



Д. Серікбаев  
атындағы  
Шығыс Қазақстан  
мемлекеттік техникалық  
университетінің

## **ХАБАРШЫСЫ**



## **ВЕСТНИК**

Восточно-Казахстанского  
государственного технического  
университета  
имени  
Д. Серикбаева

3

## ВЕСТНИК

**Восточно-Казахстанского государственного  
технического университета  
им. Д. Серикбаева**

Главный редактор  
доктор биологических наук, профессор  
**Ж.К. Шаймарданов**



## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Институт вычислительных технологий  
Сибирского отделения РАН**

Главный редактор  
академик  
**Ю.И. Шокин**



## Том II

Усть-Каменогорск, 2018

## **Редакционная коллегия:**

Заместитель главного редактора:  
О.Д. Гавриленко, канд. геол.-мин. н.  
Ответственный секретарь - О.Н. Николаенко

### **Члены коллегии:**

А.К. Адрышев, д-р техн. н., проф.,  
А.Н. Алексеенко, д-р ист. н., проф.,  
Д.Л. Алонцева, канд. физ.-мат. наук, проф.,  
Ю.В. Баталов, д-р экон.н., проф.,  
Ю.А. Веригин, д-р техн. н., проф.,  
Б.А. Дьячков, д-р геол.-мин. н., проф.,  
М.В. Дудкин, д-р техн. наук, проф.,  
А.В. Егорина, д-р геогр. наук, проф.,  
С.А. Жуманазар, канд. экон. наук, доц.,  
Т.Т. Ипалаков, д-р техн. н., проф.,  
А.И. Квасов, д-р техн. н., проф.,  
Е.А. Колос, д-р экон. наук, доц.,  
В.П. Колпакова, д-р техн. наук, доц.,  
Ж.О. Кульсейтов, д-р техн. н., проф.,  
Н.П. Малышев, канд. экон. н., проф.,  
О.А. Манцуров, полковник,  
Ж.Д. Назбиев, д-р. филол. н., проф.,  
С.В. Плотников, д-р физ.-мат. н., проф.,  
А.Д. Погребняк, д-р физ.-мат. наук, проф.,  
М.К. Скаков, д-р физ.-мат. н., проф.,  
Б.В. Сырнев, д-р техн. н., проф.,  
А.К. Томилин, д-р физ.-мат. н., проф.,  
Е.М. Турганбаев, канд. физ.-мат. н., Dr. PhD.,  
С.Д. Тыныбекова, д-р пед. н., проф.  
Н.Г. Хисамиев, д-р физ.-мат. н., проф.,  
В.Ю. Чернавин, канд. техн. н, проф.,  
Ю.Н. Шапошник, д-р техн. н., проф.

ISSN 1561- 4212

© Восточно-Казахстанский  
государственный технический  
университет им. Д. Серикбаева,  
2018



УДК 621.317.08

**Н.Н. Акимбекова, Н.Р. Жолмагамбетов, Н.А. Медеубаев, А.Д. Нургалиева,  
С.Р. Жолмагамбетов**

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ЗАКЛАДКЕ  
ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА**

*Закладка выработанного пространства в качестве меры защиты охраняемых объектов на подрабатываемых территориях и уменьшения деформаций поверхности земли имеет актуальное значение. В данной статье установлены закономерности влияния усадки закладочного массива на определение эффективности мощности пласта. Определено влияние гидравлической закладки выработанного пространства на величины сдвигений и деформаций от вида закладочных материалов.*

*Өндөлгөн кеңістікті толтырмалау жұмыс атқарылатын аумақтағы қорғалатын нысандарды сақтау шарасы ретінде және жердің үстінде қабатының деформациясының кішіреоі үлкен маңызды іе болып отыр. Аталған мақалада қыртыстың күштілігін анықтауда толтырмалау массивінің отыру әсерінің заңдылықтары қарастырылады. Толтырмалау материалының түрі бойынша деформация мен жылжу шамасы өндөлгөн кеңістікегі гидравликалық толтырым әсері анықталады.*

*The laying of the worked out space as a measure of objects protection in the mine worked territories and reduction of the earth's surface deformations has current importance. The regularities of the influence of shrinkage of the filling mass on the determination of the seam thickness are established in this paper. The influence of hydraulic laying of the worked out space on the values of displacements and deformations on the type of laying material is determined.*

Закладка выработанного пространства применяется для управления горным давлением, снижения потерь полезных ископаемых в недрах, выемки законсервированных охранных целиков, предотвращения подземных пожаров и внезапных выбросов угля и газа, уменьшения деформаций поверхности земли и охраны от разрушения объектов на подрабатываемых территориях, оставления в шахте породы от проходческих работ, повышения безопасности горных работ. В зависимости от полноты заполнения выработанного пространства его закладка может быть полной или частичной (в виде охранных полос при поддержании выработок).

В Карагандинском угольном бассейне закладка выработанного пространства в качестве меры защиты охраняемых объектов применялась с 1977 г. Краткая характеристика условий применения закладки выработанного пространства на шахтах бассейна приведена в таблице.

Предусмотренный методикой комплекс шахтных экспериментов и лабораторных испытаний являлся, по существу, опытной проверкой в натурных условиях рабочей гипотезы определения эффективной мощности пласта, согласно которой при отработке пологих пластов она может быть определена из выражения:

$$m_3 = m[1 - K_3(1 - \lambda)(1 - nR(f))] \quad (1) \quad (1.24)$$

или в виде  $m_3 = h_1 + h_2 + h_3, \quad (2) \quad (1.25)$

здесь:  $h_1 = nmRf(t), \quad (3)$

$$h_2 = (m - h_1)(1 - K_3), \quad (4)$$

$$h_3 = (m - h_1) \lambda K_3, \quad (5)$$

где  $h_1$  – величина опускания кровли в призабойном пространстве до возведения закладочного массива;  $h_2$  – величина опускания кровли над закладочным массивом за счет неполноты заполнения выработанного пространства;  $h_3$  – опускание кровли за счет усадки закладочного массива;  $n$  – коэффициент, имеющий размерность  $1/m$  и характеризующий склонность пород кровли к обрушению (для пород легкообрушающихся  $n = 0,04$ , средней обрушающейся  $n = 0,025$ , труднообрушающихся  $n = 0,015$ );  $m$  – вынимаемая мощность пласта, м;  $R$  – ширина призабойного пространства;  $f(t)$  – функция влияния фактора времени;  $I$  – период времени с момента обнажения кровли до контакта с закладочным массивом, сут;  $K_3$  – коэффициент заполнения выработанного пространства;  $\lambda$  – коэффициент усадки закладочного материала в натурных условиях.

*Горно-геологические и горно-технические условия отработки угольных пластов с закладкой выработанного пространства*

| Лава, (год отработки)      | Угол падения пласта, град. | Вынимаемая мощность пласта, м | Средняя глубина разработки, м | Размеры участка, м: длина лавы/длина столба | Способ закладки и вид закладочного материала                      |
|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1                          | 2                          | 3                             | 4                             | 5                                           | 6                                                                 |
| Шахта «Казахстанская»      |                            |                               |                               |                                             |                                                                   |
| 64к <sub>18</sub> , лава 1 | 8–10                       | 1,55                          | 460                           | 50/210                                      | Гидрозакладка, песчано–гравийная смесь                            |
| 64к <sub>18</sub> , лава 2 | 8–10                       | 1,55                          | 460                           | 120/210                                     | То же                                                             |
| 64к <sub>18</sub> , лава 3 | 8–9                        | 1,55–1,6                      | 460                           | 140/190                                     | –«–                                                               |
| 64к <sub>18</sub> , лава 4 | 8–9                        | 1,55                          | 460                           | 130/200                                     | –«–                                                               |
| 64к <sub>18</sub> , лава 5 | 9–10                       | 1,55                          | 455                           | 120/260                                     | –«–                                                               |
| 61Бк <sub>18</sub>         | 8–12                       | 1,55                          | 390                           | 130/560                                     | –«–                                                               |
| 67к <sub>18</sub>          | 13–14                      | 1,55                          | 445                           | 110/210                                     | –«–                                                               |
| 65к <sub>18</sub>          | 10–11                      | 1,55                          | 455                           | 130/230                                     | –«–                                                               |
| 12Ак <sub>13–3</sub> , 3–8 | 3–8                        | 1,9                           | 440                           | 140/820                                     | –«–                                                               |
| 13Ак <sub>13–3</sub>       | 3–8                        | 1,9                           | 440                           | 140/820                                     | –«–                                                               |
| 11к <sub>7–3</sub> ,       | 5–7                        | 2,0                           | 445                           | 75/400                                      | Гидрозакладка, зола ТЭЦ (выработанное право и полости расслоения) |
| Шахта «Актасская»          |                            |                               |                               |                                             |                                                                   |
| 40к <sub>12–1в</sub>       | 8–16                       | 2,6                           | 410                           | 140/950                                     | Пневмозакладка, дробленая шахтная порода                          |

Измерение конвергенции в призабойном пространстве проводилось стойкой СУИ–1У по профильным линиям (парные реперы в кровле и почве) по мере подвигания очистного забоя. Установлено, что наибольшие смещения перед закладкой выработанного пространства накапливаются в средней части лавы и составляют 266 мм при вынимаемой мощности пласта 1,55 м. Средняя величина конвергенции, приведенная к одному метру подвигания очистного забоя, составляет 37 мм, что близко к значению, рассчитанному по формуле (3), 40 мм.

Анализ измеренных смещений, показал, что функция влияния фактора времени с достаточной для практических целей точностью выражается в виде:

$$f(t) = 0,655 + 0,053t, \quad (6)$$

где  $t$  – промежуток времени с момента обнажения кровли до выполнения закладочных работ, сут.

Для определения в натурных условиях величины  $h_2$  (опускание кровли за счет неполноты заложения) регулярно производились измерения размеров пустот над закладочным массивом. Результаты замеров основных параметров пустот показали, что заполнение выработанного пространства характеризуется довольно высокой степенью ( $K_3 = 0,95$ ). При этом величина опускания кровли за счет неполноты заполнения выработанного пространства составляет в среднем 60–70 мм (при вынимаемой мощности пласта 1,55 м).

Для прогнозирования величины смещения  $h_3$ , обусловленного усадкой закладочного массива, проводились компрессионные испытания песчано–гравийной смеси в лабораторных условиях. Коэффициент усадки закладочного материала под давлением, соответствующем глубине разработки на экспериментальном участке, находится в пределах 0,08–0,12. При добавлении в песчано–гравийную смесь горелой или дробленой породы коэффициент усадки такого материала (шихты), как показали результаты испытаний, можно определять из выражения

$$\lambda = 0,12Q_1 + 0,36Q_2, \quad (7)$$

где  $Q_1$  – процентное содержание в шихте песчано–гравийной смеси;  $Q_2$  – процентное содержание горелой или дробленой породы.

Коэффициент усадки при давлении 15 мПа дробленой или горелой породы составляет 0,36, а золы ТЭЦ – 0,50.

Для определения усадки закладочного массива в натурных условиях производилось измерение давления с помощью датчиков струнного типа и сближения кровли с почвой посредством дистанционных стоек с датчиками реостатного типа. В качестве примера на рисунке показано нарастание сближения почвы–кровли (а), нагрузки (б) и усадки закладочного массива (в). Как видно из графиков, усадка закладочного массива соответствует диапазону разброса данных лабораторных испытаний усадки закладочного материала (см. рис., заштрихованная область). Поэтому в выражении (1) при расчете эффективной мощности можно использовать результаты лабораторного определения усадки закладочного материала.

Величины эффективной мощности пласта (лава № 1 и лава № 3 пласта  $K_{18}$ ), полученные путем суммирования измеренных сближений боковых пород в призабойном и заложенном выработанном пространстве (за счет оставляемых пустот и усадки массива), составили 504 и 478 мм. Рассчитанные по формуле (1) величины эффективной мощности пласта для условий отработки указанных лав составили 500 и 490 мм соответственно.

Сравнение расчетных и экспериментально полученных величин эффективной мощности пласта указывает на их хорошую сходимость и свидетельствует о правомерности использования выражения (1) для практических расчетов при выемке пологих угольных пластов с закладкой выработанного пространства.

Инструментальными наблюдениями за сдвижением земной поверхности на участках отработки угольных пластов с закладкой выработанного пространства (см. табл.) установлено, что ожидаемые максимальные оседания, рассчитанные по нормативному документу для условий полного обрушения, хорошо согласуются с фактическими. Характер распределения сдвижений и деформаций при этом отличается от типового не более чем на 13%, что позволяет использовать при закладке выработанного пространства функции распределения, используемые при отработке пластов с полным обрушением кровли.

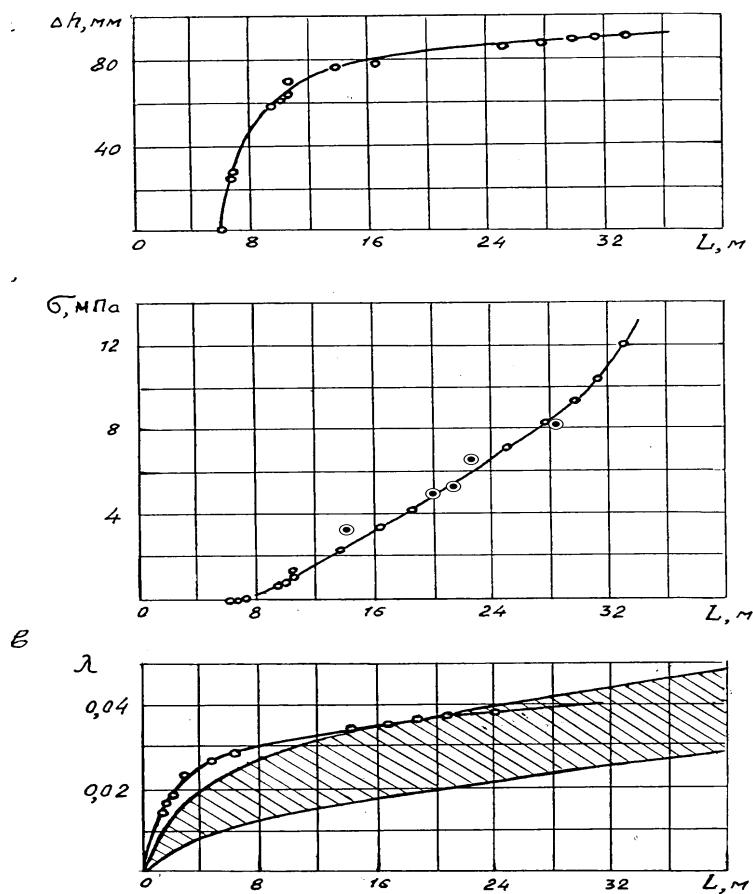


Рисунок - Графики усадки закладочного массива: а – конвергенция в массиве; б – давление на массив; в – усадка массива

Установлено, что гидравлическая закладка выработанного пространства снижает величины сдвигений и деформаций в 2,8–3,4 раза (песчано–гравийная смесь), а пневматическая – в 2,0–2,8 раза (дробленая шахтная порода).

При выемке пластов с закладкой выработанного пространства неравномерные составляющие деформаций на малых интервалах наблюдений имеют такие же отклонения, как и при ведении очистных работ с полным обрушением кровли.

#### Список литературы

- Балафин И.Е. Анализ угловых параметров сдвижения земной поверхности на шахтах западного Донбасса // Научный вестник НГУ. – 2010. – № 4. – С. 27–29.
- Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок в Карагандинском бассейне (Утверждены Министерством энергетики и природных ресурсов РК 24 сентября 1997 г.)
- Трубчанинов А.Д. Оценка точности определения границ зон подработки для градостроительной документации / А.Д. Трубчанинов, Д.Н. Ветошкин // Маркшайдерский вестник. – 2007. – № 4. – С. 49–51.
- Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми объектами на угольных и сланцевых месторождениях. – М.: Недра, 1989. – 97 с.

Получено 13.08.2018

УДК 621.317.08

**Н.Н. Акимбекова, Н.Р. Жолмагамбетов, Н.А. Медеубаев, А.Д. Нургалиева,  
С.Р. Жолмагамбетов**

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ  
С ПОЛНЫМ ОБРУШЕНИЕМ КРОВЛИ**

*На основании проведенных теоретических исследований и анализа экспериментальных данных разработана методика расчета ожидаемых сдвигений и деформаций земной поверхности (метод типовых кривых), полученных при разработке угольных пластов сплошными и длинными столбами по простирации с оставлением околовштревковых целиков.*

*Теориялық зерттеулерді жүргізу мен эксперименталды мәліметтерді сараптау негізінде күтілетін жылжулар әдістемесінің есебі әзірленді және айналмалы тіректердің ереуілдері бойынша ұзын қазықтар мен көмір пластарын әзірлеу кезіндегі алынған жер бетінің деформациясының есебі де жасалды.*

*Conducted theoretical research allowed authors to develop a methodology for calculating the expected displacements and deformations of the earth's surface obtained by the development of coal seams by entire and long drifts along the strike with the leaving of near-strike pillars.*

Определение закономерностей процесса сдвижения земной поверхности при подработке ее очистными выработками является одной из основных задач при отработке угольных пластов. Достоверный прогноз параметров сдвижения земной поверхности способствует успешному решению других, не менее важных, задач горного производства. К ним, кроме защиты объектов на земной поверхности, относятся выбор места расположения горных выработок и рациональных способов их охраны от влияния горного давления, прогноз газовыделения из подрабатываемых источников, обоснование рациональных схем проветривания выемочных участков, расчет несущей способности крепи и многое другое. При решении указанных задач существенное значение имеет установление динамики процесса сдвижения и выделение его характерных стадий. Общая продолжительность делится на три стадии: начальную, активную и стадию затухания.

При пологих углах падения, спокойном залегании и отсутствии крупных тектонических нарушений наиболее рациональным способом подготовки шахтного поля при раздельной или совместной разработке тонких, средней мощности и мощных пластов в большинстве случаев является этажный с длинными столбами по падению–восстанию с применением бесцеликовой технологии. Применяются следующие варианты отработки этажа: последовательная отработка одиночных столбов; отработка смежных столбов спаренными лавами с небольшим отставанием забоев; отработка пласта через столб с последующей выемкой оставленных столбов; отработка мощных пластов наклонными слоями с одновременной их выемкой и по способу «слой–пласт».

Высота этажа при этом достигает 800–1000 м, оптимальная длина лавы составляет 100–150 м. Перепад глубин по границам этажа может достигать 150–200 м, в результате чего степень подработанности земной поверхности в направлении простирации пласта при отработке одиночного столба может существенно изменяться по его длине. Кроме того, с увеличением глубины разработки вдоль столба изменяется состав пород подрабатываемой толщины, а направление выемки по падению приводит к тому, что к моменту начала формирования полумульды по падению процесс сдвижения в ней по восстанию находится в стадии затухания.

Разработанная для условий Карагандинского бассейна методика расчета ожидаемых сдвигений и деформаций земной поверхности (метод типовых кривых) основывается на

результатах натурных инструментальных наблюдений, полученных при разработке угольных пластов сплошными и длинными столбами по простиранию с оставлением оклоштрековых целиков. Наличие последних приводит к образованию на земной поверхности «горбов» и неравномерному распределению сдвигений и деформаций. Над целиками оседание земной поверхности значительно меньше, чем над выработанным пространством соседних лав, что приводит к возрастанию кривизны земной поверхности и соответственно массива горных пород. Отработка пластов длинными столбами по бесцеликовой технологии, нашедшая широкое применение в бассейне, потребовала проведения специальных исследований по выявлению характерных особенностей процесса сдвига земной поверхности.

Наблюдениями за сдвигением земной поверхности установлено, что при полной подработке способ разработки пластов не оказывает существенного влияния на угловые параметры процесса. В табл. 1 приведены средние (по 17 профильным линиям) значения угловых параметров, полученные при разработке пластов длинными столбами по падению на шахтах им. Ленина, «Тентекская», «Казахстанская» и «Стахановская», из которой видно, что фактические угловые параметры процесса сдвига имеют хорошую сходимость со значениями нормативного документа [1].

При частичной (по простиранию) подработке углы сдвига, построенные по фактическим данным на наблюдательной станции на шахте "Казахстанская", также имеют хорошую сходимость с расчетными (отклонение не более 12%). При этом углы разрывов, используемые для построения предохранительных целиков (опасных зон) под водные объекты, на 7° больше углов сдвигений. Схема определения исходных параметров процесса сдвига земной поверхности при разработке пластов длинными столбами по падению представлена на рис. 1.

Таблица 1

*Угловые параметры процесса сдвига при разработке пластов длинными столбами по падению (бесцеликовая технология)*

| Показатели                  | Величины угловых параметров, градус |                  |            |     |
|-----------------------------|-------------------------------------|------------------|------------|-----|
|                             | Средние фактические                 | по «Правилам...» | Отклонения |     |
|                             |                                     |                  | градус     | %   |
| углы сдвига                 |                                     |                  |            |     |
| $\delta$                    | 70,5                                | 67,5             | +3         | 4,4 |
| $\beta$                     | 69                                  | 70               | -1         | 1,4 |
| $\gamma$                    | 79                                  | 70               | +9         | 13  |
| граничные углы              |                                     |                  |            |     |
| $\delta_0$                  | 48                                  | 56,4             | -8,4       | 15  |
| $\beta_0$                   | 62                                  | 60               | +2         | 3,3 |
| $\gamma_0$                  | 56                                  | 60               | -4         | 6,7 |
| углы полных сдвигений       |                                     |                  |            |     |
| $\Psi_1$                    | 49                                  | 50               | -1         | 0,5 |
| $\Psi_2$                    | 58                                  | 60               | -2         | 3,3 |
| $\Psi_3$                    | 55                                  | 55               | 0          | 0   |
| угол максимального оседания | 87,5                                | 88               | -0,5       | 0,6 |

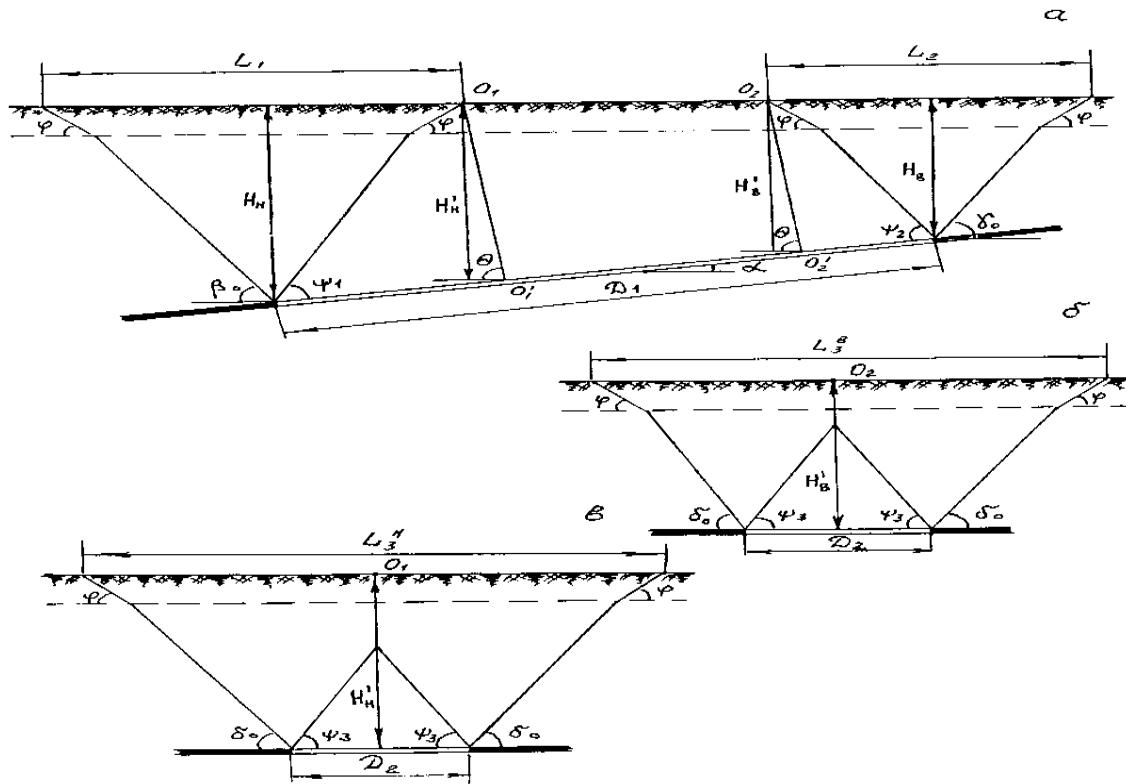


Рисунок 1 - Схема определения исходных параметров для расчета сдвиганий и деформаций земной поверхности: а – в мульде вкrest простириания; б – в мульде по простирианию со стороны восстания; в – со стороны простириания

Таким образом, при разработке пластов длинными столбами по падению при бесцеликовой технологии расчет угловых параметров процесса сдвига следует производить по действующим правилам [2].

Отличие процесса сдвига земной поверхности при бесцеликовой технологии состоит, как показали результаты исследований, в большем проявлении сдвиганий от последующих (за первой) очистных выработок. В этой связи корректировка существующего метода расчета должна базироваться на дифференцированном (в зависимости от способа разработки) расчете максимального оседания, которое является основой для дальнейших расчетов деформаций в мульде сдвига [3].

Для установления коэффициентов  $N_1$  и  $N_2$ , входящих в формулу расчета максимального оседания [3], проанализированы данные при малых коэффициентах подработанности на моделях из эквивалентных материалов и по профильным линиям для выработок в целике (рис. 2, а) и для присечных выработок (рис. 2, б):

$$\eta_m = q_{0m} \cos \alpha N_1 N_2. \quad (1)$$

В результате анализа установлено, что коэффициенты  $N_1$ ,  $N_2$  для выработок в целике существенно отличаются от коэффициентов для присечных выработок. Коэффициенты  $N_1$ ,  $N_2$  для условий Карагандинского бассейна составляют следующие значения (длинные столбы по простирианию и по падению) (табл. 2).

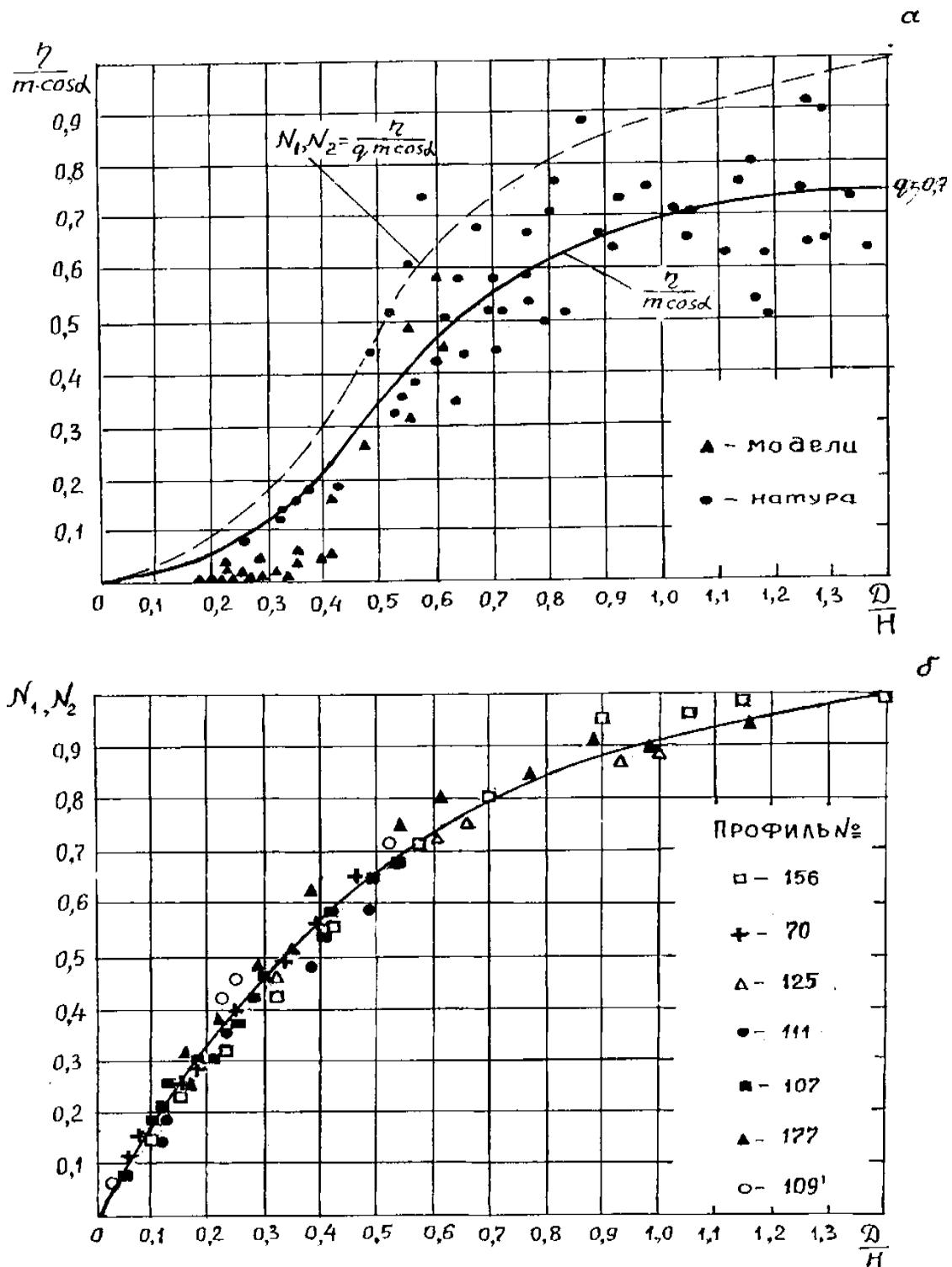


Рисунок 2- Графики зависимости коэффициентов  $N_1, N_2$  от  $D/H$ : а – для выработок в целике; б – для присечных выработок

Таблица 2  
Коэффициенты  $N_1, N_2$

|                                                   |             |      |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------|-------------|------|------|------|------|------|
| $\frac{\ddot{A}}{I}$                              | 1,4 и более | 1,2  | 1,0  | 0,90 | 0,80 | 0,70 |
| Выработка в целике                                |             |      |      |      |      |      |
| $N_1, N_2$                                        | 1,0         | 0,96 | 0,90 | 0,86 | 0,81 | 0,75 |
| Выработка в присечку к выработанному пространству |             |      |      |      |      |      |
| $N_1, N_2$                                        | 1,0         | 0,98 | 0,94 | 0,91 | 0,87 | 0,81 |
| $\frac{\ddot{A}}{I}$                              | 0,60        | 0,50 | 0,40 | 0,30 | 0,20 | 0,15 |
| Выработка в целике                                |             |      |      |      |      |      |
| $N_1, N_2$                                        | 0,66        | 0,50 | 0,3  | 0,15 | 0,09 | 0,05 |
| Выработка в присечку к выработанному пространству |             |      |      |      |      |      |
| $N_1, N_2$                                        | 0,75        | 0,66 | 0,56 | 0,44 | 0,30 | 0,22 |

Как видно из табл. 2 и рис. 2 *a, б*, коэффициенты  $N_1$  и  $N_2$  для выработок в целике и для присеченных выработок имеют существенные отличия при соотношении длины очистного забоя к глубине разработки менее 0,6. Наименьшие значения коэффициентов

$N_1$  и  $N_2$  (не более 0,1) отмечаются для выработок в целике при  $\frac{\ddot{A}}{I} \leq 0,25$ , следовательно

максимальное оседание земной поверхности при этом не превышает 10% от оседания при полной подработке. При  $\ddot{A} \leq 0,25I$  в массиве образуются полости расслоения с максимальным суммарным раскрытием до 80% от вынимаемой мощности пласта.

Особую актуальность учет зависания пород при малых коэффициентах подработанности приобретает для решения вопросов по оценке объемов пустот и содержащегося в выработанном пространстве свободного метана на полях погашенных шахт Карагандинского бассейна.

#### Список литературы

1. Балафин И.Е. Анализ угловых параметров сдвижения земной поверхности на шахтах западного Донбасса // Научный вестник НГУ. – 2010. – № 4. – С. 27–29.
2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок в Карагандинском бассейне (Утверждены Министерством энергетики и природных ресурсов РК 24 сентября 1997 г.)
3. Трубчанинов А.Д. Оценка точности определения границ зон подработки для градостроительной документации / А.Д. Трубчанинов, Д.Н. Ветошкин // Маркшейдерский вестник. – 2007. – № 4. – С. 49–51.
4. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми объектами на угольных и сланцевых месторождениях. – М.: Недра, 1989. – 97 с.

Получено 13.08.2018

УДК 628:032

**Г.К. Даумова, Ю.Ф. Давыдов**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА ОСВЕТЛЕНИЯ ХРОМСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД**

*Предложено моделирование процесса осветления сточных вод для их реализации на производственных установках при соблюдении динамического подобия условий проведения эксперимента и эксплуатации реальных сооружений. На основе проведенных экспериментальных исследований обоснована кинетика осаждения взвешенных веществ и найдены рациональные параметры процесса осветления воды, что обеспечивает снижение содержания механических примесей в воде после ее очистки и уровня экологической опасности ее сброса в поверхностные водоемы.*

*Нақты гимараттарды пайдалану және экспериментті жүргізу шарттарының динамикалық үқсастығын сақтау кезіндегі өндірістік қондырыларда жүзеге асыру үшін ағынды суларды мәлдірлету үдерісін модельдеу ұсынылған. Жүргізілген эксперименттік зерттеулер негізінде қалқымалы заттардың тұнуы негізделіп және жерүсті қоймаларына тәгудің экологиялық қауіппелігінің деңгейі мән суды тазалаудан кейін механикалық қоспалардың мәлшерін төмендетуді қамтамасыз ететін суды мәлдірлету үдерісінің тиімді параметрлері анықталды.*

*The clarification process for their implementation at manufacture installation modeling is proposed, with observing dynamic similarity of experimental conditions and real constructions exploitation. Experimental studies based kinetics of suspended solids precipitation is evidence. The water clarification process rational parameters are found. All this ensures are decline of mechanical impurities content in the water, after its purification and environmental hazards level of discharge into surface waters decrease.*

**Ключевые слова:** сточные воды, осветление, моделирование, сорбенты, взвешенные вещества.

Процессы очистки хромсодержащих сточных вод являются сложными и многопараметровыми, так как зависят как от количественной и качественной характеристики очищаемых стоков, так и от особенностей способа очистки. Одним из наиболее перспективных методов глубокой очистки хромсодержащих сточных вод является сорбционная очистка природными сорбентами, которая позволяет свести к минимуму вред, причиняемый окружающей среде, дает возможность эффективной очистки стоков и незначительно оказывается на себестоимости продукции. Для снижения негативного влияния предприятий металлообрабатывающего и машиностроительного комплекса на состояние водного бассейна Восточного Казахстана был разработан способ сорбционной доочистки хромсодержащих сточных вод с применением пастообразных комплексных сорбентов на основе бентонитовых глин Таганского месторождения [1].

Количество хромсодержащих сточных вод, образуемых на АО «Усть-Каменогорский Арматурный завод» и прошедших предварительную очистку на станции нейтрализации с добавлением извести, составляет в среднем  $4 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Затем сточная вода насосом подается на вторую ступень очистки в аппарат с механическим перемешивающим устройством и туда же через дозатор поступает сорбент в виде суспензии. После чего приготовленный сорбент в виде суспензии с помощью дозатора подается на вторую ступень очистки в аппарат с механическим перемешивающим устройством, куда также подается насосом сточная вода после существующей первой ступени очистки на станции нейтрализации. Вторично очищенная вода самотеком поступает в вертикальные отстойники, где протекают процессы отстаивания хлопьев суспензии сорбента.

Для выбора типа и конструктивных размеров отстойных сооружений предлагается смоделировать процесс осветления, который описывается сложной многокритериальной зависимостью.

Полное критериальное уравнение, описывающее процесс отстаивания сточных вод по параметру эффекта очистки, имеет вид

$$\Theta = f(C_{\text{исх}}, C_{\text{оч}}, Q, t, \vartheta, \omega, d_\zeta, h_{\text{сл}}, D, \eta, \rho, T, R_e, Fr), \quad (1)$$

где  $C_{\text{исх}}$  и  $C_{\text{оч}}$  - концентрация взвешенных веществ в исходной и очищенной воде;  $Q$ - расход воды;  $t$  - время отстаивания;  $\vartheta$  - скорость движения воды;  $\omega$  - гидравлическая крупность частиц;  $d_\zeta$  - средневзвешенный диаметр частиц;  $h_{\text{сл}}$  - высота слоя воды;  $D$  - диаметр отстойника;  $\eta$  - вязкость воды;  $\rho$  - плотность воды;  $T$  – температура воды;  $R_e$  – критерий Рейнольдса;  $Fr$  – критерий Фруда.

По условиям моделирования движения воды определяющим критерием является число Фруда:

$$Fr = \frac{\vartheta^2}{Q * L}, \quad (2)$$

где  $L$  – длина отстойника, м.

Критерий Рейнольдса находится следующим образом:

$$Re = \frac{\vartheta * D}{\vartheta}. \quad (3)$$

При использовании на экспериментальной установке сточной воды того же состава, что и на производственных установках, а также соблюдая температурный режим процесса ( $T=\text{const}$  либо изменения температуры, аналогичные натурным колебаниям), уравнение (1) можно преобразовать в уравнение (4):

$$\Theta = f(Q, t, h_{\text{сл}}, D, R_e, Fr). \quad (4)$$

При проведении эксперимента в статических условиях, учитывая малую скорость движения воды в производственных сооружениях, уравнение (4) принимает следующий вид:

$$\Theta = f(t, h_{\text{сл}}, D, R_e, Fr). \quad (5)$$

Это значительно упрощает процесс изучения определяющих параметров.

Применение результатов модельных исследований для их реализации на производственных установках возможно лишь при соблюдении динамического подобия условий проведения эксперимента и эксплуатации реальных сооружений. В этом случае для схождения результатов по условиям (1), (4), (5) необходимо соблюдение условий (6):

$$\frac{t_m}{h_m} = \frac{t_n}{h_n} = const; \frac{t_n}{t_m} = \left( \frac{h_n}{h_m} \right)^n, \quad (6)$$

где  $t_m$  и  $h_m$  - время осаждения и высота слоя воды на модельной установке отстойника;  $t_n$  и  $h_n$  - время осаждения и высота слоя воды на натурном отстойнике;  $n$  – показатель степени, зависящий от концентрации взвешенных веществ.

Поскольку процесс отстаивания сточных вод происходит в полидисперсной агрегативно-неустойчивой системе с большим диапазоном размеров частиц, которые в процессе осаждения агломерируются, изменяют свою форму, плотность и размеры, то кинетика процесса осаждения или всплытия грубодисперсных примесей сточных вод устанавливается опытным путем в лабораторных условиях.

Моделирование гидравлических явлений, связанное с проектированием реальных объемных сооружений, возможно лишь при применении ограниченного числа критериев, определяющих данный процесс, в том числе и процесс осаждения взвешенных частиц в замкнутом объеме. При этом выбранные критерии подобия удовлетворяют условиям изменения кинематического режима работы изучаемой системы, а также соответствуют

принципам выбора и расчета необходимых масштабов подобия. Для достижения высокой достоверности моделирования процессов осаждения сорбентов необходимо выполнение ряда ограничивающих условий: взвесь должна быть устойчивой, с гидравлической крупностью, отстаивание производится без применения коагулянта. При малых числах Рейнольдса, соответствующих малым скоростям поступательного движения потока в отстойниках, расчеты и моделирование по осаждению взвешенных частиц допускается проводить для неподвижной жидкости, в том числе в стеклянных цилиндрах ограниченного объема [2].

Во время экспериментальных исследований было выявлено, что после станции нейтрализации и 3-часового контакта сорбента с обрабатываемой водой вода была мутная, с содержанием взвешенных веществ 1710-1800 мг/дм<sup>3</sup> из-за глинистых частиц. По стандартной методике было определено содержание взвешенных веществ [3]. Сточную воду, смешанную с сорбентом, в течение трех часов отстаивали в литровых цилиндрах.

После определенного времени отстаивания отбирались пробы воды для определения содержания взвешенных веществ. Одновременно производили замеры по количеству осевшего осадка. Анализы проводили при разных соотношениях Т:Ж (твердое:жидкое) и времени отстаивания (рис. 1).

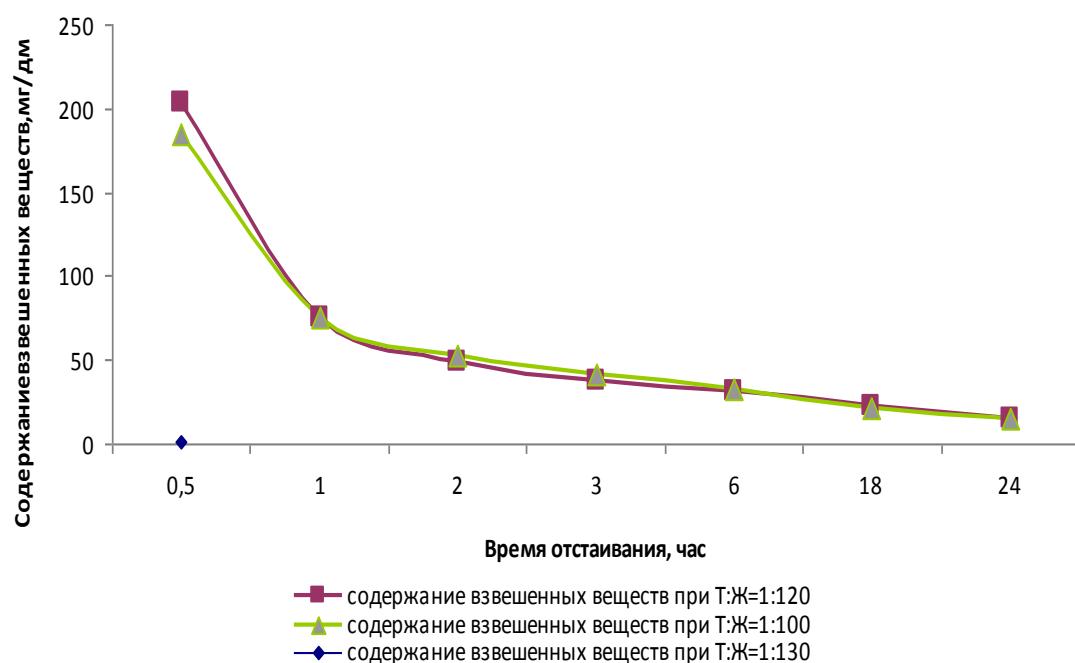


Рисунок 1 – Зависимость содержания взвешенных веществ от времени отстаивания при разных соотношениях Т:Ж

Анализ приведенных данных показал, что при отстаивании от 1 до 2-х часов происходит осаждение основной массы взвешенных веществ от 185 до 49 мг/дм<sup>3</sup>, далее происходит выпадение более мелких частиц. Обобщенные результаты эффекта осветления при разных соотношениях Т:Ж приведены в таблице.

*Результаты эффекта осветления при разных соотношениях Т:Ж*

| Время отстаивания, час | Эффект осветления, % |            |            |
|------------------------|----------------------|------------|------------|
|                        | Т:Ж =1:130           | Т:Ж =1:120 | Т:Ж =1:100 |
| 0,5                    | 89,18                | 85         | 78         |
| 1                      | 95,55                | 90,95      | 83,46      |
| 2                      | 96,9                 | 92,58      | 84,1       |
| 3                      | 97,6                 | 93,05      | 84,5       |
| 6                      | 98,09                | 94,36      | 85,9       |
| 18                     | 98,77                | 96,3       | 88,9       |
| 24                     | 99,15                | 96,9       | 94         |

На рис. 2 представлен график зависимости эффекта осветления от времени отстаивания при разных соотношениях Т:Ж.

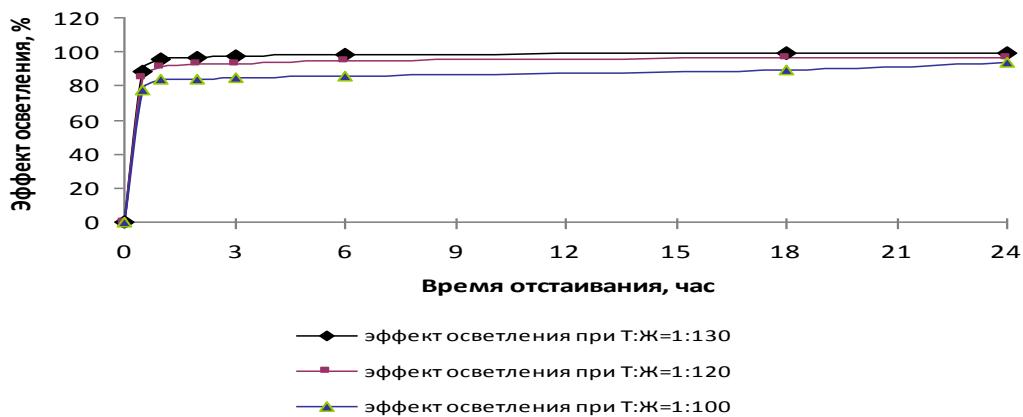


Рисунок 2 – Зависимость эффекта осветления сточных вод от времени отстаивания при разных соотношениях Т:Ж

Результаты исследований показали, что наиболее высокий эффект осветления воды после отстаивания хромсодержащих сточных вод, обработанных сорбентом, получается при соотношении Т:Ж = 1:130. В период отстаивания от 1 до 2 часов эффект осветления составляет 95-97%, в этот период оседает основная масса загрязняющих веществ, имеющих наибольшую гидравлическую крупность. Далее эффект осветления мало изменяется от 97,6% при трех часах и до 98,09% при шести часах отстаивания, в этот период из воды осаждаются мелкие частицы загрязняющих веществ. При дальнейшем отстаивании от 18 до 24 часов эффект осветления находится в пределах от 98,77 до 99,15%, происходит осаждение наиболее мелких частиц с малой гидравлической крупностью.

В свою очередь, увеличение времени отстаивания мало повышает эффект осветления воды, но при этом ведет к увеличению конструктивных размеров отстойника, что является экономически невыгодным. Количество взвешенных частиц при одном часе отстаивания воды было 85,5 мг/дм<sup>3</sup>, а при двух часах – 54,5 мг/дм<sup>3</sup>. Допустимая концентрация взвешенных веществ равна 240 мг/дм<sup>3</sup>. Исходя из этого, время отстаивания рекомендуется принимать для данных стоков от 1,5 до 2 часов.

При обеспечении показателей очистки сточных вод в пределах допустимых норм очищенная сточная вода после отстойников сбрасывается в городскую канализационную

сеть. При условии необходимости обеспечения на сбросе более высоких показателей волны после отстойников направляют на фильтры доочистки.

Результаты исследований, приведенные в данной статье, рекомендуются предприятиям при проведении опытно-промышленных испытаний.

#### Список литературы

1. Mamyachenkov S.V., Adryshev A.K., Seraya N.V., Khairullina A.A., Daumova G.K. Nanostructured Complex Sorbent for Cleaning Heavy Metal Ions from Industrial Effluent // Metallurgist. – Nos. 7-8, Vol. 61, 2017, P.615-623
2. Давыдов Ю.Ф. Моделирование гидравлических процессов / Ю.Ф. Давыдов, Е.В. Шаталова. – Усть-Каменогорск, ВКТУ, 2000. – 71 с.
3. ПНД РФ 14.1.2.110-97 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений содержаний взвешенных веществ и общего содержания примесей в пробах природных и очищенных сточных вод гравиметрическим методом, 2004 г.

Получено 13.08.2018

#### МРНТИ 38.17.15

##### **П.В. Ермолов**

Институт проблем комплексного освоения недр, г. Караганда

##### **Е.В. Мусина, В.С. Портнов**

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда

#### ИЗУЧЕНИЕ ВОЗРАСТА И СОСТАВА ФУНДАМЕНТА ИРТЫШСКОЙ ЗОНЫ СМЯТИЯ В КАЛБА-НАРЫМСКОМ ТЕРРЕЙНЕ

*В статье рассматриваются структурные и возрастные соотношения Иртышской зоны смятия. Эти данные свидетельствуют о том, что Иртышская зона смятия является составной частью единого Калба-Нарымского террейна или самостоятельным образованием.*

*Мақалада Ертіс мыжылу белдемінің құрылымдық-жастық қатынастары қарастырылады. Бұл деректер Ертіс мыжылу белдемінің біртұтас Қалба-Нарын аймағының ажырамас белгілі болып табылатынын немесе өздігінен қалыптасқанын көрсетеді.*

*The article considers the structural and age relationships of the Irtysh crush zone. These data indicate that the Irtysh zone of crushing is an integral part of the unified Kalba-Narym terrane or an independent formation.*

**Ключевые слова:** террейн, антиклиниорий, структура, батолит, субстрат, порода, палеоструктуры, возраст, тектоническое строение, структура.

Целью работы является изучение геологического строения и абсолютного возраста фундамента северо-восточной и юго-западной частей Калба-Нарымского террейна как единой глобальной палеоструктуры.

