

ISSN-1682-0533

Научно-Техническое Общество «КАХАК»

# ИЗВЕСТИЯ

Научно-Технического Общества «КАХАК»

2015, № 2 (49)

Алматы, 2015

# ИЗВЕСТИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА «КАХАК»

Алматы, 2015 г., № 2 (49)

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Пак И. Т.** – доктор технических наук, профессор,  
заслуженный деятель науки и техники РК

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Бияшев Р. Г.** – доктор технических наук, профессор; **Кан В. М.** – доктор сельскохозяйственных наук; **Мукашев Б. Н.** – доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК; **Мун Г. А.** – доктор химических наук, профессор, *заместитель главного редактора*; **Сон Э. Е.** – член-корреспондент РАН (Москва, РФ); **Цой О. Г.** – доктор медицинских наук, профессор; **Цой С. В.** – доктор технических наук, профессор; **Хацкевич В. Х.** – доктор технических наук (Нью-Йорк, США); **Kim Byung-Soo** – Ph.D., профессор (Сеул, Республика Корея); **Ким Н. Х.** – кандидат технических наук; **Ю В. К.** – доктор химических наук, профессор, *ответственный секретарь*; **Югай О. К.** – кандидат химических наук, *заместитель ответственного секретаря*.

## EDITOR-IN-CHIEF

**Pak I. T.** - Doctor of Technical Sciences, professor,  
Honored Worker of Science and Technology of Kazakhstan

## THE EDITORIAL BOARD:

**Biyashev R. G.** – Doctor of Technical Sciences, professor; **Kan V. M.** – Doctor of Agricultural Sciences; **Mukashev B. N.** – Doctor of Physico-Mathematical Sciences, professor, NAS RK academician; **Mun G. A.** – Doctor of Chemical Sciences, professor, *Deputy Chief Editor*; **Son E. E.** – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation); **Tsoy O. G.** – Doctor of Medical Sciences, professor; **Tsoy S. V.** – Doctor of Technical Sciences, professor; **Khatskevich V. Kh.** – Doctor of Technical Sciences, professor (New-York, USA); **Kim Byung-Soo** - Ph.D., professor (Seoul, Republic of Korea); **Kim N. Kh.** – Candidate of Technical Sciences; **Yu V. K.** – Doctor of Chemical Sciences, professor, *Managing Editor*; **Yugay O. K.** – Candidate of Chemical Sciences, *Deputy Managing Editor*.

**Учредитель:** Научно-техническое общество «КАХАК»

Издается с 2000 г.

Выходит 4 раза в год.

Свидетельство о регистрации издания № 1561-ж от 3 ноября 2000 г.

Выдано Министерством культуры, информатики и общественного согласия Республики Казахстан

**Подписной индекс:** 74838

Подписку можно оформить в отделениях связи АО «Казпочта».

Подписка продолжается в течение года.

**Адрес редколлегии и редакции:**

050010, г. Алматы, ул. Курмангазы, 40 (Дом Дружбы), офис 34

Тел. 8(727) 272 67 74, 272 79 02, 291 60 69

e-mail: [izv.ntokahak@mail.ru](mailto:izv.ntokahak@mail.ru)

[www.ntokahak.kz](http://www.ntokahak.kz)

ISSN-1682-0533

## ОБЗОР

УДК 539.3: 550.343

### **О ВОЛНАХ СДВИГА В ОЧАГОВОЙ ЗОНЕ ПРИ ВНЕЗАПНОМ ВОЗНИКНОВЕНИИ РАЗРЫВА**

**Ким А. С.**

*АО «Национальный центр космических исследований и технологий», Алматы,  
Республика Казахстан  
e-mail: kim.as@mail.ru*

*Рассмотрена математическая модель очага землетрясения в виде разрыва с взаимодействующими берегами, поставлена и аналитически решена начальнo-краевая задача о нестационарных процессах в предварительно напряженной среде при внезапном возникновении полубесконечного разрыва с вязким контактом берегов. Получены аналитические формулы для скорости, ускорения и перемещения среды. Решение задачи обобщено на случай трансверсально-изотропной среды, когда плоскость разрыва совпадает с плоскостью изотропии.*

**Ключевые слова:** математическая модель, волны, очаг землетрясения, нестационарный процесс, аналитическое решение

*Жер сілкінісі ошағынының жағалауларымен қосылып жатқан жарылымдардың математикалық үлгісі ретінде қарастырылып, жарылымдардың қауіпті аймақтарындағы шексіз жарылымдардың пайда болуына акеп соғатын қауіпті ортадағы тұрақсыз үдерістердің бастапқы-шектік аналитикалық тапсырмалары қойылып, шешілді. Жылдамдық, үдету және ортаның жылжуы үшін аналитикалық формулалар алынды. Тапсырманың шешімі трансвералды-біртектілік яғни жарылымның жалпақтығы біртектіліктің жалпақтығымен сәйкес келген орта жағдайы үшін жалпыланған.*

**Тірек сөздер:** толқындар, математикалық үлгісі, жер сілкінісі көзі, тұрақсыз процесі, аналитикалық шешімі

*A mathematical model of the earthquake source in the form of a failure with the cooperating zones posed and solved analytically initial boundary value problem of non-stationary processes in the pre-stressed environment at the sudden occurrence of a semi-infinite gap with viscous contact shores. The analytical formulas for speed, acceleration and environment dislocation obtained. Solution of the problem is generalized to the case of a transversely isotropic environment, when the plane of fracture coincides with the plane of isotropy.*

**Keywords:** waves, mathematical model, earthquake source, non-stationary processes, analytical solution

Появление сейсмогенных вариаций в ионосфере перед сильными землетрясениями объясняется особенностями нестационарных процессов в очаговых зонах земной коры, вариациями электрического поля, возникающего на поверхности Земли в области подготовки сильного землетрясения [1-2]. Физической основой для прогнозирования землетрясений является изменение свойств породы перед землетрясением. Известно, что разрывы, дефекты в реальной среде являются одним из решающих факторов, влияющих на прочностные свойства

материалов [3-9]. Исследование различных нестационарных процессов в напряженной среде, имеет важное значение для прогнозирования прочности и устойчивости породных массивов и сооружений, возможных механизмов очага землетрясений и других явлений. В настоящее время получены теоретические и экспериментальные результаты, значительно продвинувшие решение проблемы по созданию системы прогноза землетрясений. К наиболее существенным из них относятся явления в ионосфере и геомагнитном поле, сопровождающие землетрясения и предшествующие им, которые обнаружены как наземными, так и спутниковыми исследованиями [10-23]. Обнаружены изменения в электрической и магнитной составляющих поля низкочастотных излучений, регистрируемых на борту спутника, при пересечении проекции его трассы над глубинными разломами литосферы.

Появившиеся в настоящее время новые возможности компьютерного моделирования, численно-аналитических расчетов и визуализации делают актуальными аналитические формулы, описывающие нестационарные процессы в виде, ранее представлявших сложность для применения и анализа геодинамических процессов в земной коре в периоды сейсмической активизации.

Постановка краевой задачи. В упругом изотропном предварительно напряженном пространстве с равномерно распределенным касательным напряжением  $\tau_{yz} = q$  в момент времени  $t = 0$  происходит мгновенный разрыв сплошности среды вдоль полуплоскости  $y = 0, x < 0$ , когда на линии разрыва мгновенно меняются контактные условия. Примем, что на разрыве при  $t > 0$  внезапно возникают вязкие контактные условия, когда напряжения зависят от скорости взаимной подвижки берегов разрыва [24].

В условиях продольного сдвига вектор напряжений  $\mathbf{p} = (p_x, p_y, p_z)$ , действующий при  $t > 0$  в направлении оси  $z$  на верхний берег разреза  $y = 0, x < 0$  с нормалью  $\mathbf{n} = (0, -1, 0)$ , имеет ненулевую компоненту, которую зададим в виде линейной зависимости, когда на верхний берег действует тормозящее движению напряжение

$$p_z = -\eta \frac{\partial a}{\partial t}, \quad (1)$$

$$a = w(x, +0, t) - w(x, -0, t) = [w(x, y, t)]_{y=0}, \quad (2)$$

где  $\eta$  – коэффициент вязкого контактного трения;  $a$  – величина взаимных смещений берегов разрыва;  $x, y$  – лагранжевы декартовы координаты;  $t$  – время.

Компонента  $p_z$  вектора напряжений связана с компонентами тензора напряжений по формуле  $p_z = n_x \cdot \tau_{xz} + n_y \cdot \tau_{yz} + n_z \cdot \tau_{zz}$ , где  $n_x = 0, n_y = -1, n_z = 0$ . Следовательно, при  $t > 0$  на разрыве  $y = 0, x < 0$  выполняется условие  $\tau_{yz} = \eta \frac{\partial a}{\partial t}$ , задающее условие вязкого контакта берегов. Ненулевая компонента вектора перемещений удовлетворяет волновому уравнению:

$$\rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} \quad (3)$$

Ненулевые компоненты тензора напряжений равны

$$\tau_{xz} = \mu \frac{\partial w}{\partial x}, \quad \tau_{yz} = \mu \frac{\partial w}{\partial y}, \quad (4)$$

где  $\rho$  - плотность среды,  $\mu$  – модуль сдвига.

Начальные условия в напряженной среде при  $t \leq 0$  для  $y > 0$  и  $y < 0$  имеют вид:

$$\tau_{xz} = 0, \quad \tau_{yz} = q, \quad w = \frac{qy}{\mu}, \quad \frac{\partial w}{\partial t} = 0, \quad \text{при } y > 0 \text{ и } y < 0, t \leq 0 \quad (5)$$

Условия на бесконечности имеют вид:

$$\tau_{xz} \rightarrow 0, \quad \tau_{yz} \rightarrow q, \quad \text{при } r = \sqrt{x^2 + y^2} \rightarrow \infty, \quad -\infty < t < \infty \quad (6)$$

Условия на линии  $y = 0$ .

При  $y = 0, x < 0$  на разрыве сплошности напряженной среды заданы мгновенно меняющиеся при  $t = 0$  контактные условия:

$$\left. \begin{array}{l} \tau_{yz} = q, \quad \text{при } t < 0 \\ \tau_{yz} = \eta \frac{\partial a}{\partial t}, \quad \text{при } t > 0 \\ a = 0, \quad \text{при } t = 0 \end{array} \right\}, \quad y = 0, \quad x < 0 \quad (7)$$

При  $y = 0, x \geq 0$  за пределами разрыва рассматриваемая среда сохраняет состояние сплошности и условие непрерывности перемещений

$$a = 0, \quad \text{при } x \geq 0, \quad -\infty < t < \infty \quad (8)$$

Положим, что в начале координат при  $t \leq 0$  перемещения равны нулю, а энергия упругой деформации, вызываемой напряжениями  $\tau_{xz}$  и  $\tau_{yz}$ , конечна в любом ограниченном объеме. Тогда в узловой точке  $x = 0, y = 0$  на напряжения и перемещения накладываются ограничения, связанные с конечностью энергии упругой деформации в любом ограниченном объеме, вызываемой напряжениями  $\tau_{xz}$  и  $\tau_{yz}$  [25, 26]

$$\tau_{yz}(x, 0, p) \sim x^{-\gamma_1}, \quad \text{при } x \rightarrow 0, \quad x > 0, \quad 0 < \gamma_1 < 1 \quad (9)$$

$$w(x, 0, p) \sim |x|^{\gamma_2}, \quad \text{при } x \rightarrow 0, \quad x < 0, \quad 0 < \gamma_2 < 1, \quad (10)$$

Поставленную задачу можно рассматривать как предельную для случая мгновенного разрыва вдоль полосы ширины  $L$ , когда время  $t < L/b$ , где  $b$  - скорость поперечных волн. В силу нечетности функции  $w(x, y, t)$  относительно  $y$  достаточно рассмотреть полупространство  $y > 0$ .

С помощью суперпозиции соответствующего решения  $w^0$  статической задачи и искомого решения  $w'$  динамической напряжений на бесконечности приведем к напряжениям на разрыве, а рассматриваемую задачу к следующей краевой, безразмерная форма которой имеет вид

$$\frac{\partial^2 \hat{w}'}{\partial \hat{x}^2} + \frac{\partial^2 \hat{w}'}{\partial \hat{y}^2} = \frac{\partial^2 \hat{w}'}{\partial \hat{t}^2} \quad (11)$$

$$\hat{w}' = \frac{\partial \hat{w}'}{\partial \hat{t}} = 0, \quad \hat{t} < 0, \quad (12)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \hat{w}'}{\partial \hat{y}} = 2\hat{\eta} \frac{\partial \hat{w}'}{\partial \hat{t}} - \hat{q}, \quad \hat{x} < 0 \\ \hat{w}' = 0, \quad \hat{x} \geq 0 \end{aligned} \right\}, \quad \hat{y} = 0, \quad \hat{t} > 0 \quad (13)$$

где размерные величины связаны с безразмерными следующими соотношениями

$$w = w^0 + w'; \quad w^0 = \frac{qy}{\mu}; \quad \eta = \frac{\mu\hat{\eta}}{b}; \quad t = \frac{L\hat{t}}{b}; \quad (x, y, w') = L(\hat{x}, \hat{y}, \hat{w}'); \quad q = \mu\hat{q}$$

В дальнейших выкладках индексы «штрих» и «крышечка» опущены.

Аналитическое решение краевой задачи методом Винера – Хопфа. Применив к волновому уравнению (11) преобразование Лапласа с параметром  $p$  по времени  $t$  и двустороннее преобразование Фурье [27] с параметром  $\lambda$  по координате  $x$ , учитывая начальные условия (12), получим уравнение в изображениях

$$\frac{d^2 w(\lambda, y, p)}{dy^2} - \alpha^2 w(\lambda, y, p) = 0, \quad (14)$$

где

$$\alpha = (\lambda^2 + p^2)^{1/2}; \quad \lambda = \sigma + i\tau, \quad \tau_- < \tau < \tau_+; \quad p = p_1 + ip_2, \quad p_1 > 0$$

$$w(x, y, p) = \int_0^\infty w(x, y, t) e^{-pt} dt; \quad w(\lambda, y, p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^\infty w(x, y, p) e^{i\lambda x} dx$$

Общее решение уравнения (14), при условии ограниченности функции  $w(\lambda, y, p)$  при  $y \rightarrow \infty$ , можно записать в виде

$$w(\lambda, y, p) = C(\lambda, p) e^{-\alpha y} \quad (15)$$

Граничные условия (13) в изображениях принимают вид

$$\left. \begin{aligned} \tau_{yz}(x, 0, p) = 2\eta p w(x, 0, p) - \frac{q}{p}, \quad x < 0 \\ w(x, 0, p) = 0, \quad x \geq 0 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Из (16) следует

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 \tau_{yz}(x, 0, p) e^{i\lambda x} dx = \frac{2\eta p}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} w(x, 0, p) e^{i\lambda x} dx + \frac{i}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\lambda} \frac{q}{p} \quad (17)$$

С другой стороны, из (15) следует

$$\tau_{yz}(\lambda, 0, p) = -\alpha C(\lambda, p), \quad (18)$$

Учитывая, что имеет место равенство

$$w(\lambda, 0, p) = C(\lambda, p)$$

из (18) получим

$$\tau_{yz}(\lambda, 0, p) = -\alpha w(\lambda, 0, p) \quad (19)$$

Из (17) с учетом (19) получим функциональное уравнение Винера-Хопфа [25]

$$\tau_+(\lambda, p) + K(\lambda, p)w_-(\lambda, p) = -\frac{i}{\lambda} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{q}{p}, \quad (20)$$

где

$$\tau_+(\lambda, p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} \tau_{yz}(x, 0, p) e^{i\lambda x} dx$$

$$w_-(\lambda, p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 w(x, 0, p) e^{i\lambda x} dx$$

$$K(\lambda, p) = 2\eta p + (\lambda^2 + p^2)^{1/2}$$

Уравнение (20) определено в полосе:  $\tau_- < \tau < \tau_+$ ,  $-\infty < \sigma < \infty$ . Функции  $\tau_+(\lambda, p)$  и  $w_-(\lambda, p)$  регулярны, соответственно, при  $\tau > \tau_-$  и  $\tau < \tau_+$ , где  $\tau_+ = 0$ ,  $\tau_- = -p_1$ ,  $p_1 > 0$ .

Для однозначного определения функции  $(\lambda^2 + p^2)^{1/2}$  проводится разрез плоскости  $\lambda = \sigma + i\tau$  от точки  $ip$  к бесконечности в верхней полуплоскости и от точки  $-ip$  к бесконечности в нижней полуплоскости так, чтобы оба берега разреза находились на одной прямой. Ветви  $(\lambda - ip)^{1/2}$ ,  $(\lambda + ip)^{1/2}$  выбираются таким образом, чтобы при  $\lambda = \sigma \rightarrow \infty$  функции  $(\lambda - ip)^{1/2}$ ,  $(\lambda + ip)^{1/2} \rightarrow \sigma^{1/2}$ .

При решении функционального уравнения (20) Винера-Хопфа основным шагом является факторизация ядра  $K(\lambda, p)$ , которая заключается в данном случае в представлении

$$K(\lambda, p) = K_+(\lambda, p)K_-(\lambda, p), \quad (21)$$



где искомые функции  $K_+(\lambda, p)$  и  $K_-(\lambda, p)$  регулярны и отличны от нуля, соответственно, при  $\tau > \tau_-$  и  $\tau < \tau_+$ .

Проведем факторизацию функции  $K(\lambda, p)$ . Для простоты записи введем следующие параметры

$$v = \sqrt{1 - 4\eta^2}, \quad d = \sqrt{4\eta^2 - 1}, \quad (22)$$

Запишем (21) в виде

$$\frac{d}{d\lambda} \ln K(\lambda, p) = \frac{1}{2(\lambda + ivp)} + \frac{1}{2(\lambda - ivp)} - \eta p \left[ \frac{1}{\lambda + ivp} + \frac{1}{\lambda - ivp} \right] \frac{1}{(\lambda^2 + p^2)^{1/2}} \quad (23)$$

Рассмотрим функции [25]

$$f_+(\lambda) = \pi^{-1}(\lambda^2 + p^2)^{-\frac{1}{2}} \arccos\left(\frac{\lambda}{ip}\right), \quad (24)$$

$$f_-(\lambda) = \pi^{-1}(\lambda^2 + p^2)^{-\frac{1}{2}} \arccos\left(-\frac{\lambda}{ip}\right) \quad (25)$$

где выбрана та ветвь функции арккосинус, для которой  $\arccos 0 = \frac{\pi}{2}$ .

Из определений (24) и (25) следует, что функции  $f_+(\lambda)$  и  $f_-(\lambda)$  регулярны при  $\tau > -p_1$  и  $\tau < p_1$ , соответственно.

Воспользовавшись тем, что имеет место равенство

$$f_+(\lambda) + f_-(\lambda) = (\lambda^2 + p^2)^{-1/2},$$

представим слагаемое в правой части (23) в виде

$$(\lambda^2 + p^2)^{-\frac{1}{2}}(\lambda - ivp)^{-1} = E_+(\lambda, p) + E_-(\lambda, p) \quad (26)$$

$$(\lambda^2 + p^2)^{-\frac{1}{2}}(\lambda + ivp)^{-1} = F_+(\lambda, p) + F_-(\lambda, p) \quad (27)$$

где функции  $E_+(\lambda, p) + E_-(\lambda, p)$ ,  $F_+(\lambda, p) + F_-(\lambda, p)$  определены соотношениями:

$$E_+(\lambda, p) = \frac{1}{\lambda - ivp} [f_+(\lambda) - f_+(ivp)]$$

$$E_-(\lambda, p) = \frac{1}{\lambda - ivp} [f_-(\lambda) + f_+(ivp)]$$

$$F_+(\lambda, p) = \frac{1}{\lambda + ivp} [f_+(\lambda) + f_-(ivp)]$$

$$F_-(\lambda, p) = \frac{1}{\lambda + ivp} [f_-(\lambda) - f_-(-ivp)]$$

Как видно из определений, функции  $E_+(\lambda, p)$  и  $F_+(\lambda, p)$  регулярны в полуплоскости  $\text{Im } \lambda > -p_1$ , а функции  $E_-(\lambda, p)$  и  $F_-(\lambda, p)$  регулярны в полуплоскости  $\text{Im } \lambda < p_1$ .

Учитывая, что из (22), (24) и (25) следует

$$f_+(ivp) + f_-(ivp) = f_+(-ivp) + f_-(-ivp) = \frac{1}{2\eta p}$$

из соотношений (23), (26) и (27) получим равенство

$$\frac{d}{d\lambda} \ln K(\lambda, p) = G_+(\lambda, p) + G_-(\lambda, p) \quad (28)$$

где функции  $G_+(\lambda, p)$  и  $G_-(\lambda, p)$  равны

$$G_+(\lambda, p) = -\eta p \left[ \frac{f_+(\lambda) - f_+(ivp)}{\lambda - ivp} + \frac{f_+(\lambda) - f_+(-ivp)}{\lambda + ivp} \right], \quad (29)$$

$$G_-(\lambda, p) = -\eta p \left[ \frac{f_-(\lambda) - f_-(ivp)}{\lambda - ivp} + \frac{f_-(\lambda) - f_-(-ivp)}{\lambda + ivp} \right] \quad (30)$$

Из (29) и (30) следует, что функции  $G_+(\lambda, p)$  и  $G_-(\lambda, p)$  регулярны при  $\tau > -p_1$  и  $\tau < p_1$ , соответственно. Из (21) и (28) получим искомые функции  $K_+(\lambda, p)$  и  $K_-(\lambda, p)$ , необходимые для факторизации ядра  $K(\lambda, p)$ :

$$K_+(\lambda, p) = K_+(0)e^{g_+(\lambda, p)}, \quad K_-(\lambda, p) = K_-(0)e^{g_-(\lambda, p)}, \quad (31)$$

где

$$g_+(\lambda, p) = \int_0^\lambda G_+(\lambda, p) d\lambda, \quad g_-(\lambda, p) = \int_0^\lambda G_-(\lambda, p) d\lambda$$

Для определенности положим

$$K_+(0) = p(1 + 2\eta), \quad K_-(0) = 1 \quad (32)$$

Функции  $K_+(\lambda, p)$  и  $K_-(\lambda, p)$ , как следует из их построения, регулярны и отличны от нуля, соответственно, при  $\tau > -p_1$  и  $\tau < p_1$ , то есть факторизация (21) ядра  $K(\lambda, p)$  осуществлена.

В случае  $\frac{1}{2} < \eta < \infty$  удобно в соотношениях (29) и (30) сделать замену параметра  $v$  по формуле

$$v = -id,$$

а функции  $f_+(\lambda)$  и  $f_-(\lambda)$ , определенные (24) и (25), заменить эквивалентной, более удобной записью

$$f_+(\lambda) = i\pi^{-1}(\lambda^2 + p^2)^{-\frac{1}{2}} \ln \frac{\lambda + (\lambda^2 + p^2)^{\frac{1}{2}}}{ip}, \quad (33)$$

$$f_-(\lambda) = i\pi^{-1}(\lambda^2 + p^2)^{-\frac{1}{2}} \ln \frac{-\lambda + (\lambda^2 + p^2)^{\frac{1}{2}}}{ip}, \quad (34)$$

где выбрана та ветвь логарифма, для которой  $\ln 1 = 0$ .

Перейдем к определению решения функционального уравнения (20). Перепишем (20) в виде

$$\tau_+(\lambda, p)K_+^{-1}(\lambda, p) + K_-(\lambda, p)w_-(\lambda, p) = -\frac{i}{\lambda} \frac{1}{\sqrt{2\pi p}} q K_+^{-1}(\lambda, p) \quad (35)$$

Чтобы факторизовать правую часть уравнения (35), введем функции

$$\kappa_+(\lambda, p) = \frac{1}{\lambda} [K_+^{-1}(\lambda, p) - K_+^{-1}(0)], \quad (36)$$

$$\kappa_-(\lambda, p) = \frac{1}{\lambda} K_+^{-1}(0) \quad (37)$$

Функции  $\kappa_+(\lambda, p)$  и  $\kappa_-(\lambda, p)$ , как это следует из (36) и (37), регулярны при  $\tau > \tau_-$  и  $\tau < \tau_+$ , соответственно. На основании соотношений (35) – (37) введем функцию, регулярную в плоскости  $\lambda = \sigma + i\tau$

$$I(\lambda) = \begin{cases} \tau_+(\lambda, p)K_+^{-1} + \frac{i}{\sqrt{2\pi p}} q \kappa_+(\lambda, p), & \tau > \tau_- \\ -K_-(\lambda, p)w_-(\lambda, p) - \frac{i}{\sqrt{2\pi p}} q \kappa_-(\lambda, p), & \tau < \tau_+ \end{cases} \quad (38)$$

Используя асимптотику в вершине разрыва (9)-(10), учитывая связь асимптотики функции с асимптотикой ее изображения [27], получим оценки

$$\tau_+(\lambda, p) \sim \lambda^{-1+\gamma_1}, \quad \text{при } \lambda \rightarrow \infty, \quad \tau > \tau_- \quad (39)$$

$$w_-(\lambda, p) \sim \lambda^{-1-\gamma_2}, \quad \text{при } \lambda \rightarrow \infty, \quad \tau > \tau_+ \quad (40)$$

Из (24), (25), (37) и (38) следует что

$$f_+(\lambda) \sim \lambda^{-\frac{1}{2}} \ln \lambda, \quad \text{при } \lambda \rightarrow \infty, \quad \tau > \tau_- \quad (41)$$

$$f_-(\lambda) \sim \lambda^{-\frac{1}{2}} \ln \lambda, \quad \text{при } \lambda \rightarrow \infty, \quad \tau < \tau_+ \quad (42)$$

Чтобы оценить  $K_+(\lambda, p)$  и  $K_-(\lambda, p)$ , введем функции

$$G_1(\lambda, p) = G_+(\lambda, p) - \frac{1}{2\lambda}$$

$$G_2(\lambda, p) = G_-(\lambda, p) - \frac{1}{2\lambda}$$

Учитывая, что имеет место оценки

$$|G_1(\lambda, p)| < c_1 |\lambda|^{-3/2}, \quad \text{при } \lambda \rightarrow \infty, \tau > \tau_-, \quad (43)$$

$$|G_2(\lambda, p)| < c_2 |\lambda|^{-3/2}, \quad \text{при } \lambda \rightarrow \infty, \tau < \tau_+, \quad (44)$$

Из сходимости соответствующих интегралов следует

$$\int_{\lambda}^{\infty} G_1(\lambda, p) d\lambda \rightarrow 0, \quad \text{при } \lambda \rightarrow \infty, \quad \tau > \tau_-,$$

$$\int_{\lambda}^{\infty} G_2(\lambda, p) d\lambda \rightarrow 0, \quad \text{при } \lambda \rightarrow \infty, \quad \tau < \tau_+$$

Поэтому имеет место асимптотика

$$\int_0^{\lambda} G_+(\lambda, p) d\lambda \rightarrow \int_0^1 G_+(\lambda, p) d\lambda + \frac{1}{2} \ln \lambda + \int_1^{\infty} G_1(\lambda, p) d\lambda, \quad \lambda \rightarrow \infty, \tau > \tau_-$$

$$\int_0^{\lambda} G_-(\lambda, p) d\lambda \rightarrow \int_0^1 G_-(\lambda, p) d\lambda + \frac{1}{2} \ln \lambda + \int_1^{\infty} G_2(\lambda, p) d\lambda, \quad \lambda \rightarrow \infty, \tau < \tau_+$$

Откуда оценка для  $K_+(\lambda, p)$  и  $K_-(\lambda, p)$  имеет вид

$$K_+(\lambda, p) \sim \lambda^{1/2}, \quad \lambda \rightarrow \infty, \tau > \tau_-, \quad (45)$$

$$K_-(\lambda, p) \sim \lambda^{1/2}, \quad \lambda \rightarrow \infty, \tau < \tau_+ \quad (46)$$

Учитывая соотношения (38)-(40) и асимптотику (43)-(46), получим для функции  $I(\lambda)$  следующую оценку

$$I(\lambda) \sim \lambda^{-\gamma}, \quad \text{при } \lambda \rightarrow \infty$$

где  $\gamma > 1/2$ .

Тогда по теореме Лиувилля [25] функция  $I(\lambda)$ , определенная формулой (42), регулярная на всей плоскости  $\lambda=\sigma+i\tau$ , тождественно равна нулю:

$$I(\lambda) \equiv 0 \quad (47)$$

Из (38) и (47) получим решение функционального уравнения (20)

$$w_-(\lambda, p) = -\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{q}{1+2\eta} \frac{i}{\lambda} \frac{1}{p^2} e^{-g_-(\lambda, p)} \quad (48)$$

Учитывая, что

$$w_-(\lambda, p) = C(\lambda, p),$$

из (15) получим окончательный вид решения краевой задачи в изображениях

$$w(\lambda, y, p) = -\frac{i}{\sqrt{2\pi}} \frac{q}{1+2\eta} \frac{1}{p^2} \frac{1}{\lambda} e^{-g_-(\lambda, p) - \alpha y} \quad (49)$$

При нахождении обратного преобразования удобно строить оригинал изображения, полученного из (49), умножением на  $p^2$ . Это означает, что будет построена вторая производная от искомой функции  $w(x, y, t)$  по времени  $t$ . Для второй производной от функции перемещения по времени можно записать

$$\frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial t^2} = -\frac{1}{4\pi^2} \frac{q}{1+2\eta} \int_{p_1-i\infty}^{p_1+i\infty} e^{pt} dp \int_{i\tau_1-\infty}^{i\tau_1+\infty} \frac{1}{\lambda} e^{-g_-(\lambda, p) - \alpha y - i\lambda x} d\lambda \quad (50)$$

Запишем (50) в виде, удобном для перехода к контурному интегралу

$$\frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial t^2} = Q_a(x, y, t) + Q_b(x, y, t) \quad (51)$$

где

$$Q_a(x, y, t) = -\frac{q}{4\pi^2(1+2\eta)} \int_{p_1-i\infty}^{p_1} e^{pt} dp \int_{i\tau_1-\infty}^{i\tau_1+\infty} \frac{1}{\lambda} e^{-g_-(\lambda, p) - \alpha y - i\lambda x} d\lambda \quad (52)$$

$$Q_b(x, y, t) = -\frac{q}{4\pi^2(1+2\eta)} \int_{p_1}^{p_1+i\infty} e^{pt} dp \int_{i\tau_1-\infty}^{i\tau_1+\infty} \frac{1}{\lambda} e^{-g_-(\lambda, p) - \alpha y - i\lambda x} d\lambda \quad (53)$$

Первоначально рассмотрим случай  $0 < \theta < \pi/2$ . В интеграле (52) путь интегрирования по прямой  $A_1A_4$  продеформируем [25] в кривую  $A_1A_2A_3A_4$  (рисунок 1) в плоскости  $\lambda = \sigma + i\tau$ .

$A_1A_2$  и  $A_3A_4$  дуги радиуса  $R$ ,  $A_2A_3$  – ветвь гиперболы  $\lambda = -ip \cos(\theta + i\zeta_2)$ , вычерчиваемая в плоскости  $\lambda$  при изменении параметра  $\zeta_2$ ,  $\theta$  – полярный угол.

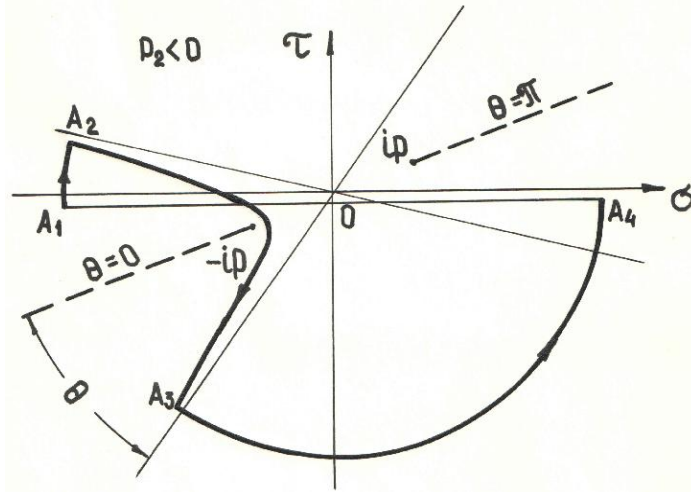


Рисунок 1 – Плоскость  $\lambda = \sigma + i\tau$ .  $A_1A_2A_3A_4$  – контур интегрирования при  $p_2 < 0$ ,  $0 < \theta < \pi/2$ . Пунктиром обозначены разрезы;  $ip$ ,  $-ip$  – точки разветвления

Аналогично в интеграле (53) перейдем к интегрированию по кривой  $B_1B_2B_3B_4$  (рисунок 2).

Введем полярные координаты  $x = r \cos \theta$ ,  $y = r \sin \theta$ . Заменой переменной  $\lambda = -ip \cos \zeta$  перейдем от интегрирования в плоскости  $\lambda = \sigma + i\tau$  к плоскости  $\zeta = \zeta_1 + i\zeta_2$ . Контур интегрирования  $A_1A_2A_3A_4$  и  $B_1B_2B_3B_4$  перейдут, соответственно, в контуры  $A'_1A'_2A'_3A'_4$  и  $B'_1B'_1B'_1B'_1$  в плоскости  $\zeta$  (рисунок 3, рисунок 4).

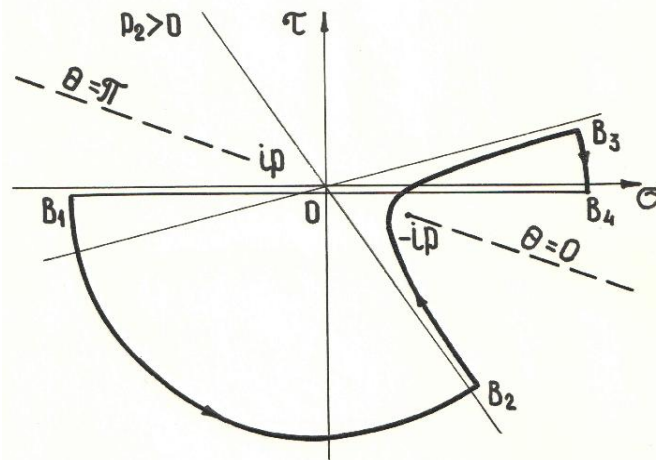


Рисунок 2 – Плоскость  $\lambda = \sigma + i\tau$ .  $B_1B_2B_3B_4$  – контур интегрирования при  $p_2 > 0$ ,  $0 < \theta < \pi/2$ . Пунктиром обозначены разрезы;  $ip$ ,  $-ip$  – точки разветвления

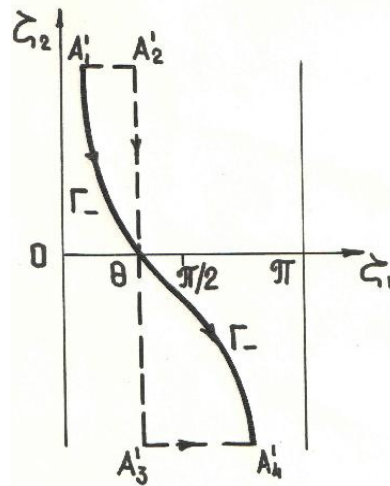


Рисунок 3 – Плоскость  $\zeta = \zeta_1 + i\zeta_2$ .  $\Gamma_-$  - контур интегрирования при  $p_2 < 0$ ,  $0 < \theta < \pi/2$ .  $A_1'A_2'A_3'A_4'$  - образ контура  $A_1A_2A_3A_4$

В этом случае выражения (52) и (53) примут вид

$$Q_a(r, \theta, t) = \frac{q}{4\pi^2(1 + 2\eta)} \int_{p_1 - i\infty}^{p_1} e^{pt} dp \int_{\Gamma_-} tg\zeta e^{-g(\zeta) - pr \cos(\zeta - \theta)} d\zeta, \quad (54)$$

$$Q_b(r, \theta, t) = -\frac{q}{4\pi^2(1 + 2\eta)} \int_{p_1}^{p_1 + i\infty} e^{pt} dp \int_{\Gamma_+} tg\zeta e^{-g(\zeta) - pr \cos(\zeta - \theta)} d\zeta \quad (55)$$

где  $g(\zeta) = g_-(\lambda, p)$ , при  $\lambda = -ip \cos \zeta$

Устремляя радиусы дуг  $A_1A_2$ ,  $A_3A_4$ ,  $B_1B_2$ ,  $B_3B_4$  к бесконечности и деформируя  $A_1'A_2'A_3'A_4'$  и  $B_1'B_2'B_3'B_4'$  в  $\Gamma_-$  и  $\Gamma_+$ , соответственно, так, чтобы  $Re[p \cos(\zeta - \theta)] > 0$ , перейдем в интегралах (52) и (1.46) к интегрированию по контурам  $\Gamma_-$  и  $\Gamma_+$  (рисунок 3 и рисунок 4),

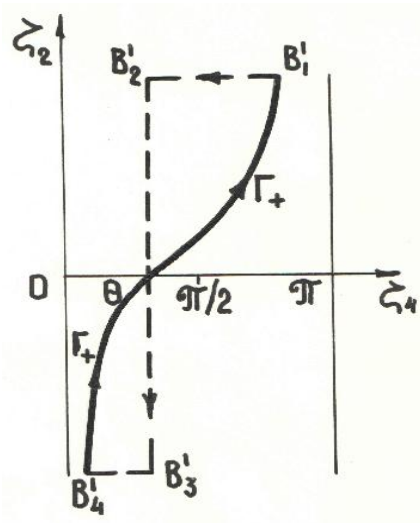


Рисунок 4 – Плоскость  $\zeta = \zeta_1 + i\zeta_2$ .  $\Gamma_+$  - контур интегрирования при  $p_2 > 0$ ,  $0 < \theta < \pi/2$ ,  $B_1'B_2'B_3'B_4'$  - образ контура  $B_1B_2B_3B_4$

Проинтегрировав (1.47) и (55) по  $p$  и учитывая, что вклад в интегралы по бесконечным дугам равен нулю [25], перейдем далее к интегрированию по замкнутому контуру  $\Gamma$  плоскости  $\zeta$ , соединив  $\Gamma_+$  и  $\Gamma_-$  на бесконечности (рисунок 5).

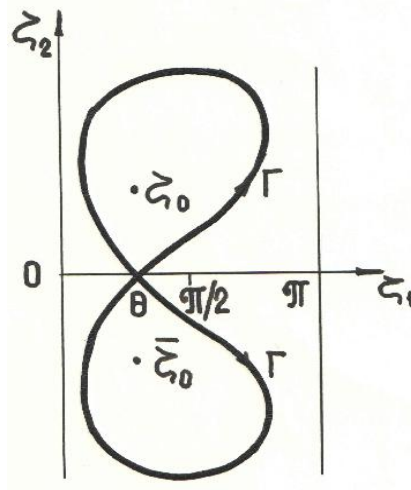


Рисунок 5 – Плоскость  $\zeta = \zeta_1 + i\zeta_2$ .  $\Gamma$  - замкнутый контур интегрирования при  $0 < \theta < \pi/2$ . Точки  $\zeta_0$  и  $\bar{\zeta}_0$  – полюса первого порядка

В результате получим

$$\frac{\partial^2 w(r, \theta, t)}{\partial t^2} = \frac{q}{4\pi^2(1+2\eta)} \int_{\Gamma} \frac{\operatorname{tg} \zeta e^{-g(\zeta) - p_1[t-r \cos(\zeta-\theta)]}}{t-r \cos(\zeta-\theta)} d\zeta \quad (56)$$

По теореме о вычетах из (56) при  $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$  получим

$$\frac{\partial^2 w(r, \theta, t)}{\partial t^2} = \frac{1}{\pi} \frac{q}{1+2\eta} \frac{H(t-r)}{\sqrt{t^2-r^2}} \operatorname{Re} \{ \operatorname{tg} \zeta_0 e^{-g(\zeta_0)} \}, \quad (57)$$

$$g(\zeta_0) = \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\zeta_0} \frac{1}{v + \cos \zeta} \left[ \eta \zeta - \frac{1}{2} \operatorname{arccos}(-v) \sin \zeta \right] d\zeta - \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\zeta_0} \frac{1}{v - \cos \zeta} \left[ \eta \zeta - \frac{1}{2} \operatorname{arccos} v \sin \zeta \right] d\zeta, \quad (58)$$

$$\zeta_0 = \theta + i\xi_0, \quad \xi_0 = \ln \frac{t + \sqrt{t^2 - r^2}}{r}$$



$$0 < r < \infty, 0 < t < \infty, 0 < \eta < \infty, 0 < \theta < \frac{\pi}{2},$$

$H(\xi)$ -функция Хевисайда от аргумента  $\xi$ .

