



**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ ЗАОЧНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

ИННОВАЦИИ В НАУКЕ

Часть I

Новосибирск, 2012 г.

УДК 08
ББК 9
И 66

И 66 «Инновации в науке»: материалы международной заочной научно-практической конференции. Часть I. (11 апреля 2012 г.); [под. ред. Я. А. Полонского]. Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов», 2012. — 116 с.

ISBN 978-5-4379-0069-7

Сборник трудов международной заочной научно-практической конференции «Инновации в науке» отражает результаты научных исследований, проведенных представителями различных школ и направлений современной науки.

Данное издание будет полезно аспирантам, студентам, специалистам в области инноваций и всем интересующимся актуальным состоянием и тенденциями развития современной науки.

ББК 9

ISBN 978-5-4379-0069-7

Редакционная коллегия:

Председатель редколлегии:

- канд. техн. наук Полонский Яков Аркадьевич.

Члены редколлегии:

- канд. юрид. наук Андреева Любовь Александровна;
- канд. филол. наук Бердникова Анна Геннадьевна;
- канд. мед. наук, д-р психол. наук Дмитриева Наталья Витальевна;
- канд. мед. наук Захаров Роман Иванович;
- канд. психол. наук Красовская Наталия Рудольфовна;
- канд. биол. наук Харченко Виктория Евгеньевна;
- канд. пед. наук Якушева Светлана Дмитриевна.

© НП «Сибирская ассоциация консультантов», 2012 г.

Оглавление

Секция 1. Физико-математические науки	6
СКОРОСТЬ СХОДИМОСТИ ПРИБЛИЖЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НЕСТАЦИОНАРНОГО ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ НАД ТВЕРДЫМ ТЕЛОМ Ерунова Ирина Борисовна	6
ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АЛГОРИТМОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ Лавров Семен Александрович	10
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ТЕЧЕНИЯ ИДЕАЛЬНЫХ ДВУХФАЗНЫХ СРЕД В ОТКРЫТЫХ КАНАЛАХ ПОСТОЯННОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ Медетбекова Рыскуль Ашималиевна Нысанов Ерназар Айдарович Медетбеков Муратбек Мухалбекович	22
КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ: ФИЗИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ Потапов Алексей Алексеевич	27
Секция 2. Химические науки	37
ПАРОУГЛЕКИСЛОТНАЯ КОНВЕРСИЯ МЕТАНА КАК МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕЗ-ГАЗА ЗАДАННОГО СОСТАВА ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ МЕТАНОЛА И СИНТЕТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ Демидов Дмитрий Вячеславович Розенкевич Михаил Борисович Сахаровский Юрий Александрович	37
УТИЛИЗАЦИЯ ВТОРИЧНОГО ПОЛИМЕРНОГО СЫРЬЯ Кобзев Кирилл Олегович Баранникова Ольга Олеговна Шульга Сергей Анатольевич	50
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ СЛУЧАЙНЫХ РАЗРЫВОВ К АНАЛИЗУ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНА Коптелов Игорь Александрович	54

Секция 3. Биологические науки	60
СПАРИВАНИЕ И ЯЙЦЕКЛАДКА КРЕСТОЦВЕТНЫХ КЛОПОВ	60
Хамраев Аловиддин Шамсиддинович	
Ганджаева Лола Атаназаровна	
Абдуллаев Икром Искандарович	
Рахматуллаева Шохида Халиллаевна	
Абдуллаева Сарвиноз Ибадуллаевна	
Нурметова Назокат Бахтияровна	
Аллаберганова Комила Сабиржановна	
ОЦЕНКА СТЕПЕНИ АДАПТАЦИИ ИНДИВИДА НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ГОЛОВНОГО МОЗГА И ПСИХОДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ	64
Кирсанов Вячеслав Михайлович	
Секция 4. Технические науки	69
ПРИМЕНЕНИЕ МКЭ ANSYS ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НИТЕЙ В НАМОТКЕ НА СНОВАЛЬНОМ ВАЛИКЕ	69
Валентина Николаевна Власова	
РОЛЬ ВИСБРЕКИНГА В УГЛУБЛЕНИИ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ	76
Ахмадова Хава Хамидовна	
Сыркин Алик Михайлович	
Садулаева Альбика Супьяновна	
ВНЕДРЕНИЕ ВАКУУМНО-КАВИТАЦИОННОГО МЕТОДА ДЕАЭРАЦИИ ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ	84
Борисова Наталия Владимировна	
Никитин Максим Николаевич	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СУШКИ ЗЕРНА	89
Курдюмов Владимир Иванович	
Павлушин Андрей Александрович	
Сутягин Сергей Алексеевич	
Журавлёв Алексей Валериевич	
Нестерова Дарья Владимировна	

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕРМО-ВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ КАРПА ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ ГОТОВНОСТИ Родионова Наталья Сергеевна Попов Евгений Сергеевич Бахтина Татьяна Ивановна	93
---	----

Секция 5. Сельскохозяйственные науки **98**

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ КАК ОДИН ИЗ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ Атаманова Ольга Викторовна	98
---	----

МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЗЕМЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ КАК ФАКТОР РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН Вагапова Юлия Фазылитдиновна Абдуллина Фарида Рахмановна	103
---	-----

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОТЕОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ СЕРИИ «AiVi» ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ Архипов Александр Николаевич Позднякова Анна Владимировна	107
--	-----

МОЛОЧНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ КОРОВ ЧЕРНО-ПЕСТРОЙ И КРАСНО-ПЕСТРОЙ ПОРОД ПРИ РАЗВЕДЕНИИ В УСЛОВИЯХ АРИДНОЙ ЗОНЫ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ Цымбал Ольга Николаевна Лазько Марина Владимировна	111
--	-----

СЕКЦИЯ 1.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

СКОРОСТЬ СХОДИМОСТИ ПРИБЛИЖЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НЕСТАЦИОНАРНОГО ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ НАД ТВЕРДЫМ ТЕЛОМ

Ерунова Ирина Борисовна

*канд. физ.-мат. наук, доцент, Национальный минерально-сырьевой
университет «Горный», г. Санкт-Петербург
E-mail: kaf_metro@nwpf.ru*

В работе исследуется математическая модель фазового перехода между твердым телом и жидкостью с движущейся свободной границей раздела сред.

Оценки скорости сходимости приближенного решения стационарной задачи о движении жидкости над твердым телом были получены в [3, с. 4]. Разрешимость полной системы уравнений Навье-Стокса и Стефана была доказана в [2, с. 26]. Существование единственного приближенного решения полной системы термодинамических уравнений, уравнений движения жидкости и границы раздела фаз в нестационарном случае рассматривалось в [1, с. 89]. В настоящей работе получены оценки скорости сходимости единственного приближенного решения нестационарной системы уравнений Навье-Стокса и Стефана к точному решению следующей задачи.

Пусть твердое тело и жидкость с коэффициентами теплопроводности λ_1 и λ_2 , коэффициентами удельной теплоемкости c_1 и c_2 соответственно занимают в пространстве область

$$\Omega = \{x \in R^3 : 0 < x_1 < l_1, \quad 0 < x_2 < l_2, \quad d_1 < x_3 < d_2\}.$$

Область Ω ограничена снизу границей

$$S_1 = \{x \in R^3 : x_3 = d_1\}$$

и сверху

$$S_2 = \{x \in R^3 : x_3 = d_2\}.$$

Граница раздела сред Γ не пересекается с S_1 и S_2 . Твердое тело с плотностью ρ_1 расположено в области Ω_1 , ограниченной снизу S_1 , а сверху Γ . Жидкость с плотностью ρ_2 и динамической вязкостью μ_2 занимает область Ω_2 , ограниченную снизу Γ , а сверху S_2 .

Задача состоит в приближенном определении температуры $\Theta(t, x)$, скорости движения жидкости $\vec{v}(t, x)$, давления жидкости $p(t, x)$, перемещения $\vec{u}(t, x)$ свободной границы Γ в направлении нормали \vec{n} , удовлетворяющих начальным и граничным условиям

$$c_1 \rho_1 \frac{\partial \theta}{\partial t} - \lambda_1 \Delta \theta = Q, x \in \Omega_1, \quad (1)$$

$$\theta|_{S_1} = \theta_1, \theta|_{\Gamma} = \theta_2,$$

$$\rho_2 \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} - \mu_2 \Delta \vec{v} + \rho_2 (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} + \nabla p = \rho_2 \cdot \alpha \cdot \vec{q} \cdot \theta, \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0,$$

$$c_2 \rho_2 \frac{\partial \theta}{\partial t} - \lambda_2 \Delta \theta + c_2 \rho_2 (\vec{v} \cdot \nabla) \theta = f, x \in \Omega_2,$$

$$M \rho_1 \frac{d\vec{u}}{dt} \vec{n} = \left[\lambda \frac{\partial \Theta}{\partial n} \right]_{\Gamma}, \quad \frac{d\vec{u}}{dt} \cdot \vec{\tau}|_{\Gamma} = 0, \quad (3)$$

$$\Theta|_{t=0} = \Theta_0(x), \quad \vec{v}|_{t=0} = \vec{v}_0(x), \quad p|_{t=0} = p_0(x),$$

$$\vec{u}|_{t=0} = 0, \quad (4)$$

здесь: M — удельная теплота плавления. Область Ω может быть продолжена в направлении осей x_1 и x_2 с периодами l_1 и l_2 соответственно. Предполагается, что $\Theta, \vec{v}, p, \vec{u}$ периодические функции по переменным x_1 и x_2 с периодами l_1 и l_2 .

Рассмотрим этапы решения задачи (1)—(4). Пусть T время плавления, выберем натуральное число N , обозначим шаг по времени $k = \frac{T}{N}$, а моменты по времени $t_n = nk$, $0 \leq n \leq N$. Процесс начинается с начальных условий (4)

$$\Theta^0 = \Theta_0(x), \quad \vec{v}^0 = \vec{v}_0(x), \quad p^0 = p_0(x), \quad \vec{u}^0 = 0,$$

начальная граница $\Gamma|_{t=0} = \Gamma_0$ известна. Предположим, существует единственное приближенное решение $\Theta^n, \vec{v}^n, p^n, \vec{u}^n$ в момент времени t_n . Задача состоит в определении нового приближенного решения в момент времени t_{n+1} .

Температура Θ^{n+1} является решением линейной задачи фиксированной области Ω^n

$$\begin{aligned} c_1 \rho_1 \frac{\partial \theta}{\partial t} - \lambda_1 \Delta \theta &= Q, x \in \Omega_1^n, \\ \theta|_{s_1} &= \theta_1, \theta|_{\Gamma^n} = \theta_2, \theta|_{s_2} = \theta_3, \theta|_{t=0} = \theta_0(x), \\ c_2 \rho_2 \frac{\partial \theta}{\partial t} - \lambda_2 \Delta \theta + c_2 \rho_2 (\vec{v}^n \nabla) \theta &= f, x \in \Omega_2^n, \end{aligned} \quad (5)$$

с известными \vec{v}^n, Γ^n .

Следующая задача состоит в определении приближенных \vec{v}^{n+1} и p^{n+1} , удовлетворяющих нестационарной системе уравнений Навье-Стокса в Ω_2^n ,

$$\begin{aligned} \rho_2 \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} - \mu_2 \Delta \vec{v} + \rho_2 (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} + \nabla p &= \rho_2 \cdot \alpha \cdot \vec{q} \cdot \theta^{n+1}, \\ \nabla \cdot \vec{v} &= 0, x \in \Omega_2^n, \end{aligned} \quad (6)$$

с заданными θ^{n+1}, Γ^n .

Наконец, новое приближенное перемещение \vec{u}^{n+1} границы Γ^n получается из уравнений

$$\begin{aligned} M \rho_1 \frac{d\vec{u}}{dt} \vec{n} &= \left[\lambda \frac{\partial \Theta^{n+1}}{\partial n} \right]_{\Gamma^n}, \\ \frac{d\vec{u}}{dt} \vec{\tau} &= 0, \quad \vec{u}|_{t=0} = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

В анализе нестационарных задач (5)—(7) используется разностная схема Кренка-Николсона для переменной по времени. На каждом шаге итераций приближенные решения предлагаемых вариационных формулировок задач (5) и (6) получаются методом конечного элемента. Рассмотрим непрерывные функции $\theta_k(t), \vec{v}_k(t), p_k(t), \vec{u}_k(t)$:

$$\begin{aligned}\theta_k(t) &= \theta^n + \frac{t-nk}{k}(\theta^{n+1} - \theta^n), \\ \bar{v}_k(t) &= \bar{v}^n + \frac{t-nk}{k}(\bar{v}^{n+1} - \bar{v}^n), \quad p_k(t) = p^n + \frac{t-nk}{k}(p^{n+1} - p^n), \\ \bar{u}_k(t) &= \bar{u}^n + \frac{t-nk}{k}(\bar{u}^{n+1} - \bar{u}^n), \\ t &\in [nk, (n+1)k], \quad 0 \leq n \leq N-1.\end{aligned}$$

Основным результатом работы является следующая теорема.

Теорема. Пусть $f_i \in L^2(0, T; L_2(\Omega_i))$, $i = 1, 2$,
 $(\Theta_0, \bar{v}_0, p_0, \bar{u}_0) \in$

$$\in W_2^2(\Omega_1 \cup \Omega_2) \times \left(W_2^2(\Omega_1 \cup \Omega_2) \right)^3 \times L_2(\Omega_2) \times \left(W_2^{\frac{1}{2}}(\Gamma) \right)^3.$$

Если существует точное решение задачи (1)—(4)
 $(\Theta, \bar{v}, p, \bar{u}) \in$

$$\in L^2 \left(0, T; W_2^2(\Omega_1 \cup \Omega_2) \times \left(W_2^2(\Omega_1 \cup \Omega_2) \right)^3 \times L_2(\Omega_2) \times \left(W_2^{\frac{1}{2}}(\Gamma) \right)^3 \right),$$

тогда задача (1)—(4) имеет единственное приближенное решение
 $(\Theta_k, \bar{v}_k, p_k, \bar{u}_k) \in$

$$\in C \left(0, T; W_2^2(\Omega_1 \cup \Omega_2) \times \left(W_2^2(\Omega_1 \cup \Omega_2) \right)^3 \times L_2(\Omega_2) \times \left(W_2^{\frac{1}{2}}(\Gamma) \right)^3 \right).$$

Если для точного решения задачи (1)—(4) выполняются дополнительные условия

$$\frac{d\Theta}{dt}, \frac{d^2\Theta}{dt^2} \in L^2 \left(0, T; \left(W_2^1(\Omega_1 \cup \Omega_2) \right)^3 \right), \quad \frac{d\bar{v}}{dt}, \frac{d^2\bar{v}}{dt^2} \in L^2 \left(0, T; \left(W_2^1(\Omega_1 \cup \Omega_2) \right)^3 \right),$$

тогда существует положительное число k_0 такое, что для любого $k \in (0, k_0)$ справедливы неравенства

$$\max_{1 \leq n \leq N} \left(\left\| \Theta(t_n) - \Theta^n \right\|_{0, \Omega^{n-1}} + \left\| \bar{v}(t_n) - \bar{v}^n \right\|_{0, \Omega^{n-1}} \right) \leq b_1 k$$

$$\sum_{n=1}^N \left(\left\| \bar{v}(t_n) - \bar{v}^n \right\|_{1, \Omega^{n-1}} \left(\left\| p(t_n) - p^n \right\|_{0, \Omega_2^{n-1}}^2 + \left\| \bar{u}(t_n) - \bar{u}^n \right\|_{0, \Gamma^{n-1}}^2 \right) \right) \leq b_2 k,$$

$$k \sum_{n=1}^N \left\| \Theta(t_n) - \Theta^n \right\|_{2, \Omega^n}^2 \leq b_3,$$

где постоянные b_1 , b_2 и b_3 не зависят от k .

Список литературы:

1. Ерунова И. Б. Об оценках скорости сходимости приближенного решения задачи об испарении жидкости // Сборник трудов III Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы управления информационными системами». 2009. — СПб. С. 87—91.
2. Ерунова И. Б., Ривкинд В. Я.. Исследование задачи об испарении жидкости // Вестник Ленингр. университета. 1991. вып. 2, № 8. С. 22—27.
3. Erunova I., Neittaanmaki P. Convergence estimates for approximation of the steady flow liquid and gas over a solid. Report 18. 1997. — Jyvaskyla: University of Jyvaskyla. 15 p.

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АЛГОРИТМОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Лавров Семен Александрович

инженер, РФЯЦ-ВНИИТФ, г. Снежинск

E-mail: semmlav@list.ru

Как известно [3, 5] задача решения уравнения Радона является некорректно поставленной задачей, небольшие погрешности в проекционных данных могут привести к большим погрешностям в реконструируемой функции.

Методы повышения устойчивости алгоритмов реконструкции томографического изображения (метод усечения частот и метод Тихонова) могут быть недостаточными для повышения качества изображения, в особенности, когда проекционные данные являются достаточно зашумленными (влияние ошибок измерений электронной

системы сбора данных, технических и физических факторов сканирующей системы томографического комплекса).

Одним из подходов для повышения устойчивости алгоритмов реконструкции является использование кратномасштабного анализа теории вейвлетов как инструмента фильтрации проекционных данных и с целью повышения устойчивости алгоритмов реконструкции.

Вейвлеты — это обобщенное название семейств математических функций определенной формы, которые локальны во времени и по частоте, и в которых все функции получаются из одной базовой (порождающей) посредством ее сдвигов и растяжений по оси времени [6, 14, 2].

Кратномасштабный анализ позволяет анализировать изображение одновременно для разных масштабов. Кратномасштабный анализ определяется следующими свойствами [1, 9, 4, 2]:

рассмотрим цепочку пространств

$$V_j = \{f \in L^2(\mathbf{R}), f - \text{кусочно- постоянные на } [2^j k, 2^j(k+1)), k \in \mathbf{Z}\},$$

они имеют свойства

$$\dots \subset V_2 \subset V_1 \subset V_0 \subset V_{-1} \subset \dots, \text{ где: } \overline{\bigcup_{j \in \mathbf{Z}} V_j} = L^2(\mathbf{R}), \underline{\bigcap V_j} = \{0\};$$

$$f(t) \in V_j \Leftrightarrow f(2t) \in V_{j-1};$$

$$f(t) \in V_0 \Rightarrow f(t-n) \in V_0 \text{ для } \forall n \in \mathbf{Z};$$

и пусть существует $\varphi \in V_0$, что $\{\varphi_{0,n}(t), n \in \mathbf{Z}\}$ — ортонормированный базис в V_0 , где

$$\{\varphi_{j,n}(t) = 2^{-j/2} \varphi(2^{-j}t - n), \forall j, n \in \mathbf{Z}\}.$$

Идея заключается в том, что для любого набора замкнутых подпространств, удовлетворяющих этим условиям, существует ортонормированный базис вейвлетов $\{\psi_{j,n} = 2^{-j/2} \psi(2^{-j}t - n); j, n \in \mathbf{Z}\}$ для $L^2(\mathbf{R})$, что для $\forall f \in L^2(\mathbf{R})$

$$P_{j-1}f = P_j f + \sum_{n \in \mathbf{Z}} \langle f, \psi_{j,n} \rangle \psi_{j,n}, \quad P_j \text{ — ортогональное}$$

проектирование на V_j .

Другими словами кратко масштабный анализ может описать подпространства, определяемые свойствами, описанными выше, причем $\lim_{j \rightarrow -\infty} P_j f = f$. Кроме того, существует $\{h_n; n \in \mathbf{Z}\}$, тогда, для

$\varphi \in V_0 \subset V_{-1}$ выполняется

$$\varphi(t) = \sum_n h_n \varphi_{-1,n}(t) = \sqrt{2} \sum_n h_n \varphi(2t - n),$$

где: $\varphi_{-1,n}$ — ортонормированный базис в V_0 ,

$$h_n = \langle \varphi, \varphi_{-1,n} \rangle, \quad \sum_n |h_n|^2 = 1.$$

Функцию φ называют «масштабирующей функцией» [4]. Кроме того, существует функция ψ , называемая «вейвлетом, ассоциированным с данным кратномасштабным анализом» [4], для которого $P_{j-1}f = P_j f + \sum_{n \in \mathbf{Z}} \langle f, \varphi_{j,n} \rangle \varphi_{j,n}$. Функция ψ может быть

выражена следующим образом: $\psi(t) = \sqrt{2} \sum_n g_n \varphi(2t - n)$, где

$$g_n = (-1)^n \overline{h_{-n}}, \quad \text{где черта обозначает комплексное сопряжение.}$$

Тогда получим

$$P_j f = \sum_{n \in \mathbf{Z}} \langle f, \varphi_{j,n} \rangle \varphi_{j,n} = \sum_{n \in \mathbf{Z}} \langle f, \varphi_{j+1,n} \rangle \varphi_{j+1,n} + \sum_{n \in \mathbf{Z}} \langle f, \psi_{j+1,n} \rangle \psi_{j+1,n}$$

Вводим $a_{j,n} = \langle f, \varphi_{j,n} \rangle$, $d_{j,n} = \langle f, \psi_{j,n} \rangle$, тогда

$$\begin{aligned} P_j f &= \sum_n a_{j,n} \varphi_{j,n}(t) = \sum_n a_{j+1,n} \varphi_{j+1,n}(t) + \sum_n d_{j+1,n} \psi_{j+1,n}(t) = \\ &= \sum_n a_{j+2,n} \varphi_{j+2,n}(t) + \sum_n d_{j+2,n} \psi_{j+2,n}(t) + \sum_n d_{j+1,n} \psi_{j+1,n}(t) \end{aligned} \quad (1)$$

и такое преобразование можно продолжить далее (см. рисунок 1).

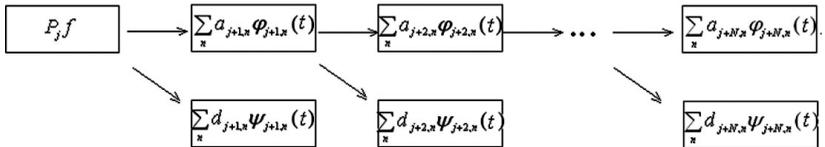


Рисунок 1. Схематичное представление вейвлет-преобразования

$\{a_j\}$, $\{d_j\}$, $j \in \mathbf{Z}$ — коэффициенты дискретного вейвлет-преобразования (их еще называют аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты вейвлет-преобразования [6]). Соответственно

$$\varphi_{j,n} = 2^{-j/2} \varphi(2^{-j}t - n) = 2^{(1-j)/2} \sum_k h_k \varphi(2^{1-j}t - 2n - k) = \sum_k h_k \varphi_{j-1,k+2n}(t) \quad (2)$$

$$\psi_{j,n} = 2^{-j/2} \psi(2^{-j}t - n) = 2^{(1-j)/2} \sum_k g_k \varphi(2^{1-j}t - 2n - k) = \sum_k g_k \varphi_{j-1,k+2n}(t) \quad (3)$$

Таким образом, в данном случае дискретное вейвлет-преобразование производит перевод последовательности коэффициентов $\{a_{j,n}\}$ в последовательности коэффициентов $\{a_{j+1,n}, d_{j+1,n}\}$ [21]. Множества $\{h_n\}$, $\{g_n\}$ позволяют по формулам (1)—(3) численно находить коэффициенты дискретного вейвлет-преобразования.

Применим преобразование (1) к зашумленным проекционным данным параллельной веерной геометрии сканирования $\tilde{q}(\ell, \theta)$, получим следующее представление [2]:

$$\tilde{q}(\ell, \theta_c) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} \tilde{a}_{j_n, k} \varphi_{j_n, k}(\ell, \theta_c) + \sum_{j=0}^{j_n} \sum_{k \in \mathbb{Z}} \tilde{d}_{j, k} \psi_{j, k}(\ell, \theta_c), \quad (4)$$

где: $\tilde{a}_{j_n, k}$, $\tilde{d}_{j, k}$ — коэффициенты вейвлет—преобразования;

$\varphi_{j_n, k}$ — масштабирующая функция;

$\psi_{j, k}$ — вейвлет, ассоциированный с данным кратномасштабным анализом;

$c=1, \dots, M_1$ (M_1 — число отсчетов ракурса).

Для веерной геометрии сканирования получим следующее:

$$\tilde{q}(\gamma, \beta_b) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} \tilde{a}_{j_n, k} \varphi_{j_n, k}(\gamma, \beta_b) + \sum_{j=0}^{j_n} \sum_{k \in \mathbb{Z}} \tilde{d}_{j, k} \psi_{j, k}(\gamma, \beta_b),$$

где: $b=1, \dots, M_2$ (M_2 — число отсчетов ракурса).

Считается, что шум содержится в высокочастотных компонентах, т. е. находится в коэффициентах вейвлет-преобразования, отвечающих за более малые масштабы (\tilde{d}). Фильтрация сводится к обрезанию «высоких частот», что равносильно приравнению к нулю коэффициентов \tilde{d} ниже заданного значения (порога). В результате ожидается, что структура обрабатываемых данных, которая лежит в основе сигнала и может быть зашумлена, сохранится и проявится после очищения от шума [8]. Существуют различные примеры задания порогов, например предложенные Donoho и Johnstone в работе [15] и Birge и Massart [10, 11] и их модификации.

Таким образом, алгоритм вейвлет—фильтрации проекционных данных сводится к следующим шагам [2]:

1. Проведение вейвлет—преобразования проекционных данных. Например, с использованием стационарного дискретного вейвлет—преобразования;

2. Задание порога для коэффициентов вейвлет-преобразования \tilde{d} в соответствии с их уровнем;
3. Проведение пороговой обработки;
4. Восстановление проекционных данных по измененным коэффициентам. Например, с использованием обратного стационарного дискретного вейвлет—преобразования.

Существуют различные типы пороговой обработки [18, 20, 19].

Пусть \tilde{d}_i, d_i^* , $i=1:n$ — вейвлет—коэффициенты некоторого уровня j до фильтрации и после соответственно, T — значение порога, тогда:

мягкая пороговая обработка определяется следующим образом

$$d_i^* = \text{sign}(\tilde{d}_i) \cdot \max(0, |\tilde{d}_i| - T);$$

жесткая пороговая обработка

$$d_i^* = \begin{cases} 0, & |\tilde{d}_i| \leq T; \\ d_i, & |\tilde{d}_i| > T \end{cases}$$

аффинная пороговая обработка

$$d_i^* = \begin{cases} 0, & |\tilde{d}_i| < T/2 \\ 2\tilde{d}_i + T, & -T \leq \tilde{d}_i \leq -T/2 \\ 2\tilde{d}_i - T, & T/2 \leq \tilde{d}_i \leq T \\ \tilde{d}_i, & |\tilde{d}_i| > T \end{cases}$$

закручивающаяся пороговая обработка

$$d_i^* = \begin{cases} 0, & |\tilde{d}_i| \leq T \\ \tilde{d}_i - \frac{T^2}{\tilde{d}_i}, & |\tilde{d}_i| > T \end{cases}$$

В том числе при сжатии изображений используется равномерное квантование (\hat{T} — параметр сжатия):

$$d_i^* = \text{round}\left(\frac{\tilde{d}_i}{\hat{T}}\right)$$

Далее приведен пример этих типов пороговой обработки (см. рисунок 2).

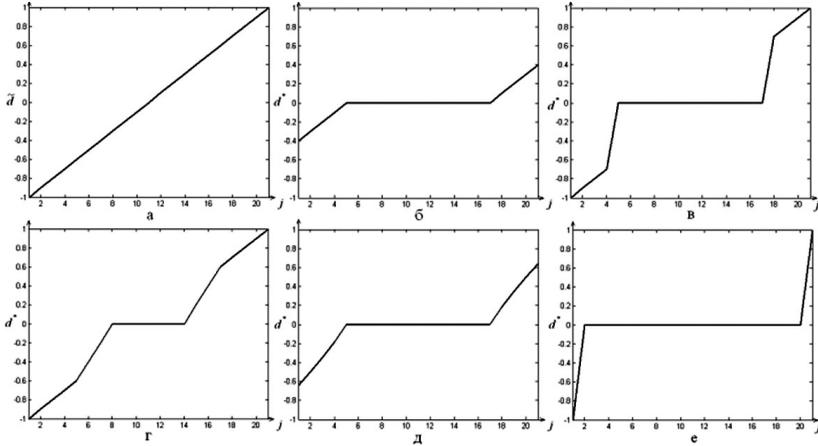


Рисунок 2. Пример использования различных типов пороговой обработки: а) без пороговой обработки, б) мягкая пороговая обработка, в) жесткая пороговая обработка, г) аффинная пороговая обработка, д) закручивающаяся пороговая обработка, е) равномерное квантование; $T = 0.6$, $\hat{T} = 2$

Очевидно, что выбор порога T играет важную роль. Слишком малое значение порога не может удалить шумовые составляющие, слишком большие значения могут удалить полезные составляющие сигнала [20]. Выбор порога также может быть нескольких типов. Порог может зависеть от уровня вейвлет-коэффициентов или от их пространственной локализации.

- глобальный порог: значение порога на всех уровнях постоянно, $T = const$;
- адаптирующийся в пространстве порог: изменение значения порога зависит от свойств пространственной локализации каждого вейвлет-коэффициента;
- порог, зависящий от уровня: для каждого уровня вейвлет-преобразования выбираются различные значения порога.

Некоторые способы поиска порога:

1. Универсальный порог [15, 13]: $T = \sigma \sqrt{2 \log(n)}$, n — число отсчетов сигнала. Этот порог является оптимальным для мягкой вейвлет-фильтрации и случайного гауссовского шума.

2. Минимаксный порог [18]: $T = \sigma T_n$, T_n — выбирается исходя из минимаксного правила, т. е. $\inf(\sup(E(f, \tilde{f})))$, где $E(f, \tilde{f})$ — оценка среднеквадратичной ошибки между искомой и найденной функциями.

3. Штейновская объективная оценка риска [16, 22]: в основе стоит тот же принцип, что и при поиске минимаксного порога, но с различными оценками ошибки.

4. Штрафной порог [10]: порог устанавливается на основании правила Birge-Massart, $T = |c_k|$, где $k = \min_{\tilde{n}}(-\text{sum}(c_l^2, l \leq \tilde{n}) + 2\sigma^2 \tilde{n}(\alpha + \log(n/\tilde{n})))$, c_l — вейвлет-коэффициенты \tilde{d}_l , отсортированные в порядке убывания своих абсолютных значений, n — число отсчетов сигнала, $1 \leq \tilde{n} \leq n$.

5. Адаптированный порог: $T = \sigma / \sigma_x$, σ_x — локальная ошибка исследуемой функции, которая может быть оценена с использованием алгоритма [12].

Как видно при определении всех порогов нужно знать σ . Наиболее широко используемая оценка была предложена Donoho и Johnstone [17]:

$$\sigma = \frac{\text{median}(|W_1(\tilde{f})|)}{0.6745},$$

где $W_1(f)$ — нижний уровень детализирующих вейвлет-коэффициентов.