Рассматриваемая часть Зайсанской складчатой области прежде выделялась как самостоятельная Калба-Нарымская структурно-формационная зона. Позднее в ней стали различать Иртышскую и Калба-Нарымскую зоны (рис. 1). Такое членение можно считать правомочным только для среднего палеозоя, так как очевиден факт различного строения северо-восточной и юго-западной частей Калба-Нарымского террейна, однако это различие не обусловлено разной историей развития, а лишь разными эрозионными срезами: уровень среза северо-восточной части на 4-5 км глубже уровня среза юго-западной части. Правильнее здесь можно говорить о тектоническом районировании: северо-восточная часть – антиклиниорий, а юго-западная – крыло этого антиклиниория. В таком ракурсе и бывшая Иртышская, и бывшая Калба-Нарымская зоны вместе вписываются в понятие Калба-Нарымский террейн.

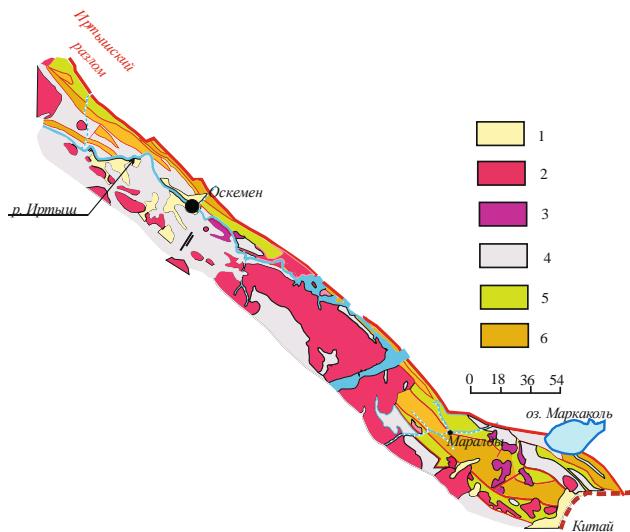


Рисунок 1 - Форма связи Иртышской зоны смятия с Рудным Алтаем и Калбай: 1 - мезокайнозой; 2 - калбинский комплекс  $P_1$ ; 3 - прииртышский комплекс  $C_1$ ; 4 - терригенный комплекс  $D_{2\text{gv}}-C_1$ ; 5 - зеленосланцевый метаморфический комплекс нерасчлененный  $Pz_1(?)$ ; 6 - кристаллический комплекс  $Pt_3 - Pz_1$

В это понятие вкладывается несколько иной смысл. В Википедии дается такое определение: «Террейн – это ограниченное разломами геологическое тело региональной протяженности, которое характеризуется своими собственными стратиграфическими, магматическими, метаморфическими и структурными особенностями, определяющими тектоническую историю, отличающую его от соседних геологических тел. По крайней мере, такое определение давали слову террейн авторы концепции Р.С. Coney, D.G. Howell, D.L. Jones, J.W.H. Monger, E.R. Shermer. Далее будет показано, что и Иртышская, и Калба-Нарымская части террейна развивались в составе единой структуры глобального ранга, которая в геодинамической классификации отражается как континентальная окраина (континентальный склон, континентальный шельф).

Юго-западная часть террейна с двух сторон ограничена разломами, но явных разрывов сплошности, таких, например, которые отделяют Иртышскую зону от Рудного Алтая, на современном эрозионном срезе нет. Имеются косвенные признаки, позволяющие говорить о вероятных (скрытых) разломах, такие как пояс базитовых тел вдоль контакта северо-восточной и юго-западной частей террейна то ли магматического, то ли метаморфогенного происхождения или резкое выклинивание гранитного батолита на юго-западе террейна.

Юго-западная часть террейна на 70% сложена гранитами и гранитоидами, а 30% приходится на терригенные породы среднего палеозоя, в составе которых доминируют филлиты по флишоидам и черным сланцам, а также неметаморфизованные породы флишоидного и грауваккового типов. Особо отметим, что в составе стратифицированных комплексов среднего палеозоя, которыми сложен Калба-Нарымский террейн, вулканические и вулканогенно-осадочные породы отсутствуют.

Гранитный батолит представляет собой межформационное тело с многочисленными подводящими каналами (рис. 2). Возраст гранитов по аргон-argonовым и уран-свинцовым датировкам раннепермский (268-297 млн. лет) [1]. Подошва его залегает на глубине от 3 до 5 км; кровля возвышалась над современным эрозионным срезом на 3-4 км (по структурным построениям [2]). Расчеты показывают, что для формирования такого батолита, объем которого

на уровне становления превышал 70 000 км<sup>3</sup>, в коре должен был быть проплавлен сплошной слой мощностью 6-7 км. Реальность таких расчетов подтверждают данные по одному из аналогов Калба-Нарымского батолита – Главному Колымскому редкометалльному батолиту. Согласно М.С. Родионову [3], мощность проплавленного слоя коры при формировании батолита могла достигать 8-9 км.

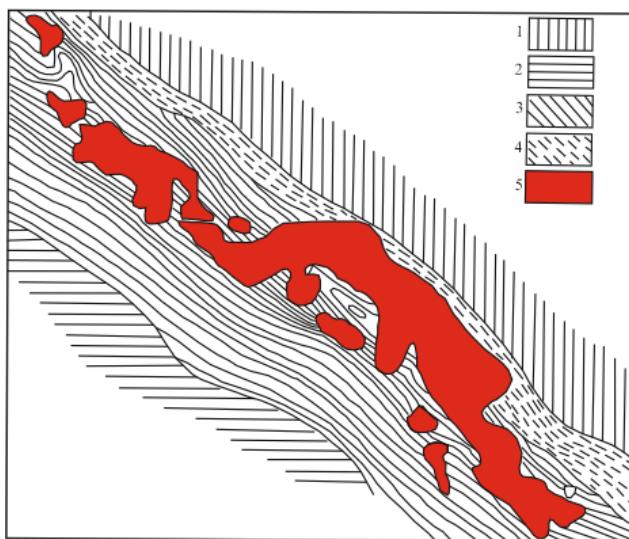


Рисунок 2 - Схема расположения Калбинского батолита: 1 - антиклиниорий рудного Алтая, 2 - Чарский антиклиниорий, 3 - песчано-сланцевые толщи Калбинского синклиниория, 4 - Иртышская зона смятия, 5 - калбинские граниты

И в том и в другом случае такие слои должны иметь достаточно гомогенный, подготовленный к плавлению состав, состоящий в основном из гнейсов и мигматитов. Это в свою очередь означает, что к моменту плавления в основании Калба-Нарымского террейна залегала зрелая кора континентального типа, аналогичная той, которая обнажается в виде тектонических фрагментов в Иртышской зоне смятия. Состав проплавленного слоя коры, поставлявшегомагму в Калба-Нарымский батолит, можно оценить по составу пород, участвующих в строении батолита.

Соотношение пород разного типа в батолите:

- Плагиограниты <1% самой ранней фазы батолита, которая представлена дайками и малыми телами, не имеют принципиальных отличий от субавтохтонных малых тел плагиогранитов, широко развитых в составе плагиоклазовых амфиболитов в гнейсово-мигматитовом комплексе Иртышской зоны смятия. По аналогии присутствие таких же комплексов повышенной базитовости на уровне зарождениимагм батолита или ниже этого уровня вполне допустимо. Как будет показано ниже, базитовые комплексы, являвшиеся субстратом для плагиогранитов, имели более молодой модельный возраст и высокую долю в своем составе мантийного компонента, что сближает их с ортогнейсами базитового состава.

- Граниты всех типов 80-85%, судя по минеральному составу (отсутствие магнетита и напротив, широкое развитие ильменита, биотитовый и биотит-мусковитовый состав, систематическое присутствие акцессорного граната пиральспитового ряда), сопровождающей металлогенези (Ta, Be, Li, Sn, W) и составу глубинных ксенолитов (биотитовые, биотит-гранатовые, биотит-гранат-силлиманитовые), относятся к гранитам S-типа, которые в приро-

де образуются при плавлении парагнейсов. В Иртышской зоне смятия подавляющее большинство гнейсомигматитовых комплексов также имеют все признаки парагнейсов.

– Лейкократовые граниты и аляскиты 15-18%. Лейкократовые граниты делятся на две группы. Те, которые входят в состав калбинского комплекса, являются их прямыми производными, имеют те же свойства. Лейкограниты монастырского комплекса отличаются от калбинских профилирующим монацитовым составом акцессорного комплекса и слабым развитием гидротермальных процессов, свидетельствующих о более сухой и следовательно, более высокотемпературной магме.

Метаморфические породы Иртышской зоны, гнейсограниты в составе гнейсового комплекса Иртышской зоны и граниты Калба-Нарымского plutона имели неопротерозойский субстрат, возраст которого находится в пределах 0,8-1,2 млрд лет. Из этого ряда выбираются данные по амфиболитам в составе гнейсов (мезопротерозой 1,5 млрд лет) и плагиогранитам в составе Калба-Нарымского plutона (верхи неопротерозоя 0,6 млрд лет). Важно то, что доля этих пород на наблюдаемом уровне и, вероятно, в составе субстрата не превышала 1%. Модельный возраст субстрата и его состав по изотопным данным (Sm-Nd) приведен в таблице. В целом по изотопным данным не намечается существенного различия между модельными возрастами регионально-метаморфизованного комплекса Иртышской зоны смятия и субстрата Калба-Нарымского батолита, из чего следует отсутствие одного из главных аргументов для разделения антиклиниория и его крыла в разные структурно-формационные зоны. Субстрат, из которого формировались метаморфические и магматические породы Калба-Нарымского террейна, в северо-восточной и юго-западной его частях одинаковый.

## *Модельный возраст и состав субстрата Калба-Нарымского террейна*

Из данных таблицы видно, что  $\varepsilon_{\text{Nd}}(0)$  (измеренный изотопный состав современного и первичного неодима) в породах регионально-метаморфизованного комплекса северо-восточной части террейна (включая гнейсограниты в его составе) и субстрат, из которого произошли граниты Калба-Нарымского батолита, меняются в одних и тех же пределах: от +1,7 до – 2,1.

Имеются два объяснимых исключения из этой закономерности:

- а) в амфиболитах регионально-метаморфизованного комплекса (они имеют экзотический характер распространения, т.е. менее 1%) значение  $\varepsilon_{\text{Nd}}(0)$  достигает +6,1, что связано с образованием их по габбро или базальтам мантийного происхождения;
- б) значение  $\varepsilon_{\text{Nd}}(0) = -5,7$  и  $-6,7$  в двух верхних образцах объясняется их высокоглиноземистым (мигматиты с гранатом и силлиманитом) и гиперглиноземистым (гнейсы с гранатом, дистеном и мусковитом) составом первично-седиментного происхождения, в котором вклад мантийного материала, естественно, занижен против нормальных пород того же возраста. Распространение таких пород в регионально-метаморфизованном комплексе северо-восточной части террейна имеет экзотический характер.

На основании вышеизложенного можно сделать следующий вывод. Обосновано объединение северо-восточной и юго-западной частей Калба-Нарымского террейна в единый фрагмент глобальной палеоструктуры типа континентальной окраины на основе отсутствия контрастных различий возраста и состава фундамента северо-восточной и юго-западной частей террейна.

#### Список литературы

1. Владимиров А.Г. Корреляция герцинских деформаций, осадконакопления и магматизма алтайской коллизионной системы как отражение плейт- и плютектоники: геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) / А.Г. Владимиров, Н.Н. Крук, О.П. Полянский и др. - М.: ГИН РАН, 2005. - С. 182-215.
2. Лопатников В.В. Магматизм и рудоносность Калба-Нарымской зоны Восточного Казахстана / В.В. Лопатников, Э.П. Изох, А.П. Пономарева. - М.: Наука, 1982. - С. 247.
3. P.V.Yermolov, V.S.Portnov, E.V. Musina Geodynamic of Irtysh shear zone: composition and U-Pb age of metamorphic and magmatic complexes, TR-mineralization, geodynamic model / Геология и охрана недр. - 2016. - № 3. - С. 1-14.
4. Беспаев Х.А. Геология и металлогения Юго-Западного Алтая в пределах территории Казахстана и Китая / Х.А. Беспаев, Н.В. Полянский, Г.Д. Ганженко и др. - Алматы: Гылым. - 1997. - 280 с.
5. Hu A. et al. Crustal evolution and Phanerozoic crustal growth in northern Xinjiang: Nd isotopic evidence. Part I. Isotopic characterization of basement rock / Tectonophysics. 2000. № 328. Р. 15-51.
6. Куйбидя М.Л. Петрология плагиогранитоидов Алтая / Автореф. дис... на соискание ученой степени канд. геол.-минер. наук. - Новосибирск, 2009. - С. 18.

Получено 13.08.2018

УДК 622.831

**Т.Т. Ипалаков, Б. Ашикур**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

#### ИССЛЕДОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКОГО ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ

*Выполнены исследования уравнений характеристик плоского предельного состояния. Выделены три области по определению разрушающего нормального давления. Исследованы не изученные*

ранее свойства в переходной области. Определено неравенство функции  $\lambda$ , которая может служить критерием оценки выполнения предельного равновесия откоса.

Жазық шектік жағдайдаң сипаттамаларының тендеуі зерттелген. Қиратушы қалыпты қысымды анықтау бойынша уш аумақ бөлінген. Отпелі аумақтағы бұрынғы зерттелмеген қасиеттері зерттелген. Құламаның шектік тепе-тендігінің орындалуын бағалау критериясына қызмет етуі мүмкін  $\lambda$  тәңсіздік функциясы анықталынған.

The research of equations the characteristics flat limiting state is carried out. Selected three areas for determination of crushing pressure is normal. The properties not previously studied in the transition region are investigated. The inequality of the function , which can serve as a criterion for assessing the performance of the limiting slope equilibrium, is determined.

**Ключевые слова:** массив горных пород, массив борта карьера, равновесие, предельное состояние, угол наклона, откос, площадка скольжения, дифференциальное уравнение, круглоцилиндрическая поверхность.

Предельное равновесие массива горных пород Прандтль Л. и Паукер П.Е. [1] находят, вычисляя соотношение приведенных сил  $P_a$  и  $P_b$ , действующих на клин с двугранным углом  $\theta$  (рис. 1). Общий метод теории предельного равновесия сил разработан В.В. Соколовским [2].

Для решения задач об определении разрушающего нормального давления на плоскости ХОУ различают три области (рис. 2).

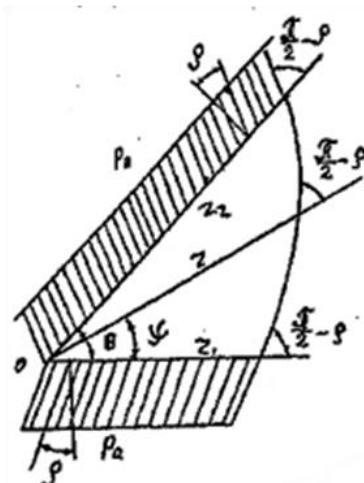


Рисунок 1 – Предельное равновесие массива горных пород по Л. Прандтлю и П. Паукеру

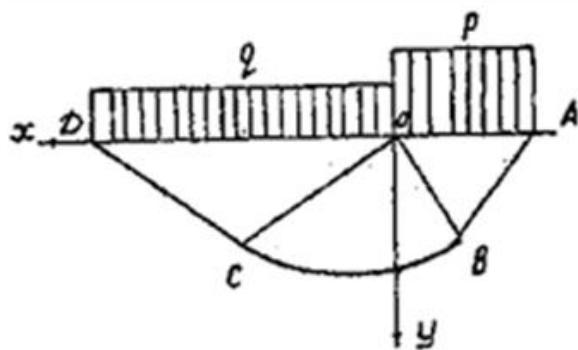


Рисунок 2 – Схема решения задач по определению разрушающего нормального давления (по В. Соколовскому)

В области ДОС и АOB:

$$\sigma = q / (1 - \sin \rho), \quad \varphi = 0 \quad \text{и} \quad \sigma = P / (1 + \sin \rho), \quad \varphi = \pi / 2, \quad (1)$$

в области ВОС:

$$\sigma = q \cdot e^{2 \operatorname{tg} \rho} / (1 - \sin \rho), \quad \operatorname{tg}(\varphi + \varepsilon) = y / x \quad \text{и} \quad \varphi - \theta = \varepsilon. \quad (2)$$

В первом случае сетки линии скольжения образованы двумя семействами параллельных прямых, во втором сетка линий скольжения состоит из пучка прямых, исходящих из семейства логарифмической спирали  $r = ce^{-\operatorname{tg} \rho}$ .

Исследования о переходной области различными авторами подробно изложены в монографии

фиях В.В. Соколовского и С.С. Голушкиевича [2].

Из многолетних исследований известно:

- существует переходная область, передающая давление призмы обрушения на призму выпирания;
- в переходной области линиями скольжения одного семейства служит пучок кривых (прямых), исходящих из особой точки, а линиями скольжения другого семейства являются изогональные траектории, пересекающие кривые пучки под углами  $(\pi / 2 \pm \rho)$ ;
- центр пучка, являющийся особой точкой границы переходной области, является в некотором смысле и особой точкой ее предельного напряженного состояния, которой на плоскости характеристик соответствует целый отрезок характеристик;
- переходная область находится в напряженном состоянии, но нельзя ее отнести ни к призме обрушения, ни к призме выпирания;
- внутри переходной области могут существовать линии сильного разрыва, такие, которые при переходе через них на перпендикулярных к ним отрезках нормальных напряжений терпят конечные разрывы;
- линии разрыва могут быть линиями скольжения или огибающей линией скольжения;
- возможен случай, когда переходная область выражается в линию сильного разрыва.

Не изучены:

- при каком соотношении между компонентами  $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$  появляются особые точки и линии разрыва;
- характер напряженного состояния переходной области внутри весомой среды;
- обоснованные свойства плоского предельного равновесия, зависящие от изменения угла наклона первой площадки скольжения;
- пространственное положение линии переходной области, вдоль которой соотношение разрушающих идерживающих сил давления определяется из условия равновесия значений средних приведенных напряжений;
- какие соотношения между компонентами напряжений  $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$  позволяют различать минимальное и максимальное напряженные состояния;
- возможные промежутки изменения угла наклона наибольшего главного напряжения  $\sigma_1$ .

В настоящей работе поставленные вопросы найдут отражение.

Свойства плоского предельного равновесия массива горных пород. Если массив находится в напряженном состоянии, то в любой точке занятой ею области выполняется условие

$$0.25 \cdot (\sigma_x - \sigma_y)^2 + \tau_{xy}^2 = 0.5 \cdot \sin^2 \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^\theta)^2, \quad (3)$$

которое можно представить как соотношение между сторонами какого-либо прямоугольного треугольника (рис. 3). Величинами катетов этого треугольника могут быть приняты:

$0.5 \cdot |\sigma_x - \sigma_y|$  и  $\tau_{xy}$ , а величиной гипотенузы -  $0.5 \cdot \sin \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^\theta)$ . Тогда радиус вписанной в треугольник окружности  $r^\theta$  и высоты  $h^\theta$ , опущенной на гипотенузу, определяется формулами:

$$r^\theta = |\sigma_x - \sigma_y| \cdot \tau_{xy} \cdot [2\tau_{xy} + |\sigma_x - \sigma_y| + \sin \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^\theta)]^{-1},$$

$$h^0 = |\sigma_x - \sigma_y| \cdot \tau_{xy} \cdot [\sin \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^0)]^{-1},$$

а их отношение:

$$\frac{r^0}{h^0} = \sin \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^0) \cdot [2\tau_{xy} + |\sigma_x - \sigma_y| + \sin \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^0)]^{-1}.$$

На основании известного неравенства из математики  $\sqrt{2} - 1 \leq r^0 - h^0 \leq 0.5$ , справедливого для любого прямоугольного треугольника, можно привести к виду:

$$\sqrt{2} - 1 \leq \lambda \leq 0.5, \quad (4)$$

где  $\lambda = \sin \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^0) \cdot [2\tau_{xy} + |\sigma_x - \sigma_y| + \sin \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^0)]^{-1}$ .

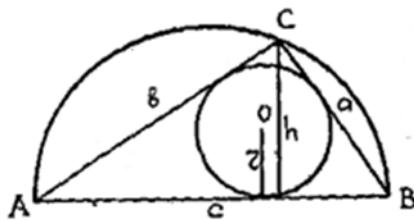


Рисунок 3 – Геометрическое представление выражения (3)

Ниже изложены результаты исследования неравенства (4). На известных примерах показана непрерывность множества значений величины  $\lambda$  и определены промежутки изменения угла наклона наибольшего главного напряжения  $\varphi$  к оси  $X$ .

Для наглядности полученные результаты исследования помещены в сводную таблицу.

#### Результаты исследования неравенства (4)

| Функция<br>$\lambda = \lambda(\varphi)$                       | Пределы измерения                                 |                                      | Знак разности<br>$(\sigma_x - \sigma_y)$ |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|
|                                                               | $\varphi$                                         | $\lambda$                            |                                          |
| $\lambda = 1 / [1 + \sqrt{2} \cdot \cos(2\varphi - \pi / 4)]$ | $m\pi \leq \varphi \leq \pi / 4 + m\pi$           | $\sqrt{2} - 1 \leq \lambda \leq 0.5$ | $\sigma_x > \sigma_y$                    |
| $\lambda = 1 / (1 + \sin 2\varphi)$                           | $\varphi = \pi / 4 + m\pi$                        | $\lambda = 0.5$                      | $\sigma_x = \sigma_y$                    |
| $\lambda = 1 / [1 - \sqrt{2} \cdot \cos(2\varphi + \pi / 4)]$ | $\pi / 4 + m\pi \leq \varphi \leq \pi / 2 + m\pi$ | $\sqrt{2} - 1 \leq \lambda \leq 0.5$ | $\sigma_x < \sigma_y$                    |
| $\lambda = 1 / [1 + \sin 2\varphi +  \cos 2\varphi ]$         | $m\pi \leq \varphi \leq \pi / 2 + m\pi$           | $\sqrt{2} - 1 \leq \lambda \leq 0.5$ | $ \sigma_x - \sigma_y  \geq 0$           |

Можно доказать, что если массив в прямоугольной системе координат  $XOY$  занимает верхнюю полуплоскость ( $y > 0$ ), то областью изменения угла  $\varphi$  является сегмент

$0; 0.5\pi$  (ось  $X$  направлена по горизонтали влево, а ось  $Y$  - вертикально вниз). Для этого в известном выражении

$$\operatorname{tg} \varphi = [\pm \sin \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^0) - (\sigma_x - \sigma_y)] \cdot (2\tau_{xy})^{-1},$$

$\operatorname{tg} \varphi$  заменив на  $dy / dx$ , получим:

$$dy / dx = [\sin \rho \cdot (\sigma_x + \sigma_y + 2H^0) - (\sigma_x - \sigma_y)] \cdot (2\tau_{xy})^{-1}. \quad (5)$$

Учитывая, что компоненты напряжения  $\sigma_x, \sigma_y$  и  $\tau_{xy}$  являются непрерывными функциями координат, равенство (5) можно считать дифференциальным уравнением главных площадок. Следовательно, главные площадки на плоскости  $XOY$  представляют собой семейство кривых. Любая кривая, расположенная на верхней полуплоскости ( $y \geq 0$ ), не может иметь угол наклона к оси  $X$  больше, чем  $\pi$ , так что  $\varphi \leq \pi$ . Поэтому в неравенстве  $m \cdot \pi \leq \varphi \leq 0.5\pi + m \cdot \pi$  следует принять  $m$ . Тогда  $0 \leq \varphi \leq 0.5\pi$ , что и требовалось доказать.

На основании доказанного функция  $\lambda = \lambda(x, y)$  сохраняет свой график (рис. 4) только на сегменте  $0; 0.5\pi$ .

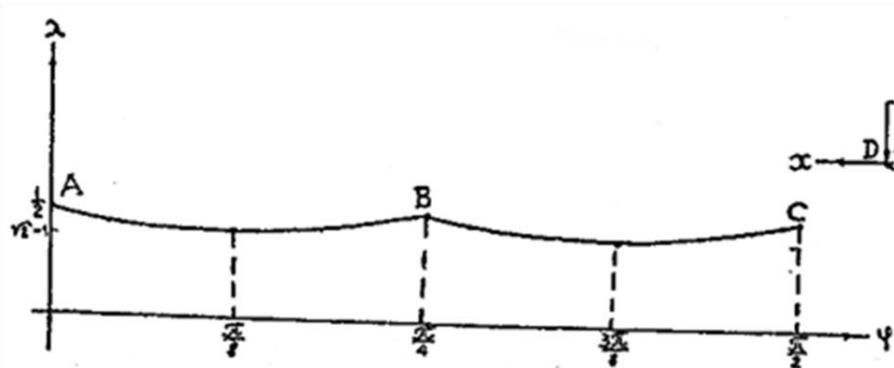


Рисунок 4 – График функции  $\lambda$

Окончательно для решения задачи о возможности существования линий перехода от одного вида напряженных состояний в другой в качестве примера обратимся к известной задаче о несущей способности основания, ограниченного осью  $X$  (рис. 5).

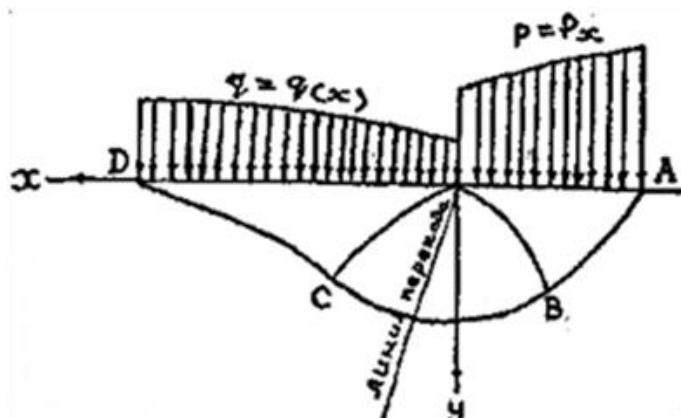


Рисунок 5 – К решению задачи о несущей способности основания

Для этой цели вдоль отрицательной полуоси  $X$  зададим разрушающее приведенное нормальное давление  $P$ , равное  $P=P_{sc}$ , и предположим, что вдоль положительной полуоси определено удерживающее приведенное нормальное давление  $q=q(x)$ , при котором основание сохраняет равновесие без выпирания и оседания.

Нарушение предельного равновесия, как известно, приводит к выпиранию основания вдоль положительной и оседанию вдоль отрицательной полуоси  $X$ . В зоне, примыкающей к оси  $X$ , будет иметь место максимальное, а в зоне, примыкающей к отрицательной полуоси, минимальное напряженное состояние.

Следовательно, вдоль отрицательной полуоси  $X$  при  $x = -1$  имеет место:

$$\sigma = P(x) \cdot (1 + \sin \rho)^{-1}, \quad \varphi = \pi / 2,$$

а вдоль положительной при  $x = +1$ :

$$\sigma = q(x) \cdot (1 - \sin \rho), \quad \varphi = 0.$$

Сравнивая результаты таблицы и последнее выражение, нетрудно убедиться, что в зоне, примыкающей к отрицательной полуоси, справедливы

$$\sigma_x < \sigma_y, \quad \lambda = [1 - \sqrt{2} \cdot \cos(2\varphi + 0.25\pi)]^{-1} \quad \text{è} \quad 0.25\pi < \varphi < 0.5\pi, \quad (6)$$

а в зоне, примыкающей к положительной полуоси  $X$ , имеет место соотношение

$$\sigma_x > \sigma_y, \quad \lambda = [1 + \sqrt{2} \cdot \cos(2\varphi - 0.25\pi)]^{-1} \quad \text{è} \quad 0 \leq \varphi < 0.25\pi. \quad (7)$$

Условие (6) соответствует минимальному, (7) - максимальному напряженному состоянию.

Переход от минимального к максимальному напряженному состоянию произойдет там, где выполняются условия

$$\sigma_x = \sigma_y, \quad \lambda = (1 + \sin 2\varphi)^{-1} \quad \text{è} \quad \varphi = 0.25\pi. \quad (8)$$

Последние условия могут быть выполнены вдоль какой-нибудь линии, проходящей через особую точку.

Действительно, в особой точке угол наклона наибольшего главного напряжения удовлетворяет неравенству  $0 \leq \varphi \leq 0.5\pi$ , поэтому может достигнуть значения  $\varphi = 0.25\pi$ , т.е. искомая линия проходит через особую точку.

В дальнейшем такую линию назовем линией перехода от одного вида напряженного состояния к другому, существование которой можно доказать, исследуя дифференциальное уравнения характеристик основной системы уравнений равновесия.

Функция  $\lambda$ , определяемая неравенством (4), может служить критерием оценки выполнения предельного равновесия откоса. Ниже рассмотрим частный пример: удовлетворяет ли круглоцилиндрическая поверхность функции  $\lambda$ .

Неравенство (4), представленное как функция от  $\varphi$ , зависит от угла площадок скольжения и угла наклона откоса. Поэтому функция  $\lambda$  выполняется в областях занятых точек, ограничивающих наиболее опасную поверхность скольжения (рис. 6).

Когда угол  $\varphi < 45^\circ$ , функцию  $\lambda$  вычислим из равенства (5), если  $\varphi > 45^\circ$  - из равенства (6), а при  $\varphi = 45^\circ$  - из уравнения (8). В основании откоса угол  $\varphi = \alpha = 45^\circ$ , соответственно функция равна 0,5.

С увеличением угла  $\varphi$  в точках круглоцилиндрической поверхности скольжения функция численно убывает и минимальное значение  $\lambda = \sqrt{2} - 1$  достигает при угле наклона площадки скольжения  $\omega^1 = 22.5^\circ + \rho / 2$ ,  $\varphi = \omega^1 + (45^\circ - \rho / 2)$ .

Затем функция, увеличиваясь, достигает максимума, равного 0,5, при  $\varphi = 90^\circ$  в верхней части откоса. Как видно, массив борта карьера, ограниченный круглоцилиндрической

поверхностью скольжения, находится в напряженном состоянии. Каждой точке занятой ею области компоненты  $\sigma_x, \sigma_y$  и  $\tau_{xy}$  удовлетворяют неравенству (4).

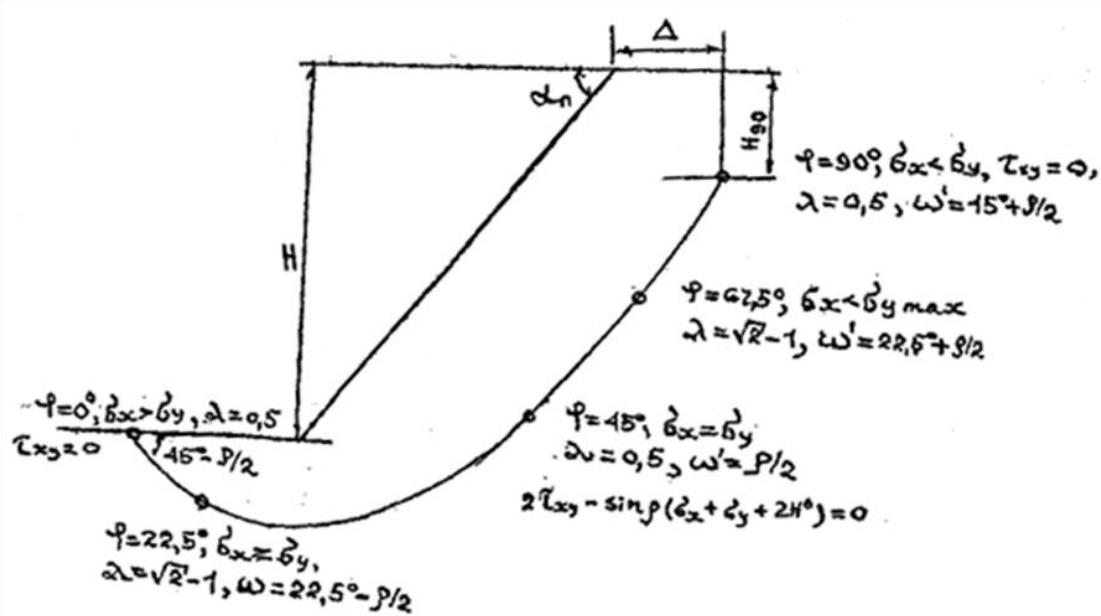


Рисунок 6 – Области выполнения функции  $\lambda$

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Из анализа вычисленных данных компонентов напряжений  $\sigma_x, \sigma_y$  и  $\tau_{xy}$ , равенство  $\sigma_x = \sigma_y$  получено, когда  $\varphi = 45^\circ$ , угол наклона площадки скольжения  $\omega^1 = \rho / 2$  и  $\lambda = 0.5$ .
2. Минимальное значение функции  $\lambda$  выполняется на поверхности скольжения с углом наклона  $\omega^1 22.5^\circ + \rho / 2$ . Достоверность вычисленных данных  $\sigma_x, \sigma_y$  и  $\tau_{xy}$  контролируется определением угла наклона направления главных напряжений  $\sigma_1, \sigma_2$  из известного уравнения (4).
3. Отношение  $\sigma_x / \sigma_y$  зависит от угла наклона площадки скольжения  $\omega^1$  и направления главного напряжения  $\varphi$ ; изменяется от  $\operatorname{tg}^2(45^\circ - \rho / 2)$  при  $\varphi = 90^\circ$  и больше единицы, когда  $\varphi < 45^\circ$ .

#### Список литературы

1. Голушкиевич С.С. Плоская задача теории предельного равновесия сыпучей среды. - М.: Гос-техиздат, - 1948. – 254 с.
2. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. - М.: Физматгиз, 1960. - 243 с.

Получено 13.08.2018

УДК 550.3

**Р.К. Мадишева, М.В. Пономарева, А.Т. Тунгышбаева**

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛАСТОВ-КОЛЛЕКТОРОВ  
ЮЖНО-ТОРГАЙСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО БАССЕЙНА**

*Определены гидродинамические параметры пластов в скважине в установленном и неустановленном режимах. Приведена обработка по методу установленных отборов по кривой восстановления уровня и по кривой восстановления давления.*

*Ұңғыманың орныққан және орнықпаған тәртібінде қабаттың гидродинамикалық параметрлері анықталды. Анықтау орныққан ағын әдісі, деңгейдің қалпына келу қысығы және қысымның қалпына келу қысығы әдістері бойынша жүзеге асырылды.*

*Hydrodynamic parameters of the reservoir in the well in the established and not established modes are determined. The data processing is performed by the method of established sampling, by the curve of the level recovery and by the pressure recovery curve.*

**Ключевые слова:** гидродинамические методы исследования скважин, пластовое давление, дебит, коэффициент продуктивности, гидропроводность, пьезопроводность, скин-фактор.

Цель: изучить абсолютные гидродинамические характеристики пластов-коллекторов для управления процессом разработки месторождения Ащисай.

Все существующие гидродинамические методы исследования скважин можно подразделить на две группы:

- методы исследования скважин при установленвшемся режиме их эксплуатации;
- методы исследования при неустановившемся режиме работы скважин.

В нефтепромысловой практике данные методы объединяют под общим названием – исследования скважин по кривым восстановления давления (уровня) [1].

При установленвшемся режиме при известном  $P_{нл}$  в скважинах со стабильным дебитом  $Q$  и замеренным давлением в призабойной части пласта  $P_{заб}$  может быть определен коэффициент продуктивности пласта [2]:

$$K = \frac{Q}{\Delta P}, \quad (1)$$

где  $\Delta P = (P_{нл} - P_{заб})$  – депрессия на пласт.

Очень часто величина  $P_{нл}$  неизвестна, а оценка продуктивности по одному режиму ненадежна из-за возможной зависимости фильтрационных свойств пласта от депрессии (для сложных коллекторов, при многофазном притоке и т.п.) [3]. В таких случаях  $P_{нл}$  определяют по замерам забойного давления и дебита на нескольких близких установившихся режимах работы скважины. Режим работы скважины изменяют путем увеличения или уменьшения депрессии на пласт. В табл. 1 представлены данные забойного давления  $P_{заб}$  и расхода  $Q$  (3, 4 столбцы) на нескольких стабильных режимах работы скважины, отличающихся депрессией на пласт, которая изменяется сменой штуцера. Гидродинамические исследования проводились в одной из скважин месторождения Каламкас полуострова Бузачи.

Таблица 1

*Результаты гидродинамических исследований*

| № п/п | Диаметр штуцера, мм | $Q$ , м <sup>3</sup> /сут | $P_{заб}$ , атм | $\Delta P$ , атм |
|-------|---------------------|---------------------------|-----------------|------------------|
| 1     | 4,0                 | 50,8                      | 71,8            | 38,3             |
| 2     | 8,0                 | 56,3                      | 69,3            | 40,8             |
| 3     | 10,0                | 62,5                      | 65,2            | 44,9             |
| 4     | 12,0                | 68,9                      | 58,4            | 51,7             |

Откладывая по оси ординат значения дебита, а по оси абсцисс – значения забойного давления (рис. 1) и проводя через фактический набор точек аппроксимирующую прямую, получаем точку пересечения прямой с осью забойных давлений при нулевом дебите, то есть свободный член зависимости  $Q = f(P_{заб})$ , который дает значение пластового давления  $P_{пп}$ , равное 146,5 атм.

Используя значение  $P_{пп} = 146,5$  атм, заполняем столбец 5 табл. 1 и строим индикаторную диаграмму (рис. 2).

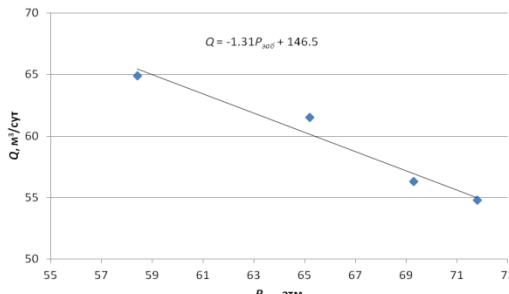


Рисунок 1 – Зависимость дебита от забойного давления

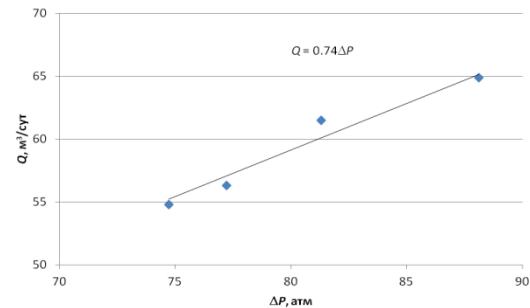


Рисунок 2 – Индикаторная диаграмма

Линейность индикаторной линии ( $Q = K \cdot \Delta P$ ) во всем интервале исследования означает, что в призабойной зоне скважины фильтрация происходит по линейному закону. Тогда для определения коэффициента продуктивности можно использовать формулу (1), то есть коэффициент продуктивности  $K$  является величиной постоянной и численно равен тангенсу угла наклона индикаторной линии к оси дебета.

Коэффициент линейной регрессии зависимости  $Q = f(\Delta P_{заб})$  отображает продуктивность скважины, то есть  $K = 0,74 \text{ м}^3/(\text{сут}\cdot\text{атм})$ .

Для определения гидропроводности  $\delta$  можно использовать разновидность формулы Дюпюи [2]:

$$\sigma = \frac{\ln \frac{R_k}{r_c} + C_1 + C_2}{2\pi} \cdot K, \quad (2)$$

где  $R_k$  – радиус контура питания скважины;  $r_c$  – радиус скважины по долоту;  $C_1, C_2$  – коэффициенты, характеризующие несовершенство скважины по степени и характеру вскрытия. Принимая  $R_k = 250$  м,  $r_c = 0,108$  м,  $C_1 = C_2 = 0$ , получаем  $\delta = 10,56 (\text{Д}\cdot\text{см})/\text{сПз}$ .

Используя зависимость  $\delta = \frac{k \cdot h}{\mu}$ , где  $h$  – мощность пласта,  $k$  и  $\mu$  – соответственно, проницаемость и вязкость флюида, рассчитываем значение подвижности флюида в пласте [3]:

$$\frac{k}{\mu} = \frac{\delta}{h} = \frac{10,56 (\text{Д}\cdot\text{см})/\text{сПз}}{960 \text{ см}} = 0,011 \text{ Д}/\text{сПз}$$

и, принимая  $\mu = 1 \text{ сПз}$ , определяем проницаемость флюида  $k = 11,0 \text{ мД}$ .

Для интерпретации результатов исследований в нестабильно работающих, малодебитных скважинах с открытым устьем широко используется технология КВУ (кривая восстановления уровня), которая включает в себя снижение динамического уровня в стволе при насосной эксплуатации или освоении скважины путем свабирования или компрессирования; получение кривых изменения во времени забойного давления в процессе восстановления уровня [4].

Одним из методов обработки результатов КВУ является метод Маскета–Яковleva, также известный как модель жесткого пласта. Основным параметром, определяемым по КВУ, является коэффициент продуктивности, численно равный тангенсу угла наклона псевдоиндикаторной диаграммы. Точки пересечения индикаторной диаграммы с координатными осями определяют пластовое давление и абсолютно свободный дебит. По величине коэффициента продуктивности рассчитывают гидродинамические свойства пласта.

Гидродинамические исследования проводились при компрессорном освоении скважины № 94 нефтяного месторождения Ащисай Южно-Торгайской нефтегазоносной провинции. Забойное давление замерено глубинным манометром.

Обработка результатов состоит в расчете кривой изменения во времени дебита скважины и в построении по кривым давления и дебита индикаторной диаграммы (ИД). Для расчета кривой дебита временной интервал КВУ разбиваем на локальные отрезки  $\Delta t$  (рис. 3).

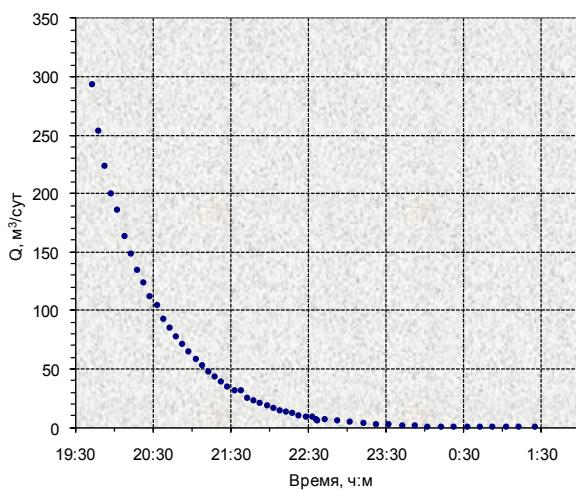


Рисунок 3 – Кривая изменения дебита во времени

Длина отрезков подбирается эмпирически и, как правило, составляет от нескольких десятков секунд до нескольких минут. Дебит для каждого выбранного временного отрезка рассчитывается по формуле:

$$Q_\phi = \frac{\Delta P S}{\rho g \Delta t}, \quad (3)$$

где  $\Delta P$  – изменение за время  $\Delta t$  забойного давления;  $S = S_{HKT} + S_m$  – площадь сечения потока флюида ( $S_{HKT}$  – внутреннее сечение НКТ,  $S_m$  – сечение кольцевого пространства межтрубья);  $\rho$  – плотность флюида;  $g$  – ускорение свободного падения [2].

По кривым изменения забойного давления от дебита (рис. 4) строим индикаторную диаграмму.

Свободный член линейного уравнения прямой  $P_{заб} = f(Q)$  представляет собой пластовое давление, то есть  $P_{пп} = 136,4$  атм. Используя это значение, строим ИД (рис. 5).

Определяем гидропроводность  $\delta$ , используя формулу (2). Принимая  $R_k = 100$  м,  $r_c = 0,108$  м,  $C_1 = C_2 = 0$ , получаем  $\delta = 76,44$  (Д·см)/сПз [1].

Используя зависимость  $\delta = \frac{k \cdot h}{\mu}$  и принимая  $\mu = 0,2$  сПз,  $h = 2,8$  м, рассчитываем проницаемость  $k = 54,6$  мД.

Кривые восстановления (падения) забойных давлений (КВД-КПД) являются методом гидродинамических исследований скважин на неустановившихся режимах фильтрации. Определение гидродинамических параметров пластов-коллекторов скважины № 2263 месторождения Каражанбас полуострова Бузачи выполнено одним из известных и распространенных методов обработки КВД – методом Хорнера. На рис. 6 приведен график восстановления давления скважины № 2263.

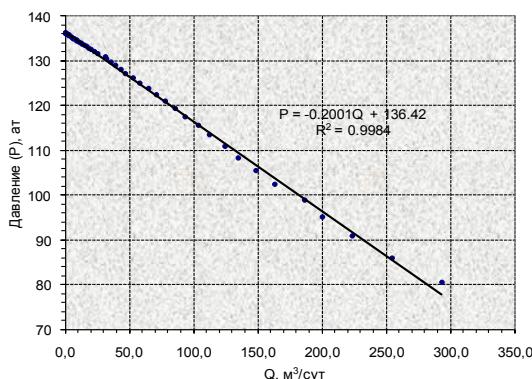


Рисунок 4 – Зависимость забойного давления от дебита

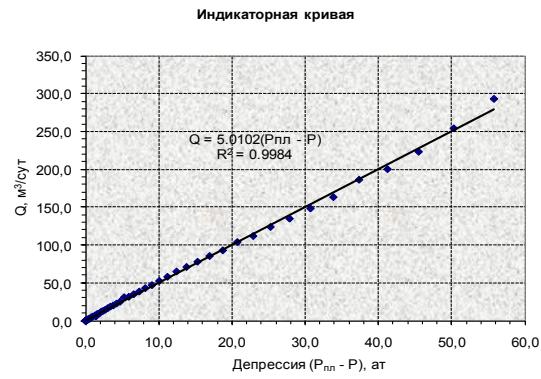


Рисунок 5 – Зависимость дебита от забойного давления

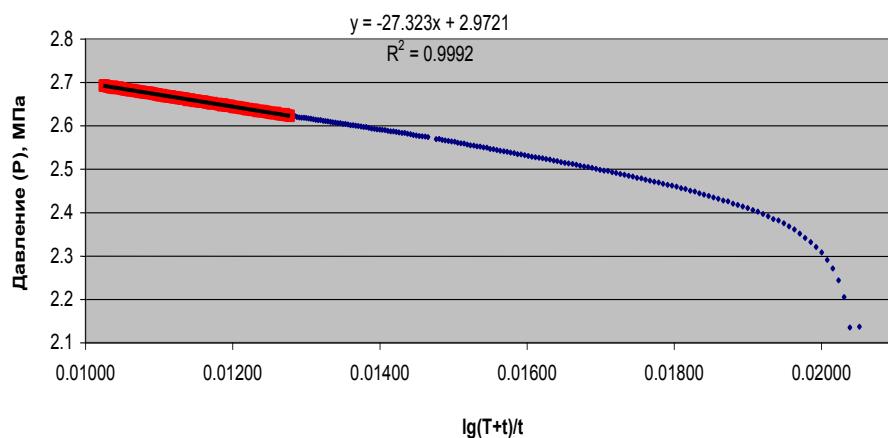


Рисунок 6 – График восстановления давления по методу Хорнера

Данные по скважине приведены в табл. 2. Результаты интерпретации по методу Хорнера приведены в табл. 3.

Таблица 2  
Данные по скважине 2263

| $\beta_{ж}$          | $\beta_c$            | Пористость, м | h   | $R_{скв.}$ | Радиус контура питания, $R_k$ | $\mu$       |
|----------------------|----------------------|---------------|-----|------------|-------------------------------|-------------|
| $10^{-5}/\text{атм}$ | $10^{-5}/\text{атм}$ | д. ед.        | м   | мм         | м                             | мПа*с (сПз) |
| 4,5                  | 1,35                 | 0,2           | 5,0 | 215,9      | 100                           | 3,0         |

Таблица 3

*Результаты интерпретации по методу Хорнера*

| Рассчитанные параметры |                                        | Значение                              |  |
|------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Пластовое давление     | МПа                                    | атм                                   |  |
|                        | 2,970050401                            | 29,7                                  |  |
| Гидропроводность $s$   | $\text{м}^3/(\text{МПа}\cdot\text{с})$ | $(\text{Д}\cdot\text{см})/\text{сПз}$ |  |
|                        | 3,36439E-06                            | 0,336438898                           |  |
| Пьезопроводность $z$   | $\text{м}^2/\text{с}$                  | $\text{см}^2/\text{с}$                |  |
|                        | 0,002990568                            | 29,9056798                            |  |
| Проницаемость $k$      | $\text{см}^2$                          | $\text{мД}$                           |  |
|                        | 2,02E-11                               | 2,018633387                           |  |

Наиболее правильная оценка гидродинамических параметров продуктивного пласта может быть дана на основе гидродинамических исследований скважин – ГДИС. Информация, получаемая по данным промыслового-геофизических исследований скважин и лабораторных исследований образцов горных пород, недостаточно точно характеризует свойства пласта в целом.

Метод установившихся отборов (МУО) был выбран для исследования скважины месторождения Каламкас, так как скважина работала со стабильным дебитом, задача состояла в том, чтобы изменить режим работы скважины, что было осуществлено сменой штуцера соответственно депрессии на пласт.

На месторождении Ащисай была записана кривая изменения давления, которую также называют кривой притока (КП), так как восстановление давления зарегистрировано при открытом устье скважины. Изменение забойного давления обусловлено продолжающимся притоком жидкости из пласта и подъемом уровня жидкости в стволе скважины. Метод КВУ, как правило, применяется на малодебитных скважинах. А для проведения оценки гидродинамических характеристик, если восстановление давления в пласте и скважине происходит при закрытом устье скважины, целесообразно использовать метод КВД. Он подразумевает отсутствие притока жидкости из пласта в ствол остановленной скважины. На месторождении Каражанбас данные были получены методом КВД, для расчета гидродинамических характеристик пласта соответственно использовался метод Хорнера, который учитывает особенности данного вида исследования.