Пусть  $\pi/2 < \theta < \pi$ . Аналогично перейдем в интегралах (52) и (53) к интегрированию по кривым  $C_1C_2C_3C_4C_5C_6C_7$  (рисунок 6) и  $D_1D_2D_3D_4D_5D_6D_7$  (рисунок 7).

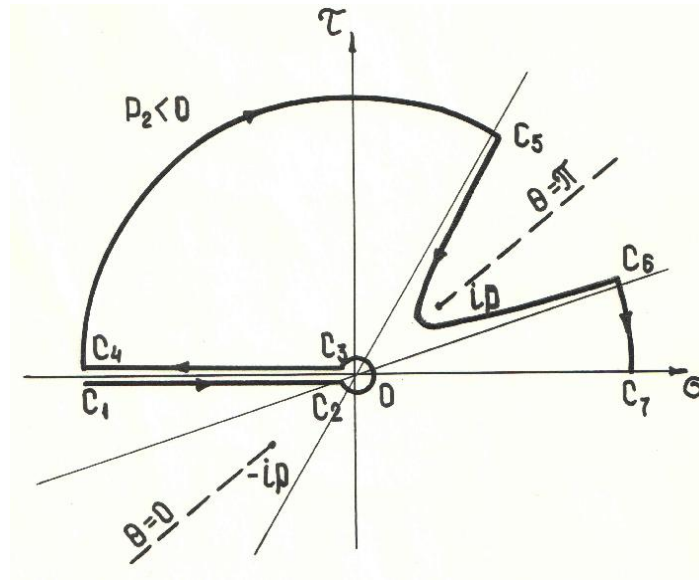


Рисунок 6 – Плоскость  $\lambda$ .  $C_1C_2C_3C_4C_5C_6C_7$  - контур интегрирования при  $p_2 < 0$ ,  $\pi/2 < \theta < \pi$ . Точка  $O$ - полюс первого порядка

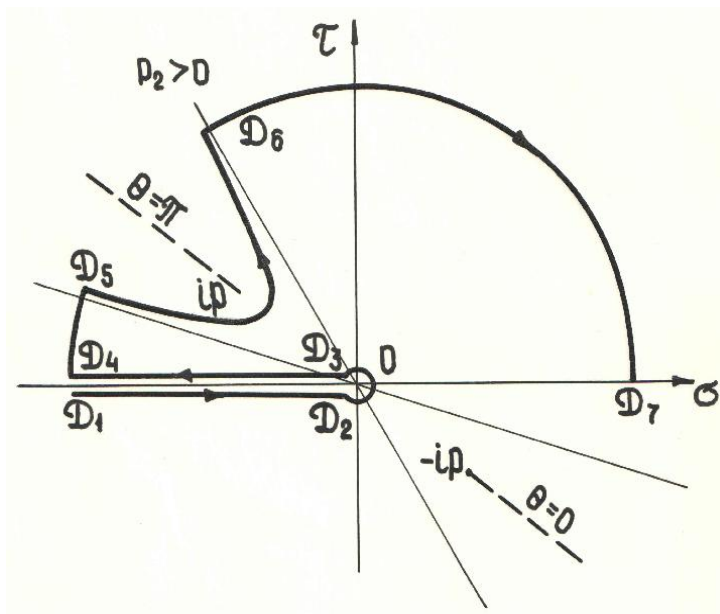


Рисунок 7 – Плоскость  $\lambda$ .  $D_1D_2D_3D_4D_5D_6D_7$  - контур интегрирования при  $p_2 > 0$ ,  $\pi/2 < \theta < \pi$ . Точка  $O$  - полюс первого порядка

Интегралы по дугам радиуса  $R$  стремятся к нулю при  $R \rightarrow \infty$ , интегралы по  $C_1C_2$  и  $C_3C_4$ ,  $D_1D_2$  и  $D_3D_4$  взаимно сокращаются. Подсчитаем вклад полюса в интеграл (50). Из (50) следует, что вычет в точке  $\lambda = 0$  равен

$$\text{Res} \left[ \frac{1}{\lambda} e^{-g-(\lambda,p)-\alpha y - i\lambda x} \right] = e^{-py}$$

Тогда из (50) следует, что полюс в точке  $\lambda = 0$  дает вклад во вторую производную от перемещения, равный

$$\frac{\partial^2 w_0}{\partial t^2} = \frac{1}{2\pi i} \cdot \frac{q}{1+2\eta} H\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) \int_{p_1-i\infty}^{p_1+i\infty} e^{p(t-y)} dp$$

или

$$\frac{\partial^2 w_0}{\partial t^2} = \frac{q}{1+2\eta} \delta(t - r \sin \theta) H\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) \quad (59)$$

где  $\delta(\xi)$  – дельта-функция Дирака от аргумента  $\xi$ .

Сделав замену переменной интегрирования  $\lambda = -ip \cos \zeta$ , перейдем к интегрированию в плоскости  $\zeta$  (рисунок 8 и рисунок 9) по контурам  $L_+$  и  $L_-$ .

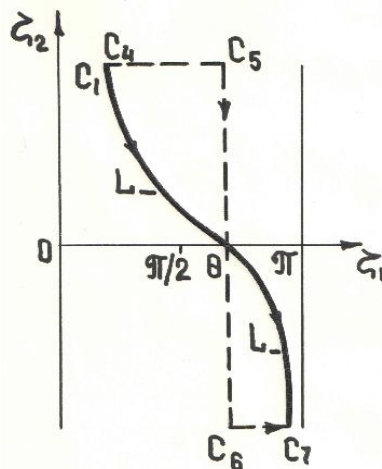


Рисунок 8 – Плоскость  $\zeta$ .  $L_-$  – деформированный контур интегрирования  $C_4C_5C_6C_7$  при  $p_2 < 0$ ,  $\pi/2 < \theta < \pi$

$$Q_a(r, \theta, t) = \frac{q}{4\pi^2(1+2\eta)} \int_{p_1-i\infty}^{p_1} e^{pt} dp \int_{L_-} tg \zeta e^{-g(\zeta) - pr \cos(\zeta-\theta)} d\zeta \quad (60)$$

$$Q_b(r, \theta, t) = \frac{q}{4\pi^2(1+2\eta)} \int_{p_1}^{p_1+i\infty} e^{pt} dp \int_{L_+} tg \zeta e^{-g(\zeta) - pr \cos(\zeta-\theta)} d\zeta \quad (61)$$

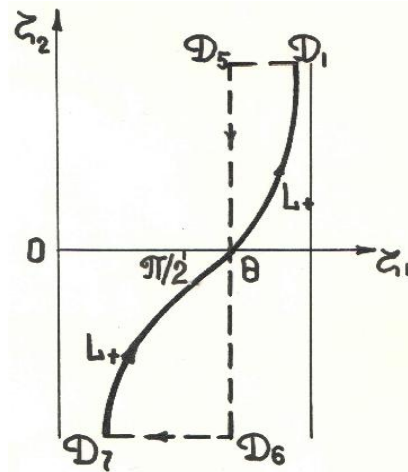


Рисунок 9 – Плоскость  $\zeta$ .  $L_+$  - деформированный контур интегрирования  $D_1D_5D_6D_7$  при  $p_2 > 0$ ,  $\pi/2 < \theta < \pi$

Далее, перейдем к интегрированию по замкнутому контуру  $L$  (рисунок 10).

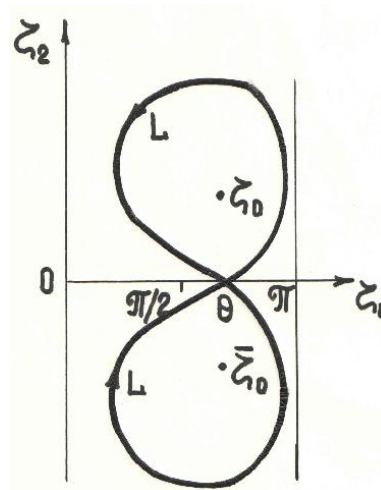


Рисунок 10 – Плоскость  $\zeta$ .  $L$  - замкнутый контур интегрирования при  $\pi/2 < \theta < \pi$ . Точки  $\zeta_0$  и  $\bar{\zeta}_0$  - полюса первого порядка

Используя теорему о вычетах и вклад (59) при обходе полюса в точке  $\lambda = 0$ , получим

$$\frac{\partial^2 w(r, \theta, t)}{\partial t^2} = \frac{1}{\pi} \frac{q}{1 + 2\eta} \frac{H(t-r)}{\sqrt{t^2 - r^2}} \operatorname{Re}\{tg\zeta_0 e^{-g(\zeta_0)}\} + \frac{q}{1 + 2\eta} \delta\left(t - r \sin \theta\right) H\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) \quad (62)$$

Формула (62) представляет собой аналитическое решение краевой задачи при  $0 < r < \infty$ ,  $0 < \theta < \pi$ ,  $0 < t < \infty$ ,  $0 < \eta < \infty$ .

При  $\eta > 1/2$  удобнее пользоваться следующей эквивалентной формой записи функции  $g(\zeta_0)$

$$g(\zeta_0) = \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\zeta_0} \frac{1}{id + \cos \zeta} \left[ \eta \zeta - \frac{\pi}{4} \sin \zeta - \frac{i}{2} \sin \zeta \ln(d + 2\eta) \right] d\zeta +$$

$$+ \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\zeta_0} \frac{1}{-id + \cos \zeta} \left[ \eta \zeta - \frac{\pi}{4} \sin \zeta + \frac{i}{2} \sin \zeta \ln(d + 2\eta) \right] d\zeta \quad (63)$$

Второе слагаемое в формуле (62) получено математически как вклад в интеграл (50) при обходе полюса в точке  $\lambda = 0$ . Физически  $\frac{\partial^2 w_0}{\partial t^2}$  представляет собой вклад плоской волны

$$w_0 = \frac{q}{1 + 2\eta} (t - y)H(t - y)H(-x), \quad (64)$$

которая отходит от разрыва в момент его возникновения.

Обобщение аналитического решения на случай трансверсально-изотропной среды. Аналитическое решение (62) содержит всю информацию о движении линейно-упругой однородной изотропной среды при разрыве вдоль полуплоскости в условиях антиплоской деформации. Формула (62) допускает обобщение на случай трансверсально-изотропной среды, когда плоскость разрыва совпадает с плоскостью изотропии.

Пусть краевая задача для трансверсально-изотропной среды (с плоскостью изотропии  $y = 0$ ) имеет вид

$$\rho \frac{\partial^2 w_p}{\partial t_p^2} = \mu_1 \frac{\partial^2 w_p}{\partial x_p^2} + \mu_2 \frac{\partial^2 w_p}{\partial y_p^2},$$

$$w_p = \frac{\partial w_p}{\partial t_p} = 0, t_p \leq 0,$$

$$\left. \begin{aligned} \tau_{yz}^p &= \eta_p \frac{\partial a_p}{\partial t_p} - q_p, & x_p < 0 \\ a_p &= 0, & x_p \geq 0 \end{aligned} \right\}, \quad y_p = 0, t_p > 0$$

$$\tau_{xz}^p = \mu_1 \frac{\partial w_p}{\partial x_p}, \tau_{yz}^p = \mu_2 \frac{\partial w_p}{\partial y_p},$$

$$\alpha_p(x_p, t_p) = w_p(x_p, +0, t_p) - w_p(x_p, -0, t_p)$$

Здесь индекс « $p$ » приписан размерным величинам,  $\mu_1, \mu_2$  – модули сдвига, соответственно, для плоскостей нормальных и параллельных плоскости изотропии.

Введя безразмерные величины по формулам

$$x_p = Lx, \quad y_p = L \frac{b_2}{b_1} y, \quad t_p = \frac{L}{b_1} t, \quad w_p = Lw + qLr \sin \theta,$$

$$q_p = \mu_2 q, \quad \eta_p = \frac{\mu_2 \eta}{b_1}, \quad \tau_{xz}^p = \mu_1 \tau_{xz}, \quad \tau_{yz}^p = \sqrt{\mu_1 \mu_2} \cdot \tau_{yz},$$

$$b_1 = \sqrt{\frac{\mu_1}{\rho}}, \quad b_2 = \sqrt{\frac{\mu_2}{\rho}}, \quad \tau_{xz} = \frac{\partial w}{\partial x}, \quad \tau_{yz} = \frac{\partial w}{\partial y},$$

приведем задачу для трансверсально-изотропной среды к краевой задаче (11)-(13), решение которой дано формулой (62). Из преобразования координат к безразмерной форме следует, что фронт цилиндрической волны (57), исходящий от конца разрыва и имеющий для изотропного случая форму окружности, переходит в эллипс для трансверсально - изотропной среды.

Движение среды при свободных от напряжений берегах разрыва. Рассмотрим частный случай исследуемой задачи, когда пренебрегается взаимодействием берегов разрыва  $\eta = 0$ . Из (58) получим

$$g(\zeta_0) = \frac{1}{2} \ln(1 + \cos \zeta_0),$$

откуда с учетом (62)

$$\frac{\partial^2 w(r, \theta, t)}{\partial t^2} = \frac{q H(t-r)}{\pi \sqrt{t^2 - r^2}} \operatorname{Re} \left\{ t g \zeta_0 (1 + \cos \zeta_0)^{-\frac{1}{2}} \right\} + q \delta(t - r \sin \theta) H\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right)$$

или

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \frac{q}{\pi} \cdot \frac{H(t-r)}{\sqrt{t^2 - r^2}} \cdot \frac{1}{\cos 2\theta + ch 2\xi_0} \cdot \frac{1}{\cos \theta + ch \xi_0} [ \sin 2\theta \cos \frac{\theta}{2} \sqrt{ch \xi_0 + 1} - \\ - sh 2\xi_0 \sin \frac{\theta}{2} \sqrt{ch \xi_0 - 1} ] + q \delta(t - r \sin \theta) H\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned} \quad (65)$$

Знак величины ускорения зависит лишь от знака выражения в квадратной скобке (65), поэтому нетрудно сделать вывод о том, что зона возмущений состоит из трех областей: области нулевых ускорений  $D_0$ , положительных  $D_+$  и отрицательных  $D_-$  (рисунок 11).

$$D_0 = \left\{ r, \theta: t < r < \frac{t}{\sin \theta}, \pi/2 < \theta < \pi \right\},$$

$$D_+ = \left\{ r, \theta: \frac{t}{1 + \cos \theta} < r < t, 0 < \theta < \pi/2 \right\},$$

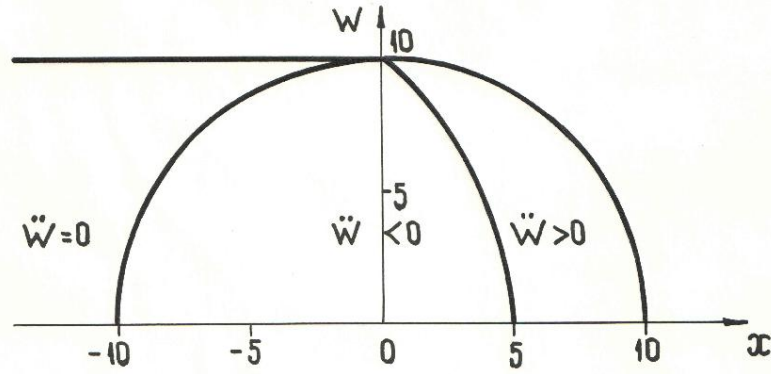


Рисунок 11 – Плоскость XOY. Возмущенная зона среды разграничена жирными линиями на области нулевых ( $\ddot{w} = 0$ ), положительных ( $\ddot{w} > 0$ ) и отрицательных ( $\ddot{w} < 0$ ) ускорений

$$D_- = \left\{ r, \theta: 0 < r < \frac{t}{1 + \cos\theta}, \text{ при } 0 < \theta < \frac{\pi}{2}; 0 < r < t \text{ при } \pi/2 < \theta < \pi \right\}$$

Интегрируя формулу (65) по  $t$  от 0 до  $t$  и учитывая нулевые начальные условия (12), получим скорость перемещений

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{q}{\pi} \left[ M(\theta) I_1 - \sin \frac{\theta}{2} I_2 + \sin \frac{\theta}{2} I_3 \right] H(t - r) + q H(t - r \sin \theta) H \left( \theta - \frac{\pi}{2} \right) \quad (66)$$

Через  $I_1, I_2, I_3$  обозначены выражения

$$I_1 = \frac{a_1}{c_1} \operatorname{arctg} \frac{\gamma}{c_1} + \frac{a_2}{c_2} \operatorname{arctg} \frac{\gamma}{c_2} + \frac{a_3}{c_3} \operatorname{arctg} \frac{\gamma}{c_3},$$

$$I_2 = \frac{2}{c_3} \operatorname{arctg} \frac{\gamma}{c_3},$$

$$I_3 = \frac{1}{\sin \theta} \left[ \frac{1}{c_2} \operatorname{arctg} \frac{\gamma}{c_2} - \frac{1}{c_1} \operatorname{arctg} \frac{\gamma}{c_1} \right]$$

Здесь введены следующие параметры

$$a_1 = -\frac{\sin \theta + \cos \theta}{\sin \theta \cos 2\theta}, \quad a_2 = \frac{\cos \theta - \sin \theta}{\sin \theta \cos 2\theta}, \quad a_3 = \frac{2}{\cos \theta}$$

$$c_1 = \sqrt{1 + \sin \theta} \quad c_2 = \sqrt{1 - \sin \theta} \quad c_3 = \sqrt{1 + \cos \theta} \quad \gamma = \sqrt{\frac{t-r}{r}}$$

$$M(\theta) = \sin \theta \cos \theta \cos \frac{\theta}{2} - \sin \theta \sin \frac{\theta}{2} - \cos \theta \sin \frac{\theta}{2}$$

Из формулы для скорости перемещений (66) интегрированием по  $t$  от 0 до  $t$  с учетом нулевых начальных условий (12), получим формулу для перемещений среды

$$w = \frac{qr}{\pi} [M(\theta)a_i \left( \frac{\gamma^2}{c_i} + c_i \right) \operatorname{arctg} \frac{\gamma}{c_i} + \frac{1}{2\cos \frac{\theta}{2}} \sum_{i=1}^2 (-1)^i \left( \frac{\gamma^2}{c_i} + c_i \right) \operatorname{arctg} \frac{\gamma}{c_i} \operatorname{arctg} \frac{\gamma}{c_i} - 2\sin \frac{\theta}{2} \left( \frac{\gamma^2}{c_3} \operatorname{arctg} \frac{\gamma}{c_3} - \gamma + c_3 \operatorname{arctg} \frac{\gamma}{c_3} \right)] H(t-r) + q(t-r\sin\theta)H(t-r\sin\theta)H\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) \quad (67)$$

Из формулы (67) при  $r \rightarrow 0$  получим асимптотическую формулу

$$w(r, \theta, t) \simeq \frac{4q}{\pi} \sqrt{t} \cdot r^{1/2} \sin \frac{\theta}{2} \quad (68)$$

Из (67), дифференцируя по  $r$  и устремляя  $r$  к нулю, получим асимптотику напряжений на конце разрыва

$$\tau_{rz} = \frac{K(t)}{(2\pi r)^{1/2}} \sin \frac{\theta}{2}, \tau_{\theta z} = \frac{K(t)}{(2\pi r)^{1/2}} \cos \frac{\theta}{2}, \quad (69)$$

где коэффициент интенсивности напряжений, равный

$$K(t) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} q\sqrt{t} \quad (70)$$

стыкуется с соответствующим результатом Б.В. Кострова [24] и П.А. Мартынюка [28].

При  $\gamma \rightarrow 0$  из формулы (67) при  $\theta \neq \frac{\pi}{2}$  получим асимптотику перемещений на фронте цилиндрической волны

$$w \simeq \frac{4q}{3\pi} \cdot \frac{\sin \frac{\theta}{2}}{\cos \theta} \cdot \frac{(t-r)^{\frac{3}{2}}}{r^{\frac{1}{2}}} H(t-r) + q(t-r\sin\theta)H(t-r\sin\theta)H\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) \quad (71)$$

Полученная асимптотика (71) согласуется с результатами, приведенными в работе Л.М. Флитмана [29].

Рассмотрим теперь движение берегов разрыва. Из (65) . следует

$$\frac{dw(r, \pi, t)}{dt} = -\frac{q}{\pi} \int_0^t \frac{\sqrt{r}H(t-r)}{t\sqrt{t-r}} dt + q,$$

откуда скорость движения берегов разрыва принимает вид

$$\frac{dw(r, \pi, t)}{dt} = -\frac{2q}{\pi} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{t-r}{r}} \cdot H(t-r) + q \quad (72)$$

Интегрируя последнюю формулу по  $t$  и учитывая нулевые начальные условия, получим перемещения берегов разрыва

$$w(r, \pi, t) = \left[ \frac{2qr}{\pi} \sqrt{\frac{t-r}{r}} - \frac{2qt}{\pi} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{t-r}{r}} \right] H(t-r) + qt \quad (73)$$

Формулы (72) и (73) можно получить из (66) и (67) предельным переходом при  $\theta \rightarrow \pi$ . Покажем, что скорость движения среды непрерывна по  $\theta$  при  $\theta = \frac{\pi}{2}$ . Действительно, так как

$$\lim_{\theta \rightarrow \frac{\pi}{2}+0} [M(\theta)I_1 - \sin \frac{\theta}{2} I_2 + \sin \frac{\theta}{2} I_3] = \frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\gamma}{\sqrt{2}},$$

$$\lim_{\theta \rightarrow \frac{\pi}{2}-0} [M(\theta)I_1 - \sin \frac{\theta}{2} I_2 + \sin \frac{\theta}{2} I_3] = -\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\gamma}{\sqrt{2}},$$

то из (66) следует, что при  $\theta = \frac{\pi}{2}$  скорость перемещений непрерывна по  $\theta$ , причем

$$\frac{\partial w(r, \frac{\pi}{2}, t)}{\partial t} = \frac{q}{2} - \frac{q}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\gamma}{\sqrt{2}} \quad (74)$$

Отсюда и из (66) можно сделать вывод: скорость перемещений среды внутри возмущенной зоны  $D = D_0UD_+UD_-$  непрерывна. Из соответствующей асимптотики следует непрерывность скорости среды при переходе через фронт цилиндрической волны. Разрывна скорость лишь при переходе через фронт плоской волны, когда скорость мгновенно подрастает, от нуля в невозмущенной зоне среды до величины  $q$  в зоне возмущений.

При  $\eta \ll 1$  из формулы (62) скорость перемещений принимает вид

$$\begin{aligned} \frac{dw}{dt} = & \frac{q}{\pi} \int_0^t \frac{H(t-r)}{\sqrt{t^2-r^2}} \operatorname{Re} \left\{ tg \zeta_0 (1 + \cos \zeta_0)^{1/2} \right\} dt - \eta \frac{q}{\pi} \int_0^t \frac{H(t-r)}{\sqrt{t^2-r^2}} \operatorname{Re} \frac{3 + \frac{2}{\pi} \ln 2 - \frac{\zeta_0}{2\pi \sin \zeta_0}}{(1 + \cos \zeta_0)^{1/2}} dt + \\ & + \frac{q}{1 + 2\eta} H(t - r \sin \theta) H\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) + O(\eta^2), \quad (75) \\ \zeta^\tau = & \theta + i \ln \frac{\tau + \sqrt{\tau^2 - r^2}}{r} \end{aligned}$$

откуда следует непрерывная зависимость скорости перемещений от величины  $\eta$  при  $0 \leq \eta < \infty$ , учитывая, что формулы (58) и (63) при  $\eta = 1/2$  тождественно равны.

Перемещения при  $\eta \ll 1$ , как следует из (75), имеют вид

$$\begin{aligned} w = & \frac{q}{\pi} \int_0^t d\tau_1 \int_0^{\tau_1} \frac{H(\tau-r)}{\sqrt{\tau^2-r^2}} \operatorname{Re} \left\{ tg \zeta^\tau (1 + \cos \zeta^\tau)^{-1/2} \right\} - \\ & - \eta \frac{q}{\pi} \int_0^t d\tau_1 \int_0^{\tau_1} \frac{H(\tau-r)}{\sqrt{\tau^2-r^2}} \operatorname{Re} \frac{3 + \frac{2}{\pi} \ln 2 - \frac{\zeta^\tau}{2\pi \sin \zeta^\tau}}{(1 + \cos \zeta^\tau)^{1/2}} d\tau + \\ & + \frac{q}{1 + 2\eta} (t - r \sin \theta) H(t - r \sin \theta) H\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) + O(\eta^2), \quad (76) \end{aligned}$$



откуда следует непрерывная зависимость перемещений от величины  $\eta$  при  $0 \leq \eta < \infty$ .

5. Движение берегов и асимптотика в вершине разрыва

Рассмотрим движение берегов разрыва. Из формул (62) и (63) интегрированием по  $t$  от 0 до  $t$  получим при  $\theta = \pi$

$$\begin{aligned} \frac{dw(r, \pi, t)}{dt} = & -\frac{q}{\pi r} \frac{e^{g_{11}(\eta)}}{1+2\eta} \int_r^t \frac{sh\xi_0}{ch\xi_0} \frac{e^{-g_{12}(\xi_0, \eta)} dt}{(4\eta^2 + sh^2\xi_0)^{1/2}} H(t-r) + \\ & + \frac{q}{1+2\eta} H(t-r \sin \pi) H\left(\pi - \frac{\pi}{2}\right), \end{aligned} \quad (77)$$

где

$$\begin{aligned} g_{11}(\eta) &= \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{1}{d} \cdot \ln(d+2\eta) - \frac{1}{2} \ln d - \mu_{11}(\eta), \\ g_{12}(\xi_0, \eta) &= \frac{1}{4} \ln(4\eta^2 + sh^2\xi_0) - \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{ch\xi_0}{d} \cdot \ln(d+2\eta) + \mu_{12}(\xi_0, \eta), \\ \mu_{11}(\eta) &= \frac{2\eta}{\pi} \int_{\pi/2}^{\pi} \frac{\varphi \cos \varphi d\varphi}{4\eta^2 - \sin^2 \varphi}, \quad \mu_{12}(\xi_0, \eta) = \frac{2\eta}{\pi} \int_0^{\xi_0} \frac{\xi ch\xi d\xi}{4\eta^2 + sh^2\xi}. \end{aligned}$$

Следовательно, скорость движения берегов разрыва описывается формулой

$$\begin{aligned} \frac{dw(r, \pi, t)}{dt} = & -\frac{1}{\pi} \frac{q}{1+2\eta} H(t-r) e^{-\mu_{11}(\eta)} d^{1/2} \int_0^{\xi_0} \frac{th\xi e^{-\mu_{12}(\xi, \eta)}}{(4\eta^2 + sh^2\xi)^{3/4}} \times \\ & \times (d+2\eta)^{\frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{ch\xi}{d}} sh\xi d\xi + \frac{q}{1+2\eta} \end{aligned} \quad (78)$$

Интегрированием формулы (78) по  $t$  от 0 до  $t$  получим перемещения берегов разрыва

$$\begin{aligned} w(r, \pi, t) = & -\frac{1}{\pi} \frac{qr}{1+2\eta} H(-r) e^{-\mu_{11}(\eta)} d^{1/2} \int_0^{\xi_0} sh\xi_1 d\xi_1 \int_0^{\xi_1} \frac{sh^2\xi_2}{ch\xi_2} \frac{e^{-\mu_{12}(\xi_2, \eta)}}{(4\eta^2 + sh^2\xi_2)^{3/4}} \times \\ & \times (d+2\eta)^{\frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{ch\xi_2}{d}} d\xi_2 + \frac{qt}{1+2\eta} \end{aligned} \quad (79)$$

Исследуем теперь асимптотику движения в вершине разрыва при  $\eta \gg 1$ ,  $t > 0$ ,  $r \rightarrow 0$ . При  $t \geq t_0 > 0$ , уменьшая значение  $r$ , можно добиться выполнения условия

$$1 \ll \eta \ll \frac{sh\xi_0}{\xi_0} \quad (80)$$

Оценим интеграл  $\mu_{12}(\xi_0, \eta)$ , для этого продифференцируем его по параметру

$$\frac{d \mu_{12}(\xi_0, \eta)}{d\eta} = -\frac{2}{\pi} \cdot \frac{\xi_0 \operatorname{sh} \xi_0}{4\eta^2 + \operatorname{sh}^2 \xi_0} + \frac{2}{\pi d} \operatorname{arctg} \frac{ch \xi_0}{d} - \frac{2}{\pi d} \operatorname{arctg} \frac{1}{d}, \quad (81)$$

откуда при условии (80) получим оценку, которая не зависит от  $\xi_0$

$$\frac{d \mu_{12}(\xi_0, \eta)}{d\eta} \approx \frac{1}{2\eta} \quad (82)$$

Если проинтегрировать последнее соотношение по  $\eta$ , можно получить

$$\mu_{12}^*(\xi_0, \eta) = \frac{1}{2} \ln \eta + \ln \eta_0(\xi_0) \quad (83)$$

Функция  $\eta_0(\xi_0)$  определится из формулы

$$\eta_0(\xi_0) = \frac{e^{\mu_{12}(\xi_0, \eta)}}{\eta^{1/2}} \quad (84)$$

где  $\eta$  удовлетворяет условию (80).

Численный счет (рисунок 12) показал, что при условии (80) величина  $\eta_0(\xi_0)$  действительно не зависит от  $\eta$ , более того, зависимость величины  $\eta_0(\xi_0)$  от  $\xi_0$  незначительна и приближенно можно считать  $\eta_0(\xi_0)$  постоянным коэффициентом, равным  $\eta_0 \approx 2,0$ .

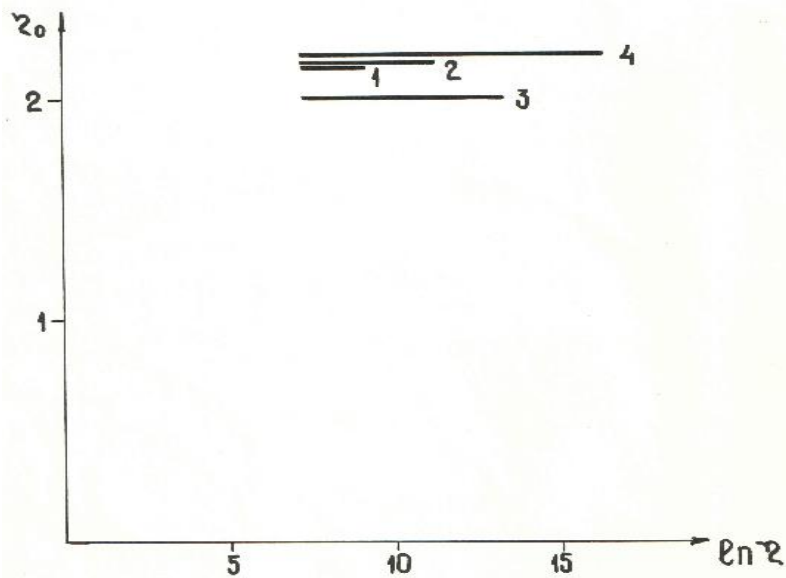


Рисунок 12 – Линия 1 соответствует значениям  $\zeta_0$  при  $t/r = 10^6$ ; линия 2 – при  $t/r = 10^7$ , линия 3 - при  $t/r = 10^8$ , линия 4 - при  $t/r = 10^9$ .

При этом значения функции  $\mu_{12}^*(\xi_0, \eta)$  приближают точные значения интеграла  $\mu_{12}(\xi_0, \eta)$  (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение асимптотических значений  $\mu_{ac} \equiv \mu_{12}^*$  с точными значениями  $\mu_T \equiv \mu_{12}$

$\eta_0$	$\mu_{ac}$	$\mu_T$	$\eta$
2,1760	3,8847	3,8842	500
2,1757	4,2312	4,2301	1000
2,1752	4,5776	4,5754	2000
2,1748	4,9239	4,9197	4000
2,1741	5,2702	5,2617	8000
2,1728	5,6162	5,5991	16000
2,1701	5,9615	5,9273	32000

Значения  $\eta_0$  и  $\mu_T$  получены из точных формул с помощью численного интегрирования, значения  $\mu_{ac}$  получены из асимптотической формулы (83),  $t/r = 10^7$ . Тогда из формулы (62) при  $\theta = \pi$ ,  $t > 0$  получим оценку

$$\frac{\partial^2 w(r, \pi, t)}{\partial t^2} \approx -\frac{q\sqrt{2}}{\pi \eta_0} \cdot \frac{r^{1/2}}{\eta^{1/2} t^{3/2}} \quad (85)$$

Если проинтегрировать последнюю формулу по  $t$  и положить константу интегрирования равной нулю, то получим следующую функцию

$$\frac{\partial w^*(r, \pi, t)}{\partial t} \approx \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \frac{q}{\eta_0} \frac{r^{1/2}}{\eta^{1/2}} \frac{1}{t^{1/2}} \quad (86)$$

Численный счет (таблица 2) показывает, что значения  $\dot{w}_{ac}$  функции  $\frac{\partial w^*(r, \pi, t)}{\partial t}$ , полученные из формулы (86), асимптотически приближают точные значения  $\dot{w}_T$  скорости перемещений, полученные по формуле (78).

Значения скорости  $\dot{w}_T$  получены из точной формулы численным интегрированием, значения  $\dot{w}_{ac}$  получены из асимптотической формулы для скорости ( $q = -10^{-3}$ ,  $t = 10^4$ ,  $\eta = 10^3$ ).

Таблица 2 – Сравнение асимптотических значений скорости  $\dot{w}_{ac} \equiv \frac{\partial w^*(r, \pi, t)}{\partial t}$  с точными значениями  $\dot{w}_T \equiv \frac{\partial w(r, \pi, t)}{\partial t}$

$r$	$\dot{w}_{ac} \cdot 10^5$	$\dot{w}_T \cdot 10^5$
0,01	0,1420	0,1431
0,02	0,2008	0,2024
0,03	0,2459	0,2481
0,05	0,3175	0,3209
0,10	0,4487	0,4559

Если проинтегрировать формулу (86) и положить константу интегрирования равной нулю, то получим следующую функцию

$$w^{**}(r, \pi, t) \approx \frac{4\sqrt{2}}{\pi} \frac{q}{\eta_0} \frac{r^{\frac{1}{2}}}{\eta^{\frac{1}{2}}} t^{\frac{1}{2}} \quad (87)$$

Численный счет (таблица 3) показывает, что значения функции  $w^{**}(r, \pi, t)$  асимптотически приближают точные значения функции перемещений, полученные по формуле (80).

Таблица 3 – Сравнение асимптотических значений для перемещений  $w_{ac} \equiv w^{**}(r, \pi, t)$  с точными значениями  $w_r \equiv w(r, \pi, t)$

$r$	$w_{ac} \cdot 10$	$w_r \cdot 10$
0,01	0,2840	0,2845
0,02	0,4016	0,4015
0,03	0,4919	0,4907
0,05	0,6350	0,6313
0,10	0,8980	0,8860

Значения перемещений  $w_r$  получены численным интегрированием точных формул (80), значения  $w_{ac}$  получены из асимптотической формулы (88) для перемещений ( $q = -10^{-3}, t = 104, \eta = 103$ ).

Следовательно, в окрестности конца разрыва

$$w(r, \pi, t) \approx \frac{4\sqrt{2}}{\pi} \frac{q}{\eta_0} \frac{r^{\frac{1}{2}}}{\eta^{\frac{1}{2}}} t^{\frac{1}{2}} \quad (88)$$

Из формулы (80) следует знакоопределенность производных по  $r$  от функции  $w(r, \pi, t)$

$$\frac{\partial w(r, \pi, t)}{\partial r} > 0, \quad \frac{\partial^2 w(r, \pi, t)}{\partial r^2} < 0 \quad (89)$$

Учитывая гладкость функции  $w(r, \pi, t)$  в окрестности вершины разрыва из формулы (88) дифференцированием по  $r$  получим асимптотику напряжений

$$\tau_{rz}(r, \pi, t) = \frac{K(t, \eta)}{(2\pi r)^{1/2}} \quad (90)$$

где

$$K(t, \eta) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \frac{q}{\eta_0} \frac{t^{\frac{1}{2}}}{\eta^{\frac{1}{2}}} \quad (91)$$

Исследуем теперь движение берегов разрыва при  $\eta \gg 1$  в точке  $r$  в момент времени  $t$ , удовлетворяющий условию

$$t \ll \eta \frac{1}{\ln \eta} r \quad (92)$$

Учитывая, что при условии (92)

$$\mu_{11}(\eta) \sim \eta^{-1}, \quad \mu_{12}(\xi_0, \eta) \sim \eta^{-1}$$

из формулы (78) для скорости движения берегов разрыва получим соотношение

$$\frac{\partial w(r, \pi, t)}{\partial t} = \frac{q}{2\eta} + \varepsilon \frac{q}{2\eta} \quad (93)$$

где

$$\varepsilon \ll \frac{1}{\ln \eta}$$

Следовательно, при условии (92) основной вклад в движение берегов разрыва дает плоская волна и скорость движения равна

$$\frac{\partial w(r, \pi, t)}{\partial t} \simeq \frac{q}{2\eta} \quad (94)$$

Отсюда вывод: если трение между берегами достаточно велико, то в течение некоторого интервала времени  $t$  влияние конца разрыва на движение его берегов существенно лишь в некоторой его окрестности, вне этой окрестности скорость постоянна и коэффициент вязкости связан со скоростью движения берегов разрыва формулой (94). Величина области влияния оценивается формулой (92).

### Выводы

Поставлена и аналитически решена методом Винера-Хопфа задача о внезапном разрыве сплошности предварительно напряженной упругой среды вдоль полубесконечной полосы с учетом вязкого взаимодействия берегов разрыва в условиях антиплоской деформации. Анализ решения выявил области нулевых, положительных и отрицательных ускорений возмущенной зоны. В частном случае отсутствия взаимодействия берегов разрыва эти области связаны элементарными формулами с ориентацией разрыва. Формулы, соответствующие этому случаю, согласуются с результатами других авторов. Получены зависимости скоростей и ускорений от величины вязкого взаимодействия берегов разрыва. Для больших величин коэффициента вязкости получен коэффициент интенсивности касательных напряжений в вершине разрыва; показано существование "области влияния" - пространственно-временной оценки, когда влиянием вершины разрыва на движение его берегов можно пренебречь. Показано, что при наличии вязкого взаимодействия берегов разрыва в момент его образования происходит частичный сброс напряжений, в отличие от полного сброса напряжений на разрыве, берега которого не взаимодействуют. С возрастанием взаимодействия берегов сброс напряжений на разрыве в момент его образования стремится к нулю. Полученное аналитическое решение задачи обобщено на случай трансверсально-изотропной среды, когда плоскость разрыва совпадает с плоскостью изотропии. При этом фронт цилиндрической волны, исходящий от конца разрыва и имеющий для изотропного случая форму окружности, переходит в эллипс.