Таким образом, изменяя значения детализирующих коэффициентов $\tilde{d}_{j,k}$, ответственных за высокие частоты, т. е. определяя их «вклад» в высокочастотные составляющие шумов и артефактов, можно провести фильтрацию проекционных данных $\tilde{q}(\ell, \theta)$.

Кроме рассмотренных типов пороговой обработки автором предлагается ввести в рассмотрение обработку, основанную на синтезе жесткой пороговой обработки и равномерного квантования. Ее название «Пороговая обработка с перепадом»:

$$d_i^* = \begin{cases} \frac{\tilde{d}_i}{\hat{T}}, & |\tilde{d}_i| \leq T \\ \tilde{d}_i, & |\tilde{d}_i| > T \end{cases}$$

где: T — значение порога, \hat{T} — параметр сжатия ($\hat{T} > 1$).

В качестве сравнения двух реконструкций будем использовать количественный анализ характеристик соответствующих функций. Для анализа погрешности были использованы две оценки уровней ошибок реконструкции между изображениями [7]. $t_{i,j}$ и $h_{i,j}$ — плотности i -го элиза в j -ой строке матриц для первой и второй реконструкций (матрицы изображений имеют размер $\xi \times \xi$).

$$err_1 = \frac{\sum_{i=1}^{\xi} \sum_{j=1}^{\xi} |t_{i,j} - h_{i,j}|}{\sum_{i=1}^{\xi} \sum_{j=1}^{\xi} |t_{i,j}|},$$

$$err_2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{\xi} \sum_{j=1}^{\xi} (t_{i,j} - h_{i,j})^2}{\sum_{i=1}^{\xi} \sum_{j=1}^{\xi} (t_{i,j})^2} \right)^{1/2}$$

где: err_1 — нормированная абсолютная средняя мера различия, err_2 — средняя квадратичная ошибка реконструкции.

Теорема: Вейвлет-фильтрация проекционных данных для пороговой обработки с перепадом для корректного выбора значения порога и использование метода регуляризации уменьшает или не изменяет нормированную абсолютную среднюю меру различия и среднюю квадратичную ошибку реконструируемого распределения линейных коэффициентов ослабления.

Доказательство: Будем рассматривать верные проекционные данные, для параллельных проекционных данных доказательство будет аналогичным. Используя (1) можем записать зашумленные проекционные данные в следующем виде:

$$\tilde{q}(\gamma, \beta_b) = \sum_{k \in \mathbf{Z}} \tilde{a}_{j_n, k} \varphi_{j_n, k}(\gamma, \beta_b) + \sum_{j \in \mathbf{J}} \sum_{k \in \mathbf{Z}} \tilde{d}_{j, k} \psi_{j, k}(\gamma, \beta_b),$$

где: $b=1, \dots, M_2$ (M_2 — число отсчетов ракурса).

Проекционные данные без шума запишутся следующим образом:

$$q(\gamma, \beta_b) = \sum_{k \in \mathbf{Z}} a_{j_n, k} \varphi_{j_n, k}(\gamma, \beta_b) + \sum_{j \in J} \sum_{k \in \mathbf{Z}} d_{j, k} \psi_{j, k}(\gamma, \beta_b)$$

Корректный выбор значения порога означает, что существует множество $\vartheta_1 \in \mathbf{Z}$, зависящее от порогового значения T и $j \in J$, такое что $d_{j, r} = 0$, $\tilde{d}_{j, r} \leq T$ для $r \in \vartheta_1$, и существует множество $\vartheta_2 \in \mathbf{Z}$, такое что $\tilde{d}_{j, r} > T$ для $r \in \vartheta_2$, для которых выполняется

$$\left| \sum_{k \in \mathbf{Z}} (a_{j_n, k} - \tilde{a}_{j_n, k}) \varphi_{j_n, k}(\gamma_\varphi, \beta_b) + \sum_{j \in J} \sum_{k \in \mathbf{Z}} (d_{j, k} - \tilde{d}_{j, k}) \psi_{j, k}(\gamma_\varphi, \beta_b) \right| = \\ = \left| \sum_{k \in \mathbf{Z}} (a_{j_n, k} - \tilde{a}_{j_n, k}) \varphi_{j_n, k}(\gamma_\varphi, \beta_b) + \sum_{j \in J} \sum_{k \in \vartheta_2} (d_{j, k} - \tilde{d}_{j, k}) \psi_{j, k}(\gamma_\varphi, \beta_b) \right| + \left| \sum_{j \in J} \sum_{k \in \vartheta_1} \tilde{d}_{j, k} \psi_{j, k}(\gamma_\varphi, \beta_b) \right|$$

где: $\varphi = 1, \dots, N_2$ (N_2 — число отсчетов детектора).

Так как шум содержится в высокочастотных компонентах, т.е. находится в коэффициентах вейвлет-преобразования, отвечающих за более малые масштабы [8, 15], тогда отфильтрованные проекционные данные $q^*(\gamma, \beta_b)$ (используется вейвлет—фильтрация для пороговой обработки с перепадом) представимы формулой:

$$q^*(\gamma, \beta_b) = \sum_{k \in \mathbf{Z}} \tilde{a}_{j_n, k} \varphi_{j_n, k}(\gamma, \beta_b) + \sum_{j \in J} \left(\sum_{k \in \vartheta_2} \tilde{d}_{j, k} \psi_{j, k}(\gamma, \beta_b) + \sum_{k \in \vartheta_1} \frac{\tilde{d}_{j, k}}{\hat{T}} \psi_{j, k}(\gamma, \beta_b) \right)$$

где: \hat{T} — параметр сжатия ($\hat{T} > 1$).

Рассмотрим нормированную абсолютную среднюю меру различия,

$$err_1 = \frac{\sum_{\varphi=1}^{N_2} \sum_{b=1}^{M_2} |q(\gamma_\varphi, \beta_b) - \tilde{q}(\gamma_\varphi, \beta_b)|}{\sum_{\varphi=1}^{N_2} \sum_{b=1}^{M_2} |q(\gamma_\varphi, \beta_b)|}, \text{ как видно знаменатель постоянен,}$$

поэтому достаточно рассмотреть только числитель и только для одного значения (γ_1, β_1) , а затем результат обобщить на сумму всех значений.

$$|q(\gamma_1, \beta_1) - \tilde{q}(\gamma_1, \beta_1)| = \\ = \left| \sum_{k \in \mathbf{Z}} a_{j_n, k} \varphi_{j_n, k}(\gamma_1, \beta_1) + \sum_{j \in J} \sum_{k \in \mathbf{Z}} d_{j, k} \psi_{j, k}(\gamma_1, \beta_1) - \sum_{k \in \mathbf{Z}} \tilde{a}_{j_n, k} \varphi_{j_n, k}(\gamma_1, \beta_1) - \sum_{j \in J} \sum_{k \in \mathbf{Z}} \tilde{d}_{j, k} \psi_{j, k}(\gamma_1, \beta_1) \right| = \\ = \left| \sum_{k \in \mathbf{Z}} (a_{j_n, k} - \tilde{a}_{j_n, k}) \varphi_{j_n, k}(\gamma_1, \beta_1) + \sum_{j \in J} \sum_{k \in \mathbf{Z}} (d_{j, k} - \tilde{d}_{j, k}) \psi_{j, k}(\gamma_1, \beta_1) \right| =$$

$$\begin{aligned}
&= |\sum_{k \in \mathbf{Z}} (a_{j_n, k} - \tilde{a}_{j_n, k}) \varphi_{j_n, k}(\gamma_1, \beta_1) + \sum_{j \in J} \sum_{k \in \vartheta_2} (d_{j, k} - \tilde{d}_{j, k}) \psi_{j, k}(\gamma_1, \beta_1)| + |\sum_{j \in J} \sum_{k \in \vartheta_1} \tilde{d}_{j, k} \psi_{j, k}(\gamma_1, \beta_1)| \geq \\
&\geq |\sum_{k \in \mathbf{Z}} (a_{j_n, k} - \tilde{a}_{j_n, k}) \varphi_{j_n, k}(\gamma_1, \beta_1) + \sum_{j \in J} \sum_{k \in \vartheta_2} (d_{j, k} - \tilde{d}_{j, k}) \psi_{j, k}(\gamma_1, \beta_1)| + |\sum_{j \in J} \sum_{k \in \vartheta_1} \frac{\tilde{d}_{j, k}}{\hat{T}} \psi_{j, k}(\gamma_1, \beta_1)| \geq \\
&\geq |\sum_{k \in \mathbf{Z}} (a_{j_n, k} - \tilde{a}_{j_n, k}) \varphi_{j_n, k}(\gamma_1, \beta_1) + \sum_{j \in J} (\sum_{k \in \vartheta_2} (d_{j, k} - \tilde{d}_{j, k}) \psi_{j, k}(\gamma_1, \beta_1) - \sum_{k \in \vartheta_1} (\frac{\tilde{d}_{j, k}}{\hat{T}}) \psi_{j, k}(\gamma_1, \beta_1))| = \\
&= |q(\gamma_1, \beta_1) - q^*(\gamma_1, \beta_1)|
\end{aligned}$$

Таким образом, получили

$$\frac{\sum_{\varphi=1}^{N_2} \sum_{b=1}^{M_2} |q(\gamma_{\varphi}, \beta_b) - q^*(\gamma_{\varphi}, \beta_b)|}{\sum_{\varphi=1}^{N_2} \sum_{b=1}^{M_2} |q(\gamma_{\varphi}, \beta_b)|} \leq \frac{\sum_{\varphi=1}^{N_2} \sum_{b=1}^{M_2} |q(\gamma_{\varphi}, \beta_b) - \tilde{q}(\gamma_{\varphi}, \beta_b)|}{\sum_{\varphi=1}^{N_2} \sum_{b=1}^{M_2} |q(\gamma_{\varphi}, \beta_b)|},$$

т. е. вейвлет-фильтрация для пороговой обработки с перепадом уменьшает или не изменяет нормированную абсолютную среднюю меру различия. Для средней квадратичной ошибки реконструкции и для двумерного вейвлет-преобразования доказательство проводится аналогичным образом.

Если зашумленные проекционные данные приближаются к точным (без шума), относительно среднеквадратичной ошибки, тогда параметр регуляризации можно выбрать таким образом, что регуляризованное решение будет приближаться к точному (41), т. е. из $err_2(q, q^*) \leq err_2(q, \tilde{q})$ следует $err_2(\mu, \mu^*) \leq err_2(\mu, \tilde{\mu})$, где $\mu, \mu^*, \tilde{\mu}$ — реконструируемые распределения линейных коэффициентов ослабления для соответствующих проекционных данных.

Но корректность выбора порога играет важную роль. Как было отмечено выше, слишком большие значения могут удалить полезные составляющие сигнала [20]. При проведении вейвлет—фильтрации для пороговой обработки с перепадом для параметра сжатия \hat{T} всегда можно вернуться к исходной функции, применяя параметр сжатия $\frac{1}{\hat{T}}$.

В этом заключается главное преимущество данной фильтрации.

На рисунке 3 представлены реконструкции изображений по зашумленным проекционным данным (на идеальные проекционные данные аддитивно накладывался гауссовский шум с $\sigma_{ш}^{np} = 2\%$) с использованием различных методов фильтрации.

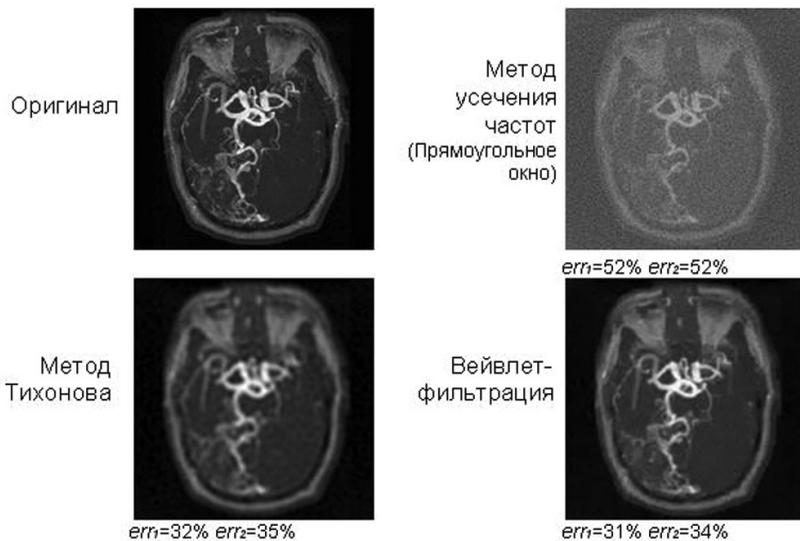


Рисунок 3. Реконструкции изображений по зашумленным проекционным данным

Список литературы:

1. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. — 464 с.
2. Лавров С. А., Симонов Е. Н. Реконструкция томографических изображений методом обратного проецирования с использованием вейвлет-фильтрации проекционных данных // Медицинская физика. — 2011. — № 1. — С. 59—68.
3. Петров Ю. П., Сизиков В. С. Корректные, некорректные и промежуточные задачи с приложениями: Учебное пособие для вузов. — СПб: Политехника, 2003. — 261 с.
4. Пикалов В. В., Непомнящий А. В. Итерационный алгоритм с вэйвлет-фильтрацией в задаче двумерной томографии // Вычислительные методы и программирование. — 2003. — Т. 4. — С. 244—253.
5. Симонов Е. Н. Рентгеновская компьютерная томография. Монография. — Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2002. — 364 с.
6. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в Matlab. — М.: LVR Пресс, 2005. — 304 с.
7. Хермен Г. Восстановление изображений по проекциям: Основы реконструктивной томографии. — Пер. с англ. — М.: Мир, 1983 — 352 с.

8. Штарк Г. -Г. Применение вейвлетов для ЦОС. — Пер. с англ. — М.: Техносфера, 2007. — 192 с.
9. Aldroubi A., Unser M. Wavelets in medicine and biology. Boca Raton: CRC Press, 1996.
10. Birge L., Massart P. "From model selection to adaptive estimation," in D. Pollard, Festschrift for L. Le Cam, Springer, 1997, pp. 55—88.
11. Birge L., Massart P. Gaussian model selection. J. Eur. Math. Soc. 3, 2001. — pp. 203—268.
12. Chang S. G., Yu B., Vetterli M. Spatially adaptive wavelet thresholding with context modeling for image denoising. IEEE Transactions on Image Processing, 2000. — Vol. 9, № 9. — pp. 1522—1531.
13. Coifman R., Donoho D. Translation-invariant De-noising. in Wavelets and Statistics, Antoniadis, A. and Oppenheim, G., Eds. New York NY: Springer-Verlag, 1995.
14. Daubechies I. The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis // IEEE Trans. Inform. Theory. — 1990. — Vol. 36. — pp. 961—1005.
15. Donoho D. De-noising by soft-thresholding // IEEE Trans. Inform. Theory. — 1995. — 41, № 3. — pp. 613—627.
16. Donoho D. Nonlinear solution of linear inverse problems by wavelet-vaguelette decompositions // Journal of Applied and Computational Harmonic Analysis, 1995. — Vol. 2, № 2. — pp. 101—126.
17. Donoho D., Johnstone I. Adapting to Unknown Smoothness via Wavelet Shrinkage // Journal of American Statistics Association, 1995. — Vol. 90, № 432. — pp. 1200-1224.
18. Donoho D., Johnstone I. Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage. — Biometrika, 1994. — Vol. 81. — pp. 425—455.
19. Gao H. Wavelet shrinkage denoising using the non-negative garrote // J. Comp. Graph. Statist. — 1998. — Vol. 7. — pp. 469—488.
20. Jin Yinpeng, Angelini E., Laine A. Wavelets in medical image processing: denoising, segmentation, and registration. — New York. — 2004. — 66 p.
21. Louis A. K., Maass D., Rieder A. Wavelets: theory and applications. — New York: Wiley, 1997. — 342 p.
22. Stein C. Estimation of the mean of a multivariate normal distribution. Annals of Statistics, 1981. — Vol. 9. — pp. 1135—1151.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ТЕЧЕНИЯ ИДЕАЛЬНЫХ ДВУХФАЗНЫХ СРЕД В ОТКРЫТЫХ КАНАЛАХ ПОСТОЯННОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Медетбекова Рыскуль Ашималиевна

канд. физ.-мат. наук, доцент, зав. кафедрой ЮКГУ

им. М. Ауезова, г. Шымкент, Казахстан

E-mail: ryskulmedetbekova@mail.ru

Нысанов Ернарар Айдарович

д-р физ.-мат. наук, доцент, ЮКГУ им. М. Ауезова, г. Шымкент,

Казахстан

E-mail: doszhan_01@bk.ru

Медетбеков Муратбек Мухалбекович

канд. физ.-мат. наук, доцент, зав. кафедрой ЮКГУ им. М. Ауезова,

г. Шымкент, Казахстан

E-mail: ms.rashim@gmail.com

За последние годы в гидромеханике достигнуты определенные успехи в области исследований динамики потоков в открытых руслах [3, с. 105]. Однако эти модели не в полной степени охватывают физику процесса, так как в условиях Средней Азии вода, идущая на орошение, неоднородна и содержит определенные количества твердых частиц. Появление небольшого количества твердых частиц в потоке, как известно существенно изменяет характер и структуру процессов [1, с. 77]. При этом появляются новые макроскопические параметры, в частности приведенные плотности, взаимодействующие силы между фазами, а также другие механические характеристики. Эти параметры потока нарушают основной закон сохранения компонентов смеси, компоненты взаимодействуют, что вызывает перераспределение скорости, концентраций отдельных компонентов, изменяет расход смеси. Поэтому современной механике сплошных сред одним из важных вопросов состоит в изучении движения многофазных сред. Поставленная задача решается исходя из «взаимопроникающей» модели двухфазных сред, согласно которой уравнений движения имеют вид [2, с. 58; 4, с. 115]:

$$\begin{aligned} \rho_n \frac{\partial u_n}{\partial t} + \rho_n u_n \frac{\partial u_n}{\partial x} + \rho_n v_n \frac{\partial u_n}{\partial y} &= -f_n \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[2f_n \mu_n \left(\frac{\partial u_n}{\partial x} - \frac{1}{3} \operatorname{div} V_n \right) \right] + \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left[f_n \mu_n \left(\frac{\partial u_n}{\partial y} + \frac{\partial v_n}{\partial x} \right) \right] + \sum_{i=1}^2 K(u_i - u_n) + \rho_n X_n, \\ \rho_n \frac{\partial v_n}{\partial t} + \rho_n u_n \frac{\partial v_n}{\partial x} + \rho_n v_n \frac{\partial v_n}{\partial y} &= -f_n \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[f_n \mu_n \left(\frac{\partial u_n}{\partial y} + \frac{\partial v_n}{\partial x} \right) \right] + \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left[2f_n \mu_n \left(\frac{\partial v_n}{\partial y} - \frac{1}{3} \operatorname{div} V_n \right) \right] + \sum_{i=1}^2 K(v_i - v_n) + \rho_n Y_n, \end{aligned}$$

и уравнение неразрывности

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho_n}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho_n u_n) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho_n v_n) &= 0, \\ f_1 + f_2 = 1, \rho_n &= \rho_{ni} f_n, \end{aligned}$$

где: ρ_n, ρ_{ni} – приведенная и истинная плотности n -й фазы соответственно;

u_n – продольная составляющая скорости n -й фазы;

v_n – вертикальная составляющая скорости n -й фазы;

f_n – концентрация (объемное содержание) n -й фазы;

p – давление;

μ_n – коэффициент вязкости n -й фазы;

K – коэффициент взаимодействия между фазами;

X_n, Y_n – компоненты массовой силы n -й фазы;

$$\operatorname{div} V_n = \frac{\partial u_n}{\partial x} + \frac{\partial v_n}{\partial y}.$$

Рассмотрим случай установившегося одномерного течения идеальных двухфазных сред в открытых каналах. При этом считаем, что обе компоненты несжимаемы и массовой силой можно пренебречь. Тогда уравнений движения для рассматриваемого случая имеют вид:

$$\begin{cases} \rho_1 u_1 \frac{du_1}{dx} = -f_1 \frac{dp}{dx} + K(u_2 - u_1), \\ \rho_2 u_2 \frac{du_2}{dx} = -f_2 \frac{dp}{dx} + K(u_1 - u_2), \end{cases} \quad (1)$$

а уравнение неразрывности в силу постоянства расхода и согласно формулам расхода

$$\begin{cases} \frac{d}{dx}(\rho_1 u_1 \omega) = 0, \\ \frac{d}{dx}(\rho_2 u_2 \omega) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где ω - площадь живого сечения.

Систему (1), (2) можно написать в следующем виде:

$$\begin{cases} \rho_1 u_1 \frac{du_1}{dx} = -f_1 \frac{dP}{dx} + K(u_2 - u_1) \\ \rho_2 u_2 \frac{du_2}{dx} = -f_2 \frac{dP}{dx} + K(u_1 - u_2) \\ \frac{1}{\rho_1} \frac{d\rho_1}{dx} + \frac{1}{u_1} \frac{du_1}{dx} = 0 \\ \frac{1}{\rho_2} \frac{d\rho_2}{dx} + \frac{1}{u_2} \frac{du_2}{dx} = 0 \\ f_1 + f_2 = 1 \end{cases} \quad (3)$$

Тогда из системы (3) следует, что

$$\begin{cases} \rho_{1i} u_1 \frac{du_1}{dx} - \rho_{2i} u_2 \frac{du_2}{dx} = \frac{K}{f_1 f_2} (u_2 - u_1) \\ f_1 = \frac{\rho_{10} u_{10}}{\rho_{1i} u_1} \\ u_2 = \frac{\rho_{20} u_{20}}{\rho_{2i}} \frac{\rho_{1i} u_1}{\rho_{1i} u_1 - \rho_{10} u_{10}} \\ f_2 = \frac{\rho_{1i} u_1 - \rho_{10} u_{10}}{\rho_{1i} u_1} \end{cases} \quad (4)$$

После подстановки последних трех уравнений системы (4) в первое уравнение этой системы и несложных преобразований получаем:

$$\frac{\left[\left(u_1 - \frac{\rho_{10} u_{10}}{\rho_{1i}} \right)^3 + \frac{\rho_{10} u_{10}}{\rho_{1i}^2} \frac{\rho_{20}^2 u_{20}^2}{\rho_{2i}} \right] \rho_{10} u_{10}}{\left(u_1 - \frac{\rho_{10} u_{10}}{\rho_{1i}} - \frac{\rho_{20} u_{20}}{\rho_{2i}} \right) \left(u_1 - \frac{\rho_{10} u_{10}}{\rho_{1i}} \right) u_1^2 K} du_1 = -1 dx$$

Интегрируя это уравнение при начальном условии при $x = x_0$ $u_1 = u_{10}$ находим для скорости первой компоненты

$$\left(\frac{u_1}{u_{10}} \right)^{\frac{A_1}{\rho_{10} u_{10}}} e^{B_{11} \frac{u_1 - u_{10}}{u_1 u_{10}}} \left(\frac{u_1 - f_{10} u_{10}}{u_{10} - f_{10} u_{10}} \right)^{\frac{\rho_{20} u_{20}}{\rho_{10} u_{10}}} \left(\frac{u_1 - f_{10} u_{10} - f_{20} u_{20}}{u_{10} - f_{10} u_{10} - f_{20} u_{20}} \right)^{\frac{D_1}{\rho_{10} u_{10}}} = e^{-\frac{K(x-x_0)}{\rho_{10} u_{10}}}$$

Аналогично для скорости второй компоненты:

$$\left(\frac{u_2}{u_{20}} \right)^{\frac{A_1}{\rho_{20} u_{20}}} e^{B_{22} \frac{u_2 - u_{20}}{u_2 u_{20}}} \left(\frac{u_2 - f_{20} u_{20}}{u_{20} - f_{20} u_{20}} \right)^{\frac{\rho_{10} u_{10}}{\rho_{20} u_{20}}} \left(\frac{u_2 - f_{10} u_{10} - f_{20} u_{20}}{u_{20} - f_{10} u_{10} - f_{20} u_{20}} \right)^{\frac{D_1}{\rho_{20} u_{20}}} = e^{-\frac{K(x-x_0)}{\rho_{20} u_{20}}},$$

где:

$$A_1 = \frac{\rho_{10} f_{10} u_{10}^2 (f_{10} u_{10} + 2f_{20} u_{20}) + \rho_{20} f_{20} u_{20}^2 (2f_{10} u_{10} + f_{20} u_{20})}{(f_{10} u_{10} + f_{20} u_{20})^2}$$

$$B_{11} = \frac{\frac{\rho_{20}}{\rho_{1i}} f_{20} u_{20}^2 - f_{10}^2 u_{10}^2}{f_{10} u_{10} + f_{20} u_{20}}$$

$$D_1 = \frac{f_{10}^2 u_{10}^2 \rho_{20} u_{20} + f_{20}^2 u_{20}^2 \rho_{10} u_{10}}{(f_{10} u_{10} + f_{20} u_{20})^2}$$

$$B_{22} = \frac{\frac{\rho_{10}}{\rho_{2i}} f_{10} u_{10}^2 - f_{20}^2 u_{20}^2}{f_{10} u_{10} + f_{20} u_{20}}$$

Для концентраций первой и второй компонент:

$$\begin{aligned}
& \ln \left[\frac{f_1}{f_{10}} \left(\frac{f_1 - 1}{f_{10} - 1} \right)^{\frac{\rho_{20} u_{20}}{\rho_{10} u_{10}}} \right] + \frac{f_{10}^2 u_{10}^2 \rho_{20} u_{20} + f_{20}^2 u_{20}^2 \rho_{10} u_{10}}{(f_{10} u_{10} + f_{20} u_{20})^2 \rho_{10} u_{10}} \ln \left[\frac{(f_{10} u_{10} + f_{20} u_{20}) f_1 - f_{10} u_{10}}{(f_{10} u_{10} + f_{20} u_{20}) f_{10} - f_{10} u_{10}} \right] + \\
& + \frac{\rho_{2i} f_{20} u_{20}^2 - \rho_{1i} f_{10} u_{10}^2}{(f_{10} u_{10} + f_{20} u_{20}) \rho_{10} u_{10}} (f_1 - f_{10}) = \frac{K(x - x_0)}{\rho_{10} u_{10}} \\
& \ln \left[\frac{f_2}{f_{20}} \left(\frac{f_1 - 1}{f_{10} - 1} \right)^{\frac{\rho_{10} u_{10}}{\rho_{20} u_{20}}} \right] + \frac{f_{10}^2 u_{10}^2 \rho_{20} u_{20} + f_{20}^2 u_{20}^2 \rho_{10} u_{10}}{(f_{10} u_{10} + f_{20} u_{20})^2 \rho_{20} u_{20}} \ln \left[\frac{(f_{10} u_{10} + f_{20} u_{20}) f_2 - f_{20} u_{20}}{(f_{10} u_{10} + f_{20} u_{20}) f_{20} - f_{20} u_{20}} \right] + \\
& + \frac{\rho_{1i} f_{10} u_{10}^2 - \rho_{2i} f_{20} u_{20}^2}{(f_{10} u_{10} + f_{20} u_{20}) \rho_{20} u_{20}} (f_2 - f_{20}) = \frac{K(x - x_0)}{\rho_{20} u_{20}}
\end{aligned}$$

Исследуя эти формулы можно сделать следующие выводы:

При движении двухкомпонентной среды скорости обеих компоненты по мере удаления от начала движения стремятся к одному и тому же постоянному числу $f_{10} u_{10} + f_{20} u_{20}$. При этом скорость компоненты с большей начальной скоростью остается всегда больше этого числа, а скорость компоненты с меньшей начальной скоростью всегда меньше. Скорость компоненты с большой плотностью стремится $f_{10} u_{10} + f_{20} u_{20}$ медленней, чем скорость компоненты с меньшей плотностью. Концентраций компонент при этом стремятся к различным постоянным числам.

Список литературы:

1. Абальянц С. Х. Устойчивые и переходные режимы в искусственных руслах. — Л.: Гидрометеоздат, 1981. — 267 с.
2. Нигматулин Р. И. Динамика многофазных сред. Часть 1,2. — М.: Наука, 1987. — 464 с.
3. Нысанов Е. А. Теория и расчет взаимодействия открытого потока и увлажнения почвы — Доклады НАН РК. — 2005. — № 6. — С. 89—93.
4. Умаров А. И., Ахмедов Ш. Х. Двумерные задачи гидродинамики многофазных сред. — Ташкент: ФАН, 1989. — 96 с.

КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ: ФИЗИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Потапов Алексей Алексеевич

д-р хим. наук, проф., г.н.с., ИДСТУ СО РАН, г. Иркутск

E-mail: aleksey.potapov.icc@gmail.com

Общий подход к описанию вещества сводится к установлению связи между параметрами структурных единиц (атомов и молекул) и свойствами вещества. Можно выделить два принципиально разных подхода к построению теории вещества: зонный и атомно-молекулярный. Зонная теория вещества широко используется для объяснения работы большинства современных электронных приборов. Лежащая в основании данной теории модель позволяет в качественном отношении дать описание наблюдаемых явлений и свойств металлов, диэлектриков и полупроводников. Согласно зонной теории происхождение зон в кристаллах связано с проявлением межчастичных взаимодействий и сопутствующим этому эффекту N -кратным расщеплением атомных уровней. Различие свойств твердых тел проявляется в особенностях формирования энергетических зон как совокупности валентной зоны, запрещенной зоны и зоны проводимости. Характерной особенностью металлов является наличие у них зоны проводимости, в которой электроны могут свободно перемещаться. В модели диэлектрика зона проводимости отделена от валентной зоны запрещенной зоной и электроны не могут свободно перемещаться в объеме вещества. Полупроводники занимают промежуточное положение между металлами и диэлектриками, и они имеют относительно небольшое число свободных носителей зарядов (электронов и дырок) [6].

С другой стороны, образование вещества основано на присущей микрочастицам (атомам и молекулам) способности к взаимному притяжению, раскрывающему механизм самоорганизации природного вещества [5]. Кристаллам присущ ковалентный характер связывания микрочастиц. Направленный характер ковалентных связей приводит к образованию периодически регулярной пространственной кристаллической решетки. Существенным для такого рода структур представляется то, что межатомные связи у них являются насыщенными, исключая возникновение в их объеме свободных зарядов.

Структурообразующими элементами ковалентных кристаллов выступают атомы IV группы таблицы Менделеева, которые формируют механически устойчивую тетраэдрическую структуру. Все электроны задействованы на ковалентных связях, и в свободном (несвязанном) состоянии в объеме кристалла их не должно быть по

определению. Это в одинаковой мере относится ко всем атомам IV группы, в том числе к германиевым и кремниевым кристаллам. В этом отношении они должны быть отнесены к классу диэлектриков.