Сопоставляя результаты исследования, стоит отметить, что деление ГДИ на установившиеся и неустановившиеся режимы, а кривой изменения давления на КВД и КВУ, характеризует условия проведения опыта и заранее свидетельствует о возможности или невозможности использования некоторых алгоритмов и метода обработки. Анализ проведенного опыта показывает выбор оптимального метода получения данных и обработки результатов исследования.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Разработана методика расчета ГДИ характеристик пласта при установившемся, неустановившемся режимах скважины, которая может быть использована на месторождениях Южно-Торгайского прогиба.

2. Установлены такие значения гидродинамических параметров пласта на месторождении Ащисай как пластовое давление, коэффициент продуктивности, гидропроводность, значение подвижности флюида в пласте и проницаемость.

В заключение стоит отметить, что прогноз технологических показателей разработки и обоснование величин конечной нефтеотдачи базируется на гидродинамических расчетах.

## Список литературы

1. Валиуллин Р.А. Термогидродинамические исследования при различных режимах: Руководство по исследованию и интерпретации / Р.А. Валиуллин, А.Ш. Рамазанов. – Уфа, 2002. – 248 с.
2. Хисамов Р.С. Гидродинамические исследования скважин и методы обработки результатов измерений. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2000. – 228 с.
3. Шагиев Р.Г. Исследование скважин по КВД. – М.: Наука, 1998. – 144 с.
4. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде. – М.: Ижевск, 2004. – 628 с.
5. Баренблatt Г.И. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа / Г.И. Баренблatt, В.М. Ентов, В.М. Рыжик. – М.: Недра, 1972. – 288 с.
6. Веригин Н.Н. Методы определения фильтрационных свойств горных пород. – М.: Госстройиздат, 1962. - 182 с.

Получено 13.08.2018

---

---

УДК 622.06

**Л.С. Манучарян**

Государственное учреждение Межрегиональный департамент «Востказнедра»,  
г. Усть-Каменогорск

**ОПЫТ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ ОБВОДНЕННОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ  
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В ВОСТОЧНОМ КАЗАХСТАНЕ**

*В статье приведены практические приемы оценки обводненности месторождений твердых полезных ископаемых, главным образом методом аналогии, сформулированных на основе фактических данных по обводненности многочисленных рудников Восточного Казахстана. Информация необходима для специалистов геологического профиля.*

*Мақалада қатты пайдалы қазбалар көн орындарының сулануын бағалаудың практикалық әдістері, ең алдымен Шығыс Қазақстанның көптеген кеніштерінің сулануы бойынша нақты мәліметтер негізінде тұжырымдалған үқсастық әдісі келтірілген. Ақпарат геологиялық бағыттағы мамандар үшін қажет.*

*The article shows practical methods of deposits' water content evaluation, mostly by analogue extension method, based on actual statistics of water inflow at numerous mines of the Eastern Kazakhstan. The information is essential to geology-related specialists.*

**Ключевые слова:** водоприток, дренажные воды, источники формирования притоков, зона трещиноватости, глубина развития обводненных трещин.

Восточный Казахстан является высокоразвитой в промышленном отношении территорией. Основу промышленности составляет минерально-сыревая база. Наиболее ценные, крупные месторождения цветных металлов и золота приурочены к сложно и интенсивно дислоцированным палеозойским отложениям, породам и интрузивным образованиям, слагающим палеозойский фундамент, водопроницаемым лишь по зонам трещиноватости, сформированным процессами выветривания или тектоническими процессами (карстующиеся породы имеют ограниченное распространение).

Важным является положение полезного ископаемого по отношению к местным базисам эрозии (реки, долины и др.). Этим определяется возможность участия в питании подземных вод осваиваемых месторождений водных ресурсов водохранилищ, расположенных к месторождению.

Выше местного базиса эрозии месторождения в подавляющем большинстве сдrenированы, необводнены. В обводнении месторождений, расположенных ниже базиса эрозии,

участвуют различные виды водных ресурсов, существенно меняющиеся по территории, в т.ч. транзитный поверхностный сток.

Как показал многолетний опыт эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых, степень обводненности (величина водопритока в горные выработки и изменения ее во времени) зависит главным образом от следующих факторов:

- наличия источника питания подземных вод, количества водных ресурсов, изменчивости или постоянства их во времени;

- водопроницаемости перекрывающих полезное ископаемое пород (слабо- и водонепроницаемый чехол препятствует питанию подземных вод, поэтому водопритоки минимальны; хорошо водопроводящие породы создают благоприятные условия питания, срабатываемые естественные запасы подземных вод восполняются, что приводит к формированию повышенных величин водопритоков).

На значительных площадях верх разреза сложен покровными суглинистыми четвертичными отложениями, глинистыми образованиями коры выветривания или глинистыми отложениями неогена и палеогена. Это исключает возможность формирования водопритоков в заметных количествах. В Восточном Казахстане отсутствуют регионально выдержаные, достаточно мощные водоносные горизонты с региональным подземным стоком. Гидрогеологические структуры ограничены в плане и разрезе, что обусловило преимущественное совпадение областей питания, распространения и разгрузки подземных вод, ограниченность естественных запасов по сравнению с объемом питания за достаточно продолжительный срок.

Водопритоки в горные выработки формируются за счет привлекаемых ресурсов, естественных ресурсов и естественных запасов. Доля участия каждого из указанных источников на конкретных месторождениях зависит от гидрогеологических условий (строения) месторождения, а также от изменчивости питания по сезонам года. Основными источниками формирования водопритоков являются привлекательные ресурсы для месторождений в речных долинах с транзитным поверхностным стоком; естественные ресурсы – для месторождений в речных долинах с сезонным поверхностным стоком, в межгорных впадинах и особенно вдали от речных долин и межгорных впадин. Естественно, запасы имеют существенное значение для месторождений в начальный период освоения при вскрытии горными выработками. В методическом отношении изложенное позволяет обоснованно говорить о необходимости самого тщательного анализа и прогноза водного баланса в естественных условиях и при эксплуатации, особенно в части определения количества естественных и привлекаемых ресурсов. Естественные запасы достаточно определять приближенно для обоснования величин притоков при вскрытии месторождений.

Основными по количеству, ценности руд, по глубине, объему вскрытия горными выработками массива пород являются месторождения цветных и редких металлов. Массивы коренных палеозойских пород водопроницаемы лишь по отдельным зонам.

Под обводненными зонами разломов, тектоническими зонами дробленых пород мы понимаем не региональные крупные зоны нарушений, являющиеся часто границами структурно-официальных зон (Иртышская, Северо-восточная, Кызыловская зоны смятия, Чарский, Чингизский главный и другие разломы) и картируемые при геологических съемках различного масштаба, а достаточно мелкие их проявления в виде межконтактовых зон срыва, серии трещин без заметного смещения пород, обуславливающих повышенную линейную водопроводимость пород на фоне слабо проницаемых или почти монолитных. Такие зоны определяются при достаточно детальных работах (масштаб 1:5000-1:25000) с помощью дешифрирования аэрофотоснимков, детальными (внемасштабными) геофизическими исследованиями по профилям вкрест этих зон поискажению, понижению, изменчивости, неоднородности геофизического поля. В самой зоне породы облада-

ют хаотической проницаемостью, могут встречаться пережимы с притертными стенками трещин и полостеобразные скопления открытых трещин. Иногда зоны имеют сложное строение в пространстве: прямолинейность - необязательный признак зон.

Размеры наиболее трещиноватых зон в плане вкрест простирания обычно не превышают первых метров, редко первых десятков метров. По простирианию они достигают сотен метров и более. В условиях зоны проявления агентов выветривания глубина трещиноватости ограничивается 15-20 м, редко более. Открытая трещиноватость тектонического происхождения на Рудном Алтае вскрыта на глубинах 100-150 м. Единичны случаи вскрытия обводненных трещиноватых зон на больших глубинах: из структурной геологической скважины глубиной 1200 м на шестом горизонте Зыряновского месторождения (глубина 240 м от поверхности земли) самоизлив температурой 18 °C, с сероводородом, расход около 5 м<sup>3</sup>/час.; в стволе шахты «Тишинская» на глубине 440 м вскрыта зона интенсивной трещиноватости, имеющая гидравлическую связь с аллювиальным водоносным горизонтом реки Ульбы, с водопритоком около 50-80 м<sup>3</sup>/ч.

По фильтрационным свойствам трещиноватые породы резко анизотропны и в общем слабо водопроницаемы в массиве. Естественно поэтому, что от дренирующих горных выработок развивается сравнительно небольшая депрессионная воронка, по отдельным направлениям радиус влияния может достигать 2100-3200 м, соответственно область питания (дренирования) ограничена, может достигать 10 км<sup>2</sup>.

В условиях ограниченной области питания и ограниченного питания при малой водоотдаче трещиноватых пород водопритоки не могут формироваться в достаточно больших количествах (более 30-50 м<sup>3</sup>/час), причем колебания водопритока определяются динамичностью питания. Рядовые водопроявления приурочены к хаотически расположенным трещинам, стволам не ликвидированных геологоразведочных скважин, расходы их от капежа до слабого струйного истечения с расходами до 5 м<sup>3</sup>/час.

Формирование водопритоков на нижних горизонтах происходит главным образом перетоком с верхних выработок и из вскрытых стволов разведочных скважин. Характерно, что из этих же стволов скважин нет ни одного случая излива на подошве выработок. Это является объективным показателем отсутствия ниже вскрытой части месторождения водоносных структур и подземных вод, способных принять участие в формировании дополнительных водопритоков к фактически существующим. Наблюдения за водопритоками показывают, что подземные воды месторождений приурочены к горным породам с невыдержаными низкими фильтрационными свойствами, уменьшающимися с глубиной, естественные запасы подземных вод ограничены.

Наибольшие сравнительно постоянные водопритоки отмечаются под речными долинами с постоянным речным стоком. Вдали от речных долин и впадин водопритоки небольшие, но наиболее динамичны во времени, а величина их зависит от водности года, что отображает условия формирования за счет инфильтрации атмосферных осадков.

В условиях дефицита влаги (неблагоприятные условия питания) водопритоки из отдельных зон обычно составляют единицы и первые десятки м<sup>3</sup>/час, при годовом количестве осадков более 400-500 мм – до 250 м<sup>3</sup>/час. Поступление воды происходит по трещиноватым зонам. Из 230 зарегистрированных случаев прорыва из трещиноватых зон на Рудном Алтае водопритоки составляли до 10 м<sup>3</sup>/час – 80% случаев; 11-20 м<sup>3</sup>/час – 7%; 21-40 м<sup>3</sup>/час – 9%; 41-60 м<sup>3</sup>/час – 3%. Со временем водопритоки значительно уменьшаются и через 50-180 суток (309 случаев) составляли до 10 м<sup>3</sup>/час – 95% случаев; 10-20 м<sup>3</sup>/час – 3%; 21-50 м<sup>3</sup>/час – 2%.

Совершенно уникальным является прорыв подземных вод из тектонической зоны в Чекмарскую штолнию: при первоначальном напоре над кровлей выработки 130 м из зоны мощностью 11 м (глыбовый материал) мгновенный приток из взорванной зоны без снятия напора достиг 3000 м<sup>3</sup>/час, через 6 часов – 500-600 м<sup>3</sup>/час, через 1 месяц – 200-250 м<sup>3</sup>/час.

Тщательное наблюдение за уровнем подземных вод величиной водопритока по сети геологоразведочных скважин и, а также анализ этих материалов позволили определить некоторые расчетные гидрогеологические параметры трещиноватых водовмещающих пород для большого массива пород:

- водоотдача от 0,00001 до 0,0080, средняя арифметическая 0,0008; коэффициент водопроводимости от 8 до 28; средний арифметический  $22 \text{ м}^2/\text{сут}$ ; радиус воронки депрессии превысил 1500 м (около 1800-2200 м), величина понижения уровня в наблюдательных скважинах 2,6-77 м.

Эти показатели можно считать условно представительными и использовать в аналогичных условиях при приближенных прогнозах водопритоков в горные выработки. Гидродинамические прогнозы водопритоков, в том числе математическое моделирование, неприменимы ввиду невозможности схематизации природных условий для расчетов.

Зоны, подобные вскрытой Чекмарской штольне, встречаются и могут встречаться на других месторождениях. Наиболее вероятны они при пересечении нарушенных хрупких окремненных, ороговикованных пород. Уникальность большой величины прорыва подземных вод обусловлена нарушением элементарных технологических правил проведения горных работ – зона вскрыта мгновенно взрывом без предварительного снятия напора и дренирования подземных вод системой опережающих забой шпуров и скважин.

Близи речных долин, выполненных водонасыщенными четвертичными отложениями, и под долинами водопритоки в горные выработки сравнительно стабильны во времени в связи с наличием постоянного источника питания (величина водопритока в паводок увеличивается не более чем на 30% по сравнению с меженью). Общая величина водопритока достигает 300-1000  $\text{м}^3/\text{час}$ , причем поступление из одиночных зон может достигать 120-180  $\text{м}^3/\text{час}$  без заметного уменьшения во времени. Водоприток в песчано-гравийный карьер, расположенный в 50-100 м от русла р. Иртыш, при снижении уровня на 6-7 м составляет 1800-3000  $\text{м}^3/\text{час}$ . По величине водопритока при отработке рудных месторождений не требуется проведение специальных осушительных мероприятий (кроме глубоких карьеров с бортами в обводненных рыхлых отложениях), но необходимо надежное прогнозирование зон и предварительное снятие напоров воды в них опережающими шпурами, скважинами. При выборе мест заложения стволов шахт необходимо избегать нарушенных участков, а в случае неизбежного пересечения обводненного тектонического нарушения весьма целесообразно и эффективно предварительное водопонижение с помощью дренажных скважин.

При типизации месторождений твердых полезных ископаемых по гидрогеологическим условиям (условиям формирования водопритоков) приняты следующие основные признаки: положение к базису эрозии, условия питания, водопроницаемость пород между источником питания и полезным ископаемым, характер водопроницаемости вмещающих пород.

Для месторождений, расположенных выше местного базиса эрозии, важно определить положение объекта отработки на приводораздельном участке или на склоне. В первом случае водоприток формируется только за счет местных атмосферных осадков (большинство месторождений нерудных материалов, а также Греховское, Мизек, Тайжузгенское, Покровское) и весьма динамичен (изменчив) – от нуля в межень до некоторых величин, чаще всего небольших (до первых десятков  $\text{м}^3/\text{час}$ ) в периоды выпадения дождей и снеготаяния. Увеличения водопритока с увеличением глубины отработки обычно не происходит (может увеличиваться лишь с увеличением площади вскрытия). На месторождениях, расположенных на склонах, в обводнении выработок могут участвовать, кроме осадков, подземные воды, формирующиеся на прилегающих территориях склона (карьерная часть Тишинского, Гусляковское, Чекмарское и Юбилейно-Снегиринское до уровня штольни, Баймурза, Ахметкино, Калай-Тапкан, Богатыревское, Малеевское до уровня долин и др.).

Наиболее обводнены месторождения, расположенные ниже местного базиса эрозии. При этом весьма важно положение его по отношению к речным долинам и межгорным впадинам в том смысле, что являются ли к будущей системе выработок поверхностные и подземные воды аллювиальных и аллювиально-пролювиальных водоносных горизонтов источниками формирования водопритоков. А это зависит от водопроницаемости пород между источником питания и полезным ископаемым (в т.ч. вмещающие полезное ископаемое горные породы, которые вскрываются подготовительными или очистными выработками). В условиях прямой связи с р. Иртыш водоприток в Защитинский песчано-гравийный карьер достигал 3000 м<sup>3</sup>/час и увеличивался с увеличением площади, и глубины вскрытия. В сравнительно затрудненных условиях связи водопритоки изменяются от 500-1000 м<sup>3</sup>/час (Тишинское ниже уреза русла р. Ульбы, Зыряновское, Риддер-Сокольное) до 200-300 м<sup>3</sup>/час (Глубочанские залежи, Чекмарское ниже долины Убы, Секисовское).

На месторождениях, где между полезным ископаемым и долиной (источником питания) залегают слабо водопроницаемые суглинисто-глинистые или монолитные коренные породы, водные ресурсы сосредоточены в долине и очень незначительно влияют на водоприток (20-40 м<sup>3</sup>/час, Иртышское, северо-запад и центр Белоусовского, Ново-Березовское, Березовское). Водоприток отличается стабильностью, мало изменяется с увеличением глубины вскрытия.

Даже если месторождение и выработки располагаются ниже базиса эрозии, но в слабо водопроницаемых породах, водопритоки не превышают 20-40 м<sup>3</sup>/час (Джерек, Боко, Акжал, Бакырчик, Октябрьское, Мальва и др.). Причем с увеличением глубины и площади водоприток увеличивается незначительно, но зависит от водности года (количества и времени выпадения осадков – Николаевский рудник, Бакенное и др.), то есть понятие «в долинах и впадинах» надо понимать не как географическое, а как гидравлическое.

Подавляющее большинство горных пород, слагающих территорию Восточного Казахстана, химически инертно. В них формируются подземные воды, которые при водоотливе из горных выработок не требуют специальных методов очистки, кроме техногенных загрязнителей (нефтепродуктов, взвешенного вещества, соединений азота). На таких месторождениях должны предусматриваться и выполняться простейшие сооружения для очистки стоков.

Более сложно стоит вопрос с охраной природы (в части защиты водных источников от загрязнения) на месторождениях, где полезное ископаемое связано с сульфидами металлов (большинство наиболее ценных крупных месторождений).

При вскрытии сульфидных месторождений происходит существенное изменение гидрохимических условий, усиливаются процессы окисления сульфидов (особенно пирита) за счет кислорода воздуха при аэрации пород в подготовительных, очистных выработках и отвалах. Это приводит к формированию сульфатных, на отдельных участках сильно кислых вод. Такие воды агрессивны к бетонам и стальным конструкциям. В сточных водах появляются специфические загрязняющие компоненты – медь, цинк, свинец, сульфаты, селен, железо, марганец, содержание которых многократно превышает допустимые. На таких объектах на основе анализа состава руд и изучения опыта эксплуатации подобных месторождений делаются выводы и рекомендации по охране природы [1].

#### Список литературы

1. Белянин В.И. Гидрогеохимия рудных месторождений Восточного Казахстана и охрана водных ресурсов / В.И. Белянин, Л.С. Манучарян // Науки о земле в Казахстане: Докл. каз. геологов / Междунар. геол. конгресс. – КазГео, 2012. – МГК-34. – С. 418-427.
2. Белянин В.И. Эксплуатационные ресурсы подземных вод Восточного Казахстана // Геология и охрана недр. – 2013. – № 1 (46). – С. 63-69.

Получено 13.08.2018

УДК 622.276.43

**А.Б. Сейден**

Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, г. Алматы

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ВОДЫ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ УЗЕНЬ**

*В статье раскрывается проблема подготовки нефтепромысловых вод, закачивающихся в систему поддержания пластового давления на месторождении Узень. Рекомендован эффективный метод глубокой очистки пластовой воды, способствующий улавливанию твердых взвешенных частиц.*

*The article reveals the problem of treatment oilfield waters pumped into reservoir pressure maintenance system at Uzen field. High performance method for deep cleaning of formation water is recommended, which facilitates the trapping of solid suspended particles.*

Мақалада Өзен кен орнындағы қат-қабаттық қысымды ұсташа жүйесіне түсетең мұнай сұларын дайындау мәселеісі көрсетілген. Тұтқындалған суды терең тазалаудың тиімді әдісі ұсынылады, бұл қатты бөлшектерді алушы жеңілдетеді.

**Ключевые слова:** пласт, вода, нагнетательная скважина, закачка, водоподготовка, нефть.

Процесс вытеснения нефти водой, закачиваемой в продуктивный пласт, следует относить к наиболее эффективным МУН, так как она обеспечивает поддержание пластового давления (ПДД), интенсификацию разработки и увеличение КИН. Это достигается за счет приближения зоны повышенного давления (нагнетательных скважин) к зоне отбора (добывающим скважинам). Эффективность процесса во многом зависит от качества закачиваемой воды.

Требования к нефтепромысловым сточным водам как рабочему агенту для заводнения предъявляются по трем основным показателям: содержанию эмульгированной нефти (нефтепродуктов) и частиц твердых механических примесей, микробиологической и химической совместимости ее с пластовой водой и породой коллекторов. Для того чтобы избежать осложнений при закачке воды в пласт, закачиваемая вода должна соответствовать определенным нормам качества согласно СТ РК 1662-2007, которые для мехпримесей и нефтепродуктов составляют не более 50 мг/л (см. табл.).

**Физико-химические параметры сточной воды согласно требованиям СТ РК-1662-207**

| Проницаемость пористой среды коллектора, мкм <sup>2</sup> | Коэффициент относительной трещиноватости коллектора | Допустимое содержание в воде, мг/л |       |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------|-------|
|                                                           |                                                     | механических примесей              | нефти |
| до 0,1 вкл.                                               | -                                                   | до 3                               | до 5  |
| свыше 0,1                                                 | -                                                   | до 5                               | до 10 |
| до 0,35 вкл.                                              | от 6,5 до 2 вкл.                                    | до 15                              | до 15 |
| свыше 0,35                                                | менее 2                                             | до 30                              | до 30 |
| до 0,6 вкл.                                               | от 35 до 3,6 вкл.                                   | до 40                              | до 40 |
| свыше 0,6                                                 | менее 3,6                                           | до 50                              | до 50 |

Приведем пример. Нефтегазовое месторождение Узень, которое введено в промышленную разработку в 1965 году, в настоящее время находится на поздней стадии эксплуатации. Комплекс сооружений по сбору и подготовке нефти, газа и воды, имеющихся на этом месторождении, включает в себя большой набор сложных объектов основного и вспомогательного назначения. Отличительной особенностью эксплуатации месторождения является ежегодный рост обводненности добываемой продукции, которая в настоящее время превышает в среднем 88%, что в свою очередь значительно осложняет условия эксплуатации объектов сбора и подготовки нефти, газа и воды.

Применяемая в настоящее время технология предварительного сброса попутнодобываемой воды (УПСВ-1, УПСВ-2) осложнена поступлением с нефтяных промыслов больших

объемов жидкости, которая превышает проектную производительность этих объектов.

Из-за повышенной нагрузки по жидкости, поступающей на УПСВ-1 и УПСВ-2, происходит нарушение времени отстоя продукций в технологических аппаратах, что приводит к ухудшению параметров воды, подготавливаемой для ППД, и несоответствию качества воды, подаваемой для закачки в пласты, требованиям нормативной документации РК. Принципиальная технологическая схема модернизированной БКНС ППД представлена на рис. 1.

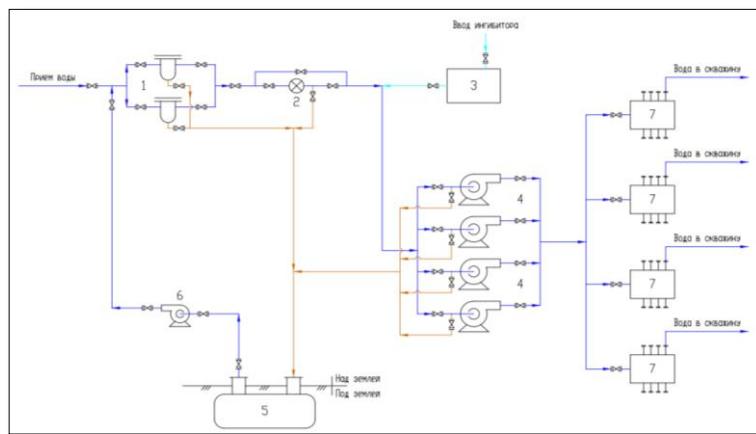


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема модернизированной БКНС системы ППД [1]

Данные факторы негативно влияют на межремонтный период добывающих скважин по причине преждевременного отказа подземного оборудования из-за засорения глубиннонасосного оборудования различными механическими примесями вследствие повышенной коррозионной активности добываемой продукции, повышенной минерализации попутно добываемой продукции и интенсивного образования разных видов солеотложений [2]. Твердые частицы в закачиваемой воде непосредственно влияют на давление закачки и степень ухудшения коллекторских свойств мало-проницаемого песчаника [3, 4]. Контроль за составом закачиваемой воды и анализ нефтепродуктов и механических примесей в ней проводится ежедневно. Результаты контроля качества закачиваемой воды на этом месторождении приведены на рис. 2. По полученным независимыми институтами данным видно, что установлены концентрации содержания мехпримесей в закачиваемой воде на входе БКНС, превышающие нормативные показатели. Следовательно, процесс водоподготовки требует усовершенствования в части удаления механических примесей.

Основные методы очистки нефтепромысловых сточных вод в отрасли — механические и физико-химические [5]. Самый распространенный — это метод отстаивания как наиболее простой и дешевый, во многих случаях обеспечивающий необходимые требования к качеству воды. На большинстве объектов применяют только этот метод, а на некоторых — в сочетании с фильтрацией и физико-химическими методами. Метод отстаивания хотя и прост, но имеет недостатки: большая зависимость качества очистки от характеристик загрязняющих включений (дисперсности, стабильности и др.), длительность процесса и т. д. Поэтому в последние годы для повышения производительности оборудования и глубины очистки стоков были разработаны такие средства, как отстойники тонкослойного отстаивания с коалесцирующим фильтром, фильтры, трехпродуктовые гидроциклоны и др.

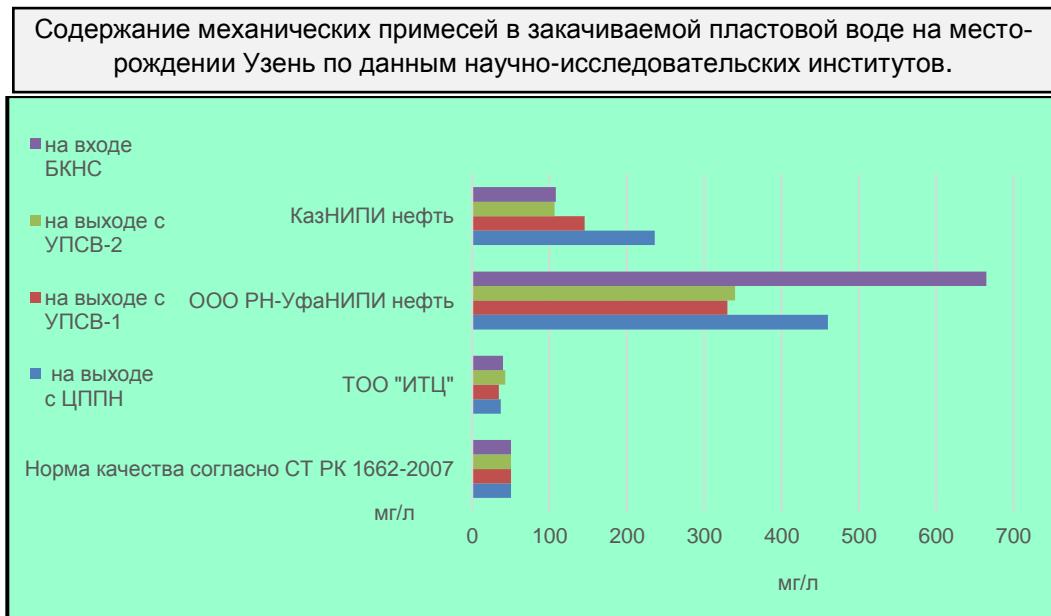


Рисунок 2 - Результаты контроля мехпримесей и нефтепродуктов (среднемесячные показатели) в закачиваемой воде месторождения Узень

Следует отметить, что проведенные Гребневым В.Д. и др. изучения в Пермском национальном исследовательском политехническом университете [6] для совершенствования и повышения надежности эксплуатации систем ППД, снижения затрат с учетом требований к качеству воды позволили разработать систему промысловой подготовки воды. Основными отличиями предлагаемой системы от ранее разработанных являются создание разряжения во всасывающем коллекторе и обеспечение движения воды на приеме центробежного насоса путем установки струйного насоса. Однако данная система сдерживается отсутствием четко аргументированных теоретических представлений решения проблем глубокой очистки пластовой воды от взвешенных твердых частиц.

Большинство исследований показывают, что качество воды является очень важным параметром для пластовых процессов. Садриев И.И., Муслимов А.Ш. рекомендуют внедрение каскадной технологии очистки пластовых вод для поддержания пластового давления на Южно-Ромашкинской площади Ромашкинского месторождения [7]. При этом рекомендуемая технология обусловлена дорогой ценой, необходимостью дополнительных установок по подготовке воды, а в случае их наличия в отдаленности еще и необходимостью строительства дополнительных низконапорных водоводов.

Исангулов А.К. и др.[8, 9] обобщили опыт внедрения фильтров для тонкой очистки воды в системе ПДД Южно-Хыльчуюского месторождения. Недостаток данного технического решения состоит в том, что дополнительно принятые искусственные сетчатые, тканые и мембранные фильтры недолговечны. Также есть необходимость определенного давления для продавливания воды через мембрану и задержки полезных микроэлементов.

В Казанском государственном архитектурно-строительном университете (КГАСУ) разработаны и внедрены гидроциклические установки для подготовки воды, используемой для заводнения продуктивных горизонтов. Для снижения концентрации нефтепродуктов и механических примесей в нефтепромысловых сточных водах до 10 мг/л их после обработки в установках типа «блок гидроциклон – отстойник» или «блок гидроциклон – ци-

линдрические камеры – отстойник» целесообразно направлять на доочистку в фильтровальные установки, состоящие из скорых или сверхскоростных фильтров. Блочные гидроциклонные установки имеют высокую удельную производительность, компактность, полностью автоматизированы, представляют собой блоки полного заводского изготовления; дают возможность для создания эффективной технологии очистки нефтепромысловых сточных вод при наименьших материальных и энергетических затратах. Недостатком данной технологии является невысокая степень разделения, сложность удаления всплывающих веществ [10].

В своей статье [11] Голубев И.А. изложил существующую проблему подготовки сточных вод, закачивающихся в систему ПДД. Следствием некачественного надзора за закачкой является загрязнение пластов и низкий коэффициент нефтеотдачи. Засорение пласта обуславливается наличием в воде мелкодисперсных частиц, остатков нефтепродуктов и механических примесей, которые в свою очередь вызывают колматацию пор, каналов и трещин. Кроме этого, постоянное увеличение обводненности добываемой продукции привело к тому, что существующие установки подготовки воды не могут справиться с такими большими объемами продукции и не доводят воду до необходимого качества. Для решения этих проблем предлагается использовать установки кустового сброса, позволяющие утилизировать основную массу пластовой воды непосредственно на месторождении, предварительно доведя ее до соответствующих норм. Рассмотрены несколько вариантов аппаратурного оформления объектов кустового сброса. Показаны технологические схемы связки предлагаемого оборудования при внедрении его в производство. Рассмотрены предполагаемые результаты, которые планируется получить после внедрения объектов кустового сброса в разработку нефтяных месторождений на ранних этапах нефтесбора. Тем не менее применение аппаратов кустового сброса имеет ряд недостатков по сравнению с предлагаемым устройством глубокой очистки пластовой воды. Недостаточная эффективность обусловлена тем, что слабо контролируется качество подаваемой в нагнетательную скважину воды, а ее количество постоянно.

Проблемы водоподготовки в нефтедобыче рассматриваются в работах [12]. Предлагается разработка новой технологии магнитогидродинамической обработки воды и эмульсий, которая при незначительных затратах позволяет существенно снизить количество реагентов для расслаивания эмульсий, солевых и асфальтосмолистых отложений, коррозии. Кроме того, разработан эффективный способ непрерывного удаления ферро- и парамагнитных механических примесей из потока промысловой жидкости. Комплексный подход к системе сбора и промысловой подготовки продукции скважин, систем ППД позволит значительно сократить количество ремонтов скважинного и наземного оборудования по причинам возникновения отложений и стойких эмульсий, увеличить скорость расслоения водонефтяных эмульсий и сократить количество используемого реагента, удалить из нагнетаемого потока воды системы ППД механические железосодержащие примеси и тем самым предотвратить закупорку фильтров нефтеносных горизонтов, повысить pH закачиваемой воды, что позволит уменьшить вынос из пласта растворенных карбонатных и сульфатных солей и одновременно повысить дебит добывающих скважин по нефти. Полезное действие магнитогидродинамической обработки зависит главным образом от напряженности и градиента напряженности магнитного поля, скорости течения и состава жидкой фазы водной системы. Между тем аппараты в первый период эксплуатации работают хорошо, но со временем эффект исчезает. Эффект при использовании данных устройств невоспроизводим, результат от их применения то наблюдается, то исчезает. Поэтому многие авторитетные учёные считают данные методы экспериментальными и требующими дополнительных научных исследований.

При любой системе водоподготовки в воде всегда остается некоторое количество взвеси твердых частиц, которые постепенно загрязняют фильтрующую поверхность при-

забойной зоны пласта (рис. 3). Интенсивность затухания фильтрации зависит от характера взвеси и размера поровых каналов заводняемого пласта. Проницаемость пласта в призабойной зоне за счет сильного загрязнения фильтрационной поверхности уменьшается в десятки раз, и промышленная закачка воды становится невозможной. Поэтому нельзя допускать систематического прогрессирующего загрязнения фильтрующих поверхностей нагнетательных скважин.

Несмотря на важность вопроса и достаточно большое число публикаций, посвященных исследованиям глубокой очистки пластовой воды от взвешенных твердых частиц и равномерной закачки ее в нефтяной пласт, вышеуказанная проблема остается актуальной на сегодняшний момент.

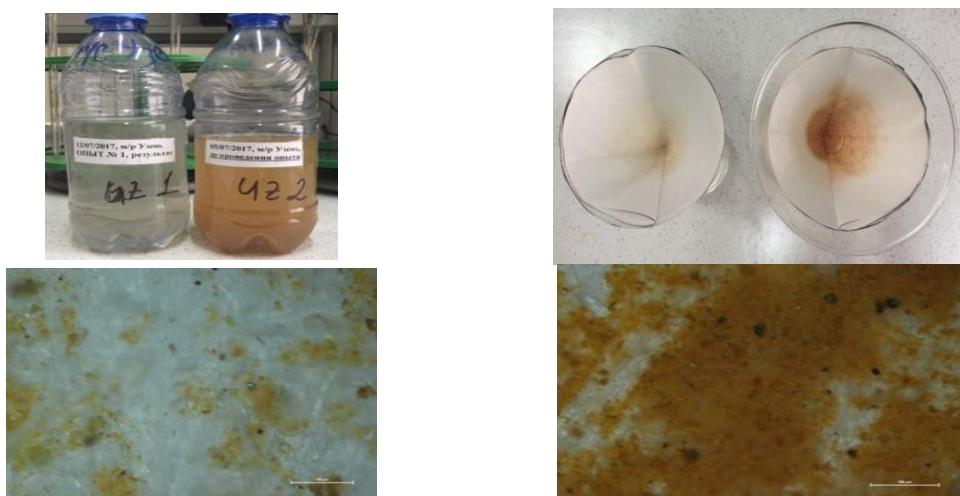


Рисунок 3 - Общий вид фильтра и увеличенный вид твердых взвешенных частиц

В условиях лаборатории при КазНИТУ им. К.И. Сатпаева нами были проведены анализы пластовой сточной воды, закачиваемой в пласт месторождения Узень. Количество взвешенных частиц в пластовой воде было определено согласно СТ РК 1662-2007. Из полученных результатов анализа стало известно, что масса мехпримесей составила  $Uz=3,2$  г/л, т.е она намного превышает нормативные данные. После проведенной очистки результаты показали  $Uz-4=1,75$  г/л.

Общая минерализация пластовой воды была определена путем упаривания точного известного объема жидкости до постоянной массы и последующим взвешиванием на аналитических весах. В результате анализа минерализация пластовой воды  $Uz$  составила 49 г на литр, а после ее очистки  $Uz-4$  - 35,6 г на литр. Также на приборе Zetasizer был сделан нанозамер радиуса механических примесей в пластовой воде до ( $Uz-2$ ) и после очистки ( $Uz-1$ ) на месторождении Узень АО «Озенмунайгаз» (рис. 4).

Результаты измерений  $Uz-2$  показали (рис. 5), что частицы с размерами до 0,235 мкм составляют около 25%, от 0,235 до 0,270 мкм – 50%, свыше 0,270 мкм - 25%. Эти размеры твердых взвешенных частиц соизмеримы с размерами пор и капилляров. После очистки результаты по  $Uz-1$  образуют частицы с размерами до 0,0035 мкм, которые составляют около 25%, от 0,0035 до 0,004 мкм – 50%, свыше 0,004 мкм - 25%.

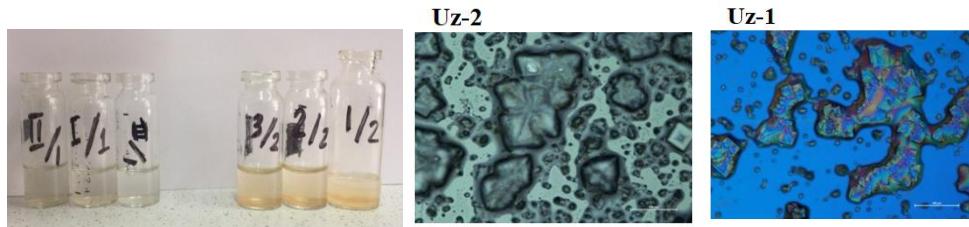


Рисунок 4 – Механические примеси в пластовой воде до очистки (Uz-2) и после (Uz-1)

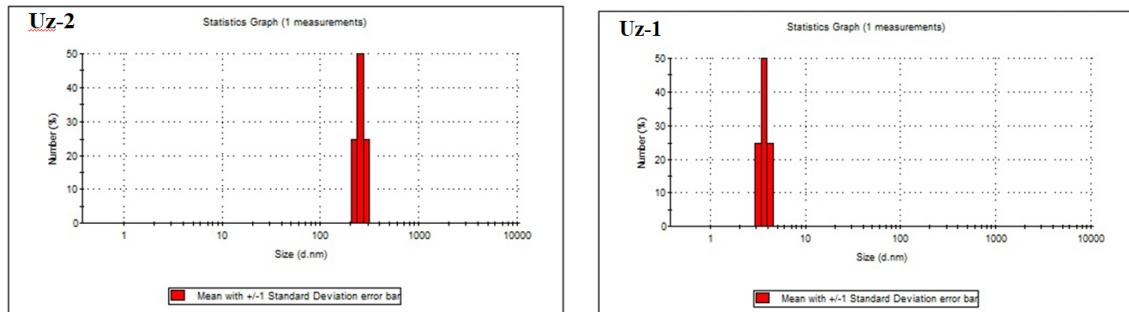


Рисунок 5 - Интенсивность распределения размеров твердых взвешенных частиц в закачиваемой в пласт воде до и после очистки

По мере эксплуатации скважин твердые взвешенные частицы, основная масса которых является глинами, накапливаясь в порах и капиллярах породы, уплотняются и способствуют образованию непроницаемых зон для закачиваемой воды. При этом вода будет вытеснять нефть только из высокопроницаемых пропластков, занимающих незначительный объем залежи. Затем происходит преждевременная обводненность скважин выше 80%. Нами получен патент на способ глубокой очистки пластовой сточной воды со взвешенными твердыми частицами (рис. 6).

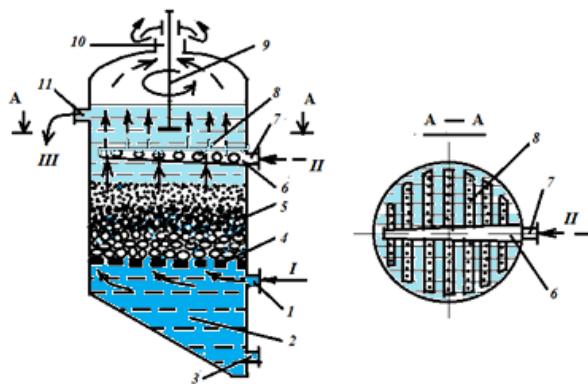


Рисунок 6 - Технологическая схема глубокой очистки пластовой сточной воды со взвешенными твердыми частицами

Задачей и техническим результатом изобретения является повышение эффективности очистки промышленных сточных и промысловых пластовых вод со взвешенными твердыми частицами. Предлагаемая нами технология позволяет существенно повысить эффективность очистки воды от взвешенных твердых частиц, сульфидовостанавливающих бактерий, предотвратить закупоривание пор взвешенными твердыми частицами и значительно увеличить производительность установки.

#### Список литературы

1. Технологический регламент БКНС месторождения Узень АО «Озенмунайгаз».
2. Mohammad A.J. Ali, Peter K. Currie. Permeability Damage due to Water Injection Containing Oil Droplet and Solid Particles at Residual Oil Saturation. – 2007 // SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference. 11-14 March. - Manama, Bahrain. ISBN 978-1-55563-187-1.
3. Wu Jiazhong, Meng Hongli, Xu Jie, Xie Quan et al. Study on the effect of solid particle on water-flooding development in low permeability sandstone reservoir // Journal of Southwest Petroleum University, Science & Technology Edition. – 2014. - 36 (№ 1). - с. 134-138.
4. Xu Pan, Wang Wei-qiang. The improvements of injection process in the late of the oilfield development // Contemporary Chemical Industry. - 2015. – 44. - #12, с. 2844-2846.
5. Байков Н.М. Сбор и промысловая подготовка нефти, газа и воды / Н.М. Байков, Г.Н. Позднышев, Р.И. Мансуров.
6. Гребнев В.Д. Совершенствование системы промысловой подготовки воды для поддержания пластового давления // Горное дело: Реферат. журнал. – 2014. - № 7. - С. 38.
7. Садриев И.И. Внедрение каскадной технологии очистки пластовых вод для ППД на Южно-Ромашкинской площади Ромашкинского месторождения / И.И. Садриев, А.Ш. Муслимов // Горное дело: Реферат. журнал. – 2012. - № 9. - С. 37.
8. Исангулов А.К. Обобщение опыта внедрения фильтров для тонкой очистки воды в системе поддержания пластового давления Южно-Хыльчуюского месторождения // Горное дело: Реферат. журнал. - 2012. - № 6. - С. 39.
9. Исангулов А.К. Обобщение опыта проектирования и эксплуатации системы тонкой очистки воды для ППД Южно-Хальчуюского месторождения // Горное дело: Реферат. журнал. – 2011. - № 6. - 35 с.
10. Бусарев А.В. Гидроциклонные установки подготовки воды для заводнения нефтеносных горизонтов с целью повышения их нефтеотдачи / А.В. Бусарев, А.С. Селюгин, И.Г. Шешегова и др. // Нефтегазовое дело. – 2015. - № 4. - С. 199–215.
11. Голубев И.А. Пути и решения очистки промысловых вод для системы поддержания пластового давления // Нефтегазовое дело. - 2013.- № 3.- С. 87–96.
12. Ахияров Р.Ж. Проблемы водоподготовки в нефтедобыче // Трубопроводный транспорт: Сб. науч. тр. – 2006. – Уфа: Из-во УГНТУ, 2006. – С. 25.

Получено 13.08.2018



UDK 621.095

**M.J. Bergander**

Magnetic Development, Inc., Madison, CT, USA

**S.D. Kapayeva, M.T. Torekhanova**

Eastern Kazakhstan Technical University, Ust Kamenogorsk, Kazakhstan

**DEVELOPMENT OF HEAT DRIVEN REFRIGERATION CYCLE FOR POST-HARVEST STORAGE  
OF FRUITS AND VEGETABLES**

*В работе представлены экспериментальное и численное исследование системы инжектора хладагента, предназначенного для кратковременного хранения фруктов и овощей. Авторы представляют идею инжектора на основе системы охлаждения, которая 1) использует солнечную энергию или энергию отходов (ниже температуры 100 °C) в качестве основного источника энергии, 2) исключает механический компрессор, который является основным потребителем электроэнергии и 3) работает без каких-либо последствий истощения озонового слоя и всех выбросов парниковых газов, неизбежных в случае использования природных хладагентов.*

*Жұмыста жеміс пен көкеністердің қысқа мерзімде сақтауға арналған хладагент инжекторы жүйесіне эксперименттік және сандық зерттеулер ұсынылған. Авторлар сұтуы жүйесі негізіндегі инжектор идеясын ұсынады, олар: негізгі энергия көзі ретінде кун энергиясын немесе қалдықтарды (100° С тәмен) пайдаланады; электр энергиясының негізгі тұтынушысы болып табылатын механикалық компрессорды пайдаланбайды және табиги хладагенттерді пайдаланған жағдайда сәзіз болатын озон қабатының тозуы және барлық буланған газдар шығарындылары ешқандай салдарсыз.*

*The paper describes experimental and numerical investigation of ejection refrigeration system dedicated for short time storage of fruits and vegetables. Authors present a new, ejector based refrigeration system that 1) utilizes solar or waste heat (below 100 °C temperature) as a main source of energy, 2) eliminates the mechanical compressor, which is a main user of electricity and 3) operates without any ozone depletion effects and any greenhouse gas emissions, when used with natural refrigerants.*

One of the crucial problems in retail market of perishable foodstuff is a lack of efficient and appropriate refrigerated storage capacity for short time storage of food products. Existing refrigeration technologies contribute to environment pollution, consume a large amount of electricity and in general are expensive and in many cases even unaffordable to a small rural, retail business. Also, ensuring the required storage conditions in terms of the stability of the product temperature and humidity may be thought as a challenge for most of the existing short time storage refrigerators. The above is the reason for large amount of losses of the perishable foodstuff under retail market conditions, especially in rural areas.

The technology for refrigerated storage presented in this paper may be applied even in areas without access to electricity so it may provide an attractive solution to protect agricultural production from diseases and pests. It maybe considered as a step towards better food accessibility to vulnerable populations as well as to increase shelf life of many food products. It will have especially broad application for cooling in the field before the product is shipped to the market or storage warehouse (this is often referred to as “precooling”). Some highly perishable products such as broccoli, ripe tomatoes, carrots, leafy vegetables, strawberries, peaches, and plums must be cooled as soon as possible after harvesting and therefore field refrigeration becomes an utmost importance.

The fundamental condition for good storage of most vegetables and fruits is to keep them in a steady state temperature. Only a few percent of vegetable and fruit mass is called dry matter and the rest is water. This is the reason why most of vegetables lose very easily moisture if they are kept in too dry air. Some of the foodstuff requires moderate storage conditions for short time storage in retail market, e.g. temperature/relative humidity +5 - +12 °C / 85÷90% (Gross et al, 2002, Mazza, 1989). However, without access to the appropriate storage equipment e.g. cooling chambers, the quality of the food products strongly decreases (Mizera and Butrymowicz, 2011).

In this paper, a solar-powered cooling system is considered for small-to-medium size warehousing facilities, capable for cooling and cold storage of agricultural products that require moderate temperature range, i.e. 4÷15 °C. This includes a wide variety of fruits and vegetables, eggs, milk and dairy products, baked products, etc. It is expected that a line of refrigeration units will be developed and manufactured in various sizes, i.e. from 1 to 5 tons of refrigeration. The schematic and a corresponding p-h graph for this thermodynamic cycle is shown in Fig. 1. The ejection refrigeration system is applied in the solar cooling chamber. The ejection system is a fully thermal driven system therefore either solar or waste heat with temperatures well below 100 °C can be utilized as energy source.

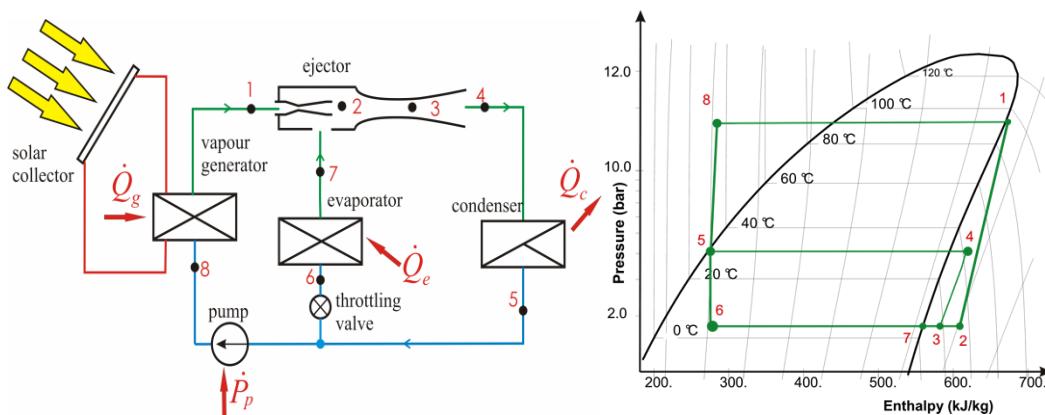


Figure 1 - Schematics of the solar cooler (left) and corresponding p-h diagram of thermodynamic cycle

A liquid refrigerant is passed through the pump to the generator (point 8). It is then heated in the generator either by energy from solar panels or waste heat. The first stage of heating produces saturated vapor (point 1), which can be further heated to produce superheated vapor. The vapor enters the motive nozzle of the ejector and undergoes expansion from the generator pressure  $p_g$ , to the evaporation pressure  $p_e$  (point 2). The ejector sucks vapor flowing from the evaporator (point 7), mixes it with expanded vapor (point 2) with the result being the mixed vapor in state 3. The pressure of the working fluid initially rises slightly as a result of momentum exchange, and then rises more in the diffuser up to the point 4, achieving the condensation pressure  $p_c$ . Compressed vapor enters the condenser where it condenses and may also sub-cool depending on the cooling conditions in the condenser. The working fluid leaves the condenser in the liquid state (point 5). It is then divided into two parts: one part flows to the generator through the small circulating pump. Meanwhile, the remaining part flows through the expansion valve to the evaporator, where it is throttled to the evaporation pressure,  $p_e$ , achieving the condition of wet vapor (point 6). Through boiling in the evaporator, the working fluid absorbs cooling capacity,  $Q_e$ , from the refrigerant (Bergander, 2015).