*Работа выполнена по программе «Грантовое финансирование научных исследований» РК в рамках темы «Математическое моделирование очаговых зон и литосферно-ионосферных связей с использованием геоинформационных спутниковых технологий» (грант 0079/ГФ4).*

#### **Литература:**

1. Kuo C.L., Huba J.D., Joyce G., Lee L.C. Ionosphere plasma bubbles and density variations induced by pre-earthquake rock currents and associated surface charges // J. Geophys. Res. – 2011. – Vol.116. – A10317. – doi:10.1029/2011JA016628.
2. Namgaladze A.A., Klimenko M.V., Klimenko V.V., Zakharenkova I.E. Physical mechanism and mathematical modeling of earthquake ionospheric precursors registered in total electron content // Geomagnetism and Aeronomy. – 2009. – Vol.49. – № 2. – P.252–262. – doi:10.1134/S0016793209020169.
3. Теркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика. – М.: Мир, 1985. – 731с.
4. Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А., Буддо В.Ю., Лобацкая Р.М., Адамович А.Н., Трусков В.А., Бабичев А.С. Разломообразование в земной коре. Зоны сдвига. – Новосибирск: Наука, 1991. – 263с.
5. Черепанов Г.П. Об одном механизме развития разломов в твердой оболочке Земли // Изв. АН СССР, Физика Земли. – 1984. – № 9. – С. –12.
6. Адушкин В.В. Актуальные проблемы геомеханики земной коры //Электронный научно-информационный журнал «Вестник ОГГГГН РАН». – 2001. – № 1 (16). – С. 1–33.
7. Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. – М.: Наука, 1987. – 101 с.
8. Моги К. Предсказание землетрясений. – М.:Мир, 1988. – 282с.
9. Соловьев С.П., Спивак А.А. Электромагнитные сигналы в результате электрической поляризации при стесненном деформировании горных пород // Физика Земли. – 2009. – № 4. – С. 76 – 84.
10. Киссин И.Г. О системном подходе в проблеме прогноза землетрясений // Физика Земли. – 2013. – № 4. – С. 145-160.
11. Афраймович Э. Л., Первалова Н. П. GPS – Мониторинг верхней атмосферы Земли // ЦОП БИБММ ИГУ и ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, Иркутск. – 2006. – 479 с.
12. Гайворонская Т.В. Сейсмоионосферные эффекты в слое F2 в районе Камчатки // Физика Земли. – Наука.– РФ. – Москва. – 2012. – № 4. – С.53–57.
13. Гайворонская Т.В. Ионосферные вариации в сейсмоактивных районах // Физика Земли. – Наука. – РФ. – Москва. – 2005. – № 3. – С. 56–60.
14. Корсунова Л.П., Чистякова Л.В., Хегай В.В. Эффекты в спорадическом слое е в период подготовки землетрясения 27.08.2008 по наблюдениям в Иркутске // Солнечно-земная физика. – 2010. – Вып. 16. – С. 149–153.
15. Корсунова Л.П., Хегай В.В., Михайлов Ю.М., Смирнов С.Э. Закономерности в проявлении предвестников землетрясений в ионосфере и приземных атмосферных электрических полях на Камчатке// Геоматематизм и аэрономия. – 2013. – Т.53. – № 2. – С.239–246.
16. Липеровский В.А., Похотелов О.А., Шалимов С.Л. Ионосферные предвестники землетрясений. – М.: Наука, 1992. – 304 с.
17. Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes // Edited by M. Hayakawa: Tokyo. Terra Scientific Publishing Company, 2003. – 996p.
18. Gershenson N., Vambakidis G. Modelling of seismo-electromagnetic phenomena // Russian Journal of Earth sciences. – 2001. – Vol. 3. – №4. – P. 247–275.
19. Бондур В.Г., Смирнов В.М. Метод мониторинга сейсмоопасных территорий по ионосферным вариациям, регистрируемым спутниковыми навигационными системами // Доклады РАН. – 2005. – Т.402. – № 5. – С. 675–679.

20. Гохберг М.Б., Моргунов В.А., Похотелов О.А. Сейсмоэлектромагнитные явления. – М.:Наука, 1988. –174 с.
21. Pulnits S.A., Boyarchuk K.A. Ionospheric Precursors of Earthquakes. – Berlin: Springer, 2003. – 312 p.
22. Чернявский Г.М., Скребушевский Б.С., Скрипачев В.О. Бортовая аппаратура космических аппаратов мониторинга предвестников землетрясений // Исследования Земли из космоса. – 2004. – № 6. – С.50–58.
23. Molchanov O., Rozhnoi A., Solovieva M., Akentieva, O. Berthelier J. J., Parrot M., Lefeuvre F., Biagi P. F., Castellana L. and Hayakawa M. Global diagnostics of the ionospheric perturbations related to the seismic activity using the VLF radio signals collected on the DEMETER satellite // J. Nat. Hazards and Earth Syst. Sci. – 2006. – Vol.6. – P.745–753.
24. Костров Б.В. Механика очага тектонического землетрясения. – М. : Наука, 1975. – 176 с.
25. Нобл Б. Применение метода Винера-Хопфа для решения дифференциальных уравнений в частных производных. – М.: ИЛ, 1962. – 280 с.
26. Миттра Р., Ли С. В. Аналитические методы теории волноводов. – М.: Мир, 1974. – 327 с.
27. Бейтмен Г., Эрдейи А. Таблицы интегральных преобразований. – М.: Наука, 1969. – Т.1. – 343 с.
28. Мартынюк П.А. О динамическом нагружении полуплоскости с трещиной в условиях антиплоской деформации. // В сб. : Динамика сплошной среды. Новосибирск: Наука, 1975. – Вып. 22. – С. 216–230.
29. Флитман Л.М. Волны, вызванные мгновенным разрывом сплошности упругой среды. // Прикладная математика и механика. –1963. – Т. 27. – Вып. 4. – С. 618–628.

*Поступила 20 мая 2015 г.*

## ХИМИЯ

UTC 547.592:661.712

### TECHNOLOGY OF RADICAL DECALINE BROMINATION REACTION

**Nuraliev R. M., Korulkin D. Yu., Muzychkina R. A.**

*al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan*

*e-mail: [Dmitriy.Korulkin@kaznu.kz](mailto:Dmitriy.Korulkin@kaznu.kz)*

*The results of research of the main thermodynamic patterns of radical decaline bromination reaction have been represented. The influence of temperature, duration of reaction, process frequency, ratio of components, type and the amount of initiator on the degree of decaline bromination was researched. Process technology of chain-radical decaline bromination is optimized for the first time ever. Optimal technological parameters of synthesis of each of 14 obtained bromoderivatives of decaline have been determined.*

**Keywords:** *decalin, reaction, technology, perbromodecalin, radical bromination.*

*Декалиннің радикалдық бромдау реакциясының негізгі термодинамикалық заңдылықтарының нәтижелері ұсынылған. Декалиннің бромдану дәрежесіне температура, реакция ұзақтылығы, үдерістің еселігі, бастапқы компоненттер қатынасының, инициатор мөлшері мен типінің әсері зерттелген. Декалиннің радикалды-тізбекті бромдану үдерісі технологиясының оңтайландыруы бірінші рет кетірілген. Декалиннің әр он төрт бромтуындыларының тиімді технологиялық параметрлері анықталған.*

**Тірек сөздер:** *декалин, реакция, технология, пербромдекалин, радикалдық бромдау.*

*Представлены результаты изучения основных термодинамических закономерностей реакции радикального бромирования декалина. Было исследовано влияние температуры, продолжительности реакции, кратности процесса, соотношения исходных компонентов, типа и количества инициатора на степень бромирования декалина. Оптимизация технологии процесса радикально-цепного бромирования декалина приводится впервые. Определены оптимальные технологические параметры синтеза каждого из 14 полученных бромпроизводных декалина.*

**Ключевые слова:** *декалин, реакция, технология, пербромдекалин, радикальное бромирование.*

The topicality of the research project is connected with the priorities of economic development of Kazakhstan, outlined by the President of the Republic of Kazakhstan – the Leader of the Nation N.A. Nazarbayev. One of the priorities is creation of own pharmaceuticals industry, increase in cost-effectiveness and competitiveness of the existing production operations, as well as the fastest increase in the share of domestic medicines up to 40-50 %.

Starting from 90-ies of XX century, the number of donors in Kazakhstan has been reduced by more than twice. As per the data of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan the shortage of donated blood and its medicines in Kazakhstan in 2014 amounts to 58-64 %. One of the most effective ways of solution to the specified problem is a usage of modern blood substitutes, which are currently used more frequently than donated blood. The menace of infecting with AIDS, syphilis, hepatitis and other infections transmitted during whole blood and its derivatives transfusion, post-transfusion complications do require maximum reduction of the amount of blood transfusions. Moreover, economically in the most cases it is more cost-effective to use blood or plasma substitutes than use blood and its elements. One of the most effective and non-toxic



hemotransfusion medicine is perftoran medicine, which, being a blood substitute with a function of oxygen transportation is widely used for acute and chronic hypovolemia, microcirculation disturbance, for correction of tissue gas exchange and metabolism in case of blood loss, shock of different origin, intoxications, cerebral and coronary blood circulation, cardioplegia, regional perfusion. Perfluorodecaline is also necessary during long-terms preservation of organs intended transplantation [1].

Perfluorodecaline is obtained in industry by means of naphthalene fluorination, however, high self-cost of the obtained product, limited possibilities to control process cycle and extreme hazard of this method to environment [2] sets topicality of search for perftoran synthesis methods, which do not have the specified disadvantages.

The purpose of the work was development of optimal technology radical decaline bromination.

To resolve this problem it was necessary to: research the main patterns of decaline bromination reaction; set optimal conditions for synthesis of perbromodecaline in radical process conditions; prepare process flow diagram of perbromodecaline obtainment and material balance for the first and further component loadings.

Try-out of process parameters of radical decaline bromination reaction included research of the main patterns of radical decaline bromination reaction, research of temperature influence, reaction duration, process frequency, ratio of initial components, type and the amount of initiator on the degree of decaline bromination and reaction product yield [3].

The following method was chosen as the basic method of synthesis of bromine-derivatives: в 1 ml of decaline and 6 ml of bromine was poured into round-bottomed flask (50ml), after that it was quickly connected to return condenser and heated on water bath up to 60 °C at UV-lamp ray treatment within 2 hours. Upon bromination completion, the product of dark-brown color was obtained. It is water-insoluble product but well-soluble in chloroform and partially in benzene. The reaction product was rinsed with water to eliminate unreacted bromine.

Similarly, experiments are repeated at 80, 100 °C. And experiments at 120, 140, 160 °C are performed using sand bath (Figure 1).

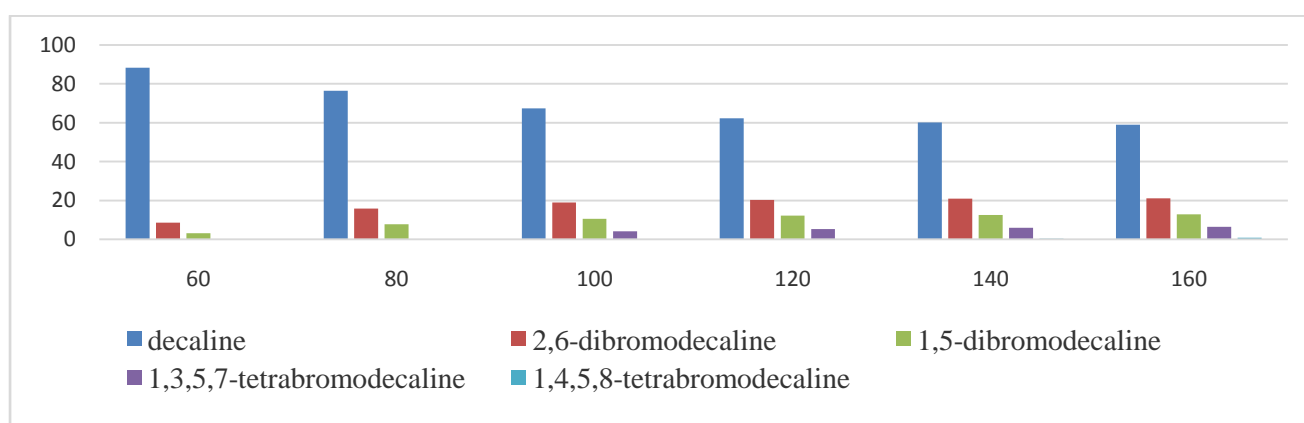


Figure 1 – The results of analysis of reaction products in stoichiometric ratio

It follows from the data represented in Figure1 that UV-initiation in stoichiometric ratio of reagents of bromination reaction lead to maximal substitution of 4 hydrogen atoms irrespective of the temperature of the process. However, vigorous evaporation of bromine at the temperature higher than 80 °C make the reaction lightly controlled in process pattern, and increase in temperature

higher than 140 °C results in sintering of reacting mass. Consequently, the optimum bromination temperature should be deemed 80 °C.

To increase the degree of bromine conversion and technological controllability of the process, the influence of frequency of adding bromine was researched during the whole process. The frequency of adding bromine was changed in interval from 1 to 5 with increment equal to 1, adding equal portion of bromine, in accordance with chosen frequency (Figure 2):

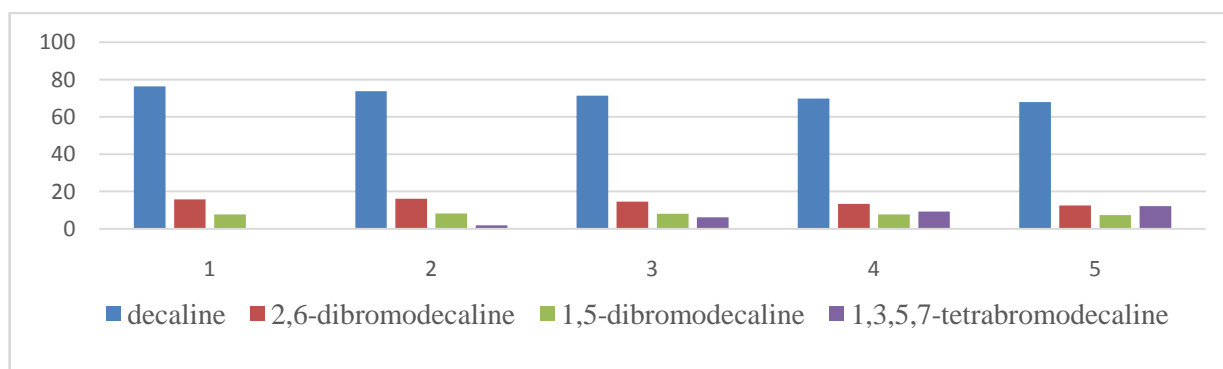


Figure 2 – The results of analysis of reaction products depending on reaction rate at 80 °C

It is evident from the data on Figure 2 that the optimum frequency of adding brominating agent is a three-stage mode. At 80 °C during heating of reaction mixture bromine evaporates much less, on the one hand it increase its conversion degree, on the other hand it decreased uncontrolled losses.

To research the influence of bromination duration on the decaline conversion, the synthesis was performed under the conditions from 2 to 30 hours described above (Figure 3).

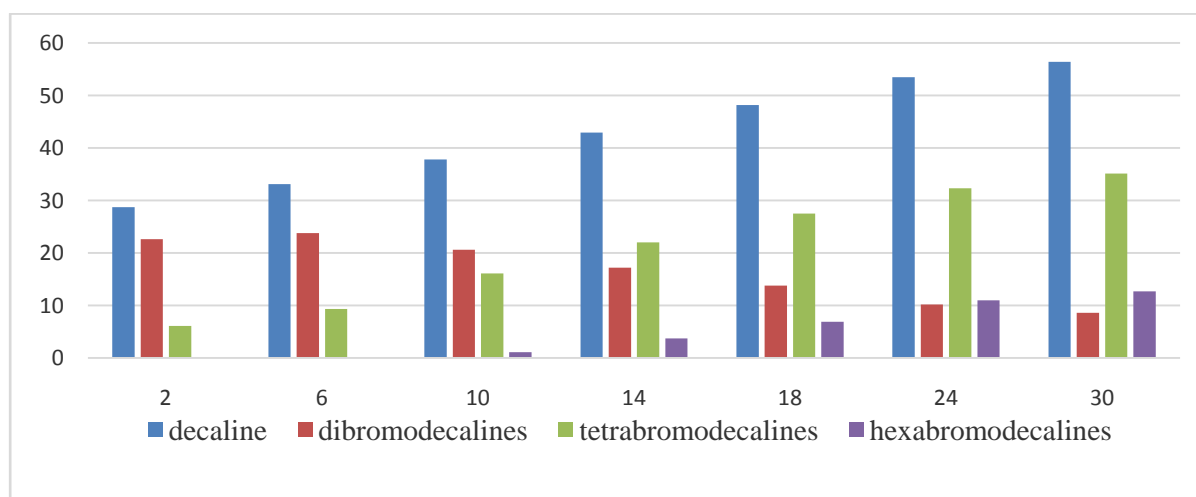


Figure 3 – The results of analysis of products depending on process duration

It follows from the data represented on Figure 3 that during increase in reaction duration, starting from 10-hour heating, and an amount of hexabromodecalines starts accumulating. The reaction reaches optimum efficiency at 24-hour heating, and increase in chemical yield of bromine-derivatives is much less essential if heating exceeds 24 hours. The optimum duration of bromination process can be deemed 24 hours.

To research the influence of the ratio of components in the reaction on decaline conversion degree, we performed the reaction in excess of bromine from 2 to 15 % out of stoichiometric one.

It follows from the data represented on Figure 4 that during increase in bromine content from stoichiometric one the degree of decaline conversion increases (from 2 to 15 %) as well as simultaneous full bromination process for 2,6- and 1,5-dibromoderivatives took place with increase in the content of tetra- and hexabromoderivatives (from 32,5 to 35,9 % and from 11,3 to 21,4 % respectively).

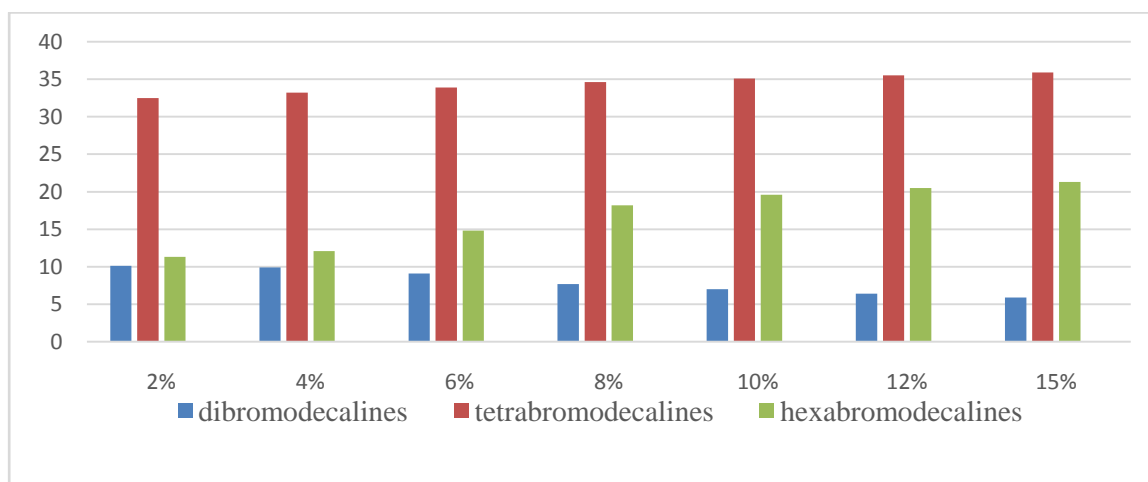


Figure 4 – The results of analysis of products depending on the ratio of the components

The influence of different initiator of peroxide type on radical decaline bromination reaction was also researched. The reaction was performed in the following conditions: temperature – 80 °C, time – 24 hours, frequency – 3, bromine excess – 8 %; UV-initiation). The alternate parameters were the type and the number of peroxide initiator (Figures 5, 6).

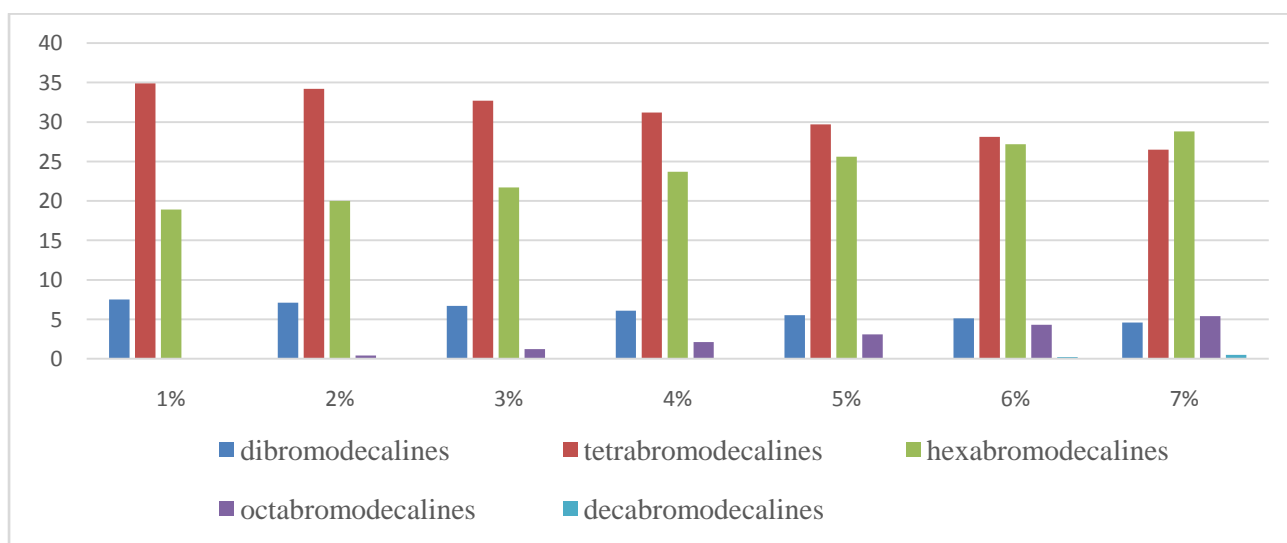


Figure 5 – The results of analysis of reaction products in case of usage of dinitrile azo-bis-isobutyric acid as initiator

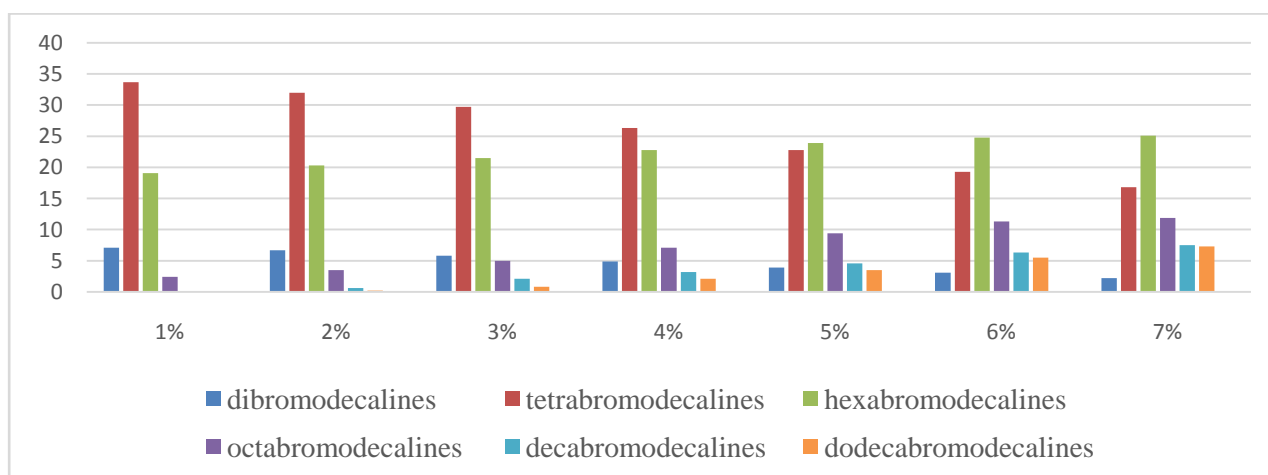


Figure 6 – The results of analysis of product during usage of BaO<sub>2</sub> as initiator

The data analysis shows that during usage of DAA (dinitrile azo-*bis*-isobutyric acid) as initiator in the content up to 7%, no more than 10 atoms of bromine are introduced in molecule. However, during usage of BaO<sub>2</sub> as initiator, even 80 °C we were successful in producing a sum of two dodecabromoderivatives at the amount of 7,3 %. To increase the amount of bromine atoms introduced we performed the process with BaO<sub>2</sub> it higher temperatures (Figure 7).

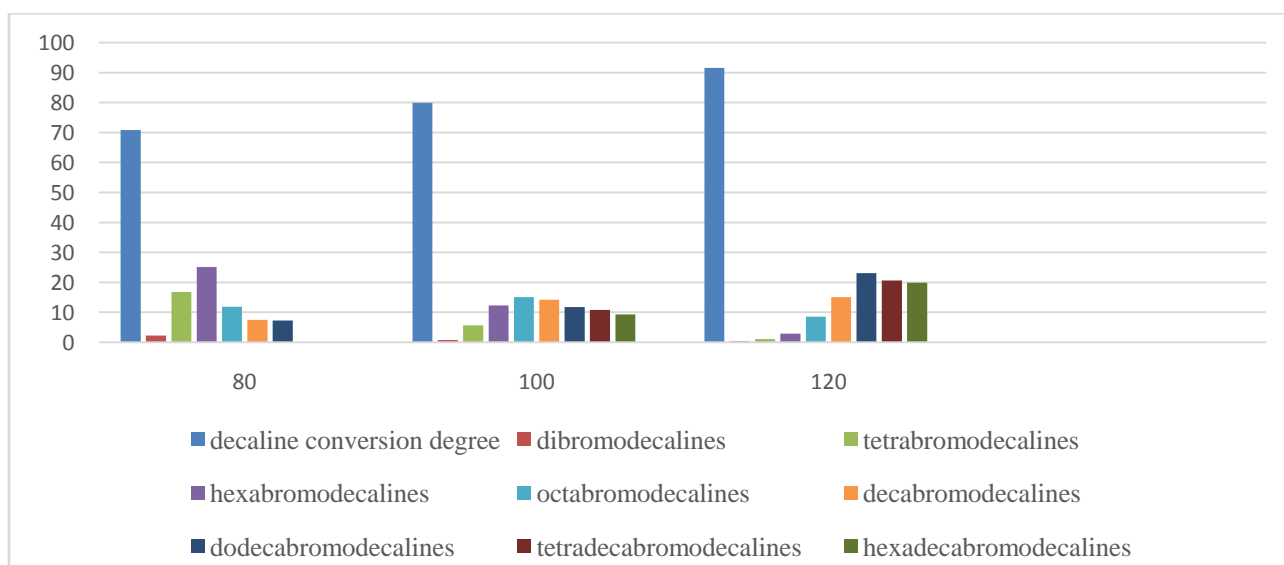


Figure 7 – The results of analysis of reaction products in case of using barium peroxide as initiator at different temperatures

The analysis of GC-MS-chromatogram of reaction products, even at bromine evaporation of not less than 20 % from added one, in the conditions of three-staged process shows that 16 bromine atoms can be introduced in decaline molecule. However, their total content in the mixture does not exceed 19,9 %. To stabilize bromine radicals, filled activated carbon was introduced in the reaction medium (Figure 8).

The analysis of the obtained data proves demonstratively that the optimum conditions for synthesis of perbromodecaline is temperature equal to 80 °C, reaction time – 24 hours, reaction rate– 3, bromine excess – 8 %; combined UV and BaO<sub>2</sub>-initiation at the presence of 5 % activated

carbon. In our opinion, more perbromodecaline chemical yield can be obtained in case of increase in the temperature of process in the specified conditions up to 110-120 °C. However, uncontrolled bromine evaporation with partial sintering of reactive mass in laboratory conditions does not allow doing that.

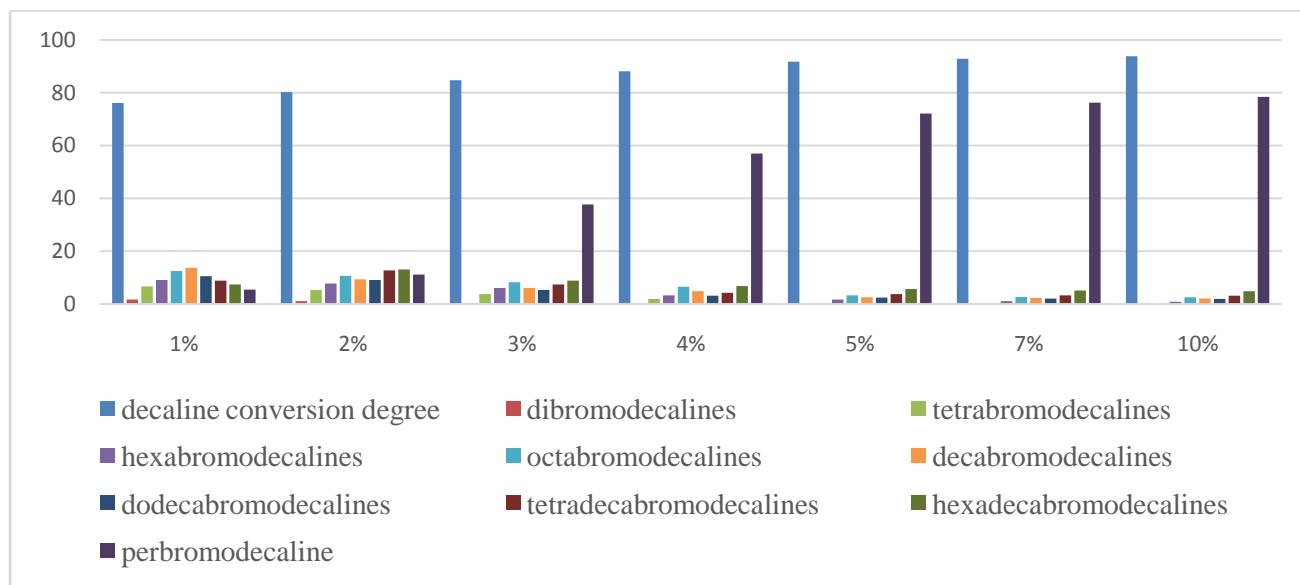


Figure 8 – The results of analysis of reaction products in case of using stabilizer

Based on the above experimental data optimal process flow diagram of perbromodecaline synthesis was developed (Figure 9).

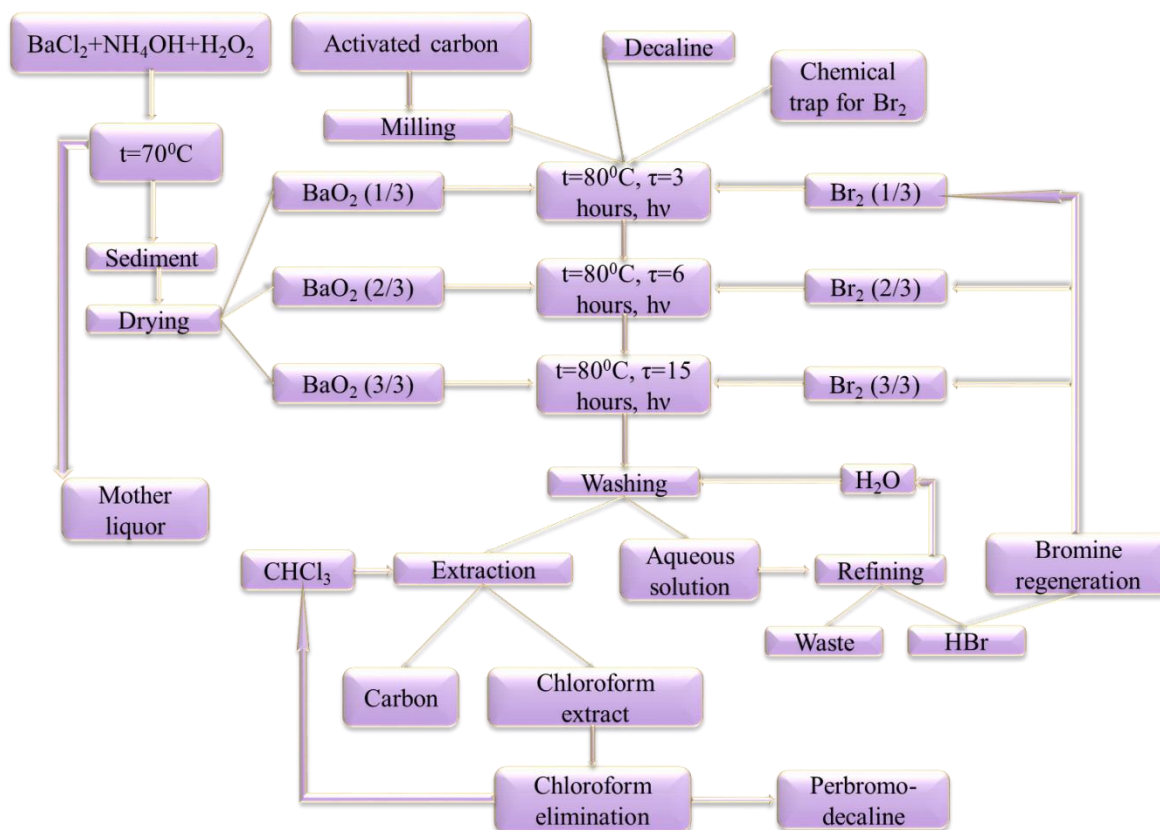


Figure 9 - Process flow diagram of decaline perbromination

Decaline bromination process includes such main stages as: initial substances preparation, decaline bromination, product refining.

Preparation of a raw material including activated carbon milling, obtainment and dray-out of barium peroxide. As a rule, commercial bromine is used but as needed it is refined by means of distillation.

Process procedure-1. Activated carbon milling on production pressing machines with further separation of dust-like activated carbon from bigger necessary particles on vibration screens.

Process procedure-2. Barium peroxide is obtained by mixing barium chloride and ammonium hydroxide in reactor with gradual addition of hydrogen peroxide at heating up to 70°C. After that, it is separated from mother liquor with further drying in vacuum.

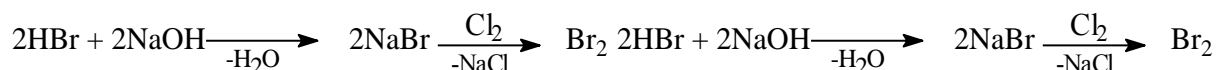
Decaline is brominated in reactors - brominizers, they are simpler than chromatators as bromine is a liquid and it is soluble in organic liquids. To protect against corrosion they are usually enameled or equipped with nickel bushing (much less frequently). The value of heat exchanging surface does not limit the process rate.

Process procedure-3. Bromine loading is technologically inconvenient stage of the process, which is quite hard to mechanize. Therefore, bromine is loaded in different time intervals between loadings. In addition, along with bromine loading barium peroxide is loaded in parallel.

Bromine is expensive and not easily available raw material. To use it fully the process is performed either using oxidizers or bromine is regenerated from hydrogen bromide. In some cases, it is cost-effective to entrap hydrogen bromide using alkali solutions and extract commercial sodium bromide from them.

Process procedure-4. Bromine is regenerated as per two main reactions:

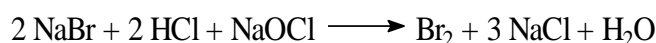
1. Oxidation of sodium bromide solution using chlorine:



Releasing hydrogen bromide is absorbed by sodium hydroxide solution. It is the solution bromide water is also added to. Bromine waters are formed after separation and rinsing of target product solutions with water. Water solutions of bromine salts are acidified up to pH 3÷3.5, heated up to 80-85 °C and fed from above into packed columns. Chlorine gas and open steam come to lower part of column. Overhead water and bromine vapors come and unreacted chlorine come to fridge, where water and bromine vapors are condensed and go to water separator by gravity. After water separation, bromine is drained through hydraulic lock into container and returned to bromination. Chlorine is routed from water separator to scrubber and is absorbed by sodium hydroxide solution.

For additional refining bromine is distilled in rectification column. Bromine chemical yield is 80-85 %.

2. Interaction of sodium bromide with sodium hypochlorite:



Preliminarily evaporated NaBr solutions are loaded into standard reactor made of acid-proof steel, acidified with hydrochloric acid, heated up to 60-65 °C, and sodium hypochlorite solution is

added within 1 hour. Then bromine is eliminated into container. The chemical yield of bromine is 85%. The advantages of the method is simplicity of implementation, less hazard during work.

To reduce bromine losses bromine trap is installed in the reactor. Bromine in the trap and does not need preliminary refining for loading into brominizer.

Process procedure-5. The first stage of refining is washing of product with distilled water to remove unreacted bromine, soluble barium salts, its oxide and hydroxide.

Water layer is separated from the second layer and routed to water and bromine regeneration.

Process procedure-6. Extraction with chloroform. The second layer is heavy oily liquid of dark-brown color with coal particles, well-soluble in chloroform. To separate this mass it is extracted with chloroform resulting in production of chloroform extract and coal.

Process procedure-7. Chloroform elimination. Then chloroform extract is sent to distillation and chloroform is eliminated.

Thus, as a result of the performed research the main consistent patterns of radical decaline bromination have been researched for the first time ever. It was experimentally proved that the optimal conditions for the synthesis are: reaction temperature - 80 °C, reaction time - 24 hours, reaction rate - 3, amount of initiator BaO<sub>2</sub> – 5 %; amount of stabilizer – activated coal – 5 %; excess of Br<sub>2</sub> – 8,33 %.

The advantages of the developed process flow diagram are significant decrease in process pyrogenicity, increase in technological controllability connected with that, no special requirements to method implementation as well as much lower amortization costs for equipment due to full exclusion of fluorine and perfluoro compounds of metals from process flow.

The scientific novelty of the experiment is establishing of previously unknown laws of influence of influence of thermodynamic parameters on completeness of bromination of bicyclic decaline.

Practical importance of the experiment is development of optimal process flow for perbromdecaline production, the key product in synthesis of effective blood substitute – perfortran and establishing process parameters of directed synthesis of 14 partially substituted products of decaline bromination reaction. Antibacterial and antifungal activity of these products was described by us before [4].

#### References:

1. Иваницкий Г.Р., Мороз В.В. Перфторорганические соединения в биологии и медицине. – Пушино: ПГУ, 1999. – 286 с.
2. Banks R.E., Smart B.E., Tatlow J.C. Organic fluorine chemistry, principles and commercial applications. – New York: Plenum press, 2003. – 631 p.
3. Муганлинский Ф.Ф., Трегер Ю.А. Химия и технология галогенорганических соединений. – М.: Химия, 2003. – 272 с.
4. Нуралиев Р.М., Корулькин Д.Ю., Муzychкина Р.А. Синтез новых биологически активных бромпроизводных декалина // Хим. журн. Казахстана. – 2015. – № 2. – С. 359 – 364.