У примесных кристаллов также нет условий для возникновения свободных носителей. Введение в объем вещества примесных атомов приводит к частичному разрыву химических связей в окрестности «чужих» атомов, но связь их с решеткой кристалла остается практически неизменной. Примесные атомы образуют в объеме кристалла радикалы, представляющие в электрическом (и соответственно химическом) отношении высокоактивные центры притяжения. Например, трехвалентные атомы приводят к образованию радикалов атомов, принадлежащих решетке кристалла (кремния или германия), а пятивалентные атомы — к образованию радикалов самих примесных атомов. По своей природе радикалы в окружении четырехвалентных атомов выступают в роли акцепторов, но никак не в роли доноров электронов. Существенным представляется то, что радикалы образуют ненасыщенные связи, которые исключают саму возможность возникновения свободных зарядов в объеме кристалла.

Сложилось недопустимое противоречие между принятым в настоящее время зонным описанием твердых тел и современными представлениями о структурообразовании вещества. С одной стороны, умозрительная зонная теория, недостатки которой хорошо известны (например, [15]), а с другой, — достоверно установленные законы структурообразования и однозначное понимание электронного строения кристаллов. Причина обозначенного противоречия видится в отсутствии корректной атомной теории твердого тела и в неудовлетворительном состоянии науки о веществе в целом [11—13]. Понятно, что за этим кроется проблема достоверности принятого на сегодняшний день теоретического описания свойств материалов и как следствие этого проблема понимания принципа работы создаваемых на их основе электронных приборов.

В настоящей работе предлагается авторский подход к описанию тетраэдрических кристаллов как основы описания традиционных (полупроводниковых) nano структур, в том числе систем на основе квантовых точек, исходя из динамической диполь-оболочечной модели атома [11—13].

Согласно диполь-оболочечной модели внешние оболочки атомов представляют совокупность локальных дипольных моментов, образуемых каждым из валентных электронов и остовом атома. Локальные дипольные моменты представляют собой векторы, соединяющие остов атома и электроны, находящиеся в свободных вершинах

воображаемого куба, вписанного в сферу с радиусом, равным радиусу атома. Именно число валентных электронов определяет конфигурацию электронной оболочки. У атомов IV группы четыре электрона образуют внешнюю оболочку в виде тетраэдра, вписанного в вершины куба [11—13]. Наблюдаемая у кристаллов совершенная структура всецело обязана электронному строению атомов. Присущая атомам электрическая активность в их свободном (не связанном состоянии) обуславливает их стремление образовывать устойчивые структуры, что находит свое объяснение в модели дипольного строения атомов. Согласно диполь-оболочечной модели валентные электроны атомов IV группы находятся на относительно независимых эллиптических орбитах, и в процессе формирования тетраэдрической решетки попарно объединяются на ковалентных связях. Прочность связей характеризуется энергией ковалентной связи u_c , которая у ковалентных кристаллов достаточно велика (у углерода $u_c=3,68$ эВ, у германия $u_c=2,32$ эВ, у кремния $u_c=1,94$ эВ).

О состоянии электронов в кристалле можно судить по величине потенциала ионизации и/или по величине электрической проводимости. Кристаллы углерода, германия и кремния имеют одинаковую тетраэдрическую структуру решетки, тем не менее, углерод (алмаз) относят к классу диэлектриков, а германий и кремний — к классу полупроводников. Такое не совсем обоснованное отнесение связано с наблюдаемой у кристаллов германия и кремния относительно высокой собственной проводимости. С другой стороны, достоверно установлено, что образование атомных соединений, молекул и кластеров осуществляется исключительно через посредство ковалентных связей, которые исключают возникновение в объеме вещества свободных зарядов. Этот вывод непосредственно следует из ковалентной структуры кристаллов. Критерием отсутствия в кристалле свободных зарядов могут служить высокие потенциалы ионизации кремния и германия в атомарном состоянии (Ge и Si), которые весьма незначительно изменяются при переходе к связанному молекулярному состоянию (Ge_2 и Si_2) [1] и кристаллическому состоянию. Об этом также можно косвенно судить по имеющимся экспериментальным величинам работы выхода u_e (у кремния и германия $u_e \approx 4,8$ эВ [14]). По этим показателям у твердых веществ не может быть свободных электронов даже в ничтожных количествах. С другой стороны, как уже было отмечено, германий и кремний имеют конечную собственную проводимость. Соответствующая наблюдаемой в эксперименте проводимости энергия активации u_a равна $u_a=0,78$ эВ у германия и $u_a=1,1$ эВ у кремния.

Противоречие снимается в альтернативной модели электронной проводимости, основанной на гипотезе переноса электронов по межатомным и межмолекулярным связям. Наиболее просто такой механизм проводимости можно представить на примере атомных веществ с ковалентными связями. Благодаря пространственному перекрыванию электронных оболочек валентные электроны могут перескакивать с одной орбиты на другую, преодолевая соответствующий энергетический барьер [10]. Высота этого барьера определяется не энергией ионизации, а энергией связи между соседними электронными орбитами. У кристаллов углерода эта энергия достаточно велика и его проводимость исключительно низка. У кремния и последующих по IV группе атомов энергия существенно меньше углерода, что приводит к возникновению *межсвязевой* проводимости.

Идея переноса электронов по связям не нова; такой механизм выявлен у большинства биологических молекул [10]; установлено, что подвижность электронов по связям у них в ряде случаев оказывается даже большей, чем проводимость лучших металлов. Электронная проводимость обнаружена в углеродных структурах [16]. По-видимому, она является универсальной и применимой ко всем классам веществ. Данная модель является физически обоснованной и совместимой с хорошо разработанным прыжковым механизмом переноса заряда. Для описания явления проводимости применимы простые кинетические уравнения с характерной для активационных процессов экспоненциальной зависимостью энергии связи u_a от температуры; эта энергия представляет активационный барьер, разделяющий между собой близлежащие орбиты валентных электронов. К этому следует добавить еще и то, что у атомов IV группы достаточно большая величина энергии сродства к электрону, которая обеспечивает формирование сигнала обратной связи в системе поддержания динамической устойчивости системы. Существенным для доказательства электронного переноса по связям представляется и тот факт, что энергия связи атомов в димерах, многочастичных кластерах и веществах остаются приблизительно на одном уровне [16], что свидетельствует об отсутствии каких-либо фазовых переходов в процессе формирования структуры вещества. Межсвязевой механизм проводимости атомов IV группы фактически подтверждается высокими величинами теплопроводности и теплоемкости [6]. Перенос электронов по связям близок по своей природе к движению электронов по замкнутым орбитам атомов и позволяет естественным образом объяснить сверхбольшие длины свободного пробега электронов [6, 3] у веществ с самой разной атомно-молекулярной структурой. В этом

отношении и явление сверхпроводимости представляется не таким уж загадочным и может рассматриваться как бездиссипационное движение электронов по связям с нулевыми барьерами.

Т. о., для веществ с ковалентными связями характерны следующие энергетические величины: 1) энергия связи u_c между атомами, которая характеризует механическую прочность и устойчивость вещества в целом; 2) энергия связи u_e электронов с остовом атома (соответствующая измеряемой величине потенциала ионизации), которая характеризует степень локализации электронов на атомах и соответственно вероятность наличия в объеме кристалла свободных электронов; 3) энергия активации u_a межорбитальных барьеров, которая характеризует подвижность электронов на связях. Каждая из этих энергетических величин отвечает за разные аспекты взаимодействия каждого из электронов с его ближайшим окружением в кристалле. В рамках **гипотезы проводимости вдоль химических связей** удаётся снять обозначенное выше противоречие между высокой подвижностью электронов и отсутствием свободных электронов в объеме кристалла. Электроны перемещаются по связям как по рельсам, которые в свою очередь жестко встроены в регулярную структуру кристалла.

Как было отмечено выше, тетраэдрические кристаллы атомов IV группы находят широкое применение при создании приборов вычислительной техники. В свете новых представлений о природе и механизмах проводимости в кристаллах существенным образом изменяется и понимание физических основ работы полупроводниковых приборов вычислительной техники, в том числе и так называемых квантовых точек (КТ). С точки зрения зонной теории введение в объем кристалла примесных атомов с заданной электронной конфигурацией приводит к разрыву связей в окрестности примесных атомов и возникновению свободных носителей зарядов (электронов и дырок). Эта концепция генерации свободных зарядов в кристаллах лежит в основе понимания большинства современных приборов электронной техники. В частности, такие материалы с нормированным числом примесей применяются для создания квантовых точек. Предполагается, что это достигается в результате «пространственной локализации» свободных зарядов с помощью искусственно вводимых непроницаемых (диэлектрических) барьеров [17, 8]. Такого типа квантовые точки рассматриваются в качестве структурных элементов для построения кубитов, лежащих в основе интенсивно обсуждаемых в настоящее время квантовых компьютеров [2].

С точки зрения атомной теории полупроводников бессмысленно говорить о пространственной локализации электронов, поскольку они

в своем исходном состоянии уже локализованы на межатомных связях. Пространственные ограничения в объеме ковалентного кристалла приводят лишь к уменьшению числа атомов, участвующих в образовании межатомных связей, но их относительная плотность по всему объему кристалла остается неизменной. В собственных полупроводниках проводимость относительно невелика и определяется относительно большими энергетическими барьерами u_a . Введение в кристалл примесных атомов приводит к разрыву химических связей между атомами решетки и атомами примеси и возникновению радикалов, но не электронов (дырок). Радикалы как высокоактивные центры выступают в роли своеобразных терминалов инжекции электронов в сеть межатомных связей, а также в роли стимуляторов подвижности электронов. Природа высокой электрической активности радикалов заключается в их дипольном строении. Дипольный момент одноэлектронного радикала представляет собой валентный электрон, жестко связанный с остовом атома. Такой диполь создает вокруг себя электрическое поле, которое обеспечивает притяжение к себе электронов в процессе организации структуры вещества и которое обеспечивает перенос электронов из внешней цепи и их транспорт в сеть межатомных связей полупроводника. Примеси с разной валентностью могут выступать либо как доноры радикалов и ненасыщенных связей (например, атомы V группы), либо как атомы с дефицитом химических связей (например, атомы III группы). В обоих случаях образуются одноэлектронные радикалы: в первом случае радикалы атомов примеси, а во втором — радикалы атомов основного вещества.

Единственным типом носителей заряда в полупроводниках являются электроны на связях. Во внешнем электрическом поле они могут перемещаться по межатомным связям, проявляя тем самым наблюдаемое у полупроводников свойство проводимости. В ограниченных объемах (в «квантовых точках») они ведут себя как некоторая совокупность слабо связанных между собой радикалов, оптические спектры которых близки к спектрам свободных атомов. В пределе локализации одного атома-радикала имеет место атомная «квантовая точка», которая по своим характеристикам близка к параметрам свободного атома. Управление такими «квантовыми точками» становится возможным благодаря наличию у них электрического дипольного момента. Начальная ориентация диполя «квантовой точки» зависит от ближнего атомного окружения и может варьироваться в широких пределах соответствующим выбором подложки или матрицы. Оперативное управление пространственным положением дипольного момента осуществляется с помощью внешнего электрического поля.

Другой распространенный способ построения квантовых точек основан на применении Si/Ge композиций [4]. Ожидаемая локализация зарядов в этом случае достигается путем формирования пирамидок из атомов Ge на поверхности кристалла Si путем задания нормированного температурного режима образца. Принято считать, что благодаря разрушению структуры на границе с подложкой Si возникают свободные электрические заряды, которые оказываются локализованными под куполами германиевых пирамидок. Однако, надо иметь в виду, что сама поверхность пирамидок является дефектом по отношению к своей объемной структуре; она выступает источником собственных ненасыщенных связей и дополнительных радикалов в объеме и на границах пирамидок, которые по своей природе не совместимы со свободными зарядами. Предположение о наличии свободных зарядов в объеме пирамидок вступает в прямое противоречие с исходной идеей о локализации зарядов в искусственно замкнутых объемах. Как следствие этого, все последующие расчеты параметров квантовых точек становятся формальными, не отражающими реальные физические процессы.

Согласно атомной теории пирамидки на поверхности кристалла следует рассматривать как небольшие нарушения исходной атомной структуры кристалла. Атомы, образующие пирамидки, остаются жестко связанными между собой, и нет видимых причин и механизмов для возникновения в таких системах свободных зарядов. Дискретность наблюдаемых в эксперименте энергий, надо полагать, обязана квантовым проявлением поверхностных радикалов адатомов, рестатомов и структурных дефектов на поверхности пирамидок и на границах германий-кремний [9].

Следуя гипотезе межсвязевой проводимости, структуры типа островков или пирамидок локализуют не свободные заряды, а дипольные моменты радикалов и поверхностных дефектов. Стягивая гипотетические островки на поверхности кристалла Si вплоть до единичного атома Ge, можно получить естественные «квантовые точки», которые локализацию электрона в объеме атома (радикала) обеспечивают по определению. Атом представляет собой естественную «квантовую точку», удовлетворяющую всем предъявляемым к ним требованиям. Такое понимание природы «квантовых точек» позволяет оптимизировать их свойства и параметры и расширить фронт исследований в этой области, используя для этих целей другие атомы и/или молекулы. Например, применение атомов III группы, адсорбированных на поверхности ковалентных кристаллов, позволяет создать ориентированные диполи радикалов

благодаря точному сопряжению пары связей каждого из адатомов подложки, имеющие тетраэдрические углы, с парой связей тригональной структуры адсорбированных трехвалентных атомов.

На основе атомных «квантовых точках» могут быть созданы простые логические элементы, например, переключатели. В основе их построения лежит понимание электронного строения атомов как систему разнонаправленных дипольных моментов, через посредство которых можно управлять пространственным положением атома. Наиболее приемлемыми для этой цели являются атомы I, V—VII групп таблицы Менделеева, у которых локальные дипольные моменты образуют результирующий ненулевой дипольный момент. Фиксация ориентаций ($\downarrow\uparrow$) орбиты атома (радикала) достигается соответствующим выбором подложки, атомный рельеф которой формирует энергетический барьер u_6 . Управление состоянием атома осуществляется путем наложения на атом внешнего электрического поля E , с помощью которого диполь p перебрасывается из одного фиксированного положения \uparrow в другое \downarrow при условии $pE \geq u_6$. Дипольные моменты атомов намного (на 3—4 порядка) больше магнитных моментов, что обеспечивает высокую эффективность управления атомами. Благодаря возможности задания достаточно больших барьеров u_6 , у таких систем можно прогнозировать хорошее отношение сигнал/шум в широком диапазоне температур и внешних воздействий. При этом исходное состояние атома и его линейчатый спектр сохраняются в данной системе практически не возмущенными. Дипольное строение атомов позволяет осуществить простой способ формирования устойчивых двухуровневых атомных элементов. У многих простейших молекул энергия связи между составляющими их атомами относительно невелика, что позволяет управлять переходами атом \leftrightarrow молекула с помощью относительно небольших электрических полей.

К сожалению, уровень средств манипулирования отдельными атомами сегодня остается еще слишком низким и не позволяет перейти к практической реализации элементов вычислительной техники на атомной элементной базе. Более реальным в этом отношении представляется использование молекул в качестве структурных элементов. На молекулярном уровне природой также заложена возможность создания простых и эффективных систем с переключением энергетических уровней. Одним из показательных примеров может служить триггерный элемент на основе перехода «молекула — молекулярный ион». Например, у двухатомных молекул с ковалентной (двухэлектронной) связью энергетическое состояние определяется энергией связи u_2 . Ионизация молекулы приводит к образованию молекулярного иона с одноэлектронной ковалентной

связью с энергией u_1 . У молекулярного водорода H_2 $u_2 = 4,7$ эВ, а у молекулярного иона водорода H_2^+ $u_1 = 2,8$ эВ. Эти энергетические состояния устойчивы и могут служить основой для построения систем с переключением. Выбор элементов, реализующих переход молекула — молекулярный ион весьма большой (это молекулы, образованные атомами щелочных металлов, радикалы с выделенными ковалентными связями и т. д.). «Монтаж» молекулярных систем проще, чем атомных элементов и во многом близок к классическим схемным решениям, основанным на методах литографии.

Молекула представляет идеальную естественную квантовую точку. Она имеет потенциальную яму с практически отвесными стенками, на дне которой прочно удерживаются электроны на связи. Управление энергетическим состоянием системы осуществляется обычным способом, подачей импульса соответствующей полярности и амплитудой, достаточной для разрыва одной ковалентной связи и перевода молекулы в другое устойчивое состояние, соответствующее молекулярному иону.

В качестве двухуровневых элементов цифровой техники также могут быть применены дипольные молекулы типа CO, NO, HCl, H₂O и т. п. Дипольный момент имеют ионы с незамкнутыми оболочками и радикалы, которые в принципиальном отношении также могут выступать в роли двухуровневых элементов. Конструктивно они могут быть организованы на подложке с заданным распределением потенциала или с помощью метода матричной изоляции [7]. В качестве примера реализации такого устройства можно предложить модель ячейки атомного кубита, представляющую прототип модели Кейна [2], но построенную на молекулярных элементах. Такая модель удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к гипотетическим кубитам [2, 8].

Анализ показывает, что зонная методология теории твердого тела, на которую в настоящее время опирается построение элементов вычислительной техники, включая квантовые точки, ошибочна в своих основаниях и требует своего радикального пересмотра. Перспективным на сегодняшний день можно считать атомно-молекулярное направление, для которого предложено научное обоснование [11—13]. Концептуальной основой новой физики твердого тела должна стать теория электронного строения атомов, одной из характерных особенностей которой является дипольное строение атомов. Осознание необходимости смены парадигмы в физике твердого тела **открывает путь к практическому освоению атомно-молекулярного уровня вещества и построению элементной базы наноэлектроники на принципиально новой концептуальной основе.**

Список литературы:

1. Бачанов С. С. Экспериментальные основы структурной химии. — М.: Издательство стандартов, 1986. — 432 с.
2. Валиев К. А., Кокин А. А. Квантовые компьютеры: надежды и реальность. — М.— Ижевск: Изд-во РХД, 2001. — 352 с.
3. Гроссе П. Свободные электроны в твердых телах. — М.: Мир, 1982. — 270 с.
4. Двуреченский А. В. и др. Молекулярная эпитаксия и электронные свойства гетеросистем с квантовыми точками// Физика низких температур, 2004, т. 30, № 11. С. 1—11.
5. Каплан И. Г. Введение в теорию межмолекулярных взаимодействий. — М.: Наука, 1982. — 312 с.
6. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. — М.: Наука, 1978. — 792 с.
7. Крейдок С., Хинчклиф А. Матричная изоляция. — М.: Мир, 1978. — 174 с.
8. Нанoeлектроника. / Под редакцией А. А. Орликовского. — М.: Изд-во МГТ им. Баумана, 2009.
9. Оура К. и др. Введение в физику поверхности. — М.: Наука, 2006. — 490 с.
10. Петров Э. Г. Физика переноса зарядов в биосистемах. — Киев: Наукова думка, 1984. — 368 с.
11. Потапов А. А. Наука о веществе. Бутлеровские сообщения. 2011. Т. 24. № 1. С. 1—45. Potapov A. A. Science of substance. Butlerov communications. 2011. Vol. 24. № 1. P. 1—45.
12. Потапов А. А. Электронное строение атомов. - М. - Ижевск: Изд-во РХД, 2009. — 264 с.
13. Потапов А. А. Ренессанс классического атома. — М.: Издательский дом «Наука», 2011. — 444 с. Потапов А. А. Ренессанс классического атома. Физические основы электронного строения атомов. — LAMBERT Academic Publishing, 2011. — 444 p.
14. Ривьере Х. Работа выхода. Измерения и результаты. В кн.: Поверхностные свойства твердых тел. — М.: Мир, 1972. — 432 с.
15. Самсонов Г. В. и др. Электронная локализация в твердом теле. — М.: Наука, 1976. — 339 с.
16. Суздаев И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. — М.: КомКнига, 2006. — 592 с.
17. Харрис П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. — М.: Техносфера, 2003. — 336с.
18. Щука А. А. Нанoeлектроника. — М.: Физматкнига, 2007. — 464 с.

СЕКЦИЯ 2.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

ПАРОУГЛЕКИСЛОТНАЯ КОНВЕРСИЯ МЕТАНА КАК МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕЗ-ГАЗА ЗАДАННОГО СОСТАВА ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ МЕТАНОЛА И СИНТЕТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Демидов Дмитрий Вячеславович

*аспирант, кафедра технологии изотопов и водородной энергетики
РХТУ им. Д. И. Менделеева г. Москва*

Розенкевич Михаил Борисович

*д-р хим наук, проф., кафедра технологии изотопов и водородной
энергетики РХТУ им. Д. И. Менделеева г. Москва*

Сахаровский Юрий Александрович

*д-р хим наук, проф., кафедра технологии изотопов и водородной
энергетики РХТУ им. Д. И. Менделеева г. Москва
E-mail: dmitriydemidov@rambler.ru*

Разведанные запасы традиционного природного газа составляют около 150 трлн м³, потенциальные запасы оцениваются в пятикратном размере, нетрадиционные ресурсы природного газа огромны. Но расширение географических границ мирового топливно-энергетического комплекса приводит к значительному усложнению технологического оборудования добычи, транспорта и переработки углеводородного сырья, что, в свою очередь, приводит к заострению внимания на более полной выработке разработанных месторождений. В связи с этим уже не вызывает сомнения, что в ближайшем будущем важную роль будут играть природный газ и газохимические процессы. Проблема конверсии углеводородных газов в жидкие химические продукты за последнее десятилетие превратилась из ограниченной технологической задачи в одну из наиболее важных глобальных проблем мировой экономики.

В России утилизация низконапорных газов и попутных нефтяных газов, сжигаемых в основном на факелах, до сих пор не получила распространения. При этом Российская Федерация занимает лидирующее положение в мире по количеству сжигаемого углеводородного сырья. В настоящий момент доля перерабатываемого ПНГ составляет 70—75 %, а количество сжигаемого ежегодно только ПНГ, в зависимости от разных информационных источников, колеблется от 15 до 50 млрд м³ [2, с. 3]. В результате возникает ситуация, когда значительные территории, расположенные в непосредственной близости от энергоресурсов (например, Западная Сибирь), испытывают потребность в энергоносителях. Более того, газодобывающее предприятие выплачивает штрафы за выброс образующихся в процессе горения вредных веществ в атмосферу. Решение этой проблемы видится только в организации рационального использования этих запасов путем строительства малотоннажных установок химического или энергетического профиля, ориентированных на локального потребителя.

Существуют два принципиально различных способа преобразования газообразных углеводородов в жидкие углеводороды, метанол, аммиак и другие продукты. Первый — это одностадийный процесс прямого окисления углеводородных газов в синтетические углеводороды, метанол, формальдегид и другие оксигенаты. Эти процессы были разработаны в 30—40-е года, но до сих пор остается много вопросов, касающихся осуществления подобных процессов. Но несмотря на большой интерес к процессам прямого окисления, в виду сложившейся экономической обстановки, последний завод, использовавший технологию прямого окисления, был закрыт в середине 50-х годов.

Второй путь — это современные двухстадийные каталитические процессы получения целевых продуктов через стадию получения синтез-газа конверсией легких углеводородов. Развитие этих процессов не останавливалось с момента их открытия, несмотря на такие недостатки, как сложность технологической схемы и значительные энергозатраты. Классическое решение этих проблем — увеличение мощности производства, к сожалению, трудно совместимо с реальными условиями современной газо- и нефтедобывающей промышленности [1, с. 228—230].

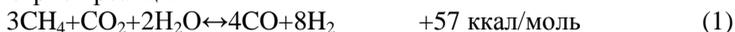
Современное состояние дел в отечественной науке относительно вопросов переработки газообразных углеводородов в различные синтетические продукты таково, что значительная часть работ посвящена разработке процессов переработки уже готового синтез-газа в продукты, а также исследованиям свойств каталитических систем процессов окисления метана, синтеза углеводородов, метанола

и т. д. В случае изучения процессов получения продуктов из синтез-газа, рабочие параметры процессов достаточно близки к промышленным. Так, например, при изучении синтеза Фишера-Тропша рабочие параметры колеблются в пределах 20 — 40 атм и 160—260 °С в зависимости от типа катализатора и необходимого состава продуктов. Рабочие параметры при изучении каталитической активности и селективности катализаторов также вполне могут быть осуществлены в данных пределах. При этом стадии получения синтез-газа должного внимания не уделяется, а эксперименты по изучению каталитических свойств ведутся в условиях, значительно отличающихся от рабочих ($T=900-1100$ °С, $P=5-30$ атм). В результате возникает проблема несоответствия экспериментальных катализаторов конверсии практическим условиям проведения процесса. Тем не менее, стадия производства синтез-газа является самой дорогостоящей стадией всего процесса, внося 50—75 % вклад в себестоимость продукции.

Наиболее перспективным способом осуществления конверсии метана является сочетание процессов окисления метана кислородом, паровой и углекислотной конверсии метана. Комбинация двух или трех видов окислительной конверсии метана может привести к повышению эффективности использования сырья, улучшению теплового баланса и позволяет корректировать состав синтез-газа. Добавка CO_2 к смеси CH_4+H_2O позволяет оптимизировать состав получаемого синтез-газа в соответствии с составом, необходимым для дальнейшей переработки.

В условиях России наиболее близким процессом, который возможно использовать в малогабаритном исполнении, является хорошо известный процесс получения водорода методом паровой конверсии метана, в ходе которого образуется синтез-газ с соотношением $H_2/CO=3-7$. Варьирование этого соотношения возможно путем добавления к углеводородному сырью диоксида углерода. Важным достоинством этого метода является отсутствие кислорода в процессе, требующего отдельного кислородного производства, значительно увеличивающего капиталовложения. Аппаратное оснащение такого процесса в незначительной мере отличается от классической схемы, а в качестве каталитической системы возможно использование уже существующих катализаторов. Кроме того, в настоящее время компанией ВР на Аляске осуществлен запуск пилотной установки, в которой применен аппарат паровой конверсии метана металлоемкостью на 75 % меньшей, по сравнению с аналогичными.

В случае синтеза метанола или углеводов, необходимое соотношение $H_2/CO=2$ достигается, если $CH_4/CO_2=3$ в соответствии со стехиометрией реакции:



Условия проведения процесса пароуглекислотной конверсии с получением синтез-газа, пригодного для использования, должны удовлетворять следующим требованиям:

- отсутствие коксообразования;
- остаточное содержание метана и диоксида углерода в синтез-газе не должно превышать 7—8 %;
- модуль синтез газа должен лежать в пределах 2.1—2.2.

Отсутствие коксообразования имеет особое значение с точки зрения сохранения активности и стабильности катализатора пароуглекислотной конверсии. Отложение углерода на поверхности катализатора может приводить к блокированию активных центров и уменьшению каталитической активности, вплоть до полной дезактивации катализатора. Кроме того, образование углеродных волокон при разложении метана может приводить к разрушению поверхности катализатора и ухудшению теплообмена. Поэтому в литературе большое внимание уделено улучшению устойчивости катализаторов к коксообразованию в процессе конверсии метана. Также в последние годы в литературе появилось много работ, посвященных расчету термодинамического равновесия методом минимизации энергии Гиббса для процессов реформинга.

К сожалению, до настоящего момента работы по экспериментальному подтверждению результатов рассчитанных условий проведения процесса пароуглекислотной конверсии в литературе отсутствовали. Поэтому в данной работе было осуществлено сравнение результатов расчетных данных с экспериментальными результатами, полученными на промышленном катализаторе ГИАП-19, применяемом в производстве водорода. Использование уже разработанных катализаторов в процессе получения синтез-газа может в значительной мере облегчить создание технологии производства синтетических топлив и ускорить их применение в промышленности.

Основными газообразными веществами, образующимися в процессе пароуглекислотной конверсии, являются H_2 , CO , CO_2 , H_2O , CH_4 и твердые отложения углерода. Кроме реакций паровой и углекислотной конверсий метана, пароуглекислотный реформинг метана на Ni-, Co-, Rh-, Ru- и Pt- катализаторах сопровождается реакцией водяного сдвига и различными процессами образования

кокса [3, 5, 6, 7]. Реакции, протекающие в ходе пароглекислотной конверсии метана, можно представить следующими уравнениями:

Паровой реформинг метана:



Углекислотный реформинг метана:



Реакция водяного сдвига:



Реакции коксообразования:

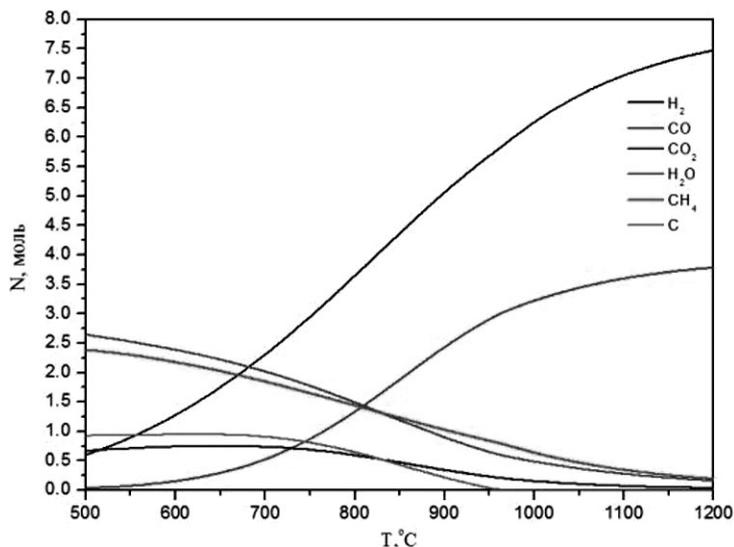


Рис. 1. Равновесный состав смеси, получаемый в процессе пароглекислотной конверсии метана ($\text{CH}_4:\text{CO}_2:\text{H}_2\text{O}=3:1:2$, $p=20$ атм.)

На рисунке 1 показан равновесный состав смеси, получаемый в процессе пароглекислотной конверсии (1) при давлении 20 атм. Необходимый для синтеза метанола или синтеза Фишера — Тропша модуль синтез-газа 2.1—2.2 достигается при температурах 870—890 °С. Одна-

ко при этих условиях велика доля коксовых отложений 6.3—8.5 % и синтез-газ содержит значительные количества метана 12.2—13.7 %, при этом содержание CO_2 не превышает 5 %.

Вклад каждой из реакций (6) — (9) в процесс коксообразования приведен на рисунке 2. При температурах 850—900 °С наибольшее количество углеродных отложений дают реакции диспропорционирования монооксида углерода (6) и пиролиза метана.