The part of an experimental rig with fabricated ejector is shown in Fig. 2 and it was designed

to operate on isobutane (Butrymowicz et al., 2009). The geometry of the tested ejector is presented in Fig. 3. The motive nozzle throat diameter was  $D_t = 3.5$  mm. Other important factors of ejector geometry are:  $D_m/D_t = 1.71$ ,  $L_m/D_t = 23.4$ ,  $L_d/L_m = 0.84$ ,  $\alpha_1 = 8^\circ$  and  $\alpha_2 = 10^\circ$ . The testing stand was equipped with the temperature sensors and pressure transducers installed at all locations of interest. The Coriolis mass flow meters with accuracy of 0.15% were used.

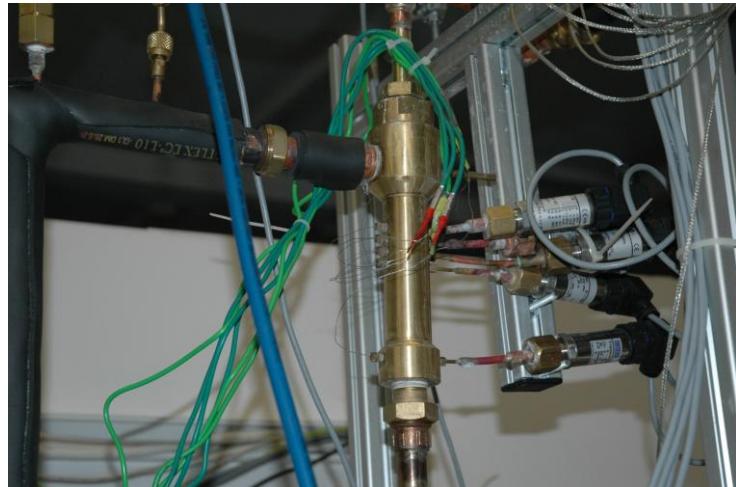


Figure 2 - Ejector installed on the testing stand

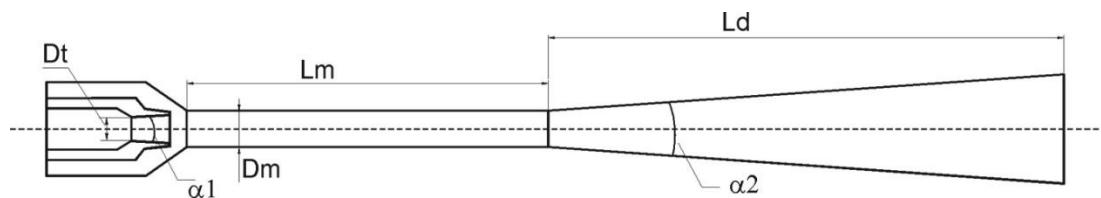


Figure 3 - Geometry of the tested ejector

The test rig was equipped with two additional loops: the first one for the thermal load for the evaporator and another for the condenser cooling. These systems allow for adjusting refrigerant flow rates as well as for changing of operation parameters in wide range. The condenser cooling system was equipped with an automatically controlled dry cooler. The thermal load system was equipped with automatically controlled electrical heater. The stand is also equipped with control valves enabling the adjustment of the operating parameters of the motive vapor at the inlet to the motive nozzle of the ejector. Standard data acquisition facility was used based on commercially available systems. The first one was a real time, Compact Field Point system, designed for industrial control. The second was modular SCXI system. This system logs all main parameters and controls valves, pumps, electric heaters and safety system. The computer uses a LabVIEW version 8.6.1 software with additional toolkits. In addition, software dedicated to experimental stand is capable to receive on-line data from software REFPROP, (Lemmon et al. 2013). The real time measurements are shown on the computer screen while all measured data are stored in a data file. During the experiments 100 readings at the steady-state conditions were taken and averaged to make one experimental run, shown in Table 1.

Table 1  
*Operating parameters of the ejector*

| <b>Runs</b>                                     | <b>Unit</b> | <b>Run 1</b>            | <b>Run2</b>             |
|-------------------------------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|
| pressure of motive vapor $p_g$                  | MPa         | 1,27                    | 0,95                    |
| superheating of motive vapor $\Delta T_g$       | K           | 10.0                    | 8.0                     |
| saturation temperature of motive vapor $t_{gs}$ | °C          | 77,0                    | 63,7                    |
| suction pressure $p_e$                          | MPa         | 0,21                    | 0,20                    |
| superheating of suction vapor $\Delta T_e$      | K           | 6,5                     | 5,9                     |
| saturation temperature of evaporation $t_{es}$  | °C          | 9,1                     | 7,0                     |
| backpressure $p_c$                              | MPa         | variable<br>0,35 – 0,44 | variable<br>0,33 – 0,43 |
| saturation temperature of condensation $t_{cs}$ | °C          | variable<br>25,1 – 33,1 | variable<br>22,8 – 32,0 |

The experimental investigation were conducted in two runs. The evaporation temperature was kept constant,  $t_{el} = 9.1$  °C and  $t_{ell} = 7.0$  °C. The condensation temperature was varied between approximately  $t_c = 23 \div 33$  °C. The motive stream temperature at saturation condition was set as  $t_{gI} = 77$  °C and  $t_{gII} = 63.7$  °C for two runs, respectively.

Superheating of the secondary stream was  $\Delta T_e = 6.5$  K for Run No. 1, and  $\Delta T_e = 5.9$  K for Run No. 2. Superheating of the motive vapor was  $\Delta T_g = 10$  K for Run No. 1, and  $\Delta T_g = 8$  K for Run No. 2. The system efficiency COP is calculated as the ratio of the cooling capacity  $\dot{Q}_e$  to the thermal energy  $\dot{Q}_g$  delivered to the vapor generator and motive power of the mechanical liquid pump  $P_p$ :

$$COP = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_g + P_p} \quad (1)$$

Motive power of liquid refrigerant pump is calculated as the product of the mass flow rate of refrigerant and the change of the specific enthalpy at the both sides of the pump:

$$P_p = \dot{m}_g (h_8 - h_5) \quad (2)$$

In general, the motive power of the refrigerant pump is in most cases very small, usually 1÷2 percent of the thermal energy delivered to the generator and therefore can be omitted. Nevertheless this power was included in present investigations. Experimental results for Run No. 2 are presented in Fig. 4 and 5. Entrainment ratio  $U$  is defined as motive to secondary mass flow rates ratio, and compression ratio  $\Pi$  is defined as ratio of the pressure lift produced by the ejector to the difference between motive pressure and suction pressure.

The COP of the system as a function of condensation temperature shows that at  $t_c < 30$  °C, ejector operates at on-design mode and COP is constant at 0.15 then starts to decrease as condensation temperature rises above 30°C. For on-design operating regime, the mass entrainment ratio is at 0.19 and starts to decrease for condensation temperatures over 30°C. This relationship is illustrated in Fig. 5.. It is seen that Run No. 2 covers both on-design and off-design conditions. The maximum reported compression ratio is  $\Pi = 0.30$  and corresponds to  $U = 0.15$ .

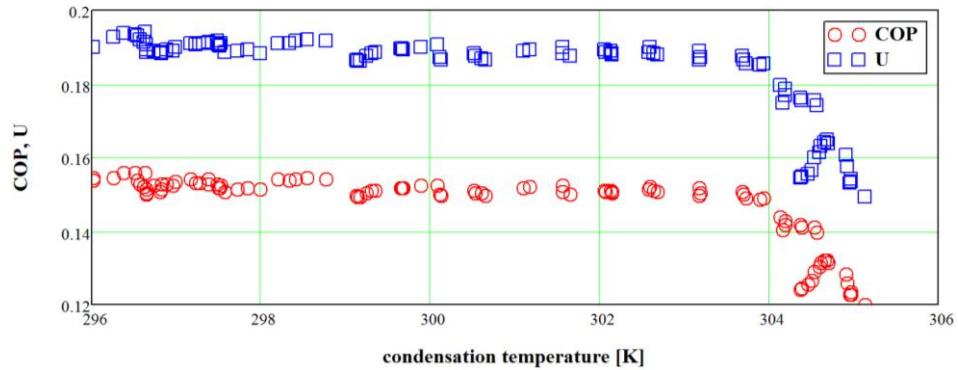


Figure 4 - Coefficient of performance (*COP*) and mass entrainment ratio (*U*) versus condensation temperature for Run No. 2

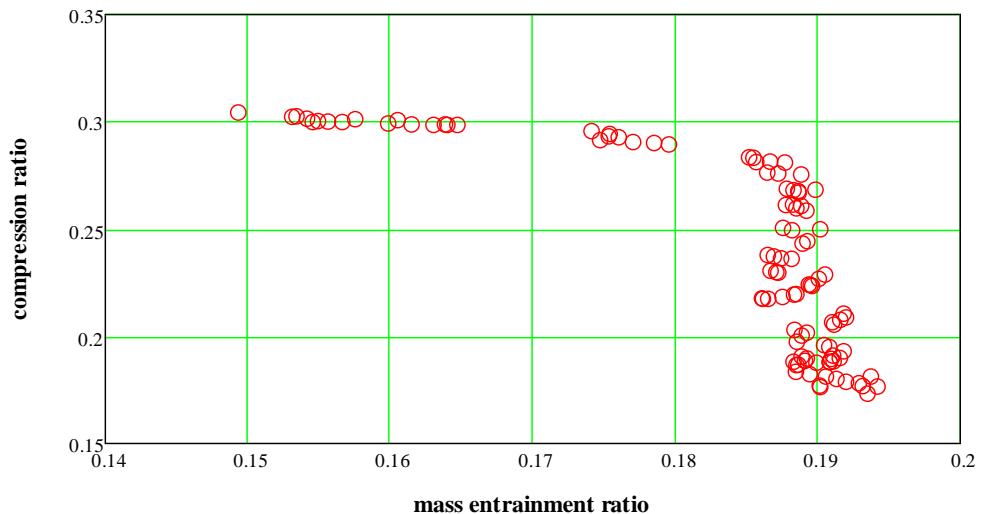


Figure 5 - Performance line of the ejector  $\Pi = f(U)$  for Run No. 2

Considering the general goal being experimental verification of the stable operation of the ejector under required operation conditions, the manufacturing of an ejector prototype with required accuracy is essential. For that purpose, special fabrication technology (Kapayeva, 2012) to assure high accuracy and close tolerances was used. In addition, the main goal in this stage of research was the evaluation of the design procedure rather than estimation of the maximum capacity of the ejector. This required CFD calculations for one proposed geometry in order to analyze the operation of the ejector in the whole range of the operation parameters (Smierciew et al., 2010a,b). The compression process by the shock wave should be also analyzed on the basis of the numerical calculations results along with predicted pressure profile produced inside the ejector. The ejector geometry as shown in Fig. 3 was analyzed by means of CFD modeling.

The numerical calculations were carried out with use of ANSYS FLUENT 14. Two numerical models were built, namely:

2D axi-symmetric model that was discretized by means of structural mesh with the density 46 612 cells (48 931nodes);

3D model (Fig. 6), discretized by means of structural mesh with the density 42 714 cells (50 800 nodes).

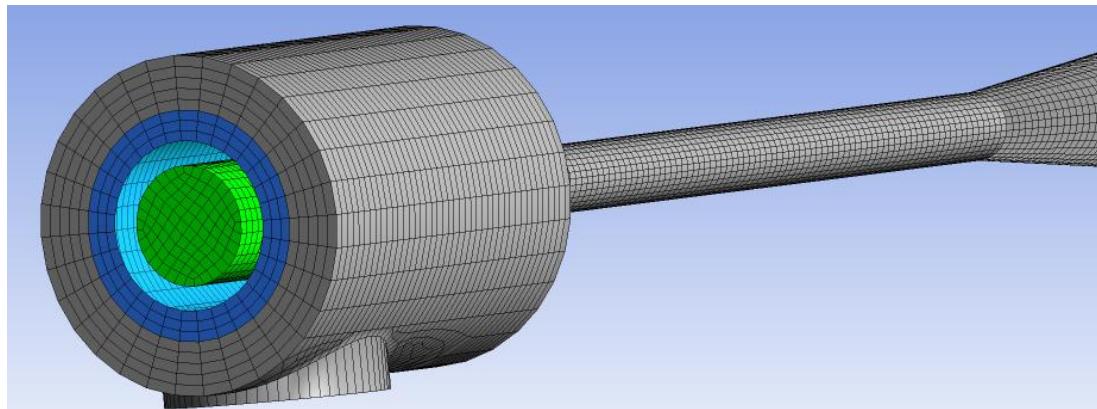


Figure 6 - Calculation mesh for the case of 3D model of the ejector

The numerical calculations were carried out using SST turbulence model that belongs to family of  $k-\omega$  as well as  $k-\varepsilon$  realizable models. The standardized wall function was applied for the case of  $k-\varepsilon$  model along with default model constants for both of the above models. The velocity and pressure distributions were calculated with application of coupled algorithm. The discretization scheme second order of the type upwind were chosen. Numerical calculations were carried out for the operating conditions corresponding to the experimental values – specifically the ejector being is powered (motived) with superheated vapor at the average temperature of 60°C.

Calculations results obtained for 3D in Table 2. As seen, a reasonably good agreement between the prediction and experimental data is achieved in terms of the pressure distribution.

Table 2  
*Numerical predictions compared with experimental data for 3D model, Run No. 2*

| $p_g$ exp        | $p_g$ CFD (total/static) |                                     | $p_e$ exp | $p_e$ CFD (total/static) |                  | $p_c$ exp                           | $p_c$ CFD |
|------------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------|--------------------------|------------------|-------------------------------------|-----------|
| bar              | bar                      |                                     | bar       | bar                      |                  | Bar                                 | bar       |
| 9,3784           | 9,187                    | 9,178                               | 1,99      | 1,995                    | 1,99             | 3,7529                              | 3,7529    |
| $t_g$ [°C]       |                          |                                     |           | $t_e$ [°C]               |                  |                                     |           |
| 75,53            |                          |                                     |           | 12,44                    |                  |                                     |           |
| $m_g$ exp [kg/s] | $m_g$ CFD [kg/s]         | $\frac{CFD - EXP}{EXP} \cdot 100\%$ |           | $m_e$ exp [kg/s]         | $m_e$ CFD [kg/s] | $\frac{CFD - EXP}{EXP} \cdot 100\%$ |           |
| 0,0269           | 0,0262                   | 2,3175                              |           | 0,0052                   | 0,0067           | -29,3642                            |           |

The static pressure distributions along the length of the ejector for two analyzed cases of 3D model are presented in Figure 7 below. The location of the shock wave compression is clearly visible. Note that the compression in the diffuser may be thought as only a supplementary since vapor compression in the analyzed ejector is obtained mainly by a shock wave. For all CFD calculations, the properties of real vapor were applied according to NIST thermodynamic and thermo-kinetic properties models.

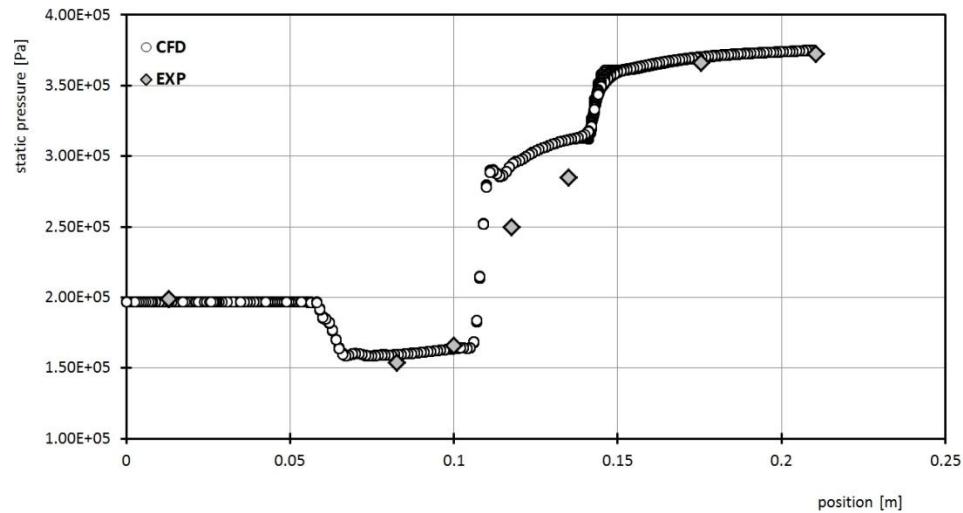


Figure 7 - Static pressure distribution on the ejector wall for the test Run No. 2 (see Table 2)

As a result of previous cycle modeling (Smierciew et al. 2009), along with presented here CFD analysis of the ejector operation - confirming a reliable ejector operation over wide range of operating conditions -plus systematic experimental investigations, authors were able to perform a preliminary design and component selection for the ejection refrigeration unit. The configuration of the prototype is shown in Figure 8 below. The required surface area of thermal solar collectors for 3 kW of cooling power is approx.  $10 \text{ m}^2$ . The adequate amount of electric power to drive the liquid pump can be supplied by less than  $1 \text{ m}^2$  of photovoltaic panel surface.

to solar panels (heat source)

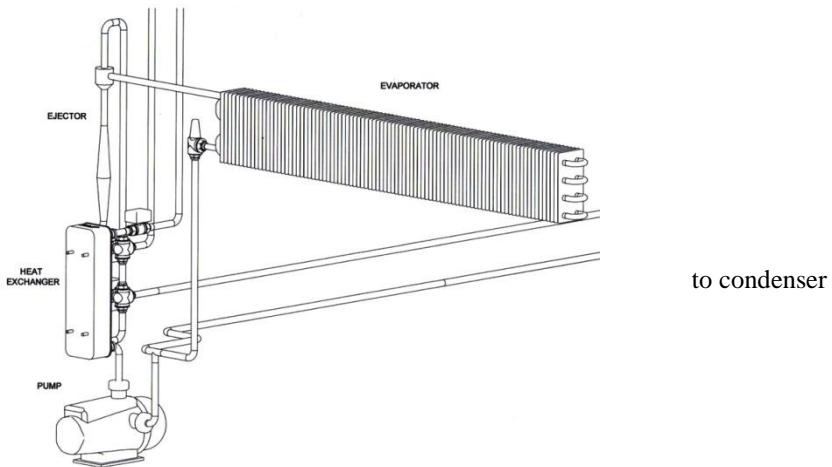


Figure 8 - Configuration of solar cooling system prototype

The described research addresses a refrigeration concept that uses low quality heat (below  $100^\circ\text{C}$ ), either solar or waste as energy source without need for electricity from power grid and does not pollute the environment. A significant energy saving is realized by a modified

thermodynamic cycle that pressurizes liquid instead of vapor. Extensive laboratory tests and CFD modeling were conducted in order to provide the design background for effective cooling system prototype for post-harvest precooling and field storage of fruits and vegetables. There is also a great potential of using this technology for refrigeration and air-conditioning in the Third World countries and in remote areas where electric energy is unavailable. Small solar-based units can be developed for storage of medicines, perishable food, and to cool field clinics.

Significant progress has been achieved in developing a methodology to design ejector geometry capable to adjust the cooling system to varying load conditions. The three-dimensional CFD modeling followed by extensive laboratory experiments had clearly demonstrated a reliable ejector operation under a broad range of changing load and power input. Further, out of many refrigerants under consideration, it was found that isobutane provides highest efficiency and, being a natural substance does not pollute the environment. With technical feasibility being fully confirmed, it can be reasonably expected that an attractive commercial product will emerge.

#### References:

1. Butrymowicz, D., Trela, M., Karwacki, J., Ochrymiuk, T., Smierciew K. (2009). Investigation and modeling of ejector for air-conditioning system, Archives of Thermodynamics 29 (4), 27-40.
2. Bergander M., (2015) Ejector Refrigeration Cycles: Classification of Thermodynamic Cycles with Ejectors, Handbook of Res. on Adv. and Appl. in Refrigerat. Systems and Technologies, Ch. 1, pp. 1-36, IGI Global 2015,
3. Gross, K.C., Wang, C.Y., Saltveit, M. (Eds.) (2002) The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks, Agricultural Handbook No. 66, USA, Washington DC.
4. Huang, B.J., Chang, J.M., Wang, C.P., Petrenko, V.A. (1999). A 1-D analysis of ejector performance, International Journal of Refrigeration 22, 354–364.
5. Lemmon, E.W., Huber, M.L., McLinden, M.O., 2013, NIST Standard Reference Database 23: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, Version 9.1, NIST
6. Mizera, G., Butrymowicz, D. 2011.Cold store of new generation for carrot storage, Proceeding of 23rd International Congress of Refrigeration, Prague, Paper No. 829.
7. Mazza, G., 1989, Carrots, in: Eskin N.A.M. (ed.), Quality and Preservation of Vegetables, CRC Press, 75-119.
8. Smierciew, K., Kolodziejczyk, M., Butrymowicz, D. (2010). CFD modelling of ejector operating with isobutane (in Polish), Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna 17 pp. 434-438.
9. Smierciew, K., Butrymowicz, D., Karwacki, J., Trela, M., (2009) Modeling of ejection cycle for solar air-conditioning, Proc. of Int. Seminar on ejector/jet-pump technology, Louvain-La-Neuve, Belgium, Paper No. 25.
10. Bergander M., Butrymowicz D., Smierciew K., Gagan J., Kapayeva S.D Experimental Investigations of Low-Temperature Driven Ejector for Isobutane. Proc. of 2016 Purdue Conference on Refrigeration and Air-Conditioning, June 11-14 2016, West Lafayette, IN, USA.

Получено 13.08.2018

УДК 740:159.9:612.8

**Г.Б. Галиева, Ж.О. Ахметов, А.Д. Джанкулдукова, А.М. Маусумбаева,**

**Е.А. Данабеков, К.К. Кильбаев, Т. Мухаметали**

Жетысуский государственный университет им. И. Жансугурова, г. Талдыкорган

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ  
ВЫСОКОКАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ТРЕНИРОВОЧНОГО  
ПРОЦЕССА**

*Нами было изучено функциональное состояние 45 спортсменов обоего пола (средний возраст 20,2 года) высокой квалификации и различной спортивной специализации – студентов 1-4 курсов факультета физической культуры и искусства специальности «Физическая культура и спорт» Жетысусского государственного университета им. И. Жансугурова и воспитанников областной школы-интерната для одаренных в спорте детей.*

*Жансугиров атындағы Жетісу мемлекеттік университетінің дәне шынықтыру және өнер факультетінің «Дене шынықтыру және спорт» мамандығының жогары білікті және спорттық мамандануы әртүрлі 45 спортшының - 1-4 курс студенттерінің үлдәрды мен қыздарының (орташа жастары 20,2 жас) және спорттағы дарынды балаларға арналған облыстық мектеп-интернатының тәрбиеленушілерінің функционалдық жағдайы зерттелді.*

*We have studied the functional condition of 45 athletes of both sexes (middle age 20.2 years) of high qualification and various sports specialization - 1st and 4th year students of the Faculty of Physical Culture and Arts of the specialty physical culture and sports of Zhetysu State University. I. Zhansugurov and pupils of the regional boarding school for gifted children in sports.*

В настоящее время разработано большое количество практических рекомендаций для различных видов спорта по построению тренировочного процесса на начальных этапах подготовки спортсменов (1 и 2 этап). При этом наблюдается нехватка подобных разработок для последующих этапов подготовки спортсменов (углубленной тренировки и спортивного совершенствования). В то же время именно для этих этапов подготовки характерны повышенные и максимальные тренировочные нагрузки. Также на 3 и особенно на 4 этапе подготовки спортсменов возрастает необходимость индивидуализации тренировочного процесса [1-4]. Однако многие исследователи индивидуализации в спорте отмечают, что данный вопрос сталкивается с рядом объективных проблем [5-7].

Во-первых, как отмечалось выше, на практике редко производится комплексная оценка адаптационного потенциала спортсменов с учетом психофизиологических, функциональных и др. особенностей организма. Во-вторых, спортсмены, как часть социума, находятся под воздействием социальных факторов, которые оказывают значительное влияние на формирование психоэмоционального статуса. Поэтому индивидуализация подготовки спортсмена даже в спорте высших достижений представляется исключительно сложной задачей.

Нами было изучено функциональное состояние 45 спортсменов обоего пола (средний возраст 20,2 года) высокой квалификации и различной спортивной специализации – студентов 1-4 курсов факультета физической культуры и искусства специальности «Физическая культура и спорт» Жетысусского государственного университета им. И. Жансугурова и воспитанников областной школы-интерната для одаренных в спорте детей. Все спортсмены были разделены на 3 группы: 1 группа – занимающиеся видами спорта, развивающими скоростно-силовые качества (дзюдо, 15 человек); 2 группа – спортсмены игровых видов спорта, тренирующиеся на выносливость (футбол, 15 человек); 3 группа – спортсмены, развивающие силовые качества (тяжелая атлетика, 15 человек). Все спортсмены прошли обязательное плановое медицинское обследование, на основании которого

были отнесены в группу «практически здоровых», не имеющих противопоказаний для повышенных физических нагрузок.

Цель исследования: изучить особенности психологического и функционального состояния высококвалифицированных спортсменов в подготовительном, соревновательном и переходном периодах тренировочного процесса.

В связи с поставленной целью были проведены комплексные исследования. Для оценки уровня функционального состояния обследуемых был использован метод анализа вариабельности ритма сердца (ВРС). Исследования проводились на всех этапах тренировочного процесса.

У обследуемых тяжелоатлетов начало предсоревновательного и соревновательного этапов зависело от индивидуальных графиков участия в соревнованиях, поэтому данные этапы начинались у разных атлетов в разное время. Соревновательный этап у футболистов продолжался до конца периода обследования в текущем году. У всех обследованных дзюдоистов тренировочные этапы проходили одновременно: подготовительный – до апреля, предсоревновательный – апрель-май, соревновательный – июнь-август, восстановительный – с сентября. Поэтому в большинстве представленных результатов мы делаем ссылку на обследование дзюдоистов, т.к. вся обследуемая группа находилась в одинаковых условиях.

На примере обследования высококвалифицированных дзюдоистов можно проследить динамику изменений показателей ВРС на различных этапах тренировочного процесса (в подготовительном, соревновательном и переходном периодах). Полученные результаты представлены в табл. 1, из которой видно, что уже к концу подготовительного периода наблюдается снижение ЧСС на 4,3%, вегетативного показателя ритма (ВПР) на 15,40%, рост индекса вегетативного равновесия (ИВР) на 18,30% и адекватности процессов регуляции (АПР) на 19,30%. Величина индекса напряженности (ИН) по окончании подготовительного периода выросла на 20,30%. Показатели RRNN, SDNN и CV также увеличились. Данные изменения связаны с усилением активности парасимпатического отдела вегетативной регуляции и снижением симпатического влияния. Все это свидетельствует о перестройке деятельности сердечно-сосудистой системы на более экономичный режим за счет снижении центрального влияния регуляторных механизмов. Показатели мощности высокочастотных колебаний (HF) по окончании подготовительного периода увеличились на 14,7%, а показатели низкочастотной составляющей спектра (LF) повысились на 8,3%, что свидетельствует о высоких адаптационных возможностях к повышенным физическим нагрузкам, характерным для данного периода тренировочного процесса.

На соревновательном этапе наблюдается картина снижения показателей функционального состояния и рост симпатических влияний (по сравнению с предсоревновательным периодом), что связано с чрезмерно высокой эмоционально-психологической и физической нагрузкой, связанной с особенностями спортивных единоборств. Показатели HF по окончании соревновательного периода уменьшились на 7,7% на фоне роста соотношения LF/HF, что связано с усилением симпатических влияний. Данные изменения характеризуют состояние утомления. В то же время в переходный период наблюдается быстрое восстановление функционального состояния, связанное с выраженным усилением парасимпатических влияний (снижение показателей ВПР и ИН на фоне роста ИВР и АПР). По сравнению с соревновательным периодом отмечается рост показателей RRNN (на 6,60%); SDNN (на 6,70%); CV (на 7,70%).

Таблица 1  
*Показатели ВРС высококвалифицированных дзюдоистов на различных этапах тренировочного процесса (n= 15)*

| Показатель<br>ВРС | Этап тренировочного процесса |                                      |                                       |                                            |
|-------------------|------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|
|                   | Подготовитель-<br>ный        | Предсоревнователь-<br>ный<br>р1 – р2 | Соревновательный<br>р1 – р2<br>р1- р3 | Переходный<br>р1 – р2<br>р1- р3<br>р1 – р4 |
| ЧСС<br>(уд/мин)   | 65,54±1,45                   | 62,73±1,32<br>***                    | 64,51±1,33<br>**<br>***               | 60,32±2,78<br>****<br>****<br>****         |
| ИВР (y.e.)        | 65,21±5,44                   | 77,14±4,89<br>***                    | 70,19±4,12<br>**<br>***               | 78,75±5,18<br>****<br>**<br>****           |
| ВПР (y.e.)        | 0,52±0,04                    | 0,44±0,06<br>****                    | 0,46±0,08<br>*<br>*                   | 0,40±0,04<br>****<br>**<br>**              |
| АПР (y.e.)        | 18,74± 1,01                  | 22,33±1,56<br>****                   | 19,72±1,3<br>**<br>***                | 22,41±2,16<br>****<br>*<br>***             |
| ИН (y.e.)         | 30,66±2,43                   | 36,87±3,56<br>****                   | 39,48±3,19<br>****<br>**              | 32,87±5,98<br>*<br>*<br>****               |
| RRNN (мс)         | 1012,53±18,6                 | 1054,81±19,4<br>***                  | 1027,64±36,5<br>**<br>***             | 1095,46±25,7<br>****<br>****<br>***        |
| SDNN (мс)         | 85,41±4,32                   | 89,76±3,66<br>***                    | 85,32±3,87<br>**<br>***               | 91,18±4,81<br>****<br>**<br>***            |
| CV(%)             | 7,47±1,22                    | 8,13±1,64<br>***                     | 7,41±0,33<br>*<br>***                 | 7,98±0,27<br>**<br>**<br>***               |
| HF (y.e.)         | 0,34±0,03                    | 0,39±0,04<br>****                    | 0,36±0,03<br>**<br>***                | 0,41±0,04<br>****<br>*<br>****             |
| LF (y.e.)         | 0,123±0,02                   | 0,133±0,03<br>****                   | 0,121±0,02<br>**<br>***               | 0,135±0,01<br>****<br>*<br>****            |
| LF/HF(%)          | 0,35±0,01                    | 0,33±0,02<br>***                     | 0,35±0,01<br>**<br>***                | 0,31±0,03<br>*<br>*<br>****                |

\* - p>0,5; \*\* - p>0,05; \*\*\* - p<0,05; \*\*\*\* - p<0,01

Также наблюдается рост показателей мощности высокочастотных (HF) и низкочастотных (LF) колебаний (на 13,90 и 11,60% соответственно); соотношение LF/HF уменьшилось на 11,40%. Наблюдаемое в переходном периоде преобладание парасимпатического отдела свидетельствует о совершенствовании механизмов регуляции сердечного ритма. Это подтверждает указанное выше положение об экономизации механизмов регуляции сердечной деятельности (поскольку изменения всех показателей оставались в пределах нормы) и свидетельствует о повышенных адаптационных способностях организма высококвалифицированных спортсменов. Основным показателем эффективности спортивной деятельности является результативность. В связи с этим нами также проводился анализ показателей функционального состояния высококвалифицированных спортсменов с учетом успешности их соревновательной деятельности. В табл. 2 представлены данные статистического анализа показателей ВРС у футболистов, показавших в текущем сезоне высокие и удовлетворительные результаты (по оценке тренера), в подготовительном и соревновательном периодах.

Спортсмены, успешно выступившие на соревнованиях, продемонстрировали повышение адаптационных возможностей в период соревнований (уменьшение индекса напряжения и амплитуды моды, увеличении моды и вариационного размаха). Обратная картина наблюдается у спортсменов, показавших в соревновательный период низкий или удовлетворительный результат. Выявленные особенности (рост индекса напряжения, снижение моды и вариационного размаха) свидетельствуют о росте напряжения регуляторных механизмов с выраженным преобладанием симпатических влияний, что характерно для состояния утомления. Выявленные отличия наблюдались, начиная с предсоревновательного периода, однако достоверные различия были обнаружены только в ходе соревновательного периода. Таким образом, показатели ВРС могут быть использованы для отбора наиболее подготовленных высококвалифицированных спортсменов к участию в ответственных соревнованиях в случае динамического наблюдения в подготовительном и предсоревновательном периодах. При этом наибольшую информативность показатели ВРС (для достоверного прогнозирования спортивной результативности у высококвалифицированных спортсменов) приобретают только в соревновательный период.

Таблица 2  
*Показатели ВРС у футболистов, показавших высокие и удовлетворительные результаты на различных этапах тренировочного процесса*

| Показатель ВРС           | Этап тренировочного процесса     |                                            |                                  |                                            |
|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|
|                          | подготовительный                 |                                            | соревновательный                 |                                            |
|                          | высоко-результативные спортсмены | низко-результативные спортсмены<br>р1 – р2 | высоко-результативные спортсмены | низко-результативные спортсмены<br>р1 – р2 |
| Мода                     | 0,79±0,02                        | 0,80±0,03<br>*                             | 0,89±0,03                        | 0,71±0,04<br>***                           |
| Амплитуда моды           | 38,3±1,5                         | 37,9±1,1<br>*                              | 37,2±1,8                         | 51,4±1,9<br>***                            |
| Вариационный размах      | 0,22±0,01                        | 0,23±0,01<br>*                             | 0,31±0,02                        | 0,21±0,02<br>****                          |
| Индекс напряжения (у.е.) | 35,5±1,8                         | 40,2±3,1<br>**                             | 32,5±2,1                         | 94,8±5,6<br>****                           |

\* - p>0,5; \*\* - p>0,05; \*\*\* - p<0,05; \*\*\*\* - p<0,01

Поскольку уровень физических нагрузок в предсоревновательный период равнозначный (а нередко и превышает) уровню физических нагрузок в соревновательный период, показанные нами изменения именно в соревновательный период вероятно можно объяснить эмоционально-психологическим напряжением данного периода, который достаточно сложно смоделировать на подготовительном этапе тренировочного процесса. В связи с этим возрастает роль диагностики и контроля психологического и психофизиологического состояния высококвалифицированных спортсменов на различных этапах тренировочного процесса.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для высококвалифицированных спортсменов в ходе тренировочного процесса характерна перестройка деятельности сердечно-сосудистой системы на более экономичный режим за счет снижении центрального влияния регуляторных механизмов изменения (усиление активности парасимпатического отдела вегетативной регуляции и снижением симпатического влияния).

2. В подготовительном периоде функциональное состояние сердечно-сосудистой системы высококвалифицированных спортсменов характеризуется активацией парасимпатического отдела вегетативной нервной системы. В соревновательный период наблюдается активация симпатического отдела нервной системы и напряжение регуляторных механизмов, что связано с увеличением объема психоэмоциональных и физических нагрузок. Время восстановления парасимпатических влияний в переходный период свидетельствует об уровне адаптационных возможностей организма.

3. Для успешно выступивших спортсменов характерно повышение показателей адаптационных возможностей в период соревнований. У менее успешных спортсменов в соревновательный период наблюдается рост напряжения регуляторных механизмов с выраженным преобладанием симпатических влияний.

4. Рост скорости сенсомоторного реагирования приводит к увеличению уровня напряжения регуляторных механизмов, в первую очередь за счет снижения активности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (без учета спортивной результативности).

#### Список литературы:

1. Зайцева В.В. Индивидуальный подход в физическом воспитании и его реализация на основе компьютерных технологий: Учеб. пособие для студ., магистрантов и аспирантов РГАФК / В.В. Зайцева, В.Д. Сонькин, С.И. Изак. - М.:РГАФК, 1998. - 84 с.
2. Запорожанов В.А. Индивидуализация — важнейшая проблема спорта высших // Теория и практика физической культуры. - 2002. - № 7. - С. 62-63.
3. Зеличенок В.Б. Легкая атлетика: критерии отбора / В.Б. Зеличенок, В.Г. Никитушкин, В.П. Губа. - М.: Терра-Спорт, 2000. - 240 с.
4. Ильин Е.П. Психология индивидуальных различий. - СПб.: Питер, 2004. - 701 с.
5. Ильин М.А. Технология применения специально-подготовительных упражнений в спортивной тренировке юных бегунов на короткие дистанции: автореф. дис... канд. пед. наук / Михаил Алексеевич Ильин. - М.: ВНИИФК, 2002. – 27 с.
6. Ионов Д.П. Анализ бега спринтеров / Д.П. Ионов, Г.П. Черняев // Легкая атлетика. - 1971. - № 8. - С. 18-19.
7. Иссурин В. Концепция блоковой композиции в подготовке спортсменов высокого класса / В. Иссурин, В. Шкляр // Теория и практика физической культуры. - 2002. - № 5. - С. 2-5.

Получено 13.08.2018

УДК 004.93

**М.М. Исқакова, О.Е. Бакланова**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА  
НАПЫЛЕНИЯ НА ИЗДЕЛИЯ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*В статье рассматриваются подходы к описанию текстур для визуального контроля качества биосовместимого напыления.*

*Мақалада био-үйлесімді шөгінділердің сапасын визуалды бақылауға арналған текстураның сипаттамалары қарастырылады.*

*This article describes different texture approaches for visual control of quality of biocompatible coatings.*

**Ключевые слова:** текстура, биосовместимые напыления, фильтр Гabora.

В настоящее время в таких сферах медицины, как хирургия, ортопедия, эндопротезирование наблюдается значительный прогресс областей медицины, связанных с использованием имплантатов. Одним из условий успешного функционирования таких изделий медицинского назначения является обеспечение их биосовместимости, для чего используются, во-первых, правильный выбор материалов самих имплантатов, во-вторых, разнообразные технологии повышения биосовместимости имплантатов путем специальных обработок их поверхности, включая нанесение биосовместимых покрытий [1]. При нанесении биосовместимых покрытий на имплантаты различных типов используются высокотехнологические аппараты, но и они не могут гарантировать идеального напыления. Для того чтобы гарантировать, что имплантат не будет отторгаться организмом человека, мы рассмотрим различные методы описания текстур для последующего анализа изображения.

Автоматизации обработки, анализа, распознавания и понимания текстурных признаков посвящены исследования Р.М. Харалика [2], К.И. Лавса [3], Х. Тамуры [4]. Можно выделить работы Д. Четверикова [5] (исследован ряд алгоритмов выделения и классификации текстур), Н.Г. Федотова [6] (применение стохастической геометрии и функционального анализа для распознавания полутоновых текстур), К.Н. Спиридонова [7] (применение спектра обобщенных фрактальных признаков для сравнения текстур), А.А. Потапова [8] (технология радиолокационного обнаружения малоконтрастных целей на основе вероятностных текстурных признаков) и М. Стешелецкого [9] (применение текстурного анализа к обработке биомедицинских изображений) [10]. В данной работе мы рассмотрим наиболее распространенные подходы к описанию текстур и на основе полученных теоретических данных выберем метод, который позволит оценить качество текстуры при любом масштабе изображения.

Основные подходы к описанию текстур для визуального контроля качества биосовместимого напыления на изделия медицинского назначения из титана включают в себя следующие подходы.

Статистический подход: метод статистического подхода к описанию текстур позволяет эффективно описывать текстуру изображения из-за определения двумерной смежности яркости пикселей. К достоинствам этого подхода можно отнести то, что текстурные признаки вычисляются по фрагменту изображения. К недостаткам - сложность вычисления. [3, 11].

Геометрический подход: повторяющийся характер расположения текстурных элементов изображения удобно оценивать с помощью функции автокорреляции, которая может использоваться для оценки степени регулярности и мелкозернистости грубой структуры

текстуры. Для крупнозернистой текстуры величина автокорреляционной функции уменьшается незначительно по сравнению с областью, в которой находится мелкозернистая текстура. К достоинствам этого подхода можно отнести то, что использование методов стохастической геометрии уменьшает ошибку автокорреляционной функции и что Blur-инварианты, относящиеся к теории инвариантных моментов, нечувствительны к нарушениям фокуса камеры, вибрациям сенсоров. Недостатком является то, что данный алгоритм очень ограничен в практическом использовании [12].

Спектральный подход: для работы с текстурой изображения в различных масштабах используется Фурье и вейвлет-анализ. Преобразование Фурье следует рассматривать как разложение сигнала на частотную и амплитудную составляющие, то есть обратимый переход от временного в частотное пространство. В случае вейвлет-анализа осуществляется разложение сигнала по базисным функциям (вейвлетам), которые строятся на основе порождающего вейвлета с использованием операций сдвига и масштабирования. К достоинствам данного подхода можно отнести: фильтры независимого анализа компонент отражают основные направления текстуры изображения и при анализе медицинских снимков заметны текстурные отклонения, говорящие об отклонении от нормы. Недостатком является трудность с изменением периода и фазы текстуры [13].

В результате проделанных исследований нами установлен структурно-фазовый состав и ряд свойств образцов из прутков титановых сплавов Grade 5 марки Eli и Ti6-Al-4V. С помощью методов просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и рентгеноструктурного анализа установлено, что образцы сплава Grade 5 марки Eli имеют двухфазную  $\alpha+\beta$  микроструктуру, состоящую из Ti- $\alpha$ -фазы с гексагональной кристаллической решеткой и малой доли Ti- $\beta$ -фазы с кубической кристаллической решеткой. Металлография образцов сплава с идеальной и нарушенной текстурой представлена на рис. 1.

Образование и рост выделений  $\alpha$ -фазы из  $\beta$ , которые, как известно, идут в данных сплавах при охлаждении от температур горячей термомеханической обработки, представлены в виде планок или пластин. Ламеллярная микроструктура состоит из параллельных ламелей  $\alpha$ -фазы, разделенных фазой  $\beta$ . Ширина пластин изменяется от двух-трех десятков до нескольких мкм. Размеры зерен - 100-500 мкм. Пакеты или колонии  $\alpha$ -пластин имеют размеры от 10 до 500 мкм (рис. 1 *a, б*) и расположены в основном под непрямыми углами к границам зерен. Границы пакетов имеют ровную морфологию вдоль межзеренных границ (рис. 1, *б*), однако на рис. 1, *в, г* наблюдается нарушение текстуры.

Остановимся подробнее на спектральном подходе, фильтре Гabora и алгоритме фильтра Гabora.

Для работы с текстурой изображения в различных масштабах используется Фурье и Вейвлет-анализ. Преобразование Фурье следует рассматривать как разложение сигнала на частотную и амплитудную составляющие, то есть обратимый переход от временного в частотное пространство. Применительно к изображениям преобразование Фурье используется в том числе для выявления периодических структур, которое можно использовать для детектирования объектов. В качестве входных данных выступает двумерное изображение с наложенным шумом. Пусть имеется входное изображение  $I$  размером  $N \times M$ , где  $N$  и  $M$  - его высота и ширина, тогда представление двумерного сигнала в частотной области происходит по формуле 1 [14]:

$$I(i_1, i_2) = \frac{1}{N \times M} \sum_{k_1=0}^{N-1} \sum_{k_2=0}^{M-1} I(k_1, k_2) * \exp(j \frac{2\pi}{N} i_1 k_1 + j \frac{2\pi}{M} i_2 k_2), j = -1 \quad (1)$$

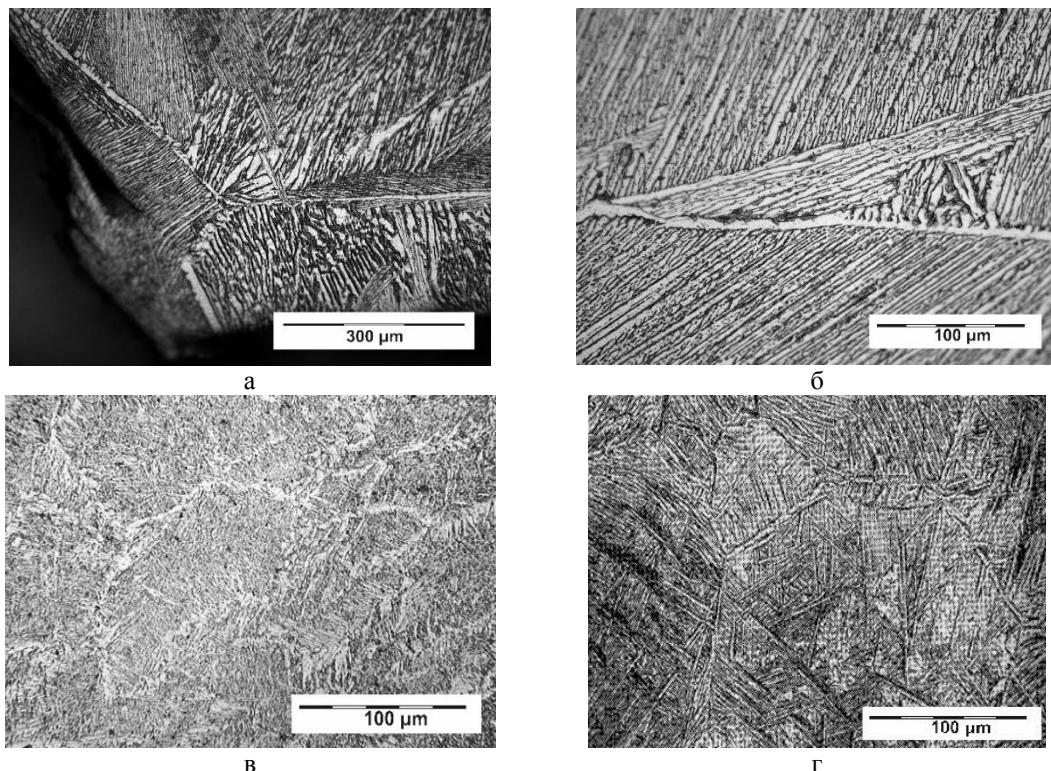


Рисунок 1 - Микроструктура исследуемых образцов сплава Grade 5 марки Eli: а, б - пластины с идеальной текстурой; в, г - пластины с нарушенной текстурой

В случае Вейвлет-анализа осуществляется разложение сигнала по базисным функциям (вейвлетам), которые строятся на основе порождающего вейвлета с использованием операций сдвига и масштабирования. Для исходного изображения строится свертка с базисной функцией (фильтром), далее вычисляется разность полученного и исходного сигнала и строится вторая проекция этой разности, причем каждая базисная функция - сдвиг предыдущей, растянутой в определенное число раз.

Эффективными признаны фильтры независимого анализа компонент (Independent Component Analysis) и фильтры Габора [15]. Первые получаются за счет анализа обучающей выборки изображений, эти фильтры локальны и подобны фильтрам Габора, однако они отражают основные направления текстуры изображений и имеют естественный характер.

Алгоритм, основанный на фильтрах Габора, очень полезен при выявлении направления текстуры. Это является главным достоинством алгоритма. При цифровой обработке изображений этот фильтр применяется для распознавания границ объектов. RGB и HSL цветовые модели являются пригодными для использования данного алгоритма. Необходимо отметить, что этот алгоритм не так популярен, как, например алгоритмы теории графов. Поэтому алгоритм, основанный на фильтрах Габора, вызывает наибольший интерес для разработки и дальнейшей его реализации. Алгоритм, использующий фильтры Габора, основан на работе с двумя матрицами: матрицей изображения и матрицей-фильтром. Исходное изображение может быть представлено в виде матрицы I, матрицы изображения, заполненной значениями – пикселями. Эти значения помещаются в каждую ячейку матрицы. Матрица-фильтр и матрица изображений накладываются друг на друга [16].

Фундаментальной формулой, используемой в ходе реализации алгоритма, является:

$$g(x, y, \delta, \theta, \varphi, \sigma, \gamma) = e^{(-\frac{x'^2+y'^2}{2\sigma^2})} * \cos(2\pi \frac{x'}{\delta} + \varphi), \quad (2)$$

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta, \quad (3)$$

$$y' = -x \sin \theta + y \cos \theta, \quad (4)$$

где  $\delta$  – длина волны множителя косинуса;  $\theta$  – определяет ориентацию нормали параллельных полос функции Габора в градусах;  $\varphi$  – определяет сдвиг фаз в градусах;  $\gamma$  – коэффициент сжатия.

Алгоритм программного продукта, реализующий алгоритм Габора, представлен на рис. 2.



Рисунок 2 - Алгоритм программного продукта, реализующий алгоритм Габора

Исходные изображения образцов сплава Grade 5 марки Eli представлены на рис. 3. Результат работы программного обеспечения представлен на рис. 4.