*Поступила 10 мая 2015 г.*

UTC 547.972:661.576

## TECHNOLOGY OF SYNTHESIS OF N-SUBSTITUTED ANTHRAQUINONES HAVING ANALGESIC EFFECT

<sup>1</sup>Vereschagin N. A., <sup>2</sup>Tolstikova T. G., <sup>1</sup>Korulkin D. Yu., <sup>1</sup>Muzychkina R. A.

<sup>1</sup>*al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan*

<sup>2</sup>*N.N.Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry, Novosibirsk, Russian Federation*  
*e-mail: rmuz@mail.ru*

*The article represents the results of research of the main thermodynamic laws of mono- and di-N-aminoacid acylation of alizarin. Main thermodynamic and kinetic parameters of synthesis of derivatives were researched. The influence of temperature, pH, reaction time and the presence of auxiliary components on the yield of desired reaction product has been researched. Using developed technology, eight new N-acylamino-derivatives were obtained and their analgesic activity has been researched.*

**Keywords:** anthraquinone, alizarin, N-acylation, technology, analgesic activity.

*Мақалада ализариннің моно-және ди-N-аминоқышқылдық ацилдеу реакциясының термодинамикалық заңдылықтарын зерттеу нәтижелері келтірілген. Туындаларының синтезінің негізгі термодинамикалық және кинетикалық параметрлері зерттелген. Температураның, рН-тың, реакция уақытының және көмекші компоненттердің мақсатты өнім шығуына әсері зерттелді. Өңделген технология бойынша сегіз жаңа N-ациламинотуындылары алынған және олардың анальгетикалық белсенділігі зерттелген.*

**Тірек сөздер:** антрахинон, ализарин, N-ацилдеу, технология, анальгетикалық белсенділігі.

*В статье приведены результаты изучения основных термодинамических закономерностей реакции моно- и ди- N-аминокислотного ацилирования ализарина. Были изучены основные термодинамические и кинетические параметры синтеза производных. Исследовано влияние температуры, pH, времени реакции и наличия вспомогательных компонентов на выход целевого продукта реакции. По разработанной технологии получено 8 новых N-ациламинопроизводных и изучена их анальгетическая активность.*

**Ключевые слова:** антрахинон, ализарин, N-ацилирование, технология, анальгетическая активность.

Chemical modification of natural substances aimed at enhancement of their bioactivity is currently one of the most topical ways of development of medical and pharmaceutical chemistry in the top-ranked scientific centers of the world. In this connection, goal-oriented change of structures of the most widely-spread anthraquinones, available for industry, which originally have wide spectrum of physiological action, and introduction of new pharmacophore groups in their structure often leads to significant enhancement of already existing and appearance of new types of activity, that, apart from creation of domestic BAS, will allow detect the influence of these structural fragments in synthesized substances on activity of initial compounds – this is the way to goal-oriented creation of domestic BAS of wide spectrum of bioactivity

Currently over 50 pharmaceutic chemicals, which active substances are, different anthraquinones are used in medicine of different countries. The most important in medical practice are



anthracyclines, N- and S-containing derivatives and condensed anthraquinones with different types of chemical bond. For these structures high levels of antitumor, hepatoprotective, radioprotective and sedative effects are typical. The principal number of these substances was obtained as a result of 9-17-staged syntheses, that essentially complicates industrial production and introduction of them in practical medicine [1,2]. However, if to modify natural hydroxyanthraquinones, staging of such syntheses is significantly reduced (odwn to 2-3 stages), the yields of synthesized substances will be higher and they will definitely have biological effect, as initial anthraquinones initially demonstrated definite activity, at that being low-toxic.

The purpose of the research was to study the main parameters of reaction of goal-oriented synthesis of potentially biologically active medicines based on natural anthraquinones.

The synthesis of N-substituted derivatives was performed as per standard methods [2] based on alizarin available in industry. Aspartic and glutamic acid as well as phenylalanine and tyrosine pairwise close in structure were used as acylating agents.

Figure 1 – Scheme of alizarin N-acylation reaction

To perform reaction of substitution of one (two) hydroxyl group of alizarin with N-end part of four selected amino acids, several reaction media were tested: 5% ammonia, which concentrations was not enough for full polarization of bonds and performance of reaction with good yield (13,7%). The yield on the base reaction was 28,3%.

To increase chemical yield of products and selectivity 5%  $AlCl_3$  was added to 25% medium of ammonia.  $AlCl_3$  contributed to increase in selectivity in reactions of substitution. As a result, chemical yield was successfully increased up to 42,4%.

To increase in a yield, selection of  $AlCl_3$  optimum concentration was carried out. The obtained data are represented in table 1.

Table 1 – Influence of  $AlCl_3$  concentration on the yield of desired reaction product, %

AlCl <sub>3</sub> , %	Yield of product, %	AlCl <sub>3</sub> , %	Yield of product, %
3	34,6	7	43,6
4	38,3	8	45,1
5	40,4	9	48,8
6	42,9	10	48,9

The data in table gives the evidence that chemical yield is increased by up to 9% of concentration of aluminum chloride, after that, it remains practically unchanged.

Considering the obtained results, the dependence of chemical yield on the reaction time was researched. The obtained data are represented in table 2.

Table 2 – The influence of reaction time on chemical yield

Reaction time, h	Yield of product, %	Reaction time, h	Yield of product, %
1	42,6	5	53,2
2	48,8	6	53,1
3	52,4	7	53,0
4	52,8	8	54,3

Based on the obtained results, the optimal conditions to be confessed are 9 % content of AlCl<sub>3</sub> and reaction time equal to 3 hours (yield is 52,4 %).

To increase selectivity of the process and increase the yield of desired anthraquinones, KOH content also varied in the reaction medium.

To establish dependence of yield on concentration and optimal KOH content, the reaction was performed within 2 hours on boiling water bath at 97 °C. The results are represented in table 3.

Table 3 – The influence of KOH concentration on chemical yield of N-substituted alizarins, %

KOH concentration	1-aspartyl	1,2-di-aspartyl	1-glu-tamyl	1,2-di-glutamyl	1-phe-nylalanyl	1,2-diphe-nyl-alanyl	1-ty-rosyl	1,2-di-tyrosyl
1	67,4	63,5	68,6	62,3	53,9	47,3	52,4	46,9
2	68,2	65,8	69,4	64,9	54,5	49,4	55,3	48,1
3	69,8	67,9	70,2	66,3	56,8	50,2	56,9	50,2
4	76,6	69,1	75,1	70,3	58,1	52,4	57,6	52,0
5	80,8*	71,5	79,8	73,5	60,4	53,7	59,1	52,8
6	81,3	73,6	80,5*	76,5	61,9	56,9	60,5	55,6
7	82,6	76,5	80,9	77,9	62,5*	59,1	62,4*	58,4
8	82,3	78,1*	81,3	79,1*	62,8	60,6*	62,8	60,3*
9	83,1	78,9	81,6	79,3	62,7	60,9	63,0	60,4
10	82,8	79,3	81,7	79,6	63,4	61,5	63,3	60,9

To obtain the maximum desired product yield the concentration marked with asterisk in table were selected.

On the second stages of the researches, the time reaction was matched to reach maximum yield on the reactions performed (table 4) phenylalanylalizarin, mono- and di-N-tyrosylalizarin.

Table 4 – The influence of reaction time on chemical yield, %

Time, h	1-aspartyl	1,2-di-aspartyl	1-glutamyl	1,2-di-glutamyl	1-phenylalanyl	1,2-diphenylalanyl	1-tyrosyl	1,2-di-tyrosyl
1	68,4	53,4	55,8	56,4	40,6	43,4	45,1	39,4
2	81,6*	78,9	80,6*	79,1	62,5	60,6	62,4	60,3
3	81,9	82,6	81,0	81,6	66,7	62,4	65,7	64,8
4	82,2	83,1*	80,8	83,7*	70,5	65,1	68,1	68,1
5	82,6	83,3	80,6	84,9	75,1	67,9	72,6	73,9
6	82,4	83,6	81,4	84,8	78,9*	72,6	76,8*	77,4
7	83,0	84,0	81,5	84,7	81,6	78,9*	80,4	79,7*
8	82,8	82,9	81,3	85,1	81,9	82,4	80,9	82,6

The represented data were analyzed and optimal time of reaction for each of synthesized derivatives (marked with asterisk) was determined. It has been established that reaction time directly depends on steric hindrances connected with introduction of bulky substituents in ortho-positions to each other.

Reaction was controlled and product was analyzed by means of paper and thin layer chromatography with authentic samples.

In addition, mobile phases were selected for complete separation of reaction mixture (benzene : acetone (from 9:1 to 5:5), benzene:ethanol (from 9:1 to 5:5), benzene:ethyl acetate in ratio 6:4. Final refining of synthesized anthraquinones was performed by means of preparative HPLC on columns with Lichrospher RP<sub>18</sub> using mixture acetonitrile : water 65:35 as mobile phase, and UV-detector (254 nm) [3].

As a result, using proven technology eight new anthraquinones were obtained individually – mono- and di-N-aspartylalizarin, mono- and di-N-glutamylalizarin, mono- and di-N-phenylalanylalizarin, mono- and di-N-tyrosylalizarin.

Bio-screening of N-aminoacid derivatives was performed in Pharmacological Research Laboratory of N.N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry.

Research of analgesic activity of the derivatives: to determine chemical pain stimulation acetic writhing test was used. The test is a model of acute peritonitis. Pain reaction occurs as a result of irritation of visceral receptors with chemical agent, accompanied by abdominal muscle contraction, extension of hind limbs and animal body stretch. Acetic writhing was stimulated with intraperitoneal administration of acetic acid (0,75 % by 0,1 ml/mouse), within 3 minutes 3 minutes and 5 minutes after acid administration the stimulated convulsions were recorded.

Activity of agents to visceral pain is represented in the form of average number of convulsions in the group. ‘Hot plate’ and ‘Tail abduction’ tests were used as the models of thermal pain stimulation [4]. Animals were placed onto a copper plate heated up to  $54 \pm 0,5$  °C, confined with a

cylinder made of organic glass (15 cm x 15 cm), and pain latent reaction time was fixed – pad licking and jumping up.

‘Tail abduction’. This test imitates spinal reflex of tail abduction. Using YLS-12A tail abduction was recorded starting from the moment of exposure of focused beam of light, latent time of pain reaction was assessed. The researched compounds were injected in dose equal to 20 mg/kg intragastrically [4].

The data was statistically processed using Statistica 6.0 standard software, the reliability was determined using Student t-test and Wilcoxon-Mann-Whitney nonparametric test. The results are represented in table 5.

Table 5 – Analgesic activity of alizarin derivatives

Control	1,2-di-N-aspartyl-anthraquinone	1,2-di-N-glutamyl-anthraquinone	1,2-di-N-phenylalanyl-anthraquinone
5,92	5,53	5,50	5,29
2,91	4,81	4,35	5,70
3,41	6,85	4,00	6,02
5,11	3,93	7,27	8,52
4,3	5,00	4,92	4,40
4,39	4,83	4,18	7,35
6,38	7,93	5,94	5,46
4,6±	5,60±	5,20±	6,10±
0,5	0,50	0,40	0,50
‘Hot plate’ test, sec.			
Control	1,2-di-N-aspartyl-anthraquinone	1,2-di-N-glutamyl-anthraquinone	1,2-di-N-phenylalanyl-anthraquinone
12	15	19	6
12	10	11	10
13	8	20	15
11	25	10	10
6	14	16	8
12	11	14	6
12	14	11	6
11,1±	13,6±	14,4±	8,7±
0,9	2,1	1,5	1,3
‘Acetic writhing’ test, (number of convulsions per 3 min.)			
Control	1,2-di-N-aspartyl-anthraquinone	1,2-di-N-glutamyl-anthraquinone	1,2-di-N-phenylalanyl-anthraquinone
3	4	8	6
3	4	6	7
6	7	6	0
1	1	4	10
8	1	4	4
4	0	1	6
5	4	9	5
4,3±	3±	5,4±	5,5±
0,9	0,9	1	1,1

As a result of *in vivo* researches it has been demonstrated that 3 researched compounds are promising as analgesic agents.

Thus, the possibility of directed modification of obtained anthracene derivatives on carboxyl group was researched.

Analgesic activity of alizarin derivatives which was not described before, has been established for the first time ever.

Optimal process parameters of reaction of N-aminoacid acylation of alizarin have been worked out for the first time ever. The influence of temperature, pH, reaction time and the presence of auxiliary components on chemical yield has been established.

The advantage of the developed methods is their single-stage nature, generally a precursor to significant decrease in self-cost of desired products of synthesis. Moreover, as the final purpose of alizarin modification was search for BAS, development of technology to obtain them based on initially non-toxic natural substances significantly decreases the risk of allergic reactions and other side effects during therapeutic use of them in future.

**References:**

1. Файн В.Я. 9,10-антрахиноны и их применение. – Москва: Фазис, 1999. – 92 с.
2. Музычкина Р.А., Корулькин Д.Ю. Модифицированные оксиантрахиноны и их биологическая активность. – в 4 т. – Москва: Фазис, 2010. – 1328 с.
3. Arnold U.W. Separation of nine thraquinones by high performance liquid chromatography // Z. Naturforsch. – 2005. – № 6. – P. 969–975.
4. Gupta S.K., Drug Screening Methods. – Kent: Anshan Publishers, 2009. – 682 p.

*Поступила 10 мая 2015 г.*

УДК 547.72

## ВЛИЯНИЕ МОНОСЛОЕВ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ИСПАРЕНИЕ ВОДЫ

Мусабеков К. Б., Сагымбай А. Б., Лахбаева Ж.А.

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан

e-mail: [kuanyshbek.musabekov@kaznu.kz](mailto:kuanyshbek.musabekov@kaznu.kz), [altinai\\_S@mail.ru](mailto:altinai_S@mail.ru), [jansaya2589@mail.ru](mailto:jansaya2589@mail.ru)

*Изучена кинетика испарения воды из ее свободной поверхности и при наличии на ней монослоев поверхностно-активных веществ (ПАВ) – олеата натрия, додецилсульфата натрия, смеси гексадецилового и октадецилового спиртов. Показано, что с повышением температуры в интервале от 293 К до 323 К испарение воды ускоряется. В присутствии соли (NaCl) этот процесс заметно (на 20-25%) замедляется. Водорастворимые ПАВ (олеат натрия и додецилсульфат натрия) не оказывают существенного влияния на скорость испарения даже в области высоких концентраций ПАВ. Через мономолекулярный слой смеси нерастворимых в воде неионогенных ПАВ - гексадецилового и октадецилового спиртов вода испаряется с меньшей скоростью. Из температурной зависимости скорости испарения воды, пользуясь уравнением Аррениуса, оценены энергии активации ( $E_a$ ) изучаемого процесса. Значения  $E_a$  оказались близкими к энергии водородных связей. Это свидетельствует о том, что лимитирующей стадией процесса испарения воды является разрыв водородных связей молекул воды, расположенных на поверхностных слоях.*

**Ключевые слова:** скорость испарения воды, монослой ПАВ, октадеканол, гексадеканол, энергия активации

*Судың булану кинетикасы оның бос бетінен және бетінде беттік активті заттар (БАЗ) – натрий олеаты, натрий додецилсульфаты, гексадецил және октадецил спирттерінің қоспасының моноқабаттары бар болғанда зерттелді. Температура 293 К-нен 323 К интервалында өсуінен судың булану жылдамдығы жоғарылайтыны көрсетілді. Тұздың (NaCl) қатысында бұл процесс әлдеқайда (шамамен 20-25%) төмендейді. Суда еритін БАЗ-дар (натрий олеаты, натрий додецилсульфаты) тіпті олардың жоғары концентрация аймағында да судың булану жылдамдығына әсер етпейді. Ал суда ерімейтін ионогенді емес БАЗ – гексадецил және октадецил спирт қоспаларының мономолекулалық қабаты арқылы судың булануы төменірек жылдамдықпен жүреді. Аррениус теңдеуін қолданып, судың булану жылдамдығының температуралық тәуелділігінен зерттеліп отырған процестің активтену энергиясы ( $E_a$ ) бағаланды.  $E_a$  мәні сутектік байланыс энергиясына жақын болды. Бұл жағдай су булану процесінің лимиттеуші сатысы беттік қабаттарда орналасқан су молекулаларының сутектік байланыстырының үзілуі болып табылатынын көрсетеді.*

**Тірек сөздер:** судың булану жылдамдығы, БАЗ моноқабаттары, октадеканол, гексадеканол, активтену энергиясы

*The kinetics of water evaporation from its free surface and in the presence of surfactants monolayer - sodium oleate, sodium dodecyl sulfate, a mixture of hexadecyl and octadecyl alcohols was studied. It was shown that with temperature increase in the range of 293 K to 323 K evaporation of water is accelerated. In the presence of salt (NaCl), this process significantly (20-25%) is slowed down. Water-soluble surfactants (sodium oleate and sodium dodecyl sulfate) have no significant effect on the rate of evaporation, even at high concentrations of surfactants. Through the monomolecular layer of water insoluble nonionic surfactants*

*mixture - hexadecyl and octadecyl alcohol, water evaporates at a slower rate. From the temperature dependence of the rate of water evaporation, using the Arrhenius equation, the activation energy ( $E_a$ ) of the studied process was estimated.  $E_a$  values were close to the energy of hydrogen bonds. This indicates that the limiting step of the water evaporation process is the break the hydrogen bonds of the water molecules on the surface layers.*

**Keywords:** *the rate of water evaporation, monolayers of surfactants, octadecanol, hexadecanol, sodium dodecylsulfate, sodium oleate, activation energy*

С развитием человеческого общества и увеличением народонаселения планеты возникла острая проблема - дефицит воды в мире. Эта проблема актуальна и для Республики Казахстан, в частности, проблема Аральского моря является глобальной. Согласно статистическим данным в 2012 году из-за испарения Аральского моря и вследствие использования воды реки Сырдарья для орошения море утратило  $12 \text{ км}^3$  воды, что создал отрицательный водный баланс моря. В связи с этим разработка оптимального способа использования водных ресурсов является актуальной задачей. Одним из эффективных методов рационального использования водных ресурсов является замедление скорости испарения воды из водоемов, в частности из Аральского моря, путём нанесения на ее поверхность мономолекулярного слоя нерастворимых ПАВ [1].

Изучение скорости испарения молекул воды через границу раздела вода/воздух, модифицированную амфифильными молекулами поверхностно-активных веществ (ПАВ) позволяет получить ценную информацию о физико-химических свойствах границы раздела фаз и об особенностях транспорта молекул воды через эту границу [2]. Из температурной зависимости скорости испарения молекул воды можно вычислить энергию активации процесса испарения воды, полезную для выяснения механизма изучаемого явления. В качестве амфифильных молекул для модификации границы раздела фаз вода/воздух изучены водорастворимые (катионные, анионные и неионогенные) [3], и водонерастворимые (длинноцепные спирты) ПАВ [4,5].

Установлено, что водорастворимые ПАВ хотя и формируют насыщенный адсорбционный слой на границе раздела вода/воздух, но не оказывают существенного влияния на скорость испарения воды [6]. В системе вода-этиленгликоль обнаружено снижение скорости испарения воды при достаточно высоких содержаниях этиленгликоля [7].

Однако исследованию влияния содержания соли в воде на скорость испарения ее и энергию активации этого процесса не уделено достаточное внимание.

В связи с этим в настоящей работе, с целью моделирования условия испарения воды из соленых озер, в частности из Аральского моря, изучено влияние соли на скорость испарения воды из ее свободной поверхности и из поверхности с мономолекулярным слоем ПАВ.

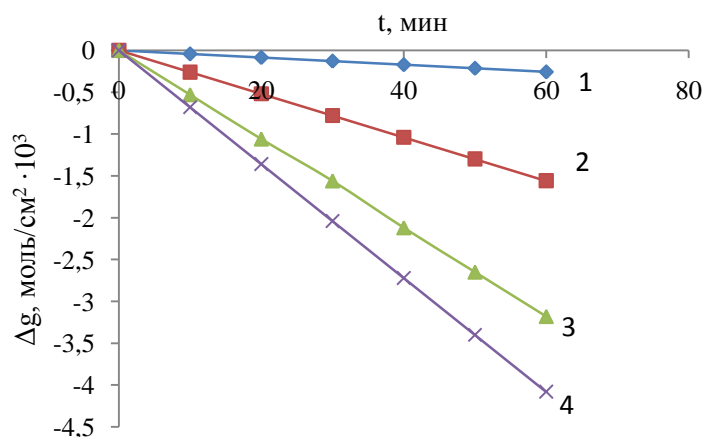
Экспериментальная часть. Кинетику испарения воды изучали весовым методом. В чашку Петри площадью  $\sim 56 \text{ см}^2$  наливали 50 г воды глубиной 0,7 см. Измерение веса чашки с водой производили на аналитических весах при температурах 293-323 К с точностью  $\pm 0,0001 \text{ г}$ . Термостатирование системы осуществляли с помощью термостата Lauda с точностью  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

В работе использовали дистиллированную воду. В качестве ПАВ использовали олеат натрия марки «х.ч.» производства ПО «Химфарм» (Казахстан); додецилсульфат натрия марки «х.ч.» производства «Merck» (Германия) без дополнительной очистки; смесь

гексадецилового и октадецилового спиртов производства «Sigma» (США) со степенью чистоты 95,5 %; хлорид натрия марки «х.ч.» производства ПО «Химфарм» (Казахстан).

Кинетику снижения веса чашки Петри с водой начали регистрировать после установления стационарного режима испарения воды (через 12-15 часов).

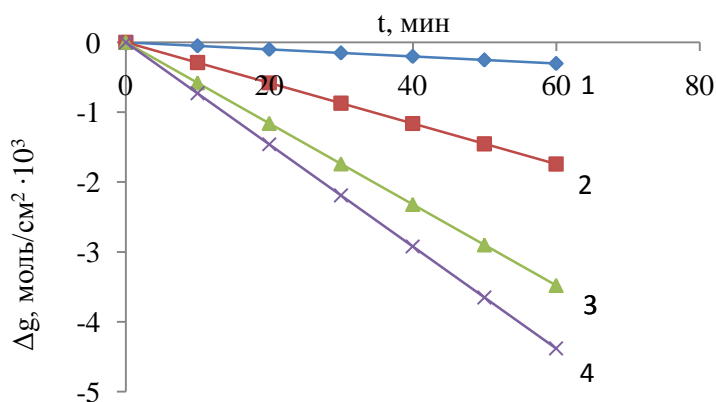
Результаты и их обсуждение. Изучено влияние температуры на испарение молекул воды из ее свободной поверхности. Эти данные использовались для сравнения со скоростью испарения воды при растворении в ней соли, а также при нанесении на ее поверхность монослоя ПАВ. Скорость испарения воды вычисляли из наклона кривых зависимости веса воды от времени её испарения в их прямолинейных участках и выражали в моль/см<sup>2</sup>·сек. Зависимость веса чашки от времени описывается идеальной прямой, наклон которой зависит от температуры (рисунок 1).



1 – 293К, 2 – 303К, 3 – 313К, 4 – 323К

Рисунок 1 – Изменение массы воды во времени при различных температурах

Аналогичные кривые были получены также для испарения воды, содержащей 30 % растворенную соль (NaCl) (рисунок 2). Во всех изученных системах наблюдается ускорение испарения воды с повышением температуры, хотя в присутствии соли этот процесс несколько (на 20-25 %) замедляется.

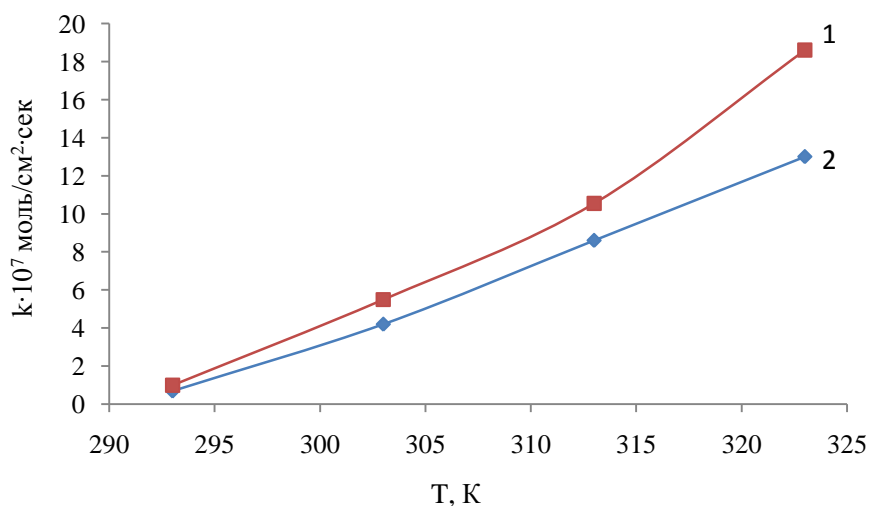


1 – 293К, 2 – 303К, 3 – 313К, 4 – 323К

Рисунок 2 – Изменение массы соленой воды от времени при различных температурах



На рисунке 3 представлена зависимость скорости испарения воды от температуры. Как видно из рисунка, с ростом температуры скорость испарения воды заметно повышается. Растворенная соль снижает интенсивность этого процесса вследствие уменьшения активности молекул воды. Водородная связь между молекулами воды слабее, чем ионно-дипольная связь в гидратах ионов. Вследствие этого чистая вода испаряется легче, чем соленая [8].



1 – дистиллированная вода, 2 – вода, содержащая 30 % NaCl

Рисунок 3 – Температурная зависимость скорости испарения воды

Изучение влияния ПАВ на этот процесс показало, что водорастворимые ПАВ (олеат натрия и додецилсульфат натрия) не оказывают заметного влияния на скорость испарения воды даже в области концентрации ПАВ, намного превышающей их ККМ, когда образуется насыщенный мономолекулярный слой [9]. Аналогичные данные были получены японскими учеными при исследовании влияния водорастворимых анионных, катионных и неионогенных ПАВ на скорость испарения воды [1]. Для объяснения отсутствия заметного влияния указанных ПАВ на кинетику испарения воды предложена новая модель адсорбционного слоя ПАВ, предполагающая формирование бислоя ПАВ не на самой границе раздела водный раствор/воздух, а несколько глубже – в приповерхностном слое [1]. Такой адсорбционный слой ПАВ не сможет оказать заметное влияние на скорость испарения воды.

Известно, что спирты с длинноцепными углеводородными радикалами (алканола-1), по сравнению с жирными кислотами и их перфторированными производными сильнее замедляют скорость испарения воды. Этот эффект по мнению авторов [1], обусловлен с одной стороны укрепляющим водородные связи между молекулами воды в поверхностных слоях действием карбоксильных групп ПАВ, а с другой – с большей по сравнению с гидроксильными группами гидрофильностью карбоксильных групп жирных кислот. Диссоциация последних в адсорбционных слоях воды может привести к разрушению стерического эффекта льдоподобной структуры воды и, таким образом, облегчению удаления молекул воды [10]. В связи с этим в данной работе для замедления скорости испарения соленой воды, на поверхность последней наносили мономолекулярный адсорбционный слой смеси гексадеканола и октадеканола (рисунок 4).

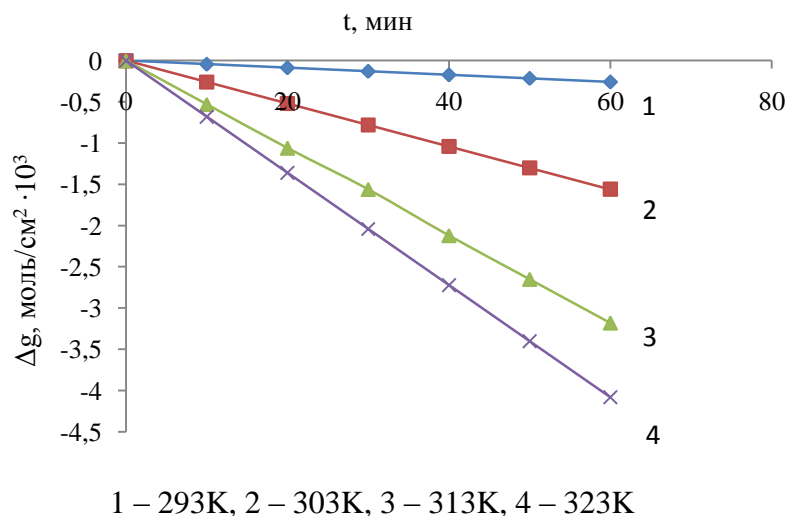


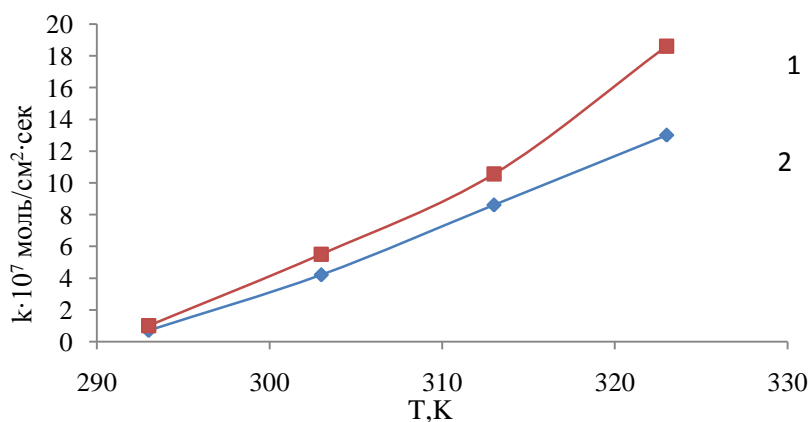
Рисунок 4 – Кинетика изменения массы воды, содержащей мономолекулярный адсорбционный слой смеси гексадеканола и октадеканола при различных температурах

Как видно из рисунков 4 и 5, указанные спирты заметно (на 10-12 %) снижают скорость испарения воды в присутствии соли. В рассматриваемой области концентрации упомянутые спирты, формируют двумерно-жидкие пленки [9].

Для получения дополнительной информации об особенностях испарения воды в зависимости от условий проведения эксперимента, из температурной зависимости  $\ln k$  от обратной температуры, пользуясь уравнением Аррениуса

$$\ln k = A - E_a/RT,$$

где  $k$  – скорость испарения из единицы поверхности ( $\text{моль} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ ),  $E_a$  – энергия активации (кДж/моль),  $T$  – абсолютная температура,  $R$  – газовая постоянная,  $A$  – произвольная константа, рассчитывали энергию активации процесса (таблица).



1 – дистиллированная вода, 2 – вода, содержащая 30 % NaCl

Рисунок 5 – Температурная зависимость скорости испарения воды через мономолекулярный адсорбционный слой смеси гексадеканола и октадеканола

Таблица – Энергии активации испарения воды при различных температурах

Т, К	293	303	313	323
$E_a$ вода, кДж/моль	53,0	51,5	49,0	47,5
$E_a$ соленая вода, кДж/моль	52,0	51,0	50,5	47,0
$E_a$ вода+ПАВ, кДж/моль	51,0	50,0	48,0	46,5
$E_a$ соленая вода + ПАВ, кДж/моль	50,5	50,0	47,0	46,0

Величины  $E_a$  включают энергии разрушения водородных связей молекул воды и сопротивления монослоя ПАВ удалению молекул воды из ее поверхности. Значения  $E_a$ , близкие к энергии водородных связей молекул воды, свидетельствуют об основной лимитирующей стадии процесса испарения воды – разрушение водородных связей. Следовательно, замедление скорости испарения воды через мономолекулярный слой рассматриваемых спиртов может быть связано с укреплением водородных связей в поверхностных слоях воды, а также ростом упакованности неполярных углеводородных цепей ПАВ в мономолекулярных адсорбционных слоях.

Таким образом, на основании изучения влияния ПАВ на процесс испарения воды показано, что водорастворимые ПАВ (олеиновая кислота и додецилсульфат натрия) не оказывают заметного влияния на скорость этого процесса, в то время как мономолекулярный адсорбционный слой смеси гексадеканола и октадеканола существенно снижает скорость испарения. Величины энергии активации ( $E_a$ ), оцененные из температурной зависимости скорости испарения воды, свидетельствуют о том, что лимитирующей стадией процесса является разрушение водородных связей молекул воды. Установлено незначительное уменьшение  $E_a$  с повышением температуры.

Мономолекулярные слои нерастворимых спиртов снижают скорость испарения, хотя на величину  $E_a$  существенного влияния не оказывают.

#### Литература:

1. Moroi Yo., Yamabe T., Shibata O., Yutaka Abe. Apparatus for Measuring the Evaporation Rate of Water across an Air/Water Interface // *Langmuir*. – 2000. – Vol. 16. – P. 9697–9698.
2. Humphry-Baker R., Gratzel M., Moroi Yo. Pyrene Fluorescence at Air/Sodium Dodecyl Sulfate Solution Interface // *Langmuir*. – 2006. – Vol. 22. – P. 11205–11207.
3. Nakahara H., Shibata O., Moroi Yo. Examination of Surface Adsorption of Sodium Chloride and Sodium Dodecyl Sulfate by Surface Potential Measurement at the Air/Solution Interface // *Langmuir*. – 2005. – Vol.21. – P. 9020 – 9022.
4. Fang X., Annamaria B. P., Lic H., Somasundaran P. Enhancement of water transport through the liquid–vapor interface by surfactants // *Soft Matter*. – 2012. – Vol. 8. – P. 8959–8964.
5. Tsuji M., Nakahara H., Moroi Yo., Shibata O. Water evaporation rates across hydrophobic acid monolayers at equilibrium spreading pressure // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2008. – Vol. 318. – P. 322–330.
6. Rusdi M., Moroi Yo., Nakahara H., Shibata O. Evaporation from Water-Ethylene glycol liquid Mixture // *Langmuir*. – 2005. – Vol. 21. – P. 7305–7310.
7. Семиохин И.А. Физическая химия. – Москва: ИПК «МГУ», 2001. – 272 с.

8. Абрамзон А.А., Бочаров В.В. и др. Поверхностно-активные вещества. – Ленинград: Химия, 1979. – 376 с.

9. Beverley K.J., John H. C., Fletcher D. I. Evaporation rates of structured and non-structured liquid mixtures // Phys. Chem. Chem. Phys. – 2000. – Vol. 2. – P. 4173–4177.

*Поступила 25 мая 2015 г.*

УДК 631.82:631.895: 631.547

## ТОПЫРАҚТАҒЫ КЕЙБІР МИКРООРГАНИЗМДЕР САНЫНА ЖӘНЕ ОНЫҢ ҚҰРАМЫНДАҒЫ ОРГАНИКАЛЫҚ ЗАТТАР МЕН ҚОРЕКТІК ЭЛЕМЕНТТЕРДІҢ ЖИНАҚТАЛУЫНА ФИТОБИОПРЕПАРАТТЫҢ ӘСЕРІ

<sup>1</sup>Ұсманов С., <sup>1</sup>Тойпасова Ұ. М., <sup>1</sup>Омарова Г. Т., <sup>2</sup>Реймов А. М., <sup>2</sup>Мячина О. В.

<sup>1</sup>«Ә.Б.Бектұров атындағы [имия ғылымдары институты] АҚ, Алматы, Қазақстан Республикасы

<sup>2</sup>ӨЗР ҒА Жалпы және бейорганикалық химия Институты, Ташкент, Өзбекстан Республикасы  
e-mail: tuljan@mail.ru

Топырақтың құнарлылығын сақтау мен қайта қалпына келтіру мемлекеттің өндірістік қауіпсіздігі мен халықтың әлеуметтік жағдайын көтеруді қамтамасыз ететін ең маңызды инновациялық мәселелердің бірі. Бұл мәселені шешу үшін минералды тыңайтқыштардың ПӘК-ін арттырумен қатар, өсімдікті қоректі заттармен толық қамтамасыз ететіндей, құрамындағы құнарлы элементтеріне қарай тыңайтқыштар ауқымын кеңейту керек және де өзіндік құндылығы төмен минералды тыңайтқыштар өндіру технологиясын жасау қажет.

Сондықтан бұл жұмыста алынған нәтижелер бойынша аммофос және карбамидпен салыстырғанда фитобиопрепаратпен байытылған органоминаралды тыңайтқыштарды пайдаланған нұсқаларда және олардың мөлшерін 2 есе азайтып пайдаланған нұсқаларда азот жинақтайтын (еркін өмір сүретін) микроорганизмдер саны 9-10 есе, фосфор жинақтайтын микроорганизмдер саны 2,1-3 есе артатыны, денитрификаторлар саны 1,7-2,5 есе, олиготрофтар саны 1,4-2,2 есе кемитіні және де өсімдік пен жәндік-жануарлар қалдықтарын ыдырататын бактериялар санының 1,15-1,27 артатыны анықталды. Сонымен, егер аммофостың  $P_2O_5$  ПӘК-і 20 %-дан аспайды десек, онда байытылған органоминаралды тыңайтқыштардағы  $P_2O_5$  қолдану мөлшерін азайту топырақтың фосфатталу үрдісін төмендетеді. Егер карбамидтегі азоттың ПӘК-і 30-32 % болса, ал қалған 70-68 %  $NO_2$  және  $NO$  түрінде атмосфераға бөлініп озон қабатын ыдыратады десек, онда байытылған органоминаралды тыңайтқыштардағы азоттың қолдану мөлшерін азайту қоршаған ортаның экологиялық жағдайын сақтап қалуға ықпал жасайды.

**Тірек сөздер:** фитобиопрепарат, микроорганизм, қарашірік, қоректі элементтер, топырақ.

Сохранение и восстановление почвенного плодородия является первостепенной инновационной задачей в обеспечении продовольственной безопасности государства и повышении благосостояния народа. Для этого необходимо повысить КПД минеральных удобрений, расширить их ассортимент по элементам с целью полноценного обеспечения растения питанием, разработать технологию получения туков с низкой себестоимостью.

Таким образом, по результатам, полученным в этой работе, в вариантах, где используется обогащенный аммофос и карбамид, а также в вариантах, где в 2 раза снижается норма их применения установлено, что количество азотфиксирующих (свободноживущих) микроорганизмов в 9-10 раз, а фосформобилизирующих микроорганизмов в 2,1-3 раза увеличивается, а количество денитрификаторов 1,7-2,5 раза, олиготрофов 1,4-2,2 раза уменьшается, а также повышается количество бактерий разлагающих животные и растительные остатки. Кроме того, если КПД  $P_2O_5$  аммофоса составляет только 20%, то снижение нормы применения обогащенного аммофоса уменьшает процесс зафосфачивания почв. Если считать что КПД азота в карбамиде составляет 30-32 %, а остальная часть 70-68 % в виде  $NO_2$  и  $NO$  выделяется в атмосферу, то снижение нормы применения обогащенного карбамида позволит улучшить экологическую ситуацию окружающей среды.

**Ключевые слова:** фитобиопрепарат, микроорганизм, гумус, питательные элементы, почва.

*Conservation and restoration of soil fertility is the primary task of innovation in ensuring food security of the state and welfare of the people. To do this, increase the efficiency of mineral fertilizers to expand their range of elements with a view to ensuring full power plant, to develop technology for the production of mineral fertilizers at low cost.*

*Thus, the results obtained in this work, in embodiments which use enriched ammonium phosphate and urea, as well as in embodiments where a two-fold reduced rate of application found that the amount of nitrogen-fixing (free-) microorganisms in 9-10 times, and phosphorus mobilizing microorganisms in 2,1-3 times increased, and the number of denitrifying 1.7-2.5 times oligotrophs 1.4-2.2 times decreases and increases the number of bacteria decomposing remains of animals and plant residues. In addition, if the efficiency of  $P_2O_5$  MAP is only 20%, the reduction in the rate of application of enriched MAP process reduces an excess of phosphorus of soil. If we assume that the efficiency of nitrogen in the urea is 30-32%, and the remainder of 70-68% in the form of  $NO_2$  and  $NO$  is released to the atmosphere, the reduction in the rate of application of enriched urea to improve the environmental situation of the environment.*

**Keywords:** *fitobiopreparat, microorganisms, humus, nutrients, soil.*

Топырақтың құнарлылығын сақтау мен қайта қалпына келтіру мемлекеттің өндірістік қауіпсіздігі мен халықтың әлеуметтік жағдайын көтеруді қамтамасыз ететін ең маңызды инновациялық мәселелердің бірі.