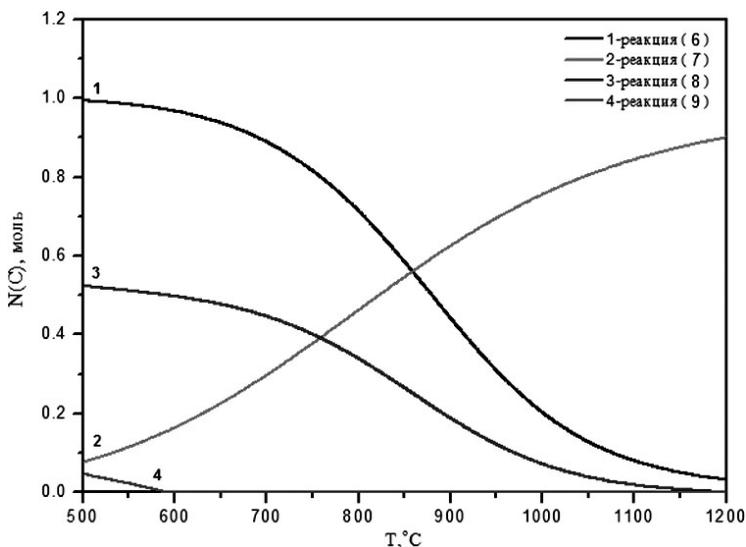


Рис. 2. Вклад различных реакций в коксообразование при давлении 20 атм.

Заметно меньший вклад вносит реакция (8), а углерод, образующийся по уравнению (9), исчезает при температурах выше 600 °С. Увеличение температуры процесса приводит к возрастанию количества кокса, полученного при пиролизе метана (7), а вклад в коксообразование реакций (6) и (8) напротив, снижается. Подавить коксообразование и минимизировать количество примесей в синтез-газе можно путем оптимизации соотношений CO_2/CH_4 и $\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4$ в исходной смеси. С этой целью были рассчитаны зависимости содержания кокса, метана и диоксида углерода в синтез-газе и модуля синтез газа от мольных соотношений CO_2/CH_4 и $\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4$ в исходной смеси при различных температурах. Содержание кокса определяется как отношение мольной доли углерода в коксе к общему количеству молей углерода в системе. Содержания метана и диоксида углерода в синтез-

газе рассчитывается без учета водяных паров. Точки на графиках обозначаются как пара чисел (x,y), где: x — мольное соотношение CO_2/CH_4 в исходной смеси, а y — мольное соотношение $\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4$.

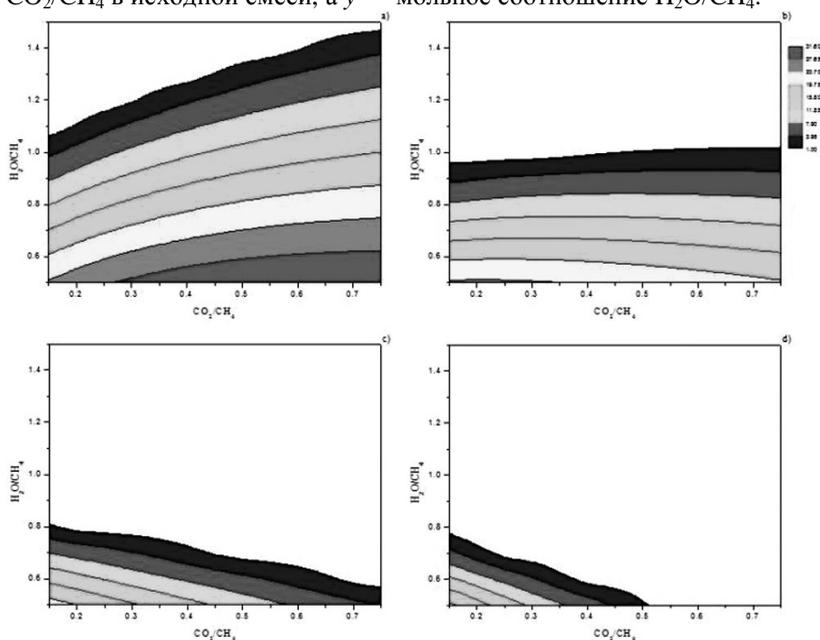


Рис. 3. Зависимость содержания кокса (%) от мольных соотношений CO_2/CH_4 и $\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4$ при давлении 20 атм и температурах 700 °C (a), 800 °C (b), 900 °C (c) и 1000 °C (d).

На рисунке 3 приведены зависимости содержания кокса от мольных соотношений CO_2/CH_4 и $\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4$ при давлении 20 атм и температурах 700—1000 °C. При температуре 700 °C почти во всем диапазоне мольных соотношений CO_2/CH_4 и $\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4$ наблюдается коксообразование за исключением небольшой области, лежащей выше прямой (0.15,1.1; 0.75,1.5). Увеличение температуры приводит к последовательному уменьшению зоны коксообразования. Для температуры 800 °C эта зона ограничена прямой (0.15,1.0; 0.75,1.05), для 900 °C — прямой (0.15,0.85; 0.75,0.6) и для 1000 °C — прямой (0.15,0.8; 0.55,0.55).

Для температуры 700 °C во всем диапазоне значений мольных соотношений CO_2/CH_4 и $\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4$ значения модуля 2.1—2.2 не достигаются. При переходе к более высоким температурам, с учетом ограничений, налагаемых процессом коксообразования, области

значений мольных соотношений CO_2/CH_4 и $\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4$, для которой модуль синтез-газа составляет 2.1—2.2, ограничиваются следующими четырехугольниками. Для температуры 800°C — четырехугольник (0.46,1.05; 0.52,1.1; 0.65,1.5; 0.74,1.5), для 900°C — (0.25,0.79; 0.3,0.83; 0.48,1.5; 0.55,1.5) и для 1000°C — (0.22,0.75; 0.26,0.71; 0.4,1.5; 0.49,1.5). Как видно, при увеличении температуры оптимальное мольное соотношение CO_2/CH_4 смещается в сторону более низких значений.

Области, соответствующие максимальной степени конверсии исходных реагентов при отсутствии коксообразования, характеризуются следующими координатами: 800°C — (0.53,1.22; 0.57,1.18; 0.66,1.32; 0.61,1.4), 900°C — (0.35,1.1; 0.4,1.05; 0.49,1.3; 0.45,1.4), 1000°C — (0.26,0.95; 0.31,0.9; 0.42,1.23; 0.36,1.38).

Аналогично были выбраны оптимизированные диапазоны мольных соотношений $\text{CH}_4/\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ для процесса пароуглекислотной конверсии при различных температурах в диапазоне давлений 1—40 атм, представленные в таблице 1. Для каждой области найдены мольные соотношения $\text{CH}_4/\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$, при которых содержание примесей в синтез газе достигает минимальных значений при данных температуре и давлении.

Таблица 1.

Оптимизированные диапазоны мольных соотношений $\text{CH}_4/\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ для процесса пароуглекислотной конверсии метана.

T, °C	p, атм	$\text{CH}_4/\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$
800	1	1/0.28–0.45/0.75–1.13
	5	1/0.42–0.53/1.05–1.3
	10	1/0.45–0.67/1.00–1.45
	15	1/0.45–0.59/1.05–1.35
	20	1/0.53–0.66/1.18–1.4
	40	1/0.57–0.75/1.22–1.50
900	1	1/0.27–0.37/0.75–1.04
	5	1/0.25–0.4/0.8–1.18
	10	1/0.32–0.53/0.95–1.34
	15	1/0.35–0.55/1.00–1.35
	20	1/0.35–0.49/1.05–1.4
	40	1/0.32–0.55/0.95–1.5
1000	1	1/0.27–0.33/0.7–0.91
	5	1/0.26–0.36/0.8–1.05
	10	1/0.25–0.4/0.8–1.17
	15	1/0.31–0.39/0.93–1.25
	20	1/0.26–0.42/0.9–1.38
	40	1/0.36–0.43/1.15–1.3

Полученные оптимизированные мольные соотношения для процесса пароглекислотной конверсии метана и соответствующие им параметры синтез-газа приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Оптимизированные мольные соотношения $\text{CH}_4/\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ для процесса пароглекислотной конверсии метана и соответствующие им параметры синтез-газа

T, °C	p, атм	$\text{CH}_4/\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$	$\text{CO}_2, \%$	$\text{CH}_4, \%$	H_2/CO	$\Delta\text{H}, \text{ккал/моль}$
800	1	1/0.31/0.83	1.68	1.46	2.18	52.81
	5	1/0.42/1.03	6.08	5.85	2.19	44.22
	10	1/0.49/1.14	9.43	9.62	2.18	37.95
	15	1/0.54/1.23	11.95	12.12	2.19	34.15
	20	1/0.58/1.30	13.96	14.00	2.19	31.48
	40	1/0.67/1.45	19.13	19.04	2.18	25.08
900	1	1/0.27/0.78	0.46	0.53	2.18	54.93
	5	1/0.32/0.91	2.16	2.17	2.18	51.41
	10	1/0.36/1.03	3.81	3.90	2.18	47.93
	15	1/0.40/1.14	5.31	5.18	2.19	45.49
	20	1/0.43/1.22	6.51	6.35	2.18	43.38
	40	1/0.51/1.44	10.12	9.89	2.18	37.50
1000	1	1/0.26/0.76	0.15	0.2	2.18	55.58
	5	1/0.28/0.84	0.84	0.82	2.19	54.21
	10	1/0.30/0.91	1.53	1.62	2.18	52.52
	15	1/0.32/0.99	2.24	2.24	2.18	51.23
	20	1/0.34/1.07	2.93	2.75	2.18	50.16
	40	1/0.39/1.27	4.95	4.81	2.19	46.16

Расчет оптимизированных мольных соотношений был осуществлен методом минимизации энергии Гиббса [4].

Эксперименты, подтверждающие правильность термодинамических расчетов, проводились при давлении 5 атм. Выбор этого давления обусловлен тем, что при давлении 5 атм во всем диапазоне температур рассчитанное содержание метана и диоксида углерода в получаемом синтез-газе составляет менее 7 %. Кроме того с увеличением давления эксперимент в значительной мере усложняется, так как используемое оборудование требует более высоких механических характеристик, а также возрастает вероятность неконтролируемого коксообразования в нижних слоях каталитического слоя, где эндотермическая реакция протекает наиболее интенсивно.

В качестве модельной каталитической системы был выбран катализатор ГИАП-19, применяемый в промышленном процессе получения водорода конверсией газообразных углеводородов. Этот

катализатор состоит из оксидов никеля ($\sim 26.5 \pm 1.5$ % масс.) и кальция (10 ± 2 % масс.) на основе оксида алюминия (> 57 % масс.).

Экспериментальный стенд представлял собой проточную систему, центральной частью которой является трубка из термостойкого сплава ХН45Ю диаметром 16×2 мм и длиной 300 мм. Трубка была помещена в однозонную электрическую печь, позволяющую работать при температурах до 1400°C включительно. В верхнюю зону трубки помещали 5 мл катализатора, предварительно измельченного до гранул размером $0.4\text{--}0.5$ мм. В начальной зоне, середине и на верхней границе устанавливались три термодатчики. Сравнение рассчитанного и экспериментально полученного составов производилось по показаниям термодатчика регистрирующей температуры на верхней границе катализатора.

На каталитический слой подавалась смесь газов CH_4/CO_2 с объемной скоростью по метану 4800 ч^{-1} . Так как при температурах выше 500°C возможен пиролиз метана, газовая смесь подавалась непосредственно на каталитический слой, смешиваясь с перегретым водяным паром. Расход полученного в ходе эксперимента синтез-газа регистрировался по откалиброванным газовым часам после конденсации непрореагировавшего водяного пара. Количественный состав исходной газовой смеси и синтез-газа регистрировался с помощью хроматографа «Кристаллюкс 4000» с погрешностью 0.1 % об. по каждому из компонентов, за исключением водорода, во всем измеряемом диапазоне концентраций. Расчет концентрации водорода осуществлялся по формуле:

$$C_{\text{H}_2} = 100\% - \sum C_{\text{CH}_4, \text{CO}_2, \text{N}_2, \text{CO}} \quad (10)$$

Степень конверсии исходных реагентов определялась как:

$$K_{\text{CH}_4, \text{CO}_2} = \left(1 - \frac{N(\text{CH}_4, \text{CO}_2)_{\text{прод}}}{N(\text{CH}_4, \text{CO}_2)_{\text{исх}}}\right) 100\% \quad (11)$$

Количественная оценка осуществлялась по азоту, расход которого составлял 60 л/ч.

Обсуждение результатов

В ходе эксперимента наблюдалась сильная эндотермическая реакция, в результате чего в нижней зоне каталитического слоя температура процесса была значительно ниже температуры верхнего слоя катализатора. Процесс контролировался по температуре верхней точки каталитического слоя с температурой 900°C . Таким образом температура на всем каталитическом слое находилась в пределах $700\text{--}900^\circ\text{C}$. Результаты полученные в ходе эксперимента в сравнении с параметрами, соответствующими термодинамическому равновесию при температуре 900°C приведены в таблице 3.

Таблица 3.

**Сравнение экспериментальных данных с параметрами процесса
пароуглекислотной конверсии метана в условиях
термодинамического равновесия при 900 °С**

Сырьевой состав CH ₄ /H ₂ O/CO ₂	Содержание метана в синтез-газе CH ₄ , %		K CH ₄ , %		Содержание диоксида углерода в синтез-газе CO ₂ , %		K CO ₂ , %		Модуль синтез-газа H ₂ /CO	
	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.
1.0/1.5/2.0	4.47	0.09	77.9	99.5	29.75	21.08	28.0	46.8	1.34	1.06
1.0/1.5/1.5	5.83	0.16	74.4	99.3	25.21	16.03	27.5	49.4	1.54	1.29
1.0/1.5/1.0	7.55	0.28	69.7	98.7	19.25	11.00	23.9	51.0	2.04	1.64
1.0/1.5/0.5	10.22	0.53	64.6	97.8	13.17	6.34	8.2	46.8	2.79	2.23
1.0/1.5/0.0	13.15	1.12	60.1	95.6	7.08	2.53	0.0	—	4.97	3.47
1.0/1.3/2.0	4.53	0.11	78.2	99.5	28.83	20.24	31.5	49.0	1.20	1.01
1.0/1.3/1.5	5.73	0.18	75.0	99.1	23.93	15.11	31.5	52.9	1.43	1.22
1.0/1.3/1.0	7.95	0.34	70.2	98.4	18.96	10.05	28.6	55.8	1.72	1.55
1.0/1.3/0.5	10.19	0.70	65.5	97.1	12.01	5.42	18.9	55.2	2.45	2.11
1.0/1.3/0.0	13.93	1.75	58.5	93.2	5.37	1.82	0.00	—	4.50	3.32
1.0/1.1/2.0	3.13	0.12	85.6	99.4	30.38	19.32	31.2	52.4	1.02	0.95
1.0/1.1/1.5	4.41	0.22	81.3	99.0	21.95	14.10	39.3	56.5	1.17	1.15
1.0/1.1/1.0	6.22	0.43	76.8	98.1	16.35	9.00	40.3	60.9	1.42	1.47
1.0/1.1/0.5	8.95	0.97	71.0	96.0	10.02	4.40	35.0	64.0	1.94	2.00
1.0/1.1/0.0	13.51	3.03	63.3	88.8	4.76	1.13	0.0	—	3.43	3.19
1.0/0.9/2.0	3.47	0.14	83.8	99.3	25.74	18.30	40.6	55.4	0.95	0.89
1.0/0.9/1.5	4.65	0.26	80.8	98.8	20.99	13.00	43.2	60.5	1.05	1.09
1.0/0.9/1.0	6.49	0.55	76.3	97.6	14.81	7.85	46.7	66.5	1.40	1.38
1.0/0.9/0.5	10.10	1.44	68.9	94.3	9.06	3.39	44.5	73.2	1.96	1.88
1.0/0.9/0.0	17.81	4.92	53.8	83.2	3.93	0.67	0.0	—	3.95	3.25

В соответствии с представленными данными экспериментальная кривая модуля синтез-газа лежит выше линии соответствующей модулю синтез-газа обусловленному термодинамическим равновесием. Степень конверсии метана и диоксида углерода в значительной мере ниже термодинамически рассчитанной. Это может быть обусловлено недостаточной активностью катализатора, влиянием реакции водяного сдвига, наличием процесса коксообразования, а также возможной неточностью задачи расходов реагентов и хроматографического анализа. Результаты сравнения в диапазоне температур 700—900 °С приведены на Рис. 4.

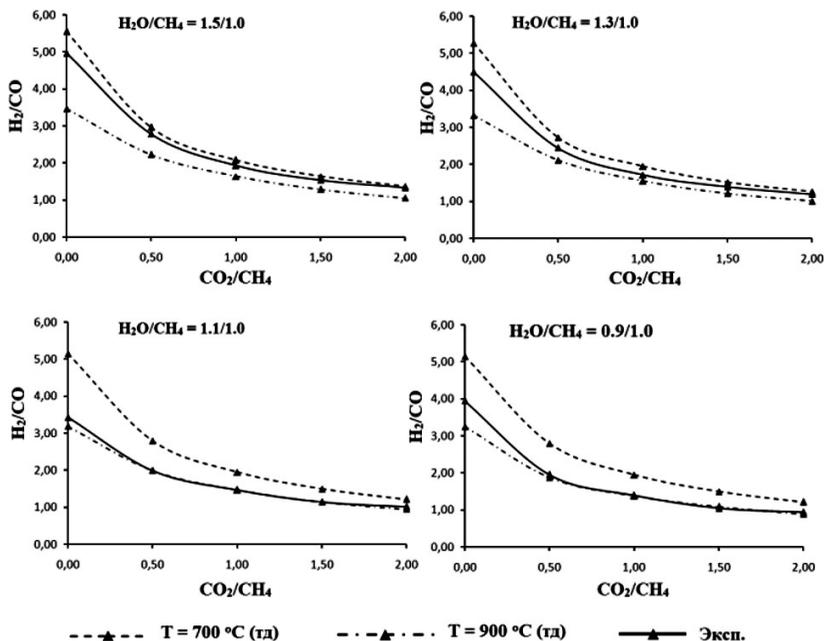


Рис. 4. Зависимость модуля синтез-газа от концентрации диоксида углерода при различных соотношениях H_2O/CH_4 в сравнении с зависимостями соответствующими термодинамическому равновесию при давлении 5 атм для температур 700 и 900 °С.

При этом во время экспериментов с соотношением $CH_4/H_2O=1/0.9$ наблюдалось коксообразование, усиливающееся со снижением концентрации диоксида углерода в исходной смеси.

Уменьшение концентрации водяного пара в сырьевой смеси приводит к снижению модуля синтез-газа приближая показатели к показателям соответствующим термодинамическому равновесию, что свидетельствует о снижении влияния реакции водяного сдвига. При сохранении концентрации водяного пара не ниже соотношения $CH_4/H_2O=1/1.05$ образования кокса на катализаторе не наблюдалось.

В ходе работы удалось смоделировать процесс получения синтез-газа с модулем $H_2/CO=1.0—5.0$, что подтверждает возможность использования стандартных катализаторов паровой конверсии в процессе получения синтез-газа варьированного состава. Полученные зависимости соотношения водорода к монооксиду углерода хорошо

соотносились с рассчитанными данными, что позволяет сделать вывод о достаточной точности термодинамических расчетов и возможности использования выбранных оптимальных сырьевых составов для получения синтез-газа для производств метанола и синтетических углеводородов. Низкие степени конверсии метана и диоксида углерода свидетельствуют о недостаточной каталитической активности катализатора, что могло быть вызвано высокой долей инерта в реакционной смеси, а также высокой объемной скоростью подачи реагентов. Снижение концентрации азота до 5 % по исходной газовой смеси с одновременным снижением объемной скорости подачи сырья по метану до 2000 ч^{-1} привело к значительному повышению степени конверсии метана до 96% и снижению доли примесей до 12 % об. при соотношении $\text{H}_2/\text{CO}=2.24$.

Полученные данные позволяют сделать вывод о возможности использования стандартного промышленного катализатора как катализатора процесса пароуглекислотной конверсии метана при давлении 5 атм. и температуре не ниже $800 \text{ }^\circ\text{C}$ в процессе получения синтез-газа для производств метанола и синтетических углеводородов. Такие параметры процесса обеспечивают возможность проведения пароуглекислотной конверсии газообразных углеводородов низкого давления в синтез-газ с его дальнейшим компримированием перед стадией получения синтетических топлив.

Список литературы:

1. Арутюнов В. С. Прямое окисление углеводородных газов в оксигенаты: современное состояние и перспективы промышленной реализации // Газохимия в XXI веке. Проблемы и перспективы под ред. проф. А. И. Владимировой ичл.-корр. РАН А. Л. Лapidуса: сб. научн. тр. М.: Нефть и газ, 2003. 288 с.
2. Книжников А., Пусенкова Н. Проблемы и перспективы использования нефтяного попутного газа в России // Экология и энергетика. Международный контекст. 2009. № 1. [электронный ресурс] - режим доступа — www.wwf.ru/data/news/5450/poputnygaz.pdf
3. Choudhary V. R, Mondal K. C. // Appl. Energy 2006. V. 83. P. 1024.
4. Demidov D. V., Mishin I. V., Mikhailov M. N. // International Journal of Hydrogen Energy, May 2011, P. 5941—5950.
5. Jeong J. H., Lee J. W., Seo D. J., Seo Y. K., Yoon W. L., Lee D. K. et al. // Appl. Catal. A. 2006. V. 302. P. 151.
6. Li D., Atake I., Shishido T., Oumi Y., Sano T., Takehira K. // J. Catal. 2007. V. 250. P. 299.
7. Li D., Shishido T., Oumi Y., Sano T., Takehira K. // Appl. Catal. A. 2007. V. 332. P. 98.

УТИЛИЗАЦИЯ ВТОРИЧНОГО ПОЛИМЕРНОГО СЫРЬЯ

Кобзев Кирилл Олегович

студент, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону

Баранникова Ольга Олеговна

ст.преподаватель, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону

Шульга Сергей Анатольевич

канд. техн. наук, доцент ДГТУ, г. Ростов-на-Дону

E-mail: kobzevkirill1990@mail.ru

В настоящее время существуют следующие пути полезного использования вторичного полимерного сырья:

- сжигание с целью получения энергии;
- термическое разложение (пиролиз, деструкция, разложение до исходных мономеров и др.);
- повторное использование;
- вторичная переработка.

Сжигание отходов в мусоросжигательных печах не является рентабельным способом утилизации, поскольку предполагает предварительную сортировку мусора. При сжигании происходит безвозвратная потеря ценного химического сырья и загрязнение окружающей среды вредными веществами дымовых газов. Значительное место в утилизации вторичного полимерного сырья уделяется термическому разложению как способу преобразования ВПС в низкомолекулярные соединения. Важное место среди них принадлежит пиролизу. Пиролиз — это термическое разложение органических веществ с целью получения полезных продуктов. При более низких температурах (до 600 °С) образуются в основном жидкие продукты, а выше 600 °С — газообразные, вплоть до технического углерода. Пиролиз ПВХ с добавлением отходов ПЭ, ПП и ПС при $T=350$ °С и давлении до 30 атм в присутствии катализатора Фриделя-Краффта и при обработке смеси водородом позволяет получать много ценных химических продуктов с выходом до 45 %, таких, как бензол, толуол, пропан, кумол, альфа-метилстирол и др., а также хлористый водород, метан, этан, пропан. Несмотря на ряд недостатков, пиролиз, в отличие от процессов сжигания ГБО, дает возможность получения промышленных продуктов, используемых для дальнейшей переработки [1].

Еще одним способом трансформации вторичного полимерного сырья является каталитический термолиз, который предусматривает применение более низких температур. В некоторых случаях щадящие режимы позволяют получать мономеры, например, при термолизе ПЭТФ, ПС и др. Получаемые мономеры могут быть использованы в качестве сырья при проведении процессов полимеризации и поликонденсации. В США из использованных ПЭТФ-бутылок получают дефицитные мономеры — диметилтерефталат и этиленгликоль, которые вновь используются для синтеза ПЭТФ заданной молекулярной массы и структуры, необходимой для производства бутылок [2].

Наиболее предпочтительными способами утилизации вторичного полимерного сырья с экономической и экологической точек зрения представляется повторное использование и вторичная переработка в новые виды материалов и изделий. Повторное применение предполагает возвращение в производственный цикл использованной упаковки после ее сбора и соответствующей обработки (мойки, сушки и др. операций), а также получения разрешения санитарных органов на ее повторное применение при непосредственном контакте с пищевыми продуктами. Этот путь пригоден, главным образом, для бутылочной тары из ПЭТФ. Вторичная переработка отходов получила широкое распространение во многих странах мира. Этим путем смешанные отходы из полимерных материалов могут перерабатываться в изделия различного назначения (строительные панели, декоративные материалы и т. п.). В США, где особенно велико использование полиэтилентерефталатной тары, принята и реализуется национальная программа, в соответствии с которой к началу XXI столетия уровень вторичной переработки бутылок из ПЭТФ будет доведен до 25—30 % (по сравнению с 9—10 % в начале девяностых годов). Программа предусматривает выполнение четырех этапов [2]:

- организация сбора использованной тары у населения;
- сортировка собранного сырья;
- переработка (предварительная и окончательная) в изделия народнохозяйственного назначения;
- сбыт получаемых изделий.

Программа предусматривает также создание пунктов сбора по всей стране с привлечением до 50 % всего населения, координационных центров, налаживание различных связей, рекламу, публикацию сведений по сбору отходов, создание банка данных, обучение населения, создание «горячих» линий (до 800) для передачи своевременной информации и др. мероприятия. Одним из перспективных направлений в этой области является производство гранулята из

отсортированного сырья с использованием различных добавок, повышающих его качество (стабилизаторов, красителей, модификаторов и др.), идущего на переработку в изделия различными способами переработки. В основе вторичной переработки отходов, например, в Германии лежит «Дуальная система», включающая сортировку и переработку отдельных видов вторичного сырья на предприятиях-производителях материалов и упаковки из них [3]. Для облегчения сбора отходов и направления их на переработку создана система, предусматривающая прием использованной упаковки и ее направление на вторичную переработку при наличии экологической маркировки «Зеленая точка» (Der Grüne Punkt). Этот знак обозначает, что данная упаковка подлежит вторичной переработке или повторному использованию, и присваивается упаковкам, прошедшим специальный конкурс, что является основным принципом "Дуальной системы". Обычно для эффективной переработки ВПС его подвергают модификации. Существуют следующие методы модификации ВПС [2]:

- химические (сшивание пероксидами, например, пероксидом дикумила, малеиновым ангидридом, кремнийорганическими жидкостями и др.);
- физико-химические (введение различных добавок органической природы, например, технических лигнинов, сажи, термоэластопластов, восков и др.), создание композиционных материалов;
- физические (введение неорганических наполнителей: мела, оксидов, графита и др.) и технологические (варьирование режимов переработки). Введение полиорганосилоксанов совместно с иницирующими добавками и последующей гомогенизацией перерабатываемого сырья позволяет регенерировать сильно изношенные материалы и восстанавливать требуемый уровень их технологических свойств. В зависимости от используемой среды и режима обработки происходит образование привитых сополимеров или пространственно-структурированных систем с образованием поперечных силоксановых связей. Их высокая прочность и низкая плотность молекулярной упаковки в полисилоксанах обеспечивает эластичность материала при одновременном улучшении механических свойств, термостабильности, атмосферо- и химстойкости [4].

Механические характеристики вторичного ПА из изношенных изделий можно существенно улучшить путем термической обработки сырья различными средами-теплоносителями (вода, минеральное масло и др.) с одновременным ИК-облучением. Термообработка в среде теплоносителя осуществляется по принципу отжига и включает операции нагрева, выдержки и охлаждения. При этом уровень физико-

механических показателей определяется видом теплоносителя, режимом термообработки и временем сушки, которое может составлять от 1,5 до 2,5 часов. В основе большинства предлагаемых способов лежит радикальноцепной механизм взаимодействия между активными группами вводимой добавки или наполнителя и окисленными фрагментами базового полимера [1]. Среди всех имеющихся методов наибольший практический интерес представляет композиционные материалы из вторичного полимерного сырья. Одной из функциональных модифицирующих добавок может служить природный полимер — лигнин, являющийся отходом целлюлозно-бумажной и гидролизной переработки древесины. Он представляет собой продукт метаболизма древесины и других растений, накапливаемых в процессе лигнификации в срединной пластинке и клеточной стенке, составляя 30 % всей ее массы (остальные 70 % приходятся на целлюлозу и гемицеллюлозу) [4].

Помимо эффективного модификатора вторичного полимерного сырья гидролизный лигнин после соответствующей обработки и подготовки в виде гидролизной муки (микролигнина) может быть использован для получения таких ценных в технологии переработки пластмасс продуктов, как ароматические стабилизаторы, антиоксиданты, структурообразователи и модифицирующие добавки для термопластов, наполнители — для реактопластов, сорбенты медицинского назначения типа «ЭКОЛИС» для выведения из организма токсинов, тяжелых металлов и др. вредных для живого организма веществ, в качестве лекарственного препарата при лечении цирроза печени (исследовалось на кроликах), для получения ванилина и др. целей. В ряде европейских стран проблема утилизации использованных пластмассовых упаковок неразрывно связана с налаживанием четкой службы их сбора, сортировки и разделения смешанных отходов, поскольку эти операции являются самыми трудоемкими [2].

В странах ЕС вопросы утилизации отходов упаковки решаются в рамках единого для этих стран закона, направленного на предупреждение нарастания объемов полимерной упаковки и тары, рациональных способов их утилизации, главным образом вторичной переработкой, организацией рациональной системы сбора и т. д. Работы в области утилизации вторичного полимерного сырья были начаты в России в конце 70-х - начале 80-х годов [4].

Список литературы:

1. Козлов П. В., Физико-химия эфирцеллюлозных пленок, Изд. «Искусство», 1948. 268 с.

2. Козлов П. В., Брагинский Г. И., Химия и технология полимерных пленок, Изд. «Искусство», 1965. 362 с.
3. Папков С. П. Физико-химические основы переработки растворов полимеров. — М.: Химия, 1971. 355 с.
4. Тугов И. И., Кострыкина Г. И. Химия и физика полимеров. - М.: Химия, 1989. 432 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ СЛУЧАЙНЫХ РАЗРЫВОВ К АНАЛИЗУ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНА

Коптелов Игорь Александрович

начальник отдела, ООО “Фактор-ТС”, г. Москва

E-mail: aakoptelov@gmail.com

Полиэтилен (ПЭ) является полимером, наиболее широко используемым в промышленности. Систематическое исследование его термического разложения проводится уже более 50 лет методами термогравиметрии (ТГ), дифференциального термического анализа (ДТА), дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) [5]. Несмотря на постоянное совершенствование экспериментальной аппаратуры, результаты, достигнутые к настоящему времени в изучении механизма и кинетики термодеструкции ПЭ нельзя признать удовлетворительными. Данные о кинетических параметрах термического разложения ПЭ, опубликованные в печати, характеризуются чрезвычайно большими разбросами. Например, оценки энергии активации, приводимые разными авторами для одинаковых образцов ПЭ, могут отличаться более чем в два раза [3]. По мнению ряда исследователей, причина такого положения заключается в отсутствии прогресса в теории процессов термического разложения веществ в конденсированной фазе [7]. В подавляющем большинстве работ для описания экспериментальных данных используется формальное кинетическое уравнение

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = Zf(\alpha)\exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (1)$$

где: α — степень разложения,

τ — время,

Z — предэкспоненциальный множитель,

E — энергия активации,

T — абсолютная температура,
 R — универсальная газовая постоянная,
 $f(\alpha)$ — дифференциальная функция α («реакционная модель»).

