / Р.А. Дайчман // Актуальные вопросы современной науки. — 2015. — № 4 (8). — с. 11–14.
8. Дайчман, Р.А. Использование ветроэнергетических установок в Российской Федерации / Р.А. Дайчман // Аprobация. — 2015. — № 11 (38). — с. 13–15.
9. Дайчман, Р.А. Современная ветроэнергетика в Российской Федерации / Р.А. Дайчман // Научная перспектива. — 2015. — № 11 (69). — с. 98–99.

# Молодой ученый

Научный журнал  
Выходит два раза в месяц

№ 24 (104) / 2015

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Главный редактор:**

Ахметов И. Г.

**Члены редакционной коллегии:**

Ахметова М. Н.  
Иванова Ю. В.  
Каленский А. В.  
Куташов В. А.  
Лактионов К. С.  
Сараева Н. М.  
Авдеюк О. А.  
Айдаров О. Т.  
Алиева Т. И.  
Ахметова В. В.  
Брезгин В. С.  
Данилов О. Е.  
Дёмин А. В.  
Дядюн К. В.  
Желнова К. В.  
Жуйкова Т. П.  
Жураев Х. О.  
Игнатова М. А.  
Коварда В. В.  
Комогорцев М. Г.  
Котляров А. В.  
Кузьмина В. М.  
Кучерявенко С. А.  
Лескова Е. В.  
Макеева И. А.  
Матроскина Т. В.  
Матусевич М. С.  
Мусаева У. А.  
Насимов М. О.  
Прончев Г. Б.  
Семахин А. М.  
Сенцов А. Э.  
Сенюшкин Н. С.  
Титова Е. И.  
Ткаченко И. Г.  
Фозилов С. Ф.  
Яхина А. С.  
Ячинова С. Н.

**Ответственные редакторы:**

Кайнова Г. А., Осянина Е. И.

**Международный редакционный совет:**

Айрян З. Г. (Армения)  
Арошидзе П. Л. (Грузия)  
Атаев З. В. (Россия)  
Бидова Б. Б. (Россия)  
Борисов В. В. (Украина)  
Велковска Г. Ц. (Болгария)  
Гайич Т. (Сербия)  
Данатаров А. (Туркменистан)  
Данилов А. М. (Россия)  
Демидов А. А. (Россия)  
Досманбетова З. Р. (Казахстан)  
Ешиев А. М. (Кыргызстан)  
Жолдошев С. Т. (Кыргызстан)  
Игиснинов Н. С. (Казахстан)  
Кадыров К. Б. (Узбекистан)  
Кайгородов И. Б. (Бразилия)  
Каленский А. В. (Россия)  
Козырева О. А. (Россия)  
Колпак Е. П. (Россия)  
Куташов В. А. (Россия)  
Лю Цзюань (Китай)  
Малес Л. В. (Украина)  
Нагервадзе М. А. (Грузия)  
Прокопьев Н. Я. (Россия)  
Прокофьева М. А. (Казахстан)  
Рахматуллин Р. Ю. (Россия)  
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:** Голубцов М. В.

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:**

почтовый: 420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231;  
фактический: 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.  
E-mail: info@moluch.ru; http://www.moluch.ru/

**Учредитель и издатель:**

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2072-0297

Подписано в печать 10.01.2015. Тираж 500 экз.

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, 25