Микробиотыңайтқыштар мен биопрепараттарды қолдану кезіндегі факторларды, шығындардың өтелуі және алынатын өнімге әсерін талдап қарасак, өсімдіктерді қоректендіру мен қорғаудың дәстүрлі жолдары тиімсіз екендігі көрінеді. Сондықтан, әсіресе әлемдік экономикалық құлдырау кезеңінде, өсімдік шаруашылығында биопрепараттарды қолданудың мәні зор [1].

Бұрын Қазақстан топырағының құнарлығы біршама жоғары болатын, алайда соңғы жылдары бұл көрсеткіш төмендеген. Жел эрозиясы кесірінен топырақтың беткі қабаты жоғалып, тың өңірлердің топырақтарының ерекшеліктері ескерілмей игерілген. Құмды және сазды жерлердің топырақтары 4-5 жыл игерілген соң тұзданып, олар өсімдік шаруашылығы мақсатында қолдануға жарамсыз болып қалады, сонымен бірге топырақтың құнарлығы нашарлайды [2].

Қазіргі таңда Қазақстанда ауыл шаруашылығы ресурстарымен (соның ішінде сапалы минералдық тыңайтқыштар мен өсімдіктерді қорғау препараттары) қамтамасыз ету тұрақсыз болғандықтан биологиялық факторларды толықтай пайдалану өзекті мәселе болып отыр. Ал бұл өз кезегінде ауыл шаруашылығы өндірісін экологизациялаудың маңызды буындарының бірі бола отырып, топырақ құнарлығын қалпына келтіріп, жоғары сапалы көп өнім алуға мүмкіндік береді.

Өсімдіктердің өсіп жетілуіндегі тыңайтқыштардың үлесі 5 %-дан аспайды, ал қалған 95 % топырақ ресурстарына тиесілі. Сондықтан топырақ құнарлығын сақтау мақсатындағы агротехникалық шаралардың бірі - өсімдіктерді өсіру мен қорғауда биологиялық препараттарды басым мөлшерде қолданудың интеграциялық жүйесі қажет.

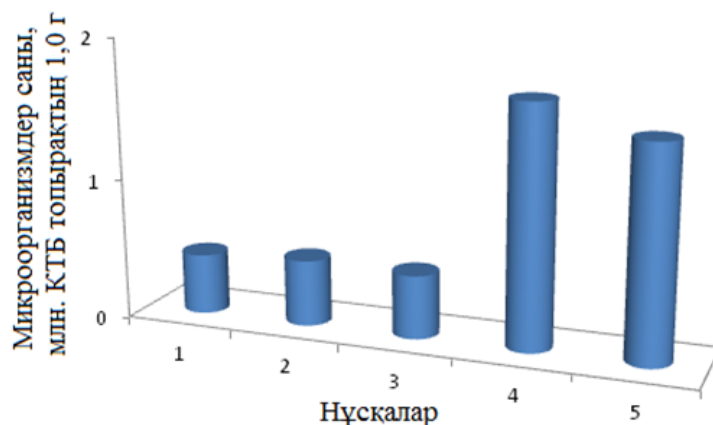
Осы мақсатпен модельдік топырақ үлгілерінде аммофос, карбамид және фитобиопрепараттар негізінде алынған органоминералды тыңайтқыштардың қарашіріктің түзілуін, өсімдіктердің қоректенуін және топырақ азотының ыдырауын қамтамасыз ететін топырақ микроорганизмдерінің санына әсері зерттелді.

Зерттеу үшін құрамында өсімдік қалдықтары бар мақта егілген топырақ қолданылды. Топырақтың химиялық құрамы: N – 22,5 мг/кг топырақ;  $P_2O_5$  – 15,3 мг/кг топырақ; қарашірік – 1,3 %.

Модельдік топырақ үлгілері аммофос, карбамид және фитобиопрепараттар негізінде алынған органоминералды тыңайтқыштарды мақта қалдықтары бар топыраққа салып араластыру арқылы дайындалды. Топырақ үлгісі 17 масс.% мөлшерде ылғалдандырып, 20-25 °С температурада 30 күн бойы сақталды. Әрбір 3 күн сайын топырақ ылғалдығы 17 масс.% болатындай етіп ылғалдандырылды.

Топырақтың микробиологиялық зерттеу жұмыстары 30 тәулік өткеннен соң жүргізіліп, ал қоректік элементтер мен қарашірік анализі әрбір 10 тәулік сайын жасалды.

1-5 Суреттерде аммофос, карбамид және фитобиопрепараттар негізінде алынған органоминералды тыңайтқыштардың топырақ микроорганизмдерінің санына әсері көрсетілген.



1 – бақылау – мақта қалдықтары бар топырақ; 2 – бақылау мен аммофос; 3 – бақылау мен карбамид; 4 – бақылау, аммофос және фитобиопрепарат; 5 – бақылау, карбамид және фитобиопрепарат

1-сурет – Аммофос, карбамид және фитобиопрепарат негізінде алынған органоминералды тыңайтқыштардың азотжинақтаушы микроорганизмдердің (еркін өмір сүретін) санына әсері

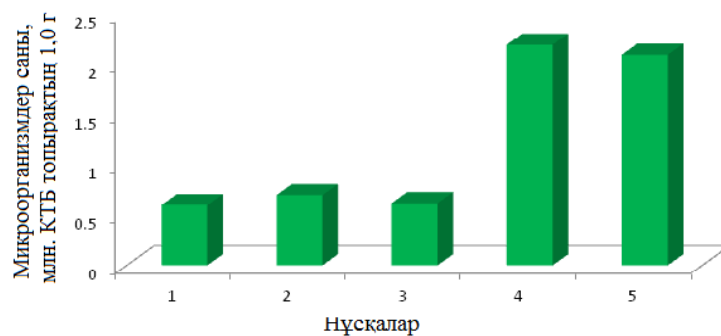
Алынған мәліметтер бойынша:

- аммофос пен карбамид азотжинақтаушы (еркін өмір сүретін) бактериялардың (1-сурет) санына іс жүзінде әсер етпейді, ал байытылған органоминералды тыңайтқыштар олардың санын 3,5-3,9 есе арттырады;

- органоминералды тыңайтқыштар аммофоспен салыстырғанда фосфор-жинақтаушы бактериялар (2-сурет) санын 3,3-3,5 есе арттырады;

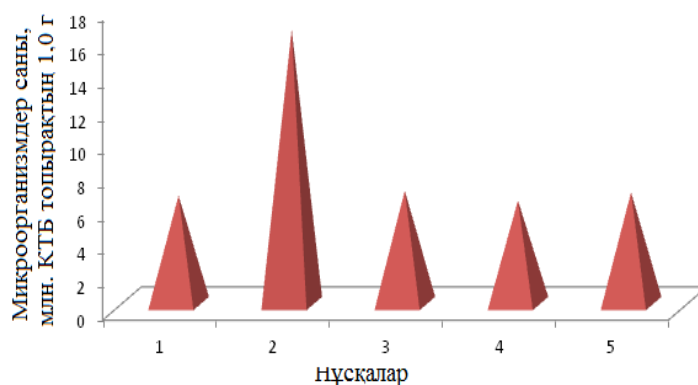
- аммофосты қолданған кезде топырақтың нитратты азотын ыдырататын, қарашірікті минералдайтын денитрификаторлар (3-сурет) мен олиготрофтар (4- сурет) саны бақылаумен салыстырғанда 2,5-2,6 есе, ал байытылған органоминералды тыңайтқыштар кезінде 1,9-2,1 есе кемиді;

- өсімдіктер қалдықтарын ыдыратып, басқада қарашірік түзілу үрдістерін қамтамасыз ететін гетеротрофты бактериялар мен ашытқы саңырауқұлақтар (5-сурет) санын органоминералды тыңайтқыштар аммофоспен салыстырғанда 1,2-1,3 есе, ал бақылаумен салыстырғанда 1,5-1,6 есе көбейтеді.



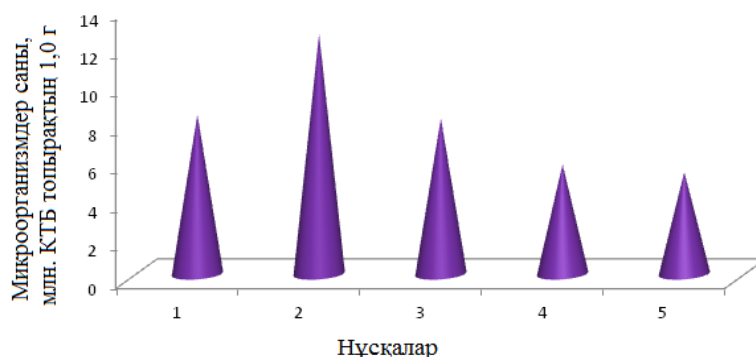
1 – бақылау – мақта қалдықтары бар топырақ; 2 – бақылау мен аммофос; 3 – бақылау мен карбамид; 4 – бақылау, аммофос және фитобиопрепарат; 5 – бақылау, карбамид және фитобиопрепарат

2-сурет – Аммофос, карбамид және фитобиопрепарат негізінде алынған органоминералды тыңайтқыштардың фосфоржинақтаушы микроорганизмдердің санына әсері



1 – бақылау – мақта қалдықтары бар топырақ; 2 – бақылау мен аммофос; 3 – бақылау мен карбамид; 4 – бақылау, аммофос және фитобиопрепарат; 5 – бақылау, карбамид және фитобиопрепарат

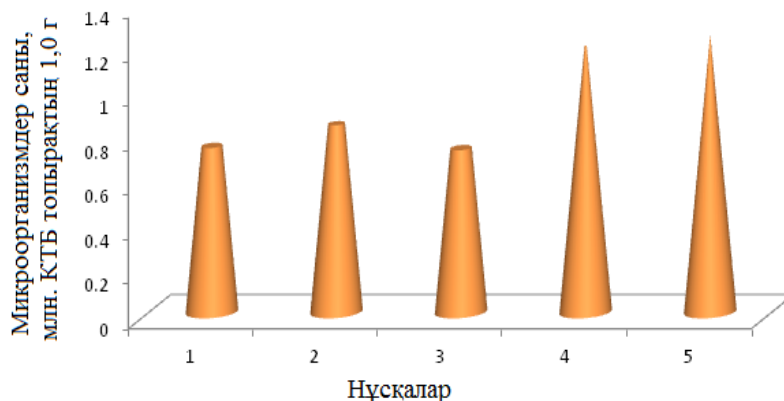
3-сурет – Аммофос, карбамид және фитобиопрепарат негізінде алынған органоминералды тыңайтқыштардың денитрификаторлар санына әсері



1 – бақылау – мақта қалдықтары бар топырақ; 2 – бақылау мен аммофос; 3 – бақылау мен карбамид; 4 – бақылау, аммофос және фитобиопрепарат; 5 – бақылау, карбамид және фитобиопрепарат

4-сурет – Аммофос, карбамид және фитобиопрепарат негізінде алынған органоминералды тыңайтқыштардың олиготрофтар санына әсері

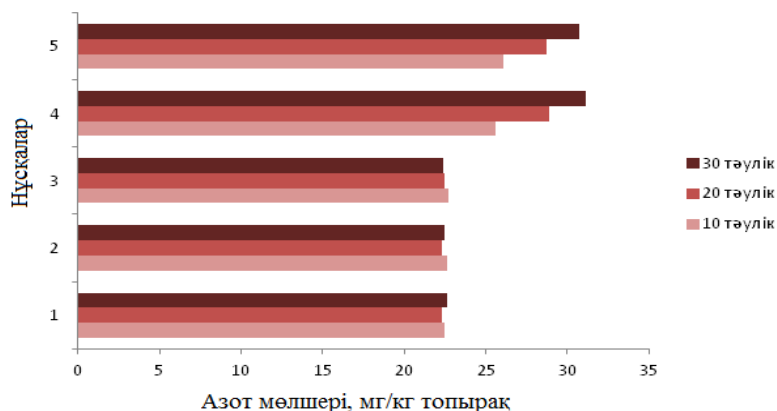




1 – бақылау – мақта қалдықтары бар топырақ; 2 – бақылау мен аммофос; 3 – бақылау мен карбамид; 4 – бақылау, аммофос және фитобиопрепарат; 5 – бақылау, карбамид және фитобиопрепарат

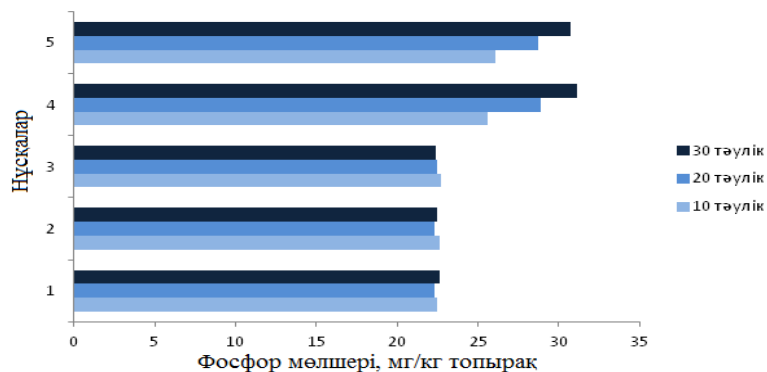
5-сурет – Аммофос, карбамид және фитобиопрепарат негізінде алынған органоминералды тыңайтқыштардың гетеротрофты бактериялар мен ашытқы саңырауқұлақтар санына әсері

6-8 Суреттерде қоректік элементтер мен қарашіріктің мөлшері туралы мәліметтер көрсетілген. Фитобиопрепараттар негізінде байытылған органоминералды тыңайтқыштар тәжірибе соңында топырақта оңай гидролизденетін азотты 35-37 % (6 сурет), фосфор пентаоксидінің жылжымалы түрін 30-32 % (7 сурет) және қарашірікті – 0,05 % (2 т/га) (8 сурет) жинақтайды, бұл азотжинақтайтын, фосфоржинақтайтын және өсімдік қалдықтарын ыдырататын топырақ микроорганизмдерінің санының артуымен түсіндіріледі.



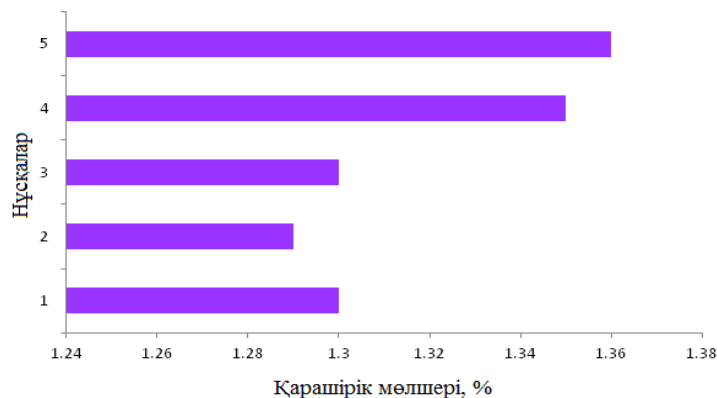
1 – бақылау – мақта қалдықтары бар топырақ; 2 – бақылау мен аммофос; 3 – бақылау мен карбамид; 4 – бақылау, аммофос және фитобиопрепарат; 5 – бақылау, карбамид және фитобиопрепарат

6-сурет – Топырақтың модельдік үлгілеріндегі жеңіл гидролизденетін азоттың орташа мөлшері



1 – бақылау – мақта қалдықтары бар топырақ; 2 – бақылау мен аммофос;  
 3 – бақылау мен карбамид; 4 – бақылау, аммофос және фитобиопрепарат; 5 – бақылау, карбамид және фитобиопрепарат

7-сурет – Топырақтың модельдік үлгілеріндегі жылжымалы фосфор пентаоксидінің орташа мөлшері



1 – бақылау – мақта қалдықтары бар топырақ; 2 – бақылау мен аммофос; 3 – бақылау мен карбамид; 4 – бақылау, аммофос және фитобиопрепарат; 5 – бақылау, карбамид және фитобиопрепарат

8-сурет – Топырақтың модельдік үлгілеріндегі қарашіріктің орташа мөлшері (30-шы тәулік)

Алынған нәтижелер бойынша аммофос және карбамидпен салыстырғанда фитобиопрепаратпен байытылған органоминаралды тыңайтқыштарды пайдаланған нұсқаларда және олардың мөлшерін 2 есе азайтып пайдаланған нұсқаларда азот жинақтайтын (еркін өмір сүретін) микроорганизмдер саны 9-10 есе, фосфор жинақтайтын микроорганизмдер саны 2,1-3 есе артатыны, денитрификаторлар саны 1,7-2,5 есе, олиготрофтар саны 1,4-2,2 есе кемитіні және де өсімдік пен жәндік-жануарлар қалдықтарын ыдырататын бактериялар санының 1,15-1,27 артатыны анықталды.

Сонымен, егер аммофостың  $P_2O_5$  ПӘК-і 20 %-дан аспайды десек, онда байытылған органоминаралды тыңайтқыштардағы  $P_2O_5$  қолдану мөлшерін азайту топырақтың фосфатталу үрдісін төмендетеді. Егер карбамидтегі азоттың ПӘК-і 30-32 % болса, ал қалған 70-68 %  $NO_2$  және  $NO$  түрінде атмосфераға бөлініп озон қабатын ыдыратады десек, онда байытылған

органоминералды тыңайтқыштардағы азоттың қолдану мөлшерін азайту қоршаған ортаның экологиялық жағдайын сақтап қалуға ықпал жасайды.

**Әдебиеттер Тізімі:**

1. Усманов С. Биопрепараты и биоудобрения, плодородие почв, урожай. Сообщение 1. Микробиоудобрение МЭРС – основа повышения потенциала агроландшафта почв и урожайности сельскохозяйственных культур на 35,0–50,0 %, получения экологически чистой продукции растениеводства с низкой себестоимостью. – Алматы, 2006 г. – 121 с.

2. Почвенные ресурсы Казахстана [http://ekonom-priroda.ru/voprosy-po-predmetu-ekologiya/215-pochvennye\\_resursy\\_kazahstana.html](http://ekonom-priroda.ru/voprosy-po-predmetu-ekologiya/215-pochvennye_resursy_kazahstana.html)

*Поступила 19 мая 2015 г.*

УДК 631.82:631.895: 631.547

## ФИТОБИОПРЕПАРАТ НЕГІЗІНДЕ БАЙЫТЫЛҒАН ОРГАНОМИНЕРАЛДЫ ТЫҢАЙТҚЫШТАРДЫҢ АГРОХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІГІН МАҚТА ЕГІСТІГІНДЕ ЗЕРТТЕУ

<sup>1</sup>Ұсманов С., <sup>1</sup>Тойпасова Ұ. М., <sup>2</sup>Омарова Г. Т., <sup>2</sup>Мыңжасарова Г. Ө., <sup>3</sup>Закиров Б. С.

<sup>1</sup>«Ә.Б.Бектұров атындағы Химия ғылымдары институты» АҚ, Алматы,  
Қазақстан Республикасы

<sup>2</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы

<sup>3</sup>ӨзР ҒА Жалпы және бейорганикалық химия Институты, Ташкент,  
Өзбекстан Республикасы  
e-mail: tuljan@mail.ru

Бұл жұмыста зерттелген фитобиопрепаратпен байытылған минералды тыңайтқыштардың агрохимиялық және экономикалық тиімділігі өте зор, яғни минералды тыңайтқыштармен салыстырғанда байытылған тыңайтқыштар қолданған кезде 1,2-1,7 ц/га қосымша өнім алуға болатыны анықталды. Фитобиопрепаратпен байытылған тыңайтқыштардың экономикалық тиімділігін минералды тыңайтқыштармен салыстырып қарастыратын болсақ, аммофосты және фитопрепаратпен байытылған аммофосты қолданған кезде өзіндік құнының және оларды қолдану мөлшерінің төмендігі есебінен экономикалық тиімділігі – 3820 және 4510 тенге/га болады, ал қосымша өнім есебінен – 9000 және 5250 тенге/га құрады, сонымен қатар карбамидті және фитобиопрепаратпен байытылған карбамидті қолданған кезде өзіндік құнының және оларды қолдану мөлшерінің төмендігі есебінен экономикалық тиімділігі 3820 және 10310 тенге/га болады, ал қосымша өнім есебінен 12750 және 3750 тенге/га құрайды.

Бүгінгі таңда минералды тыңайтқыштардың өзіндік құнының және бағасының жоғары болуы оларды ауылшаруашылық заттарды өндірушілерге толық көлемде қолдануға мүмкіндік тугызбай тұр. Бұл жұмыстағы көтерілген мәселе, яғни тыңайтқыштар мөлшерін азайтудың ғылыми мәні өте зор.

**Тірек сөздер:** фитобиопрепарат, органоминералды тыңайтқыш, аммофос, агрохимиялық тиімділік, экономикалық тиімділік.

Исследованные в данной работе обогащенные фитобиопрепаратом минеральные удобрения в сравнении с минеральными удобрениями без обогащения показывают высокие агрохимические и экономические показатели, то есть позволяют получить дополнительный урожай до 1,2-1,7 ц/га. Экономический эффект на единицу посевной площади за счет снижения нормы использования обогащенного аммофоса в 2-3 раза и дополнительного урожая в сравнении с аммофосом без обогащения при ее полной норме применения на посевах хлопчатника составляет 3820 - 9000 тенге/га. Экономический эффект на единицу посевной площади за счет снижения нормы использования обогащенного карбамида в 2 раза, а также дополнительного урожая в сравнении с карбамидом без обогащения при их полной норме применения на посевах хлопчатника составил 37450 тенге/га.

Высокая себестоимость и отпускная цена не позволяют производителям сельскохозяйственных товаров в полном объеме использовать минеральные удобрения. Снижение нормы применения туков, представленных в данной работе, имеет большое научное значение.

**Ключевые слова:** фитобиопрепарат, органоминеральное удобрение, аммофос, агрохимическая, экономическая эффективность.

*Studied in this paper enriched phytopreparation fertilizers compared with mineral fertilizers without enrichment show high agrochemical and economic indicators, that is possible to obtain an additional yield of up to 1.2-1.7 t / ha. The economic effect per unit of cultivated area by reducing the rate of use of the enriched ammonium phosphate 2-3 times and additional yield compared with ammophos without enrichment when it is fully normal use on cotton crops of 3820 - 9000 tenge / ha. The economic effect per unit of cultivated area due to lower utilization rates of urea enriched 2-fold, as well as additional yield compared with urea without enrichment with the full rate application on cotton was 37450 tenge / ha.*

*The high cost and the selling price does not allow agricultural producers to make full use of mineral fertilizers. Reducing the use of the fat standards presented in this paper is of great scientific importance.*

**Keywords:** *phytotobiopreparat, organic fertilizer, ammonium phosphate, agrochemical, cost-effective.*

XXI Ғасыр биотехнология ғасыры. Қазіргі таңда дамыған елдерде құны дәстүрлі өсіру технологиялары бойынша өсірілген азық-түлік құнынан 70,0 - 100,0 % қымбат болса да экологиялық таза өнімдер өндірісіне қызығушылық артып отыр [1]. Сондықтан ауылшаруашылығы өнімдерін өсіру мақсатында биопрепараттар мен микробиотыңайтқыштар қарқынды түрде қолданылуда. Олар топырақ микроорганизмдерінің көбеюіне қолайлы жағдай жасай отырып, өсімдіктер сініре алмайтын топырақ тұздарын іске қосады және атмосфералық азотты фиксациялау арқылы өсімдіктерді қосымша қоректік элементтермен қамтамасыз етеді.

Ауыл шаруашылығы мен тамақ өндірісінде қолданылып отырған биотехнологияның әлемдік нарығы 2005 жылы 45,0 млрд. АҚШ долларына бағаланып, жылына 20,0 - 30,0 %-ға өсіп отыр.

Қазақстан дүниежүзі бойынша дәнді дақылдардан тиімді өнім алу бойынша төменгі сатыларда тұр [2, 3]. Жайылым жерлердің деградациясынан келетін шығын жылына \$ 963,2 млн. Шабындық жерлер эрозиясынан жоғалатын пайда жылына - \$779 млн. Қайта тұзданған жер көлемі 100 мың га, осының нәтижесінде жылына \$375 млн. пайда жоғалады.

Жыл сайын Қазақстан топырағының қарашірігін жоғалтуы \$2,5 млрд.-қа бағаланады, ал бұл кездегі өсімдік өнімдерін пайдалану көлемі \$2 млрд.-дан аспайды.

Қазақстандық ауыл шаруашылық тауарөндірушілерінің аз және тұрақсыз өнім алу, өнімнің алғашқы құнының жоғарылығы, мал азығының жетіспеушілігі, өнім сапасының нашарлауы, топырақ құнарлығының төмендеуі және қоршаған ортаның ластануы сияқты мәселелері бар. Осыдан келіп шаруашылық рентабельдігінің төмендігі, жалақының аздығы және адам өміріне қауіпті жағдайлар туындайды. Бұл мәселелерді шешудің тиімді жолдарының бірі кешенді әсері бар биопрепараттарды қолдана отырып, жерді игерудің экологиялық қауіпсіз жүйесін таңдау.

Құрамында фитобиопрепараты бар органоминералды тыңайтқыштар аммофос және карбамид түйіршіктерінің бетіне фитобиопрепаратпен бірге 0,1 масс.% беттік активті затты (БАЗ) (натрий лаурилсульфонаты) бүрку арқылы алынады. Фитобиопрепарат негізінде байытылған органоминералды тыңайтқыштардың сипаттамасы 1-кестеде көрсетілген.

Бұл тыңайтқыштардың агрохимиялық, экологиялық және экономикалық тиімділігі ОҚО Мақтаарал ауданы «Хазрат-Али-Ақбар» ЖШС-нің ауылшаруашылық өндірістік алаңдарында мақта өсіру кезінде зерттелді.

1-кесте – Құрамында фитобиопрепараты бар органоминералды тыңайтқыштардың сипаттамасы

Көрсеткіштер	Мөлшері, %	
	Байытылған аммофос	Байытылған карбамид
Құрғақ затқа шаққандағы жалпы азоттың массалық үлесі	9,4-9,8	45-46
Сіңірімді фосфаттың массалық үлесі	43,4-44,9	-
Фитобиопрепараттың массалық үлесі	1,0	1,0
Жабықшы БАЗ-тың массалық үлесі	0,1	0,1
Судың массалық үлесі	0,5	0,2

\* Ескерту: Салыстыру үшін бастапқы ылғалдылығы 0,5% аммофос және 0,2% карбамид алынған

Екі өндірістік-демонстрациялық тәжірибе екі қайталанып қойылды, бір қатар етіп отырғызылды, арықтардың ауданы 0,7 га: №1 тәжірибе – 5,6 га, №2 тәжірибе - 4,2 га. Тәжірибелік алаңның алғашқы жыртылуы 2013 ж. 7 желтоқсанда жүргізілді. Арықтарды 2014 ж. 14 сәуірде дайындап, ізінше 2 қайтара қопсыту жұмыстары жүргізілді. Аммофос, карбамид және фитобиопрепаратпен байытылған органоминералдық тыңайтқыштар 2014 ж. 14 сәуірде тұқымды себу алдында арықтарды дайындау кезінде берілді.

Мақта тұқымының сорты Мақтаарал-4005, бірінші репродукция. Мақта өсірудің егістік тәжірибесінің схемасы 2-кестеде көрсетілген.

2-кесте – Мақта өсірудің егістік тәжірибесінің схемасы

Нұсқалар	Карбамид, кг/га	Аммофос, кг/га	Фитобиопрепаратпен байытылған органоминералды тыңайтқыш, кг/га
1	2	3	4
№ 1 тәжірибе			
1. Бақылау		-	-
2. Эталон 1 – аммофос, 383 (46 кг N) кг/га		100	-
3. Аммофос, 383 (46 кг N) кг/га, + фитобиопрепарат, 2 л/га		383	383
4. Аммофос, 191,5 (23 кг N) кг/га, + фитобиопрепарат, 2 л/га		191,5	191,5
№ 2 тәжірибе			
5. Эталон 2 - карбамид, 100 (46 кг N) кг/га	100		-
6. Карбамид, 100 (46 кг N) кг/га, + фитобиопрепарат, 2л/га	100		100
7. Карбамид, 50 (23 кг N) кг/га, + фитобиопрепарат, 2 л/га	50		50

3-кестеде мақтаның өсіп жетілуі мен өнімі жайлы мәліметтер көрсетілген. 383 кг/га аммофосты қолдану кезінде бақылауға қарағанда өсімдіктің негізгі дінгегі, гүлдер саны, жеміс беретін дінгектері, қауашақтары және соған сәйкес алынатын өнім жақсы болды. Қосымша өнім 9,1 ц/га құрады.

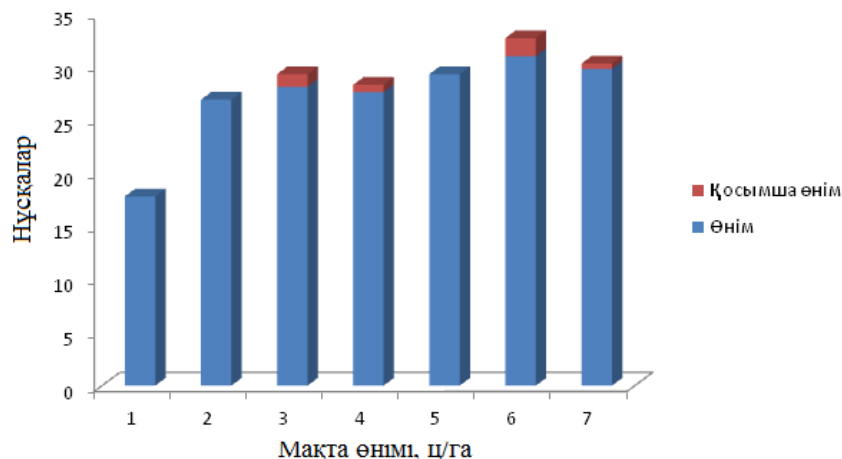
3-кесте – Мақтаның өсіп жетілуі мен өнімі жайлы мәліметтер

Нұсқалар	Негізгі дінгектің биіктігі, см		Гүлдер саны, дана	Жеміс беретін дінгектер саны, дана	Қауашақтар саны, дана	Өнім, ц/га	Эталонға қосылған өнім	
	1.06.14	1.09.14					1.07.14	1.08.14
мерзімі	1.06.14	1.09.14	1.07.14	1.08.14	1.09.14	20.10.14		
№ 1 тәжірибе								
1	9,5	59,7	4,1	4,0	4,2	17,8	-	-
2	11,5	65,3	4,5	5,2	6,5	26,9	-	-
3	12,7	67,7	4,7	5,4	6,6	28,1	1,2	4,4
4	12,8	67,6	4,6	5,4	6,6	27,6	0,7	2,6
№ 2 тәжірибе								
5	12,5	66,7	6,2	6,0	7,0	29,3	-	-
6	12,8	68,2	6,8	6,2	7,5	31,0	1,7	5,8
7	12,7	68,1	6,5	6,0	7,4	29,8	0,5	1,7

Тәжірибенің 1 нұсқасы, яғни N 46 кг/га эквивалентті мөлшері аммофостың 383 кг/га тең минералдық тыңайтқыш қолданылған мақта егістігінің фенологиялық бақылауы мен өнімділігі бойынша мәліметтер бұл тыңайтқыштың көрсеткіштерінің жақсы екендігін дәлелдейді. Нәтижесінде аммофос қолданған нұсқада 26,9 ц/га мақта өнімі болса, алынған байытылған тыңайтқышты қолданған кезде 28,1 ц/га мақта өнімі алынды, яғни қосымша өнім 1,2 ц/га тең. Аммофостағы N толық мөлшерін қолданғанға қарағанда тыңайтқыштағы N-ң мөлшерін 2 есе азайта отырып, өнімнің мөлшерін 0,7 ц/га көтеру, байытылған органоминаралдық тыңайтқыштардың тиімділігі жоғары екендігін көрсетеді.

Мақта өнімділігінің жоғарлауындағы осындай заңдылық карбамид және фитобиопрепаратпен байытылған органоминаралды тыңайтқышты (2 тәжірибе) қолданған кезінде де байқалды. Азоттың бірдей мөлшерінде (46 кг/га) байытылған органоминаралды тыңайтқыштың карбамидпен салыстырғанда 1,7 ц/га қосымша өнім алуға және қоректік заттардың мөлшерін 2 есе 0,5 ц/га төмендететіндігі дәлелденді. Фитобиопрепаратпен байытылған органоминаралды тыңайтқыштардың экономикалық көрсеткіштері 1, 2 суреттерде көрсетілген.

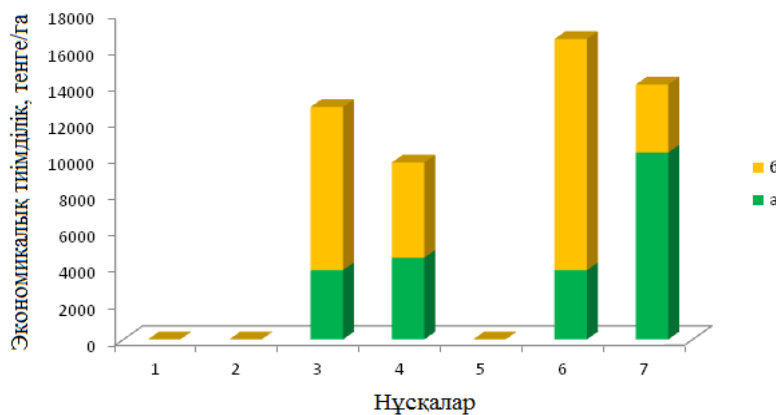
1-Сурет бойынша егер (1 тәжірибе) бақылау нұсқасында мақта өнімі 17,8 ц/га, ал аммофосты эталон ретінде қолданған кездегі өнім 26,9 ц/га болды. Фитобиопрепаратпен байытылған органоминаралдық тыңайтқышты қолданған кезде аммофоспен салыстырғанда қосымша өнім 0,7-1,2 ц/га.



1 – бақылау; 2 – аммофос, 383 (46 кг N) кг/га; 3 – аммофос, 383 (46 кг N) кг/га + фитобиопрепарат, 2 л/га; 4 – аммофос, 191,5 (23 кг N) кг/га + фитобиопрепарат, 2 л/га; 5 – карбамид, 100 (46 кг N) кг/га; 6 – карбамид, 100 (46 кг N) кг/га, + фитобиопрепарат, 2л/га; 7 – карбамид, 50 (23 кг N) кг/га + фитобиопрепарат, 2 л/га

1-сурет - Мақта өнімі

Сонымен, экономикалық тиімділік фитобиопрепаратпен байытылған тыңайтқыштардың өзіндік құнының және оларды қолдану мөлшерінің төмендігі есебінен 3820 және 4510 тенге/га болады, ал қосымша өнім есебінен 9000 және 5250 тенге/га (2-сурет) құрады.



а – өзіндік құнының және минералдық тыңайтқыш мөлшерін азайту есебінен; б – қосымша өнім есебінен

1 – бақылау; 2 – аммофос, 383 (46 кг N) кг/га; 3 – аммофос, 383 (46 кг N) кг/га, + фитобиопрепарат, 2 л/га; 4 – аммофос, 191,5 (23 кг N) кг/га, + фитобиопрепарат, 2 л/га; 5 – карбамид, 100 (46 кг N) кг/га; 6 – карбамид, 100 (46 кг N) кг/га + фитобиопрепарат, 2л/га; 7 – карбамид, 50 (23 кг N) кг/га + фитобиопрепарат, 2 л/га

2-сурет – Фитобиопрепаратпен байытылған органоминералды тыңайтқыштардың эталонмен салыстырғандағы экономикалық тиімділігі

2 Тәжірибенің нәтижелері 1 тәжірибедегі зерттеулер нәтижесіне сәйкес. Бұндағы



экономикалық тиімділік фитобиопрепаратпен байытылған тыңайтқыштардың өзіндік құнының және оларды қолдану мөлшерінің төмендігі есебінен 3820 және 10310 тенге/га болады, ал қосымша өнім есебінен 12750 және 3750 тенге/га құрады.

**Әдебиеттер тізімі:**

1. Петров В.Б., Чеботарь В.К., Казаков А.Е. "Микробиологические препараты в биологизации земледелия России". – Санкт-Петербург: ГНУ Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии, 2005г. – 25 с.
2. Усманов С., Идрисов Д.А., Елешев Р.Е., Махмудов Р.У., Калкабаева А.М. Восстановление плодородия почв, защита и питание растений. Стратегическая политика ТОО «Агропромышленный концерн «Сункар»» в решении проблем. – Алматы, 2003. – 404 с.
3. Усманов С. Стратегия развития производства применения удобрений. – Алматы: Олжа, 2008. – 72 с.

*Поступила 19 мая 2015 г.*

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 004.04:629.7

### ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ И ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Исмаил Е. Е.**

*ДТОО «Институт космической техники и технологий» АО НЦКИТ, Алматы,  
Республика Казахстан  
e-mail: [ismaile@rambler.ru](mailto:ismaile@rambler.ru)*

*В настоящей статье рассматриваются вопросы обеспечения качества программных средств космического назначения (ПСКН). С целью установления особенностей и требований к качеству ПСКН проведена их классификация с учетом их назначения, условий эксплуатации, требований к надежности, безопасности и др. Проанализированы особенности ПСКН критического применения. Обоснованы общие требования и принципы обеспечения качества ПСКН.*

**Ключевые слова:** *программное средство, космическая система, качество, безопасность, особенности, категория критичности, требования, принципы обеспечения качества.*

*Бұл мақалада гарьш мақсаттағы бағдарламалық құралдардың (ҒМБҚ) сапасын қамтамасыз ету мәселелері қарастырылады. ҒМБҚ сипаттамалары мен қойылатын талаптарды анықтау мақсатында олардың қолдану мақсатын, жұмыс істеу жағдайларын, сенімділігін, қауіпсіздігін және т.б. ескере отырып классификациясы ұсынылған. Қауіпсіздікке өте манызды ҒМБҚ ерекшеліктері талқыланды. ҒМБҚ сапасын қамтамасыз етудің жалпы талаптар және қағидаттары негізделген.*

**Тірек сөздер:** *бағдарламалық құрал, гарьш системасы, сапа, қауіпсіздік, ерекшеліктер, қауіпсіздік категориясы, талаптар, сапасын қамтамасыз ету қағидаттары.*

*The given article considers the issues of quality assurance of software for space application (SSP). In order to establish the characteristics and requirements for the quality SSP have been done classification in accordance with their purpose, operating conditions, the requirements for reliability, safety and others. The analyses are carried out on peculiarities of the SSP critical applications. The general requirements and principles of quality assurance SSP are justified.*

**Keywords:** *software, space systems, quality, safety, feature, category criticality requirements, principles of quality assurance.*

Как показывает практика, высокий уровень зависимости выполнения космической системой основной целевой функции и безопасности от используемого в ней программного обеспечения порождает необходимость придания применяемым программным средствам заданных свойств качества и безопасности, способности противостоять разрушению, нарушениям функционирования системы, сбоям. Ситуация еще более усложняется, когда речь идет о критичном программном обеспечении, от правильного функционирования которого напрямую зависит успешность выполнения миссии и безопасность космической системы. К качеству и надежности подобного программного обеспечения (программных средств космического назначения - ПСКН), предъявляются особо высокие требования.