Уравнение (1) не содержит информации о важнейших характеристиках полимерного материала — его молекулярной массе (ММ) и молекулярно-массовом распределении (ММР). Оно не учитывает макрокинетического характера брутто-процесса полимер \rightarrow газообразные продукты, включающего помимо химической реакции разрыва связей такие физические превращения, как испарение образующихся продуктов реакции. Не каждый разрыв связей приводит к удалению фрагментов макромолекулы из конденсированной фазы, если эти фрагменты не могут испариться (сублимировать) при заданных параметрах эксперимента (температура T , давление p , скорость нагрева b).

Учет макрокинетический характер сложного процесса разложения позволяет модель случайных разрывов С-С связей в основной цепи полимера, впервые сформулированная в работе [2]. Ниже рассмотрены примеры, иллюстрирующие применение этой модели к анализу термораспада ПЭ.

В модели [2] расчетная степень превращения ξ (аналог α) определена как суммарная массовая доля фрагментов макромолекул с числом мономерных звеньев от 0 до x^* , перешедших в газовую фазу после y разрывов:

$$\xi(y) = \int_0^{x^*} w(x, y) dx, \quad (2)$$

где: $w(x)$ — молекулярно-массовое распределение, т. е. массовая доля молекул, имеющих x мономерных звеньев C_2H_4 ;

y — число разрывов в расчете на одно мономерное звено (плотность разрывов);

x^* — максимальное число мономерных звеньев в «осколке» макромолекулы, способном к испарению в данных экспериментальных условиях.

Зависимость плотности разрывов y от времени τ находится из уравнения
$$\frac{dy}{d\tau} = \frac{A(T)}{\sqrt{y + u^{-1}}}, \quad (3)$$

где: $u = M_n/\mu$ — исходная степень полимеризации;

M_n — среднечисленная ММ полимера;

μ — молекулярная масса мономера;

$A(T)$ — функция температуры.

Функция $A(T)$ в уравнении (3) является аналогом константы скорости реакции в традиционном кинетическом уравнении (1):

$$A(T) = A_0 \exp\left(-\frac{E_0}{RT}\right), \quad (4)$$

где: A_0 — константа с размерностью с^{-1} ;

E_0 — средняя энергия активации разрыва химических связей в полимере данного строения.

При произвольном исходном молекулярно-массовом распределении (ММР) исследуемого полимера $w(x)$ распределение $w(x, y)$, образующееся после y разрывов, можно найти, используя соотношение [9]:

$$w(x, y) = \left[w(x) + xy \int_x^\infty \frac{2 + yl - yx}{l} w(x) dl \right] \exp(-xy). \quad (5)$$

Зависимость плотности разрывов от времени для произвольного изменения температуры $T(\tau)$ получаем, интегрируя уравнение (3):

$$y(\tau) = \left[\frac{3}{2} \left(\int_0^\tau A[T(\theta)] d\theta + \frac{2}{3} u^{-3/2} \right) \right]^{2/3} - \frac{1}{u}. \quad (6)$$

Подставляя выражение (6) в (5) и далее (5) в (2), можно для любого исходного ММР рассчитать скорость разложения $d\xi/d\tau$:

$$\frac{d\xi}{d\tau} = \frac{d}{d\tau} \int_0^{x^*} w[x, y(\tau)] dx. \quad (7)$$

Верхний предел в интегралах (2) и (7) является функцией температуры и давления: $x^* = x^*(p, T)$. Фрагменты максимальной длины x^* удаляются с поверхности образца при температурах, близких к температурам их кипения [6]. При разложении ПЭ образуются в основном алканы и алкены, температуры кипения которых при различных давлениях известны.

На рис. 1 показана расчетная зависимость скорости термического разложения ($d\xi/dT = b^{-1} d\xi/d\tau$) высокомолекулярного ПЭ от температуры для режима нагрева образцов с постоянной скоростью $b = 0.042 \text{ К/с}$ при следующих параметрах уравнений (2)—(7): $E_0 = 302.9 \text{ кДж/моль}$, $A_0 = 1.9 \cdot 10^{17} \text{ с}^{-1}$, $M_n = 300000$, $u \approx 10700$. Исходное распределение $w(x)$ принято наиболее вероятным:

$$w(x) = (x/u^2) \exp(-x/u). \quad (8)$$

Значения x^* , равные 70, 25 и 8 соответствуют давлениям насыщенных паров соответственно 10^2 , 130 и $2 \cdot 10^5$ Па. Как видно из рисунка, изменение давления от вакуума (кривая 1) до давления, вдвое превышающего атмосферное (кривая 3), приводит к сдвигу максимума пика разложения на величину ~ 57 К.

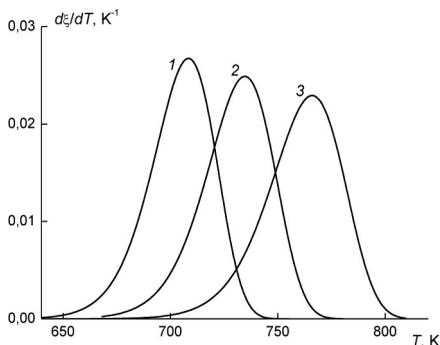


Рис. 1. Расчетная зависимость скорости разложения ПЭ от температуры при $x^*=70$ (1), 25 (2) и 8 (3). Скорость нагрева $b=0.042$ К/с.

Результаты расчета влияния давления на скорость термического разложения ПЭ удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными, полученными при исследовании полимеров при низких [6] и высоких [1] давлениях.

На рис. 2 приведены результаты расчета зависимости степени разложения ПЭ от времени при температуре 673 К для разных значений исходных ММ и ММР. Для всех кривых на рисунке $E_0=320$ кДж/моль, $A_0=1.15 \cdot 10^{19}$ с⁻¹. Значения среднemasсовых и среднечисленных молекулярных масс (M_w и M_n) и типы ММР приведены в табл. 1. Распределение Весслау, которое по данным работы [8] наилучшим образом описывает ММР в полиэтилене, имеет вид:

$$w(x) = \frac{\exp(-\beta^2/4)}{\beta x_0 \sqrt{\pi}} \exp\left(\frac{-[\ln(x/x_0)]^2}{\beta^2}\right), \quad (9)$$

где: $x_0 = u \cdot \exp(-\beta^2/4)$,

β — параметр, определяющий ширину распределения:
 $M_w/M_n = \exp(\beta^2/2)$.

Расчет показывает, что при достаточно больших ММ исходного полимера характер его разложения не зависит ни от ММ, ни от типа ММР.

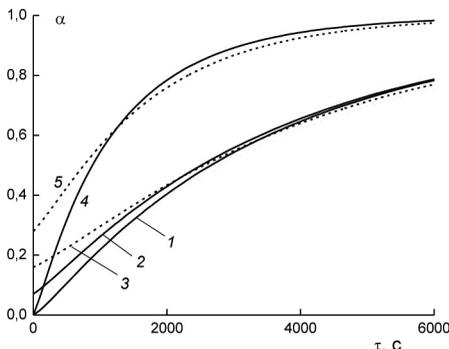


Рис. 2. Расчетная зависимость степени разложения ПЭ от времени в изотермическом режиме ($T=673\text{ K}$) для разных ММ и ММР (см. табл. 1). Кривые 1—3 соответствуют $x^*=12$, кривые 4,5 — $x^*=25$.

Таблица 1.

Параметры расчетных кривых рис. 2.

№ кривой	M_w	M_n	M_w/M_n	Тип ММР	x^*
1	600000	300000	2	Наиболее вероятное (8)	12
1	600000	300000	2	Весслау (9)	12
1	600000	60000	10	Весслау (9)	12
1	60000	6000	10	Весслау (9)	12
2	10000	1000	10	Весслау (9)	12
3	10000	400	25	Весслау (9)	12
4	600000	300000	2	Наиболее вероятное (8)	25
5	10000	400	25	Весслау (9)	25

При относительно низких ММ ($M_w < 300000$) и широких ММР ($M_w/M_n = 10-25$) уже при $\tau=0$ степень разложения $\alpha > 0$. Это чисто расчетный эффект, соответствующий мгновенному выходу на изотермический режим. В реальных опытах с такими полимерами на участке подъема температуры наблюдаются конечные, но очень высокие скорости разложения. Полученные расчетным путем

закономерности влияния ММ и ММР на характер разложения полиэтилена хорошо согласуются с экспериментальными данными [4].

Таким образом, теоретическая модель случайных разрывов может успешно применяться к анализу термического разложения линейных полимеров с разными ММ и ММР в широком диапазоне давлений.

Список литературы:

1. Коптелов А. А., Карязов С. В. Влияние давления на процессы термического разложения полимеров // Доклады Академии наук. 2003. Т. 389. № 5. С. 643—647.
2. Коптелов А. А., Коптелов И. А. Статистическая модель термического разложения линейных полимеров // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 2009. Т. 51. № 8. С. 1578—1584.
3. Коптелов И. А., Карязов С. В. Методические проблемы исследования кинетики термического разложения полимеров. I. Дифференциальный термический анализ // Пластические массы. 2008. № 8. С. 24—28.
4. Мадорский С. Термическое разложение органических полимеров / Пер. с англ. под ред. С.Р. Рафикова. М.: Мир, 1967. 328 с.
5. Уэндландт У. Термические методы анализа. М.: Мир, 1978. 528 с.
6. Dickens B. Thermally degradating polyethylene studied by means of factor-jump thermogravimetry // Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition. 1982. V. 20. № 4. P. 1065—1087.
7. Galvey A. K. What is meant by the term ‘variable activation energy’ when applied in the kinetic analyses of solid state decomposition (crystolysis reactions)? // Thermochimica Acta. 2003. Vol. 397. № 1—2. P. 249—268.
8. Saito O., Kang H. Y., Dole M. Theory of gel-dose curves for polymers undergoing simultaneous crosslinking and scission // Journal of Chemical Physics. 1967. V. 46. № 9. P. 3607—3616.
9. Saito O. On the effect of high energy radiation on polymers. I. Cross-linking and degradation // Journal of the Physical Society of Japan. 1958. Vol. 13. No. 2. P. 198—206.

СЕКЦИЯ 3.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

СПАРИВАНИЕ И ЯЙЦЕКЛАДКА КРЕСТОЦВЕТНЫХ КЛОПОВ

Хамраев Аловиддин Шамсиддинович

д-р биол. наук, профессор Институт зоологии АН РУз,

г. Ташкент, Узбекистан

E-mail: zool_uz@uzsci.net

Ганджаева Лола Атаназаровна

соискатель, Ургенчский государственный университет,

г. Ургенч, Узбекистан

E-mail: tulipa_83@mail.ru

Абдуллаев Икром Искандарович

канд. биол. наук, доцент, Ургенчский государственный университет,

г. Ургенч, Узбекистан

E-mail: a_ikrom@mail.ru

Рахматуллаева Шохида Халиллаевна,

Абдуллаева Сарвиноз Ибадуллаевна,

Нурметова Назокат Бахтияровна,

Аллаберганова Комила Сабиржановна

студенты факультета Естествознания и географии, Ургенчский

государственный университет, г. Ургенч, Узбекистан

E-mail: sarvinoz_2238@mail.ru

Клопы вылетающие с мест зимовки с еще не вполне зрелыми половыми продуктами. У самцов раньше, чем у самок начинается созревание семенников, и они сразу после вылета могут приступить к спариванию. Самцы в большинстве случаев вылетают с мест первыми и поэтому в начале на полях преобладают мужские особи. К концу массового вылета соотношение полов выравнивается.

К питанию клопы приступают сразу же после вылета с мест зимовки на дикорастущие крестоцветные. Для созревания половых

продуктов и для поддержания жизни самки нуждаются в дополнительном питании. В условиях Хорезмского оазиса дополнительное питание происходит главным образом на сорняках (икотнике, гулявнике, особенно кресс-салате, клоповнике, жерухе и очень редко на пастушьей сумке), иногда на культурных крестоцветных растениях (хрен, семенной капусте) [1, с. 572—574].

Когда устанавливается теплая погода, наступает период спаривания. Самцы в это время становятся в поисках самок весьма подвижными. Находя самку, самец взбирается к ней на спинку и усиками проводит несколько раз вдоль головы. После чего, самцы быстро трутся своим телом по телу самки, раскачиваясь в ту и другую сторону примерно на 45°, затем быстро сползают с тела самки и принимают положения для копуляции.

Спаривающиеся особи располагаются головами в разные стороны в одной плоскости. Богданов-Катьков (1925) указывает, что иногда они висят парочками, но нам никогда не приходилось наблюдать этого. Акт копуляции длится часами, а иногда и целыми днями. Во время копуляции клопы питаются, переползают с растения на растение, с места на место, причем самец движется за самкой задом вперед. Самка, будучи крупнее и сильнее самца, таскает его за собой. Будучи потревожена, парочка старается спрятаться на нижнюю сторону листа, во многих случаях клопы падают на землю и продолжают ползти вместе. Даже будучи пойманы, парочки обычно не разъединяются.

Начало спаривания клопов совпадает обычно с периодом их массового появления с мест зимовок. Иногда спаривания происходит от 2 до 9 дней после массового их вылета. Спаривание весной наблюдалась при среднесуточной температуре воздуха выше 17—19 °С и максимально температуре 27 °С (табл. 1).

Продолжительность периода созревания половых продуктов самок в значительной степени зависит от состава и качества питающих растений. Повышение температуры в это время сильно ускоряет созревание яиц. Потребность в питании у клопов в этот период исключительно большая, а поэтому и их вредоносность особенно высока в это время и в первую очередь на молодых всходах крестоцветных.

Таблица 1

Даты начала весеннего спаривания крестоцветных клопов за период с 2007 по 2009 год (Ургенч)

Виды клопов	Годы	Дата начала спаривания	Температурные показатели для указанных дней, °С		
			Средне-суточная	Максимальная	Минимальная
E.maracandica	2007	7.IV	18,1	24,7	14,1
	2008	4.IV	18,1	27,1	17,0
	2009	9.IV	17,0	23,0	12,2
E.Wilkinsi	2007	14.IV	18,0	29,1	19,1
	2008	14.IV	17,3	25,0	18,0
	2009	17.IV	18,2	23,4	12,4

Через несколько дней после спаривания клопы приступают к яйцекладке. В период яйцекладки изменяется внутреннее состояние и поведение клопа: от интенсивно развивающихся яичников брюшко самок увеличивается. В период яйцекладки перелет самок заметно ослабевает.

Начало и конец яйцекладки клопов наблюдались нами в течение 2007—2009 гг в окрестностях г. Ургенча и Хивы (табл. 2).

Таблица 2

Яйцекладка крестоцветных клопов

Годы наблюдений	Дата первого спаривания	Дата начала яйцекладки	Через сколько дней после спаривания	Дата конца яйцекладки	Температурные данные в период начала яйцекладки		
					Средняя	Максимальная	Минимальная
E.maracandica							
2007	7.IV	9.IV	2		19,3	26,3	16,7
2008	4.IV	7.IV	3		20,1	29,1	15,0
2009	9.IV	12.IV	3		19,4	25,8	9,7
E.Wilkinsi							
2007	14.IV	17.IV	3		20,3	31,2	14,0
2008	14.IV	16.IV	2		20,1	27,3	14,0
2009	17.IV	20.IV	3		21,2	26,9	11,8

Из таблицы 2 видно, что период от спаривания до яйцекладки варьирует от двух до трех дней.

В начале массовой яйцекладки E.maracandica откладывает яйца через день, E.Wilkinsi через каждые два дня, а к концу сезона своей жизни промежутки между откладкой яиц увеличиваются. Обычно яйца

откладываются на нижнюю и верхнюю поверхности листьев и на стебли крестоцветных растений. Перед каждой новой яйцекладкой клопы повторно спариваются. Иногда наблюдали откладку яиц клопами на растительные остатки и на почву вблизи кормовых растений.

В лабораторно-полевых условиях на вегетирующих в поле растениях, окруженных марлевыми садочками, клопы откладывают яйца на марлю и стенки садка. В лабораторных условиях наблюдается такая же картина: клоп предпочитает откладывать яйца на завязанную марлю или на стенки садка. Замечено, что из яиц отложенных на сухие предметы, личинки быстрее развиваются, чем из яиц на свежих растениях.

Яйца в большинстве случаев расположены двумя рядами, обычно по 6 штук в каждом ряду. *E. Wilkinsi* иногда размещает яйца в шахматном порядке. Самка за один прием, как правило, откладывает 12 яиц. Это связано со строением женского полового аппарата.

Процесс откладывания яиц самкой легко можно наблюдать как естественных, так и в лабораторных условиях. Самка, закрепившись на субстрате, двигает брюшком в горизонтальном направлении помещает выскальзывающие из влагалища яйца вертикально, придерживая их лапкой, чтобы они приклеились к соседним яйцам. Затем отдохнув две-три минуты, нащупывает ранее отложенное яйцо концом брюшка, слегка продвигается вперед и откладывает новое яйцо, придерживая его лапкой. Аналогичное поведение при яйцекладке отмечено также у вредной черепашки (Арнольди, 1948; Пучков и Пучкова, 1956). Весь процесс кладки яиц у крестоцветных клопов занимает 25—30 минут.

Список литературы:

1. Яхонтов В. В. вредители сельскохозяйственных растений и продуктов Средней Азии и борьба с ними. Ташкент: Госиздат УзССР, 1953. — С. 572—574.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ АДАПТАЦИИ ИНДИВИДА НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ГОЛОВНОГО МОЗГА И ПСИХОДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ

Кирсанов Вячеслав Михайлович

канд. псих. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ЧГПУ», г. Челябинск

E-mail: kirsanovvm@cspu.ru

Проблема адаптации индивида к условиям жизнедеятельности является одной из ключевых на современном этапе развития биологической науки. Несмотря на то, что механизмы адаптации организма к условиям обитания изучаются давно, данное направление исследований не потеряло своей актуальности. Это связано с тем, что современные условия жизнедеятельности (эколого-географические и экономические факторы, социально-политическая обстановка, темп, условия и интенсивность деятельности и др.) коренным образом изменились по сравнению с условиями существовавшими ранее.

Практически все виды активности человека являются затратными в плане психологических и энергетических показателей жизнедеятельности организма. Соответственно для оптимального существования человеку необходимы определенные ресурсы для восполнения энергетических потерь. Уровень нагрузок, которые индивид испытывает в повседневной жизнедеятельности, достаточно высок и несоблюдение определенных условий сохранения здоровья (своевременная диагностика состояний переутомления, соблюдение режима отдыха, бодрствования, профилактика заболеваний и т. д.) может вызвать снижение адаптационных возможностей организма [2, 3, 4, 6]. Оценка функционального состояния и показателей энергетического метаболизма нервной системы (головного мозга) позволяет заблаговременно диагностировать состояние переутомления, а оно в свою очередь может сигнализировать об опасности возникновения стрессового состояния и снижения адаптационных возможностей организма.

Традиционно для оценки степени снижения функциональных возможностей человека применяется психофизиологический подход, для оценки параметров психики — психологический (психолого-педагогический). Мы полагаем, что для более точного определения состояния личности необходимо дополнить психолого-педагогический подход психофизиологическими данными. Комплексный подход не является новым в отечественной науке. Такие работы ведутся уже многие десятилетия в научных школах Б. М. Теплова, Б. Г. Ананьева,

В. С. Мерлина; в рамках исследований К. М. Гуревича, Э. А. Голубевой, Е. П. Ильина, А. И. Крупнова, Н. С. Лейтеса, В. М. Русалова и др. К числу исследований нейрофизиологического направления следует отнести работы В. Ф. Фокина, Н. В. Пономаревой, Н. П. Бехтеревой, В. А. Илюхиной, И. П. Заболотских и др. В соответствии с комплексным подходом изучение степени адаптации индивида к условиям жизнедеятельности должно включать психодиагностические методики направленные на изучение особенностей его личности и определение его психического состояния (психологический подход), а также диагностику индикаторов энергетического состояния нервной системы (психофизиологический подход).

Любые проявления психической деятельности человека, выражающиеся во внешнем поведении комплексом ответных действий и реакций, в основе своей происходят из преобразований протекающих на клеточном уровне в нервной системе человека. В связи с этим, исследование адаптационных механизмов не должно ограничиваться только анализом поведенческих особенностей, оно должно включать в себя анализ биохимических изменений, происходящих во внутренней среде организма (в частности — кислотнo-щелочные реакции) и в первую очередь — в нервной системе.

Существуют различные методы изучения активности мозга. Как отмечает В. Ф. Фокин, важно понимать, на сколько можно использовать биологические реакции нервной ткани для оценки церебрального кислотнo-щелочного равновесия (КЩР). Однозначно четких результатов по влиянию изменения кислотнo-щелочного равновесия на нервные и глиальные клетки до сих пор не получено, по крайней мере, в диапазоне естественных колебаний КЩР. Поэтому современные электрофизиологические методы электро-энцефаллографии и вызванные потенциалы, отражающие активность нервных клеток мозга, не могут быть прямо использованы для изучения церебрального энергообмена. В то же время, в сосудистой системе мозга, начиная с гематоэнцефалического барьера, капилляров и т. д., прослеживается четкая логарифмическая зависимость разности сосудистых потенциалов от внутрисосудистой концентрации водородных ионов. Исследования последних лет показали, что сосудистые потенциалы могут быть зарегистрированы на поверхности головы с помощью неполяризуемых электродов в виде уровня постоянных потенциалов (УПП) милливольтного диапазона [1, 5].

Изучение энергетического метаболизма не является новой областью, особенно для биологических наук. Исследование взаимосвязи между деятельностью мозга и его энергетическим обменом в

настоящее время получило новые перспективы благодаря возможности регистрировать показатели церебрального энергетического обмена и функциональной активности непосредственно в процессе жизнедеятельности человека. Это позволяет изучать регуляцию нейрофизиологических и энергетических процессов при различных функциональных состояниях [5, с. 199]. Особое внимание в последнее время уделяется изучению сверхмедленных биологических потенциалов, которые в свою очередь рассматриваются рядом авторов как показатели энергетического метаболизма нервной системы в целом и головного мозга в частности (Н. А. Аладжалова, В. А. Илюхина, В. Ф. Фокин, Н. В. Пономарева, И. С. Баскаков и др.).

Одним из методов, направленных на изучение энергетического метаболизма является метод омегаматрии (в целом, и в частности нейроэнергокартирование), который представляет собой оценку энергетического состояния мозга через индикацию, диагностику и анализ уровня постоянного потенциала (омега-потенциала) головного мозга. Уровень постоянного потенциала (УПП) — это разновидность медленных электрических процессов.

Метод оценки церебрального энергетического обмена с помощью регистрации уровня постоянного потенциала мозга основан на том, что данный электрофизиологический феномен зависит от интенсивности церебрального энергетического обмена. Церебральный энергетический обмен тесно связан с функциональным состоянием организма. В то же время в зависимости от функционального состояния меняются многие психофизиологические характеристики личности, поскольку каждое функциональное состояние представляет собой единство физиологических, биохимических, гормональных и других составляющих, которые, в свою очередь, оказывают влияние на психические процессы [5].

Для оценки степени адаптации индивида к условиям жизнедеятельности в целом и к условиям обучения в частности нами была разработана модель комплексной диагностики, отвечающая всем требованиям психофизиологического исследования, которая включает в себя:

- исследование психической сферы испытуемых с помощью батареи психодиагностических методик, направленных на изучение структуры личности в соответствии с теорией многомерно-функционального подхода А. И. Крупнова (диагностика активности, мотивации, направленности личности, саморегуляции, ценностных ориентаций);
- исследование предрасположенности к определенному типу профессий (методика Дж. Холанда);
- анализ показателей энергетического метаболизма головного мозга, в частности регистрация уровня постоянного потенциала (УПП)

в лобном, височных (правое, левое), затылочном и теменном отведении, исследование функциональной асимметрии мозга (ФАМ) (сопоставление показателей УПП в височных отведениях).

Данная модель комплексной диагностики апробирована в ходе исследования особенностей студентов 1 курса естественно-технологического факультета, занимающихся на отделении «технология досуга» в институте дополнительных творческих педагогических профессий, и изменения показателей энергетического метаболизма вследствие применения активных форм обучения (тренинговые занятия) (В. М. Кирсанов, 2011), особенностей адаптации студентов 1 и 5 курса факультета коррекционной педагогики, студентов 1 и 5 курса факультета дошкольного образования, студентов 5 курса факультета декоративно-прикладного творчества Челябинской государственной академии культуры и искусства к условиям обучения.

Выше указанные исследования подтвердили тот факт, что интенсивная интеллектуальная деятельность, связанная с условиями обучения испытуемых, безусловно, приводит в последствии к снижению энергетических ресурсов организма и может рассматриваться как стресс-фактор для жизнедеятельности человека. Но, поскольку, как отмечается в ряде публикаций, период наибольшего подъема энергообмена приблизительно совпадает со временем интенсивного образования, (в частности, период обучения в ВУЗе) в это время хорошо переносятся повышенные учебные нагрузки [5].

Портативность используемой аппаратуры, неинвазивность, безопасность для испытуемых метода омегаметрии дают возможность развивать направление, связанное с прижизненным изучением церебральных энергетических процессов, которые важны для оптимальной работы головного мозга. Накопленные к настоящему времени данные использования метода омегаметрии в различных областях физиологии и медицины подтверждают его высокую диагностическую значимость для получения информации о текущем функциональном состоянии, компенсаторно-приспособительных возможностях основных регуляторных систем, стрессорной устойчивости и степени активизации адаптационных механизмов человека.

Список литературы:

1. Илюхина В. А. Психофизиология функциональных состояний и познавательной деятельности здорового и больного человека [Текст] / В. А. Илюхина. — СПб.: Изд-во Н-Л, 2010. — 368 с.

2. Казин, Э. М. Образование и здоровье: медико-биологические и психолого-педагогические аспекты [Текст] / Э. М. Казин. — Кемерово: КРИПК и ПРО, 2010. — 214 с.
3. Литвинова, Н. А. Роль индивидуальных психофизиологических особенностей студентов в адаптации к умственной и физической деятельности. [Текст]: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.13. / Литвинова Надежда Алексеевна. — Томск, 2008. — 38 с.
4. Мальцев, В.П. Психофизиологический статус студенток как фактор обеспечения учебно-профессиональной деятельности [Текст] / В. П. Мальцев, Д. З. Шибкова, П. А. Байгужин // Вестник Сургутского государственного педагогического университета. — 2011. — № 2(13). — С. 163—171.
5. Фокин, В. Ф. Энергетическая физиология мозга [Текст] / В. Ф. Фокин, Н. В. Пономарева. — М.: Изд-во «Антидор», 2003. — 288 с.
6. Шибкова, Д. З. Психофизиологические особенности креативности студентов как фактор адаптации к учебной деятельности [Текст] / Д. З. Шибкова, В. П. Мальцев // Онтогенез. Адаптация. Здоровье. Образование. Книга 3, Адаптация и здоровье студентов. — 2011. — С. 171—195.

СЕКЦИЯ 4.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ПРИМЕНЕНИЕ МКЭ ANSYS ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НИТЕЙ В НАМОТКЕ НА СНОВАЛЬНОМ ВАЛИКЕ

Власова Валентина Николаевна

канд. техн. наук, доцент ТИ УГСХА, г. Димитровград

E-mail: valentina-vlasova-75@mail.ru

Метод конечных элементов (МКЭ) является мощным и надежным средством исследования поведения конструкций в условиях разнообразных воздействий. Метод конечных элементов ANSYS широко известен и пользуется популярностью среди инженеров-исследователей, занимающихся вопросами динамики и прочности. Средства МКЭ ANSYS позволяют проводить расчеты статического и динамического напряженно-деформированного состояния конструкций (в том числе геометрически и физически нелинейных задач механики деформированного твердого тела), форм и частот колебаний, анализа устойчивости конструкций, нелинейных переходных процессов и др. [3]

С помощью МКЭ ANSYS составлена модель контакта нитей в намотке с учетом их реального расположения. Модуль расчета включает аналитическую картину распределения напряжений и деформаций вдоль взаимно перпендикулярных осей, углов поворота элементов вокруг этих осей, а также визуальную картину распределения силовых и деформационных факторов [1].

Последовательность действий при расчете модели с использованием МКЭ ANSYS сводилась к следующему:



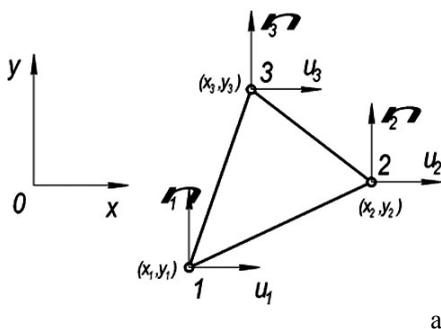
Рисунок 1. Фрагмент геометрической модели намотки нитей на сновальном валике

1. Создание геометрической модели средствами КОМПАС v.6+ (рисунок 1).
2. Передача построенной геометрической модели в препроцессор МКЭ ANSYS.
3. Определение типа элемента, характеристик элемента и материала.
4. Создание сетки конечных элементов.
5. Приложение нагрузок и закреплений.
6. Выполнение расчета.
7. Просмотр результатов.
8. Изменение сетки конечных элементов и повторный расчет (при необходимости).

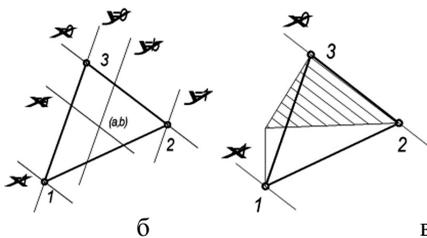
Наиболее важным моментом является выбор конечного элемента при составлении расчетной модели.

При определении типа элемента необходимо установить применимость элемента к той или иной области расчетов, характерную форму элемента (линейную, плоскую, в виде бруска и т. д.), а также двумерность (2-D) или трехмерность (3-D) элемента как геометрического тела.