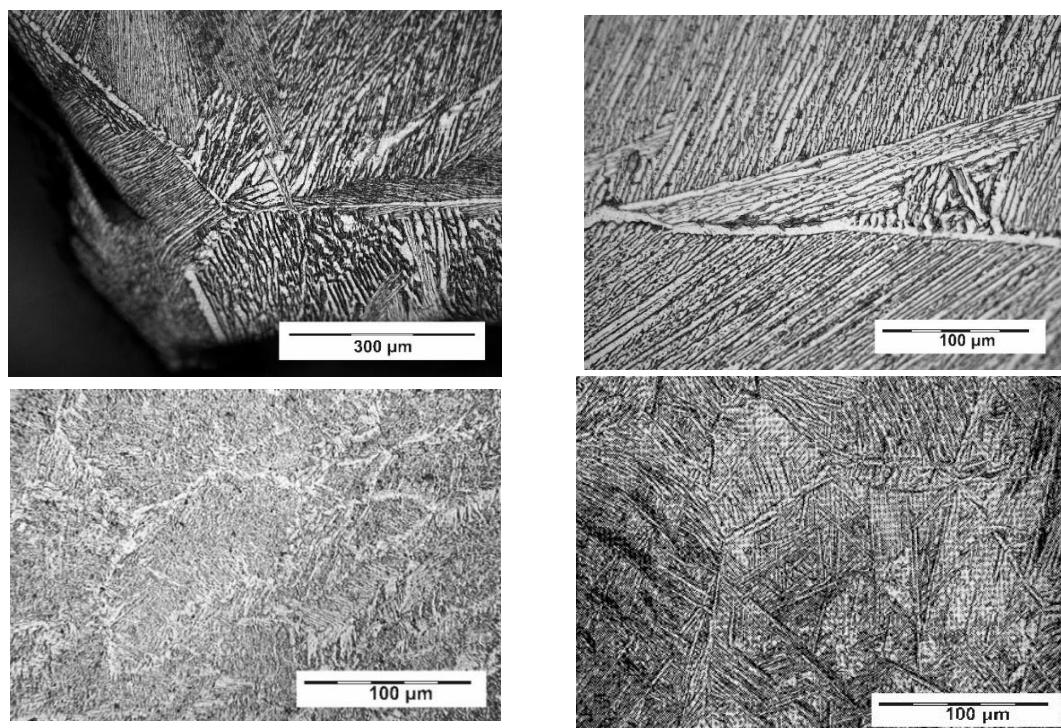


Рисунок 3 – Исходные изображения образцов сплава Grade 5 марки Eli

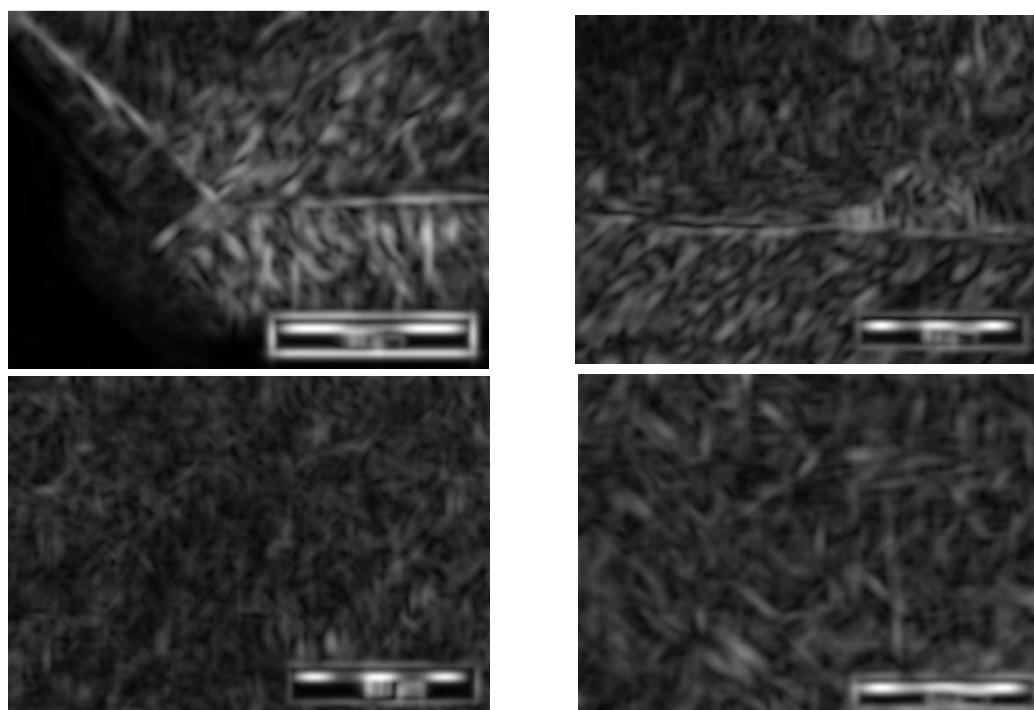


Рисунок 4 – Результат работы программного обеспечения

Обработанное изображение было получено при следующих данных:  $\sigma=8$ ;  $\theta = 0$ ;  $\varphi = 1$ ;  $\gamma = 0,5$ ;  $N = 8$ .

В заключение можно сделать следующие выводы.

В данной работе были рассмотрены такие подходы к описанию текстур, как статистический, геометрический и спектральный. Были рассмотрены достоинства и недостатки каждого и на основании этого выбран подход, который позволяет оценить качество текстуры при любом масштабе, т.е. спектральный. На основе выполненного исследования с помощью Matlab R2015b было разработано программное обеспечение. Оно позволяет выполнять контроль качества биосовместимого напыления.

Исследование проведено при финансовой поддержке Комитета науки МОиН РК в рамках программно-целевого финансирования по научно-технической программе «Целевая научно-техническая программа Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева, ориентированная на разработку новых видов продукции для производства на ведущих промышленных предприятиях Восточно-Казахстанской области» на 2017-2019 годы, по подпрограмме 0006/ПЦФ «Выпуск титановой продукции для дальнейшего использования в медицине».

#### Список литературы

1. Hohmann M., Pleier S. Production methods and applications for high-quality metal powders and spray formed products // Acta metallurgica sinica, Vol. 18, №1, 2005, pp. 15-23.
2. Haralick R.M. Statistical and structural approaches to texture // Proceedings of the IEEE, 1979. Vol.67, no.5, p.768–804.
3. Laws K.I. Rapid texture identification // SPIE, 1980. Vol.238, p.376–380.
4. Tamura H., Mori S., Yamawaki T. Textural features corresponding to visual perception // IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, 1978. Vol.8, p.400–473.
5. Chetverikov D. Texture feature based interaction maps and structural filtering // 20th Workshop of the Austrian Pattern Recognition Group, 1996, p.143–157.
6. Федотов Н.Г. Методы стохастической геометрии в распознавании образов. - М.: Радио и связь, 1990 г. - 144 с.
7. Спиридонов К.Н. Применение спектра обобщенных фрактальных размерностей Ренъи для сравнения текстур изображений. - Петропавловск, 2008.
8. Потапов А.А. Новые информационные технологии на основе вероятностных текстурных и фрактальных признаков в радиолокационном обнаружении малоконтрастных целей // Радиотехника и электроника, 2003. - Т. 48. - № 9. - С. 1101–1119.
9. Strzelecki M. Segmentation of textured biomedical images using neural networks, PhD Thesis, Technical University of Lodz, Poland, (1995).
10. Фраленко В.П. Методы текстурного анализа изображений, обработка данных дистанционного зондирования Земли. – 2014. - № 5:4. - С. 16-39.
11. Tamura H., Mori S., Yamawaki T. Textural features corresponding to visual perception // IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, 1978. Vol.8, p.400–473.
12. Антощук С.Г. Система распознавания текстурных изображений при экологическом мониторинге / С.Г. Антощук, Н.А. Сербина // Искусственный интеллект, 2002. - Т. 4. - С. 406–413.
13. Шитова О.В. Анализ методов сегментации текстурных областей изображений в системах обработки изображений / О.В. Шитова, А.Н. Пухляк, Е.М. Дроб. – 2014. - № 8 (179). - С. 182–188.
14. Афонский А.А. Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики / А.А. Афонский, В.П. Дьяконов. - М.: СОЛООН-Пресс, 2009. - 248 с.
15. Bell A.J., Senjnowsky T.J., The “independent components” of natural scenesare edge filters // Vision Research, 1997. Vol.37, no.23, p.3327–3338.
16. Козлова И.В. Текстурная сегментация изображений. Алгоритм, основанный на фильтрах Гabora. – 2012. - № 10. - С. 442-444.

Получено 13.08.2018

УДК 669-1

**А.А. Каравайцева, Л.И. Квеглис**

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация

**С.С. Герт, В.В. Анфилоьев**

Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова,  
г. Усть-Каменогорск

### ПОГЛОЩЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА В МАРГАНЦОВИСТОЙ СТАЛИ 20ГЛ

*В данной работе рассматриваются обнаруженные аномалии в поведении акустических волн в стали 20ГЛ. Выявлено образование частиц марганца после обработки импульсным током стали 20ГЛ.*

*Осы жұмыста 20ГЛ болатта акустикалық толқындардың жүру бағытындағы ауытқулар анықталған. 20 ГЛ болатты импульстік токпен өндегеннен кейін марганец бөлшектерінің пайда болуы анықталған.*

*In this work, we discovered anomalies in the behavior of acoustic waves in steel 20GL. Correlation between speed of ultrasound and the size of granule set at different temperatures.*

**Ключевые слова:** поглощение ультразвука, пластическая деформация, сталь 20ГЛ, микроструктура, температурная зависимость.

Ультразвуковая обработка металлов - один из новых эффективных способов, применяющихся в металлургии для улучшения качества металлов. Облучение ультразвуком расплавленного металла приводит к заметному измельчению зерна и уменьшению пористости. Кроме того, ультразвук повышает механические свойства затвердевших сплавов и намного улучшает способность металла к пластической деформации. Одной из новых областей применения ультразвука является процесс кристаллизации, определяющий качество готовых деталей, особенно таких, которые получают методом литья. Если расплавленный кристаллизующийся металл обработать ультразвуком, произойдет измельчение зерен, уменьшится пористость, а структура отливки будет более равномерной.

Твердые тела однородны для ультразвуковых волн только до тех пор, пока неоднородности, имеющиеся в них (а эти неоднородности всегда есть), значительно меньше длины волн [1]. Однородность структуры металлов и сплавов достигается измельчением, вплоть до возникновения наноструктурных состояний, что может быть обеспечено интенсивной пластической деформацией (ИПД) [2]. ИПД лучше всего проводить в таких условиях, когда достигнут максимальный коэффициент поглощения ультразвуковых волн в веществе. Исследование поглощения ультразвука в металлах в процессе их пластической деформации представляет практический интерес при обработке металлов давлением с целью снижения усилия деформации [3].

Сталь 20ГЛ используется для изготовления ответственных изделий сложного сечения, используемых в железнодорожном транспорте, поэтому необходимо выявить оптимальные условия ее механической обработки: условия, при которых коэффициент поглощения ультразвуковых волн позволит проводить интенсивную пластическую деформацию с минимальной нагрузкой [4]. Такие изделия работают в условиях пониженных температур и знакопеременных нагрузок. При неправильной заливке стали в сечениях образуются неоднородности кристаллического строения, трещины и раковины, которые выявляются методами неразрушающего контроля. Эти дефекты можно устранить посредством ИПД.

Целью работы является исследование возможности поглощения ультразвука в стали 20ГЛ, выявление причин данного эффекта и теоретическое обоснование наблюдаемых явлений.

В качестве образцов для исследования использовали исходную литую сталь 20ГЛ. С целью получения серии образцов с нарастающим размером структурных элементов их подвергли термической обработке при температуре 900 °C, задавая разное время выдержки в муфельной печи, с дальнейшим охлаждением на воздухе. Микроструктуру стали исследовали на оптическом металлографическом микроскопе CX-4 при увеличении  $\times 100$  и  $\times 500$  крат. Скорость ультразвука измеряли методом автоциркуляции импульсов на ультразвуковом толщиномере А1209. Микроструктуру и размер зерна определяли по ГОСТу 5639-82.

Для измерения скорости распространения поверхностной волны в стали поверхность образца делили на прямоугольные участки, соответствующие размеру датчика (расстояние между пьезопреобразователями 33 мм). В каждом участке скорость определяли 5-7 раз, затем находили среднее значение.

В выражении для плоских ультразвуковых волн, как и в основном уравнении движения упругой среды, не учитывается ослабление волны, связанное с затуханием ультразвука [5]. В реальных средах по причине внутреннего трения, неидеальных упругих свойств и других эффектов затухание ультразвука имеет существенное значение.

Коэффициент затухания складывается из коэффициентов рассеяния  $\delta_{\text{р}}$  и поглощения  $\delta_{\text{п}}$ , т.е.  $\delta = \delta_{\text{п}} + \delta_{\text{р}}$  [6]. При поглощении звуковая энергия переходит в тепловую, а при рассеянии остается звуковой, но уходит из направленно-распространяющейся волны в результате отражений на границах зерен и неоднородностей.

Поглощение звука в твердых телах обусловливается в основном внутренним трением и теплопроводностью [7]. Поглощение поперечных волн меньше, чем продольных, так как они не связаны с адиабатическими изменениями объема, при которых появляются потери на теплопроводность. Коэффициент поглощения в твердых телах пропорционален  $f$  (стекло, биологические ткани, металлы) или  $f^2$  (резина, пластмассы) [8].

В монокристаллах затухание определяется поглощением ультразвука. Металлы, применяемые на практике, имеют поликристаллическое строение, и в них обычно затухание ультразвука определяется прежде всего рассеянием. В кристаллах скорость звука имеет разное значение в зависимости от направления его распространения относительно осей симметрии кристалла. Это явление называют упругой анизотропией.

В куске металла кристаллы ориентированы различным образом, поэтому при переходе ультразвука из одного кристалла в другой скорость звука может меняться в большей или меньшей степени. В результате возникают частичное отражение, преломление и трансформация ультразвука, что обуславливает механизм рассеяния.

Большое влияние на коэффициент рассеяния в металлах оказывает отношение  $D$  (средней величины зерна) и длины волны ультразвука  $\lambda$ . При  $\lambda \ll D$  звук поглощается каждым зерном как одним большим кристаллом, затухание ультразвука определяется в основном поглощением. При  $\lambda \approx D$  рассеяние ультразвука очень велико. Он как бы проникает, диффундирует между отдельными кристаллами. Это область диффузного рассеяния [9].

Уникальной особенностью ультразвуковых методов является то, что при температурах, близких к температуре фазового перехода второго рода, в магнитных системах и системах, демонстрирующих структурные фазовые переходы, происходит аномально сильное поглощение ультразвука [10], наглядно выявляемое экспериментально на рис. 1.

График зависимости скорости ультразвука от балла зерна при температуре -60 °C имеет более резкий спад и подъем, что связано с тем, что при уменьшении температуры скорость распространения ультразвука увеличивается [11]. Проанализировав полученную зависимость, можно сделать вывод, что при размере зерна 6-7 баллов (рис. 2) и частоте 4 МГц скорость ультразвука заметно снижается. Можно сделать предположение, что в

данном месте происходит эффект поглощения ультразвука. Это связано с процессом кристаллизации, т.к. при 6-7 баллах зерна в микроструктуре стали 20ГЛ наблюдаются крупные ферритные зерна, скопления ферритных зерен и ферритная сетка. То есть наблюдается структурная неоднородность с одновременным уменьшением ультразвуковой проницаемости.

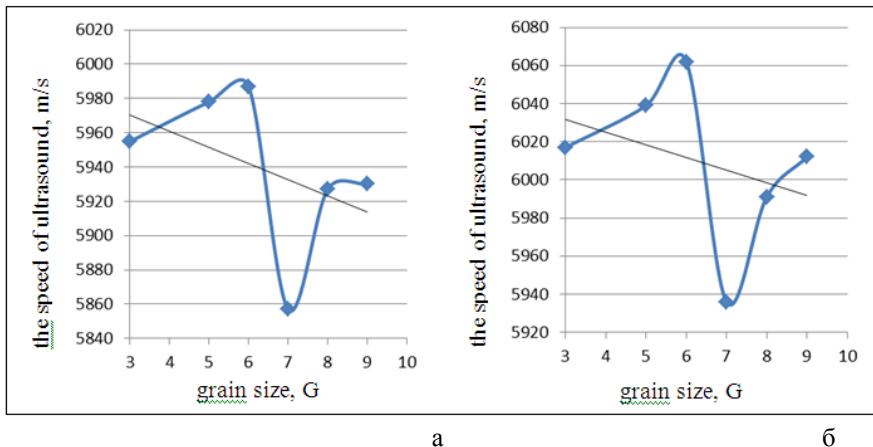


Рисунок 1 - Обнаруженная зависимость скорости ультразвука от балла зерна: а - при 20 °C; б - при -60 °C

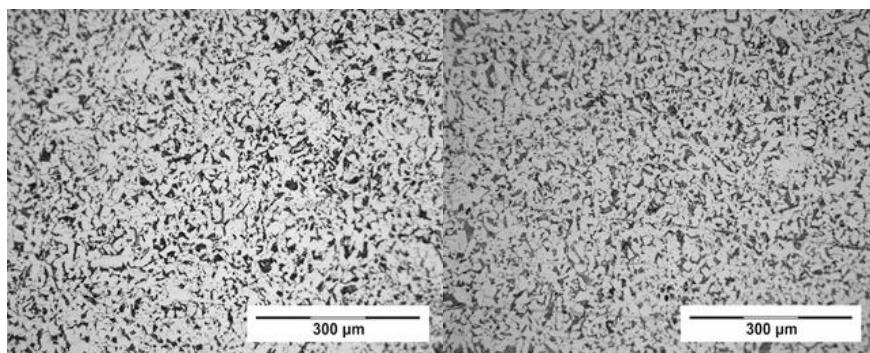


Рисунок 2 - Фотографии микроструктур образцов из стали 20ГЛ : а - образец № 2, б - образец № 3

С целью релаксации внутренних напряжений, в результате которой может уменьшаться поглощение ультразвука, наблюдавшееся в образце № 3 (рис. 2) стали 20ГЛ, провели обработку образцов воздействием импульсного тока плотностью 100 А/мм<sup>2</sup>. В работе [12] импульсный ток при определенных режимах может быть использован для ускоренной релаксации внутренних напряжений.

Исследования с помощью рентгеновской дифракции проводили на образце № 3 после испытаний ультразвуком до обработки током и после (рис. 3). Межплоскостные расстояния  $\alpha$ -Fe и  $\beta$ -Mn показаны в табл. 1.

Сопоставляя рефлексы на рентгенограмме (рис. 3) с данными табл. 2, можно заключить, что рефлекс (221)  $\beta$ -марганца можно сравнить с рефлексом (110)  $\alpha$ -железа по их интенсивности. Оба рефлекса имеют интенсивность 100%, если рассматривать однокомпо-

нентные материалы. Атомные факторы рассеяния этих материалов практически одинаковы, поскольку они расположены рядом в периодической таблице химических элементов.

Затем снова провели испытания ультразвуком, в результате которого выявлено еще более сильное поглощение ультразвука (3 новых точки на рис. 4).

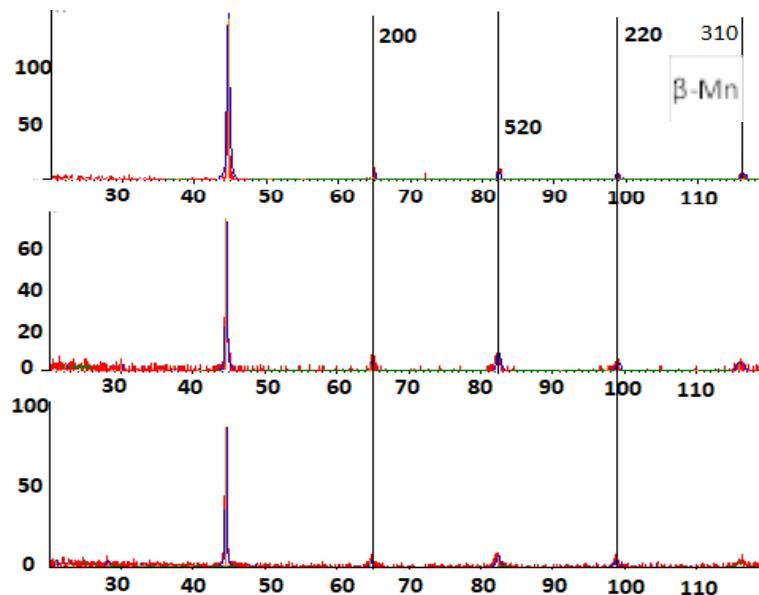


Рисунок 3 - Рентгенограммы образца № 3. Сверху-вниз: до обработки током, после обработки током, под углом 90° по отношению к направлению тока

Таблица 1  
Межплоскостные расстояния  $\alpha$ -Fe и  $\beta$ -Mn

| $\alpha$ -Fe |       |      | $\beta$ -Mn |       |      |
|--------------|-------|------|-------------|-------|------|
| $h k l$      | d     | Int. | $h k l$     | d     | Int. |
| 110          | 2,01  | 1,00 | 210         | 2,81  | 0,07 |
| 200          | 1,428 | 0,15 | 221         | 2,10  | 1,00 |
| 211          | 1,166 | 0,38 | 310         | 2,00  | 0,66 |
| 220          | 1,010 | 0,10 | 311         | 1,90  | 0,27 |
| 310          | 0,904 | 0,08 | 321         | 1,68  | 0,07 |
| 222          | 0,825 | 0,03 | 411         | 1,485 | 0,03 |
| 321          | 0,764 | 0,10 | 420         | 1,410 | 0,03 |
| 330          | 0,673 | 0,03 | 510         | 1,237 | 0,30 |
| 420          | 0,638 | 0,03 | 520         | 1,170 | 0,20 |
|              |       |      | 531         | 1,064 | 0,03 |
|              |       |      | 442         | 1,051 | 0,03 |

Считая интенсивность рефлекса (110)  $\alpha$ -железа равной 100%, можно сказать, что интенсивность рефлекса (221)  $\beta$ -марганца составит 4,8%. Такая оценка позволяет считать, что в сплаве стали 20ГЛ Mn содержится более чем в 2 раза больше, чем в исходном составе (табл. 3).

Таблица 2  
Химический состав стали 20ГЛ

| Массовая доля элементов |           |           |                                                                   |                                                                   |      |      |      |           |
|-------------------------|-----------|-----------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------|------|------|-----------|
| C                       | Si        | Mn        | S                                                                 | P                                                                 | Cr   | Ni   | Cu   | Al        |
|                         |           |           | Не более                                                          |                                                                   |      |      |      |           |
| 0,17-0,25               | 0,30-0,50 | 1,10-1,40 | 0,030 <sup>1)</sup><br>0,030 <sup>2)</sup><br>0,020 <sup>3)</sup> | 0,040 <sup>1)</sup><br>0,030 <sup>2)</sup><br>0,020 <sup>3)</sup> | 0,30 | 0,30 | 0,60 | 0,02-0,06 |

На рис. 4 приведены изображения, полученные в сканирующем электронном микроскопе с микроанализатором INCA Energy (рис. 4, *a* – в лучах марганца Кα; 4, *б* - в лучах углерода; 4, *в* - в лучах железа). Сравнивая состояние образца № 3 до и после обработки импульсным током (рис. 4), можно считать, что такая обработка приводит к образованию дополнительных частиц Mn. Если бы частицы Mn были сформированы при выплавке, то они бы ассоциировались с C, образуя фазу Mn<sub>3</sub>C. Выпавшие частицы Mn существуют самостоятельно и не ассоциируются с C (рис. 4).

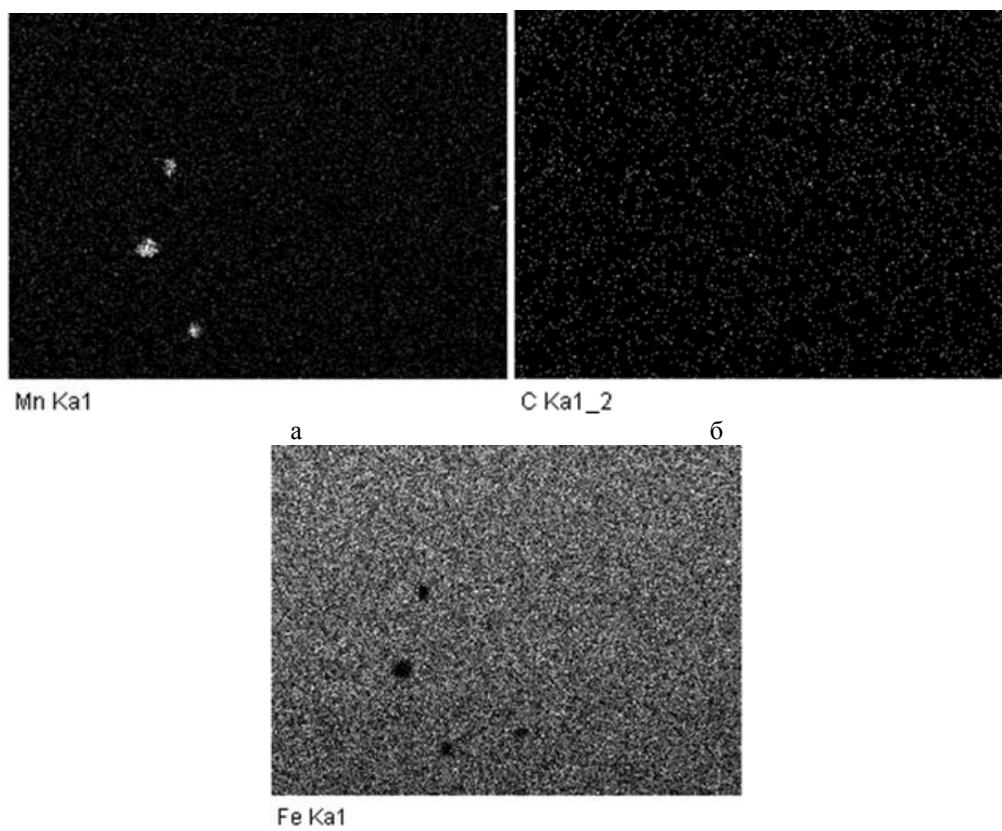


Рисунок 4 – РЭМ-изображения образца № 3 стали 20ГЛ после облучения электрическим импульсом и элементное картирование по: а – Mn; б – C; в - Fe

Микрозондовый анализ (рис. 4) показал, что около 2% площади занимают частицы марганца. Положение этих частиц не ассоциируется с положением частиц углерода – на

изображении в лучах углерода эти места темные. Следовательно, происхождение частиц марганца не связано с выплавкой стали, поскольку при выплавке он легко образует карбиды марганца, следовательно появление частиц марганца после прохождения тока высокой плотности может быть связано с реакцией трансмутации железа 57 в марганец 55. Известно, что в любом образце железа существует 2% изотопа железа 57. Такая реакция возможна [13].

Оценка возможности прохождения реакции трансмутации  $^{26}\text{Fe}^{57} \rightarrow {}_{25}\text{Mn}^{55}$  показана в табл. 3. В левом столбце перечислены возможные возбудители реакции трансмутации. Во втором столбце частоты и энергии: волн пластической деформации, тока высокой частоты и резонансные частоты при взаимодействии упругих волн с системой ядерных спинов.

Таблица 3  
*Возможные возбудители реакции  $^{26}\text{Fe}^{57} \rightarrow {}_{25}\text{Mn}^{55}$*

| Возбудитель взаимопревращения $^{26}\text{Fe}^{57} \rightarrow {}_{25}\text{Mn}^{55}$ | Частота (Гц) | Энергия                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Волна пластической деформации при ультразвуке                                         | 60 ГГц       | Энергия, попадающая от ударной волны на 1 атом $\approx 6,5821 \cdot 10^{-5}$ эВ $\rightarrow$ на 1 частицу ( $280 \cdot 10^9$ атомов) $\approx 18,4$ МэВ при $v$ ударной волны $\approx 10 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ .                                |
| Электрический ток высокой частоты                                                     | 20 МГц       | Энергия, попадающая от тока высокой частоты на образование 1 частицы марганца ( $280 \cdot 10^9$ атомов), при 1 импульсе $\approx 2$ МэВ, при 10 импульсах накопления $\approx 20$ МэВ, если ток проходит по каналам на площади 4,8% от площади образца. |
| Е отрыва протона ( $p^+$ ) от ядра ${}^{56}\text{Fe}$                                 |              | На отрыв протона в ядре ${}^{56}\text{Fe}$ потребуется 9,6 МэВ энергии.<br>На отрыв протона в ядре ${}^{57}\text{Fe}$ потребуется 17,9 МэВ энергии.                                                                                                      |

Все перечисленные явления могут иметь место в образцах марганцовистых сталей.

Из табл. 3 видно, что энергии ударной волны при ультразвуке с частотой  $v = 60$  ГГц для реакции трансмутации железа в марганец недостаточно. Однако частицы марганца таких объемов были обнаружены нами ранее после испытания на маятниковом копре. Известно, что при проектировании современных реакторных установок и выборе конструкционных материалов для них необходимо учитывать возможность накопления и не-контролируемого высвобождения избыточной энергии в материалах [14]. В случае накопления ядром избыточной энергии возможны спонтанные реакции трансмутации. Подобные явления наблюдаются в эксперименте при прохождении тока высокой частоты через образец марганцовистой стали 20ГЛ. В результате наблюдается усиление поглощения ультразвука.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Обнаружены аномалии в поведении акустических волн в сплаве стали 20ГЛ.
2. Выявлено образование дополнительных частиц марганца после обработки импульсным током стали 20ГЛ.
3. Полученные результаты могут быть использованы для создания технологии обработки изделий сложной формы из стали 20ГЛ.

## Список литературы

1. Красильников В.А. Звуковые и ультразвуковые волны в воздухе, воде и твердых телах. - М.: 1960.
2. Панкратов Д.Л. Исследование разрушения образцов, полученных интенсивной пластической деформацией выдавливанием / Д.Л. Панкратов, В.Г. Шибаков, А.П. Андреев и др.
3. Кулемин А.В. Поглощение ультразвука в металлах в процессе их пластической деформации / Акустический журнал. – 1980. - Т. 26. – Вып. 5. – С. 735-740.
4. Прудников П.В. Аномальное поглощение ультразвука в твердых телах при фазовых переходах второго рода с учетом эффектов релаксации. Акустические методы исследования структуры и свойств через частотные и температурные зависимости коэффициента поглощения ультразвука / П.В. Прудников, В.В. Прудников, Е.А. Носихин. - Физика металлов и металловедение. – 2007. – Т. 104. - № 3. -С. 235-240.
5. Трефилов В.И. Физические основы прочности тугоплавких металлов / В.И. Трефилов, Ю.В. Мильман, С.А. Фирстов. – Киев: Наукова думка, 1975. – 315 с.
6. Рубцов А.С. Структурные особенности пластической деформации на стадии локализации течения / А.С. Рубцов, В.В. Рыбин // Физика металлов и металловедение. – 1977. – Т. 44. – Вып. 3. – С. 611–621.
7. Манилов В.А. Структурные изменения в хроме при деформации / В.А. Манилов, В.Г. Ткаченко, В.И. Трефилов и др. // Металлы. – 1967. – № 2. – С. 114–122.
8. Рыбин В.В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. – М.: Металлургия, 1986. – 226 с.
9. Ландау Л.Д., Халатников И.М. - ДАН СССР, 1954. - Т. 96. - С. 496.
10. Романова А.А. Исследование влияния модифицирования и микролегирования стали 20ГЛ на ее механические свойства и микроструктуру: Сб. 19 конф. «Решетневские чтения» / А.А. Романова, А.В. Павлов, И.В. Немцев и др. - 2015.
11. Алабышев А.П. Расчет скорости распространения ультразвука в зависимости от температуры материала: 20-я Междунар. науч.-техн. конф. "Новые материалы и технологии в машиностроении - 2014".
12. Столяров В.В. Электростимулирование пластической деформации объемных наноструктурных титановых сплавов с эффектом памяти формы. – М.: ИМАШ РАН.
13. Квеглис Л. И. Особенности структуры межзеренных границ в сплавах инварного состава на основе Fe-Mn и Fe-Ni / Л.И. Квеглис, В.С. Жигалов, В.В. Казанцева и др. // Нанотехника. - 2007. - № 4. - С. 73-78.
14. Шаманин И.В. Краткие сообщения по физике: Сб. статей / И.В. Шаманин, М.А. Казарян, С.Н. Тимченко и др. – 2017. – Т. 44. - № 9. - С. 10–16.

Получено 13.08.2018

УДК 621.095

**С.Д. Капаева**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

**С.А. Николаенко**

Уральский федеральный университет им. первого президента Б.Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург, Россия

**УПРОЧНЕНИЕ РОЛИКОВ СТАНКА ДЛЯ НАВИВКИ ПРУЖИН МЕТОДОМ  
МИКРОПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ**

*В работе представлено исследование одного из современных методов повышения износостойкости поверхностей деталей машин - микроплазменное упрочнение. Представлены результаты микроплазменного напыления с различными режимами и способами – без оплавления нанесенного слоя порошка и с оплавлением.*

Жұмыста машиналардың беткі бөлшектерінің тозуға тәзімділігін арттырудың заманаудың әдістерінің бірі - микроплазмалық қатайту әдісі көрсетілген. Жұмыста микроплазмалық балқытудың әртүрлі режимде және әдісте – жағылыштың ұнтақты балқыту және балқытпау нәтижелері қарастырылған.

*The scientific work shows microplasma spraying as a modern method for hardening the surfaces of parts. The scientific work presents the results of microplasma spraying with different methods without melting the applied layer of powder and with melting.*

Ответственными деталями станков, автоматов и полуавтоматов для навивки пружин являются подающие проволоку ролики. Под действием постоянного трения при прохождении пружинной проволоки рабочая поверхность роликов претерпевает равномерный либо неравномерный износ. В результате износа возникает дисбаланс вращающихся роликов и прерывистая подача проволоки.

Одним из методов повышения износостойкости поверхностей деталей машин является микроплазменное упрочнение. В данной работе рассмотрено микроплазменное напыление, проведённое с различными режимами и способами: без оплавления нанесенного слоя порошка и с оплавлением. Техника микроплазменного напыления покрытий обеспечивает малый размер пятна напыления (несколько десятков миллиметров), отличается небольшими габаритами оборудования и низким уровнем шумовыделения. Уникальность метода плазменного напыления заключается в высокой температуре (до 50 тыс. градусов по Цельсию) плазменной струи и высокой скорости (до 500 м/с) движения частиц в струе. Нагрев же напыляемой поверхности невелик и составляет не более 200 градусов. Производительность плазменного напыления составляет 3-20 кг/ч для плазмотронных установок мощностью 30...40 кВт и 50-80 кг/ч для оборудования мощностью 150...200 кВт.

Прочность сцепления покрытия с поверхностью детали в среднем равна 10-55 МПа на отрыв, а в некоторых случаях до 120 МПа. Пористость покрытия находится в пределах 10...15%. Толщина покрытия обычно не более 1 мм, так как при ее увеличении в напыляемом слое возникают напряжения, стремящиеся отделить его от поверхности детали. Плазмообразующими газами служат азот, гелий, аргон, водород, их смеси и смесь воздуха с метаном, пропаном или бутаном.

Основой для плазменного напыления могут служить металлы и неметаллы (пластмасса, кирпич, бетон, графит и др.). Для нанесения покрытий на небольшие поверхности применяется микроплазменный способ напыления, который позволяет сэкономить потери напыляемого материала (ширина напыления 1-3 мм). Для плазменного напыления используют проволоку, в том числе порошкового типа, порошки из черных и цветных металлов, никеля, молибдена, хрома, меди, оксиды металлов, карбиды металлов и их композиции с никелем и кобальтом, сплавы металлов, композиционные материалы (никельграфит, никель-алюминий и др.) и механические смеси металлов, сплавов и карбидов (рис. 1). Регулирование режима напыления позволяет наносить как тугоплавкие материалы, так и легкоплавкие. Процесс микроплазменного напыления заключается в расплавлении материала покрытия с последующим нанесением (напылением) его на основу в газовом потоке. В микрозоне удара частиц расплава о покрываемую поверхность они деформируются и растекаются, последовательно слипаясь друг с другом и затвердевая, и формируют плоский слой. В качестве напыляемого материала применяют порошки, прутки и проволоку. Рассмотрим основные материалы для напыления, исходя из физических свойств, которые они придают обрабатываемой поверхности.

В данном исследовании использована установка МПН-004, отличающаяся малым размером пятна напыления, составляющим 1-5 мм, и прочностью сцепления покрытий с основой, достигающей 40 МПа (рис. 2-4).



Рисунок 1 – Порошки для напыления



Рисунок 2 – Установка МПН-004 для микроплазменного напыления порошковым материалом ролика, установленного в приспособлении



Рисунок 3 – Источник питания и газа для микроплазменного напыления



Рисунок 4 – Процесс микроплазменного напыления образцов

Установка МПН-004 включает источник питания с панелью управления, плазмотрон и специальное устройство для подачи порошка.

Процесс плазменного напыления включает 3 основных этапа:

- 1) подготовка поверхности;
- 2) напыление и дополнительная обработка покрытия для улучшения свойств;
- 3) механическая обработка для достижения чистовых размеров.

Предварительные размеры поверхностей под напыление должны быть определены с учетом толщины напыления и припуска на последующую механическую обработку. Переходы поверхностей должны быть плавными, без острых углов, во избежание отслаивания покрытия. Отношение ширины паза или диаметра отверстия к его глубине должно быть не меньше 2.

Оценка эффективности применительно к конкретному технологическому процессу микроплазменного напыления требует экспериментальных исследований с целью определения изменения основных параметров процесса упрочнения.

Для проведения исследований принимаем следующие материалы:

- в качестве упрочняемого металла – сталь 5ХНМ и 5ХНМ с однослойным напыленным слоем порошка ПГ-10Н-01;
- в качестве напыляемого материала - порошок ПГ-10Н-01;
- в качестве сравнения – образцы, напыленные порошками Х20Н80, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и сталью 65Г, в виде проволоки.

Исследования проводили с параметрами факторов в пределах варьирования режимов: расстояние от сопла до детали (L, мм) при проведении экспериментов изменяется в пре-

делах от 30 до 50 мм (первый фактор), а время напыления (T, сек) - от 22 до 38 сек (второй фактор).

Кодирование первого фактора (расстояние от сопла до детали) и второго (время напыления).

Для первого фактора ( $X_1$ ).

Основной уровень (О.У.):

$$X_{10} = \frac{X_{max} + X_{min}}{2} = \frac{50+30}{2} = 40.$$

Интервал варьирования:

$$J_1 = \frac{X_{max} - X_{min}}{2} = \frac{50-30}{2} = 10.$$

Кодированное значение для первого фактора:

Верхний уровень (В.У.):

$$X_1 = \frac{X_{max} + X_{10}}{J_1} = \frac{50+40}{10} = +1.$$

Нижний уровень:

$$X_{j0} = \frac{X_{min} + X_{10}}{J_1} = \frac{30+40}{10} = -1.$$

Таким образом, кодированное значение для первого фактора:  $-X_1(+1;-1)$ .

Для удобства декодирования значение первого фактора можно записать в виде

$$X_1 = \frac{L-40}{10}. \quad (1)$$

Для второго фактора ( $X_2$ ).

Основной уровень:

$$X_{20} = \frac{38+22}{2} = 30.$$

Интервал варьирования:

$$J_2 = \frac{38-22}{2} = 8.$$

Верхний уровень (В.У.):

$$X_2 = \frac{38-30}{8} = +1.$$

Нижний уровень (Н.У.):

$$X_2 = \frac{22-30}{8} = -1.$$

Таким образом,  $X_2 (+1; -1)$ .

Для декодирования

$$X_2 = \frac{T-30}{8}. \quad (2)$$

После кодирования факторов составляется матрица (табл. 1) проведения эксперимента. Для двухфакторного эксперимента она имеет следующий вид.

Таблица 1  
Матрица планирования двухфакторного эксперимента

| № опыта | $X_0$ | $X_1$ | $X_2$ | $X_1 \times X_2$ | Y     |
|---------|-------|-------|-------|------------------|-------|
| 1       | + 1   | - 1   | - 1   | +1               | $Y_1$ |
| 2       | + 1   | +1    | - 1   | - 1              | $Y_2$ |
| 3       | + 1   | - 1   | +1    | - 1              | $Y_3$ |
| 4       | + 1   | +1    | +1    | +1               | $Y_4$ |

Из данных таблицы видно, что для двух факторов необходимо проведение четырех экспериментов, для каждого из которых получают соответствующие значения исследуемого параметра Y (в нашем случае – значение микротвердости, HV).

Согласно матрице планирования экспериментов, получены значения микротвердости поверхности образцов (табл. 2-4).

Таблица 2  
Значение микротвердости образцов

| Наплавленный материал                                     | Среднее значение микротвердости HV-образцов |           |           |           |                          |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|
|                                                           | 1 образец                                   | 2 образец | 3 образец | 4 образец | Толщина напыленного слоя |
| ПГ-10-Н-01 порошок                                        | 189                                         | 183       | 193       | 187       | 0,4                      |
| ПГ-10-Н-01 оплавленный                                    | 213                                         | 208       | 205       | 214       | 0,7                      |
| Среднее значение микротвердости HV образцов для сравнения |                                             |           |           |           |                          |
| X20H80 порошок                                            |                                             |           | 128       |           |                          |
| Al2O3 порошок                                             |                                             |           | 672       |           |                          |
| 65Г проволока                                             |                                             |           | 217       |           |                          |
| Твердость стали 5ХНМ без напыления                        |                                             |           | 132       |           |                          |

Таблица 3  
Матрица планирования эксперимента с заданными факторами варьирования при напылении порошком ПГ-10Н-01

| Опыт | $X_0$ | $X_1(L)$ | $X_2(T)$ | $y, HV$ (эксп.) | $y, HV$ (расчетн.) |
|------|-------|----------|----------|-----------------|--------------------|
| 1    | + 1   | -1 (30)  | -1 (22)  | 189             | 192                |
| 2    | + 1   | +1 (50)  | -1 (22)  | 183             | 168                |
| 3    | + 1   | -1 (30)  | +1 (38)  | 193             | 207                |
| 4    | + 1   | +1(50)   | +1 (38)  | 187             | 183                |

Таблица 4  
Матрица планирования эксперимента с заданными факторами варьирования при напылении порошком ПГ-10Н-01 с оплавлением

| Опыты | $X_0$ | $X_1(L)$ | $X_2(T)$ | $y, HV$ (эксп) | $y, HV$ (расчетн.) |
|-------|-------|----------|----------|----------------|--------------------|
| 1     | + 1   | -1 (30)  | -1 (22)  | 213            | 206                |
| 2     | + 1   | +1 (50)  | -1 (22)  | 208            | 214                |
| 3     | + 1   | -1 (30)  | +1 (38)  | 205            | 203                |
| 4     | + 1   | +1(50)   | +1 (38)  | 214            | 211                |

Затем исследуемый процесс описывается приближенными математическими зависимостями, например полиномом 1 степени, и после определения коэффициентов полинома производится проверка соответствия (адекватности) принятой математической зависимости экспериментальным данным. При отсутствии адекватности процесс описывается полиномами более высоких порядков с последующей проверкой адекватности.

Полинома I степени (линейной модели процесса) для двух факторов:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2. \quad (3)$$

Зачастую используют неполную квадратичную модель:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{1;2}x_1x_2, \quad (4)$$

где произведение  $x_1x_2$  называется эффектом парного взаимодействия.

Коэффициенты зависимостей (3) и (4) формулы определяют с учетом данных таблиц

матриц по формулам:

$$a_0 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^N y_u; a_1 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^N x_{ui} \cdot y_u; a_2 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^N x_i \cdot x_j \cdot y_u, \quad (5)$$

где:  $u$  - номер опыта;  $i, j$  - номер факторов;  $N$  - число опытов.

По значению коэффициентов при факторах  $x_1$  и  $x_2$  зависимостей (3) или (4) судят о степени влияния на исследуемый процесс.

Аппроксимируем процесс линейной регрессией и по формулам (5) определяем значение ее коэффициентов с учетом данных табл. 4:

$$\begin{aligned} y &= a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 \\ a_0 &= \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^N y_u = \frac{189 + 183 + 193 + 187}{4} = 188; \\ a_1 &= \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^N x_{ui} \cdot y_u = \frac{-1 \cdot 189 + +1 \cdot 183 + -1 \cdot 193 + +1 \cdot 187}{4} = -3; \\ a_2 &= \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^N x_i \cdot x_j \cdot y_u = \frac{-1 \cdot 189 + -1 \cdot 183 + +1 \cdot 193 + +1 \cdot 187}{4} = 2. \end{aligned} \quad (6)$$

С учетом полученных значений коэффициентов уравнение (6) примет вид:

$$y = 188 - 3x_1 + 2x_2. \quad (7)$$

Подставляя в уравнение (7) формулы для декодирования (1), (2), т.е.  $X_1 = \frac{L-40}{10}$  и  $X_2 = \frac{T-30}{8}$ , и заменив  $y = HV$ , получим после преобразований уравнение процесса в натуральном виде:

$$HV = 188,5 - 0,3L + 0,25T. \quad (8)$$

Аппроксимируем процесс линейной регрессией и по формулам (5) определяем значение ее коэффициентов с учетом данных табл. 4:

$$\begin{aligned} y &= a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 \\ a_0 &= \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^N y_u = \frac{213 + 208 + 205 + 214}{4} = 210; \\ a_1 &= \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^N x_{ui} \cdot y_u = \frac{-1 \cdot 213 + +1 \cdot 208 + -1 \cdot 205 + +1 \cdot 214}{4} = 1; \\ a_2 &= \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^N x_i \cdot x_j \cdot y_u = \frac{-1 \cdot 213 + -1 \cdot 208 + +1 \cdot 205 + +1 \cdot 214}{4} = -0,5. \end{aligned}$$

С учетом полученных значений коэффициентов уравнение (9) примет вид:

$$y = 210 + x_1 - 0,5x_2. \quad (9)$$

Подставляя в уравнение (10) формулы для декодирования (1), (2), т.е.  $X_1 = \frac{L-40}{10}$  и  $X_2 = \frac{T-30}{8}$ , и заменив  $y = HV$ , получим после преобразований уравнение процесса в натуральном виде:

$$HV = 207,9 + 0,1L - 0,06T. \quad (10)$$

Расчеты по формулам (8) или (10) дают результаты, идентичные экспериментальным данным, что свидетельствует об адекватности уравнения описываемому процессу.

В результате получена математическая модель процесса, позволяющая предварительно проанализировать влияние факторов. Результаты исследования образцов на износ при испытании их на стенде при постоянном контактном трении показаны в табл. 5.

Таблица 5  
*Результаты исследования на износ*

| Образец               | Вес до испытаний, гр | Вес после испытаний, гр |
|-----------------------|----------------------|-------------------------|
| Эталонный             | 74,635               | 74,611                  |
| ПГ-10Н-01             | 19,748               | 19,632                  |
| ПГ-10Н-01 оплавленный | 19,771               | 19,749                  |

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Определены факторы, влияющие на качество процесса напыления и твердости поверхности деталей.
2. Проведены эксперименты с наработкой большого массива результатов, согласно составленным матрицам планирования экспериментов.
3. Определено, что твердость поверхностного слоя, образованного микроплазменным напылением, составила 188HV и 213HV для напыления порошком ПГ-10Н-01 без оплавления и последующим оплавлением соответственно.
4. Методом испытания материалов на износостойкость при трении о не жестко закрепленные абразивные частицы (ГОСТ 23.208-79) установлено, что потери веса образцов составили: 0,116 и 0,022 гр/час для напыления порошком ПГ-10Н-01 без оплавления и последующим оплавлением соответственно.
5. В результате исследования влияния факторов наплавки на твердость напыленного слоя определены математические зависимости и составлены математические модели, описывающие этот процесс.
6. Проведено сравнение исследованных образцов по твердости напыленного слоя с образцами, напыленными другими материалами.

Получено 13.08.2018

МРНТИ 53.49.13

**Св.С. Квон, В.Ю. Куликов, А.М. Достаева, Г.Х. Адамова**

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩЕЙ ЧАСТИ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ШЛАКА**

*В работе рассмотрена возможность использования металлосодержащей части сталеплавильных и литьевых шлаков в качестве фригиторов. Показано, что введение металлосодержащей части (восстановленное железо и корольки) шлаков, полученных в процессе выплавки сталей, близких по химическому составу, можно использовать в качестве фригиторов без изменения химического состава выплавляемой стали. В результате введения данной добавки снимается перегрев и улучшаются условия теплообмена, что благоприятно сказывается на микроструктуре сплитка.*

*Бұл жұмыста фригитор ретінде болат балқыту және құю шлактарының металқұрамды бөлігін қолдану мүмкіндігі қарастырылған. Болат балқыту кезінде алынған шлактардың химиялық құрамы*

бойынша сәйкес металқұрамды бөлігін (қалыпқа келтірілген темір мен қабыршақтар) өнгізу балқытылатын болаттың химиялық құрамын өзгертусіз фригитор ретінде қолдану мүмкіндігі көрсетілген. Бұл қоспаны өнгізу нәтижесінде қызып кету болмайды және жылуалмасу жағдайы жақсарады, бұл құйманың микропұлтымына жақсы әсер етеді.

*The possibility of using a metal-bearing part of steel-smelting and casting slags as frigitors is considered. It is shown that the introduction of a metal-containing part (reduced iron and korolki) of slags obtained in the process of smelting steels similar in chemical composition can be used as frigitors without changing the chemical composition of the melted steel. As a result of the introduction of this additive, overheating is removed and the heat exchange conditions are improved, which favorably affects the microstructure of the ingot.*

**Ключевые слова:** шлак, металлосодержащая часть, корольки, фригитор, дисперсность, температура расплава.

Сталеплавильные конечные и литьевые шлаки имеют сложный химический состав, который зависит, в основном, от способа выплавки и состава шихты. Источниками формирования шлака являются продукты химических реакций окисления примесей чугуна и стали, продукты разрушения футеровки, загрязнения, которые вносятся с шихтой, флюсы и твердые окислители. Согласно [1], средний состав сталеплавильного конечного шлака при выплавке среднеуглеродистой легированной стали можно охарактеризовать следующим образом (табл. 1).