Особенности и характеристики качества ПСКН зависят от того, для какой цели, для какого потребителя и для каких условий эксплуатации они предназначены. Один и тот же

программный продукт, произведенный для различных целей и при разных условиях применения, может иметь несколько различных представлений и оценок качества. В соответствии с принципиальными особенностями программных средств должны выбираться номенклатура и значения показателей качества, необходимых для его эффективного применения пользователями, а также требования к процессу верификации.

В реальных проектах часто отсутствуют или недостаточно четко формулируется понятие качества ПСКН, характеристики которыми оно описываются, как их следует измерять и сравнивать с требованиями технического задания или спецификации [1].

В связи с этим является актуальной задачей анализ особенностей ПСКН с целью установления требований к характеристикам их качества.

#### 1. Анализ особенностей программных средств космического назначения

С целью установления особенностей и требований к характеристикам качества и безопасности представляется целесообразным провести классификацию программных ПСКН с учетом их назначения, условий эксплуатации, требований к надежности, безопасности и др.

С учетом существующих подходов к классификации программных средств целесообразно провести классификацию ПСКН по следующим признакам:

- принадлежность ПСКН к объектам космической техники;
- функциональное назначение;
- степень апробированности;
- влияние на безопасность.

По принадлежности к объектам космической техники можно выделить ПСКН:

- бортовых комплексов управления пилотируемыми и автоматическими космическими аппаратами;
- бортовых вычислительных комплексов ракет-носителей, разгонных блоков;
- технических и стартовых комплексов, наземных автоматизированных комплексов управления космическими аппаратами, наземного оборудования и сооружений;
- полезных нагрузок;
- экспериментов и моделирования.

Принадлежность ПСКН к объектам космической техники определяет специфические требования, например требования к безопасности ПСКН космических аппаратов, полезных грузов и отличается от требований к безопасности ПСКН для экспериментов и моделирования.

К программному обеспечению (ПО), входящему в состав бортовых комплексов, традиционно предъявляются повышенные требования к надежности и безопасности. Помимо этого, к важным свойствам такого программного обеспечения относят высокое качество, поддающееся проверке, непротиворечивость, возможность повторного использования, быстрая интеграция с аппаратными средствами, возможность переноса на другие платформы [1].

По функциональному назначению ПСКН подразделяют на:

- общее (или системное);
- прикладное (или функциональное);
- технологическое (инструментальное), которое используют при разработке, тестировании и верификации.

Признак «функциональное назначение» определяет специфические требования, которые предъявляют к инструментальным средствам, необходимым для реализации соответствующих функций прикладного (функционального) ПО и общего (системного) ПО.

По степени апробированности различают следующие типы ПСКН:

- новое, разработанное впервые;
- существующее собственное (разработанное ранее) или существующее приобретенное;
- конфигурируемое из типовых модулей.

Признак «степень апробированности» определяет объем требований к разработке и верификации ПСКН в зависимости от принадлежности и назначения, категории безопасности.

Разработка нового ПО требует более высокой квалификации разработчиков, больших материальных затрат и усилий. Верификация должна проводиться после каждого этапа жизненного цикла ПО в полном объеме, с уровнем независимости, обусловленный категорией безопасности функций ПО.

Вариант разработки нового программного продукта имеет то преимущество, что управление процессом верификации можно осуществлять в начале.

Повторное использование существующего собственного ПО имеет то преимущество, что весь объем ПО является всегда доступным. Дополнительные затраты требуются только на создание необходимых изменений приложений для подготовки данных конфигурации и дополнительной верификации.

Для существующего приобретенного ПО исходный код и первичная документация, в большинстве случаев, не доступны для верификации. В этом случае необходимо проводить анализ опыта эксплуатации и функциональное тестирование.

Конфигурируемое программное обеспечение разрабатывают с использованием типовых простых и надежных модулей (базовых процессов, таких как ввод сигнала, проверка сигнала, операции инициализации, логического контроля, управления данными и др.). Интеграция модулей осуществляется с использованием стандартных моделей настройки объектов и процессов и может сопровождаться введением данных для определения и изменения характеристик для определенного объекта. Верификацию проводят в полном объеме и на всех диапазонах входной информации, констант управления и на диапазонах регулирования.

По влиянию на безопасность различают ПСКН, которое:

- влияет на безопасность (критическое ПО);
- не влияет на безопасность.

Признак «влияние на безопасность» определяет требования к ПСКН по реализации критических функций в зависимости от принятых категорий опасности. Например, в зависимости от категории опасности предъявляются разные требования к объему, полноте, документированию отчетности и независимости процесса верификации.

Под понятием «критическое ПО (Safety-Critical Software)» обычно понимают программное обеспечение, выполняющее критические функции, важные для безопасности, отказ в выполнении функций которого (потеря или деградация) или его неправильная эксплуатация могут привести к катастрофическим или критическим последствиям [7]. Иногда этим же термином называют программы, разработанные в соответствии со специальными стандартами, принятыми для критически важных областей.

## 2. Особенности ПСКН критического применения

Особенности и требования к ПСКН зависят от реализуемых критических функций, требований к безопасности системы, в состав которой она входит.

В настоящее время существует классификация критического программного обеспечения по категориям безопасности принятые для атомных станций, авиационных и космических

систем [2-6]. Эти классификации основаны на установлении категорий опасности отказных ситуаций систем или объекта управления, вызванные сбоем или отказом программного обеспечение. Уровень критичности или категория безопасности ПС определяется тяжестью последствий его аномального функционирования с учетом вероятности их наступления.

С учетом необходимости стандартизации и гармонизации требований, целесообразно устанавливать категории критичности для ПСКН на основе европейского стандарта ECSS-Q-ST-80С [2]. Категории критичности ПСКН и их особенности приведены в таблице.

Таблица – Категории критичности программного обеспечения космического назначения

Категория	Характеристика
А	Программное обеспечение, которое в случае неисполнения или неверного исполнения, или аномального поведения, может вызвать или способствовать отказу системы, приводящему к: – <i>катастрофическим последствиям</i> (гибель людей, угроза их жизни, разрушение, потеря техники);
В	Программное обеспечение, которое в случае неисполнения или неверного исполнения, или аномального поведения, может вызвать или способствовать отказу системы, приводящему к: – <i>критическим последствиям</i> (ущерб, не угрожающий жизни людей, значительное повреждение <i>техники</i> , вредное влияние на окружающую среду);
С	Программное обеспечение, которое в случае неисполнения или неверного исполнения, или аномального поведения, может вызвать или способствовать отказу системы, приводящему к: – <i>существенным последствиям</i> (существенное снижение возможностей объекта управления или способности персонала справиться с неблагоприятными режимами);
Д	Программное обеспечение, которое в случае неисполнения или неверного исполнения, или аномального поведения, может вызвать или способствовать отказу системы, приводящему к: – <i>незначительным или ничтожным последствиям</i> (незначительному уменьшению безопасности объекта управления и требует действий персонала, которые осуществимы в пределах их возможностей).

### 3. Общие требования к качеству ПСКН

Основой для формирования требований к ПСКН является анализ свойств, характеризующих качество его функционирования с учетом его назначения и условий эксплуатации. В соответствии с принципиальными особенностями ПСКН при проектировании должны выбираться номенклатура и значения показателей качества, необходимых для его эффективного применения пользователями, которые впоследствии

отражаются в технической документации и в спецификации требований на конечный продукт.

Разработчик программного обеспечения после проведения функционального анализа требований к проекту должен определить категории безопасности выполняемых ПСКН функций и установить категорию его критичности (катеорию безопасности). В соответствии с категорией критичности ПСКН должны устанавливаться требования к характеристикам качества и безопасности, а также требования, относящиеся к верификации, валидации и уровням доказательств.

С учетом особенностей ПСКН как программного обеспечения критического применения, для обеспечения их надежности и безопасности необходимо придерживаться следующих принципов: единичного отказа, резервирования, независимости, разнообразия, защиты от отказов по общей причине.

*Принцип единичного отказа* заключается в том, что ПСКН должно выполнять заданные функции при любом предусмотренном выходном событии и при независимой от выходного события отказе одного из его элементов.

Принцип единичного отказа необходимо соблюдать при отказах любого типа, в том числе при отказах по общей причине, а также в случаях, когда независимый от исходного события отказ одного элемента вызывает прямо или косвенно зависящие от него отказы собственных элементов.

Принцип единичного отказа необходимо соблюдать также в тех случаях, когда отдельные элементы выведены из работы для технического обслуживания (например, наземные ПСКН).

*Принцип резервирования* состоит в том, что для ПСКН должен быть использован метод повышения надежности путем применения структурной, функциональной, информационной и/или временной избыточности в объеме, который является минимально необходимым и достаточным для выполнения заданных функций.

*Принцип независимости* заключается в том, что ПСКН критического применения должно сохранять способность к выполнению заданных функций при отказе или выводе из конфигурации любого зарезервированного канала ПТК или любой связанной с ними системы. Соблюдение принципа независимости в ПТК предусматривает: выбор структуры связей, интерфейсов и протоколов обмена между зарезервированными каналами ПТК, которые обеспечивают при отказе одного из них сохранение возможности безошибочного обмена данными между другими каналами.

*Принцип разнообразия (многоверсионности)*

В ПСКН, выполняющих критические функции, должен применяться метод повышения надежности и безопасности функционирования *путем введения версионной избыточности - двух или более способов (версий) реализации* одной и той же функции.

Соблюдение принципа разнообразия предполагает использование:

- различных алгоритмов выполнения одной и той же функции;
- программ, реализующих соответствующий алгоритм, например, созданных с использованием разных языков, разных средств программирования, различными разработчиками и т.д.;
- различных версий ПО с различной функциональностью;
- различных методов (технологий) проектирования программных средств.

*Требования к защите от отказов по общей причине*

В ПСКН критического применения должны быть предусмотрены необходимые меры в отношении отказов и защиты от отказов по общей причине.

Как единичные события или причины, способные вызвать отказ по общей причине, рассматривают:

- отказ элементов ПТК;
- дефекты ПО;
- ошибки персонала при эксплуатации;
- влияние аномальных природных явлений (землетрясение, удары молний и т.д.);
- отклонения условий эксплуатации (температура, давление, влажность, параметры электропитания) в местах расположения ПТК.

ПСКН должно предусматривать защиту от собственных дефектов, которые могли бы вызвать отказ по общей причине.

Защита от отказов по общей причине, вызванных дефектами ПСКН, обеспечивают путем использования программного, функционального и других видов разнообразия.

*Программное разнообразие* обеспечивают путем использования различных алгоритмов, версий ПО, как и средств автоматизации программирования, операционных систем и тому подобное.

*Функциональное разнообразие* обеспечивают путем использования более чем одного критерия для идентификации каждой ситуации, требующей выдачи управляющих воздействий.

Для ПСКН критического применения каждая аварийная ситуация должна проявляться несколькими способами с разными физически взаимосвязанными техническими параметрами, причем обработка данных о значениях этих параметров должно проводиться различными модулями ПО.

Для ПСКН критического применения должны быть:

- проанализированы возможные источники отказов по общей причине, вызванные дефектами ПО (ошибки спецификаций, ошибки проектирования, непредвиденные входные данные и т.п.);
- определены последствия проявления дефектов ПО;
- предусмотрены необходимые программные средства для исключения отказов по общей причине или уменьшения их последствий до приемлемого уровня;
- проведен анализ влияния такого ПО на безопасность, задокументированы результаты анализа и приняты меры.

Требования к качеству ПСКН как программных средств критического применения должно базироваться на реализации в полном или сокращенном объеме следующих функций:

- а) прогнозирование возможности появления (проявления) дефекта и возникновения отказа вследствие этого дефекта (fault forecasting);
- б) предупреждение появления (проявления) дефекта и возникновения отказа (fault prevention);
- в) выявление появления (проявления) дефекта, ошибки вычислений, отказа (fault detection);
- г) идентификации причины, вида и места дефекта (отказа) (fault diagnosis);
- д) парирования последствий дефекта и возникновения отказа (fault tolerance). Эта функция включает:

1) отключение элементов (компонентов, модулей архитектуры), которые отказали, и/или изолирования искаженной информации (fault isolation);

2) реконфигурацию структуры (архитектуры) путем удаления компонента, который отказал из конфигурации и замены его работоспособным (fault removal);

е) восстановление вычислительного процесса путем формирования правильной информации или возврата к предыдущей точке и продолжения функционирования (fault recovery).

Требования к качеству ПСКН критического применения должны обязательно включать следующие ключевые показатели:

- безотказность (reliability) - свойство непрерывно и корректно выполнять заданные функции (предоставлять корректные (необходимые) услуги) в течение заданного времени (наработки). Требования к этому показателю устанавливаются согласно [7,8];

- живучесть (survivability) - свойство минимизировать снижение работоспособности и сохранять в приемлемых пределах объем и качество выполняемых функций при различных отказах, обусловленных воздействиями различной природы, в том числе внешними. Требования к этому показателю устанавливаются согласно [7,8];

- функциональная безопасность (functional safety) - свойство исключать или минимизировать для пользователей, других систем и окружающей среды опасные (включая катастрофические) последствия в случае отказов для пользователей, других систем и окружающей среды. Требования к этому показателю устанавливаются согласно [9].

Главным и достаточным условием обеспечения качества ПСКН критического применения является характеристика гарантоспособности, заключающаяся в способности системы правильно, надежно, достоверно и устойчиво работать за счет сохранения рабочих параметров в заданных диапазонах их изменения и правильного функционирования при решении задач, невзирая на возникшие внутренние и внешние возмущения.

Главным и достаточным условием обеспечения качества ПСКН критического применения является гарантия (доказанная уверенность) правильного, надежного, достоверного и устойчивого выполнения необходимых функций в течение заданного времени, невзирая на возникшие внутренние и внешние возмущения. Указанные свойства определяют характеристику гарантоспособности, под которой понимается комплексное свойство ПС, сочетающее аспекты надежности, функциональной и информационной безопасности и обеспечивающее способность выполнять заданные функции, которым можно оправдано доверять [10].

Требования к характеристикам качества ПСКН должны устанавливаться с учетом совокупности различных факторов.

Это технические факторы:

- новизна разработки;
- сложность и объем;
- уровень критичности;
- наличие требований к повторному использованию;
- уровень использования готовых коммерческих компонентов или существующего ПО;
- уровень стабильности требований пользователя.

Эксплуатационные факторы, которые необходимо учитывать при установлении к характеристикам качества ПСКН:



- назначение ПСКН в соответствии с типом космических систем или их частей (например, беспилотные или пилотируемые аппараты, пусковые установки, полезные грузы, эксперименты);

- количество потенциальных пользователей;
- предполагаемое время использования;
- количество систем, в которых ПСКН будет использоваться;
- ограничение режимов работы, технической поддержки, использования в других системах и изъятие из использования.

Также необходимо учитывать организационные факторы:

- необходимые для разработки ПСКН объемы работ и времени;
- необходимые для разработки и эксплуатацию ПСКН финансовые, человеческие ресурсы;
- приемлемый для проекта уровень риска;
- тип модели жизненного цикла;
- требования графика разработки ПСКН.

Сложность процесса разработки и сопровождения ПСКН во многом обуславливается особыми требованиями, предъявляемыми к их качеству. Неполнота, неопределенности и разная трактовка в определении и формализации характеристик качества ПСКН и требуемых их значений оставляют широкое поле для произвола при описании и оценивании их качества. Эти факторы обосновывает необходимость разработки и применения для каждого проекта ПСКН специальных планов и программ, методологии и инструментальных средств, формализованных методов описания и оценки качества, обеспечивающих требуемое качество, надежность и безопасность функционирования. Методы оценки качества ПСКН должны базироваться на следующих основных компонентах:

- модели качества ПСКН, содержащей механизмы для формального определения характеристик качества и их отношений;
- модели метрик ПСКН, формирующей механизмы для количественного определения показателей качества;
- методики оценки качества, определяющей этапы процесса оценки качества ПСКН.

Широкий спектр требований к качеству ПСКН, в зависимости от их назначения, принципиальных особенностей и условий эксплуатации, приводит к необходимости адаптации и детализации рекомендаций существующих базовых стандартов, регламентирующих качество программного обеспечения. Прежде всего, это относится к ПСКН критического применения.

#### **Литература:**

1. Тюгашев А. А., Ильин И. А., Ермаков И. Е. Пути повышения надежности и качества программного обеспечения в космической отрасли / Управление большими системами. Выпуск 39. – М.: ИПУ РАН, 2012. – С.288–299.
2. ECSS-Q-ST-80C-2009 Space product assurance: Software product assurance.- ([http://www.apc.univ-paris7.fr/APC\\_CS/system/files/FCkeditor/file/ECSS-Q-ST-80C\(6March2009\).pdf](http://www.apc.univ-paris7.fr/APC_CS/system/files/FCkeditor/file/ECSS-Q-ST-80C(6March2009).pdf))
3. ГОСТ Р МЭК 61226-2011. Атомные станции. Системы контроля и управления, важные для безопасности. Классификация функций контроля и управления. – Введ. 2011–09–26. – М.: Стандартинформ, 2011. – 28 с.: ил.
4. RTCA DO-178B Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification.- ([http://www.davi.ws/avionics/TheAvionicsHandbook\\_Cap\\_27.pdf](http://www.davi.ws/avionics/TheAvionicsHandbook_Cap_27.pdf))

5. ГОСТ Р 51904-2002 Программное обеспечение встроенных систем. Общие требования к разработке и документированию. – Введ. 2003–07–01. – М.: Стандартинформ, 2005. – 62 с.: ил.
6. СОУ-Н ДКАУ 078-2014 Верифікація програмного забезпечення програмно-технічних комплексів критичного призначення. – <http://www.nkau.gov.ua/nsau/pravonsau.nsf/eb480bb10dbe5ffac2257cfd003856ba/0f77f860838d7462c2257cfd003478c7!OpenDocument>
7. ECSS-Q-80-03-2006 Space Product Assurance – Methods and Techniques to Support the Assessment of Software Dependability and Safety. – (<http://www.dit.upm.es/~str/proyectos/upmsat2/documentacion/ECSS-Q-HB-80-03.pdf>)
8. ECSS-Q-80B-2003 Space Product Assurance: Software Product Assurance.- ([http://www.lab.dit.upm.es/~insw/alumnos/recursos/ECSS-Q-80B\\_10October2003.pdf](http://www.lab.dit.upm.es/~insw/alumnos/recursos/ECSS-Q-80B_10October2003.pdf))
9. ГОСТ Р МЭК 61508-1-2007 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 1. Общие требования. – Введ. 2007–12–27. – М.: Стандартинформ, 2008. – 50 с.: ил.
10. Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing / A. Avizienis, J.C. Laprie, B. Randell, C. Landwehr // IEEE Trans. on Dependable and Secure Computing. – 2004. – Vol. 1. – P. 11–33.

*Поступила 2 апреля 2015 г.*

УДК 621.316.97

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ IVR-СИСТЕМЫ В СОВРЕМЕННЫЙ CALL-ЦЕНТР

**Калиева С.А., Ибатова А.**

*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Республика Казахстан  
e-mail: s.kaliyeva@mail.ru*

*Рассмотрены статическая и динамическая IVR-системы, необходимые для автоматизации обработки запросов клиентов. Эффективность внедрения IVR-системы в современный call-центр можно исследовать на имитационной модели. Показано, что применение IVR-системы приводит к уменьшению времени ожидания. Система адаптирована для круглосуточного обслуживания клиентов без привлечения дополнительного персонала.*

**Ключевые слова:** *центр обслуживания вызовов, IVR-системы, время ожидания, время обслуживания, загрузка операторов, голосовые сообщения.*

*Клиенттердің сұранысын өңдеуді автоматтандыру үшін қажетті статикалық және динамикалық IVR-жүйелер қарастырылды. Қазіргі заманғы call-орталығына IVR-жүйелерін еңгізудің тиімділігін имитациялық үлгісінде зерттеуге болады. Зерттеу нәтижесі IVR-жүйесін пайдалану күту уақытын азайтуға болатынын көрсетеді. Жүйе қосымша қызметкерлерсіз тәулік бойы клиенттерге қызмет көрсетуге бейімделген.*

**Тірек сөздер:** *қоңырауларға қызмет көрсету орталығы, IVR-жүйелері, күту уақыты, қызмет көрсету уақыты, операторларды жүктеу, дауыстық хабарлар.*

*The static and dynamic IVR-systems needed to automate the processing of customer requests had been considered. The effectiveness of the implementation of IVR-system into a modern call-center can be explored on an imitating model. It has been shown that the use of IVR-System reduces response time. The system is adapted for day-and-night customer service without additional staff.*

**Keywords:** *a call-center of service, IVR-system, a response time, a service time, operators load, voice messages.*

Современные Call-центры построены с использованием методов распределения вызовов и автоматизации работы операторов на базе цифровых телефонных станций и компьютерных систем. Для обеспечения автоматизации работы операторов в центре и ускорения обслуживания клиентов используются автоматизированные базы данных, доступ к которым осуществляется с рабочих мест операторов, оборудованных персональными компьютерами, включенными в локальную вычислительную сеть центра. Очень важной особенностью современного Call-центра является использование автоматических голосовых информаторов, которые позволяют частично отвечать на вопросы клиентов и производить интеллектуальную маршрутизацию вызовов на соответствующих операторов (рисунок 1). Таким образом можно существенно разгрузить работу операторов центра [1,2].

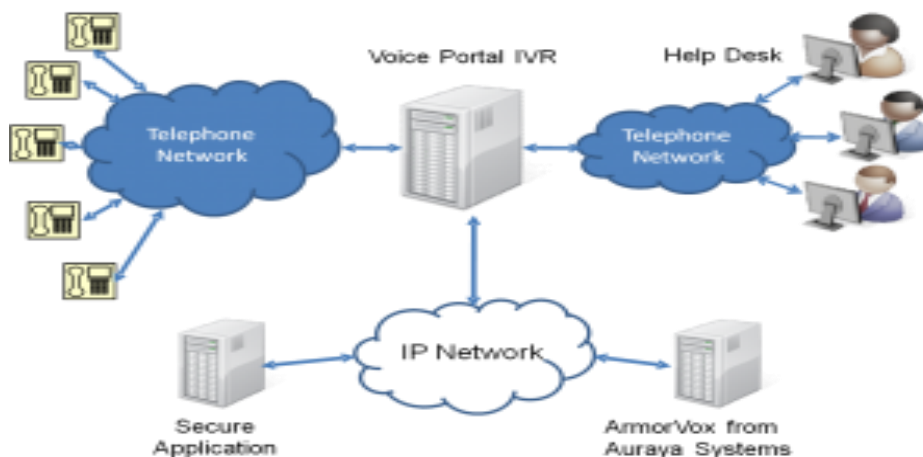


Рисунок 1 – Голосовой портал IVR

В настоящее время в Call-центрах в качестве автоматических голосовых информаторов используются IVR-системы (Interactive Voice Response). IVR-система предварительно записывает голосовые сообщения, выполняет функцию маршрутизации звонков внутри Call-центра, пользуясь информацией, вводимой клиентом на телефоне с помощью тонального набора. Благодаря применению в современных Call-центрах IVR-систем, сокращается время обслуживания вызовов, длина очереди и минимизируется загрузка операторов. Тем самым повышается качество обслуживания вызовов. Иначе говоря, IVR – это интерактивная информационно-справочная система, необходимая для автоматизации обработки запросов клиентов. При построении IVR могут возникать ошибки, которые вызывают недовольство клиентов, во многих случаях оправданное: бездумное установление голосового меню отнюдь не решает всех проблем. К сожалению, неправильно организованная IVR может, скорее, навредить. Тем не менее, эта система - полезная вещь, и при правильно спроектированном голосовом меню она поможет оставить приятное впечатление от обращения в Call-центр.

Основное назначение IVR – это повышение качества обслуживания клиента. Чтобы добиться расположения клиентов и получить максимальную отдачу от внедрения системы IVR, нужно тщательно проанализировать, какие функции поддаются автоматизации и как их выполнение можно эффективно переложить на IVR. При этом необходимо понимать, что не все функции поддаются автоматизации. Например, проверка остатка на кредитной карточке - это та операция, которая без проблем может быть автоматизирована. Перевод с текущего счета денег за товар тоже вполне может быть автоматизирован. Однако при оформлении сделки клиент предпочитает общаться непосредственно с оператором.

Поэтому перед тем как заняться автоматизацией какой-либо функции, следует взглянуть на этот процесс глазами клиента. Если логика автоматизации процесса достаточно сложна для понимания среднестатистическим клиентом или автоматизация сделана в ущерб информативности, клиент будет недоволен. На основе богатого опыта разработок и внедрения систем IVR можно сформулировать рекомендации, которые будут полезны как при организации системы IVR.

Несмотря на огромное количество платформ для построения и администрирования IVR-систем, практически все решения включают статические и динамические IVR-системы.

Статическая IVR-система основана на элементах голосового меню, в котором абоненту предоставляется строго ограниченное количество информации в форме предварительно записанных голосовых сообщений. Данный вид IVR-систем, как правило, может использоваться в контакт-центре для проигрывания различных вариантов приветствия, информирования о времени пребывания в очереди, прокрутки рекламных сообщений во время ожидания. Возможности статического IVR, зачастую, «закладываются» в стандартный функционал решений для контакт-центров либо реализуются на базе дополнительных плат.

Динамическая IVR-система предполагает извлечение необходимой информации из баз данных в соответствии с правилами маршрутизации, разработанным в компании. Динамическая IVR-система достаточно сильно отличается от статической не только по функциональным возможностям, но и по ценовым характеристикам. Несмотря на то, что динамическая IVR-система преимущественно реализуется за счет программных средств, ее построение представляет собой достаточно сложный процесс. Наиболее часто IVR-системы используются для маршрутизации телефонных звонков в контакт-центре, информационной службы, оценки качества работы контакт-центра или предоставляемых услуг, исходящего обзвона и т.д.

Эффективность внедрения IVR-системы в современный call-центр можно исследовать на имитационной модели. При реализации имитационной модели необходимы исходные данные. Основными из которых являются число операторов, входящая нагрузка [3]. В результате моделирования можно получить основные показатели качества обслуживания поступающих вызовов: вероятность отказа в обслуживании, среднее время ожидания в очереди, среднюю длину очереди. С помощью модели можно решать и обратные задачи, а именно определять число операторов, обеспечивающих требуемый уровень качества обслуживания.

В программной среде JMT (Java modeling tools) была разработана имитационная модель call-центра.

В качестве количественных характеристик и параметров в модели рассматриваются следующие величины:

- 1)  $t$  - продолжительность звонка;
- 2)  $m$  - количество операторов;
- 3)  $\lambda$  - периодичность поступления звонков;
- 4) СЗО - средняя занятость оператора;
- 5)  $p$  - длина периода;
- 6) ССО - средняя скорость ответа;
- 7)  $t_t$  - желаемое время ожидания;
- 8)  $u$  - интенсивность трафика;
- 9)  $N$  - количество звонков;
- 10)  $W(t)$  - вероятности ожидания меньше, чем желаемое время ожидания; 1
- 11)  $E_c$  - вероятность отказа в обслуживании.

Периодичность поступления звонков - это количество входящих звонков за секунду времени:

$$\lambda = \frac{N}{p} \quad (1)$$

Интенсивность трафика - это число, зависящее от периодичности поступления и продолжительности вызова:

$$U = \frac{\lambda}{t}. \quad (2)$$

Результаты моделирования представлены на рисунках 2 и 3.

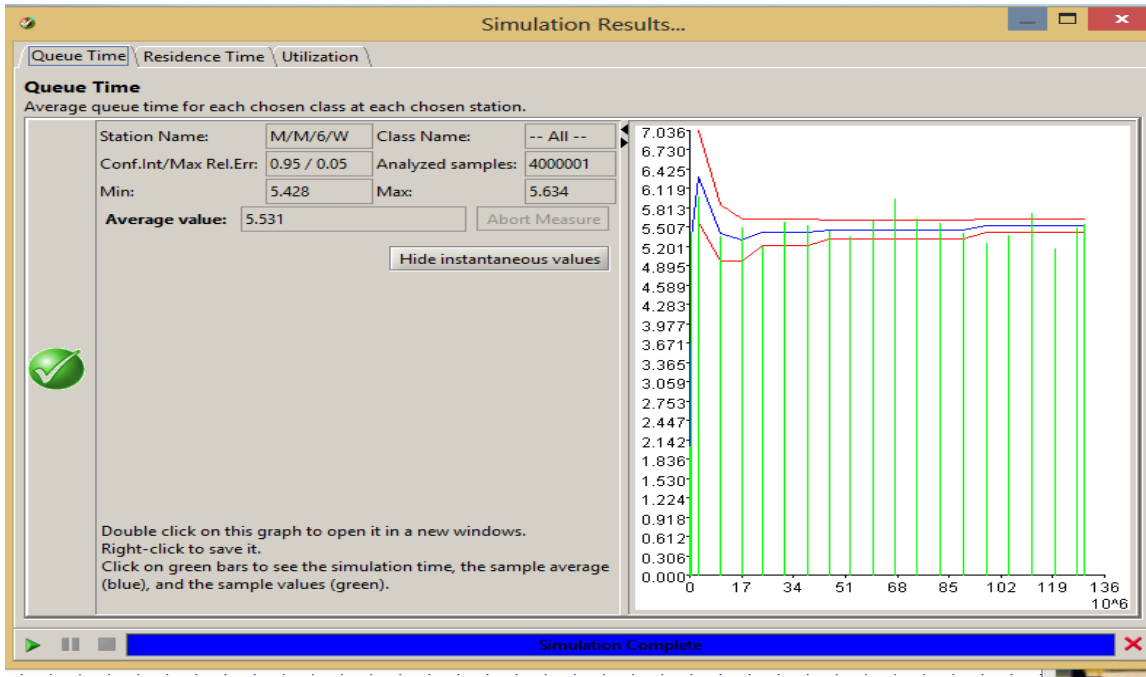


Рисунок 2 - Время ожидания в очереди

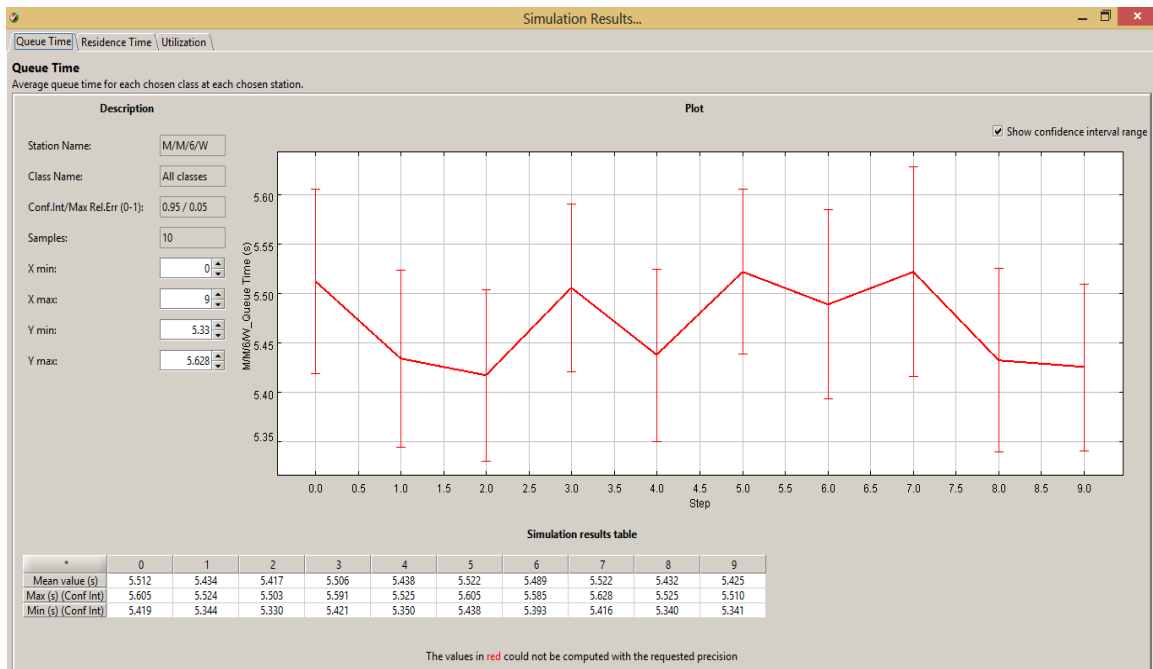


Рисунок 3 - Время ожидания в очереди с помощью IVR

Применение системы IVR позволяет уменьшить время ожидания в очереди на обслуживание. В результате автоматизации ответов на простые вопросы сократится время

ожидания соединения с оператором и уменьшится число абонентов, не дождавшихся ответа. Использование системы IVR позволяет круглосуточно обслуживать клиентов без привлечения для этой цели дополнительного персонала. Тем не менее IVR остается одним из наиболее распространенных инструментов повышения эффективности работы контакт-центров.

**Литература:**

1. Bhide M., Negi S., Subramaniam L. V., Gupta H. Customer-focused service management for contact center // IBM Journal of Research and Development. – 2009. – Vol. 53. – Issue 6. – P.9:1 – 9:12.
2. Туманбаева К.Х., Терликбаева Г.Б. Моделирование процесса функционирования Call – центра // Вестник АУЭС. – 2012. – №3. – С. 64–69.
3. Туманбаева К.Х. Simulation and Analysis of the Function Contact Center. In: Modern Challenges and Decisions of Globalization. Inter.Conf., New York, USA. – 2013. – P. 187–190.

*Поступила 20 мая 2015 г.*

UDC 613.648: 624.04: 621.375

## THE STUDY OF THE EFFECT OF $(U_{0.80}Pu_{0.20})O_{2.00}$ URANIUM-PLUTONIUM MIXED FUEL FISSION PRODUCTS ON A LIVING ORGANISM

<sup>1</sup>Kim D. S., <sup>2</sup>Naoki Matsuda, <sup>3</sup>Zhumagulova R. Ye., <sup>3</sup>Tazhigulova B. K.,  
<sup>3</sup>Zharaspaeva G. Zh., <sup>3</sup>Azhieva G. I.

<sup>1</sup>Institute of Nuclear Physics, Almaty, Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup>Nagasaki University, Nagasaki, Japan

<sup>3</sup>International Educational Corporation, Almaty, Republic of Kazakhstan

e-mail: [kimds@gmx.com](mailto:kimds@gmx.com)

*The article describes the results of experiments on pigs to determine the effect of plutonium, which is the most radiotoxic and highly active element in the range of mixed fuel  $(U_{0.8}Pu_{0.2})O_2$  fission products, on living organisms. The results will allow to empirically predict emergency plutonium radiation dose for various organs and tissues of human in case of accident at the reactor running on mixed fuel  $(U_{0.8}Pu_{0.2})O_2$ .*

**Keywords:** mixed fuel, reactor breakdown, accidental irradiation, plutonium, internal exposure.

*Мақалада тірі бойына плутонины ұйғарымның әсері үшін доңыздармен ксперименттердің нәтижелері суреттен. Плутоний  $(U_{0.8}Pu_{0.2})O_2$  дүрегей отынның бөл жарқынишагы спектрде ең радиотоксикалық және белсенді элемент болып табылады. Алған нәтижелері  $(U_{0.8}Pu_{0.2})O_2$  дүрегей отынмен реакторды апатында адамның түрлі органдарына және маталарына апаттың дозасын плутонидан жүгін эмпиризмдік болжау қояды.*

**Тірек сөздер:** аралас отыны, реактордың апаты, апаттық сәулелену, плутоний, ішкі сәулелену.

*В статье описаны результаты экспериментов над свиньями для определения воздействия плутония, являющегося наиболее радиотоксичным и высокоактивным элементом в спектре продуктов деления смешанного топлива  $(U_{0.8}Pu_{0.2})O_2$ , на живой организм. Полученные результаты позволят эмпирически прогнозировать аварийную дозовую нагрузку на различные органы и ткани человека от плутония при аварии на реакторе, работающем на смешанном топливе  $(U_{0.8}Pu_{0.2})O_2$ .*

**Ключевые слова:** смешанное топливо, авария на реакторе, аварийное облучение, плутоний, внутреннее облучение.

Using the installation of nuclear fuel laser-induced heating to a temperature above 2,000 °C in out-of-pile experiments, shown in Figure 1, it was found that radioisotope composition of emergency emissions from mixed fuel reactor core, constituting radiation dose to human, is rich in a stable compound of  $PuO_2$ , as well as a large number of pure plutonium  $Pu^{238}$ ,  $Pu^{239}$ ,  $Pu^{240}$ ,  $Pu^{241}$ ,  $Pu^{242}$  which is long-living and most radiotoxic compared to the other components of the expected emission [1]. The installation of fuel laser-induced heating is mounted at K.I. Satpayev Kazakh National Technical University (Satpayev Str., 22, 050013, Almaty, Republic of Kazakhstan).

When calculating radiation doses as a result of leakage of fission products from mixed fuel reactor core, it is required to take into account complex, diverse and interrelated factors related to plutonium behavior. For calculations, it is necessary to have data or make appropriate assumptions on exposure conditions, including the composition of radioactive products, particle sizes, concentration of activity and exposure time.

Monitoring Methodology. During the experiments, the methodology was applied involving artificial radiation treatment of pigs with plutonium; in-depth investigation of metabolism of



radioactive substances in the living body; slaughter of pigs tested; spectrometric analysis of various exposed organs and tissues of pigs for subsequent evaluation of internal exposure of human to products of salvo emission from mixed nuclear fuel reactor core. Spectrometric analysis of biological samples was conducted using Progress-2000 measurement system, developed by Doza Research and Production Enterprise (Str. No. 4806, 6, 124460, Moscow, Russian Federation) and being a property of the Institute of Nuclear Physics of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan (Ibragimov Str., 1, 050032, Almaty, Republic of Kazakhstan).

To assess the degree of plutonium retention in human tissues, organs and their systems, experiments on pigs were conducted because human body has more similarities with pig body than with organisms of other land mammals. According to the information of the Institute of Molecular Biology of the Academy of Sciences of the Russian Federation, announced at the VI International Seminar on Individual Dosimetric Control (IWIMIR-2010) [2], humans and pigs have almost the same content of hemoglobin and proteins in blood, as well as the size of red blood cells and blood group; pigs, like human are omnivorous, they have similar digestion processes; human skin is like pig's, it can bake (sunbathing); moreover, there are many common features in the structure of teeth, eyes, liver, kidneys: pig heart weighs 320 g, human heart – 300 g, lungs weight – 800 g and 790 g respectively, kidney – 260 and 280 g, liver – 1,600 and 1,800; diseases of the newborn piglets are similar to infants, and somatotropic hormone molecular structure of pigs and humans is 70% alike. Analogies revealed as of today allow successful transplantation of many organs and tissues of pigs into human body.