Схема конечного элемента, применяемого при расчете, показана на рисунке 2, а. Элемент имеет три узла, пронумерованные против часовой стрелки. Каждый узел имеет две степени свободы, т. е. может иметь перемещения вдоль осей x и y . Предполагается, что смещения u, v любой точки внутри элемента являются линейными функциями координат этой точки:



а



б

в

Рисунок 2. Линейный треугольный элемент а — схема элемента; б — привязка системы координат; в — график функции формы N_1 .

$$\begin{aligned} u &= b_1 + b_2x + b_3y \\ v &= b_4 + b_5x + b_6y \end{aligned} \quad (1)$$

где: b_i — константы ($i=1, 2, \dots, 6$);

Из (1) можно получить выражения для деформаций:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} = b_2; \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} = b_6; \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = b_3 + b_5 \quad (2)$$

Из (2) следует, что деформации здесь не зависят от координат точки, т. е. являются постоянными в пределах элемента. В связи с этим такой линейный трехузловой элемент называют «элемент постоянных деформаций».

Заметим, что перемещения самих узлов также должны описываться уравнениями (1), при этом вместо x и y должны быть подставлены соответствующие координаты узлов (x_i, y_i). Получим систему из шести уравнений, из которой определяются шесть искомых коэффициентов b_i :

$$\begin{aligned} u_1 &= b_1 + b_2x_1 + b_3y_1 \\ u_2 &= b_1 + b_2x_2 + b_3y_2 \\ u_3 &= b_1 + b_2x_3 + b_3y_3 \\ v_1 &= b_4 + b_5x_1 + b_6y_1 \\ v_2 &= b_4 + b_5x_2 + b_6y_2 \\ v_3 &= b_4 + b_5x_3 + b_6y_3 \end{aligned} \quad (3)$$

Решив эту систему уравнений, получим выражения для b_1, \dots, b_6 в зависимости от перемещений узлов и их координат.

Окончательно для перемещений точек в пределах элемента:

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{Bmatrix}, \quad (4)$$

где: N_i — функции формы (линейные по x и y).

Функции формы определяются по следующим уравнениям:

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{1}{2A} [(x_2y_3 - x_3y_2) + (y_2 - y_3)x + (x_3 - x_2)y]; \\ N_2 &= \frac{1}{2A} [(x_3y_1 - x_1y_3) + (y_3 - y_1)x + (x_1 - x_3)y]; \end{aligned} \quad (5)$$

$$N_3 = \frac{1}{2A} [(x_1 y_2 - x_2 y_1) + (y_1 - y_2)x + (x_2 - x_1)y],$$

где: A — площадь треугольного элемента.

Площадь треугольного элемента определяется как:

$$A = \frac{1}{2} \det \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{bmatrix}; \quad (6)$$

Используя соотношение между деформациями и смещениями, а также (4) и (5), получим:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} y_{23} & 0 & y_{31} & 0 & y_{12} & 0 \\ 0 & x_{32} & 0 & x_{13} & 0 & x_{21} \\ x_{32} & y_{23} & x_{13} & y_{31} & x_{21} & y_{12} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{Bmatrix}, \quad (7)$$

где: x_{ij}, y_{ij} — относительные перемещения ($i, j=1, 2, 3$).

Относительные перемещения определяются по формулам (8).

$$x_{ij} = x_i - x_j, \quad y_{ij} = y_i - y_j. \quad (8)$$

Из формулы (7) следует, что деформации постоянны в точках внутри элемента, о чем уже говорилось выше. Следовательно, и напряжения в точках внутри элемента также постоянны. Учитывая эти свойства данного трехузлового элемента, следует ограничить его применение областями, где отсутствует большой градиент напряжений, т. е. вдали от концентраторов напряжений. Этот элемент можно использовать для выполнения предварительных, оценочных расчетов.

Выражение для матрицы жесткости треугольного элемента с прямолинейными границами имеет вид:

$$[k] = \int_V [B]^T [E] [B] dV = tA ([B]^T [E] [B]), \quad (9)$$

где: $[k]$ — симметричная матрица размером 6×6 ; t — толщина элемента.

Как видно из уравнений (5), для плоского треугольного элемента в глобальной системе координат x, y функции формы N_i представляют собой достаточно сложные выражения. Эти выражения существенно упрощаются, если ввести локальную систему координат ξ, ψ как

показано на рисунке 2, б. Тогда функции формы могут быть записаны существенно проще:

$$N_1 = \xi; N_2 = \psi; N_3 = 1 - \xi - \psi. \quad (10)$$

Можно отметить, что

$$N_1 + N_2 + N_3 = 1 \quad (11)$$

График изменения функции формы N_1 приведен на рисунке 3.4, в. Функции формы N_2 и N_3 ведут себя аналогично.

Часто возникает необходимость работы с локальной системой координат (например, при копировании или перемещении объектов). Установим связь между глобальной (x, y) и локальной (ξ, ψ) координатными системами в случае плоских треугольных элементов. Соотношения между координатами задаются следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} x &= N_1 x_1 + N_2 x_2 + N_3 x_3; \\ y &= N_1 y_1 + N_2 y_2 + N_3 y_3; \\ x &= x_{13} \xi + x_{23} \psi + x_3; \\ y &= y_{13} \xi + y_{23} \psi + y_3 \end{aligned} \quad (12)$$

где: x_{ij}, y_{ij} — относительные перемещения $(i, j=1, 2, 3)$.

Смещения u, v можно описать как функции координат глобальной (x, y) или локальной системы (ξ, ψ) координат. Известно, что перевод производных из локальной в глобальную систему координат можно осуществить с помощью матрицы Якоби:

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial \xi} \\ \frac{\partial u}{\partial \psi} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \psi} & \frac{\partial y}{\partial \psi} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \end{Bmatrix} = [J] \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \end{Bmatrix}, \quad (13)$$

где: $[J]$ — матрица Якоби.

Из (12) путем непосредственного дифференцирования получим:

$$[J] = \begin{bmatrix} x_{13} & y_{13} \\ x_{23} & y_{23} \end{bmatrix}, [J]^{-1} = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} y_{23} & -y_{13} \\ -x_{23} & x_{13} \end{bmatrix} \quad (14)$$

где: A — площадь треугольного элемента.

В формуле (14) учитывается, что

$$2A = \det[J] = x_{13}y_{23} - x_{23}y_{13} \quad (15)$$

Из (13), (14), (4) и (10) получим:

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} y_{23} & -y_{13} \\ -x_{23} & x_{13} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial \xi}{\partial \psi} \\ \frac{\partial u}{\partial \psi} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} y_{23} & -y_{13} \\ -x_{23} & x_{13} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 & -u_3 \\ u_2 & -u_3 \end{Bmatrix}, \quad (16)$$

Проведя аналогичные преобразования, получим:

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} y_{23} & -y_{13} \\ -x_{23} & x_{13} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial \xi}{\partial \psi} \\ \frac{\partial v}{\partial \psi} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} y_{23} & -y_{13} \\ -x_{23} & x_{13} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_1 & -v_3 \\ v_2 & -v_3 \end{Bmatrix}, \quad (17)$$

Учтем, что вектор деформаций можно записать следующим образом:

$$\{\varepsilon\} = [D]\{u\} = [D][N]\{d\} = [B]\{d\}, \quad (18)$$

где $[B]$ — матрица дифференцирования перемещений.

Используя (16), (17) и связь между векторами перемещений и деформаций (18), получим выражение для матрицы дифференцирования перемещений $[B]$:

$$[B] = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} y_{23} & 0 & y_{31} & 0 & y_{12} & 0 \\ 0 & x_{32} & 0 & x_{13} & 0 & x_{21} \\ x_{32} & y_{23} & x_{13} & y_{31} & x_{21} & y_{12} \end{bmatrix}, \quad (19)$$

Следует отметить, что это выражение полностью совпадает с ранее полученным для матрицы дифференцирования перемещений с использованием глобальной системы координат (7).

С применением указанного алгоритма рассчитано напряженно-деформированное состояние нитей в намотке на сновальном валике. В результате анализа литературных источников установлено, что метод конечных элементов ANSYS является наиболее удобным средством исследования поведения систем тел в условиях разнообразных воздействий. Разработана геометрическая модель намотки нитей на сновальном валике с применением системы твердотельного моделирования КОМПАС v.6+, из которой расчетная модель импортирована в среду пакета программ ANSYS, где ей присвоены необходимые атрибуты, сгенерирована сетка конечных элементов, заданы свойства материалов и выполнена процедура решения. Получена расчетная модель намотки нитей на сновальном валике. Выявлена картина распределения напряжений в местах контакта нитей, находящихся в намотке на сновальном валике [4, 2]. Установлено, что максимальные напряжения локализуются в месте контакта нитей, и распространяются на глубину, сравнимую с площадкой контакта этих нитей. Характерно, что линия контакта

нитей в сечении, параллельном оси сновального валика близка к прямой. Применение пакета программ ANSYS позволило установить направление перемещений локальных участков нити в плоскости сечения нити. Отмечено, что наибольшие перемещения узлов сетки конечных элементов наблюдаются по направлению к центру сновального валика. Также следует отметить достаточно большую величину перемещений в сторону заполнения воздушных промежутков между нитями, что свидетельствует об увеличении объемного коэффициента заполнения сновального валика при росте напряжений.

Список литературы:

1. Власова В. Н. Изыскание путей повышения качества партионных сновальных паковок. Дис... кандидата техн. наук. М., 2006. 193 с.
2. Власова В. Н. Исследование параметров намотки нитей на сновальном валике с целью повышения качества тканей.//Современная наука: материалы научно-практической конференции. Краснодар,2012. 272 с.
3. Наседкин А. В. Конечно-элементное моделирование на основе ANSYS / В сб. ANSYS 5.5/ED (Московское представительство CAD-FEM GmbH), Ansys-edding-rusian/Education/Structural/Bracket, 1999. 269 с.
4. Симон Л., Хюбнер М. Технология подготовки пряжи к ткачеству и трикотажному производству: Пер. с нем. / Под ред. А. П. Алленовой. М.: Легпромбытиздат,2000. 272 с.

РОЛЬ ВИСБРЕКИНГА В УГЛУБЛЕНИИ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

Ахмадова Хава Хамидовна

доцент, канд. техн. наук, профессор, ГГНТУ, г. Грозный

E-mail: hava9550@mail.ru

Сыркин Алик Михайлович

профессор, канд. хим. наук, УГНТУ, г. Уфа

E-mail: Syrkinam@mail.ru

Садулаева Альбика Суньяновна

доцент, канд. техн. наук, ГГНТУ, г. Грозный

E-mail: albina_sadulaeva@mail.ru

Для современной нефтеперерабатывающей промышленности России характерно следующее:

1. Высокий износ большинства технологических установок, который является самым высоким в топливно-энергетическом комплексе России и составляет около 80 %;

2. Относительно низкая загрузка большинства НПЗ (в среднем около 83 %). Опыт эксплуатации зарубежных НПЗ показывает, что эффективная работа предприятия обеспечивается при загрузке мощностей на уровне 90 % (в США 95 % и выше);

3. Недостаточная глубина переработки нефти.

4. Отставание в экологических и эксплуатационных требованиях к моторным топливам, по сравнению со странами запада.

Низкая глубина переработки остается одной из главных проблем отечественной нефтепереработки. В среднем она составляет 71,7 %, что значительно ниже уровня мировых показателей [3]. Для сравнения глубина переработки нефти в Европе составляет 85 %, в США — 95 %, т. е. Россия существенно отстает от других стран по этому показателю. Фактически отечественная нефтепереработка производит сырье для переработки в Европе.

Среди лидеров по глубине переработки — заводы Башнефть (86,2 %), Лукойл (76,7 %), Газпром (74,6 %), затем идут НПЗ ТАИФ-НК (68,01 %), ТНК-ВР (66,7 %), Роснефть (64,5 %), Альянс (62,0 %), Руснефть (56,7 %) и далее Сургутнефтегаз (43,2 %).

Соответственно, перед нефтепереработкой России стоят важные задачи по углублению переработки нефти с 71,7 % в настоящее время

до 80—85 % в 2015 г. и 85—90 % в 2020 г. (Энергетическая стратегия России до 2020 г.)

Достичь таких показателей можно интенсивным внедрением на отечественных НПЗ углубляющих процессов.

Исходя из особенностей ТЭК страны, технологическая структура мощностей переработки формировалась без достаточного развития процессов углубляющих переработку нефти и улучшающих качество продукции. Доля углубляющих процессов в России составляет примерно 20 % от объема переработки нефти, а в США более 73 %. Существенно отстает и развитие процессов обеспечивающих улучшение качества нефтепродуктов (алкилирование, изомеризация, производство оксигенатов) [7].

Период формирования новой Российской нефтепереработки совпал с существенным ужесточением мировых требований к качеству нефтепродуктов. Впервые было сформулировано понятие «экологически чистые моторные топлива».

В развитии процессов, углубляющих переработку нефти, Россия отстает от среднемирового и европейского уровня в два раза, от уровня США — более чем в три раза, а в развитии важнейшего из этих процессов, каталитического крекинга и гидрокрекинга в 4—7 раз. Вследствие этого в России ограничена возможность выработки моторных топлив, в то время как выработка топочного мазута составляет около 30 % от объема перерабатываемой нефти, в то время как в США — 5 % [7].

Решение проблемы углубления переработки нефти в России до 85—90 % к 2020 г. будет предопределяться наличием сырья для загрузки мощностей углубляющих процессов и освоения новых технологий для вовлечения в глубокую переработку нефтяных остатков, т.е. процессов каталитического крекинга, висбрекинга, коксования, гидрогенизационных процессов.

Расчеты показывают, что для достижения заданных показателей необходимо построить на российских НПЗ семь установок каталитического крекинга с предварительной гидроочисткой исходного вакуумного газойля с общей мощностью около 13 млн т/год и 8 установок гидрокрекинга общей мощностью порядка 11 млн т/год, а также расширить мощности термических процессов (висбрекинг, коксование) [7].

Из 27 российских НПЗ общей мощностью 248,8 млн т/год 9 заводов не имеют углубляющих процессов. На 18 НПЗ с глубокой переработкой нефти соотношение углубляющих процессов следующее [5, 6]:

4 НПЗ имеют 4 углубляющих процесса, 2 НПЗ — 3 углубляющих процесса, 10 НПЗ — 2 углубляющих процесса и 2 НПЗ — 1 углубляющий процесс.

Каталитический крекинг, как один из наиболее углубляющих переработку нефти процесс внедрен на 13 российских НПЗ. Всего установок каталитического крекинга в отрасли — 20. Доля КК от первичной переработки — 7 %.

Следующий по значимости углубления переработки нефти процесс — гидрокрекинг (ГК). На шести российских НПЗ функционируют шесть установок гидрокрекинга, работающие по технологии гидрокрекинга в мягких условиях и гидрокрекинга под давлением. В перспективе в России намечается строительство еще 9 установок гидрокрекинга.

Доля процесса замедленного коксования в отечественной нефтепереработке от первичной переработки составляет — 3,0 %. Семь установок расположены на 5 НПЗ. В 2011 г. намечается закончить строительство установки коксования мощностью 1 млн тонн на Комсомольском НПЗ (Роснефть). В перспективе намечается строительство установок коксования в Ачинске, Перми.

Процесс висбрекинга — это процесс, косвенно углубляющий переработку нефти. Доля висбрекинга от первичной переработки составляет 9,7 %, т. е. больше, чем доля других углубляющих процессов.

Всего на отечественных НПЗ эксплуатируется 13 установок висбрекинга. Из них: Лукойл — 2, ТНК — ВР — 2, Роснефть — 1, Башнефтехим -3, Газпромнефть — 1, МНТК-1, Славнефть -1, ТАИФ-НК -1, ОАО Салаватнефтеоргсинтез — 1. В перспективе намечается строительство установок висбрекинга — в Кириши, Перми [5, 6].

Наибольшее количество построенных установок по углубляющим процессам за период 2003—2010 г. приходится на висбрекинг, хотя процесс висбрекинга дает самую низкую глубину переработки нефти.

В отсутствие на НПЗ установок висбрекинга при приготовлении товарного мазута для обеспечения его вязкостных характеристик значительная часть газойля используется в качестве разбавителя.

При включении в схему переработки нефти процесса висбрекинга экономятся газойлевые фракции, так как висбрекинг гудрона позволяет получить тяжелый компонент товарного мазута (гудрон) более низкой вязкости и, как следствие, дополнительные объемы вакуумного газойля.

Таким образом, пуск установок висбрекинга косвенно способствует увеличению глубины переработки нефти на НПЗ, значительно сокращая выпуск мазута и увеличивая производство вакуумного газойля.

Основной экономический аспект применения процесса висбрекинга — высвобождение вакуумного газойля и средних дистиллятов, ранее вовлекаемых в производство товарного мазута как разбавителей для достижения необходимых параметров вязкости [1].

В результате висбрекинга гудрона снижается его вязкость, что уменьшает расход разбавителя для приготовления котельного топлива на 20—25 % масс. и, тем самым, увеличиваются ресурсы дистиллятного сырья для каталитических процессов. При этом уменьшается общее количество котельного топлива. Процесс висбрекинга — это один из недорогих и малозатратных процессов переработки нефтяных остатков, который как процесс претерпел в последние годы значительные изменения и получил новые потенциальные возможности.

На сегодняшний день получили распространение два варианта осуществления процесса [2]:

- печной или висбрекинг в печи с сокинг-секцией, при котором высокая
- температура (480—500⁰С) сочетается с коротким временем пребывания сырья в реакционной зоне (1,5—2 мин);
- висбрекинг с выносной реакционной камерой. Требуемая степень конверсии достигается при более мягком температурном режиме (440—450⁰С) и длительном времени (10—15 мин).

Опыт работы с реализацией печных вариантов показывает, что они не обеспечивают снижение вязкости тяжелых нефтяных остатков до норм, предъявляемым к товарным котельным топливам, а получаемый крекинг-остаток требует вовлечения дополнительного количества разбавителей.

Вариант висбрекинга с реакционными камерами более экономичен, т. к. при одной и той же конверсии тепловая нагрузка на печь меньше, но при печном получается меньший выход газа и бензина и повышенный выход газойлевых фракций. Однако крекинг-остаток, который используется в качестве котельного топлива, содержит серы не меньше, чем исходное сырье, т. е. экологические проблемы использования сернистых топлив этом случае не решаются.

Для получения менее сернистого котельного топлива может быть использован такой альтернативный вариант, при котором происходит гидрообессеривание глубоковакуумного газойля с температурой конца кипения до 590⁰С, а утяжеленные гудроны подвергаются висбрекингу. После их смешивания можно получить менее сернистое котельное топливо.

Непрерывное развитие процесса висбрекинга привело к значительному повышению глубины конверсии сырья и минимизации

выхода котельного топлива. Дооборудование установки висбрекинга вакуумными колоннами позволяет значительно увеличить отбор дистиллятных фракций и снизить выход остатка висбрекинга до 50—60 % масс на сырье [4].

Для сокращения выхода крекинг-остатка разработаны схемы, где процесс висбрекинга комбинируется с вакуумной перегонкой и термическим крекингом.

Технологическая схема установок висбрекинга определяется назначением процесса: существуют схемы, позволяющие получать максимальное количество котельного топлива при минимальном выходе газа и бензина, или схемы, обеспечивающие максимальное количество легких дистиллятов типа дизельного топлива. Сейчас за рубежом работают несколько десятков установок висбрекинга различных вариантов. В их разработке принимали участие ведущие фирмы Луммус, Шелл, ФИН.

Наиболее простая типичная схема, предназначенная для получения котельного топлива, включает печь с сокинг-секцией (или печь и сокинг камеру). В отличие от процесса термического крекинга, где продукты реакции из печи проходят выносную реакционную камеру сверху вниз, на этих установках движение продуктов организовано снизу вверх. Это позволяет значительно увеличить время пребывания жидкой фазы в зоне реакции и приводит к увеличению степени превращения исходного сырья.

В связи с постоянным снижением спроса на котельное топливо, новые установки висбрекинга оборудуются секциями четкого фракционирования, позволяющими увеличить отбор дистиллятов.

Другая схема висбрекинга направлена на максимальное получение вакуумного газойля — сырья каталитического крекинга или гидрокрекинга и включает вышеописанную схему и вакуумную колонну [4, 7].

Для снижения выхода крекинг-остатка применяется схема, сочетающая висбрекинг гудрона с термическим крекингом тяжелого газойля.

Выход крекинг-остатка по этой схеме снижается до 66 % масс, выход дизельной фракции увеличивается до 23 % масс.

Более сложная схема может включать один или два глубоковакуумных блока: один для вакуумирования исходного сырья, другой — крекинг-остатка. При включении двух вакуумных блоков достигается высокая степень конверсии: выход фракции дизельного топлива достигает 30 %, а вязкость остатка снижается в 10 раз.

При работе по этой схеме вакуумные дистилляты из блоков глубоковакуумной перегонки сырья и блока вакуумной перегонки остатка в смеси с тяжелым газойлем, отбираемым в качестве бокового

погона ректификационной колонны, подвергаются термическому крекингу в печи термического крекинга. При переработке гудрона по этой схеме увеличивается выход газа, бензина, среднего дистиллята, понижается температура застывания котельного топлива.

Средний выход продуктов (% масс.) при работе по этой схеме следующий [7]:

$C_1—C_4$	до 4
$C_5—195^{\circ}C$	до 7
$165—350^{\circ}C$	25—30
Котельное топливо	остальное

В настоящее время наиболее распространены варианты висбрекинга с получением максимального количества дистиллятов с концом кипения $350^{\circ}C$ и ниже. Современные установки висбрекинга работают при максимально возможной глубине конверсии, которая лимитируется стабильностью получаемого котельного топлива.

Первые установки низкотемпературного висбрекинга с выносными реакционными камерами были построены в 1962 году.

Применение выносной реакционной камеры позволяет снизить глубину превращения сырья в реакционном змеевике печи и довести ее до нужного значения в реакционной камере. Температура печи при этом может быть снижена на $25—30^{\circ}C$ и увеличивается межремонтный пробег установки до 1 года против 3—6 месяцев при печном варианте висбрекинга. В процессе висбрекинга с выносной реакционной камерой получается более стабильное котельное топливо, что является очень важным преимуществом этого варианта осуществления процесса.

Разработчиком этого процесса является фирма Shell, лицензиар и проектировщик процесса по технологии Shell —фирма Lummus Crest Inc. Камеры начали широко использоваться с конца 70-х годов XX в.

Реакционные камеры (сокинг-камеры) фирмы Shell принципиально отличаются от применявшихся ранее камер на установках термического крекинга [4]:

- рассчитаны на переработку более тяжелого сырья;
- сырье подается в нижнюю, а не верхнюю часть камеры;
- крекинг проходит в жидкой фазе.

Процессом висбрекинга занимаются многие зарубежные фирмы: Shell, Lummus, Kellogg, UOP, Foster Wheeler.

Разработками технологии процесса висбрекинга ранее в СССР и в настоящее время в России занимаются такие ведущие научно-исследовательские институты, как ГУП Нефтехимпереработка РБ, ГрозНИИ, ВНИИ НП и ВНИПИНефть [8].

В последние годы процесс висбрекинга претерпел значительные изменения, исследователями предложены различные его технологические модификации.

Новую технологию процесса представляет каталитический висбрекинг в присутствии водяного пара. Технология разработана фирмой PDVSA-INTERVEP-UOP [4]. Этот процесс, называемый Акваконверсия, отличается от традиционного, повышенным выходом дистиллятных фракций при сохранении низких капитальных затрат, присущих висбрекингу.

Остаточное сырье нагревают в печи до температуры термического крекинга. В отличие от традиционного термокрекинга, при котором реакции полимеризации снижают выход дистиллятов и увеличивают выход асфальтенов, в этом процессе реакции полимеризации и конденсации подавляются. Это достигается в результате мягкого гидрирования, образующихся в процессе радикалов. Гидрирование происходит в результате переноса водорода из небольшого количества воды (пара), добавляемой к сырью, в присутствии активного катализатора (добавки), состав которого является ноу-хау фирмы PDVSA-INTERVEP-UOP. При этом достигается значительно большая глубина превращения без осаждения асфальтенов. В схеме предусмотрено отделение активного катализатора в блоке рекуперации с последующим его возвратом в сырьевую линию.

Следующая интересная модификация процесса висбрекинга — это процесс японских компаний «Тойо инжиниринг» и «Мицуи Косян Кемиклз» — висбрекинг с выносной реакционной камерой с высокой степенью конверсии. Аналогичный вариант был предложен ранее в 1980-е годы грозненской школой.

От обычного висбрекинга процесс отличается более высокой степенью конверсии сырья, большой стабильностью остатка и меньшим содержанием непредельных в дистиллятах. Предназначен для переработки тяжелого сырья с высоким содержанием серы и металлов. Для повышения степени превращения сырья используется камера особой конструкции.

Совместное предприятие Французского института нефти и французских фирм Эльф и Тоталь разработало модификации процесса висбрекинга: висбрекинг без водорода; гидровисбрекинг; каталитический гидровисбрекинг.

Компанией Эксон разработан донорно-сольвентный висбрекинг — HDDV, компанией Лурги разработан донорно-сольвентный висбрекинг DSV.

Анализ становления и развития процесса висбрекинга в отечественной нефтепереработке показывает, что совершенствование этого

процесса на отечественных НПЗ проходило несколько отлично от зарубежных. На отечественных нефтеперерабатывающих заводах внедрение процесса висбрекинга наиболее широко осуществлялось за счет реконструкции простаивающих установок термокрекинга, атмосферной перегонки, замедленного коксования.

Таким образом, процесс висбрекинга в настоящее время набирает вторую волну технологической востребованности. Если раньше висбрекинг использовался только для снижения вязкости гудронов, то теперь для углубления переработки нефти. Ведущими мировыми фирмами и отечественными институтами разработаны за последние годы оригинальные решения по процессу висбрекинга.

Основное достоинство новых процессов в том, что они предназначены для глубокой переработки тяжелых нефтяных остатков с целью увеличения выхода дистиллятных фракций на 40—60 %.

Список литературы:

1. Антонов М. Л. Переработка нефтяных остатков на предприятиях группы «ЛУКОЙЛ»: опыт и перспективы // Мир нефтепродуктов — 2009. — № 5. — С. 6—9.
2. Ахмадова Х. Х., Сыркин А. М., Махмудова Л. Ш. Становление и развитие процесса висбрекинга тяжелого углеводородного сырья. М.: Химия, 2008. 208 с.
3. Галлеев Р. Г. Хавкин В. А., Данилов А. М. О задачах российской нефтепереработки // Мир нефтепродуктов — 2009. — № 2. — С. 3—7.
4. Давлетшин А. Р. Исследование закономерностей термолитического распада нефтяных остатков в процессе висбрекинга с реакционной камерой с восходящим потоком. Дисс. канд. техн. наук. Уфа., 2008. 118 с.
5. Капустин В. М. Роль отечественных компаний в модернизации российских нефтеперерабатывающих заводов // Мир нефтепродуктов — 2007. — № 7. — С. 18—20.
6. Капустин В. М. Глубокая переработка углеводородного сырья в условиях финансового кризиса // Мир нефтепродуктов — 2009. — № 3. — С. 8—10.
7. Современные технологии производства компонентов моторных топлив / Козин В. Г., Солодова Н. Л., Башкирцева Н. Ю., Абдуллин А. И. Казань. 2009. 328 с.
8. Хаджиев С. Н. Внедрение имеющихся разработок позволит России осуществить технологический прорыв // The chemical Journal — 2008. — № 6. — Р. 30.

ВНЕДРЕНИЕ ВАКУУМНО-КАВИТАЦИОННОГО МЕТОДА ДЕАЭРАЦИИ ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ

Борисова Наталья Владимировна
ассистент, СамГТУ, г. Самара
E-mail: natalliyaborisova@yandex.ru

Никитин Максим Николаевич
ассистент, СамГТУ, г. Самара
E-mail: nikitin-pro@mail.ru

Центральная отопительная котельная (ЦОК) Самарской ГРЭС Волжской территориальной генерирующей компании снабжает теплом ряд микрорайонов г. Самара. Система теплоснабжения открытого типа, теплота используется на отопление и горячее водоснабжение жилых зданий и коммунально-бытовых объектов. Теплопроизводительность ЦОК составляет 600 Гкал, проектная величина подпитки теплосети — 2000 т/ч. По первоначальному проекту подготовка подпиточной воды осуществлялась по следующей схеме [1, с. 39]:

1. частичное умягчение воды на Н-катионитных фильтрах при «голодной регенерации»;
2. освобождение воды от CO_2 в декарбонизаторах;
3. подогрев воды до температуры $60\div 80$ °С в поверхностных подогревателях типов ОГ-130 и МВН 2052-36 горячей сетевой водой;
4. деаэрация воды в вакуумных деаэраторах паром, образующимся из перегретой воды.

Одним из недостатков в работе ЦОК была плохая деаэрация подпиточной воды [2, с. 40]. Причина заключалась в том, что в соответствии с проектом на ЦОК были установлены деаэраторы типа ДСА (атмосферного типа), рассчитанные на подвод в качестве греющего теплоносителя пара от постороннего источника. Однако в действительности деаэрация подпиточной воды осуществлялась под вакуумом с помощью собственного пара, образующегося при вскипании перегретой воды. Деаэрация воды в таких деаэраторах происходила недостаточно глубоко. Вследствие этого качество подпиточной воды по содержанию CO_2 и O_2 в 2-3 раза превышало нормируемые ПТЭ величины. Особенно ухудшалось качество деаэрированной воды при нагрузках деаэраторов близких к номинальным. Такое положение вело к интенсивной коррозии трубопроводов тепловых сетей и оборудования котельной. Проведенные в 1973 году работы по наладке режимов деаэрации, желаемых результатов не дали. Было принято

решение выполнить реконструкцию деаэраторов ЦОК Самарской ГРЭС. Для этих целей применен вакуумно-кавитационный способ деаэрации химически очищенной воды, разработанный кафедрой ТЭС СамГТУ, и основанный на использовании явления кавитации в движущемся потоке жидкости.

Принцип работы вакуумно-кавитационного деаэратора заключается в том, что перегретая деаэрируемая вода вскипает при падении статического давления вследствие увеличения скорости движения потока воды в сопле, присоединённом к корпусу деаэратора, и состоящему из последовательно расположенных конфузторного, цилиндрического и диффузорного участков, причем паровые пузырьки возникают в конфузторном участке сопла, на выходе из цилиндрического участка происходит вскипание воды во всем её объёме, и пароводяная смесь разгоняется до скорости звука, а в диффузорном участке скорость пароводяного потока становится сверхзвуковой, вследствие снижения давления в потоке до давления в корпусе деаэратора. [3, с. 48]

Опытно-промышленная установка вакуумно-кавитационной деаэрации (ВКД), была разработана и выполнена с использованием бака-аккумулятора деаэратора № 4. Бак-аккумулятор имеет полезную ёмкость 75 м^3 , длину — 11,5 м, диаметр — 3,2 м. На баке установлены 2 деаэрационные колонки типа ДСА-300. Деаэратор подвергался следующему переоборудованию [1, с. 39]:

1. Деаэрируемая вода подводилась в паровой объём бака через сопла переменного поперечного сечения — кавитационно-разгонные устройства (КРУ), патрубки ввода деаэрируемой воды в колонки были заглушены.