Таблица 1  
Химический состав конечного шлака, %

| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | SiO <sub>2</sub> | MnO  | CaO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | MgO |
|--------------------------------|------|------------------|------|-------|--------------------------------|-------------------------------|-----|
| 3-5                            | 9-16 | 8-17             | 9-12 | 42-51 | 2,5-4                          | 2-3,5                         | 6-9 |

Основным потребителем шлака является строительная область, которая производит щебень для строительных дорог; часть возвращается в виде окалины и скрапа в агломерационное и доменное производство; часть не используется вообще и скапливается в виде отвалов, ухудшая экологию региона.

Между тем, элементарный расчет показывает, что в 100 кг подобного шлака содержится примерно 10-12 кг железа. Помимо этого, в любом шлаке присутствуют корольки, т.е. застывшие капли выплавляемого металла. В сталеплавильных конечных шлаках их содержание составляет 3-5%, в литьевых шлаках эта цифра может достигать 10-15% в зависимости от технологии литья. Корольки содержат меньше примесей, чем основной металл, т.к. лучше рафинируются. Например, содержание углерода и серы в них может быть почти в 2 раза меньше, чем в основном металле [2].

В ряде работ [3-5] отмечается возможность использования металлосодержащих отходов (металлической стружки, возврата, рудной мелочи) в качестве инокуляторов для изменения структуры при первичной кристаллизации. Причем металлосодержащие отходы в основном используются как инокуляторы-фригиторы, т.е. вводятся в расплав для снятия перегрева и улучшения условий теплообмена. Использование таких отходов в качестве инокуляторов-фригиторов определяет их количество, обычно их содержание составляет 0,5-10% от массы расплава [4].

В данной работе исследовался состав металлосодержащей части некоторых шлаков на предмет возможности их дальнейшего использования в качестве инокуляторов-фригиторов.

Для исследования были взяты пробы шлаков после выплавки сталей 30ХГС, 30ХН2М, 40ХН после выплавки их в печи ДСП-400. Состав усредненной пробы шлака после каждой плавки приведен в табл. 2, из которой видно, что состав шлаков изменяется в нешироких пределах и близок к составу шлака, приведенному в табл. 1.

Таблица 2

*Химический состав пробы шлака*

| №<br>пробы | Состав, %       | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | SiO <sub>2</sub> | MnO  | CaO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | MgO |
|------------|-----------------|--------------------------------|------|------------------|------|------|--------------------------------|-------------------------------|-----|
|            | Плавка<br>стали |                                |      |                  |      |      |                                |                               |     |
| 1          | 30ХГС           | 3,6                            | 9,8  | 12               | 10,3 | 42,6 | 3,5                            | 2,1                           | 6,7 |
| 2          | 30ХН2М          | 3,9                            | 10,2 | 9,5              | 9,2  | 43   | 3,1                            | 1,9                           | 6,9 |
| 3          | 40ХН            | 4,3                            | 13,1 | 14,2             | 12,6 | 45,2 | 3,8                            | 2,03                          | 7,1 |

Каждая проба шлака подвергалась измельчению до фракции 1500 мкм при содержании фракции не менее 80%. Измельченный шлак нагревали в восстановительной среде при температуре 900 °С с целью восстановления окислов железа. Т.к. в результате измельчения сформировалась большая поверхность реагирования, то следовало ожидать достаточно интенсивной реакции восстановления. Затем измельченный шлак после восстановительного процесса подвергали воздействию магнитного поля как имитации процесса магнитной сепарации. В результате воздействия магнитного поля восстановленное железо и корольки отделялись от основной части шлака и подвергались химическому анализу. Результаты химического анализа приведены в табл. 3, сравнение данных которой с химическим составом проб выплавляемых сталей показывает, что все опытные пробы содержат меньшее количество углерода, серы и фосфора, но более высокое количество Si, Cr, Ni и Mo. Как отмечалось в [2], состав корольков отличается от состава основного сплава, т.к. они лучше рафинируются шлаком.

Таблица 3

*Химический состав металлоксодержащей части шлаков*

| Состав,<br>% | C    | Si   | Mn   | Ni   | Cr   | S     | P     | Mo   | Fe  |
|--------------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|-----|
| проба        |      |      |      |      |      |       |       |      |     |
| 1            | 0,18 | 1,45 | 0,09 | -    | 1,3  | 0,018 | 0,026 | -    | ост |
| 2            | 0,21 | 0,36 | 0,9  | 2,01 | 1,07 | 0,02  | 0,023 | 0,56 | ост |
| 3            | 0,22 | 0,34 | 0,75 | 1,3  | 1,8  | 0,018 | 0,022 | -    | ост |

Близкий состав опытных проб и повышенное содержание легирующих элементов позволяют предположить возможность их использования в качестве инокуляторов-фригиторов. Основанием для такого предположения является химический состав, близкий к составу основного металла, что, с одной стороны, не изменит качественно состав выплавляемого сплава, с другой, позволит улучшить условия теплообмена, что особенно важно для получения мелкозернистой структуры. Пробы 1-3 достаточно близки по химическому составу (табл. 3), поэтому логично предположить, что их можно использовать в качестве универсальной добавки при обработке сталей одной группы, т.е. близких по химическому составу.

Пробы 1-3 усреднялись, тщательно перемешивались, затем образовавшаяся общая проба (№ 4) подвергалась фракционному анализу с помощью аналитической просеивающей машины AS 200. Далее пробу № 4 разной фракции вводили в расплав сталей 30ХГС, 30ХН2М, 40ХН. Расплавление сталей проводили в модернизированной печи УИП-25,

разливку осуществляли в тигли КМЦ, масса слитка составляла 200 г. Опытную пробу № 4 разной дисперсности вводили в расплав с температурой 1560 °C с помощью специального устройства, позволяющего вводить пробу в глубину расплава.

В ходе эксперимента количество вводимой пробы не менялось и составляло 1,5%. После введения пробы фиксировалась температура расплава через 1 минуту после введения, после полного охлаждения слитка изучалась его микроструктура. Температуру расплава фиксировали с помощью пирометра GM1650, точность измерения 1,5°. Данные по влиянию дисперсности опытных проб на температуру расплава представлены в табл. 4, из которой видно, что введение опытной пробы приводит к снижению температуры расплава независимо от его природы, однако дисперсность пробы практически не влияет на величину этого изменения. При этом надо отметить, что при дисперсности пробы выше + 800 мкм в структуре присутствуют нерасплавившиеся частицы металла пробы (см. рис.).

Таблица 4  
*Влияние дисперсности пробы на температуру расплава*

| Дисперсность | 30ХГС   | 30ХН2М  | 40ХН    | Микроструктура*         |
|--------------|---------|---------|---------|-------------------------|
| без пробы    | 1560 °C | 1560 °C | 1560 °C | без включений           |
| -500 мкм     | 1541 °C | 1539 °C | 1540 °C | без включений           |
| 500-800 мкм  | 1542 °C | 1540 °C | 1541 °C | без включений           |
| +800 мкм     | 1540 °C | 1541 °C | 1540 °C | нерасплавленные частицы |

\*Микроструктура изучалась только на предмет наличия включений

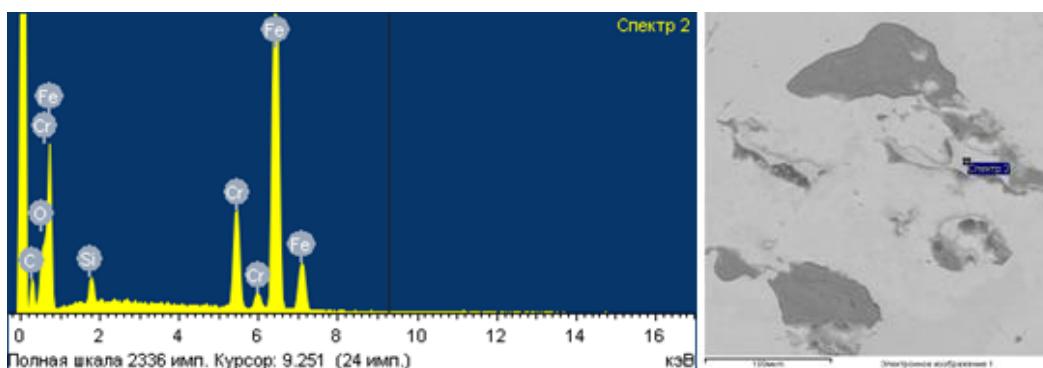


Рисунок – Наличие нерасплавившихся частиц пробы в структуре слитка

Металлическая природа данных включений была определена по химическому составу, микротвердости (средняя величина 295 HV, что ниже твердости карбидов) и дополнительным травлением. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что введение пробы дисперсностью выше +800 мкм является нецелесообразным, т.к. приводит к образованию в структуре инородных включений.

После полного охлаждения был проведен химический анализ исходных расплавов и расплавов с введенными пробами. Анализу были подвергнуты образцы с введенной пробой дисперсностью 500-800 мкм. Результаты анализа приведены в табл. 5, из которой видно, что введение пробы № 4 в количестве 1,5% от массы расплава практически не влияет на состав исходных сталей, химический состав всех испытуемых сталей после введения пробы № 4 находится в пределах, установленных соответствующими ГОСТ.

Таблица 5

*Химический анализ опытных образцов*

| Состав, %           | C         | Si        | Mn      | Ni        | Cr        | S      | P      | Mo      | Fe  |
|---------------------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|--------|--------|---------|-----|
| Плавка стали        |           |           |         |           |           |        |        |         |     |
| 30ХГС               | 0,28-0,34 | 0,9-1,2   | 0,8-1,1 | -         | 0,8-1,1   | ≤0,025 | ≤0,025 | -       | ост |
| 30ХГС с пробой № 4  | 0,29      | 1,05      | 0,9     | -         | 1,0       | 0,021  | 0,021  |         |     |
| 30ХН2М              | 0,27-0,34 | 0,17-0,37 | 0,3-0,6 | 1,25-1,65 | 0,6-0,9   | ≤0,025 | ≤0,025 | 0,2-0,3 | ост |
| 30ХН2М с пробой № 4 | 0,32      | 0,36      | 0,54    | 1,71      | 0,9       | 0,021  | 0,021  |         |     |
| 40ХН                | 0,36-0,44 | 0,17-0,38 | 0,5-0,8 | 1,0-1,4   | 0,45-0,75 | ≤0,035 | ≤0,035 | -       | ост |
| 40ХН с пробой № 4   | 0,41      | 0,32      | 0,85    | 1,32      | 0,68      | 0,027  | 0,027  | -       |     |

Проведенные исследования показали возможность использования металлосодержащей части шлаков (восстановленное железо и корольки), полученных в процессе выплавки сталей одной группы, в качестве использования инокулятора-фригитора. Оптимальной для введения в исследуемом диапазоне является фракция 500-800 мкм при количестве инокулятора 1,5%. Использование металлосодержащей части шлаков после соответствующей обработки, включающей восстановление и измельчение, в качестве фригитора позволяет снизить температуру расплава и улучшить условия теплообмена. В качестве результата подобного воздействия [4, 6] следует ожидать улучшения структуры слитка за счет уменьшения дендритной ликвации, образования дополнительных центров кристаллизации и равномерного роста зерна.

## Список литературы

1. Задиранов А.Н. Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов / А.Н. Задиранов, А.М. Кац. - М.: МГИУ, 2008. - 94 с.
2. Васильев В.А. Физико-химические основы литейного производства. - М., Интермет Инжиниринг, 2001. – 331 с.
3. Протоковилов И.В. Способы управления кристаллизацией металла слитков при ЭШП / И.В. Протоковилов, В.Б. Порохонько // Электрошлаковая технология. – 2014. - № 3. - С. 7-14.
4. Затуловский С.С. Суспензионное литье. - Киев, Наукова думка, 1989. – 260 с.
5. Harvey J.N., Noble G.A. Inoculation of cast irons // 55th Indian Foundry Congress. – 2007.
6. Issagulov A.Z., Kvon S.V., Kulikov V.Y., Aitbayev N.B. Studying microstructure of heat resistant steel deoxidized by barium ferrosilicon // Metalurgija. - 2016. - Т. 55. - № 3. - С. 388-390.

Получено 13.08.2018

## МРНТИ 29.37.15

**Н.Л. Кухарчук**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**Е.В. Блинаева**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**ВЛИЯНИЕ ЗВУКОВ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ НА КИНЕМАТИЧЕСКУЮ ВЯЗКОСТЬ  
КАЗАХСАНСКОЙ СЫРОЙ НЕФТИ**

*В статье рассматриваются результаты экспериментального воздействия звуков низкой частоты на образцы сырой нефти казахстанских месторождений. Полученные результаты свидетельствуют о снижении параметра кинематической вязкости в образцах сырой нефти. На основе полученных результатов могут быть выработаны рекомендации по применению инфразвука на нефть с целью снижения ее вязкости.*

*Мақалада төмөнгі жиіліктегі дыбыстардың Қазақстанда шығарылған шикі мұнайдың үлгілеріне эксперименттік әсерінің нәтижелері қарастырылған. Алынған нәтижелер шикі мұнай үлгілерінде кинематикалық тұтқырлық параметрінің төмендегендігін көрсетті. Алынған нәтижелер негізінде мұнайдың тұтқырлығының азайту мақсатында инфрадыбысты мұнайдың қолдану жөнінде ұсыныстар әзірленуі мүмкін.*

*In article results of experimental impact of sounds of low frequency on samples of crude oil of the Kazakhstan fields are considered. The received results testify to decrease in parameter of kinematic viscosity in samples of crude oil. On the basis of the received results recommendations about application of an infrasound on oil for the purpose of decrease in its viscosity can be developed.*

**Ключевые слова:** воздействие инфразвука на нефть, кинематическая вязкость нефти.

Акустическая кавитация - образование в жидкости пульсирующих пузырьков (каверн, полостей), заполненных паром, газом или их смесью, при прохождении звуковой волны большой интенсивности. В интенсивной звуковой волне во время полупериодов разрежения возникают кавитационные пузырьки, которые резко захлопываются после перехода в область повышенного давления, порождая сильные гидродинамические возмущения в жидкости, интенсивное излучение акустических волн и вызывая разрушение поверхностей твердых тел, граничащих с кавитирующей жидкостью.

Сырая нефть – жидккая природная ископаемая смесь углеводородов широкого физико-химического состава, которая содержит растворенный газ, воду, минеральные соли, механические примеси и служит основным сырьем для производства жидких энергоносителей (бензина, керосина, дизельного топлива, мазута), смазочных масел, битума и кокса. С химической точки зрения нефть представляет собой сложную смесь органических соединений, основу которой составляют углеводороды различного строения.

Состав и строение нефти различных месторождений нередко сильно отличаются друг от друга. Нефть, газ и газовый конденсат представляют собой смеси различных углеводородов, т.е. химических соединений углерода и водорода, различающихся числом атомов углерода С и водорода Н в каждой молекуле и ее строением [1].

Вязкость – одна из важнейших технических характеристик нефти, продуктов ее переработки, газовых конденсатов и фракций; она определяет характер процессов добычи нефти, ее поднятие на дневную поверхность, промышленного сбора и подготовку, условия перевозки и перекачки продуктов, гидродинамического сопротивления при их транспортировке по трубопроводам и др. Для некоторых видов топлив и масел вязкость служит нормированным показателем [2, 3].

Если предположить, что под воздействием звуков низкой частоты в молекулах углево-

дородов происходит разрыв связей, то химико-физические свойства нефти после обработки инфразвуком будут отличаться от химико-физических свойств до обработки.

Авторами исследования проведен эксперимент по воздействию звуков низкой частоты на пробы сырой нефти. Результаты представлены в табл. 1-3.

**Таблица 1**  
*Входные характеристики эксперимента*

| № пробы | Частота воздействия, Гц | Продолжительность воздействия, мин | Объем пробы, л |
|---------|-------------------------|------------------------------------|----------------|
|         | 10                      | 15                                 | 0,5            |
|         | 10                      | 30                                 | 0,5            |
|         | 10                      | 60                                 | 0,5            |
|         | 20                      | 15                                 | 0,5            |
|         | 20                      | 30                                 | 0,5            |
|         | 20                      | 60                                 | 0,5            |
|         | 26                      | 15                                 | 0,5            |
|         | 26                      | 30                                 | 0,5            |
|         | 26                      | 60                                 | 0,5            |

Контрольный образец объемом 0,5 л низкочастотному воздействию не подвергался.

В результате лабораторных исследований нефти, обработанной звуками низкой частоты, установлены изменения показателей кинематической вязкости

**Таблица 2**  
*Показатели кинематической вязкости при 100 °C*

| № п/п | Частота, Гц | Время, мин | Вязкость кинематическая, сСт |
|-------|-------------|------------|------------------------------|
|       | 10          | 15         | 2,2272                       |
|       | 10          | 30         | 2,1059                       |
|       | 10          | 60         | 2,1156                       |
|       | 20          | 15         | 2,1737                       |
|       | 20          | 30         | 2,1430                       |
|       | 20          | 60         | 2,1420                       |
|       | 26          | 15         | 2,1227                       |
|       | 26          | 30         | 2,1538                       |
|       | 26          | 60         | 2,1616                       |

Контрольный образец, вязкость = 2,1616 сСт.

**Таблица 3**  
*Показатели кинематической вязкости при 20 °C*

| № п/п | Частота, Гц | Время, мин | Вязкость кинематическая, сСт |
|-------|-------------|------------|------------------------------|
|       | 10          | 15         | 14,8829                      |
|       | 10          | 30         | 14,9117                      |
|       | 10          | 60         | 15,1556                      |
|       | 20          | 15         | 15,0988                      |
|       | 20          | 30         | 14,8531                      |
|       | 20          | 60         | 14,1374                      |
|       | 26          | 15         | 14,5859                      |
|       | 26          | 30         | 14,1723                      |
|       | 26          | 60         | 14,3682                      |

Контрольный образец, вязкость = 14,9356 сСт.

Полученные результаты экспериментальных исследований свидетельствуют, что показатели вязкости в среднем снизились на 1 и 2% соответственно. Основанием для объяснения полученных результатов может служить математическая модель, описывающая поведение одиночного сферического кавитационного пузырька в сферической акустической стоячей волне. Рассматривается сферическая колба, наполненная жидкостью, в которой создано акустическое поле в виде сферической стоячей волны. Распределение давления как решение линейного волнового уравнения в сферической геометрии может быть записано в виде:

$$p(r,t) = p_0 + \frac{\sin(kr)}{kr} p_a(t). \quad (1)$$

Здесь  $p_0$  - начальное однородное (атмосферное) давление;  $p_a(t) = -P_a \sin(\omega t)$  - акустическое давление в центре сферической колбы с амплитудой  $P_a$ ;  $r$  - радиальная координата;  $k = \omega/C_l$  - волновое число акустического поля;  $C_l$  и  $\omega$  - скорость звука в жидкости и частота акустической волны соответственно.

Трансляционное движение пузырька в акустическом поле происходит под действием нескольких сил: силы плавучести, силы Бьеркнеса, силы сопротивления и силы присоединенных масс.

Сила плавучести имеет вид:

$$\vec{F}_b = -V_b(p_l - p_g) \vec{g}. \quad (2)$$

Здесь  $V_b = (4/3)\pi R^3$  - объём пузырька,  $R$  - радиус пузырька,  $\rho_l$  - плотность жидкости;  $\rho_g = \rho_{g0}(R_0/R)^3$  - плотность газа в пузырьке,  $R_0$  - невозмущённый радиус пузырька.

Сила Бьеркнеса имеет вид:

$$\vec{F}_B = -V_b \vec{\nabla} p(r,t). \quad (3)$$

Сила сопротивления. В рамках Стоксовской аппроксимации использовано решение Адамара-Рыбчинского для медленного движения жидкого сферического тела, откуда и получена формула для силы, действующей на движущийся в жидкости пузырьки:

$$\vec{F}_d = C_d \pi R^2 \frac{p_l \vec{v}_l \cdot (\vec{v}_l - \vec{v}_b)}{2} = 4\pi \mu_l R (\vec{v}_l - \vec{v}_b). \quad (4)$$

Сила присоединённой массы имеет вид:

$$\vec{F}_a = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \left[ V_b p_l (\vec{v}_l - \vec{v}_b) \right]. \quad (5)$$

Сумма всех сил даёт уравнение для движения пузырька в акустическом поле:

$$m_b \frac{d \vec{v}_b}{dt} = \vec{F}_b + \vec{F}_B + \vec{F}_a + \vec{F}_d, \quad (6)$$

где  $m_b = \rho_g V_b = \text{const}$  - масса пузырька.

Подставляя в уравнение (6) формулы (2)-(5) и используя тот факт, что поле акустического давления и скорости жидкости связаны формулой  $\vec{\nabla} p = -\rho_l d \vec{v}_l / dt$ , получим, пренебрегая массой пузырька по сравнению с массой жидкости, следующее векторное обыкновенное дифференциальное уравнение для скорости пузырька:

$$\vec{v} = 3\vec{v}_l - 2\vec{g} - \left( \frac{9v_l}{R^2} + \frac{3\dot{R}}{R} \right) (\vec{v}_b - \vec{v}_l), \quad (7)$$

где точкой обозначены производные по времени.

В полярной системе координат  $(r, \theta)$  уравнение (7) представляется следующими скалярными уравнениями

$$r - r\theta^2 = 3v_l + (v_l - r)\left(\frac{9v_l}{R^2} + \frac{3\dot{R}}{R}\right) + 2g \cos\theta, \quad (8)$$

$$r\dot{\theta} + 2r\theta = 3v_l + 3v_l\theta - r\theta\left(\frac{9v_l}{R^2} + \frac{3\dot{R}}{R}\right) - 2g \sin\theta, \quad (9)$$

где

$$v_l = -\frac{P_a}{\omega\rho_l} \cos\omega t \left( \frac{\cos kr}{kr} - \frac{\sin kr}{kr^2} \right), \quad (10)$$

$$\dot{v}_l = -\frac{P_a}{\rho_l} \sin\omega t \left( \frac{\cos kr}{kr} - \frac{\sin kr}{kr^2} \right). \quad (11)$$

Объединим уравнения (8)-(11), описывающие трансляционное движения пузырька, с уравнением, описывающим радиальные колебания одиночного пузырька в вязкой слабосжимаемой жидкости [2]:

$$\begin{aligned} \left(1 - \frac{\dot{R}}{C_l}\right) R \ddot{R} + \frac{3}{2} \dot{R}^2 \left(1 - \frac{\dot{R}}{3C_l}\right) &= \left(1 + \frac{\dot{R}}{C_l}\right) \frac{p_R - p(r,t)}{\rho_l} + \frac{R}{\rho_l C_l} \frac{d}{dt} (p_R - p(r,t)), \\ p_R &= \left(p_0 + \frac{2\sigma}{R_0}\right) \left(\frac{R_0}{R}\right)^{3r} - \frac{2\sigma}{R} - \frac{4\mu_l}{R} \dot{R}. \end{aligned} \quad (12)$$

Здесь  $p(r,t)$  - акустическое давление, которое описывается уравнением (1);  $p_R$  - давление в жидкости около стенки пузырька,  $\sigma$  - коэффициент поверхностного натяжения.

Полученная модель (система уравнений (8)-(12)) описывает поведение одиночного сферического кавитационного пузырька в сферической акустической стоячей волне.

Построим алгоритм решения уравнения (12). Рассмотрим вспомогательную задачу [3]:

$$\ddot{R} = v \quad (13)$$

$$R|_{t=0} = R_0$$

$$R|_{t=t_0} = R_1,$$

$$A = \frac{d^2}{dt^2}.$$

где

Эта задача однозначно разрешима при любом  $v \in L_2$ .

Предположим, что найдется линейный оператор такой, что оператор  $Mv = B(LA^{-1}v)$  непрерывен. В решении уравнения (13) операторной форме  $u = A^{-1}v$ , т.е. решение ищем в таком виде и на полученное уравнение подействуем оператором  $B$ . Тогда имеем

$$Mv = f, \quad (14)$$

где

$$f = \left(1 + \frac{\dot{R}}{C_l}\right) \frac{p_R - p(r,t)}{\rho_l} + \frac{R}{\rho_l C_l} \frac{d}{dt} (p_R - p(r,t)).$$

Для построения метода приближенного решения уравнения (14) на оператор  $M$  наложим некоторые условия.

Предполагаем, что при  $\varepsilon \in (-\varepsilon_0, \varepsilon)$  выполнены условия (15)-(18):

$$\|D(u, v, \varepsilon)\| = \left\| \frac{M(u + \varepsilon v) - M(u)}{\varepsilon} - M'(u)v \right\| \leq \varepsilon F(\|u\|, \|v\|) \cdot \|v\|, \quad (15)$$

$$\|M'(u)\| \leq c_1(\|u\|), \quad (16)$$

$$\|u\| \leq c_2(\|Mu\|), \quad (17)$$

$$\|M'^{-1}(u)\| \leq c_3(\|u\|), \quad (18)$$

где  $F(\cdot, \cdot)$ ,  $c(\cdot)$ , ( $j=1, 2, 3$ ) - непрерывные и монотонные неубывающие функции своих аргументов;  $M'$  – оператор, первая вариация по  $u$   $M$ ;  $M'^*$  - сопряженный оператор к оператору  $M'$ .

Обозначим  $J(v) = \int_0^1 |Mv - f|^2 dt = \|Mv - f\|^2$ . Чтобы найти приближенное решение уравнения (14), минимизируем этот функционал [4]. Составим итерационный процесс:

$$u_{n+1} = u_n - \delta_0 M'^*(u_n)(M(u_n) - f), \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (19)$$

( $\delta_0$  - произвольно, но от него зависит  $u_0$ ).

Полученная модель, описывающая поведение одиночного сферического кавитационного пузырька в акустической сферической стоячей волне, была выбрана для изучения влияния низкочастотных звуков на сырую нефть.

#### Список литературы

1. Каминский Э.Ф. Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты / Э.Ф. Каминский, В.А. Хавкин. - М., 2001.
2. Рябов В.Д. Химия нефти и газа. - М., Техника, 2004.
3. Васильев Г.Г. Трубопроводный транспорт нефти / Г.Г. Васильев, Г.Е. Коробов, А.А. Коршак и др. / Под ред. М.С. Вайнштока. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – Т 1. – 408 с.
4. Мырзакожа Д.А. Современные методы исследования / Д.А. Мырзакожа, А.А. Мирзаходжаев. - Алматы, 2006. – 303 с.
5. Ауэзова Г.А. Исследование состава отдельных фракций нефтей Акшабулак и Жетыбай методом хромато-массспектрометрии / Г.А. Ауэзова, Г.С. Татыханова, А.Ж. Иматова. - Вестник КазНТУ. - № 6 (82). – С. 2010-1224.
6. Журавлева Е.Д. Нефти и породы Тенгизского месторождения. - М. - Деп. в ВИНТИ, 22.11.90, № 5877-В 90.
7. Букейханов Н.Р. Новые нефти Казахстана / Н.Р. Букейханов, Б.У. Уразгалиев. // Междунар. конф. по химии нефти: Тезисы докладов. - Томск, 1992.- С. 346.

Получено 13.08.2018

МРНТИ 28.23.37

**А.А. Савостин, Г.В. Савостина**Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева,  
г. Петропавловск**ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ БИНАРНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ  
ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

*В статье рассматривается метод использования искусственных нейронных сетей для классификации электрокардиографических данных. Найдены оптимальный вектор входных параметров и архитектура нейронной сети, способной распознать инфаркт миокарда определенной локализации на фоне данных электрокардиограмм здоровых людей. Выполнена тренировка сети на подготовленной обучающей выборке. На основании полученных экспериментальных данных сделаны выводы об эффективности использования предложенного метода и возможностях его применения для выявления других патологических изменений в электрокардиосигналах.*

*Мәқалада электрокардиографиялық деректердің жіктеу үшін жасанды нейрондық желілердің қолдану өдісі қарастырылады. Сау адамның электрокардиограммасының фонинда белгілі бір локализацияның миокард инфарктін тани алатын кіріс параметрлері мен нейрондық желі күрьымының оңтайтын векторы тыбылды. Дайындалған оқыту үлгісінде желіні машиқтаңдыру өткізілді. Эксперименттік деректер негізінде ұсынылған өдістердің тиімділігін туралы және олардың электрокардиосигналдардағы басқа патологиялық өзгерістерді анықтау үшін қолдану мүмкіндіктері туралы тұжырымдар жасалды.*

*This article considers the method of using artificial neural networks for the classification of electrocardiographic data. The article found the optimal vector of input parameters and the architecture of a neural network capable of recognizing a myocardial infarction of a certain localization against the background of electrocardiograms of healthy people. A network training was conducted on the prepared training sample. Conclusions are drawn about the effectiveness of using the proposed method and the possibilities of its application for detecting other pathological changes in electrocardiograms based on the experimental data.*

**Ключевые слова:** электрокардиограмма, ЭКГ, классификация, нейронная сеть.

На сегодняшний день автоматизированный анализ электрокардиограмм (ЭКГ) человека представляет собой достаточно сложную теоретическую и практическую задачу. Это в первую очередь связано с физиологическим происхождением электрокардиосигнала, которое обуславливает его недетерминированность, разнообразие и изменчивость, нестационарность и подверженность многочисленным видам помех. Т.е. проблема интерпретации ЭКГ приобретает все признаки плохо формализованной задачи. Данный тип задач обычно не имеет четких и явных алгоритмов решения, поскольку в их условие входит большое число сложно комбинирующихся факторов. Поэтому большое значение приобретает опыт – явная или неявная память о предыдущих ситуациях, подразумевающий правильное принятие решения не только в случае повторения ситуации, но и при возникновении не встречавшейся ранее [1]. В связи с этим в задачах автоматизированной классификации электрокардиографических данных вполне обосновано ожидать положительного эффекта от использования искусственных нейронных сетей (ИНС) с их способностью к обучению и обобщению полученных знаний.

Основываясь на вышеизложенном, в данной работе авторы предлагают подход к решению задачи интерпретации ЭКГ методами автоматизированного анализа и классификации при помощи аппарата ИНС для поддержки принятия решений врачом-кардиологом.

ЭКГ человека фиксируются на поверхности тела с помощью различных систем отведений. В клинической электрокардиографии получили наиболее широкое распространение 12 ЭКГ-отведений: 3 стандартных, 3 усиленных однополюсных отведений от конечностей и 6 грудных отведений [2]. При этом для выявления патологий сердечной дея-

тельности производится анализ формы и длительности соответствующих элементов ЭКГ, полученных в определенных отведениях, на предмет их отклонения от нормы (рис. 1).

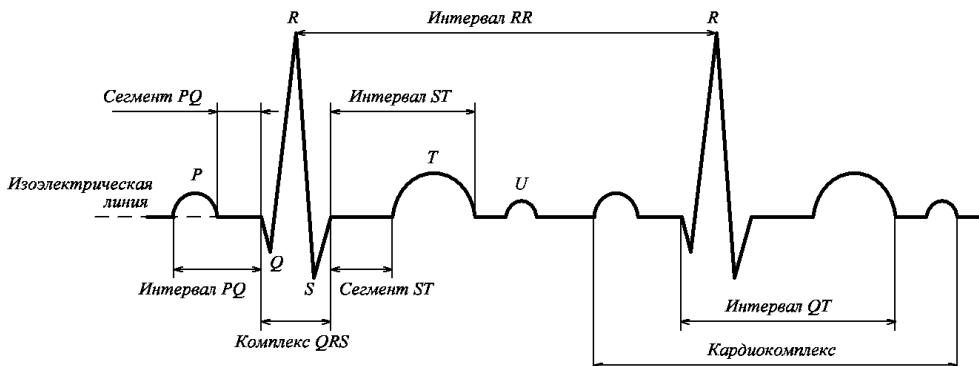


Рисунок 1 – Схематическое изображение элементов нормальной ЭКГ

Это объясняется тем, что форма ЭКГ в отведениях определяется величиной и направлением вектора электродвигущей силы сердца в соответствующих им фронтальных или горизонтальных плоскостях. Поэтому по отклонению ЭКГ от нормы можно выявить наличие патологии и ее пространственное расположение.

Так, при диагностировании острого инфаркта миокарда должны быть проанализированы различные комбинации из 12 отведений для определения его локализации. К примеру, при заднедиафрагмальном (нижнем) инфаркте миокарда характерные признаки в изменении ЭКГ проявляются в отведениях от конечностей II, III, aVF и в грудных отведениях V<sub>1</sub>–V<sub>4</sub> [2]. Другие локализации требуют анализа своих групп отведений.

Различным патологиям сердечно-сосудистой системы (ССС) соответствует свой набор характерных признаков изменения формы ЭКГ в 12 отведениях. Поскольку количество известных заболеваний ССС весьма велико и требует анализа комплекса элементов ЭКГ (рис. 1) в нескольких отведениях, то, по мнению авторов, при автоматизированном анализе и классификации ЭКГ целесообразно выбрать путь создания отдельных алгоритмов по интерпретации узкого класса патологий. Объединение таких алгоритмов в единый кластер позволит обеспечить гибкость, функциональность и масштабируемость процесса интерпретации ЭКГ, а применительно к аппарату ИНС позволит избежать явления «проклятия размерности» [3].

Таким образом, задача исследования заключается в создании методики проектирования ИНС, способной классифицировать определенный класс заболеваний ССС по данным ЭКГ в стандартных отведениях. Для этого используются данные ЭКГ острого инфаркта миокарда (локализация – нижний, далее НИМ) и здоровых людей.

При формировании обучающего набора данных ИНС в работе была использована открытая база записей The PTB Diagnostic ECG Database [4]. Все исходные сигналы ЭКГ были обработаны банком цифровых фильтров для устранения влияния аддитивных помех.

Для выделения низкочастотного дрейфа изолинии [5] применялась фильтрация во временной области при помощи фильтра скользящего среднего. Обработка сигнала выполнялась в два этапа: на первом этапе – с размером окна  $L_1 = 0,3f_s$ , на втором –  $L_2 = 0,67f_s$ , где  $f_s$  – частота дискретизации. Для подавления высокочастотных помех использована последовательная обработка сигналов фильтрами Баттервортса шестого порядка  $N = 6$  с частотой среза  $f_{LP} = 75$  Гц и режекторным фильтром второго порядка  $N = 2$  с частотой

режекции на  $f_C = 50$  Гц. Благодаря удалению низкочастотной составляющей ЭКГ-сигналы на выходе фильтров оказываются центризованными относительно нуля.

Как отмечалось, НИМ проявляется в изменении формы ЭКГ в отведениях II, III, aVF, V<sub>1</sub> – V<sub>4</sub>. При этом типичными признаками инфаркта миокарда являются патологический зубец Q или комплекс QS, уменьшение амплитуды зубца R, подъем сегмента RST (ST) и отрицательный зубец T (рис. 1) [2]. Очевидно, что данные признаки будут определять объект НИМ, а их количественные характеристики могут определить вектор входных параметров ИНС.

Для детектирования перечисленных признаков на ЭКГ в работе использовались алгоритмы и программные функции [6], основанные на классическом алгоритме поиска R зубца Пана-Томпкинса [7]. При этом производилось извлечение из кардиокомплексов зубца Q (от начала QRS комплекса до вершины зубца R), сегмента ST и зубца T (рис. 1).

Как показала практика применения указанных инструментов, в силу нестационарности сигнала детектированные элементы ЭКГ в пределах одного отведения очень часто существенно отличались друг от друга по форме и длительности. Это еще раз доказывает сложность использования методов классификации ЭКГ по эталонным образцам и подтверждает обоснованность применения аппарата ИНС с самостоятельным выбором признаков в процессе обучения. Использование ИНС совместно с известными алгоритмами детектирования позволит уменьшить число ошибок классификации, возникающих из-за априорной ограниченной чувствительности данных алгоритмов.

С учетом этого для количественной оценки детектированных элементов ЭКГ как дискретного сигнала  $s_i(kT)$  в работе использовались следующие характеристики:  $Int(s_i)$  – определенный интеграл от функций исследуемых элементов ЭКГ  $s_i$  как мера оценки энергии сигнала;  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение элементов ЭКГ  $s_i$  как мера неопределенности.

В процессе формирования обучающей выборки была проделана обширная работа по анализу записей сигналов, входящих в используемую базу данных [4]. Поскольку форма элементов ЭКГ весьма изменчива, удалось отобрать 453 кардиокомплекса с детектированными элементами ЭКГ, принадлежащих здоровым людям, и 479 с диагнозом НИМ, итого  $M = 932$  кардиокомплекса. При отборе данных ставилась задача максимально отразить в обучающей выборке разнообразие форм ЭКГ в норме и при патологии в оптимальных пропорциях.

Набор входных параметров ИНС представлен вектором  $p$  из  $R = 18$  элементов (табл. 1). Каждому объекту ставится в соответствие результат в виде вектора  $y$ , причем  $y^{(m)} = \{0, 1\}$  соответствует ЭКГ здорового человека, а  $y^{(m)} = \{1, 0\}$  свидетельствует о наличии НИМ ( $m = 1, 2, \dots, M$ ).

На основании эмпирического поиска и существующих методов моделирования ИНС [8] для классификации объектов ЭКГ в работе используется многослойная нейронная сеть прямой передачи сигнала (рис. 2), содержащая слои входной, скрытый и выходной.

На рис. 2 приняты следующие обозначения: вектор входа  $p^i$  с  $R$  элементами  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_R$ ; матрица весов входа  $W^{11}$  и выхода  $W^{21}$  соответственно (верхние индексы указывают слой-адресат и слой-источник);  $b$  – вектор смещения (здесь и далее одиночный верхний индекс указывает на номер слоя);  $S^1$  – число нейронов в скрытом слое;  $S^2$  – число нейронов в выходном слое;  $n^1 = W^{11} * p + b^1$ ,  $n^2 = W^{21} * p + b^2$  – смещение суммируется со взвешенной суммой входов и служит аргументом для активационной функции слоя  $f^1$  и  $f^2$ ;  $a^1$  – выход скрытого слоя,  $a^2 = y^i$  – выход последнего слоя, являющийся выходом сети.

Таблица 1  
Набор входных признаков моделируемой ИНС

| Объекты<br>$p^{(m)}$ | Исходные признаки |             |             |             |             |             |     |        |     |     |        |     | Результаты<br>$y^{(m)}$ |                |
|----------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|--------|-----|-----|--------|-----|-------------------------|----------------|
|                      | II                |             |             |             | III         |             |     |        | avF |     |        |     |                         |                |
|                      | Q                 |             | ST          |             | T           |             | Q   | S<br>T | T   | Q   | S<br>T | T   |                         |                |
|                      | $Int(s_i)$        | $\sigma$    | $Int(s_i)$  | $\sigma$    | $Int(s_i)$  | $\sigma$    | ... | ...    | ... | ... | ...    | ... | $Int(s_i)$              | $\sigma$       |
| $p_{Rx1}^{(1)}$      | $p_1^{(1)}$       | $p_2^{(1)}$ | $p_3^{(1)}$ | $p_4^{(1)}$ | $p_5^{(1)}$ | $p_6^{(1)}$ | ... | ...    | ... | ... | ...    | ... | $p_{17}^{(1)}$          | $p_{18}^{(1)}$ |
| ...                  | ...               | ...         | ...         | ...         | ...         | ...         | ... | ...    | ... | ... | ...    | ... | ...                     | ...            |
| $p_{Rx1}^{(M)}$      | $p_1^{(M)}$       | $p_2^{(M)}$ | $p_4^{(M)}$ | $p_5^{(M)}$ | $p_7^{(M)}$ | $p_8^{(M)}$ | ... | ...    | ... | ... | ...    | ... | $p_{17}^{(M)}$          | $p_{18}^{(M)}$ |
|                      |                   |             |             |             |             |             |     |        |     |     |        |     | $y_1^{(M)}$             | $y_2^{(M)}$    |

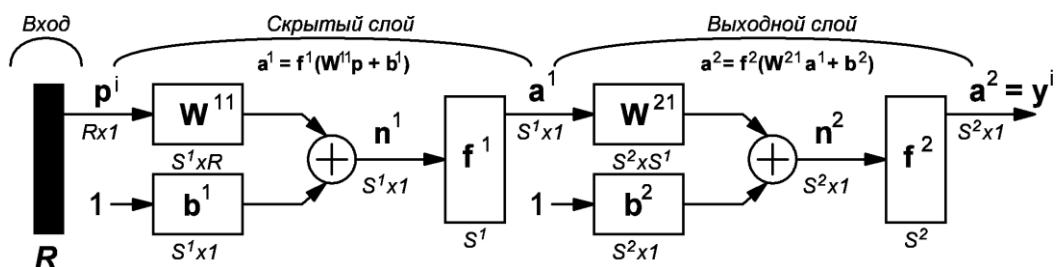


Рисунок 2 – Архитектура искусственной нейронной сети

Число входов равно размерности вектора признаков исследуемого объекта  $R = 18$  в соответствии с табл. 1. В скрытом слое используется  $S^l = 20$  нейронов с сигмоидальной активационной функцией  $f^l$ :

$$f^l(n_j) = \text{sigmoid}(n_j) = \frac{1}{1 + e^{-n_j}}, \quad (1)$$

где  $n_j$  –  $j$ -й элемент вектора  $n^l$  при  $j = 1, 2, \dots, S^l$ .

Поскольку количество детектируемых классов равно двум, то в выходном слое используются два нейрона  $S^2 = 2$  с активационной функцией  $f^2$  softmax:

$$f^2(n_j) = \text{softmax}(n_j) = \frac{e^{n_j}}{\sum_{k=1}^{S^2} e^{n_k}}, \quad (2)$$

где  $n_j$  –  $j$ -й элемент вектора  $n^2$  при  $j = 1, 2, \dots, S^2$ . Результат функции softmax есть преобразование входного вектора  $n^2$  размерности  $S^2 \times 1$  в вектор  $a^2$  той же размерности (рис. 2), где каждая координата полученного вектора представлена вещественным числом в интервале (0,1), показывающим вероятность того, что соответствующий класс будет истинным.

Для обучения сети использовался алгоритм с обратным распространением ошибки SCG (Scaled Conjugate Gradiene) [3]. Моделирование и обучение сети производилось в программе MATLAB 8.

На рис. 3, а показана зависимость величины ошибки обучения от числа циклов обучения.

В качестве параметра ошибки используется средняя кроссэнтропия по всем учебным примерам  $M$ :

$$C = -\frac{1}{M} \sum_{m \in M} \sum_{j=1}^{S^2} y_j^{(m)} \log a_j^{(m)}, \quad (3)$$

где  $a^{(m)}$  – предсказание классификатора для текущего обучающего примера;  $y^{(m)}$  – требуемый выход для текущего примера.

Как следует из рис. 3, а, обучение ИНС было остановлено на 76 цикле, так как обобщающая способность сети по контрольной выборке (обозначена как «Validation» на рис. 3) начала ухудшаться. При этом на 70 цикле классификатор достиг минимизации функции ошибки (3) в пространстве весов.

На рис. 3, б показана ROC-кривая (Receiver Operator Characteristic) для полученного классификатора, показывающая зависимость истинно положительного множества  $TPR$  от ложноотрицательного  $FPR$  [6]. Форма ROC-кривой на рис. 3, б близка к идеальному случаю, когда функция проходит через точку с координатой  $(0, 1)$ , т.е. когда классификатор не делает ошибок ( $FPR = 0, TPR = 1$ ).

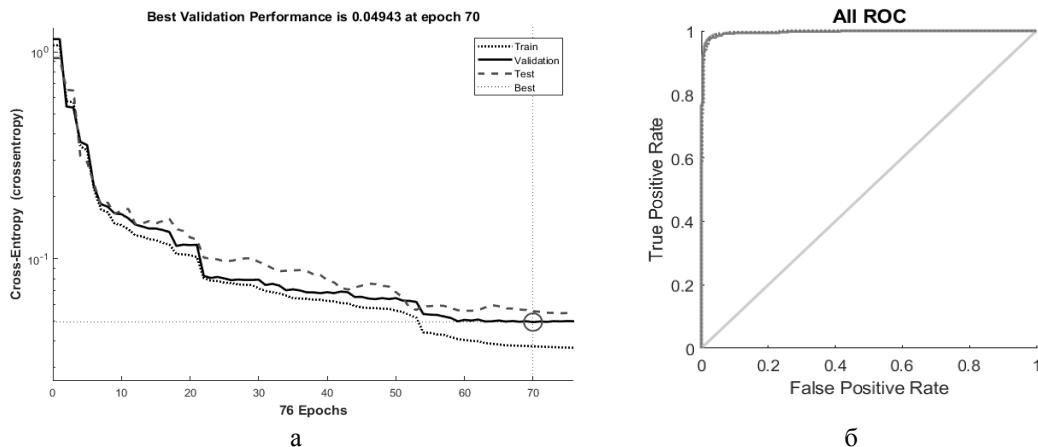


Рисунок 3 – Результаты обучения ИНС: а – зависимость величины ошибки обучения от числа циклов обучения; б – ROC-кривая

Полученные метрики обучения ИНС показывают, что доля правильных ответов классификатора (*accuracy*) составляет около 98%. Однако из-за некоторой неравномерности обучающей выборки целесообразно ориентироваться на величину *precision* и *recall*, показанных в табл. 2, в которой для объединения *precision* и *recall* в агрегированный критерий качества используется F-мера как среднее гармоническое *precision* и *recall* [9]:

$$F_\beta = (1 + \beta^2) \frac{Precision \cdot Recall}{(\beta^2 Precision) + Recall}, \quad (4)$$

где  $\beta = 1$  определяет вес точности в метрике.

Таблица 2  
*Полученные значения precision и recall для каждого класса по всей обучающей выборке*

| Класс                    | Precision, % | Recall, % | F-мера |
|--------------------------|--------------|-----------|--------|
| Положительный (НИМ)      | 98,5         | 96,7      | 0,98   |
| Отрицательный (здоровые) | 96,5         | 98,5      | 0,97   |
| Среднее                  | 97,5         | 97,6      | 0,98   |

Как следует из данных табл. 2, ИНС делает больше ошибок первого рода, что при решении задачи классификации ЭКГ является более приемлемым вариантом.

На основании полученных результатов можно утверждать об эффективности предложенного метода бинарной классификации электрокардиологических данных с применением ИНС. Используя описанный в работе подход, можно производить оценку сигналов по другим отведениям на предмет поиска инфарктов отличной локализации, а также иных патологий ССС человека. Также, используя описанный в статье принцип формирования вектора входных признаков, возможно модернизировать архитектуру ИНС для выполнения многоклассовой классификации ЭКГ.

#### Список литературы

1. Магрупов Т.М. Анализ и обработка медико-биологической информации / Т.М. Магрупов, С.А. Васильева, М.Т. Магрупова. – Т.: ТашГТУ, 2012. – 152 с.
2. Мурашко В.В. Электрокардиография: Учеб. пособие / В.В. Мурашко, А.В. Струтинский. – 12-е изд. – М.; МЕДпресс-информ, 2014. – 320 с.
3. Медведев В.С. Нейронные сети. MATLAB 6 / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин / Под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с.
4. Goldberger A.L., Amaral L.A., Glass L. et. al. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals. Circulation. 2000. № 101(23). РР. 215-220.
5. Kligfield P., Gettes L.S., Bailey J.J., et al. Recommendations for the Standardization and Interpretation of the Electrocardiogram. Part I. AHA/ACC/HRS Scientific Statements. Circulation. 2007. № 115. РР. 1306-1324.
6. Silva I., Moody G. An Open-source Toolbox for Analysing and Processing PhysioNet Databases in MATLAB and Octave. Journal of Open Research Software. № 2(1). 2014.
7. Pan J. F., Tompkins W.J. Real-time QRS-detection algorithm / Pan J.F., Tompkins W.J. IEEE Trans. Biomed. Eng. 1985. № 32(3). РР. 230-236.
8. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс / Пер. с англ. - 2-е изд.– М.: Изд. дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
9. Davis J., Goadrich M. The Relationship Between Precision-Recall and ROC Curves. // Proceedings of the 23rd International Conference on Machine Learning. Pittsburgh, PA. 2006.

Получено 13.08.2018

МРНТИ 55.13.99

**А.Ж. Таскарина, Г.Т. Итыбаева, Ж.К. Мусина, А.Ж. Касенов**

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ РЕЗЦОВОЙ СБОРНОЙ РАЗВЁРТКОЙ С ЖЁСТКИМ КРЕПЛЕНИЕМ БЕЗВЕРШИННЫХ ЗУБЬЕВ**

Выполнены экспериментальные исследования обработки отверстий сборной резцовой разверткой с использованием математического аппарата многофакторного эксперимента типа  $2^3$ . В качестве параметров оптимизации выбраны: отклонение диаметра и шероховатость; факторов: частота вращения шпинделя, подача и длина обработки. Выполнен статистический анализ полученного уравнения регрессии (критерий Стьюдента и критерий Фишера). По полученным адекватным моделям вычислено значение исследуемого параметра (отклонение диаметра, шероховатость поверхности) при любом сочетании значений факторов, находящихся в области экспериментирования.