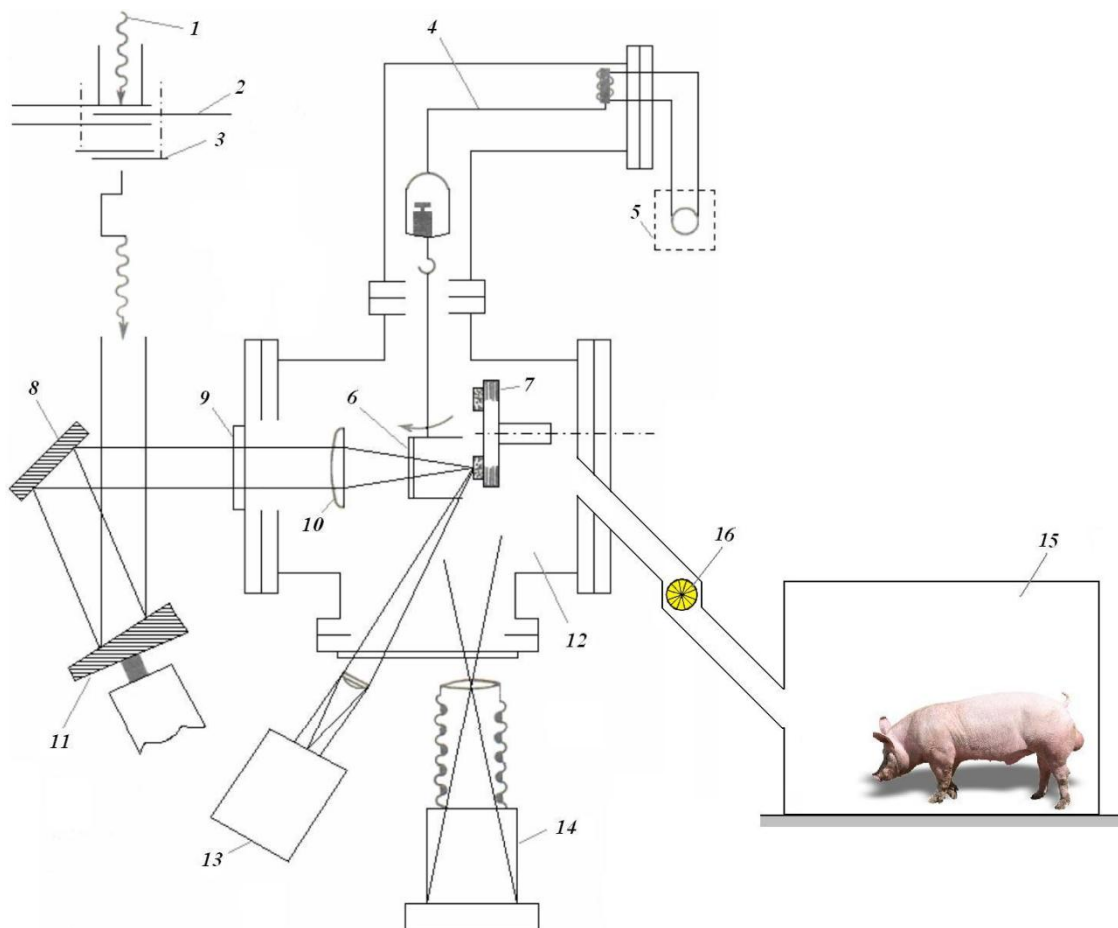
In total, 32 pigs were involved in the experiment. Three major paths of plutonium penetration in pigs were studied in the experiments: inhalation (with inhaled air), oral (with food) and contact (administration of subcutaneous injection).

For inhalation of plutonium by pig body, experimental animals were placed in the airtight plexiglass chamber 15, where plutonium was pumped through plenum ventilation 16 formed in vacuum chamber 12 of the installation of the samples of nuclear fuel  $(U_{0.8}Pu_{0.2})O_2$  laser-induced heating to a temperature above 2,000 °C as shown in Figure 1. Plutonium continuous inhalation period was on the average 2 hours depending on respiration rate of each experimental animal. The volume of air inhaled by pigs (with a single breath) was  $0.4 \cdot 10^{-3} \dots 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ , and respiration rate ranged between 15 ... 20 breaths per minute; therefore, within 2 hours about  $1 \text{ m}^3$  of air containing plutonium penetrated into pig body, as required to meet the conditions of spectrometric studies of the samples.

In the course of experiments on laser-induced heating of the samples of mixed fuel  $(U_{0.8}Pu_{0.2})O_2$  with a total mass of 1 kg to a temperature above 2000 °C, it was found that total volumetric activity of plutonium contained in the resulting evaporations is  $54 \text{ PBq/m}^3$  (Table 1). Thus, 54 PBq of plutonium was inhaled by pigs within 2 hours.

Ingestion of plutonium in pig body was provided by feeding experimental animals with grain forage previously placed in vacuum chamber 12 of the installation of laser-induced heating over the sample of nuclear fuel  $(U_{0.8}Pu_{0.2})O_2$  and irradiated by evaporations containing isotopes of plutonium  $Pu^{238}$ ,  $Pu^{239}$ ,  $Pu^{240}$ ,  $Pu^{241}$ ,  $Pu^{242}$  [1]. Specific activity of plutonium-239 in irradiated feed was 12 PBq/kg ( $12 \cdot 10^{15} \text{ Bq/kg}$ ); levels of content of other plutonium isotopes did not exceed the level of spectrometer sensitivity. Feed dosage of each pig equal to 1 kg provided single ingestion of 12 PBq of plutonium-239 in the body of each experimental animal.

Because the skin of experimental pigs had no damages, artificial infliction of which is prohibited by the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and



1 – gas laser beam with CO<sub>2</sub>; 2 – plasma breaker; 3 – shutter; 4 - vacuum scales; 5 – compensating circuit; 6 – ballistic collector with an opening for the beam; 7 – turntable for targets; 8 – fixed mirror; 9 – the opening for the beam; 10 – lens; 11 – moving mirror; 12 – vacuum chamber; 13 – rapid-acting micropyrometer to measure the temperature in focal spot and evaporation time; 14 – chamber to monitor gas jet; 15 – plexiglass chamber for experimental animals; 16 – fan providing the influx of evaporations from chamber 12 into chamber 15.

Figure 1 – Schematic diagram of the installation for laser-induced heating of the samples of nuclear fuel to a temperature above 2000 °C

Table 1 – Volumetric activities of plutonium isotopes contained in evaporations of fuel (U<sub>0.80</sub>Pu<sub>0.20</sub>)O<sub>2.00</sub> at a temperature of 2,000 °C [1]

Nuclide	Half-life period	PVA (permissible volumetric activity), Bq/m <sup>3</sup> [3]	Measured nuclide volumetric activity, 10 <sup>15</sup> Bq/m <sup>3</sup>	Nuclide activity, % to total activity of evaporations
<sup>238</sup> Pu	87,7 years	0,53	2	0,0003
<sup>239</sup> Pu	24100 years	0,53	24	0,002
<sup>240</sup> Pu	6540 years	0,53	8	0,0009
<sup>241</sup> Pu	14,4 years	50	13	0,001
<sup>242</sup> Pu	376000 years	0,57	7	0,0007
Total volumetric activity of plutonium			54 · 10 <sup>15</sup> Bq/m <sup>3</sup>	

other Scientific Purposes (ETS N 123, Strasbourg, March 18, 1986), contact administration of plutonium in pigs was conducted by intramuscular injection of physical solution in a volume of 20 ml with Plutonium-239 concentration equal to 1 g/ml.

Results and Discussion. The data in Table 1 show that among plutonium isotopes, the dominant contribution to the total activity measured in evaporations above uranium-plutonium oxide ( $U_{0.8}Pu_{0.2}O_2$ ) is made by plutonium-239 (Pu-239) [1]. It is logical that this radioisotope will be deposited in vivo the most, and its excretion will subsequently require integrated medical and rehabilitation measures.

In order to develop a course of treatment for excretion of radiotoxic plutonium from the body, it is necessary to calculate radiation doses for the main locations of isotope accumulation.

As a result of experiments on pigs, it was found that most of plutonium enters the body by inhalation and is deposited mainly in the lungs, bones, liver, and in the organs of internal sexual secretion.

At the present time, internal exposure dose of internal organs and bones from the particles of any radioactive substance penetrated into the body is calculated based on the assumption that the radiated energy is evenly distributed throughout the organ tissue [4]. The average value of the dose for the whole organ is taken as the resulting value.

Plutonium dioxide emits alpha particles with energy of 5.14 MeV and the free path in the tissue of less than 40 microns, the recoil atoms with average energy of about 0.084 MeV and a low-energy X-ray and gamma-ray radiation characterized by the energy of less than 0.01 MeV for decay. It is considered that any organ absorbs all alpha particles and recoil atoms, and a portion of X-ray and gamma-radiation; it depends on organ size [5].

Effective radiation energy ( $E_{eff}$ ) is calculated for each particular radioisotope in a separate organ. In case of uniform deposition of radioactive substances in each of several organs, the absorbed dose can be calculated. For convenience of calculations, obtained values of the effective energy are shown in Table 2 [6].

Table 2 – The values of the effective energy of different radiation types emitted by plutonium-239 [6] administered to the living organism

Radiation type	Energy E, MeV/decay	Coefficient of quality, CQ	$E_{eff}$ , MeV		
			Bone tissue	Gastroenteric tract	Other organs
Alpha radiation	5,14	10	257	0,51	51,4
Recoil atoms	0,084	20	8,4	0,01	1,68
X-ray and gamma-ray radiation	0,0085	1	0,04		
Total			270	0,52	53,0

However, radiation load from the particles of radioactive substance penetrated into the body should be evaluated based on the equivalent (not absorbed) dose, because, firstly, various types of radiation have different characteristics, as well as the functional role of the organs for the body and their sensitivity varies, and secondly, in most cases radioactive substance are unevenly distributed in the tissue.

For radiation protection, equivalent dose ( $D_{eqv}$ , Sv) is defined as the product of the absorbed dose ( $D_{abs}$ , Gy), coefficient of quality (CQ) and coefficient of dose distribution (CD) [7]:

$$D_{eqv} = D_{abs} \cdot CQ \cdot CD \quad (1)$$

Equivalent dose of 1 mCi · day is determined by the following equation:

$$\frac{D_{eqv}}{mCi \cdot day} = 51,2 \frac{E_{eff}}{m} \quad (2)$$

where:  $E_{eff}$  is the effective radiation energy;

$m$  is the mass of organ, g.

The coefficients given in Table 2 were used to determine the effective energies of other components of mixed nuclear fuel. The effective energies for each of fission products of  $(U_{0,8}Pu_{0,2})O_2$  [8] in the lungs, bone tissue, liver, and ovaries are given in Table 3.

Table 3 – The effective energies to various components of mixed fuel  $(U_{0,8}Pu_{0,2})O_2$  [8] contained in the lungs, bone tissue, liver, and ovaries

Radioisotope	Radioisotope activity portion, Bq / Bq of isotope mix	$E_{eff.}, \text{MeV}$			
		Lungs	Bone tissue	Liver	Ovaries
Uranium-238	$1,9 \cdot 10^{-2}$	43	220	43	43
Neptunium-237	$1,36 \cdot 10^{-4}$	49	250	49	49
Plutonium-238	$2,83 \cdot 10^{-3}$	53	270	53	53
Plutonium-239	$2,46 \cdot 10^{-2}$	57	284	57	57
Plutonium-240	$8,58 \cdot 10^{-3}$	53	270	53	53
Plutonium-241	$1,3 \cdot 10^{-2}$	0,053	14	1,0	1,6
Plutonium-242	$6,78 \cdot 10^{-3}$	51	250	51	51
Americium-241	$5,89 \cdot 10^{-4}$	57	283	57	57
Americium-243	$3,31 \cdot 10^{-4}$	54	272	54	54
Curium-242	$1,84 \cdot 10^{-3}$	64	400	78	78
Curium-244	$5,89 \cdot 10^{-4}$	60	300	60	60

In laboratory conditions of exposure, it was found that some fraction of plutonium penetrating with air ( $f_a$ ) is deposited directly in the lungs, wherein 40% of the initial amount of deposited plutonium eliminates with the effective half-life of 1 day (24 hours) and the remaining 60% – with the effective half-life of 500 days (12,000 hours).

Only small amounts of plutonium get in the blood by inhalation. Low solubility of plutonium in fluids covering respiratory tract leads to its deposition and rapid release from nasopharyngeal and tracheobronchial regions. Nevertheless, prolonged retention of the particles in the lung region leads to absorption of approximately 5% of  $PuO_2$  in the blood; about 15% of the deposits in the pulmonary region transferred to pulmonary lymph nodes eventually reach the circulatory system. Thus, approximately 20% of the particles deposited in the pulmonary region, after a while will be transferred into other organs with the blood or circulating lymph.

Thus, it can be assumed that ingestion of 1 Bq of plutonium will result in dose  $I$  [9, 10]:

$$I = f_a \cdot \left( \frac{40\% \cdot 24\div}{0,693} + \frac{60\% \cdot 12,000\div}{0,693} \right) = 10404 \cdot f_a \text{ Bq/h}, \quad (3)$$

where  $f_a$  is the activity of plutonium entered into pig body with inhaled air, Bq.

The values of internal exposure dose of human largely depend on the mass of its organs and respiration rate, which in turn, are subject to age-related changes. Radiation dose from plutonium to the internal organs, accumulated 70 years of age depending on the time of plutonium-239 penetration in the body can be calculated using the equation [9, 10]:

$$D_{1,2} = K \cdot \left[ \frac{t_2 - t_1}{\ln m_2 - \ln m_1} \cdot \left( \frac{1}{m_1} - \frac{1}{m_2} \right) \right] \text{ Sv/Bq}, \quad (4)$$

where  $D_{1,2}$  is the dose of multiple human exposure; K is correction factor depending on the organ and tissue:  $K = 47,36 \cdot 10^5$  for the lungs [10];  $K = 5,30 \cdot 10^5$  – for bone tissue [9] and  $K = 1,39 \cdot 10^5$  – for liver [9].

Calculation results are given in Table 4.

Table 4 – Radiation doses of human lungs, bone tissue and liver expected by the age of 70, depending on the time of plutonium-239 penetration in the body

Age when activity has penetrated into the body	Proposed mass, g			Average respiration rate, m <sup>3</sup> /h	Radiation dose, Sv/Bq of deposited activity		
	Lungs	Bone tissue	Liver		In lungs	In bone tissue	In liver
Newborn	66	500	100	0,033	0,03	0,09	0,15
1 year	170	2000	250	0,16	0,02	0,09	0,13
10 years	450	5900	844	0,62	0,009	0,07	0,09
20 years (female)	764	6800	1450	0,88	0,006	0,06	0,07
20 years (male)	955	10000	1810	0,95	0,005	0,04	0,06

Besides Pu-239, there are other plutonium isotopes in the mixed fuel of a nuclear reactor with relative amounts depending on the nature of fuel rod use. If we consider the effects of plutonium on human apart from all other radioisotopes, radiation doses can be calculated on the basis of the data given in Table 5.

If the share of inhaled plutonium ( $f_a$ ) is not determined, radiation dose from plutonium deposited in the lungs can be determined using the following equation [11]:

$$I = \frac{1}{0,693} \left\{ 0,4 \cdot \frac{T_{1/2}}{T_{1/2} + 1} \cdot \left[ 1 - e^{-0,693t} \cdot \left( \frac{T_{1/2} + 1}{T_{1/2}} \right) \right] + 0,6 \cdot \frac{500 \cdot T_{1/2}}{T_{1/2} + 500} \cdot \left[ 1 - e^{-0,693t} \cdot \left( \frac{T_{1/2} + 500}{500 \cdot T_{1/2}} \right) \right] \right\} \quad (5)$$

where  $t = 50 \cdot 365 = 18250$  days,  $T_{1/2}$  is half-life period.

Table 5 – Expected composition of plutonium isotopic mixture in the fuel

Radioisotopes	Share of activity*, Bq/Bq of isotopic mixture	Half-life period, days	Dose per unit of activity, deposited in the bone tissue, liver and ovaries, Sv/Bq of deposited activity
Plutonium-238	0,0028	$3,3 \cdot 10^4$	0,06
Plutonium-239	0,025	$8,9 \cdot 10^6$	0,07
Plutonium-240	0,0085	$2,4 \cdot 10^6$	0,07
Plutonium-241	0,013	$4,8 \cdot 10^3$	0,02
Plutonium-242	0,0068	$1,4 \cdot 10^8$	0,07
Total			0,29

\* Specific activity is  $17,113 \cdot 10^{12}$  Bq/kg of plutonium isotopic mixture [12]

Thus, each mCi of plutonium-239 deposited in the lungs will result in exposure of 426.9 mCi per day:

$$I = 1,433 \cdot [0,4 + 0,6 \cdot 493] = 426,9 \frac{mCi \cdot day}{mCi_{Pu^{239}}} \quad (6)$$

However, only 0,025 of the total activity of plutonium isotopic mixture falls on Pu-239, so the contribution of Pu-239 to the total dose will be 10,67 mCi/day per each mCi of isotopic mixture deposited in the lungs [7]:

$$I = 0,025 \cdot 426,9 = 10,67 \frac{mCi_{Pu^{239}} \cdot day}{mCi_{mix}}, \quad (7)$$

In this case the daily dose from each mCi of Pu-239 deposited in the lungs will be 3.82 rem [7]:

$$\frac{CD}{mCi_{Pu^{239}}} = 51,2 \cdot \frac{E_{eff}}{m} = 51,2 \cdot \frac{57}{764} = 3,82 \frac{rem}{mCi \cdot day}, \quad (8)$$

and the cumulative dose (CD) due to Pu-239 will be  $0,15 \cdot 10^{-3}$  Sv/Bq of isotopic mixture deposited in the lungs [7]:

$$CD_{Pu^{239}} = 10,67 \cdot 3,82 = 40,76 \frac{rem}{mCi} = 0,15 \cdot 10^{-3} \frac{Sv}{Bq}. \quad (9)$$

Table 6 shows predicted values of radiation doses to the lungs, bone tissue, liver and ovaries of people exposed to radiation at 20 years of age, depending on the activity of isotopic mixture deposited in the lungs, at the end of 50 years.

Table 6 – Radiation doses to the lungs, bone tissue, liver and ovaries depending on the activity of isotopic mixture deposited in the lungs (unit of measure – mcSv/Bq of isotopic mixture deposited in the lungs)

Radioisotope	Radiation dose to the lungs	Radiation dose to the bone tissue	Radiation dose to the liver	Radiation dose to the ovaries
Plutonium-238	52,17	529,84	655,44	210,46
Plutonium-239	148,11	1459,28	1832,09	593,04
Plutonium-240	67,71	685,24	841,23	272,32
Plutonium-241	4,81	1000,48	446,81	231,32
Plutonium-242	0,07	0,74	1,04	0,29
Total	272,87	3675,58	3776,61	1307,43

Data on the total radiation dose to the lungs, bony skeleton, liver, and ovaries from isotopic mixture of Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241 and Pu-242 deposited in the lungs is given in Table 7.

Table 7 – Total radiation doses to the lungs, bone tissue, liver, and ovaries depending on the activity of isotopic mixture deposited in the lungs

parts of the body	Mass, g	Deposited dose of plutonium penetrated into the body by inhalation	Total radiation dose, mcSv/Bq of isotopic mixture deposited in the lungs
Lungs	764	“-“	272,88
Bone tissue	6800	0,39	3675,58
Liver	1450	0,59	3771,41
Ovaries	8	0,00093	1308,54

Taking the reference value of specific activity of plutonium isotopic mixture in biological tissue equal to 17,113 TBq/kg ( $17,113 \cdot 10^{12}$  Bq/kg) [12], we can calculate total radiation dose to the lungs, bony skeleton, liver and ovaries of a human in relation to the mass, and not to the activity of isotopic mixture deposited in the lungs. The results of calculations are given in Table 8.

Table 8 – Total radiation doses to the lungs, bone tissue, liver, and ovaries depending on the activity of isotopic mixture deposited in the lungs

parts of the body	Mass, g	Total radiation dose, Sv/kg of isotopic mixture deposited in the lungs
Lungs	764	0,341
Bone tissue	6800	4,594
Liver	1450	4,714
Ovaries	8	1,634

The data in Tables 6-8 show that plutonium absorption from the lungs causes deposition of 56% of the amount penetrated into the body in the liver, 42% – in the skeleton, and 2% – in other tissues.

Spectrometric analysis of biological samples of pigs slaughtered a day after feeding with grain contaminated with plutonium, showed that absorption of a small amount of  $\text{PuO}_2$  from the gastrointestinal tract occurs as a result of partial dissolution. The upper limit of the intestinal absorption of plutonium was 0.007% of the activity entering pig body orally, and the degree of digestion was not more than 0.003%. Such a low percentage of plutonium absorption can be explained by the fact that the intestinal mucosa is an effective barrier for plutonium absorption during exposure. Plutonium absorbed from the gastrointestinal tract comes into the blood in ionic or diffusing complex form and as a result is deposited in the bones.

When assessing the internal exposure of pigs from contact receipt of plutonium, the most vulnerable external organs – eyes were considered. Rate of deposition of plutonium particles on the surface under normal conditions is about  $5 \cdot 10^{-3}$  m/s, and the area of the pig eye is about  $4 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup>. Thus, the total plutonium absorption by the pig eyes was twice integrated exposure (Bq · s/m<sup>2</sup>). However, it is known that the greatest danger for the living organism is contact introduction of radioactive substances through damaged skin. To simulate the introduction of plutonium through epidermal damages, intramuscular injection of a concentrated solution containing plutonium-239 was administered to pigs.

The results of spectrometric analysis of biological samples of pigs slaughtered 12 hours after the introduction of intramuscular injection of plutonium, showed that about 60% of absorbed plutonium was deposited in the bones, 4% – in the liver, and 30% is excreted.

To quantify the excretion of plutonium from the living body, 12 experimental animals exposed to plutonium contained in the inhaled air, in the feed and in the injected solution, were slaughtered 4 years after the initial experiments conducted with all 32 pigs. Before the experiments, faster excretion of plutonium was predicted from the liver than from other organs and bone tissue, but the results obtained after the experiments showed a much higher plutonium potential deposition danger in the liver. It turned out that within 4 years only 20% of deposited plutonium was excreted from the liver. Time of plutonium retention in the liver does not differ significantly from time of retention in the bone tissue. Thus, the initial conservative assumption that there is no substantial excretion of plutonium from the liver is apparently true.

Plutonium concentration in the ovaries is approximately 20 times higher than in skeletal muscles, and approximately 6 times higher than in the heart. This was true for both monomer and polymer plutonium even 4 years after the initial exposure.

The experiments proved that the rate of plutonium excretion from the main locations of deposits in a living organism is very low, so when assessing internal exposure dose, biological excretion may be neglected; only therapeutic plutonium excretion acceleration is of practical interest.

Long-term forecast of internal exposure by a mixture of plutonium isotopes is made taking into account single inhalation of the particles in the body and their subsequent distribution to individual organs. The dose per unit activity of Pu-239 (Bq) deposited in the bone tissue, liver and ovaries was 0.07 Sv. The entire range of plutonium isotopes formed a radiation dose equal to 0.29 Sv/Bq of deposited activity.

Predicted radiation dose from a kilogram of plutonium isotopic mixture deposited in the lungs expected at the end of 50 years after accidental exposure of a person should be 0.34 Sv for the lungs; 4.59 Sv for the bone tissue; 4.71 Sv for the liver; 1.63 Sv for the ovaries.



Thus, human internal plutonium exposure doses contained in evaporations of mixed nuclear fuel  $(U_{0.8}Pu_{0.2})O_2$  with the mass of 1 kg, heated to a temperature above 2000 °C will not exceed permissible limits of radiation safety standards [3]. However, fuel element column of nuclear power reactor core can exceed 50 tons; in case of accidental exposure to nuclear fuel fission products of such mass, radiation doses for the human body will increase tens of thousands times.

**References:**

1. Zharaspayev M.T., Kim D.S. Spectrometry analysis of fumes of samples of hybrid nuclear fuel  $(U_{0.8}Pu_{0.2})O_2$  heated up to the temperature 2000°C // Instruments and technique of experiment. – Moscow: Nauka, 2012. – Vol. 3. – P. 1–5.
2. Järvinen H., Parviainen T. Patient and staff doses in interventional radiology and cardiology: methods of evaluations with some practical data and trends in Finland // Proceedings of the VI International Workshop on Individual Monitoring of Ionizing Radiation. November 29-30, 2010. – Oarai, Japan: Chyoda Technol Corporation, 2010. – P. 183
3. NRB-99 SP 2.6.L.758-99. Radiation standards. Official issue. Intr. 1999-01-01. Almaty: Agency on health protection affairs of the RK, 1999.
4. Negus V. Comparative anatomy and physiology of the nose and paranasal sinuses // British Medical Journal. – Edinburgh: E. and S. Livingstone Ltd., 1998. – P. 337.
5. Report of the Agricultural Research Council Radiobiological Laboratory. Surveys of radioactivity in human diet and experimental studies: ARCRL-5. – Radiation Bostany. – New York, 1981. – P. 51 –52.
6. Bober M. Thermodynamics of Nuclear Materials // Issue of the International Atomic Energy Agency. – Vienna: IAEA, 1974. – P. 295.
7. Fair M.F. Radiation quantities and units in principles of radiation protection, ed. by Morgan K.Z. and Turner J.E. – New York: Wiley, 1997. – P. 125.
8. Schmitz F. Potential d'oxygene et structure de l'oxyde mixte  $(U, Pu)O_{2-x}$  // Journal of Nuclear Materials. –1985. – Vol. 58. – P. 357.
9. Krey P.W. et al. Plutonium in man in his environment // Nature. – London, 1980. – Vol.195. – P. 13.
10. Morrow P.E. Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract // Health physics. – New York, 1996. – 140 p.
11. LeRoy G.V., Rust J.H., Hasterlink R.J. The consequences of ingestion by man of real and simulated fallout // ACRH-102. – Argonne: Argonne cancer research hospital, 2007. – 102 p.
12. Report of the Committee on Permissible Dose for Internal Radiation. ICRP publication. – Oxford: Pergamon, 1979. – P. 200–226.

*Поступила 19 мая 2015 г.*

УДК 621.878

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАШИН СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ЦИКЛОИДАЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

**Ли С.В., Грищенко М. А., Мухит А. А.**

*Казахская автомобильно-дорожная академия им. Л.Б. Гончарова,  
Алматы, Республика Казахстан  
e-mail: lee.sergei@list.ru*

*Приведенные в работе основы расчета геометрических и кинематических параметров машин строительного производства позволяют на стадии проектирования определить все необходимые параметры машин. Вследствие изменения скорости движения РО возникает импульсное (вибрационное) воздействие на разрабатываемый материал, что приводит к снижению энергоемкости рабочего процесса.*

**Ключевые слова:** *машины строительного производства, производительность, циклоидальное движение, рабочий орган, основные параметры.*

*Жұмыста құрылыстық өндірістің машинасының геометриялық және кинематикалық параметрінің есебінің келтіру негіздері бас кезең жобалау анықтауы машинаның барлық қажетті параметрлерін келтірілген. Себебі қозғалыстың жылдамдығының өзгерісінің ЖО жұмыс органы әзірлеу материалға деген импульстік (тербелмелі) әсер туады, бұл жұмыстың үдерісінің энергиялық төмендету дегенін көрсетеді.*

**Тірек сөздер:** *құрылыстық өндірістің машиналары, өндіргіш, циклоидальдық қозғалыс, жұмыстың органы, негізгі параметрлер.*

*These bases of calculation of the geometric and kinematic parameters of construction machinery production allow the design stage to determine all the necessary parameters of the machine. Due to changes in speed pulse occurs PO (vibration) subjecting the developed material that reduces the energy consumption of the working process.*

**Keywords:** *machine building production, productivity, cycloidal motion actuator, the basic settings.*

Рабочее оборудование СДМ с циклоидальным движением РО, предназначенное для выполнения определенных операций, состоит из рабочего органа, непосредственно взаимодействующего с разрабатываемыми, перегружаемыми или перемещаемыми материалами и грузами; исполнительных механизмов, обеспечивающих заданные движения рабочего органа, и несущих конструкций, воспринимающих нагрузки от рабочего органа и передающих их остову базовой машины. В рабочем оборудовании с планетарным движением движущее усилие от привода к соответствующим элементам рабочего оборудования передается через эксцентриковый вал–водило на сателлиты и соответствующий ротор (обычно планетарный редуктор выполняется встроенным в корпус рабочего органа).

Кроме траектории движения и размеров звеньев рабочего оборудования, определяющих конфигурацию и размеры зоны его действия, кинематика рабочего оборудования

определяется также скоростями и ускорениями его отдельных звеньев (ротора и эксцентрикового вала). Очевидно, что если нет каких-либо ограничений, налагаемых на скорости рабочих органов, обусловленных их спецификой взаимодействия со средой, то увеличение скорости, с точки зрения повышения производительности машины, является весьма значительным.

Кинематическая схема привода РО реализуется с помощью планетарного механизма Джеймса, который содержит центральное зубчатое колесо внутреннего зацепления, водило и сателлит (планетарный) внешнего зацепления, обкатывающийся внутри коронного зубчатого колеса. Водило получает вращение от приводного двигателя.

Рабочий орган машины (МСП) соосно связан с сателлитом и совершает с ним планетарное движение, при этом вершины описывают ту, или иную гипотрохоиду. В общем случае при числе вершин рабочего органа равных  $z$ , отклонение радиусов колеса и сателлита [1]:

$$\frac{R}{r} = \frac{z+1}{z}, \quad r = z \cdot e,$$

тогда

$$\frac{R}{r} = \frac{z+1}{e}.$$

Передаточное отношение планетарного механизма от водила к сателлиту

$$i = \frac{r}{r-R} = \frac{z \cdot e}{z \cdot e - e(z+1)} = -z \quad (1)$$

пропорционально числу вершин рабочего органа  $z$ . При увеличении передаточного числа  $i$  планетарного механизма уменьшается частота вращения сателлита рабочего органа и увеличивается крутящий момент на нем при неизменной подводимой мощности. В частном случае при  $z = 3$  и  $e = 3$  передаточное отношение планетарного механизма равно  $i = 3e / -e = -3$ , а вершины рабочего органа описывают гипотрохоиду – квадрат с прямолинейными сторонами.

Важным параметром, от которого зависит производительность машины, является скорость движения рабочего органа.

Скорости точки, описывающей гипотрохоиду можно определить, продифференцировав по времени уравнение гипотрохоиды:

$$\left. \begin{aligned} v_x &= -\omega_1 r (\sin z\omega + c \sin \omega) \\ v_y &= \omega_1 r (-\cos z\omega + c \cos \omega) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Следовательно,

$$v = \omega_1 r \sqrt{1+c^2 - 2c \cos (z+1) \omega}, \quad (3)$$

где  $\omega_1 = d\psi/dt$  – угловая скорость точки.

Анализ выражения (3) показывает, что скорость  $v = f(\psi)$  периодически изменяется от минимального значения:  $v_{\min} = \omega_1 r (c - 1)$  до максимального значения  $v_{\max} = \omega_1 r (c + 1)$ .

Средняя скорость точки рабочего органа

$$v_{cp} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} v \psi d\psi = \frac{2}{\pi} \omega_1 r \int_0^{\pi/2} \sqrt{1+c^2 - 2c \cos \psi + 1} \psi d\psi. \quad (4)$$

Проще и с достаточной для инженерных расчетов точностью среднюю скорость точки рабочего органа можно определять как среднее квадратичное или среднее арифметическое значение максимальной и минимальной скорости.

Выражение для средней квадратичной скорости:

$$v_{cp.кв.} = \left[ \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} v^2 \psi d\psi \right]^{1/2} = \omega_1 r \sqrt{1+c^2} \quad (5)$$

Выражение для средней арифметической скорости:

$$v_{cp.ар.} = \frac{v_{max} + v_{min}}{2} = \omega_1 z e. \quad (6)$$

Используя полученные выражения, можно определить на стадии проектирования скорость любой точки рабочего органа МСП.

Полученные зависимости позволяют определить на стадии проектирования МСП основные кинематические параметры рабочего органа и планетарного механизма. Например, при  $z = 3$  и  $c = 3$  производящая точка описывает гипотрохоиду, практически совпадающую с контуром квадрата. Из (24) видно, что при  $\psi = 45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$ , т.е. когда производящая точка находится в середине ветви гипотрохоиды  $\cos \psi + 1 = -1$  и скорость производящей точки равна  $v_{max}$ . При  $\psi = 0^\circ; 90^\circ; 180^\circ; 270^\circ$ , т.е. когда производящая точка находится в вершине гипотрохоиды  $\cos \psi + 1 = 1$ , скорость в этой точке равна  $v_{min}$ . При этом отношение  $\frac{v_{max}}{v_{min}} = \frac{\tilde{n} + 1}{\tilde{n} - 1} = 2$ , т.е. скорость точки в середине ветви гипотрохоиды в два раза больше, чем в вершине.

Таким образом, при перемещении от вершины до середины ветви производящая точка движется с ускорением, а от середины ветви до следующей вершины точка движется с замедлением. Именно эту особенность движения точки можно использовать, например, для осуществления инерционной разгрузки ковшей питателя роторного погрузчика.

Используя полученные выражения, можно определить на стадии проектирования скорость любой точки рабочего органа МСП.

Ускорение точки, описывающей гипотрохоиду:

$$w = \omega_1^2 z e \sqrt{z^2 + c^2 - 2zc \cdot \cos(z + 1)\psi}, \quad (7)$$

Ускорение  $w$  изменяется в пределах:

$$w_{min} = \omega_1^2 z e (c - z), \quad (8)$$

$$w_{max} = \omega_1^2 z e (c + z). \quad (9)$$

Представленные выше упрощенные формулы (2-9) вполне пригодны для инженерных методов определения скоростей и ускорений точек рабочего органа машины.

Нами разработан алгоритм расчета на ПЭВМ траекторий, скоростей и ускорений точек циклоидальных рабочих органов МСП, который позволяет рассчитать вначале траектории движения точек при различных значениях  $z$ ,  $e$  и  $c$ , и после их анализа и выбора наиболее рационального варианта приступить к расчету скоростей и ускорений точек для этого варианта [1].

Как было отмечено выше, в настоящее время взамен машин (традиционных) с поступательным движением РО все чаще применяются более прогрессивные машины с вращающимся РО (ротором). Однако, многие из предложенных схем роторных машин имеют серьезные недостатки, основные из которых следующие: неравномерное движение рабочих органов вследствие действия сил сопротивления внедрению (вызывающие значительные инерционные нагрузки); неблагоприятные условия работы деталей системы уплотнения (детали подвергаются высоким тепловым и механическим нагрузкам) и, самый большой недостаток это то, что машины получаются очень большими (по габаритам) и тяжелыми (по весу) [2].

Геометрия рабочего органа машины с циклоидальным движением полностью определяется тремя величинами: числом вершин рабочего органа (ротора)  $z$ , эксцентриситетом  $e$  [или радиусом одной из шестерни  $R = e(\zeta + 1)$  или  $r = ze$ ] и параметром формы  $c$  (или производящим радиусом  $a$ ).

В первую очередь остановится на выборе параметра  $c$ , от которого зависят геометрические и кинематические соотношения рабочего органа (ротора) и который в значительной степени определяет радиальный габарит ротора.. Наименьшее значение параметра  $c$  оказывается больше теоретического минимума 1,67 и превышает 2.

Средняя скорость вершины ротора определяется формулой:

$$v_{cp} = \frac{z+1}{\pi} \omega_1 r \int_0^{\frac{\pi}{z+1}} \sqrt{1+c^2 - 2c \cos(\zeta + 1)\psi} d\psi \quad (10)$$

и она не зависит от  $z$  (после преобразований):

$$v_{cp} = \frac{2}{\pi} \omega_1 r (\zeta + 1) E\left(\frac{2\sqrt{c}}{c+1}\right) = \omega_1 r f(\zeta) \quad (11)$$

Величина эксцентриситета  $e$  выбирается так, чтобы диаметры шестерен соответствовали стандартному ряду модулей. Величина эксцентриситета должна обеспечивать достаточную жесткость передней шейки эксцентрикового вала, проходящей через неподвижную шестерню.

Основные параметры рабочих органов МСП с циклоидальным движением при известной форме поперечного сечения ротора (треугольник, квадрат, пятиугольник и т.д.) определяются через величину эксцентриситета  $e = R - r$ . Задавшись величиной  $e$  можно определить величину радиуса производящей окружности (сателлита)  $r = ze$ ; величину радиуса направляющей окружности (центрального зубчатого колеса)  $R = e(\zeta + 1)$ ; величину производящего радиуса  $a = cz = z^2 e$ . Затем, используя полученные выражения

(2-9), можно определить на стадии проектирования скорость и ускорение любой точки рабочего органа (ротора).

**Литература:**

1. Ли С.В. Проектирование и конструирование строительного-дорожных машин с планетарно-роторным движением рабочих органов // Вестник Национальной инженерной академии РК. – 2004. – №4 (14). – С. 68–73.
2. Ли С.В. Совершенствование рабочих органов строительного-дорожных машин // Известия научно-технического общества «КАХАК». – 2013. – № 2. – С. 76–79.

*Поступила 20 мая 2015 г.*

УДК 621.395

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАБОТЫ ОПЕРАТОРА КОНТАКТ – ЦЕНТРА

**Чежимбаева К. С.**

*Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Республика Казахстан*

*e-mail: katira67@yandex.ru*

*Проведено имитационное моделирование работы оператора контакт-центра. Рассмотрены количественные и качественные показатели, которые характеризуют работу оператора. Показано, что все показатели должны оцениваться количественно в соответствии с установленными нормами. Каждому показателю присваивается весовой коэффициент. В результате вычисляется интегральная оценка качества работы оператора.*

**Ключевые слова:** *контакт-центр, имитационное моделирование, оператор, оценка качества работы, индекс удовлетворенности.*

*Байланыс орталығы операторларының жұмысын имитациялық модельдеу жүргізілді. Оператор жұмысын сипаттайтын сандық және сапалық көрсеткіштер қарастырылды. Барлық көрсеткіштер белгіленген стандарттарға сәйкес санды түрде бағалану қажеттігі көрсетілді. Әр көрсеткішке салмақтық коэффициенті тағайындалады. Нәтижесінде операторлар жұмысы сапасының интегралды бағасы шығады.*

**Тірек сөздер:** *байланыс орталығы, имитациялық модельдеу, оператор, жұмыс сапасын бағалау, қанағаттану индексі.*

*The operator work imitating modeling of the contact center had been carried out. The quantitative and qualitative indicators characterizing the operator work had been considered. It had been shown that all indicators should be quantified in accordance with the established norms. A weight factor is assigned to each indicator. As a result a cumulative assessment of the quality of the operator work is calculated.*

**Keywords:** *a contact center, a imitating modeling, an operator, an evaluation of the quality of work, a satisfaction index.*

Эффективность работы современного контакт-центра во многом зависит от качества работы операторов. Оператор контакт-центра обслуживает заявки, поступающие из телефонной сети общего пользования (ТфОП), из Интернета, из сетей мобильной связи. Заявки могут быть как входящими, так и исходящими [1].

Современный контакт-центр представляет собой человеко-машинный комплекс, поэтому на качество обслуживания влияют не только характеристики программно – аппаратных средств, но и показатели качества обслуживания операторов.

Задача исследования и разработки методов управления качеством работы операторов контакт – центров является актуальной задачей. При решении данной задачи прежде всего необходимо разработать методику оценки качества работы оператора контакт-центра [2].

В контакт-центрах создаются специальные группы, которые оценивают работу операторов, определяют ключевые показатели эффективности KPI (Key Performance Indicators).

Рассмотрим показатели, которые характеризуют работу оператора. Их можно разделить на количественные и качественные.

К основным количественным показателям можно отнести:

- среднее время обработки вызова;
- процент вызовов, которые обслуживаются в течение требуемого по норме промежутка времени, SL (Service Level);
- процент потерянных вызовов;
- процент вызовов, получивших ответ с первой попытки, FCR (First Call Resolution).