2. КРУ с помощью фланцев прикреплены к патрубкам $d_y=300$ мм, сварены в обе торцевые стенки бака. На каждом баке-аккумуляторе установлены 4 КРУ, по два с каждого торца. Расстояние между осями соседних по торцу КРУ по горизонтали составляет 1000 мм, расстояние по вертикали между осями КРУ и осью бака — 1000 мм.

3. Проложен трубопровод $d_y=200$ мм для подвода деаэрируемой воды к КРУ.

4. Для измерения расхода воды через КРУ на трубопроводах установлены измерительные шайбы (диафрагмы).

5. В баке установлены три поворотных пароотборника для отбора проб деаэрируемой воды из движущегося в паровом пространстве бака пароводяного потока с целью контроля десорбции по длине потока.

6. Поверхностный подогреватель заменен на подогреватель смешивающего типа.

На опытно-промышленной установке, реализуемой метод ВКД, был выполнен ряд исследований, направленный на изучение влияния конструктивных и режимных факторов на конечный результат действия установки — на остаточное содержание кислорода и свободной углекислоты в деаэрированной воде. Программа исследований включала следующие мероприятия [1, с. 39]:

1. Исследование зависимости глубины дегазации от угла раскрытия сопел.
2. Исследование зависимости глубины деаэрации от диаметра КРУ и длины кавитационной трубы.
3. Исследование зависимости глубины деаэрации от длины свободной струи в баке-аккумуляторе.
4. Исследование зависимости глубины деаэрации от уровня деаэрированной воды в баке-аккумуляторе.
5. Исследование зависимости глубины деаэрации от условий ввода двухфазной струи в бак.
6. Исследование зависимости глубины деаэрации от степени перегрева деаэрируемой воды.
7. Исследование зависимости глубины деаэрации от температуры воды перед КРУ.

Для исследования зависимости глубины дегазации от диаметра КРУ, длины кавитационной трубы и угла раскрытия сопла был разработан КРУ-50-4,5, где $d_y=50$ — условный диаметр кавитационной трубы и меньший диаметр сопла, $\alpha=4,5^\circ$ — угол раскрытия сопла, (кавитационная труба $57 \times 3,5$ мм, длиной $l=1983$ мм).

Испытания показали, что КРУ-80-4,5 позволяет снизить содержание кислорода до $10 \div 50$ мкг/кг, однако такое снижение было неустойчиво, имелись проскоки O_2 до 400 мкг/кг. По углекислоте нормы ПТЭ не выдерживались. Дальнейшие испытания данного КРУ позволили добиться глубокой дегазации деаэрируемой воды за счёт изменения длины кавитационной трубы. Результаты испытаний КРУ-80-4,5, снабжённого кавитационной трубой длиной 210 мм, приведены в таблице 1. Во всех последующих испытаниях использовалось данное КРУ с длиной кавитационной трубы 210 мм.

Таблица 1

Результаты испытаний КРУ-80-4,5

G, т/ч	t, °C	t _d , °C	Δt _{ПЕР} , °C	ρ _д , кгс/см ²	C _{CO₂} , мкг/дм ³	CO ₂ , мкг/дм ³
255	74	69,6	4,4	0,31	0	10
255	74	70,3	3,7	0,32	0	10
200	77	71,8	5,2	0,34	0	10
200	76,5	71,7	4,8	0,34	0	10
160	72	66	6	0,27	0	10

* *Примечание: концентрация CO₂ в химочищенной воде 2200—2800 мкг/дм³.*

Исследования зависимости глубины деаэрации от длины свободной струи в баке-аккумуляторе показали, что весьма глубокая дегазация обеспечивается в паровой струе протяжённостью не более 3,5 м.

Для определения зависимости эффективности деаэрации от уровня деаэрированной воды в баке-аккумуляторе (уровень воды отсчитывался от геометрической оси КРУ) замерялось расстояние (по вертикали) от оси КРУ до уровня воды h_{КРУ} измерялось водоуказательным стеклом. Испытания показали:

1. Уменьшение h_{КРУ} от 1000 до 500 мм не влияет на глубину дегазации.
2. Уменьшение h_{КРУ} сверх 500 мм вызывает небольшое увеличение концентрации O₂, но в пределах норм ПТЭ.
3. Уменьшение h_{КРУ} до 300÷350 мм ведет к резкому возрастанию концентрации O₂ и CO₂. При этом нормы ПТЭ превышаются в 1,5÷2 раза.
4. Увеличение h_{КРУ} свыше 1000 мм, т. е. снижение уровня воды ниже оси бака не влияет на глубину дегазации.

Испытания, проведенные для исследования зависимости глубины деаэрации от условий ввода двухфазной струи в бак позволили сделать вывод, что качественная деаэрация обеспечивается при любой схеме работы, установленных на баке-аккумуляторе КРУ (одно КРУ, два КРУ на одной стороне бака, два КРУ по диагонали, два КРУ на противоположных сторонах бака с общей для КРУ осью), в т. ч. когда деаэрируемая вода подаётся ко всем КРУ (максимальная производительность деаэратора перегретой воды).

Испытания деаэратора по определению зависимости глубины деаэрации от степени перегрева деаэрируемой воды показали, что результат дегазации существенно зависит от степени перегрева Δt_{ПЕР}, представляющей собой разность между температурой воды перед КРУ и

температурой насыщения, соответствующей абсолютному давлению в баке-аккумуляторе. Так, для обеспечения глубокой дегазации (O_2 — 10 мг/кг, CO_2 — отсутствует), необходимо, чтобы степень перегрева $\Delta t_{\text{ПЕР}}$ была не менее $3,5^\circ\text{C}$. Если $\Delta t_{\text{ПЕР}} < 3,5^\circ\text{C}$, то в интервале значений $\Delta t_{\text{ПЕР}} = 0 \div 2^\circ\text{C}$ остаточные концентрации O_2 и CO_2 меньше исходных в $5 \div 10$ раз. При $\Delta t_{\text{ПЕР}} = 2 \div 3,5^\circ\text{C}$ глубина дегазации возрастает, однако нормы ПТЭ не выполняются. При увеличении $\Delta t_{\text{ПЕР}} > 3,5 \div 4^\circ\text{C}$, достигалась дегазация по O_2 до 10 мг/кг, CO_2 — отсутствовала. Дальнейшее увеличение степени перегрева не влияют на глубину дегазации [2, с. 112].

Влияние температуры воды на эффективность деаэрации в явном виде не прослеживается. Однако имеется связь между температурой воды и качеством деаэрации, которое является следствием косвенных факторов, а именно необходимости достижения $\Delta t_{\text{ПЕР}}$ не менее $3,5^\circ\text{C}$, которая в свою очередь при неизменной температуре деаэрируемой воды перед КРУ зависит от абсолютного давления в баке-аккумуляторе, поддерживаемого эжекторами. В условиях опытно-промышленной установки эжекторы деаэратора № 4 создавали вакуум не глубже $0,77 \text{ кгс/см}^2$, которому соответствует абсолютное давление $0,23 \text{ кгс/см}^2$.

Список литературы:

1. Кудинов А. А., Зиганшина С. К., Борисова Н. В. и др. Исследование режимов работы вакуумно-кавитационных электрических станций Самарской ГРЭС // Электрические станции. 2011. № 2. С. 38—42.
2. Кудинов А. А., Зиганшина С. К., Борисова Н. В. и др. Вакуумно-кавитационный деаэратор центральной отопительной котельной Самарской ГРЭС // Повышение энергоэффективности зданий и сооружений: межвузовский сб. научн. трудов СГАСУ, вып. № 5. Самара, 2010. С. 109—115.
3. Соколов Б. А. Устройство и эксплуатация оборудования газомазутных котельных. М.: Академия, 2007. 304 с.
4. Таран М. А. Водоподготовка и водно-химические режимы в теплоэнергетике. Омск: ОмГТУ, 2005. 384 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СУШКИ ЗЕРНА

Курдюмов Владимир Иванович

д-р техн. наук, профессор УГСХА им. П. А. Столыпина, г. Ульяновск

Павлушин Андрей Александрович

канд. техн. наук, доцент УГСХА им. П. А. Столыпина, г. Ульяновск

Сутягин Сергей Алексеевич

аспирант, УГСХА им. П. А. Столыпина, г. Ульяновск

Журавлёв Алексей Валериевич

студент, УГСХА им. П. А. Столыпина, г. Ульяновск

Нестерова Дарья Владимировна

студент, УГСХА им. П. А. Столыпина, г. Ульяновск

E-mail: andrejpavlu@yandex.ru

Как и прежде, одной из главных задач сельского хозяйства для решения проблемы продовольственной безопасности страны остаётся увеличение производства зерна. Особое значение приобретает совершенствование организации хранения, обработки и переработки зерна. Прогрессивные в технологическом и экономическом отношениях способы обработки, хранения и переработки зерна обеспечивают снижение потерь, способствуют сохранности и улучшению его качества, позволяют эффективнее использовать этот важнейший продукт питания.

Сохранность зерна, его обработка и переработка в масштабах нашей страны — сложное и дорогостоящее дело, требующее современной материально-технической базы. В то же время опыт передовых хозяйств показывает, что производство высококачественного зерна является выгодным — уровень рентабельности не менее 40 %. В ближайшие годы можно прогнозировать рост спроса на новую технику для послеуборочной обработки и хранения зерна. Увеличение валовых сборов зерна и уменьшение удельных затрат на его производство возможно лишь путём разработки и внедрения высокоэффективных технологических средств мирового уровня на основе концептуальных положений их развития.

В результате сушки многие сельскохозяйственные продукты значительно улучшают качество. Сушка товарного зерна, помимо улучшения качества продуктов его переработки (муки), способствует

повышению производительности мукомольно-крупяных и масло перерабатывающих предприятий, увеличивает выход конечного продукта, уменьшает износ технологического оборудования и расход энергии, снижает себестоимость переработки.

В связи с этим разработка технических средств, интенсифицирующих процессы сушки зерна с учетом энерго- и ресурсосбережения, является актуальной и важной научно-технической проблемой.

Для повышения эффективности процесса сушки зерна, на основании глубокого изучения и анализа существующих средств механизации предлагается следующая конструктивно-технологическая схема установки для сушки зерна [1].

Установка для сушки зерна (рисунок 1) состоит из цилиндрического составного кожуха 1, покрытого слоем теплоизолирующего материала 2, загрузочного бункера 3, выгрузного окна 4, соосно установленного внутри кожуха с возможностью вращения транспортирующего рабочего органа 5, выполненного в виде шнека с перфорированными витками, а также охлаждающего устройства, включающего вентилятор 6 и воздуховод 7, соединённый с внутренней полостью кожуха 1 за выгрузным окном 4.

Транспортирующий рабочий орган 5 получает привод от электродвигателя 8 через вариатор 9 посредством передачи 10. Торцевая поверхность кожуха 1 со стороны загрузочного бункера 3 имеет отверстия 11. На внешней поверхности кожуха 1 под слоем теплоизолирующего материала 2 между загрузочным бункером 3 и выгрузным окном 4 размещены нагревательные элементы 12.

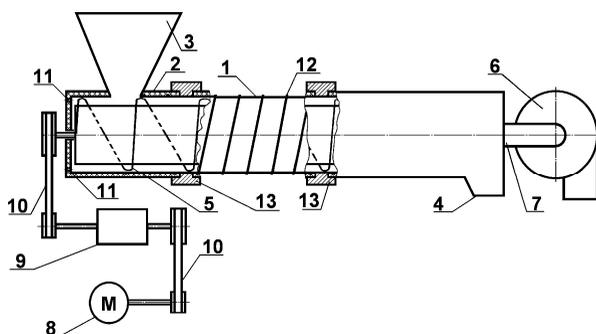


Рисунок 1. Установка для сушки зерна: 1 — кожух; 2 — теплоизолирующий материал; 3 — загрузочный бункер; 4 — выгрузное окно; 5 — транспортирующий рабочий орган; 6 — вентилятор; 7 — воздуховод; 8 — электродвигатель; 9 — вариатор; 10 — ременная передача; 11 — отверстия; 12 — нагревательные элементы; 13 — кольца

Установка работает следующим образом. Включают нагревательные элементы 12. После достижения необходимой температуры каждой из составных частей кожуха 1 подают зерно в загрузочный бункер 3, откуда оно поступает к транспортирующему рабочему органу 5 и перемещается им к выгрузному окну 4. Контактируя с нагретой поверхностью кожуха 1, зерно также нагревается, теряет излишки влаги, которые в виде пара отсасываются через перфорации рабочего органа 5 и далее — через воздуховод 7 потоком воздуха, продуваемого вентилятором 6 через отверстия 11 в кожухе 1. Сухое зерно удаляется из установки через выгрузное окно 4. При использовании зерна другой культуры меняют температуру нагрева кожуха 1 с помощью индивидуальных нагревательных элементов 12, а также изменяют частоту вращения рабочего органа 5 с помощью вариатора 9.

Выполнение транспортирующего рабочего органа в виде шнека, а также возможность изменения частоты его вращения посредством установки вариатора существенно повышает универсальность и надежность установки, так как оно может работать с зерном любых сельскохозяйственных культур.

Кроме того, выполнение кожуха составным и снабжение каждой составной части индивидуальным нагревательным элементом позволяет осуществить более быстрый прогрев зерна и поддерживать температуру в пределах, которые не снижают посевных или технологических качеств зерна.

Установка может применяться как автономно, так и в составе технологических линий для сушки, прожаривания или стерилизации зерна.

Применение данной установки позволяет снизить удельную энергоёмкость процесса сушки зерна, улучшить качество готового продукта.

В результате экспериментальных исследований процесса сушки зерна пшеницы (рисунок 2) были выявлены оптимальные значения независимых факторов, при которых затраты теплоты на испарение из зерна влаги составляют 3102,8 кДж/кг: средняя температура греющей поверхности 58 °С, скорость движения воздуха в установке 5,44 м/с, скорость движения зерна — 0,033 м/с при пропускной способности установки 250 кг/ч. Для зерна ржи $v_{з\text{ опт}}=0,033$ м/с, а средняя температура греющей поверхности $t_{п\text{ опт}}=61$ °С при $q_{\text{опт}}=3164$ кДж/кг и пропускной способности установки 250 кг/ч.

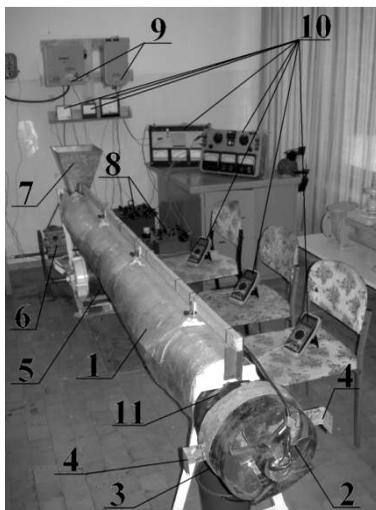


Рисунок 2. Лабораторная установка для сушки зерна:
1 — теплообменник; 2 — вентилятор; 3 — выгрузное окно;
4 — заслонки; 5 — электродвигатель; 6 — редуктор червячный;
7 — загрузочный бункер; 8 — автотрансформаторы;
9 — пускозащитная аппаратура; 10 — комплект измерительных
приборов; 11 — воздуховод

Результаты технико-экономического анализа предлагаемой установки в сравнении с установками для сушки зерна СЗПБ-2,5 (и ПУФС-0,4) показал, что предлагаемая установка имеет меньшие энергоёмкость и металлоёмкость. Годовая экономия составила 29,038 тыс. руб., экономический эффект — 69,13 рублей на 1 тонну продукции, срок окупаемости установки составил 0,53 года. Данная установка может быть рекомендована для сушки зерна, подготовки его к размолу, термического обеззараживания зерна в условиях крестьянских (фермерских), личных подсобных хозяйств и малых перерабатывающих предприятий.

Список литературы:

1. Атаназевич В. И. Сушка зерна. — М.: Агропромиздат, 1989. — 240 с.
2. Гинзбург А. С. Сушка пищевых продуктов. — М.: Пищепромиздат, 1960. — 684 с.
3. Пат. RU № 59226. Устройство для сушки зерна / В. И. Курдюмов, Г. В. Карпенко, А. А. Павлушин; Оpubл. 10.12.2006; Бюл. № 34.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕРМО-ВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ КАРПА ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ ГОТОВНОСТИ

Родионова Наталья Сергеевна

д-р техн. наук, проф. ВГУИТ г. Воронеж

Попов Евгений Сергеевич

канд. техн. наук, доцент ВГУИТ, г. Воронеж

Бахтина Татьяна Ивановна

аспирант, ВГУИТ, г. Воронеж

E-mail: e_s_popov@mail.ru

Одной из приоритетных задач развития индустрии общественного питания является совершенствование процессов тепловой кулинарной обработки сырья. Этот вопрос является актуальным в связи с тем, что традиционная тепловая кулинарная обработка сопровождается существенными потерями массы полуфабрикатов и готовой продукции.

В настоящее время одним из перспективных направлений развития пищевой промышленности является применение комплексной технологии обработки пищевых продуктов, предварительно упакованных в вакуумные полимерные пакеты, с последующей термо-влажностной обработкой. Применение данной технологии позволяет сохранять витамины, белки, углеводы, жиры, макро — и микроэлементы сырья в неизменном состоянии, а также предохраняет пищу от органолептических изменений, происходящих при традиционной тепловой обработке с сохранением цвета, запаха, вкуса пищевого продукта и гарантированной гигиенической безопасностью при увеличении сроков хранения [1, 2].

В качестве объекта исследований рассматривалось филе карпа, которое предварительно упаковывали в вакуумные полимерные пакеты и подвергали термо-влажностной обработке в пароконвектомате в условиях регулирования температуры теплоносителя в рабочей камере аппарата в диапазоне температур 333...373 К, влагосодержание теплоносителя поддерживалось равным 100 %.

В образцах продукта в процессе термо-влажностной обработки контролировали степень кулинарной готовности с интервалом в 30 сек до достижения постоянной массы образцов при одновременном выде-

лении ими постоянного количества сока. В качестве контроля исследовали образцы, обработанные при тех же температурных режимах без упаковки, а также образцы, сваренные традиционным способом.

Экспериментально установлено, что в предварительно упакованных образцах, приготовленных с увлажнением теплоносителя потери массы меньше, чем в образцах, обработанных без увлажнения, и составляют (рис. 1): 9,5...20,0 % и 12,5...23,5 % соответственно.

В неупакованных образцах, приготовленных с увлажнением теплоносителя, потери массы так же меньше, чем в образцах, обработанных без увлажнения. Они составляют 16,0...26,5 % и 18,5...28,5 % соответственно. Потери массы в контрольном образце составили 33 %. Таким образом, наименьшие технологические потери имели упакованные образцы, обработанные с увлажнением теплоносителя при 333 К.

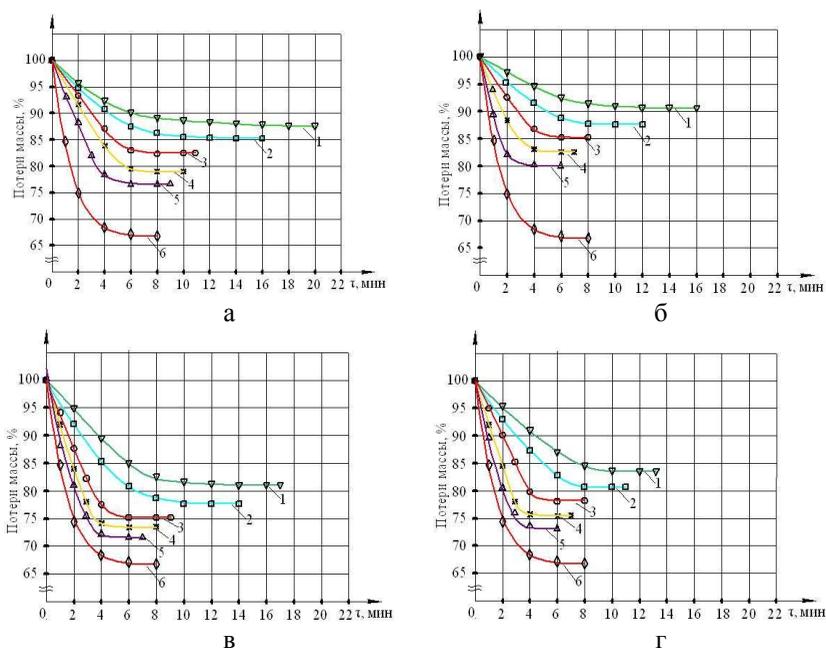


Рис. 1 Зависимость изменения массы упакованных (а, б) и неупакованных (в, г) образцов мяса карпа от продолжительности тепловой кулинарной обработки (при различных температурах):

а — упакованные образцы, обработанные без увлажнения теплоносителя,

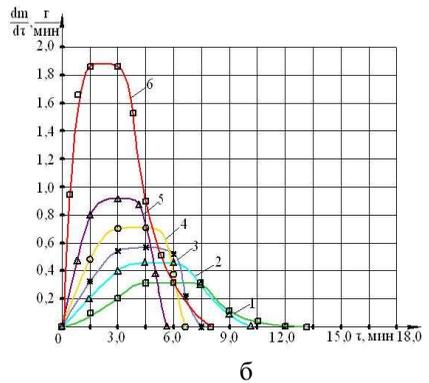
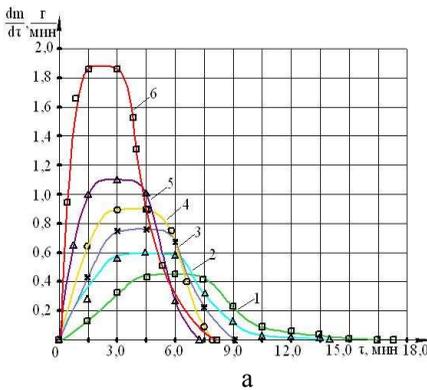
б — упакованные образцы, обработанные с увлажнением теплоносителя,

в — неупакованные образцы, обработанные без увлажнения теплоносителя,

г — неупакованные образцы, обработанные с увлажнением теплоносителя

1 — 333 К, 2 — 343 К, 3 — 353 К, 4 — 363 К, 5 — 373 К, 6 — обработка традиционным способом

В процессе исследований также было изучено изменение степени дегидратации тканей мяса карпа от температуры обработки (рис. 2). Сравнительный анализ полученных графических зависимостей скоростей дегидратации показал, что имеют место три стадии процесса: прогрева, постоянной и убывающей скоростей обезвоживания в следующих временных диапазонах протекания процесса дегидратации: для упакованных образцов, обработанных с увлажнением теплоносителя — 2,0...4,0; 2,0...3,0; 1,5...5,5 мин; для упакованных образцов, обработанных без увлажнения теплоносителя — 2,5...4,5; 2,5...3,5; 3,5...9,5 мин; для неупакованных образцов, обработанных с увлажнением теплоносителя — 1,5...3,0; 1,6...3,0; 2,0...5,0 мин; для неупакованных образцов, обработанных без увлажнения теплоносителя — 1,7...3,5; 1,8...3,5; 2,2...7,5 мин. Продолжительность процесса при обработке мяса карпа традиционным способом составляет 8 мин.



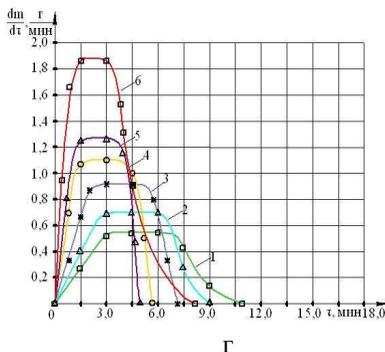
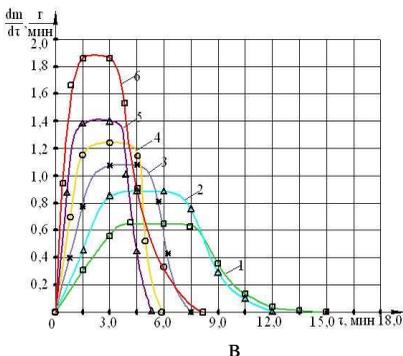


Рис. 2 Зависимость скорости дегидратации упакованных (а, б) и неупакованных (в, г) образцов мяса карпа от продолжительности тепловой кулинарной обработки (при различных температурах):

- а** — упакованные образцы, обработанные без увлажнения теплоносителя,
 - б** — упакованные образцы, обработанные с увлажнением теплоносителя,
 - в** — неупакованные образцы, обработанные без увлажнения теплоносителя,
 - г** — неупакованные образцы, обработанные с увлажнением теплоносителя
- 1** — 333 К, **2** — 343 К, **3** — 353 К, **4** — 363 К, **5** — 373 К, **6** — обработка традиционным способом

Экспериментально установлено, что наличие полимерной упаковки, а также характеристики теплоносителя в рабочей камере аппарата оказывают существенное влияние на скорость процесса дегидратации тканей карпа. Скорости дегидратации изменяются в следующих диапазонах: от 0,3 до 0,92 г/мин (333 К; 373 К) — для упакованных образцов, обработанных с увлажнением теплоносителя; от 0,45 до 1,1 г/мин (333 К; 373 К) — для упакованных образцов, обработанных без увлажнения теплоносителя; от 0,55 до 1,27 г/мин (333 К; 373 К) — для неупакованных образцов, обработанных с увлажнением теплоносителя; от 0,65 до 1,41 г/мин (333 К; 373 К) — для неупакованных образцов, обработанных без увлажнения теплоносителя. Скорость процесса дегидратации, при обработке мяса карпа традиционным способом, составляет 1,88 г/мин, что в 1,3...6,2 раза выше, по сравнению с вышеперечисленными вариантами проведения процесса тепловой обработки.

В ходе исследований в полученных образцах определяли массовую долю белка, жира, витаминов, микроэлементов, активную

кислотность, а также кислотные и перекисные числа. Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели качества полуфабрикатов из карпа

Наименование показателя	Образец, не подвергнутый тепловой обработке	Образец, обработанный традиционным способом	Упакованный образец, обработанный в пароконвектомате при температуре, К	
			333	373
Массовая доля белка, %	13,94	7,73	13,17	11,66
Массовая доля жира, %	36,60	17,67	20,89	19,53
Кислотное число, мг КОН/г	1,95	0,82	1,30	0,96
Перекисное число, % J ₂	0,02	0,02	0,03	0,03
Витамин В ₁ , мг/кг	0,21	0,02	0,11	0,06
Витамин В ₂ , мг/кг	1,84	0,74	1,50	1,40
Витамин Д ₃ , мг/кг	5,6	1,6	4,0	2,4
Витамин РР, мг/кг	1332,5	704,0	1147,2	915,8

Исходя из анализа полученных данных, следует, что численные значения исследуемых показателей достигают наибольших значений в упакованных образцах, обработанных при температуре 333 К. При этом наименьшие значения исследуемых показателей соответствуют образцам, обработанным традиционным способом.

На основании проведенных исследований можно утверждать, что предварительная вакуум-упаковка мяса карпа с последующей термо-влажностной тепловой обработкой при щадящих температурах позволяет максимально сохранить пищевую и биологическую ценность исходного сырья, а также увеличить выход полуфабрикатов и готовых изделий на 25—35 %, что способствует энерго- и ресурсосбережению.

Список литературы:

1. Родионова, Н. С. Исследование влияния режимов тепловой кулинарной обработки на дегидратацию тканей гидробионтов [Текст] / Н. С. Родионова, Е. С. Попов, Т. И. Фалеева // В мире научных открытий. — 2011. — № 7.2. — С. 1013— 1020.
2. Родионова, Н. С. Исследование процесса тепловой обработки гидробионтов с использованием низкотемпературного термо-влажностного режима [Текст] / Н. С. Родионова, Е. С. Попов, Т. И. Фалеева // Вестник РАСХН. — 2011. — № 6. — С. 75—78.

СЕКЦИЯ 5.

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ КАК ОДИН ИЗ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Атаманова Ольга Викторовна

соискатель, ассистент, БГТУ, г. Брянск

E-mail: atamanova_281287@mail.ru

Современный этап развития рыночной экономики характеризуется решением задач в области обеспечения экономической безопасности хозяйствующего субъекта. Решение данного рода проблем проводится с целью обеспечения нормального, устойчивого функционирования предприятий всех отраслей промышленности в условиях нестабильности как внутренней, так и внешней среды. Стоит отметить, что для каждого конкретного предприятия должен быть разработан свой индивидуальный способ оценки уровня экономической безопасности, учитывающий специфику производства, месторасположения хозяйствующего субъекта и т. д. В то же время данная методика оценки должна иметь идентичный характер для каждой конкретной отрасли промышленности. В настоящее время в экономической литературе нет единого подхода относительно критериев оценки уровня экономической безопасности молокоперерабатывающей промышленности. На наш взгляд экономическую безопасность предприятий молочной промышленности целесообразно рассматривать как систему, состоящую из следующих основных элементов продовольственной, финансовой, материально-технической, экологической, инновационной и инвестиционной, трудовой безопасности и т. д. В результате изменения одного из элементов системы приводит к качественно новой характеристике уровня экономической безопасности молокоперерабатывающей промышленности. Молочная промышленность является одним из важнейших элементов в составе пищевой промышленности Брянской области. На территории области зарегистрировано 16 предприятий молокоперерабатывающей промышленности осуществляющие переработку сырья и

выпускающие широкий ассортимент продукции, среди которой: молоко, творог, сметана, масло, сыр, казеин и другие кисломолочные и молочные продукты. Молокоперерабатывающая промышленность как в целом по стране, так и во всех регионах РФ и в Брянской области не без исключения, находится в сложной критической ситуации, что обусловлено переходом от государственного централизованного управления к рыночному типу хозяйствования и, как следствие того, кризисным положением агропромышленного комплекса в целом. Данное обстоятельство подтверждается следующими фактами. Производство молока во всех категориях хозяйств имеет тенденцию к снижению за исключением крестьянских (фермерских) хозяйств. Так, производство молока в хозяйствах всех категорий в 2010 году составило 337,3 тыс. т, что ниже уровня 1990 года на 60,4 %. Объем производства молока-сырья в сельскохозяйственных организациях за анализируемые периоды снизился на 73,08 %, а в хозяйствах населения — на 33,1 %. Как уже отмечалось выше, производство молока в крестьянских (фермерских) хозяйствах имеет тенденцию к увеличению, однако доля хозяйств данной категории незначительна и в отчетном периоде составляет 5,93 %, тем не менее, это выше уровня 1995 года на 5,6 %. В результате спада производства сырьевых ресурсов на территории Брянской области наблюдается низкая самообеспеченность молочными продуктами, которая в 2010 году составила 62,5 %. Также регион существенно отстает от рациональных норм потребления молока и молочных продуктов. Так, среднедушевое потребление молока и молокопродуктов в 2010 году составило 227 кг, однако, по общепринятым нормам годовое потребление на душу населения должно составлять 340—390 кг.