$2^3$  типті көп факторлы математикалық аппаратты пайдалана отырып кескіш құрамалы үңғылағышпен тесіктеді өңдеуге, эксперименттік зерттеулер жасалды. Оңтайланыруды параметрлері ретінде диаметрінің ауытқуы және кедір-бұдырлығы; факторлар: шпиндельдің айналу жиілігі, беріс және өңдеу ұзындығы таңдалды. Алынған тәндеу регрессияларына (Стьюдент критерийі мен Фишер критерийі) статистикалық талдау жасалды. Эксперимент аумағында орналасқан факторлар мәндерінің кез келген үйлесімі үшін алынған барабар модельдер арқылы, зерттелетін параметрдің (диаметр ауытқуы, беттің кедір-бұдырлығы) мәні есептелді.

Experiments were carried out with the use of mathematical tools such as multi-factor experiment  $2^3$ . As the optimization parameter, the following elements have been selected: deviation diameter and the burr; factors: frequency of spindle speed, feed and the length of treatment. We carry out a statistical analysis of the results of the regression equation (Student criterion and Fisher's exact test). According to the yielded findings, adequate model we calculate the value of the studied parameters (diameter deviation, surface roughness) for any combination of values of the factors that are in the area of experimentation.

**Ключевые слова:** резание, отверстие, развертка, качество, точность, шероховатость (поверхности), эксперимент, факторы, модель.

Повышение эффективности исследований возможно с применением математических методов и построения математической теории планирования эксперимента [1, 2].

Экспериментальные исследования проведены с применением математического аппарата многофакторного эксперимента типа  $2^3$ . В качестве параметров оптимизации выбрано отклонение диаметра, шероховатость, а в качестве факторов – частота вращения шпинделя, подача и глубина резания (табл. 1).

Обработка отверстий резцовой сборной разверткой с жёстким креплением безвершинных зубьев осуществлялась на вертикально-сверлильном станке модели 2А135. Обработка отверстий диаметром  $d = 45$  мм, длиной 20, 45 и 90 мм из стали 45 производилась со смазывающе-охлаждающей жидкостью (Укринол-1) и без неё.

Таблица 1  
Значения варьируемых факторов

| Уровни варьирования факторов | Значения факторов   |              |           |                |                    |                |
|------------------------------|---------------------|--------------|-----------|----------------|--------------------|----------------|
|                              | частота вращения, п |              | подача, S |                | глубина резания, t |                |
|                              | нат.                | код.         | нат.      | код.           | нат.               | код.           |
| об/мин                       | X <sub>1</sub>      |              | мм/об     | X <sub>2</sub> | мм                 | X <sub>3</sub> |
| Основной                     | 114                 | 0            | 0,9       | 0              | 0,375              | 0              |
| Верхний                      | 160                 | +1           | 1,60      | +1             | 0,5                | +1             |
| Нижний                       | 68                  | -1           | 0,20      | -1             | 0,25               | -1             |
| Интервал варьирования        | 46                  | $\Delta X_1$ | 0,7       | $\Delta X_2$   | 0,125              | $\Delta X_3$   |

По [3, с. 381–382] рассчитываем глубину резания, скорость резания и подачу, далее, учитывая паспортные данные вертикально-сверлильного станка модели 2А135, устанавливаем пределы варьирования (верхний и нижний) и составляем матрицу планирования [4]. Согласно матрице планирования проводим экспериментальные исследования, выполняем необходимые вычисления по известным формулам, приведенным в [5-7], и полученные результаты сводим в табл. 2.

Таблица 2  
Результаты расчётов на отклонение отверстий  $\varnothing 45$  мм при  $l = 45$  мм

| № опыта |    |    | Результаты опытов, $y_{il}$ |        |        | Среднее значение, $\bar{y}$ | Дисперсия, $S_i^2$     | Параметр оптимизации, $\hat{y}$ |
|---------|----|----|-----------------------------|--------|--------|-----------------------------|------------------------|---------------------------------|
| 1       | 9  | 17 | 45,010                      | 44,998 | 45,014 | 45,0073                     | $0,0693 \cdot 10^{-3}$ | 44,967                          |
| 2       | 10 | 18 | 45,000                      | 45,002 | 45,008 | 45,0033                     | $0,0173 \cdot 10^{-3}$ | 45,044                          |
| 3       | 11 | 19 | 45,016                      | 45,012 | 45,016 | 45,0147                     | $0,0053 \cdot 10^{-3}$ | 45,056                          |
| 4       | 12 | 20 | 46,000                      | 45,016 | 45,020 | 45,3453                     | $3,2144 \cdot 10^{-1}$ | 45,305                          |
| 5       | 13 | 21 | 45,012                      | 45,010 | 45,016 | 45,0127                     | $0,0093 \cdot 10^{-3}$ | 45,009                          |
| 6       | 14 | 22 | 45,008                      | 44,998 | 45,010 | 45,0053                     | $0,0413 \cdot 10^{-3}$ | 44,965                          |
| 7       | 15 | 23 | 46,000                      | 45,012 | 45,016 | 45,3427                     | $3,2340 \cdot 10^{-1}$ | 45,302                          |
| 8       | 16 | 24 | 45,014                      | 46,000 | 45,016 | 45,3433                     | $0,9181 \cdot 10^{-1}$ | 45,384                          |

По  $m$  параллельным опытам находится среднее значение функции отклика каждой строки матрицы планирования:

$$\bar{y}_i = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m y_{il} \quad 1 = 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где  $y_{il}$  – значение функции отклика в  $l$ -м параллельном опыте;  $i$  – номер опыта в матрице планирования;  $N$  – число опытов в матрице планирования.

В первом опыте среднее значение равно:

$$y_1 = (45,010 + 44,998 + 45,014) / 3 = 45,0073.$$

Аналогично определены средние значения  $y_i$  в других опытах (табл. 3).

Прежде чем приступить к определению модели эксперимента в виде уравнения регрессии, необходимо произвести проверку воспроизводимости эксперимента для исследуемого объекта.

Проверяем гипотезу однородности дисперсии по  $G$ -критерию Кохрена:

$$G = S_{i_{\max}}^2 / \sum_{i=1}^N S_i^2. \quad (2)$$

Оценка дисперсии опыта:

$$S_i^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{l=1}^m (y_{il} - \bar{y}_i)^2, \quad (3)$$

$$S_1^2 = \frac{1}{(3-1)} [(45,010 - 45,0073)^2 + (44,998 - 45,0073)^2 + (45,014 - 45,0073)^2] = 0,0693 \cdot 10^{-3}.$$

Полученные значения  $S_i^2$  для других опытов представлены в табл. 3.

Определяем дисперсию ошибки опыта:

$$S_{\text{ou}}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2 = \frac{0,737}{8} = 0,092 . \quad (4)$$

Определяем максимальное значение дисперсии:

$$S_{i_{\max}}^2 = 0,324$$

Сумма дисперсий:

$$\sum S_i^2 = 0,737$$

$$G = \frac{0,324}{0,737} = 0,439$$

Табличное значение критерия при 5%-м уровне значимости равно  $G_{\text{табл}} = 0,5157$  [3, с. 10]. Полученное значение критерия меньше табличного, поэтому эксперимент считается воспроизводимым.

После оценки воспроизводимости эксперимента определяем величины коэффициентов уравнения регрессии:

$$\beta_q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_{iq} \cdot y_i; q=0 \dots n, \quad (5)$$

где  $z_{iq}$  –табл. 3;  $n$  – число коэффициентов.

$$b_0 = \frac{1}{8} (45,0073 + 45,0033 + 45,0147 + 45,3453 + 45,0127 + 45,0053 + 45,3427 + 45,3433) = 45,134;$$

$$b_1 = \frac{1}{8} (-45,0073 + 45,0033 - 45,0147 + 45,3453 - 45,0127 + 45,0053 - 45,3427 + 45,3433) = 0,040;$$

$$b_2 = \frac{1}{8} (-45,0073 - 45,0033 + 45,0147 + 45,3453 - 45,0127 - 45,0053 + 45,3427 + 45,3433) = 0,127;$$

$$b_3 = \frac{1}{8} (-45,0073 - 45,0033 - 45,0147 - 45,3453 + 45,0127 + 45,0053 + 45,3427 + 45,3433) = 0,042.$$

Затем проводим проверку значимости коэффициентов уравнения регрессии. Для этого определяем дисперсии коэффициентов:

$$S^2 \{\beta_q\} = \frac{S_{\text{ou}}^2}{m \sum_{i=1}^m z_{iq}^2} = \frac{0,092}{3 \cdot 8} = 0,0038 \quad (6)$$

и среднеквадратичное отклонение:

$$S \{\beta_q\} = \sqrt{S^2 \{\beta_q\}} = \sqrt{0,0038} = 0,062. \quad (7)$$

Табличное значение t-критерия для 5%-го уровня значимости и числа степеней 8 (3-1) = 16 равно 2,12 распределения Стьюдента [3, с. 13]. Вычисляем критическое значение коэффициентов уравнения регрессии из формулы 8:

$$t_q = \frac{|\beta_q|}{S \{\beta_q\}}, \quad (8)$$

$$\beta_{q \text{крит}} = t_{\text{крит}} \cdot S \{\beta_q\} = 2,12 \cdot 0,062 = 0,131$$

Значение  $\beta_q$  меньше  $t_{\text{крит}}$ , поэтому его можно признать статистически незначимым и исключить из уравнения регрессии. Тогда интерполяционная модель примет вид:

$$y = 45,134 + 0,040x_1 + 0,127x_2.$$

Для проверки адекватности полученной модели необходимо вычислить остаточную дисперсию, предварительно вычисляя параметр оптимизации  $\hat{y}_i$ :

$$S_{ocm}^2 = \frac{1}{N-d} \sum_{i=1}^N m(y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (9)$$

где  $d$  – число значимых коэффициентов в модели,  $d = 7$ ;  $y_i$  – значение функции отклика, вычисленное по полученной модели для условий  $i$ -го опыта.

$$S_{ocm}^2 = \frac{1}{8-7} [3(45,0073 - 44,967)^2 + 3(45,0033 - 45,044)^2 + 3(45,0147 - 45,056)^2 + \dots + 3(45,3433 - 45,384)^2] = 0,035.$$

Однородность дисперсий  $S_{ocm}^2$  и  $S_{ou}^2$  проверяется с помощью  $F$ -критерия, сопоставляя расчётное значение критерия Фишера с табличным [3, с. 14].

$$F = \frac{S_{ocm}^2}{S_{ou}^2} = \frac{0,035}{0,092} = 0,38 < 2,85 = F_{\text{рабл}}. \quad (10)$$

Так как  $F < F_{\text{рабл}}$ , то модель адекватно описывает процесс, то есть признаётся пригодной.

Чтобы получить модель в натуральных переменных  $n$ ,  $S$ , необходимо вместо  $X_1$ ,  $X_2$  подставить выражения:

$$X_1 = \frac{2(\ln \bar{X}_1 - \ln 160)}{\ln 160 - \ln 68} + 1, \quad X_2 = \frac{2(\ln \bar{X}_2 - \ln 1,60)}{\ln 1,60 - \ln 0,20} + 1. \quad (11)$$

Формулы преобразования получены путём подстановки верхних и нижних уровней факторов в выражение (7):

$$\ln d = 45,134 + 0,040 \left[ \frac{2(\ln n - \ln 160)}{\ln 160 - \ln 68} + 1 \right] + 0,127 \left[ \frac{2(\ln S - \ln 1,60)}{\ln 1,60 - \ln 0,20} + 1 \right]. \quad (12)$$

Решая выражение (12), находим зависимость отклонения диаметра от исследуемых факторов процесса обработки отверстия.

При длине 45 мм:

$$\Delta d = 0,0057 \frac{S^{0,114}}{n^{0,094}}. \quad (13)$$

Согласно формулам (1)-(10) определяем зависимость отклонения диаметра от исследуемых факторов процесса обработки отверстия при  $l = 20$  мм и  $l = 90$  мм.

При длине 20 мм:

$$\Delta d = 0,0032 \frac{S^{0,084}}{n^{0,077}}. \quad (14)$$

При длине 90 мм:

$$\Delta d = 0,009 \frac{S^{0,261}}{n^{0,184}}. \quad (15)$$

Аналогично по вышеописанной методике выполнены необходимые вычисления шероховатости поверхности отверстия Ø 45 мм (табл. 3).

Таблица 3

*Результаты расчёта шероховатости поверхности отверстия Ø 45 мм при длине 45 мм*

| № опыта |    |    | Результаты опытов, $y_{il}$ |       |       | Среднее значение, $\bar{y}$ | Дисперсия, $S_i^2$ | Параметр оптимизации, $\hat{y}$ |
|---------|----|----|-----------------------------|-------|-------|-----------------------------|--------------------|---------------------------------|
| 1       | 9  | 17 | 0,160                       | 0,200 | 0,250 | 0,2033                      | 0,0020             | 0,233                           |
| 2       | 10 | 18 | 0,125                       | 0,150 | 0,130 | 0,1350                      | 0,0002             | 0,105                           |
| 3       | 11 | 19 | 0,300                       | 0,400 | 0,400 | 0,3667                      | 0,0033             | 0,337                           |
| 4       | 12 | 20 | 0,600                       | 0,800 | 0,600 | 0,6667                      | 0,0133             | 0,696                           |
| 5       | 13 | 21 | 0,200                       | 0,600 | 0,600 | 0,4667                      | 0,0533             | 0,275                           |
| 6       | 14 | 22 | 0,125                       | 0,160 | 0,200 | 0,1617                      | 0,0014             | 0,191                           |
| 7       | 15 | 23 | 0,400                       | 0,600 | 0,400 | 0,4667                      | 0,0133             | 0,496                           |
| 8       | 16 | 24 | 0,800                       | 0,750 | 0,750 | 0,7667                      | 0,0918             | 0,737                           |

На основании данных табл. 3 выполнены соответствующие расчёты и получены зависимости шероховатости поверхности отверстия Ø 45 мм от частоты вращения, подачи и глубины резания для следующих длин:

- при длине 45 мм:

$$Ra = 1,44 \frac{S^{0,441}}{n^{0,312}}; \quad (16)$$

- при длине 20 мм:

$$Ra = 0,58 \frac{S^{0,365}}{n^{0,247}}; \quad (17)$$

- при длине 90 мм:

$$Ra = 2,96 \frac{S^{0,533}}{n^{0,372}}. \quad (18)$$

Таким образом, по полученным зависимостям модели, частоты вращения, подачи и глубины резания определены значения отклонения диаметра, шероховатости поверхности при любом сочетании значений факторов.

Анализ полученных зависимостей показал, что при увеличении частоты вращения и уменьшении подачи отклонение диаметра отверстия и шероховатость поверхности уменьшаются.

При обработке отверстий резцовой сборной развёрткой с жёстким креплением безвершинных зубьев глубина резания в выбранном интервале на отклонение диаметра и шероховатость существенного влияния не оказывает, о чём свидетельствуют полученные результаты экспериментальных исследований.

#### Список литературы

1. Рогов В.А. Методика и практика технических экспериментов: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.А. Рогов, Г.Г. Позняк. – М.: Изд. центр «Академия», 2005. – 288 с.
2. Дудак Н.С. Методика планирования экспериментальных исследований при обработке новыми стержневыми инструментами / Н.С. Дудак, Г.Т. Итыбаева, Ж.К. Мусина и др. // Вестник ПГУ. – Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, 2007. – № 4. – С. 154–163.
3. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / Под ред. А.М. Далянского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение-1, 2001. –

- Т. 2. – 944 с.
4. Таскарина А.Ж. Планирование экспериментальных исследований обработки отверстий сборной резцовой головкой / А.Ж. Таскарина, Т.М. Мендебаев, Н.С. Дудак и др. // Сб. тез. междунар. науч.-практ. конфер. «Инновационные технологии, оборудование и материалы в машиностроении». – Алматы: КазНТУ, 2012. – С. 152–156.
  5. Видмаэр А.Э. Применение теории планирования эксперимента при испытаниях деталей машин: Метод. указания для выполнения УИРС по дисциплине «Детали машин» / А.Э. Видмаэр, А.Н. Сорокин, В.А. Дахно. – Алма-Ата: РУМК, 1987. – 23 с.
  6. Дудак Н.С. Экспериментальные исследования обработки отверстий / Н.С. Дудак, Г.Т. Итыбаева, Ж.К. Мусина и др. // Междунар. науч. конфер. молодых ученых, студентов и школьников «IX Сатпаевские чтения». – Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, 2009. – Т. 4. – С. 16–20.
  7. Кокарев В.И. Применение статистических методов планирования эксперимента при идентификации процесса резания. – Алма-Ата: Китап, 1985. – 52 с.

Получено 13.08.2018

---

МРНТИ 20.01.15

**А.И. Такуадина**

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана

#### ИДЕНТИФИЦИРУЕМОСТЬ МОДЕЛЕЙ В ФАРМАКОКИНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

*В статье рассмотрено понятие идентифицируемости фармакокинетических моделей. Приведены методы применения для линейных и нелинейных моделей. Рассмотрены различные подходы к анализу идентифицируемости модели. Проведен анализ идентифицируемости параметров для динамических систем обыкновенных дифференциальных уравнений.*

*Мақалада фармакокинетикалық үлгілерді сәйкестендіру тұжырымдамасы қарастырылған. Сызықты және сызықты емес үлгілерге қолдану әдістері көлтірілген. Модельдік сәйкестікті талдаудың әртүрлі тәсілдері қарастырылады. Қарапайым дифференциалдық теңдеулердің динамикалық жүйелеріне арналған параметрлердің сәйкестендірілуі талданған.*

*The concept of identifiability of pharmacokinetic models is considered in the article. Methods of application for linear and nonlinear models are given. Different approaches to the analysis of model identifiability are considered. Analysis of the identifiability of parameters for dynamical systems of ordinary differential equations.*

**Ключевые слова:** фармакокинетика, математическая модель, идентифицируемость, уравнения.

При изучении математических моделей по описанию процесса распределения концентрации препаратов в камерах фармакокинетическое моделирование сводится к необходимости решения прямой или обратной задачи систем дифференциальных уравнений. Подробно о разновидностях фармакокинетических моделей было рассмотрено в статье [1]. Надо отметить тот момент, что в фармакокинетике при камерном подходе к анализу данных принято выделять в качестве единиц системы камеры (или компартменты). Камера может не иметь никаких пространственных ограничений в анатомическом смысле и необязательно должна совпадать с определенным органом. Фармакокинетическая камера при этом – это часть организма, в которой равномерно распределен препарат. Для целей фармакокинетического моделирования выделяется такое число камер, которое необходимо в данном случае для адекватного модельного описания имеющихся опытных данных. Тогда проблема идентифицируемости параметров математической модели становится актуальной. Действительно, невозможно построить исследование в фармакокинетике таким образом, чтобы измерять все переменные модели, описывающей поведение препарата.

Идентифицируемость параметров определяется разными авторами по-разному. Наиболее подходящие для понимания данной проблемы приведены ниже.

*Определение.* Свойство структурности подразумевает выполнение его практически во всем пространстве параметров ("практически во всем" означает возможное наличие особых случаев). Таким образом, параметр является структурно идентифицируемым (глобально или локально), если практически для всех значений вектора параметров соответствующие наблюдения определяют единственное значение или конечное множество значений данного параметра.

В случае фармакокинетических моделей важными являются также следующие определения.

*Определение.* Если для данной модели и эксперимента параметр является неидентифицируемым, но присвоение значений одному или более других параметров (т.е. перевод их из множества неизвестных параметров в множество фиксированных значений модели) делает его идентифицируемым, такой параметр называется условно идентифицируемым.

*Определение.* Даже если имеющиеся данные не позволяют однозначно определить какой-то параметр, приняв во внимание различные ограничения и дополнительную информацию, можно обычно оценить границы интервала возможных значений этого параметра. Данный подход к проблеме рассмотрен в работе Berman M., Schoenfield R. «Invariants in Experimental Data on Linear Kinetics and the Formulation of Models». Такой параметр называется интервально-или квазиидентифицируемым. Если такие интервалы достаточно малы, такие оценки этих параметров могут использоваться в практических целях.

Большое количество публикаций, например такие как работы Левакова А.А. «Идентификация нелинейных систем», Щербака В.Ф. «Условия идентифицируемости динамических систем», Audoly S., D'Angio L. «On the Identifiability of Linear Compartmental System: a Revisited Transfer Function Approach Based on Topological Properties» и многие другие не одно десятилетие в области математического моделирования были посвящены проблеме идентифицируемости математических моделей. Некоторые из предложенных методов применимы для линейных моделей, например метод анализа передаточной функции преобразования Лапласа, впервые введенный авторами Bellman R., Astrom K.J. «On Structural Identifiability», методы, основанные на топологическом анализе графа связности исследуемой системы (Anderson S., Hauck WW. "Consideration of Individual Bioequivalence"), методы параметризации исследуемой системы и изучение свойств соответствующих отображений (Grewal MS., Glover K. «Identifiability of Linear and Nonlinear Dynamical Systems»).

Говоря о нелинейности модели, подразумевается не только нелинейность по параметрам (non-LP).

*Определение.* Модель является нелинейной по параметрам  $\theta$  (non-LP), если для ее выходов  $Y(\theta, U, t)$  не выполняется принцип суперпозиции по параметрам, т.е. если существуют два скаляра  $\mu$  и  $\lambda$ , два вектора параметров  $\theta_1$  и  $\theta_2$  и некоторый момент времени  $t$ , такие, что

$$Y(\theta, \lambda\theta_1 + \mu\theta_2, t) \neq \lambda Y(\theta_1, U, t) + \mu Y(\theta_2, U, t). \quad (1)$$

Важным является и понятие нелинейности по входам модели.

*Определение.* Модель является нелинейной по входам  $U$  (non-LI), если для ее выходов  $Y(\theta, U, t)$  не выполняется принцип суперпозиции по входам, т.е. если существуют два скаляра  $\mu$  и  $\lambda$ , две входные функции  $U_1(\cdot)$  и  $U_2(\cdot)$  и некоторый момент времени  $t$ , такие, что

$$Y(\theta, \lambda U_1 + \mu U_2, t) \neq \lambda Y(\theta, U_1, t) + \mu Y(\theta, U_2, t). \quad (2)$$

Рассмотрев различные подходы и методы, можно сказать, что в основном модели фармакокинетики являются нелинейными по параметрам, а линейность или нелинейность по входам зависит обычно от препарата, поведение которого моделируется. Таким образом, говоря, что модель является линейной, мы будем иметь в виду, что моделируемые с ее помощью процессы абсорбции, распределения и выведения препарата могут быть

рассмотрены в данном случае как процессы первого порядка.

В фармакокинетике нелинейность по входам называется дозозависимым поведением препарата. Проводятся специальные фармакокинетические исследования для установления зависимости доза-концентрация препарата. При этом считается, что с возрастанием дозы площадь под фармакокинетической кривой концентрация-время должна пропорционально увеличиваться. Если это условие выполняется, это облегчает задачу прогнозирования уровня концентрации препарата в крови при изменении режима дозирования. Обычно для проверки этого условия проводятся исследования с мультиперекрестным планом, в которых каждый из включенных здоровых добровольцев получает каждую из изучаемых доз препарата (минимальное число таких доз равно двум). Последующий анализ обычно основан на регрессионных соотношениях. Так, если пропорциональность между площадью под кривой (AUC) и соответствующей дозой (D) существует, регрессионная линия в координатах AUC-D должна проходить через начало координат. Ясно, что нулевая доза должна создавать нулевую концентрацию и соответственно нулевое значение AUC. Поэтому, проведя через имеющиеся точки в координатах AUC-D регрессионную прямую, нужно проверить гипотезу о равенстве нулю свободного члена. Другой метод предполагает построение регрессионной модели, проходящей через начало координат и состоящей из линейного и квадратичного члена зависимости от дозы  $\hat{Y} = a \cdot D + b \cdot D^2$ , и последующую проверку статистической гипотезы о равенстве нулю коэффициента  $b$ . Еще один вариант регрессионной модели для проверки такой пропорциональности был предложен в работе Ezzet F., Spiegelhalter D.J. «Pharmacokinetic Dose Proportionality: Practical Issues on Design, Sample Size and Analysis». При этом предлагался следующий вариант описания зависимости площади под кривой, полученной у i-субъекта после получения j-дозы ( $D_j$ ) препарата:

$$AUC_{ij} = \alpha \cdot (D_j)^\beta \cdot \varepsilon_{ij}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  - случайная ошибка модели, обычно предполагается, что  $\log(\varepsilon)$  имеет нормальное распределение.

Если пропорциональность имеет место, коэффициент  $\beta$  должен быть равен единице. Для проверки этого условия применяют логарифмическое преобразование данных, приводящее к линейной регрессии:

$$\log AUC_{ij} = \log \alpha + \log D_j + \log(\varepsilon_{ij}). \quad (4)$$

С помощью регрессионного анализа проверяется статистическая гипотеза о значении коэффициента  $\beta$ . Что касается планирования исследований для проверки такой гипотезы, считается, что если пропорциональная зависимость от дозы выявляется для двух экстремальных доз, близких к верхней и нижней границам терапевтического коридора, то, скорее всего, это соотношение будет сохраняться и для всех остальных доз внутри терапевтического коридора. Поэтому теоретически для проверки выполнения условия пропорциональности достаточно двух доз, близких к верхней и нижней границам терапевтического коридора. Однако на практике измерения, проводимые на низких дозах препарата, имеют большую погрешность, что в свою очередь приводит к большим вариациям значений  $\log(AUC)$ . Поэтому реально для корректности модели требуются измерения по меньшей мере для 3 различных доз (Senn S. «Statistical Issues in Drug Development»). Применимые при этом статистические процедуры подробно рассмотрены в работе [2].

Одним из подходов к анализу идентифицируемости нелинейных систем является линеаризация модели (математически - вокруг точки равновесия или физически - с помощью подходящего индикаторного эксперимента) и последующее применение методов, разработанных для линейных систем. Однако в этом случае надо иметь в виду, что многие неидентифицируемые линейные по входам LI компартментные модели (данные модели были рассмотрены в

предыдущей статье [1]) становятся идентифицируемыми, если любые линейные связи между камерами становятся нелинейными (Walter E., Pronzato L. «Qualitative and Quantitative Experiment Design for Phenomenological Models - A Survey»).

Другим возможным подходом является предложенный в работе Jacquez JA., Perry T. «Parameter Estimation: Local Identifiability of Parameters» метод и программа для проверки локальной идентифицируемости модели произвольной структуры в точке пространства параметров. При этом решение о локальной идентифицируемости параметра принимается на основе анализа матрицы  $g'g$ , где  $g$  - значение матрицы чувствительности модели в точке:

$$g = \begin{matrix} \frac{\partial G_1}{\partial \theta_1} & \dots & \dots & \frac{\partial G_1}{\partial \theta_m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial G_n}{\partial \theta_1} & \dots & \dots & \frac{\partial G_n}{\partial \theta_m} \end{matrix}.$$

При этом проверка локальной идентифицируемости в нескольких точках пространства параметров дает достаточно информации о идентифицируемости модели для практических целей. Достаточно сказать, что для камерных моделей с постоянными коэффициентами локальная идентифицируемость в одной точке означает локальную идентифицируемость практически во всем пространстве определяемых параметров, т.е. структурную локальную идентифицируемость.

Также следует обратить внимание на то, что близость или равенство нулю определителя матрицы  $g'g$  означает потерю точности оценки параметров или невозможность их идентификации. Применение же современных оптимизационных программ для оценки неидентифицируемых параметров таких моделей может приводить к непредсказуемым результатам. Даже если в результате нескольких повторных расчетов с разными начальными приближениями было получено достаточно хорошее приближение измеренных и модельных кривых (значение суммарного квадрата отклонений достаточно мало), но при этом достаточно большое значение стандартного отклонения для одного или нескольких оцененных параметров, можно предположить, что данные параметры являются неидентифицируемыми или точность их оценок неудовлетворительна. Последнее возможно, если измерительной информации недостаточно или, другими словами, измерительный эксперимент не является оптимальным.

Анализ идентифицируемости параметров для динамических систем обыкновенных дифференциальных уравнений позволил ответить на вопрос, какие неизвестные параметры можно вычислить по известным данным на входе и выходе. В фармакокинетике в качестве данных на выходе обычно выступают результаты данных концентрации препарата в крови и/или моче. В качестве данных на входе используются данные о препарате (дозировка, способ введения, количество приемов лекарственного средства). Таким образом, можно дать более строгое определение понятия идентифицируемости.

*Определение.* Если параметры модели имеют единственное или конечное число значений, дающих величины входа-выхода данных, тогда будем говорить, что модель и ее параметры являются идентифицируемыми. Если же какое-нибудь подмножество параметров может принимать бесконечное количество значений, дающих те же самые данные входа-выхода, то данная модель и это множество параметров называется неидентифицируемой (идентифицируемая репараметризация).

Существуют разные подходы к поиску таких замен [3]. Например, с использованием рядов Тейлора [4], преобразованием подобия (M.J. Chappell, R.N. Gunn, «A procedure for generating locally identifiable reparametrisations of identifiable non-linear systems by the similarity transformation approach»), а также подходы, основанные на использовании методов дифференциальной алгебры [5]. Однако необходимо найти замену переменных,

наиболее подходящую именно для фармакокинетического моделирования. Таковой является рациональная репараметризация.

С другой стороны, можно ли заранее определить, будет ли данная модель идентифицируемой? Можно, используя фундаментальные математические подходы (высшую математику, теорию графов, математический анализ и т.д.). И более того, в случае неидентифицируемости модели в некоторых случаях удается подобрать удобную замену переменных, приводящую исходную модель к идентифицируемой. В статье [3] описано, как можно считать наиболее оптимальный алгоритм, который по данной системе линейных дифференциальных уравнений определяет, является ли она идентифицируемой, а в случае неидентифицируемой модели выдает рациональную замену переменных, приводящую данную систему к идентифицируемой.

Еще один важный момент: физиологические системы являются обычно саморегулируемыми, то есть при отсутствии внешних воздействий они стремятся к установлению стационарного состояния. Но даже несмотря на это, измерительной информации часто оказывается недостаточно для идентификации неизвестных параметров выбранной модели. Кроме того, в моделях фармакокинетики существуют жесткие ограничения на входы, число и выбор наблюдаемых переменных модели, а также на число и частоту возможных измерений. Таким образом, если в результате проведенного анализа было установлено, что модель, выбранная для изучения поведения данного препарата, неидентифицируема по результатам эксперимента, могут быть использованы различные стратегии:

- изменение параметризации модели;
- введение в модель дополнительных ограничений и дополнительной априорной информации;
- изменение, если возможно, структуры самого эксперимента.

Итак, основной сложностью решения обратной задачи фармакокинетического моделирования являются ограниченные возможности получения измерительной информации для идентификации параметров модели. Особенность получения измерительной информации в фармакокинетических исследованиях приводят к необходимости решения таких задач, как выбор модели минимальной размерности, структура которой не противоречит имеющейся информации о фармакокинетике данного препарата, проверка структурной идентифицируемости выбранной модели, приведение ее к идентифицируемой, выбор оптимальной стратегии измерений, идентификация параметров модели по ограниченному числу измерений.

#### Список литературы:

1. Сагиндыков К.М. Математические модели по описанию процесса распределения концентрации препаратов в камерах / К.М. Сагиндыков, А.И. Такуадина // V междунар. науч.-практ. конф. - Астана, 2018. – С. 377-379.
2. Сергиенко В.И. Математическая статистика в клинических исследованиях / В.И. Сергиенко, И.Б. Бондарева. - М.: Гэотар Медицина, 2000.
3. Ильин А.И. Универсальный подход к решению обратной задачи фармакокинетики в случае произвольного количества камер / А.И. Ильин, С.И. Кабанихин, Д.А. Воронов. - Сиб. электрон. матем. изв., 2014. – Т. 11. – С. 41–49.
4. N.D. Evans, M.J. Chappell, “Extensions to a procedure for generating locally identifiable reparametrisation so fun identifiable systems”, Math. Biosci., 168(2000), 137–159
5. N. Meshkat, M. Eisenberg, J.J. Distefano III, “An algorithm, for finding globally identifiable parameter combinations of nonlinear ODE models using Gröbner Bases”, Math. Biosci., 222 (2009), 61–72.

Получено 13.08.2018

ӘОЖ 665.7.033.28:56.261(574)

**П.Ә. Таңжарықов, Ұ.Ж. Сарабекова, Е.О. Дүйсенбеков**

Корқыт Ата атындағы Қызылорда мемлекеттік университеті, Қызылорда қ.

**АСФАЛЬТ-ШАЙЫРЛЫ ПАРАФИН ШӨГІНДІЛЕРІ НЕГІЗІНДЕ ЖАЛПЫ МАҚСАТТАҒЫ ТЕХНИКАЛЫҚ  
МАЙДЫ ДАЯРЛАУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ**

*В статье рассматриваются пути получения смазочных масел от вторичной утилизации твердых нефтяных отходов. Даются рекомендации в области применения полученных товаров. Планируется улучшить состояние окружающей среды за счет утилизации нефтяных отходов.*

*Мақалада қатты мұнай қалдықтарын екінші қайтала кәдеге жарату барысында одан жағармай апудың жолдары қарастырылған. Алынған өнімді қолдану салапары ұсынылады. Мұнай қалдықтарын кәдеге жарату арқылы қоршаған ортаның жағдайын сауықтыру көзделеді.*

*The article examines the ways of obtaining lubricating oils from secondary recycling of solid oil waste. Recommendations are given in the field of application of the received goods. It is planned to improve the state of the environment through the utilization of oil waste.*

**Кітпесіздер:** асфальтты-шайырлы парафинді шөгінділер, май, технология, мұнай қалдығы, қайта кәдеге жарату.

Мұнай қалдықтарын қайта кәдеге жарату жүйесіндегі экологиялық қауіпсіздік мәселелерінің көтерілуі бүкіл әлем бойынша маңызды болып отыр. Ол әрбір мұнай өндіретін аймақтарда жиі байқалады.

Мұнай қалдықтары табиғи ортаның барлық компоненттеріне (жер бетіндегі және астындағы суларға, топырақ-өсімдік жамылғысына, биоортага және атмосфералық ауаға) кері әсерін тигізеді. Мұнай қалдықтары қоршаған ортага белгілі бір дәрежеде зиянды әсер етеді десек те, негізгі маңызды мәселе мұнай өндеу жұмысының барлық кезеңінде мұнай қалдықтарын қайта өндеу және пайдалану болып табылады.

Осы уақытқа дейін көптеген мұнай өндіруші кен орындарында түзілген мұнай шламдары мен қалдықтарын жою арнайы көмү орындарында сақтау шаралары арқылы ғана жүзеге асырылып келеді. Бұл уақытша іс-шара болып табылады. Осы мәселелерді түбекейлі зертте, саралтай отырып, мұнай қалдықтарын қайта өндеу арқылы тиімді пайдалану әдістерін қарастыруымыз қажет [1].

Бұл, біріншіден, қоршаған ортага техногенді әсерді азайтады, екіншіден, қалдықтарды сақтауға төленетін төлем мөлшерін азайтады, үшіншіден, қайта өндеуден алынған өнімді әрі қарай өндірісте, халық шаруашылығында қолданып пайда табуға мүмкіндік береді. Сондықтан мұнай қалдықтарын өндеу және олардың түзілуін азайту экологиялық тұрғыдан қарағанда маңызды мәселе болып табылады және жаңа тәсілдер мен экологиялық-технологиялық шешімдерді талап етеді.

Зерттеу бағдарламасында әлемдік кәсіптік тәжірибеде қалдықтардың осы түрін пайдаға асыру бағыттары саралталды және болашағы бар технологиялық шешімдерді тиімді түрде жүзеге асыру шаралары қарастырылды.

Жергілікті мұнай кен орындарында жинақталып қалған асфальтты-шайырлы парафинді шөгінділерді (АШПШ) тиімді пайдаланудың белгілі әдістерін талдау негізінде жоғары сапалы жағармай өнімін алу үшін қолжетімді және арзан өндіріс қалдықтарына айналған парафин шөгінділерін шикізат ретінде қолдануға болатындығы зерттеулермен дәлелденген [1].

Бірақ ағымдағы көзқарастың өзгешелігі АШПШ негізіндегі көмірсугекті жағармай құрамынан қатты көмірсугектерді (парафиндер, петролатумдар, церезиндер) бөліп алуда емес, оның физика-химиялық құрамын қоспаларды пайдалану арқылы жақсарту болып табылады.

Көмірсүтекті жағармайларды алу үшін қоюландырғыш ретінде қатты балқитын көмірсүтектер: парафин, церезин, петролатум, озокерит, табиғи немесе синтетикалық парафиндер және т.б. қолданылады. Олардың құрамында тотыққан мұнай өнімдерін, полимерлі қоюландырғыштарын, тотықтыру ингибиторлары мен кейбір нейтралды толықтырғыштарды (күйе, графит және т.б.) кездестіруге болады.

Мақсатына және функционалдық сипаттамаларына қарай көмірсүтекті жағармайларды, негізінен, консервациялық жағармай ретінде қолдану ұсынылады. Консервациялық жағармайларды 2 топқа бөлуге болады: жалпы мақсаттағы және темір арқанды (тросс).

Консервациялық жағармайларды - металл бұйымдарды, машиналар мен механизмдерді коррозиядан ұзақ және сенімді қорғауға және былғары бұйымдарды шіруден және құргап кетуден сактауда қолдануға болады.

Темір арқанды жағармайларды тау-кен ісінде және көтеру-тасымалдау қондырғыларында, темір органикалық өзекшелерді майлауға қолданады [2]. Көмірсүтектер негізіндегі консервациялық және темір-арқанды жағармайлардың өнеркәсіптің кең таралған салаларындағы құрамдарына талдау жасалды (1-кесте).

1-кесте

*Консервацияда тұрған және темір-арқанды майлардың құрамы*

| Жағар майлар                                               | Стандарт                 | Құрамы                                                                                     | Қосымшалар, %                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Қару-жарактық                                              | МЕМСТ 19537-83           | Петролатум (60-70%),<br>М-11 майы (25-35%),<br>57 басқа церезиннің барлық түрі (3-5%)      | МНИ-7 (0,09-1,1 %)                                                                                                                               |
| Темір арқандық 39y                                         | ТШ 38<br>УССР 2-01-33580 | Қыскы нигрол (40%), майлы гудрон (25%), мұнайлы церезин (19%)                              | Триэтаноламин (1,2%)                                                                                                                             |
| Е-1 болат арқандарының органикалық өзекшелерін майлау үшін | МЕМСТ 15037-69           | Қыскы нигрол мен мұнайлы церезиннің коспасы 6,5:2,5                                        | Мыс нафтенаты (20%),<br>Күкірт (3%)                                                                                                              |
| А, Б маркілі Торсиол-35                                    | ТШ 38<br>УССР 2-01-21480 | Өндірістік май И-20А (50%),<br>Мұнайлы пластификатор (май ПН-6) (20%),<br>церезин 80 (25%) | А Маркасы: қоңыр көмірлі (2%) және торфты (3%) жасушалар.<br>Б Маркасы: қоңыр көмірлі жасушалар (4%), церезин 80, жаңартылған триэтаноламин (1%) |

Сараптама бойынша жағармайлардың құрамы қоюландырғыштардың, қоспалар мен майлардың мөлшерлеріне байланысты ерекшеленетіндігі анықталды. Қару-жарак жағармайларында да қатты көмірсүтектердің максималды мөлшері кездеседі (63-75%). Басқа құрамдарда оның мөлшері 23-35% аспайды. Жағармайлардағы майлардың мөлшері 25-35% (қару-жарактық), 70%-ға дейін (торсиол-35), ал қоспалардың массалық үлесі 1-5%-дан 19%-ға дейін өзгеріп отырады. Көрсетілген жағармайларда қоюландырғыш ретінде церезин мен петролатумды бірдей қолдануға болады.

Көмірсүтекті жағармайлар гидрофобты, термиялық қайтымды және икемділіктің салыстырмалы төмен температуралық шегімен сипатталады. Көмірсүтекті жағармайлар 40-80 °C-та тамшылай бастайды, максималды қолдану температурасы 50 °C, жоғары гидролиттік төзімділікке, тозуга қарсы жақсы қасиеттерге ие. Сондықтан суға

төзімділікке, химиялық және коллоидты тұрақтылыққа байланысты консервациялық майлар ретінде кең қолемде қолдануга мүмкіндігі мол. Кейбір көміртекті жағармайлардың физика-химиялық қасиеттері 2-кестеде келтірілген.

Көмірсутекті жағармайлардың табигатына талдау жасай келе жағармайларды күрделі көп компонентті жүйе ретінде қарастырылған. Жағармайдың басты қасиеті құрамына байланысты екендігі анықталды [3, 4-6]. Қебінесе жағармайлар бұл 3 компонентті коллоидты жүйеден (сұйық негіз, яғни дисперсионды орта, қатты қоюландырылғыш, қоспалар мен толықтырылғыштардан) тұрады. Бірақ жағармайларды коллоидтық химия тұрғысынан бағалап және құрылым құрау процесін үйрену кезінде оларды 2 компонентті жүйеде, яғни дисперсионды ортадан және дисперсті фазадан тұратын етіп қарастырады.

Жағармайды қатты дene ретінде қарастыру оның құрылымына, табигатына, мөлшеріне, бөлшектерінің формасына, дисперсті фаза және олардың арасындағы бөлшектердің энергетикалық байланысына қатысты. Сондыктan АШПШ қолдану арқылы көмірсутекті жағармайды жобалау үшін шөгінділердің өзара байланысын және әсерін, қатты көмірсутектер мен қоспалардың құрылымдық қалыптасуы мен жағармай қасиеттерінің қалыптасуындағы рөлін анықтау керек. Құрылымдарын анықтайтын факторларға оның химиялық құрамы, қасиеті және жағармайдың барлық компоненттер жүйесінің қатынасы, олардың әрекеттесу шарттары жатады (1-сурет).

Көмірсутекті жағармай алу үшін АШПШ-ның құрылымын және жағармайдың қалыптасу рөлін қарастыру керек. Жағармайлардың маңызды пайдалану қасиеттері қоюландырылғыштың түріне, көптеген басқа да қасиеттері оның дисперстік ортасына байланысты екендігі белгілі.

Дисперстік фазаның қоюлану және құрылымдануына оның табигаты, химиялық, топтық, фракциондық құрамы және дисперсионды ортасы айтарлықтай әсерін тигізеді. Әртүрлі кен орындарынан алынған көмірсутек құрамдары мұнайдың географиялық орналасуына қатысы жоқ екендігін көрсетті [7-8].

Шөгінділердің еру температурасы 54-80 °С аралығында болғандықтан, олардың құрамында парафиндерден бөлек жоғары температурада балқитын көмірсутектер және 75-80 °С балқитын церезин кездеседі.

Бірінші бөлік компоненттері молекулалық-дисперсті күйде, екіншісі коллоидты бөлшектер, үшіншісі үлкен, қатты бетінде шайырлы және басқа заттар адсорбцияланған ерімейтін формациялар, төртіншісі әртүрлі эмульгаторлармен тұрақтандырылған су мен мұнайдың эмульсиясы болып табылады.

АШПШ негізіндегі жағармайды дисперстік фазасына, ал екінші жағынан АШПШ-ның құрамындағы шайыр мен майдың көп мөлшерде болуына байланысты дисперстік ортага – қатты көмірсутектермен қоюланған тұтқыр майға жатқызуға болады [7-8].

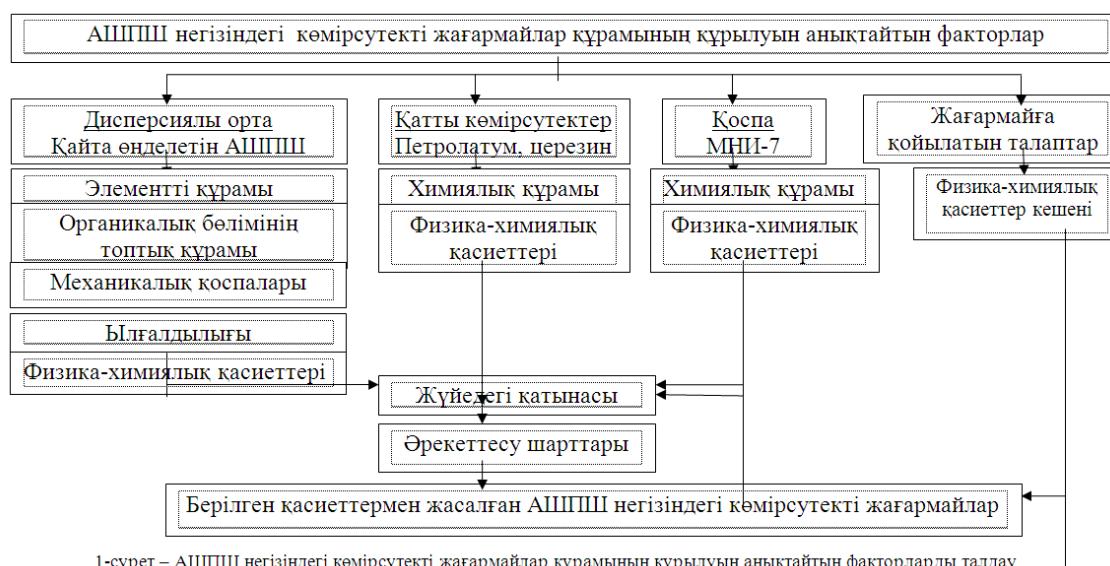
Көмірсутектердің негізгі топтары тауарлы майларға әртүрлі әсер ететіндігі белгілі болғандықтан, мұнайлы дистиллят алу кезеңін тауарлы май алу кезеңіне дейінгі АШПШ-ның химиялық құрамын мұнай өнімдерімен салыстыру орынды.

Базалық майлардың химиялық құрамы табиғи мұнайдың ауыр бөлігімен анықталады. Себебі май алу процесінде мұнай көмірсутектерінің химиялық түрленуі болмайды, тек қана май алынатын көмірсутектер шогырланады. Консервациядағы және темір арқанды майларды дайындауға пайдаланылатын АШПШ мен мұнай өнімдеріндегі көмірсутектердің құрамы мен құрылымы 3- кестеде келтірілген.

2-кесте

*Көміртекті жағармайлардың физика-химиялық қасиеттері*

| Көрсеткіштер                                                                                           | Қару-жарактық           | Темір арқанды<br>39у | E-1            | Торсиол-35           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------|----------------------|
| 1                                                                                                      | 2                       | 3                    | 4              | 5                    |
| Сыртқы түрі                                                                                            | Сары қоңыр түсті май    | Қара түсті май       | Қара түсті май | Қоңыр қара түсті май |
| Тамшылық температура °C, кем емес                                                                      | 60                      | 65-80                | 40-55          | 65-80                |
| Металдарға коррозиялық әсер                                                                            | шыдамды                 | шыдамды              | шыдамды        | шыдамды              |
| Коррозиялық әсерді бақылауда жасалған сынақ тәжірибедегі пластинаның материалы                         | мыс                     | болат                | болат          | болат                |
| Судың мөлшері, %                                                                                       | жоқ                     | жоқ                  | жоқ            | жоқ                  |
| Механикалық қоспалардың массалық үлесі, % артық емес                                                   | 0,07                    | жоқ                  | жоқ            | жоқ                  |
| 1                                                                                                      | 2                       | 3                    | 4              | 5                    |
| Суда еритін қышқылдардың күрамы, %                                                                     | Сәл қызғылт түске боялу | жоқ                  | жоқ            | жоқ                  |
| Жылжу температурасы, °C, кем емес                                                                      | 50                      | —                    | —              | —                    |
| Қышқылдық сан, 1 г майға, мг қышқыл                                                                    | 0,5-1,0                 | —                    | —              | —                    |
| 30 сағат бойы маркасы 40 немесе 50 болат пластиналарда 50 °C температурада қорғаныс қасиеттерін сыйнау | шыдамды                 |                      |                |                      |
| Суыққа шыдамдылық температурасы, °C кем емес                                                           |                         | -25                  | -20            | -35                  |
| Иненің ену терендігі, мм <sup>1</sup>                                                                  | 90-150                  | —                    | —              | —                    |
| Тұтқырлық, Па <sup>*</sup> с: 0 °C                                                                     | 1500-4000               | 2000                 | 800            | 250-360              |
| 20 °C                                                                                                  | 100-400                 | 300-500              | 30             | 20-15                |
| 50 °C (100 с <sup>"</sup> 1)                                                                           | 0,5-0,6                 | -                    | -              | -                    |
| 100 °C (мм <sup>/</sup> с)                                                                             | —                       | >32                  | 40             | >8,5                 |
| 1 сағаттық булану, %, 100°C                                                                            | -                       | 0,5                  | 1              | 0,8-1,5              |
| 150 °C                                                                                                 | 0                       | 2,3                  | 7              | 5-8                  |
| Салмақ, Н:                                                                                             | 560-710                 | 710                  | 720            | 710                  |
| Пісіру қасиеттері                                                                                      | 1410                    | 1780                 | 2240           | 1250-1780            |
| Пайдаланудың температуралық шегі, °C                                                                   | +50 дейін               | -25тан +50 дейін     | -20 дейін      | -35тен +50 дейін     |
| Ауыстырыштар                                                                                           | Солидол С, ВТВ-1        | Торсиол 35           | —              | Темір арқандық 39у   |
| Консервациядағы қорғау уақыты, жылдар                                                                  | 5-10                    | 5-10                 | 5-10           | 3-5                  |



### 3-кесте Консервациялық майлар алынатын мұнай өнімдерінің сипаттамалары

| Май, маркасы, стандарт<br>(МЕМСТ, ТШ)                  | $\text{-}\phi^1$ Тұтқырлығы, мм /с |         | Ашық тигельдегі<br>тұттану<br>температурасы,<br>°C (төмен емес) | Қату<br>температурасы,<br>°C<br>(төмен емес) |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                                                        | 50 °C                              | 100 °C  |                                                                 |                                              |
| 1                                                      | 2                                  | 3       | 4                                                               | 5                                            |
| Трансформаторлы, МЕМСТ 982-80<br>немесе МЕМСТ 10121-76 | <9,6                               | 2,5-3,5 | 150                                                             | -45                                          |
| Ұршықты АҮ, МЕМСТ 1642-75,<br>немесе ТШ 38 101586-75   | 12-14                              | 3,5-4,0 | 165                                                             | -45                                          |
| И-20А, МЕМСТ 20799-75                                  | 17-23                              | 4-6     | 180                                                             | -15                                          |
| Цилиндрлі-11, ОСТ 38 0185-75                           | —                                  | 9-13    | 215                                                             | +5                                           |
| Цилиндрлі-52, МЕМСТ 6411-76<br>немесе ТШ 38 10151-76   | —                                  | 44-64   | 310                                                             | -5                                           |
| М-11 (ДС-11) ТШ 38 101523-80                           | —                                  | 11±5    | 200                                                             | -15                                          |
| Мұнайлы пластификатор ПН-6 (ПН-<br>6Ш), ОСТ-3801132-77 | 350450                             | 30°     | 230                                                             | -36                                          |
| Трансмиссиялы май (нигрол), ТШ<br>38 101 539-75 қысқы  | —                                  | —       | 170                                                             | -20                                          |

АИПШ-дагы шайырлы-асфальтенді байланыстардың мөлшері тауарлы майлар мен майлар дистилляттарға қарағанда 3 - 4,5 есе көп. Ал құқіртті байланыстардың құрамы АИПШ-да (1,8%) майлар дистилляттар құрамынан (1,5-1,7%) азырақ, тауарлы майлардың құрамындағыдан (1,1-1,2%) 1,5 есе артық. Майлардың негізгі физика-химиялық және пайдалану қасиеттері, көрсетілген көмірсүтектер топтары және олардың байланыстарының құрамы мен мөлшерлі қатынастарымен анықталады. Бұл қатынастар сақталмаған жағдайда майлардың пайдалану қасиеттері нашарлайды. Сондықтан АИПШ-ны тұтқыр май ретінде есептей келе, дисперсионды ортанды негізгі пайдалану қасиеттеріне көмірсүтекті құрамының әсер етуін анықтау қажет.