Для каждого показателя устанавливаются нормы.

Кроме указанных количественных показателей при определении KPI используются следующие:

- среднее время ожидания ответа обслуженными абонентами;
- максимальное время ожидания ответа оператора;
- процент дозвона (процент обслуженных звонков от общего количества поступивших вызовов в центр);
- нагрузка на оператора в час;
- Ring Time (фактическое время, в течение которого звонит телефонный аппарат).

Технические средства современных контакт-центров позволяют достаточно точно оценить перечисленные количественные показатели.

В каждом контакт-центре при определении KPI применяются показатели и нормы, разработанные с учетом специфики работы.

Такой показатель, как процент потерянных вызовов, зависит от количества работающих операторов [3].

Среднее время ожидания ответа для разных категорий заявок отличаются друг от друга (очередь для заявок от ТфОП или очередь заявок от пользователей Интернета).

Имитационное моделирование работы оператора контакт-центра в системе GPSS World позволило получить результаты, представленные на рисунках 1 и 2.

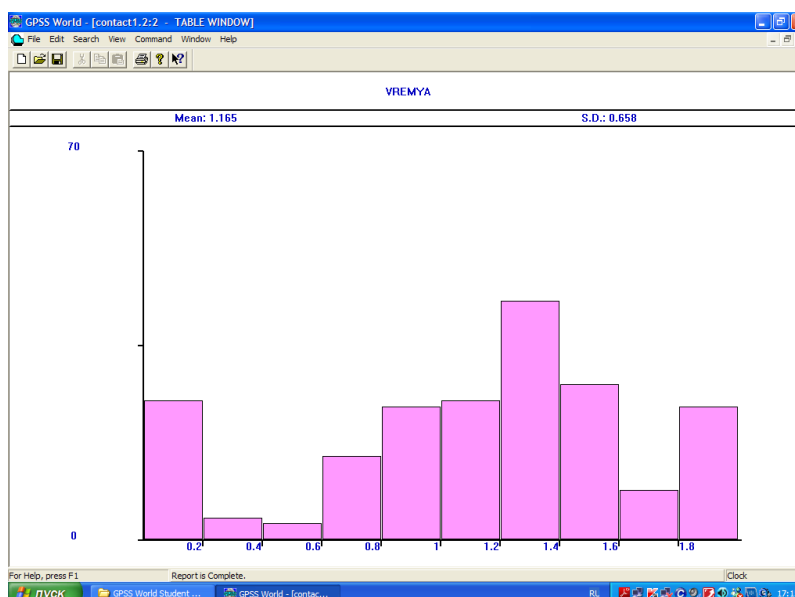


Рисунок 1 – Распределение времени ожидания в очереди заявок от ТфОП



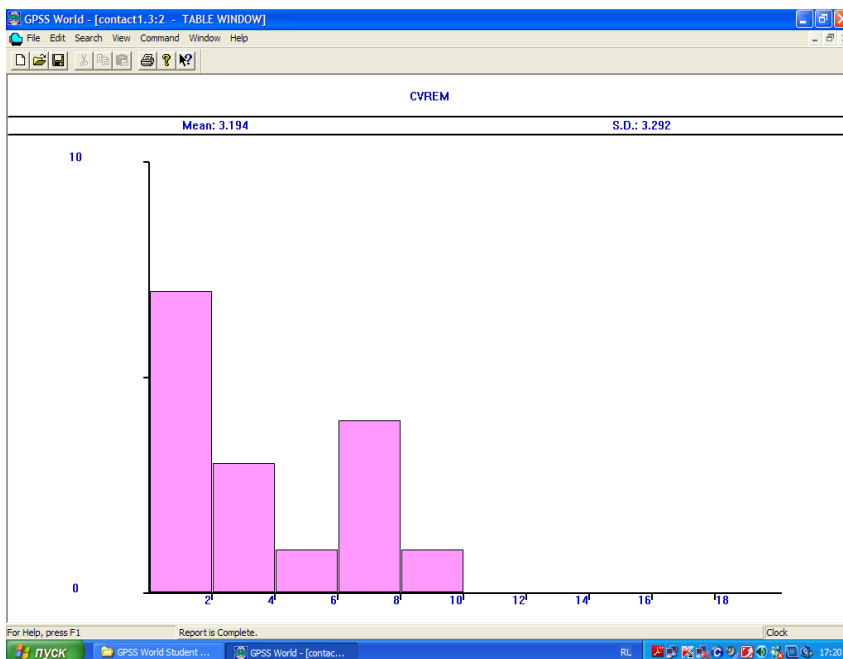


Рисунок 2 – Распределение времени ожидания для заявок из Интернет

В результате моделирования установлено, что математическое ожидание времени ожидания в очереди для телефонного вызова составляет 1,165 мин., а для заявки, поступившей по сети Интернет – 3,194 мин.

Более объективная оценка определения работы оператора реализуется при учете всех показателей.

Как показывает практика, среди перечисленных показателей основными являются первые четыре, особое внимание при этом необходимо уделять показателю FCR [3]. Показатель FCR характеризует не только работу отдельного оператора, но является индикатором общей эффективности работы контакт-центра, поскольку показывает степень хорошей организованности и удовлетворенности клиентов. Повышение показателя FCR приводит к экономии средств, сохраняет клиентов и увеличивает доходы.

Показатель FCR определяется как процент первоначальных звонков от общего количества поступивших первоначальных звонков. Трудность в определении данного показателя заключается в том, что трудно отличить первоначальный звонок от повторного. При оценке данного показателя необходимо учитывать такие обстоятельства, как звонок был от одного и того же клиента, по одной причине перезванивает клиент, звонок был повторным в течение заданного промежутка времени.

Алгоритм при расчете показателя FCR должен учитывать перечисленные факторы.

Если первые три основных показателя зависят не только от скорости работы оператора, но и от технических показателей контакт-центра, и могут быть измерены автоматически, то показатель FCR является не только количественной оценкой, но и качественной, поскольку он отражает такие характеристики оператора, как компетентность и умение вести диалог.

Учет качественных показателей является более сложным, чем количественных. Оценка качественных показателей производится при непосредственном прослушивании диалогов оператора с клиентами или прослушивании записей. Выполняет данную работу специальная группа работников контакт-центра. При этом необходима градация выставляемых оценок и соответствующие нормы. Полученные показатели позволяют объективно оценить работу

операторов и учитывать их при дальнейшем обучении. При мониторинге работы операторов учитываются навыки ведения диалога, соблюдение всех процедур, компетентность, умение работать с базами данных. В этот перечень каждый контакт-центр в зависимости от специфики работы может ввести свои новые пункты.

Все перечисленные выше показатели определяются менеджерами контакт – центра. Существует еще один показатель работы оператора, а именно индекс удовлетворенности клиентов (CSAT). Данный показатель определяется проведением опросов клиентов о качестве их обслуживания. Клиентам задается вопрос об их удовлетворенности от работы с оператором по шкале от 1 до 5. Определяются все количественные и качественные показатели работы оператора контакт-центра, каждому из них присваивается весовой коэффициент, и определяется интегральный показатель KPI.

Таким образом, при оценке качества работы оператора контакт-центра должны быть определены все количественные и качественные показатели. При этом все показатели должны оцениваться количественно с установленными нормами. Каждому показателю присваивается весовой коэффициент, затем вычисляется интегральная оценка качества работы оператора.

#### **Литература:**

1. Лещинская Э.М., Туманбаева К.Х. Прогнозирование исходящего трафика контакт-центра // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. – 2014. – №3. – С. 60–66.
2. Бельская Н.М. Исследование и разработка алгоритмов мониторинга и анализа качества работы операторов контакт-центра // Автореферат канд. дисс. – Самара, 2012.
3. Чежимбаева К.С. Анализ состояния обеспечения качества обслуживания в контакт-центрах // Известия научно-технического общества "КАХАК". – 2015. – №1(48). – С. 90 –93.

*Поступила 18 мая 2015 г.*

УДК 556.3:550.82(077)

## РАЗВИТИЕ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

**Шамшидинова А. А., Аширяев К. Ш.**

*Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева,  
Институт архитектуры и строительства им. Т.К. Басенова  
Алматы, Республика Казахстан  
e-mail: [ai.sulu.92@mail.ru](mailto:ai.sulu.92@mail.ru)*

*В статье проанализированы данные Южно-Казахстанской области по использованию подземных вод основными отраслями экономики за 2004–2010 гг. в разрезе административных областей, водохозяйственных бассейнов и в целом по Южно-Казахстанской области, рассчитаны прогнозные величины использования подземных вод на 2015 и 2020 гг., установлены тенденции в изменении структуры использования.*

**Ключевые слова:** подземные воды, хозяйственно-питьевое водоснабжение, производственно-технического водоснабжение, водоснабжение сельского хозяйства.

*Бұл мақалада 2004–2010 жж. аралығында Оңтүстік Қазақстан Облысы бойынша экономика салаларындағы жерасты суларының пайдаланылуы жайындағы мәліметтер талданған, 2015 және 2020 ж.ж. жерасты суларын пайдаланудың болжамдық мөлшерлері есептелген, пайдалану құрылымының өзгеруіндегі басым бағыттар анықталған.*

**Тірек сөздер:** жер асты сулары, шаруашылық ауыз сумен жабдықтау, өндірістік-техникалық сумен жабдықтау, ауылшаруашылық сумен жабдықтау.

*Data on use of underground waters by primary branches of economy for 2004–2010 in a cut of administrative areas, water economic pools and as a whole across the South-Kazakhstan region are analysed, look-ahead sizes of use of underground waters on 2015 are calculated and 2020, are established to a tendency in change of structure of use.*

**Keywords:** underground waters, economic and drinking water supply, water supply agriculture, rational using.

Подземные воды представляют собой ценнейшее полезное ископаемое, играющее исключительно важную роль в развитии производительных сил страны и, особенно, в жизни людей. Они широко используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения, орошения сельскохозяйственных угодий и водопоя скота, производственно-технического водоснабжения, лечебных целей, извлечения ряда ценных компонентов, а также как источник тепла.

Рациональное и эффективное использование подземных вод в отраслях экономики РК продиктовано необходимостью переосмысления прежнего отношения к воде. Мировой опыт показывает, что для стабильного социально-экономического, а в последнее время и экологического развития, необходимо восстановить и сохранить природные водные источники. Вода, забранная из источника и доставленная до потребителя в определенном количестве и качестве, является не природным ресурсом, а сырьем, на добычу и транспортировку которого затрачено значительное количество материальных, трудовых и финансовых ресурсов. Объем воды ограничен и как природный ресурс уязвим к внешним

воздействиям, использование воды должно базироваться на жестком и целенаправленном водосбережении, обеспечивающем ее постоянное воспроизводство.

Под рациональным и эффективным использованием подземных вод в отраслях экономики нами понимается метод водопользования включающий широкий комплекс технических, организационно-экономических, юридических и воспитательных мер, направленных на достижение высоких эколого-экономических результатов при наименьших затратах.

Рациональное и эффективное использование подземных вод в отраслях экономики РК является объективной закономерностью в условиях устойчивого развития экономики. Оно позволяет, сохраняя окружающую среду, удовлетворять возрастающие социальные и экономические потребности общества, не снижая темпов экономического роста на основе внедрения в производство ресурсосберегающих и более чистых производств, совершенствования управления водопользованием и охраной подземных вод.

В Казахстане выявлены значительные естественные запасы и ресурсы, а также прогнозные региональные эксплуатационные возможности пресных и слабоминерализованных подземных вод. Значительная часть их подтверждена разведочными работами и утверждена соответствующими государственными органами.

Они предназначены для использования в нескольких направлениях, в частности: а) для хозяйственно-питьевого водоснабжения городов, райцентров, поселков, сельских населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных объектов; б) в качестве бальнеологических (лечебных) источников и для обводнения пастбищ.

Использование подземных вод в последние годы в различных отраслях экономики республики и для социальных нужд населения заметно сократилось. Так, если в 1989 г. общий водоотбор и расходование их ресурсов составили в среднем 76,8 м<sup>3</sup>/с, то в 1995 г. они сократились до 55 м<sup>3</sup>/с, в 2000 г. – до 46 м<sup>3</sup>/с, в 2007 г. – до 35,3 м<sup>3</sup>/с, а в 2010 г. составил 40,1 м<sup>3</sup>/с.

В настоящее время источниками хозяйственно-питьевого водоснабжения в РК являются, в основном, подземные воды (51% использования в общем балансе водопотребления). По данным информационно-аналитического центра Комитета геологии и недропользования МИНТ РК, всего в Республике Казахстан на 01.01.2010г. разведано 1460 месторождений, участков месторождений, водозаборов подземных вод с утвержденными в ГКЗ и ТКЗ запасами. Из них, минеральных – 70, пресных и слабосоленых – 1390.

По данным межрегиональных департаментов Комитета геологии и недропользования для хозяйственно-питьевого водоснабжения используется от 10,84 % подземных вод в Акмолинской до 99,7 % в Актюбинской областях. В 2010 г. для хозяйственно-питьевого водоснабжения в РК использовалось 49 % поверхностных вод от общего баланса хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Общая величина прогнозных ресурсов подземных вод бассейна по результатам расчетов составляет, тыс.м<sup>3</sup>/сут (млн.м<sup>3</sup>/год): 24929,90 (9099,4), из них по Южно-Казахстанской области – 8978,90 (3277,3), по Кызылординской области – 15950,96 (5822,1). За отчетный период эксплуатировались из прогнозных запасов по ЮКО 203,50 (74,2768), по Кызылординской – 55,28 (20,177).

Прогнозные ресурсы подземных вод на территории бассейна распределены достаточно равномерно. Большая часть ресурсов пресных подземных вод сосредоточена в южной и юго-восточной зонах бассейна, где располагается основная область их питания. В направлении к центральным и северо-западным районам Сырдарьинской впадины происходит повышение

минерализации подземных вод, и они становятся непригодными для питьевого водоснабжения. Воды сравнительно невысокой минерализации здесь встречаются в прибрежной зоне реки Сырдарья на небольших участках песчаных массивов в виде отдельных линз. Низкое инфильтрационное питание подземных вод и слабая обводненность пород Восточного Приаралья создает здесь острый дефицит вод питьевого качества.

На рассматриваемой территории разведано и утверждено около 60 месторождений подземных вод с суммарной величиной эксплуатационных запасов по сумме категорий А+В+С<sub>1</sub>+С<sub>2</sub> 4366,67 тыс.м<sup>3</sup>/сут (1593,8 млн.м<sup>3</sup>/год). Из них в Южно-Казахстанской области 34 (5 минводы) с запасами 2430,78 тыс.м<sup>3</sup>/сут (887,235 млн. м<sup>3</sup>/год), по Кызылординской области 26 месторождений с запасами 1374,05 тыс. м<sup>3</sup>/сут (501,4 млн.м<sup>3</sup>/год). За отчетный период эксплуатировались по ЮКО 27 месторождений с запасами 219,292 тыс.м<sup>3</sup>/сут (80,0447 млн. м<sup>3</sup>/год), по Кызылординской -15 с запасами 65,69тыс.м<sup>3</sup>/сут (23,979млн. м<sup>3</sup>/год).

Нами собраны и проанализированы данные по забору и использованию подземных вод основными отраслями экономики (по форме 2-ТП) за 2004-2010 гг. в разрезе административных областей, водохозяйственных бассейнов и в целом по Южно-Казахстанской области, кроме этого, рассчитаны ожидаемые прогнозные величины (на 2015 и 2020 гг.) забора и использования подземных вод, построены гистограммы изменения этих величин по годам, рассчитаны коэффициенты их роста по отраслям экономики за период 2005–2010 гг., 2010–2015 гг. и 2015–2020 гг., установлено соотношение величин использования подземных вод на различные нужды в общем балансе водопотребления (структура использования в %) в разрезе 2004, 2005, 2007, 2008, 2010 и 2015, 2020 гг. (прогнозная).

Рассмотрено использование подземных вод по следующим отраслям экономики: хозяйственно-питьевое водоснабжение; производственно-техническое водоснабжение; водообеспечение сельского хозяйства, включающее регулярное орошение, сельхозводоснабжение, обводнение пастбищ; прочие нужды – прудоворыбное хозяйство, полив зеленых насаждений, наполнение наливных водохранилищ, поддержание пластового давления в напорных водоносных горизонтах.

В таблице и на рисунке приводятся данные по структуре и динамике использования подземных вод отраслями экономики по Южно-Казахстанской области.

Анализ приведенных данных показывает следующее:

*Хозяйственно-питьевое водоснабжение.* Использование подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения в целом по Южно-Казахстанской области, начиная с 2007 г., постоянно увеличивается. Так, если в период 2005–2007г.г. оно колебалось в пределах 40130,2– 31649,6 млн. м<sup>3</sup>/год, то в 2010 г. выросло до 31649,6 млн.м<sup>3</sup>, в 2015 г. прогнозируется использовать 420,5 млн.м<sup>3</sup>, а в 2020 г. – 618,1 млн.м<sup>3</sup>.

Коэффициент роста этой величины составил 0,79 за период 2005–2010гг., за 2010–2015г.г. прогнозируется его увеличение в 1,33, и в 2020 г. – в 1,47 раза, его величина достигнет 61815,2 тыс.м<sup>3</sup>.

*Производственно-техническое водоснабжение.* Величина использования подземных вод на производственные нужды, начиная с 2006г., в связи с ростом промышленного производства также постоянно увеличивается. В 2005 г. она составляла 158,4млн.м<sup>3</sup>, к концу 2010 г. увеличилась до 293,8 млн.м<sup>3</sup>, в 2015 г. прогнозируется использовать до 486,5 млн. м<sup>3</sup>, а в 2020 г. – до 700,2 млн.м<sup>3</sup>.

Таблица – Структура и динамика использования подземных вод по Южно-Казахстанской области

№ пп	Виды использования	2005 г.		2010 г.		2015 г. (прогноз)		2020 г. прогноз)	
		тыс.м <sup>3</sup>	%	тыс.м <sup>3</sup>	%	тыс.м <sup>3</sup>	%	тыс.м <sup>3</sup>	%
1	Хозяйственно-питьевые нужды	40130,2	28,9	31649,6	21,8	42050,6	20,5	61815,2	21,6
2	Производственные нужды	15847,8	11,4	29386,2	20,3	48650,6	23,8	70027,4	24,4
3	Сельское хозяйство, в том числе:	82156,0	59,1	83241,5	57,4	113988,6	55,7	153724,1	53,6
	Регулярное орошение	56,0	0	18,6	0	24,6	0	35,3	0
	Сельхозводоснабжение	63200,0	45,4	64907,9	44,7	91305,4	44,6	124507,4	43,4
	Обводнение пастбищ	18900,0	13,6	18315,0	12,6	22658,6	11,1	29181,5	10,2
	Прочие нужды	938,1	0,7	772,2	0,5	0	0	1069,5	0,4
	Всего:	139072,1	100,0	145049,6	100,0	204689,8	100,0	286636,2	100,0

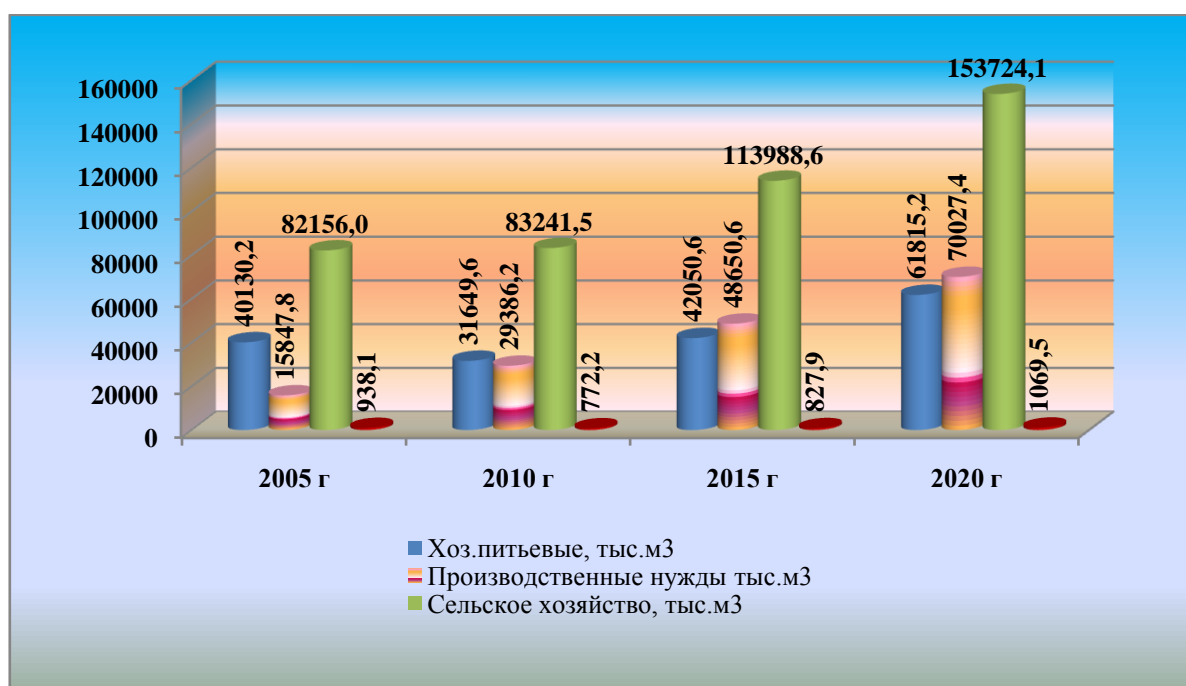


Рисунок – Использование подземных вод отраслями экономики по Южно-Казахстанской области

Коэффициент роста использования подземных вод в этой отрасли экономики составил за период 2005–2010гг. 1,85, за 2010–2015гг. прогнозируется его увеличение до 1,66, а в 2020г. в 1,44 раза.

*Водоснабжение сельского хозяйства.* Использование подземных вод в сельскохозяйственной отрасли экономики республики в целом увеличивается год от года в связи с интенсивным развитием ее составляющих: регулярного орошения, сельхозводоснабжения, обводнения пастбищ. Прогнозируется увеличение коэффициента роста использования подземных вод по отрасли в целом до 1,37 за период 2010–2015 гг., т.е. на 37 %, в 2020 г. он составит 1,35, т.е. использование подземных вод увеличится за 2015–2020 гг. еще на 35% и составит 153724,1 млн.м<sup>3</sup>.

С увеличением площади орошаемых массивов значительно увеличивается и величина использования подземных вод для полива сельхозкультур. Так, если за период 2005–2008гг. использование сократилось от 12,9 до 8,2 млн. м<sup>3</sup>/год, в 2010г. наблюдается его увеличение до 11,1 млн. м<sup>3</sup>, а в 2015–2020гг. – до 12,4–13,5 млн.м<sup>3</sup>. Потери воды, которые в 2004–2007гг. колебались от 10,9 до 6,2% от забора, в 2010г. составили 4,5 %, в 2015г. ожидаются – 3,8 %, в 2020г. – 2,3 %.

Использование подземных вод для водоснабжения сельских населенных пунктов в период с 2004 по 2008 гг. постоянно увеличивалось (от 155,3 до 180,6 млн. м<sup>3</sup>. К концу 2010г., в связи со значительной миграцией сельского населения в города и ухудшением сельхозводоснабжения, произошло уменьшение водопотребления от 180,6 до 170,6 млн. м<sup>3</sup>, но к 2015 г. прогнозируется увеличение использования подземных вод для сельхозводоснабжения до 82156,0 млн.м<sup>3</sup>, а к 2020 г. – до 153724,1 млн.м<sup>3</sup>. Потери воды здесь постоянные и колеблются от 0,7 до 1,2 % от забора воды.

Величина использования подземных вод для обводнения пастбищ в период 2004–2008 гг. колебалась незначительно и составляла от 51,4 до 54,9 млн. м<sup>3</sup>/год. К концу 2010 г. наблюдается водопотребление для этих целей на том же уровне – 54,4 млн.м<sup>3</sup>. Но к 2015 г., в связи с интенсификацией животноводческой отрасли сельского хозяйства и значительным ростом поголовья скота, прогнозируется увеличение использования подземных вод для обводнения пастбищ до 69,6 млн.м<sup>3</sup>, а к 2020 г. – до 88,9 млн.м<sup>3</sup>. Потери воды здесь незначительные и не превышают 0,2–0,4% от забора.

Соотношение величин использования подземных вод на различные нужды в общем годовом балансе водопотребления (структура использования) в процентном отношении постоянно на протяжении ряда лет (с 2004 по 2010 гг.). Наибольшее количество подземных вод используется для хозяйственно-питьевого водоснабжения городов (53,6–21,8 %), далее следуют производственно-техническое водоснабжение (11,4–57,4 %) и водообеспечение сельских населенных пунктов (44,7–45,4 %). В значительно меньших объемах подземные воды используются для обводнения пастбищ (6,4–7,9 %), на прочие нужды (прудово-рыбное хозяйство, полив зеленых насаждений, наполнение наливных водохранилищ и т.п. – 7,5–9,3 %) и для регулярного орошения (1,0–1,7 %). Из общего водопотребления подземных вод отраслями экономики на сельское хозяйство в целом приходится от 38 до 41 %. В перспективе (2015–2020 гг.), в связи с общим увеличением использования подземных вод отраслями экономики, прогнозируется увеличение доли их использования на хоз.питьевые нужды (до 22 %) и для водоснабжения сельских населенных пунктов (до 43,4 %). Немного уменьшится доля их использования на производственно-технические нужды (до 24,4%).

В заключение следует отметить, что выполненный анализ использования подземных вод в отраслях экономики Южно-Казахстанской области позволяет дать прогнозные оценки на ближайшую перспективу. Прежде всего, эффективность прогноза зависит от его качества, которое в свой очередь, измеряется рядом параметров, в том числе

точностью. Для предварительной оценки качества прогноза определяют его достоверность, то есть степень вероятности его осуществления и доверительные интервалы, в границах которых формируется прогноз. В конечном счете, эффективность водохозяйственных прогнозов определяется в основном точностью методов прогнозирования, достоверностью и полнотой исходной и обрабатываемой информации, а также навыками в работе прогнозиста и применяемых вычислительных средств.

**Литература:**

1. Ахмедсафин У.М., Джабасов М.Х., Курмангалиев Р.М. и др. Региональные ресурсы подземных вод Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1983. – 176 с.
2. Водные ресурсы Казахстана в новом тысячелетии. Обзор. – Алматы: ПРООН, 2004. – 132 с.
3. Охрана окружающей среды и устойчивое развитие Казахстана. Статистический сборник. – Астана, 2009. – 134 с.
4. Водные ресурсы Казахстана. Справочник. – Алматы: Ғылым, 2002. – 595 с.

*Поступила 12 марта 2015 г.*



## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- |    |                            |  |
|----|----------------------------|--|
| 1  | <b>Azhiyeva G. I.</b>      | – к.т.н., ассоциированный профессор Международной образовательной корпорации (кампус КазГАСА)  |
| 2  | <b>Аширяев К. Ш.</b>       | – к.т.н., доцент Института архитектуры и строительства им. Т.К. Басенова Казахского национального технического университета им. К.И. Сатпаева  |
| 3  | <b>Vereschagin N. A.</b>   | – старший научный сотрудник Центра физико-химических методов исследования и анализа Казахского национального университета им. аль-Фараби   |
| 4  | <b>Грищенко М. А.</b>      | – магистрант Казахской автомобильно-дорожной академии им. Л.Б. Гончарова   |
| 5  | <b>Zharaspayeva G. Zh.</b> | – к.т.н., ассоциированный профессор Международной образовательной корпорации (кампус КазГАСА)  |
| 6  | <b>Zhumagulova R. Ye.</b>  | – к.т.н., ассоциированный профессор Международной образовательной корпорации (кампус КазГАСА)  |
| 7  | <b>Закиров Б. С.</b>       | – д.т.н., директор Института общей и неорганической химии, Ташкент, Республика Узбекистан  |
| 8  | <b>Ибатова А.</b>          | – студентка Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева  |
| 9  | <b>Исмаил Е. Е.</b>        | – к.т.н., заведующий лабораторией технического регулирования в сфере космической деятельности ДТОО «Институт космической техники и технологий» АО «Национальный центр космических исследований и технологий» |
| 10 | <b>Калиева С. А.</b>       | – к.т.н., Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева   |
| 11 | <b>Ким А. С.</b>           | – д.ф-м.н., заведующий лабораторией исследования литосферно-ионосферных процессов АО «Национальный центр космических исследований и технологий»  |
| 12 | <b>Kim D. S.</b>           | – к.т.н., доцент отдела радиационной безопасности Института ядерной физики   |
| 13 | <b>Korulkin D. Yu.</b>     | – д.х.н., профессор кафедры химии и технологии органических веществ, природных компонентов и полимеров Казахского национального университета им. аль-Фараби  |
| 14 | <b>Лахбаева Ж. А.</b>      | – докторант PhD Казахского национального университета им. аль-Фараби   |
| 15 | <b>Ли С. В.</b>            | – д.т.н., профессор Казахской автомобильно-дорожной академии им. Л.Б. Гончарова  |

- 16 **Muzychkina R. A.** – д.х.н., профессор кафедры химии и технологии органических веществ, природных компонентов и полимеров Казахского национального университета им. аль-Фараби
- 17 **Мусабеков К. Б.** – д.х.н., профессор Казахского национального университета им. аль-Фараби
- 18 **Мухит А. А.** – студент Казахской автомобильно-дорожной академии им. Л.Б. Гончарова
- 19 **Мынжасарова Г. Ә.** – к.т.н., старший преподаватель кафедры экологической безопасности и охраны окружающей среды Казахского национального университета им. аль-Фараби
- 20 **Мячина О. В.** – к.б.н. Института общей и неорганической химии, Ташкент, Республика Узбекистан
- 21 **Naoki Matsuda** – доктор PhD, профессор, заведующий кафедрой радиологической защиты Университета Нагасаки, Япония
- 22 **Nuraliev R. M.** – научный сотрудник Центра физико-химических методов исследования и анализа Казахского национального университета им. аль-Фараби
- 23 **Омарова Г. Т.** – научный сотрудник лаборатории неорганического синтеза и материалов Института химических наук им. А.Б. Бектурова
- 24 **Реймов А. М.** – д.т.н., заместитель директора Института общей и неорганической химии, Ташкент, Республика Узбекистан
- 25 **Сагымбай А.** – магистрант Казахского национального университета им. аль-Фараби
- 26 **Tazhigulova B. K.** – к.т.н., ассоциированный профессор Международной образовательной корпорации (кампус КазГАСА),
- 27 **Tolstikova T. G.** – д.б.н., профессор Института органической химии им. Н.Н. Воронцова, Новосибирск, Российская Федерация
- 28 **Тойпасова Ұ. М.** – к.т.н., с.н.с. лаборатории неорганического синтеза и материалов Института химических наук им. А.Б. Бектурова
- 29 **Чезимбаева К. С.** – к.т.н., доцент кафедры инфокоммуникационных технологий Алматинского университета энергетики и связи
- 30 **Ұсманов С.** – д.т.н., заведующий лабораторией неорганического синтеза и материалов Института химических наук им. А.Б. Бектурова
- 31 **Шамшидинова А. А.** – магистрант Казахского национального технического университета им. К.И. Сатпаева

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Журнал «Известия НТО «Кахак» публикует написанные на русском, казахском, английском и корейском языках оригинальные статьи, обзоры. Журнал дает информацию, связанную с деятельностью общества.

2. В оригинальных статьях могут рассматриваться результаты как теоретических, так и прикладных НИР.

3. Авторы, желающие опубликовать обзорную статью, должны предварительно согласовать ее тематику, представив аннотацию на 1–2 стр. В обзорах следует освещать темы, представляющие достаточно общий интерес по выбранной тематике или отражающие какой-либо важный аспект применения в промышленности, сельском хозяйстве, медицине и т.д. Допускается обобщение результатов многолетних исследований научных коллективов.

4. Объем статьи не должен превышать 10 страниц формата А4. Статья должна начинаться с введения. В нем должны быть даны: содержательная постановка рассматриваемого в статье вопроса, краткие сведения по его истории, отличие предлагаемой задачи от уже известных, или преимущество излагаемого метода по сравнению с существующим. Основная часть статьи должна содержать формулировку задачи и предлагаемый метод ее решения, заключительная часть – краткое обсуждение полученных результатов и, если возможно, пример, иллюстрирующий их эффективность и способы применения.

5. Все статьи проходят именованное рецензирование.

6. Авторы могут представить электронную версию своей статьи по адресу: [izv.ntokaxak@mail.ru](mailto:izv.ntokaxak@mail.ru)

### Требования к оформлению рукописей

Статьи представляются в электронном виде в текстовом редакторе Word 97, формулы набираются с помощью редактора MS Equation 3.0 (2.0) или Chem Draw.

Шрифт Times New Roman 12 pt. Межстрочный интервал одинарный. Поля: верхнее – 2.0 см, нижнее – 2.0 см, левое – 2 см, правое – 2.0 см. Абзац – красная строка – 0,5 см.

Текст статьи должен начинаться с указания:

*с левой стороны* - индекса УДК,

*ниже* приводятся:

- название статьи (прописные буквы, форматирование по центру),
- фамилии и инициалы авторов (прописные/светлые, форматирование по центру),
- название организации и ее местонахождение,
- e-mail авторов
- аннотации, содержащие не менее 5-7 предложений
- ключевые слова, обеспечивающие полное раскрытие содержания статьи (5 слов),
- текст статьи,
- список литературы,
- Ф.И.О. авторов, название статьи, резюме, ключевые слова на трех языках (на казахском, английском и русском).

Рисунки должны быть представлены в отдельном файле. Рисунки, таблицы в тексте должны иметь заголовки, на каждую таблицу в тексте должна быть ссылка.

Статья представляется в **doc** или **docx** формате, а также идентичная копия в **pdf** формате, на электронный адрес журнала, в отдельных файлах дублируются рисунки, таблицы, графики, схемы, а также приводятся сведения об авторах (фамилия, имя, отчество, ученая степень, должность и звание, служебный адрес, место работы и телефоны для связи).

Ссылки на литературные источники в тексте приводятся в квадратных скобках. Библиографический список оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание: общие требования и правила составления».

## СОДЕРЖАНИЕ

### **ОБЗОР**

**КИМ А.С.**

О волнах сдвига в очаговой зоне при внезапном возникновении разрыва ..... 4

### **ХИМИЯ**

**NURALIEV R. M., KORULKIN D. YU., MUZYCHKINA R. A.**

Technology of radical decaline bromination reaction ..... 32

**VERESCHAGIN N. A., TOLSTIKOVA T. G., KORULKIN D. YU., MUZYCHKINA R. A.**

Technology of synthesis of n-substituted anthraquinones having analgesic effect ..... 40

**МУСАБЕКОВ К.Б., САГЫМБАЙ А. Б., ЛАХБАЕВА Ж. А.**

Влияние монослоев поверхностно-активных веществ на испарение воды ..... 46

**ҰСМАНОВ С., ТОЙПАСОВА Ұ. М., ОМАРОВА Г.Т., РЕЙМОВ А. М., МЯЧИНА О. В.**

Топырақтағы кейбір микроорганизмдер санына және оның құрамындағы органикалық заттар мен қоректік элементтердің жинақталуына фитобиопрепараттың әсері ..... 53

**ҰСМАНОВ С., ТОЙПАСОВА Ұ.М., ОМАРОВА Г.Т., МЫҢЖАСАРОВА Г.Ө., ЗАКИРОВ Б. С.**

Фитобиопрепарат негізінде байытылған органоминералды тыңайтқыштардың агрохимиялық және экономикалық тиімділігін мақта егістігінде зерттеу ..... 60

### **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**ИСМАИЛ Е. Е.**

Общие требования и принципы обеспечения качества программных средств космического назначения ..... 66

**КАЛИЕВА С. А., ИБАТОВА А.**

Эффективность внедрения IVR-системы в современный Call-центр ..... 75

**KIM D. S., NAOKI MATSUDA, ZHUMAGULOVA R. YE., TAZHIGULOVA B. K., ZHARASPAYEVA G. ZH., AZHIYEVA G. I.**

The study of the effect of (U<sub>0.80</sub>PU<sub>0.20</sub>)O<sub>2.00</sub> uranium-plutonium mixed fuel fission products on a living organism ..... 80

**ЛИ С.В., ГРИЩЕНКО М.А., МУХИТ А.А.**

Определение основных параметров машин строительного производства с циклоидальным движением рабочих органов ..... 90

***ЧЕЖИМБАЕВА К. С.***

Оценка качества работы оператора контакт-центра ..... 95

***ШАМШИДИНОВА А. А., АШИРЯЕВ К. Ш.***

Развитие и современное состояние использования подземных вод Южно-Казахстанской области ..... 99

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ** ..... 105

**ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ** ..... 107

## CONTENTS

### REVIEW

*KIM A. S.*

About the shear waves in the source zone at the sudden formation of failure ..... 4

### CHEMISTRY

*NURALIEV R. M., KORULKIN D. YU., MUZYCHKINA R. A.*

Technology of radical decaline bromination reaction ..... 32

*VERESCHAGIN N. A., TOLSTIKOVA T. G., KORULKIN D. YU., MUZYCHKINA R. A.*

Technology of synthesis of n-substituted anthraquinones having analgesic effect ..... 40

*MUSABEKOV K. B., SAGYMBAY A. B., LAHBAEVA ZH. A.*

Effect of surfactants monolayers on water evaporation ..... 46

*USMANOV S., TOIPASSOVA U. M., OMAROVA G. T., REYMOV A. M.,*

*MYACHINA O. V.*

The effect of the fitobiopreparation on the number some microorganisms and accumulation of nutrients and organic matter in soil..... 53

*USMANOV S., TOIPASSOVA U. M., OMAROVA G. T., MYNZHASAROVA G. O., ZAKIROV B. S.*

The research agrochemical and economic efficiency of organic fertilizers of the based fitobiopreparation on crops of cotton ..... 60

### TECHNICAL SCIENCES

*ISMAIL E. E.*

General requirements and principles quality assurance of software for space purposes .... 66

*KALIEVA S. A., IBATOVA A.*

Efficiency of the implementation of IVR-system into a modern Call-center..... 75

*KIM D.S., NAOKI MATSUDA, ZHUMAGULOVA R.YE., TAZHIGULOVA B.K., ZHARASPAYEVA G. ZH., AZHIYEVA G. I.*

The study of the effect of (U<sub>0.80</sub>PU<sub>0.20</sub>)O<sub>2.00</sub> uranium-plutonium mixed fuel fission products on a living organism..... 80

*LEE S. V., GRISHENKO M. A., MUHIT A. A.*

Determination of basic parameters of the machine building production cycloidal movement of workers bodies ..... 90

*CHEZHIMBAEVA K. S.*

Assessment of the quality of work of the operator of the contact center ..... 95

***SHAMSHIDINOVA A.A., ASHIRYAEV K.SH.***

Development and present state of groundwater use South-Kazakhstan region ..... 99

**THE INFORMATION ABOUT AUTHORS** ..... 105

**INSTRUCTIONS FOR AUTHORS** ..... 107

Компьютерный набор и макетирование Ли У.П.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Курмангазы, 40 (Дом Дружбы), офис 34  
тел. 8(727) 272 67 74, 8(727) 272 79 02, 8(727)291 60 69



Подписано в печать 20.06.2015 г.  
Печать трафаретная. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная № 1.  
Тираж 500 экз.

Отпечатано в «Print Express – Издательство и полиграфия»  
ул. Курмангазы/Мауленова 110/81  
тел. 8(727) 272 60 11, 8(727) 272 60 50