В результате низкой обеспеченности Брянского региона молочными продуктами определенную роль играет импорт отдельных видов продукции. Как показали исследования, одной из главных причин снижения объемов производства молока является сокращение поголовья крупного рогатого скота. Так, поголовье крупного рогатого скота в хозяйствах всех категорий в 2010 году по сравнению с дореформенным уровнем снизилось на 40,6 %, а поголовье коров в 3,3 раза. Снижение поголовья коров вызвано тем, что на загрязненных радионуклидами районах Брянской области наблюдается тенденция к снижению иммунитета коров, а также увеличение заболеваемости коров лейкозом и туберкулезом. В связи с этим особое внимание в системе экономической безопасности молокоперерабатывающей промышленности стоит уделить такому ее элементу как экологическая безопасность.

В настоящее время понятие экологическая безопасность имеет множество трактовок, но на наш взгляд применительно к молочной промышленности Брянской области она представляет собой комплекс радиозащитных мероприятий направленных на снижение радионуклидов в молочной продукции в целях обеспечения жителей экологически загрязненного региона продуктами, которые отвечают установленным нормам радиационной безопасности.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС Брянская область является экологически неблагоприятным регионом, поскольку находится в условиях повышенной радиации. Население региона наибольшую часть дозы ионизирующей радиации получает в результате внутреннего облучения, то есть с продуктами питания. Так при употреблении молочных продуктов, которые содержат долгоживущие радионуклиды (стронций — 90 и цезий — 137), жители Брянской области могут получать 60—95 % дозы ионизирующей радиации. Стоит отметить, что из 27 муниципальных районов Брянской области в результате Чернобыльской аварии наиболее загрязненными оказались Красногорский, Климовский, Новозыбковский, Гордеевский и Злынковский районы.

В целях более подробного анализа состояния продуктивности сельскохозяйственных животных нами были рассмотрены наиболее загрязненные территории, а также районы Брянской области являющиеся наиболее экологически безопасными. Анализ производства молока и поголовье крупного рогатого скота Брянской области за 2010 год на основании статистических данных [1] представлен в таблице 1.

Таблица 1

**Анализ производства молока и поголовье крупного рогатого скота
Брянской области за 2010 год**

Наименование района	Поголовье крупного рогатого скота в хозяйствах всех категориях, голов	В том числе коров, голов	Производство молока в хозяйствах всех категориях, тонн
Экологически неблагоприятные районы			
Гордеевский	6807	4175	9445
Злынковский	2315	1267	3431
Климовский	5261	3316	10856
Красногорский	6219	3368	10298
Новозыбковский	8561	3458	9460
Экологически благоприятные районы			
Стародубский	21253	8778	42564
Почепский	11344	6378	23709
Брянский	14288	6133	24034
Погарский	13226	6318	21924
Мглинский	7033	5247	17345
Клинцовский	8272	4134	14608
Карачевский	7111	4005	14899

На основании выше представленной информации можно сделать вывод, что продуктивность сельскохозяйственных животных в наиболее пострадавших районах от Чернобыльской АЭС Брянской области ниже, чем на территориях, которые являются наименее загрязненными. На загрязненных радионуклидами территориях большое количество радионуклидов содержится в почве, которые переходят в кормовые растения, что является причиной многих заболеваний у сельскохозяйственных животных и снижение их продуктивности. Стоит отметить, что наибольшее количество молока среди наименее загрязненных районов производится сельскохозяйственными предприятиями в Стародубском (42,56 тыс. т.), Брянском (24,03 тыс. т.), Погарском (21,92 тыс. т.) и Почепском (23,71 тыс. т.) муниципальных районах. Это объясняется тем, что данные районы наиболее экологически благоприятны, поскольку наименее загрязнены радионуклидами. Также в хозяйствах перечисленных выше районов содержится наибольшее количество поголовья коров, высокий уровень кормообеспеченности. В условиях экологически неблагоприятной

обстановки на территории Брянской области производители наибольшее внимание должны уделять снижению радионуклидов при производстве молочной продукции. Одним из наиболее эффективных способов удаления радионуклидов из молока является сепарирование. В связи с этим многие производители Брянской области отдают предпочтение выработке сыров, так как при производстве данного вида продукции из молока при сепарировании до 90 % цезия остается в сыворотке, при этом минеральный и биохимический состав молока практически остается неизменным. Стоит особо отметить, что сепараторы должны быть установлены и в хозяйствах всех категорий в целях обеспечения молочной промышленности экологически чистым сырьем. Особое внимание необходимо уделить мероприятиям, направленным на изменение рациона питания сельскохозяйственных животных, а также переводом их на стойловое содержание и чистые корма. При этом за счет средств федерального бюджета приобретаются ферроцинсодержащие препараты, которые вводятся с кормом или с различными наполнителями в организм крупного рогатого скота и позволяющие снизить уровень радионуклидов в получаемом молоке от сельскохозяйственных животных в 4—5 раз. Таким образом, мероприятия по снижению радионуклидов в молочных продуктах Брянской области должны осуществляться на протяжении всей так называемой пищевой цепочки (почва — растения — животные — молочные продукты — человек). Безусловно рассмотренные радиозащитные мероприятия не устраняют полностью проблему экологической безопасности на загрязненных территориях и затрудняют повышение эффективности экономической безопасности молокоперерабатывающей промышленности. Но, несомненно, они приводят к снижению содержания радионуклидов в молочной продукции, тем самым повышая качество производимой продукции на загрязненной радионуклидами территории Брянской области.

Список литературы:

1. «Чернобыль» четверть века спустя. 2011: Стат. сб. / Брянскстат. — Брянск, 2011. — 175 с.

МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЗЕМЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ КАК ФАКТОР РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН

Вагапова Юлия Фазылитдиновна

*студентка 5 курса, специальности «Налоги и налогообложение»,
Сибайский институт (филиал) Башкирского государственного
университета, г. Сибай*

E-mail: JuliyaBagira@yandex.ru

Абдуллина Фариды Рахмановна,

*ст. преподаватель кафедры налогов и налогообложения,
Сибайский институт (филиал) Башкирского государственного
университета, г. Сибай*

Актуальность темы обусловлена экономическим, социальным и экологическим значением использования и охраны земель сельскохозяйственного назначения для производства сельскохозяйственной продукции, ведения сельского хозяйства.

Одним из направлений устранения кризисных явлений в сельскохозяйственной отрасли является создание наиболее оптимальных правовых условий использования земель, на базе которых могло бы развиваться сельское хозяйство. Развитие этой отрасли как приоритетная цель современного экономического развития позволяет решать не только проблемы увеличения объема производства продовольственной продукции, но и решения проблемы занятости населения, и, что особенно важно, могло быть одним из путей выхода России на мировой уровень.

Земли сельскохозяйственного назначения — это земли за чертой поселений, предоставленные для нужд сельского хозяйства, а также предназначенные для этих целей [2, ст. ст. 201, 706].

В составе земель сельскохозяйственного назначения выделяются различные виды земель в зависимости от их роли в сельском хозяйстве:

- сельскохозяйственные угодья;
- земли, занятые внутрихозяйственными дорогами, коммуникациями

- земли, занятые древесно-кустарниковой растительностью, предназначенной для обеспечения защиты земли от воздействия неблагоприятных природных; антропогенных и техногенных явлений;
- земли, занятые водоемами;
- земли, занятые постройками и сооружениями, используемыми для производства, хранения и первичной обработки сельскохозяйственной продукции.

В состав земель сельскохозяйственного назначения входят 13 видов земель. Основную часть земель сельскохозяйственного назначения составляют сельскохозяйственные угодья (участки земли с определенным сельскохозяйственным использованием), которые в зависимости от их природных свойств, экономической целесообразности использования подразделяются на: пашни, сенокосы, пастбища, залежи, земли занятые многолетними насаждениями и др.

В Российской Федерации в 1990—1991 годах в системе земельных отношений была начата земельная реформа, в результате которой произошли радикальные изменения, коренным образом изменившие социальную структуру земельных собственников. В процессе ее трансформации в стране появилось 43 миллиона земельных собственников и землевладельцев, которым передан более 130 миллионов га земли.

В ходе реформирования земельных отношений сформировалось принципиально новое земельное законодательство, созданы правовые основы платного землепользования, арендных отношений, рыночного оборота земель, их оценки и мониторинга, государственного земельного кадастра и землеустройства. В аграрном секторе начала формироваться относительная устойчивая ориентация на различные формы земельной собственности, система сельскохозяйственного землепользования и землевладения.

Конец XIX века начало XX века сельскохозяйственные земли использовались в основном крупными кооперативными и государственными хозяйствами. В ходе реформирования земельных и аграрных отношений колхозы, совхозы и другие сельхозструктуры были реорганизованы и на их базе создана целая система коммерческих и некоммерческих юридических лиц, осуществляющих сельскохозяйственное производство.

По данным государственного учета земель, земельный фонд в Республике Башкортостан по состоянию на 1 января 2011 года составил 14 294,7 тыс. га, из них: земли сельскохозяйственного назначения — 7696,3 тыс. га (53,8 %).

На сегодняшний день земли сельскохозяйственного назначения имеют низкую инвестиционную привлекательность. Для полноценного

вовлечения в хозяйственный оборот эти земли нуждаются в более полном правовом обеспечении, учитывающем различные потребительские свойства, особый правовой статус и хозяйственный режим этих земель.

Так в соответствии с земельным законодательством постановлениями администраций муниципальных районов Республики Башкортостан 350145 гражданам республики предоставлено в общую собственность 2277,2 тыс. га земель сельскохозяйственного назначения. По состоянию на 1 июня 2011 года право собственности на земли общей площадью 1778,6 тыс. га в установленном порядке зарегистрировали 277127 человек (79,1 %).

Несвоевременная регистрация права собственности на земельные доли создает трудности в части дальнейшего распоряжения предоставленными в долевую собственность земельными участками из земель сельскохозяйственного назначения, что, в свою очередь, не позволяет привлекать данные земельные участки в хозяйственный оборот и приводит к недополучению органами местного самоуправления поступлений в части уплаты земельного налога.

По состоянию на 1 июля 2011 года количество невостребованных земельных долей составляет 29283, их общая площадь — 196745 га. В то же время органами местного самоуправления работа по регистрации в судебном порядке права муниципальной собственности на них не проводится.

В настоящее время проблема усиления муниципального земельного контроля является особенно актуальной. Практика показывает, что ослабление данного вида земельного контроля создает благоприятную обстановку для незаконного изменения вида разрешенного использования земельных участков, влечет за собой рост числа земельных правонарушений (несоблюдение требований об охране земель, нерациональное использование либо неиспользование земель, несоблюдение градостроительных, санитарных и других норм). В то же время административного воздействия к нарушителям земельного законодательства муниципальные земельные инспекторы применять не могут — институт муниципального земельного контроля нуждается в совершенствовании.

Также в качестве проблемы можно выделить платность землепользования. Более треть всех земель были преданы на условиях аренды (арендодателем выступали органы местного самоуправления). Остальные земли до настоящего времени пользуются на праве пользования.

Причинами сложившегося положения, явились два фактора: органы местного самоуправления не охотно заключали договоры аренды из-за боязни утраты права исключительного распоряжения

землей. При этом законодательство в 1990-х г.г. позволяло оформлять пользование государственной землей; сельскохозяйственные предприятия не заключали договоры аренды из-за боязни произвольного изменения ставок арендной платы на землю (право изменять ставки налога органы местного самоуправления имели ограниченное).

Изменившееся законодательство резко сузило применение права пользования землей и требует переоформления его для хозяйствующих субъектов на правах аренды или приобретения в собственность. Но эти требования законодательства находятся в противоречии с интересами соответствующих государственных и муниципальных органов.

Следует иметь в виду и то обстоятельство, что ставки арендной платы, как правило, пусть и незначительно, но выше ставок земельного налога. А это означает, что бюджеты недополучают доходы от использования государственных и муниципальных земель.

Так мною был сделан сравнительный анализ поступления арендной платы за землю в Республике Башкортостан с соседствующей Республикой Татарстан, Оренбургской и Челябинской областями. Сумма поступлений в Республике Башкортостан на 1 января 2011 года (3520815 тыс. рублей) в 2,4 раза больше суммы поступлений от аренды земли в Республике Татарстан (1485706 тыс. рублей), в 3,3 раза больше поступлений от аренды земли в Оренбургской области (1080631 тыс. рублей) и в 1,7 раза больше аналогичного показателя в Челябинской области (2016912 тыс. рублей).

А что касается показателя суммы земельного налога, поступившей в бюджеты муниципальных образований республики (1122274 тыс. рублей), значительно отстает от показателей сравниваемых субъектов: в 3,5 раза от показателя Республики Татарстан (3894883 тыс. рублей), в 1,3 раза — от Оренбургской области (1428846 тыс. рублей) и в 3 раза — от Челябинской области (3356046 тыс. рублей) [1, п. 2].

Приведенный анализ свидетельствует о том, что в республике низок процент земель, находящихся в собственности физических и юридических лиц. Следствием этого являются недостаточная развитость рынка земли на территории республики и предоставление льгот по земельному налогу в виде полного освобождения значительному количеству юридических лиц.

Учитывая, что максимальные размеры ставок земельного налога определены Налоговым кодексом Российской Федерации, причинами низкого показателя поступлений земельного налога могут являться также низкая кадастровая стоимость земель и несвоевременная актуализация показателей кадастровой стоимости.

Список литературы:

1. Концепция развития земельных и имущественных отношений в Республике Башкортостан на 2012—2016 годы, утверждена постановлением Правительства Республики Башкортостан от 09.11.2011 г. № 396.
2. Федеральный закон от 24 июля 2002 г. № 101 - ФЗ «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения» // СЗ РФ. 2002. № 8. Ст. 201; 2003. № 11. Ст.706

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОТЕОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ СЕРИИ «A1B1» ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

Архинов Александр Николаевич

канд. техн. наук, директор, ООО «КПФ «Милорада», г. Москва

E-mail: a.arhipov@milorada.ru

Позднякова Анна Владимировна

*аспирант кафедры «Бионанотехнология», ФГБОУ ВПО «Кемеровский
технологический институт пищевой промышленности» г. Кемерово*

E-mail: anjap12@mail.ru

Кисломолочные напитки изготавливают с использованием определенных культур микроорганизмов. Составляется закваска на чистых культурах микроорганизмов, которые, выделяя свои ферменты, производят биохимические превращения компонентов молока. Биохимические превращения компонентов молока включают понятие регулируемого протеолиза казеина, что характеризуется протеолитической активностью молочнокислых бактерий [1, с. 57]. Основная задача при производстве продуктов с молочнокислыми бактериями — подбор необходимых серий и наименований молочнокислых бактерий, обладающих повышенной протеолитической способностью, и условий культивирования, позволяющих интенсифицировать размножение и протеолиз этих микроорганизмов. Температура сквашивания способствует получению сгустка стандартной кислотности и влажности. При отклонении температуры сквашивания в большую или меньшую сторону от рациональной наблюдается увеличение размера белковых частиц сгустка и степени выделения сыворотки при самопрессовании. В результате получается излишне обсушенный продукт с крошливой

консистенцией или продукт с излишней массовой долей влаги. Температура сквашивания влияет и на кислотность, которая в свою очередь оказывает влияние на консистенцию сгустка. При недостаточной кислотности образуется продукт с резиновой консистенцией, а при излишней — продукт с мажущейся консистенцией и кислым вкусом, что обусловлено взаимодействием молочной кислоты с казеиновым комплексом [2, с. 109].

Для установления типа стабилизатора проведены исследования по определению продолжительности сквашивания молока культурами серии «AiVi» с применением различных видов стабилизаторов. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Продолжительность сквашивания молока молочнокислыми бактериями серии «AiVi» с применением стабилизаторов, часов

Тип стабилизатора	Наименование			
	LbS 22.11(R4)	LbS 22.11(R2)	LbS 22.11(Y3)	LbS 22.11(Y2)
КМЦ Акуцель 3265	7,5±0,5	7,0±0,5	9,5±0,5	9,5±0,5
КМЦ 4500-6000	7,0±0,5	6,5±0,5	8,0±0,5	8,5±0,5
Конжаковая камедь	6,5±0,5	6,0±0,5	7,5±0,5	8,0±0,5
КМЦ 6000-9000	7,5±0,5	6,5±0,5	7,5±0,5	8,0±0,5
Пектин АРА 105	8,5±0,5	8,0±0,5	9,0±0,5	9,0±0,5
Камедь рожкового дерева	6,5±0,5	6,5±0,5	7,0±0,5	7,5±0,5
Альгинат натрия НО4-600	7,5±0,5	7,0±0,5	8,5±0,5	8,5±0,5
Пирофосфат натрия SAPP 28	8,0±0,5	7,5±0,5	8,5±0,5	9,0±0,5
КМЦ Акуцель 2785	8,0±0,5	7,5±0,5	9,0±0,5	9,0±0,5
Пирофосфат натрия SAPP 40	7,5±0,5	6,5±0,5	8,5±0,5	8,5±0,5
Ксантановая камедь	7,5±0,5	7,0±0,5	8,0±0,5	8,5±0,5

Наблюдения показали различную длительность процессов сквашивания. При использовании молочнокислых бактерий серии «AiVi» четырех наименований: LbS 22.11(R4); LbS 22.11(R2); LbS 22.11(Y3); LbS 22.11(Y2). Использование в качестве стабилизатора структуры — камеди рожкового дерева позволяет достичь минимальной продолжительности сквашивания (6,5—7,5 часов).

Для установления массовой доли стабилизатора проведены исследования по определению влияния массовой доли стабилизатора КМЦ Акуцель 3265 на продолжительность сквашивания молока молочнокислыми бактериями. Концентрация КМЦ Акуцель 3265 варьировалась в диапазоне 0,5—2,5 % с шагом 0,5 %. Результаты исследований представлены на рис. 1.

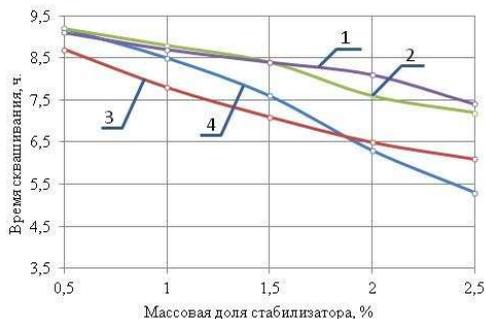


Рис. 1. Зависимость времени сквашивания молочнокислых бактерий «AiVi» от массовой доли КМЦ Акуцель 3265: 1 — LbS 22.11(Y2); 2 — LbS 22.11(Y3); 3 — LbS 22.11(R2); 4 — LbS 22.11(R4)

В результате проведённых опытов наилучшие результаты показал LbS 22.11(R4) — при массовой доле КМЦ Акуцель 3265 в 2,5 % время сквашивания составило 5,3 часа.

Для получения сгустка нужной консистенции с кислотностью pH 4,5—4,7 исследована рациональная температура активности молочнокислых бактерий серии «AiVi»: 1 — LbS 22.11(R4); 2 — LbS 22.11(R2); 3 — LbS 22.11(Y3); 4 — LbS 22.11(Y2). Результаты исследований представлены в таб. 2.

Таблица 2

Температура активности молочнокислых бактерий серии «AiVi» в стабилизаторах, °С

Тип стабилизатора	Наименование			
	LbS 22.11(R4)	LbS 22.11(R2)	LbS 22.11(Y3)	LbS 22.11(Y2)
КМЦ Акуцель 3265	42,5±0,5	43,5±0,5	41,5±0,5	41,0±0,5
КМЦ 4500-6000	43,5±0,5	43,0±0,5	42,5±0,5	42,0±0,5
Конжаковая камедь	42,0±0,5	42,5±0,5	41,5±0,5	41,5±0,5
КМЦ 6000-9000	43,5±0,5	43,0±0,5	40,5±0,5	41,0±0,5
Пектин АРА 105	43,5±0,5	43,0±0,5	42,0±0,5	42,0±0,5
Камедь рожкового дерева	44,0±0,5	43,5±0,5	41,0±0,5	41,5±0,5
Альгинат натрия НО4-600	42,5±0,5	42,0±0,5	42,5±0,5	42,0±0,5
Пирофосфат натрия SAPP 28	43,0±0,5	43,0±0,5	41,5±0,5	41,5±0,5
КМЦ Акуцель 2785	43,5±0,5	43,5±0,5	41,0±0,5	41,5±0,5
Пирофосфат натрия SAPP 40	42,0±0,5	42,5±0,5	41,5±0,5	42,0±0,5
Ксантановая камедь	43,5±0,5	42,5±0,5	40,5±0,5	41,0±0,5

Рациональная температура активности молочнокислых бактерий серии «AiVi» составляет: «LbS 22.11(R4)» — 42,5—44,0⁰C; «LbS 22.11(R2)» — 42,5—43,5⁰C; «LbS 22.11(Y3)» — 40,5—42,5⁰C; «LbS 22.11(Y2)» — 41,0—42,0⁰C.

Для определения протеолитической активности молочнокислых бактерий серии «AiVi» исследована зависимость протеолитической активности в 1,5 % растворе стабилизатора от температуры культивирования: Результаты исследований представлены на рис 2.

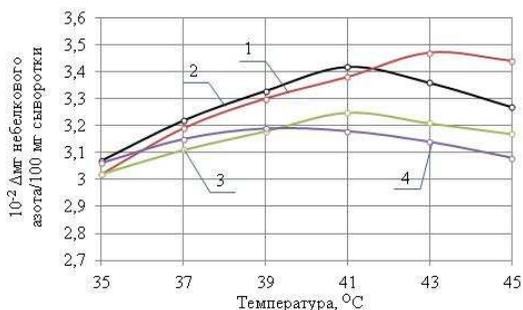


Рис. 2 Зависимость протеолитической активности молочнокислых бактерий «AiVi» в 1,5 % растворе стабилизатора от температуры культивирования: 1 — LbS 22.11(R4); 2 — LbS 22.11(R2); 3 — LbS 22.11(Y3); 4 — LbS 22.11(Y2)

В опытах с молочнокислыми бактериями «AiVi» наилучшие результаты показал LbS 22.11(R4) — при концентрации КМЦ Акуцель 3265 в 2,5 % время сквашивания составило 5,3 часа. Кроме того, данный вид бактерий характеризовался наиболее сильной зависимостью массовой доли стабилизатора от времени сквашивания из всей группы «AiVi».

Установлено, что рост протеолитической активности молочнокислых бактерий серии «AiVi» наблюдается в интервале температур от 39 до 41⁰C. При этом протеолитическая активность равна 3,15—3,45 10⁻² Δмг небелкового азота/100 мг сыворотки.

Список литературы:

1. Остроумова, Т. Л. Структурирующие свойства липидов молока при образовании пенообразных дисперсий / Т. Л. Остроумова, А. Ю. Просеков // Известия вузов. Пищевая технология. — 2006. — № 1. — С. 37—42.
2. Просеков, А. Ю. Современные аспекты производства продуктов питания.— Кемерово: Кузбассвузиздат — АСТШ — Университеты России. — 2005. — 370 с.

МОЛОЧНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ КОРОВ ЧЕРНО-ПЕСТРОЙ И КРАСНО-ПЕСТРОЙ ПОРОД ПРИ РАЗВЕДЕНИИ В УСЛОВИЯХ АРИДНОЙ ЗОНЫ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Цымбал Ольга Николаевна

аспирант, АГУ, г. Астрахань

E-mail: sunnyolga13@mail.ru

Лазько Марина Владимировна

д-р биол. наук, заведующая кафедрой зооинженерии и морфологии животных, АГУ, г. Астрахань

E-mail: radmila56@mail.ru

У крупного рогатого скота наиболее важным показателем является молочная продуктивность. Молочная продуктивность коров определяется наследственными и ненаследственными факторами. К их числу относят породу, кормление, условия содержания, состояние здоровья, живую массу, возраст, а также влияние природно-климатических условий на адаптационные особенности организма животного [4, с. 3]. Изучение влияния адаптации на молочную продуктивность ввозимых пород крупного рогатого скота в Астраханскую область является актуальным. Молочное скотоводство в животноводстве страны занимает ведущее место. Производство молока за 2009 год в Астраханской области составляет 155,494 тыс. тонн, а за 2010 год — 159,619 тыс. тонн. Этот показатель продолжает увеличиваться с каждым годом. Так как в регион все чаще завозят новые породы скота, необходимо не допустить падение уровня молочного производства, а, наоборот, путем завоза высокопродуктивных пород и правильно направленной селекционно-племенной работой повысить молочную продуктивность.

По данным ученых в результате адаптации ввозимого скота в новые природно-климатические условия продуктивные качества и воспроизводительная способность падает [2, с. 2]. В условиях Астраханской области изучалась молочная продуктивность привезенных коров красно-пестрой и черно-пестрой пород. Красно-пестрая порода была завезена в КХ «Янтарь» Харабалинского района из Воронежской области, а черно-пеструю породу завезли из Татарстана в КХ «Щербаков В. В.» Лиманского района. Опытная группа составила — 40 голов черно-пестрых и 40 голов красно-пестрых животных.

Исследование проводилось с помощью ежемесячных контрольных доек, во время которых велся учет величины удоя и проводился отбор средних проб для изучения физико-химических показателей молока.

Нами были изучены показатели коров в двухлетнем и трехлетнем возрасте, соответственно у них была первая и вторая лактации.

Удой по второй лактации у красно-пестрой породы коров составил 7289 кг молока, что на 1489 кг выше показателей их матерей рожденных и выращенных в Воронежской области. Удой по второй лактации черно-пестрой породы крупного рогатого скота — 5659 кг молока, что на 461 кг выше показателей матерей.

Результаты молочной продуктивности коров второй лактации представлены в таблице 1.

Таблица 1

Молочная продуктивность коров второй лактации красно-пестрой и черно-пестрой пород

Показатель	Группа			
	Красно-пестрая в условиях Астраханской области	Красно-пестрая в условиях Воронежской области	Черно-пестрая в условиях Астраханской области	Черно-пестрая в условиях республики Татарстан
Удой за лактацию, кг	7289±3,50	5800±2,70	5659±2,38	5198±2,16
Среднесуточный удой, кг	20,0±0,35	19,0±0,43	16,0±0,33	14,3±0,30

Содержание жира в молоке у красно-пестрых коров составило 4,0 %, у черно-пестрых — 3,8 %. Содержание белка находилось на уровне 3,0 % и 3,2 % соответственно.

Анализируя и сопоставляя данные о материнских предках можно сказать о том, что красно-пестрая и черно-пестрая породы скота в условиях Астраханской области имеет большее содержание жира и белка в молоке. Так в условиях родины красно-пестрые коровы имеют жирность молока 3,9 %, а белок — 3,0 %, коровы черно-пестрой породы 3,5 % и 3,0 % соответственно.

При органолептической оценке запахов и вида молока нормальный, цвет соответствует норме, консистенция молока однородная без осадка и хлопьев.

Наряду с такими показателями как жирность, содержание белка, сухое вещество, СОМО были изучены плотность и кислотность.

Плотность, или объемная масса молока при температуре 20°C, колеблется от 1027 до 1032 кг/м³. В России средняя величина плотности молока составляет 1028,5 кг/м³ (или 28,5 градусов

ареометра). Плотность молока зависит от температуры (понижается с ее повышением) и химического состава (понижается при увеличении содержания жира и повышается при увеличении количества белков, лактозы и солей) [1, с. 65].

Плотность молока, определенная сразу же после доения, ниже плотности, измеренной через несколько часов, на 0,8—1,5 кг/м³. Это объясняется улетучиванием части газов и повышением плотности жира и белков (за счет изменения коэффициентов температуры расширения) при постоянном понижении температуры молока. Величина плотности меняется в течение лактационного периода, вследствие болезней, а также под влиянием кормовых рационов и пород [3, с. 78].

Кислотность молока служит показателем его свежести, составляет 16—18 градусов Тернера или, что то же самое, миллилитров децинормального раствора щелочи, требующихся для нейтрализации кислот, содержащихся в 100 мл молока. Кислотность молока может колебаться в зависимости от возраста животного, состава молока, периода лактации, температуры хранения [3, с. 96].

Таблица 2

Физико-химические показатели молока

Показатель	Группа	
	Красно-пестрая порода	Черно-пестрая порода
Содержание жира, %	4,0±0,03	3,8±0,10
Содержание белка, %	3,0±0,02	3,2±0,08
СОМО, %	8,51±0,16	8,75±0,09
Сухое вещество, %	12,53±0,15	12,64±0,16
Содержание золы, %	0,85±0,04	0,88±0,03
Содержание фосфора, мг/%	98,4±0,02	98,7±0,02
Содержание кальция, мг/%	125,4±0,05	126,3±0,04
Кислотность, °Т	17,97±0,18	18,02±0,14
Плотность, кг/м ³	1028,5±11,7	1028,4±11,8

Кислотность молока исследуемых пород составила: у черно-пестрых 18,02°Т, у красно-пестрых — 17,97°Т. Плотность 1028,4 кг/м³ и 1028,5 кг/м³ соответственно.

Таким образом, анализ качества молока исследуемых пород показал, что оно обладает всеми необходимыми физико-химическими свойствами, по некоторым показателям ввозимый скот превосходит коров, выращенных в естественной среде обитания. Следовательно, селекционно-племенная работа, проводимая в хозяйствах с адаптируемыми животными, ведется в правильном направлении, а именно на повышение молочной продуктивности.

Список литературы:

1. Архангельский, И. И., Карташова В. М. Гигиена молока и контроль его санитарного качества. М.: Колос, 1966. 178 с.
2. Джапаридзе, Т. От проблем молочного скотоводства к проблемам села // Молочное скотоводство. 2009. № 3. С. 2—3.
3. Залаевский, И. С. Справочник по ветеринарно-санитарной экспертизе животноводческой продукции. К.: Урожай, 1976. 160 с.
4. Стрекозов, Н. И. Научные основы повышения эффективности молочного скотоводства // Зоотехния. 2002. № 1. С. 2— 3.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

«ИННОВАЦИИ В НАУКЕ»

Часть I

Материалы международной заочной научно-практической
конференции

11 апреля 2012 г.

Под редакцией канд. техн. наук Якова Аркадьевича Полонского

Подписано в печать 18.04.12. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 7,25. Тираж 550 экз.

Издательство «Сибирская ассоциация консультантов»
630075, г. Новосибирск, Залесского 5/1, оф. 605
E-mail: mail@sibac.info

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3