## Пайдаланылған әдебиеттер

- Жұмағұлов Т.Ж. Өндіріс қалдықтарын тиімді пайдалану арқылы экологияны жақсарту / Т.Ж. Жұмағұлов, П.Ә. Таңжарықов, Б.Б. Абжапелов, М.М. Абжаев. – Қызылорда: Ақмешіт баспа үйі, 2015. - 250 б.
- Ищук Ю.Л. Технология пластичных смазок. Киев: Наукова думка, 1986. – 248 с.
- Великовский Д.С. Консистентные смазки / Д.С. Великовский, В.Н. Поддубный, В.И. Вайншток др. - М.: Химия, 1966. – 264 с.
- Синицын В.В. Подбор и применение пластичных смазок. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Химия, 1974. – 416 с.
- Вайншток В.В. Состав и свойства пластичных смазок: Темат. обзор / В.В. Вайншток, И.Г. Фукс, Ю.Н. Шехтер и др. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1970. - 87 с.
- Бисенов К.А. Эффективные методы приготовления производственных материалов из высокопарафинистых нефтяных отходов / К.А. Бисенов, П.А. Танжариков, У.Ж. Сарабекова // Современные тенденции в образовании и науке: Сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. - Ч. 10. – Тамбов, 2013. - С. 24-29.
- Сарабекова У.Ж. Технология эффективного использования твердых нефтяных отходов / У.Ж. Сарабекова, П.А. Танжариков, И.Х. Байжан // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Иновационные научные исследования: Теория, методология, практика». – Молдавия, 2017. - С. 84-91.
- Танжариков П.А. Органикалық мұнай шөгінділері негізінде өнеркәсіптік жақпа май алу технологиясы / П.А. Танжариков, Ұ.Ж. Сарабекова, А.Е. Ағыбаев // Материалы респуб. науч.-практ. конф. молодых ученых «Наука. Образование. Молодежь». – Алматы, 2017. - С. 17-18.

Получено 13.08.2018

МРНТИ 28.23.15

**Д.А.Тусупов, Г.Б. Абдикеримова**

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева

**Ф.А. Мурzin**

Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, Россия

#### СЕГМЕНТАЦИЯ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО НЕСТАНДАРТНОМУ ПОДХОДУ

*В статье представлен анализ по нестандартному подходу сегментации текстурных областей на микрофотографиях в системах обработки изображений. Исследуется вопрос о применимости наборов текстурных признаков для анализа экспериментальных данных с целью выявить на микрофотографиях характерные участки, которые в будущем можно будет увязать с пористостью, химической реактивностью и т.д. Был осуществлен подбор подходящих алгоритмов и созданы соответствующие программные инструменты на Matlab и в программном пакете для статистического анализа Statistica.*

*Мақалада бейнелерді өңдеу жүйесі бойынша микросуреттердегі текстуралық облыстарды сегменттеуді стандартты емес тәсілмен талдау қарастырылған. Эксперименттік мәліметтерді талдау үшін текстуралық белгілер жыныстырының қолдану мүмкіндігі туралы маселе микросуреттердегі маңызы бар облыстарға кеүекті, химиялық реакция және т.б. анықтау мақсатында зерттеледі. Тиісті алгоритмдер таңдалды, Matlab-да және статистикалық талдау үшін Statistica программалық пакеттерінде тиісті бағдарламалық жасақтама құралдары жасалды.*

*The article provides an analysis of the nonlinear segmentation of textured regions on microphotographs in the processing of systems. Here are some questions about the use of experimental data from the experimental data collection on microphones, which can be supposed to be related to porosity, chemical reaction, and so on. It has been upgraded to suit the algorithms and provides appropriate software tools for Matlab and the statistical analysis of Statistica.*

**Ключевые слова:** текстурные признаки, обработка изображений, анализ микрофотографий, электронная микроскопия, растительное сырье.

Основанием для проведения настоящей НИР является договор между Институтом химии твердого тела и механохимии СО РАН (ИХТМ СО РАН) и Институтом систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН (ИСИ СО РАН) № 16-13-10200/2 от 1 июля 2016 г. Работа проводится в целях исполнения ИХТМ СО РАН Соглашения № 16-13-10200 от 12 мая 2016 года между Российским научным фондом, руководителем проекта и организацией о предоставлении гранта на проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований, касающегося предоставления гранта на выполнение научного проекта «Контролируемое изменение структуры и состава растительного сырья механохимическими методами для интенсификации экстракции биологически активных соединений» № 16-13-10200».

В данной работе основное внимание уделено сегментации по текстурным признакам по нестандартному подходу. Источником являются микрофотографии растительного сырья, размолотого на специальных мельницах. Цель программы состоит в том, чтобы проводить компьютерные эксперименты и накапливать количественные данные (значения текстурных признаков) для изображений клеточных стенок, обработанных при различной температуре. Конечная цель работы – определение по микрофотографии пористости, химической реактивности сырья и т.д.

Несмотря на повсеместное присутствие текстур в изображениях, единого и формального подхода к описанию текстуры и строгого её определения на данный момент не существует. Методы анализа текстур, как правило, разрабатываются для каждого отдельного случая.

В [1] под текстурой понимают «пространственную организацию элементов в пределах некоторого участка поверхности». Там же объясняется, что эта организация обусловлена определенным статистическим распределением интенсивности серых тонов или тонов различного цвета. Участок может считаться текстурным, если количество отмечаемых на нем перепадов интенсивности или изменений цвета достаточно велико. В [2] текстурой называют «некоторым образом организованный участок поверхности». В [3] текстура определяется как матрица или фрагмент пространственных свойств участков изображений с однородными статистическими характеристиками.

Из приведенных выше определений и характеристик следует, что текстура – это некоторый участок изображения, тот, который имеет однородные статистические характеристики. Это значит, что каждую текстуру данного класса можно описать с помощью характерного свойства, общего для всех текстур данного класса [1]. Такие свойства называют текстурными признаками. Текстурные признаки играют важную роль при разделении изображения на отдельные области. Рассмотрим более подробно систему признаков.

В рассматриваемой задаче исследуются серые (полутоновые) изображения. Таким образом, изображение задается в виде матрицы, значениями которой являются значения яркости пикселей в интервале от 0 до 255.

*Стандартный подход* для вычисления текстурных признаков следующий. Необходимо выбрать так называемое бегущее окно с нечетной стороной: 3, 5, 7 пикселей. Признак вычисляется внутри бегущего окна. Размер локального фрагмента является носителем текстурных свойств. Значение признака записывается в новую матрицу того же размера, что и исходная. В новой матрице значение записывается в точку с координатами, равными координатам центра бегущего окна. Элементы новой матрицы получаются в некотором интервале (A, B). Далее обычно этот интервал линейно отображается в отрезок (0,255). После этого имеется возможность визуализировать результат вычисления текстурного признака.

Эксперименты показали, что стандартный подход в нашем случае мало информативен. Поэтому было решено использовать нестандартный подход. А именно, текстурные окна вычисляются по большим окнам (в том числе по неквадратным), которые пользователь может задавать, выбирая область, представляющую для него интерес. То есть речь идет о вычислении числовых характеристик, относящихся к обширным областям, включающих различного рода артефакты. Рассмотрены 18 наиболее важных текстурных признаков, и все они реализованы в программе.

Расчет текстурных признаков по выбранным сегментациям был реализован в среде MatLab, а анализ этих текстурных признаков в программном пакете для статистического анализа Statistica. Для решения данной задачи предложено большое число подходов и алгоритмов. Основные усилия были сосредоточены на создании эффективных алгоритмов вычисления текстурных признаков. Выделенные области были выбраны случайным образом. Для каждой области вычисляются текстурные признаки.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Энергия</b> <math>T_1 = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L P(i,j)^2</math>.</p> <p><b>Энтропия</b></p> $T_2 = -\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L p(i,j) \cdot \log_2(p(i,j)).$ <p><b>Гомогенность</b> <math>T_3 = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L \frac{p(i,j)}{1+ i-j }</math>.</p> <p><b>Контраст</b> <math>T_4 = (i-j)^2 \cdot p(i,j)</math>.</p> <p><b>Энтропия по суммам</b></p> $T_5 = -\sum_{i=1}^L P_{(+i)}(i) \log(P_{(+i)}(i))$ .                                                                                                                                                        | <p><b>Корреляция</b></p> $T_6 = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L \frac{(i-\mu)(j-\mu) \cdot p(i,j)}{\sigma_i \sigma_j}$ .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p><b>Дисперсия</b> <math>T_7 = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L (i-\mu)^2 p(i,j)</math>.</p> <p><b>Среднее по суммам</b> <math>T_8 = \sum_{i=1}^L i \cdot P_{(+i)}(i)</math>.</p> <p><b>Информационные меры корреляции</b> <math>(T_9, T_{10})</math></p> $T_{11} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p(i,j)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N j^2} - \text{обратные моменты}$ $T_{12} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N j^2 p(i,j)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p(i,j)} - \text{моменты};$                                                                                                        | <p><b>Дисперсия</b> <math>T_7 = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L (i-\mu)^2 p(i,j)</math>.</p> <p><b>Среднее по суммам</b> <math>T_8 = \sum_{i=1}^L i \cdot P_{(+i)}(i)</math>.</p> <p><b>Информационные меры корреляции</b> <math>(T_9, T_{10})</math></p> $T_{11} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p(i,j)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N j^2} - \text{обратные моменты}$ $T_{12} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N j^2 p(i,j)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p(i,j)} - \text{моменты};$ |
| <p><b>Разностная энтропия</b></p> $T_{13} = -\sum_{i=1}^L P_{(-i)}(i) \log(P_{(-i)}(i))$ .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <p><b>Нестандартные меры неоднородности яркости</b></p> $T_{13} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (p(i,j))^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p(i,j)} - \text{неоднородность яркости};$                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <p><b>k-й начальный момент</b></p> $T_{14} = n^{-2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [f(i,j)]^k$ .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p><b>Нестандартные меры неоднородности яркости</b></p> $T_{13} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (p(i,j))^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p(i,j)} - \text{неоднородность яркости};$                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <p><b>Где</b></p> $HX = -\sum_i p_i(i) \log(p_i(i)),$ $HY = -\sum_j p_j(j) \log(p_j(j)),$ $HXY_1 = -\sum_i \sum_j p(i,j) \log(p_i(i)p_j(j)),$ $HXY_2 = -\sum_i \sum_j p_i(i)p_j(j) \log(p_i(i)p_j(j)),$ $P_{(+i)}(i) = \sum_j p(i,j),$ $P_{(-i)}(i) = \sum_{j \neq i} p(i,j),$ $P_{(+i)}(k) = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L \delta_{(+i,j)} p(i,j), \quad k = 2, 3, \dots, 2 \cdot 31,$ $P_{(-i)}(k) = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^L \delta_{(-i,j)} p(i,j), \quad k = 0, 1, \dots, 30,$ $\delta_{mn} = \begin{cases} 1, & \text{если } m = n \\ 0, & \text{если } m \neq n. \end{cases}$ | <p><b>Нестандартные меры неоднородности яркости</b></p> $T_{14} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (\sum_{k=1}^{j-1} p(i,k))^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p(i,j)} - \text{неоднородность длины серии};$ $T_{15} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N j p(i,j)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p(i,j)} - \text{доля изображения в сериях}.$                                                                                                                                          |

После проверки каждого признака на информативность было выбрано из 18 признаков 5 текстурных признаков:  $T_2, T_9, T_5, T_{14}, T_{15}$ . Анализируемые области на исходном изображении представлены на рис. 1. Значения текстурных признаков выделенных областей представлены в табл. 1.

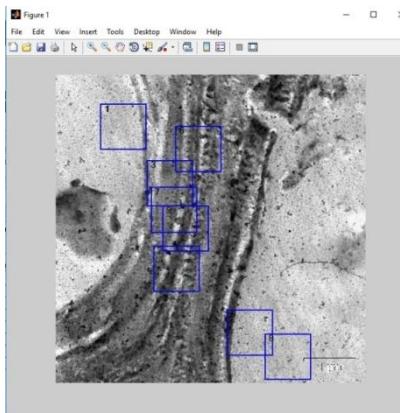


Рисунок 1 - Анализируемые области на исходном изображении

Таблица 1

*Значения текстурных признаков выделенных областей*

| number<br>of the<br>selected<br>fragment | opt      | sum_entr | sum_avr  | entropy  | obratnyi |
|------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1                                        | 38,667   | 2,517689 | 12,30118 | 2,731891 | 0,029274 |
| 2                                        | 14,99576 | 2,923521 | 7,353998 | 3,10399  | 0,111732 |
| 3                                        | 19,54998 | 2,839083 | 8,551063 | 3,019918 | 0,072812 |
| 5                                        | 32,33043 | 2,841538 | 11,01414 | 3,07617  | 0,054194 |
| 6                                        | 17,32884 | 2,849357 | 7,989712 | 3,02184  | 0,083256 |
| 7                                        | 17,01542 | 2,799129 | 7,951417 | 2,97708  | 0,087836 |
| 8                                        | 38,52285 | 2,143402 | 12,32257 | 2,391618 | 0,031044 |
| 9                                        | 15,48823 | 2,88239  | 7,509812 | 3,055145 | 0,106009 |

Наиболее важным результатом, получаемым в результате древовидной кластеризации, является иерархическое дерево. Метод Варда отличается от всех других методов, поскольку он фактически использует методы дисперсионного анализа для оценки расстояний между кластерами. Метод минимизирует некоторую сумму квадратов расстояний. Более точно в качестве расстояния между кластерами берется прирост суммы квадратов расстояний объектов до центров кластеров, получаемый в результате их объединения. В целом метод представляется очень эффективным, однако он стремится создавать кластеры малого размера.

Каждый узел диаграммы (рис. 2) представляет объединение двух или более кластеров, положение узлов на горизонтальной оси определяет расстояние, на котором были объединены соответствующие кластеры [4].

В табл. 2 приведены результаты дендограммы в числовом виде.

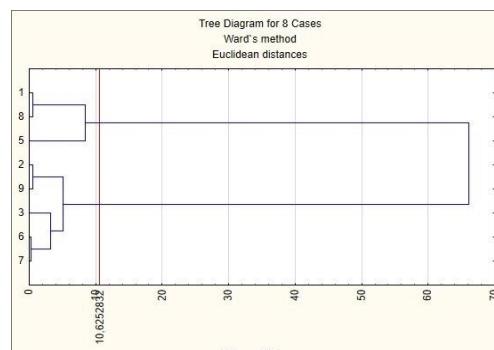


Рисунок 2 - Дендрограмма для 5 текстурных признаков: метод Варда, Евклидово расстояние

*Результат древовидной кластеризации*

Таблица 2

|   | Cluster Membership<br>(11_шаблон) |
|---|-----------------------------------|
|   | Linkage distance =                |
|   | 10,6253                           |
|   | Ward's method                     |
|   | Euclidean distances               |
|   | Cluster Membership                |
| 2 | 1                                 |
| 3 | 1                                 |
| 6 | 1                                 |
| 7 | 1                                 |
| 9 | 1                                 |
| 1 | 2                                 |
| 5 | 2                                 |
| 8 | 2                                 |

Графика Graph of means позволяет просмотреть средние значения для каждого кластера на линейном графике (рис. 3, табл. 3).

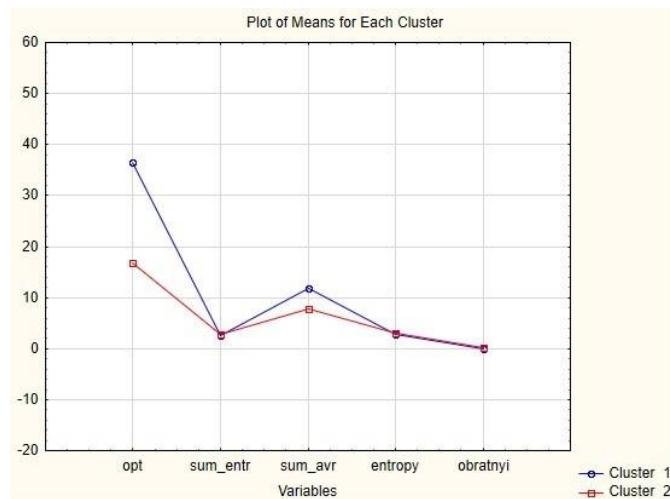


Рисунок 3 - Среднее значение текстурных признаков для каждого кластера

Таблица 3

*Среднее значение, среднеквадратичное отклонение и дисперсия текстурных признаков*

| Variable | Descriptive Statistics for Cluster 2 (11_шаб) |                    |          |
|----------|-----------------------------------------------|--------------------|----------|
|          | Mean                                          | Standard Deviation | Variance |
| opt      | 16,87564                                      | 1,791359           | 3,208968 |
| sum_entr | 2,85870                                       | 0,046861           | 0,002196 |
| sum_avr  | 7,87120                                       | 0,469253           | 0,220198 |
| entropy  | 3,03559                                       | 0,047221           | 0,002230 |
| obratnyi | 0,09233                                       | 0,016179           | 0,000262 |

По средним значениям текстурных признаков из табл. 3 мы можем сказать, что они не пересекаются, отдалены друг от друга хорошо. Такое расположение координат центров кластеров говорит о хорошем качестве кластеризации.

Для двух кластеров результаты дисперсионного анализа говорят о хорошем качестве кластеризации: уровень значимости  $p$  везде меньше 5% (табл. 4).

Таблица 4

*Результат дисперсионного анализа*

| Variable | Analysis of Variance (11_шаблон) |    |             |    |          |             |
|----------|----------------------------------|----|-------------|----|----------|-------------|
|          | Between (SS)                     | df | Within (SS) | df | F        | signif. (p) |
| opt      | 722,5888                         | 1  | 39,00883    | 6  | 111,1424 | 0,000043    |
| sum_entr | 0,2401                           | 1  | 0,25291     | 6  | 5,6954   | 0,054285    |
| sum_avr  | 30,1216                          | 1  | 2,00377     | 6  | 90,1950  | 0,000078    |
| entropy  | 0,1714                           | 1  | 0,24323     | 6  | 4,2287   | 0,085482    |
| obratnyi | 0,0055                           | 1  | 0,00143     | 6  | 23,0152  | 0,003009    |

Исходя из визуального представления результатов и по евклидовому расстоянию, мы можем определить состав каждого кластера (табл. 5).

Таблица 5

*Кластеры, к которым принадлежат наблюдение, евклидовые расстояние и номер наблюдения*

|   | 11_шаблон |         |          |
|---|-----------|---------|----------|
|   | CASE_NO   | CLUSTER | DISTANCE |
| 1 | 1         | 1       | 0,98     |
| 5 | 4         | 1       | 1,92     |
| 8 | 7         | 1       | 0,95     |
| 2 | 2         | 2       | 0,87     |
| 3 | 3         | 2       | 1,23     |
| 6 | 5         | 2       | 0,21     |
| 7 | 6         | 2       | 0,08     |
| 9 | 8         | 2       | 0,64     |

Состав кластеров, выделенных методами Варда и k-means, представлен в табл. 6.

Таблица 6

*Состав классов, выделенных методами Варда и k-means*

| Номер класса | Количество объектов в классе | Состав класса                     |
|--------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1            | 3                            | 1, 5 и 8 выделенные области       |
| 2            | 5                            | 2, 3, 6, 7 и 9 выделенные области |

В заключение можно сказать следующее.

Работа посвящена исследованию текстурных изображений и сегментации по текстурным признакам. Источником являются микрофотографии растительного сырья, размолотого на специальных мельницах. Работа выполнена для Института химии твердого тела и механохимии СО РАН. В работе идет речь о вычислении разного рода текстурных признаков и других характеристик изображений. Был проанализирован большой набор методов исследования текстур и из рассмотренных методов были выбраны наиболее информативные [5, 6]. В итоге была разработана программа для вычисления различных текстурных признаков. Всего производился расчет 18 текстурных признаков. Результаты расчетов можно сохранять. Основная цель работы – создание программных инструментов. В итоге был проведен эксперимент в нестандартном варианте. Проведя исследование над текстурными признаками, было отобрано пять признаков, такие как  $T_2, T_9, T_5, T_{14}, T_{15}$ , по которым мы провели сегментацию по областям. Используя методы  $k-means$  и агломеративный, признаки хорошо выделили области на изображениях. Результаты показывают, что эти признаки являются информативными.

## Список литературы

1. Андреев Г.А. Анализ и синтез случайных пространственных текстур / Г.А. Андреев, О.В. Базарский, А.С. Глауберман и др. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1984. – № 2. – С. 3-33.
2. Харалик Р.М. Статистический и структурный подходы к описанию текстур // ТИИЭР. – 1979. – Т. 67. – № 5.- С. 98-119.
3. Потапов А.А. Новые информационные технологии на основе вероятностных текстурных и фрактальных признаков в радиолокационном обнаружении малоконтрастных целей // Радиотехника и электроника. – 2003. – Т. 48. – № 9. – С. 1101–1119.
4. V. S. Sidorova. Hierarchical Cluster Algorithm for Remote Sensing Data of Earth. // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2012. - Vol. 22, No. 2. - P. 373–379.
5. Пластинин А.И. Метод формирования признаков текстурных изображений на основе марковских моделей: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.17 / А.И. Пластинин. – Самара, 2012. – 20 с.
6. Мин И.В. Сегментация изображений на основе выделения текстурных и цветовых признаков / И.В. Мин // Материалы XIX Междунар. науч.-практ. конф. "Современные техника и технологии". – Томск: ТПУ, 2012. – С. 290-292.
7. Карманов А.П. Лигнин. Структурная организация и самоорганизация // Ин-т химии Коми науч. центра Уральского отделения РАН. - Сыктывкар, 1999. – С. 66-67.
8. Карманов А.П. Проблемы химии древесины и лесохимии / А.П. Карманов, Д.В. Матвеев // Ин-т химии Коми науч. центра Уральского отделения РАН. - Сыктывкар, 2001. – С. 50-52.

Получено 13.08.2018

УДК 669

**А.М. Халелов, Н.А. Куленова**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

### ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА ИЗВЛЕЧЕНИЯ НИОБИЯ ИЗ ТИТАНОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

*В статье представлены данные по повышению содержания оксида ниобия в титановом шлаке и дальнейшее распределение ниобия в процессе получения тетрахлорида титана. Распределение ниобия и изменение температурного режима работы хлорирующей установки позволяет улавливать элементы ниобия из парогазовой смеси непосредственно при выходе из хлоратора, то есть в начале процесса конденсации тетрахлорида титана. Вывод соединений ниобия через пылеосадительную камеру с солевой ванной обеспечит получение промежуточного продукта с высоким содержанием оксида ниобия, который может быть направлен на производство ниобия.*

*Мақалада титан қожындағы ниобий оксиді мөлшерінің жоғарылауы және титан тетрахлоридін алу үдерісі бойынша мәліметтер берілген. Ниобийдің бөлінүі мен хлорлау қондырысы жұмысының температуралық режимінің өзгеруі хлоратордан шығу кезінде тікелей бұлы газды қоспадан, яғни титан тетрахлоридінің конденсация үдерісінің басында ниобий элементтерін ұстауға мүмкіндік береді. Тұздық былаудан шаңтұндыру камераасы арқылы ниобий қосылыстарының шығымы ниобий өндірісіне жіберуге болатын ниобий оксидінің жоғары мөлшері бар аралық өнімді алушты қамтамасыз етеді.*

*The article presents data regarding increasing of niobium oxide content in titanium slag and further distribution of niobium during the process of titanium tetrachloride synthesis. Niobium distribution and change of operation temperature of chlorinating unit allows for trapping niobium elements from vapor-gas mixture immediately after its escape from chlorinator, i.e. at the beginning of titanium tetrachloride condensation process. Extracting niobium compounds through dust precipitation chamber allows getting intermediate product with high content of niobium oxide that can be directed for production of niobium.*

**Ключевые слова:** титановый шлак, оксид ниобия, тетрахлорид титана, оксохлорид ниобия, хлорирующая установка, парогазовая смесь, пульпа.

Повышение комплексности переработки сырья и снижение себестоимости продукции является основой для дальнейшего развития предприятий горно-металлургической отрасли Республики Казахстан.

В титановом производстве имеются еще значительные резервы повышения комплексности использования исходного сырья, заключающиеся не только в извлечении остальных металлов—спутников, но и соединений этих металлов. В связи с этим технология по-путного извлечения соединений ниобия из промпродуктов титанового производства представляет большой практический интерес и является актуальной.

Производство губчатого титана в производственных масштабах осуществляется методом магнийтермического восстановления тетрахлорида титана. На качество губчатого титана непосредственно влияют примеси, которые находятся в очищенном тетрахлориде титана [1].

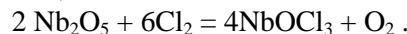
Процесс производства тетрахлорида титана довольно сложный технологически и осуществляется в два этапа. На первом этапе титановый шлак хлорируют и получают технический тетрахлорид титана. На втором этапе технический тетрахлорид титана очищают методом ректификации. Основные примеси, которые содержатся в большом количестве в тетрахлориде титана, переходят непосредственно из титанового шлака в процессе хлорирования [2]. В дальнейшем для получения очищенного тетрахлорида титана необходимо максимально эффективно провести процесс хлорирования титанового шлака.

В последнее время намечается тенденция увеличения содержания оксида ниобия в титановом шлаке, что обусловлено его высоким содержанием в разрабатываемых месторождениях титана. В процессе добычи и обогащения титаносодержащего сырья, а также в дальнейшем при проведении рудно-термической плавки титановых концентратов, основная часть оксида ниобия переходит в титановый шлак. Таким образом, примесь как оксид

ниобия на этих переделах невозможно технологически сконцентрировать и извлечь из основного потока производства.

В последнее время на примере производства технического тетрахлорида титана АО «Усть-Каменогорский титано-магниевый комбинат» в пульпе  $TiCl_4$  хлорирующих установок наблюдалось повышение содержания соединений ниобия. Ниобий в пульпе  $TiCl_4$  хлорирующих установок находится в виде  $NbOCl_3$ , который является твердым веществом с температурой возгонки 335 °C.

В процессе хлорирования титаносодержащего сырья оксид ниобия хлорируется при температуре более 700 °C по реакции



Имея низкую температуру сублимации (335 °C),  $NbOCl_3$  мало улавливается расплавом хлоратора и твердыми хлоридами (возгонами) пылевой камеры хлорирующей установки. Комплексная соль  $KCl \cdot NbOCl_3$  разлагается при температуре 420-425 °C. Поэтому оксохлорид ниобия при температуре парогазовой смеси 450-480 °C в пылевую камеру приходит в виде паров, проходит пылевую камеру, конденсируется в оросительном скруббере хлорирующей установки и накапливается в танке пульпы оросительного скруббера. Часть  $NbOCl_3$  поступает в оросительный конденсатор, из него в баки-сборники технического  $TiCl_4$  - продукцию хлорирующей установки. Оксихлорид ниобия – токопроводящее вещество, и, поступая в кубы ректификационной колонны с техническим  $TiCl_4$ , выводит из строя открытые нагреватели кубов колонны.

В 2016-2017 гг. в цех по производству тетрахлорида титана поступало титаносодержащее сырье - собственное и стороннее. Среднее содержание  $Nb_2O_5$  в нем представлено в табл. 1.

Таблица 1  
*Среднее содержание оксида ниобия в титаносодержащем сырье*

| Титановый шлак               | Содержание $Nb_2O_5$ |         | Рост содержания $Nb_2O_5$ в 2017 г.<br>по сравнению с 2016 г., % |
|------------------------------|----------------------|---------|------------------------------------------------------------------|
|                              | 2016 г.              | 2017 г. |                                                                  |
| Сторонний                    | 0,074                | 0,1224  | 165,40                                                           |
| Собственного<br>производства | 0,06                 | 0,07725 | 128,75                                                           |

В 2017 году по сравнению с 2016 годом содержание оксида ниобия в титаносодержащем сырье возросло:

- в стороннем шлаке – на 65,4%;
- в шлаке собственного производства – на 28,75%.

В соответствии с ростом содержания  $Nb_2O_5$  в сырье повысилось содержание ниобия и в пульпе оросительного скруббера хлораторов (табл. 2). Для удобства обработки результатов исследований содержание ниобия в продуктах хлорирования титановых шлаков принято приводить в пересчете на  $Nb_2O_5$ .

Таблица 2  
*Среднее содержание ниобия в пульпе оросительного скруббера*

| Наименование продукта          | Содержание $Nb_2O_5$ |         | Рост содержания $Nb_2O_5$ в 2017 г.<br>по содержанию с 2016 г., % |
|--------------------------------|----------------------|---------|-------------------------------------------------------------------|
|                                | 2016 г.              | 2017 г. |                                                                   |
| Пульпа оросительного скруббера | 5,67                 | 8,30    | 146,38                                                            |

Как видно из данных табл. 2, в 2017 году по сравнению с 2016 годом содержание ниobia в пульпе оросительного скруббера возросло на 46,38%.

С целью дальнейшего извлечения оксида ниobia при производстве тетрахлорида титана необходимо было изучить распределение оксида ниobia детально на каждом аппарате хлорирующей установки. В процессе хлорирования титанового шлака оксид ниobia хлорируется при температуре более 700 °C, переходит в пары окситрихлорида ниobia, конденсируется в оросительном скруббере хлорирующей установки и накапливается в танке пульпы оросительного скруббера. Часть окситрихлорида ниobia поступает в оросительный конденсатор, из него в баки-сборники технического тетрахлорида титана. Окситрихлорид ниobia, накапливаясь в танке пульпы оросительного скруббера хлорирующей установки, сгущает пульпу до плотной желобобразной массы, тем самым снижая эффективность работы самого скруббера. В кубах ректификационной колонны окситрихлорид ниobia, поступивший с техническим тетрахлоридом титан, выводят из строя их открытые нагреватели.

Изучение распределения элементов ниobia позволяет выявить проблемные участки при производстве технического тетрахлорида титана, а также понять, где технически правильно сконцентрировать элементы ниobia и извлечь их из производства. Извлечение элементов ниobia при производстве тетрахлорида титана позволяет повысить эффективность работы оборудования хлорирующей установки, а также получить более качественный технический тетрахлорид титана. Получение качественного технического тетрахлорида титана позволит более эффективно вести процесс дальнейшей очистки от других примесей.

Наиболее приемлемым для извлечения ниobia без установки дополнительного оборудования и затрат предлагается изменение температурного режима работы системы конденсации хлорирующих установок. Для эффективной работы всех ее необходимо максимально улавливать элементы ниobia из парогазовой смеси непосредственно при выходе из хлоратора, то есть в начале процесса конденсации тетрахлорида титана. Для чего отработаны различные температурные режимы работы пылеосадительной камеры с солевой ванной, позволяющие улавливать пары окситрихлорида ниobia и конденсировать их, что позволяет вывести из процесса элементы ниobia и более эффективно вести процесс конденсации тетрахлорида титана.

При отработке различных температурных режимов работы пылеосадительной камеры с солевой ванной выбран наиболее оптимальный режим работы, позволяющий максимально улавливать соединения ниobia. Он был подобран для всей системы конденсации хлорирующей установки и повысил степень извлечения и конденсации тетрахлорида титана.

Вывод соединений ниobia через пылеосадительную камеру позволяет получить промежуточный продукт с высоким содержанием ниobia, который может быть направлен на его производство. Получение нового промежуточного продукта с таким ценным компонентом, как ниобий, позволит снизить накладные расходы на производство технического тетрахлорида титана.

Таким образом, исследование способа извлечения ниobia из титаносодержащего сырья позволило повысить качество тетрахлорида титана при хлорировании титанового шлака и обеспечить комплексную переработку сырья.

#### Список литературы

1. Сергеев В.В. Металлургия титана / В.В. Сергеев, А.Б. Безукладников. – М.: Металлургия, 1979. – 263 с.
2. Худайбергенов Т.Е. Титаномагниевое производство. – Алматы.: ГИ им. Кунаева, 1996. - 177 с.

Получено 13.08.2018



УДК 502.3:656

**С. Адиканова**

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті, Өскемен қ.

**ОСКЕМЕН ҚАЛАСЫНЫҢ ҚОРШАҒАН ОРТАСЫНА АВТОКОЛІКТЕРДЕН БӨЛІНГЕН ЗИЯНДЫ  
ҚОСПАЛАРДЫ АНЫҚТАУ**

*В этой статье рассматриваются вычисления объема и процесса рассеяния вредных примесей от автотранспорта в атмосферном воздухе города Усть-Каменогорска.*

*Бұл мақалада Өскемен қаласы бойынша автокөліктерден шығарылатын зиянды заттар қоспасының қала атмосферасында таралу заңдылығы мен көлемін есептеп шығару қарастырылған.*

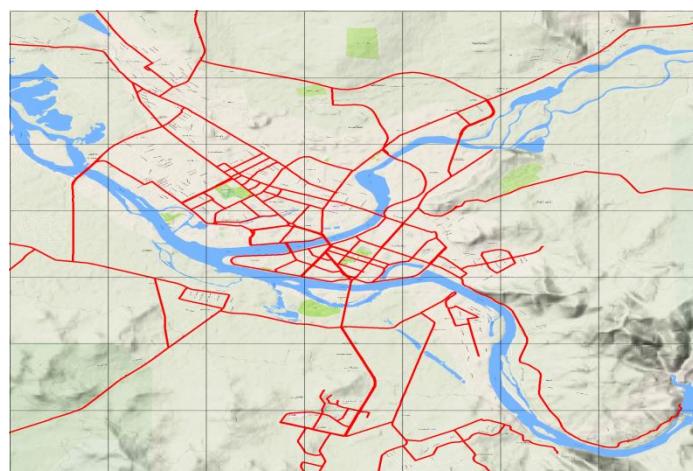
*This article is devoted to the study of the laws of distribution of atmospheric impurities ejected by the transport stream and the calculation of their volume in the city Ust-Kamenogorsk.*

**Кілттік сөздер:** ауа ластануы, автокөлік, зиянды қоспалар, жанармай шығыны, автокөліктер желісі.

Өскемен қаласының территориясын тұрақты бірдей торларға бөлу арқылы автокөліктер ағынының энергоэкологиялық көлемін бағалаймыз. Автокөліктік ағында Өскемен қаласының көше-жол желісінде тең бөлінген барлық автокөліктер алынған деп болжаймыз.

Ең алдымен тең бөлінген торды қала картасының үстіне орналастырамыз. Келесі кадамда, әрбір бөлінген текшеден алынған Өскемен қаласының көше-жол желісінің тор функцияларын қолданамыз.

Ауданға қадамы  $\Delta$  2 км болатын торды орналастырамыз.



1-сурет - Өскемен қаласының территориясын  $\Omega=\sup_i \Delta_i$  (4 кв.км) тұрақты бөлу

Клеткалық функцияны құру алгоритмін қолдану арқылы көше-жол желісінің ұзындығын жолақ түріндө аламыз.

Өскемен қаласында жолдардың үш категориясы бар: үш жолақты бір бағыттағы (Тәуелсіздік даңғылы, Абай даңғылы және т.б.); екі жолақты бір бағыттағы (Потанин көшесі, Буров көшесі және т.б.); бір жолақты бір бағыттағы.

1-кесте

*Жолақ түрінде алынған жолдар ұзындығының клеткалық функциясы (метрмен)*

|       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 8600  | 15800 | 8800  | 12000 | 8600  | 21700 | 13600 |
| 30800 | 23000 | 0     | 16000 | 30700 | 0     | 0     |
| 21600 | 30400 | 22400 | 26200 | 21400 | 1800  | 3000  |
| 15400 | 31000 | 38600 | 34900 | 26400 | 12600 | 1400  |
| 14000 | 24000 | 29000 | 39100 | 31200 | 25500 | 17600 |
| 8000  | 0     | 12400 | 24700 | 34900 | 19800 | 0     |
| 11400 | 8200  | 15000 | 8200  | 18000 | 18800 | 12400 |

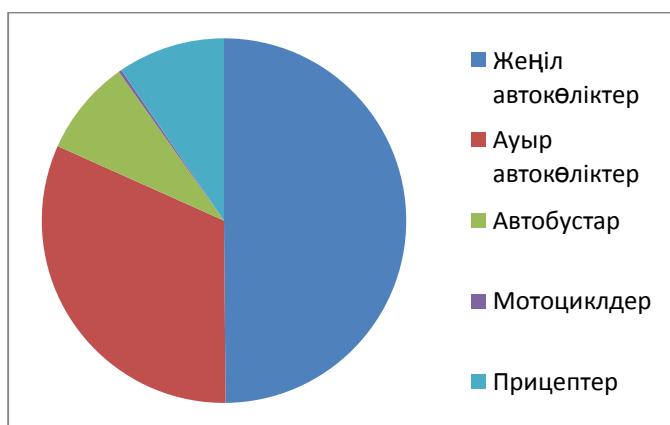
Автокөліктегі желісінің орташа сипаттамасын қарастырайық.

2016 жылы Өскемен қаласында автокөліктердің келесі саны тіркелген:

|                   | Женіл<br>автокөліктер | Ауыр<br>автокөліктер | Автобустар | Мотоциклдер | Прицептер | Барлығы |
|-------------------|-----------------------|----------------------|------------|-------------|-----------|---------|
| Занды<br>тұлғалар | 7895                  | 5042                 | 1347       | 43          | 1508      | 15835   |
| Жеке<br>тұлғалар  | 85047                 | 3556                 | 1027       | 1938        | 3926      | 95494   |
| Барлығы           | 92942                 | 8598                 | 2374       | 1981        | 5434      | 111329  |

Қала автопаркіндегі барлық автокөліктердің саны  $M_{a.p.}=111329$ .

Жолақ бойынша көше-жол желісінің жалпы ұзындығы  $L_d=848,9$  км. Автопарк құрамы бензин және карбюраторлық қозғалтқышы бар тек женіл көліктерден тұрады деп болжайық (ВМ1), бір автомобильдің ұзындығы  $L_{базы}=5$  метр.



2-сурет - Өскемен қаласы автопаркінің құрамы

2-суреттегі диаграммада көрсетілгендей, Өскемен қаласы автопаркінің басым бөлігін женіл автокөліктер алатыны айдан анық.

Бірдей бөлінген жағдайда топ көздегі максимал мүмкін тығыздық:

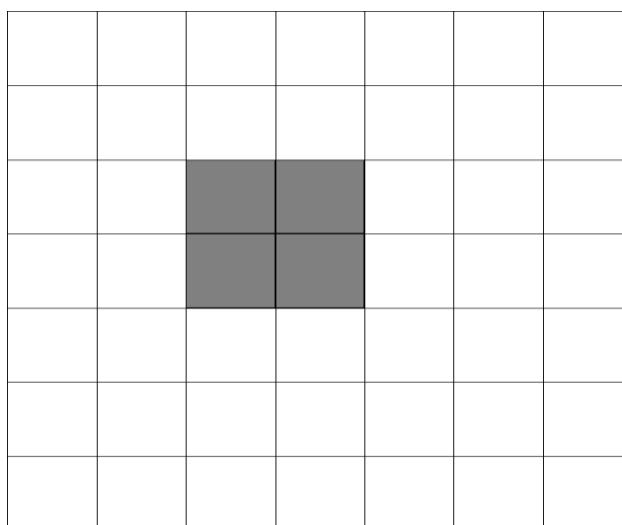
$$\rho = \frac{M_{a,n}}{L_D} = \frac{55938}{848,9} = 65,89469 \left( \frac{ATC}{km} \right).$$

Ал әрбір топ көзіндегі машиналар санына сәйкес келетін клеткалық функция 2-кестеде көрсетілген (барлық машиналар саны тең бөлінген жағдайда).

2-кесте  
*Машиналар санының клеткалық функциясы*

|          |          |          |          |          |          |             |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| 566,6943 | 1041,136 | 579,8732 | 790,7362 | 566,6943 | 1429,915 | 896,1677465 |
| 2029,556 | 1515,578 | 0        | 1054,315 | 2022,967 | 0        | 0           |
| 1423,325 | 2003,198 | 1476,041 | 1726,441 | 1410,146 | 118,6104 | 197,6840617 |
| 1014,778 | 2042,735 | 2543,535 | 2299,725 | 1739,62  | 830,2731 | 92,25256214 |
| 922,5256 | 1581,472 | 1910,946 | 2576,482 | 2055,914 | 1680,315 | 1159,746495 |
| 527,1575 | 0        | 817,0941 | 1627,599 | 2299,725 | 1304,715 | 0           |
| 751,1994 | 540,3364 | 988,4203 | 540,3364 | 1186,104 | 1238,82  | 817,0941218 |

Топ көздегі автокөліктер ағынының сипаттамасы оның қалып күй функциясымен анықталады. Өз шегінде қалып күй функциясы келесі параметрлерге тәуелді:  $m$  – тораптар еселігі,  $q$  – бағдаршамның қызыл сигналының уақыты және 1 – бағдаршамдар арасындағы арақашықтық.



3-сурет - Автокөліктер ағыны күйі функциясының параметрлері

$I_i$  шамасын есептейік. Боялған топ көздерді қаланың жүктелген аумағы деп есептейік, онда бағдаршамдар арасындағы арақашықтық, әрине, басқа аумактарға қарағанда жақын болады.

Экспериментальды берілгендер бойынша қаланың жүктелген аумактарында бағдаршамдардың орташа саны келесі санмен беріледі: 1,360937 дана/км

Бағдаршамдар арасындағы орташа арақашықтық ( $I_{цент}$ ):

$$l_{\text{центр}} = \frac{1}{1,360937} = 0,734788 \quad \text{км}$$

Мұндай көше-жол желісіндегі көліктің қозғалу жылдамдығы бос аумақтағы көліктің қозғалу жылдамдығынан кем болады. Бұл жағдайда орташа жылдамдық:

$$\vartheta_{\text{среднее}} = \frac{l}{T},$$

мұндағы  $T$  – бағдаршамды реттеу кезеңі. Бағдаршамды реттеу кезеңін 1,05 минутқа тен деп аламыз. Онда қаланың жүктелген аумағындағы автокөліктердің орташа жылдамдығы:

$$\vartheta_{\text{среднее}} = \frac{0,734787721}{0,0175} = 41,9878 \approx 42 \quad \text{км/сағ.}$$

Қаланың басқа тор көздеріндегі бағдаршамдардың арасындағы орташа арақашықтық мынаған тен деп алымыз әділ болады:

$$l_{\text{окраин}} = \frac{1}{0,2027} = 4,933333 \quad \text{км.}$$

Жол қозғалысы ережесіне сай елді мекендеңі ең жоғары жылдамдық сағатына 60 км. деп алып және жолдың бір жолағында «тығыздық - жылдамдық» заңы текше түрінде болады.

Онда, бір жолактағы автокөліктердің максимал тығыздығы  $\rho_{\max}=140$  АТС/км деп есептей отырып, мынаны аламыз:

$$f(\rho) = \vartheta_{\max} \left( \frac{\rho_{\max} - \rho}{\rho_{\max}} \right).$$

Бағдаршамның жасыл түсінің орташа еншісі:

$$v = \frac{T}{m}.$$

Бағдаршамы бар жолдардың қалып күй функциясы ретінде келесі формуланы қолданамыз:

$$\vartheta(\rho) = (T - v)f(\rho) + vf(\rho),$$

мұндағы  $l$  – бағдаршамдар арасындағы арақашықтық;  $T$  – бағдаршамды реттеу кезеңі;  $v$  –

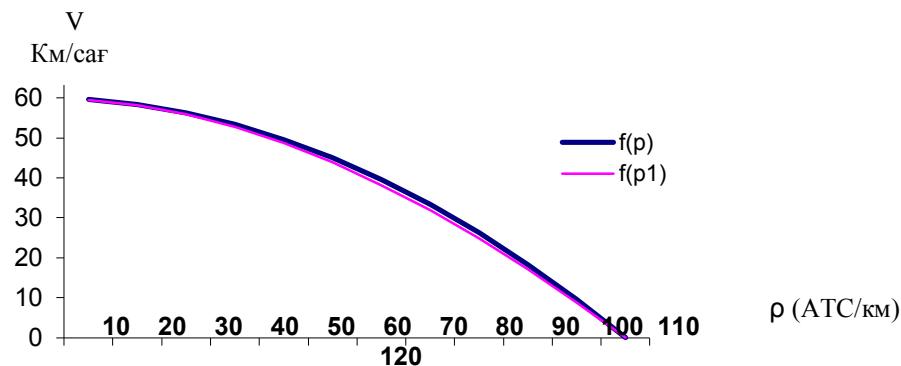
жасыл түстің еншісі;  $\rho = \frac{ATC}{l}$  - бос жүрістің тығыздығы;  $m$  – аралықтағы

автокөліктердің саны.

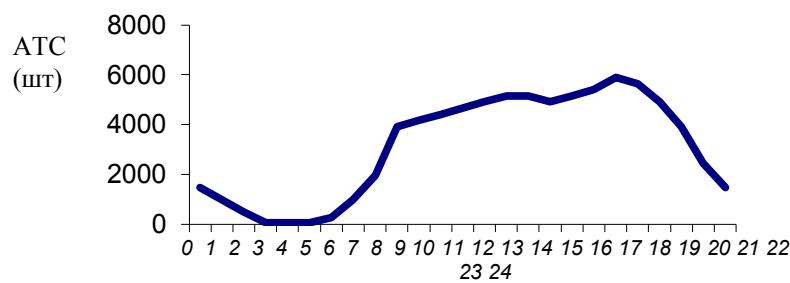
$$\rho_1 = \frac{l\rho}{l - f(\rho)T(T - T/m)} \quad \text{- бағдаршамды аралықтағы тығыздық.}$$

Өскемен қаласы үшін автокөліктердің бірдей бөлінген жағдайында  $\rho = 65,89468724$  АТС/км болатынын білдік. Енді қалып күй функциясы бойынша көлік құралдарының орташа жылдамдығын анықтай аламыз.  $\rho = 65,89468724$  АТС/км болған жағдайда, қаланың жүктелген аумақтарында орташа жылдамдық  $V \approx 42$  км/сағ, ал қаланың басқа аумақтарында орташа жылдамдықты 60 км/сағ деп аламыз.

Өскемен қаласының Спорт сарайы қызылсында, уақыт бойынша автокөлік құралдарының тығыздығына есептеулер жүргізу бойынша, 5-суретте көрсетілгендей, бір күндеңі ағындағы автокөліктер саны анықталды.



4-сурет - Қаланың жүктелген аумағындағы қалып күй функциясы



5-сурет - Спорт сарайы қылышындағы автокөліктер қарқындылығының ауыткуы t (сaf)

Тор көздеңі көше-жол желісі ұзындығының бөліну матрицасы мен автокөліктер ағынының орташа жылдамдығын ескере отырып, бір күннің әрбір сағатындағы әрбір тор көздеңі ағынның тығыздығын аламыз.

3-кесте

*Bір сағаттағы автокөліктер ағынының қарқындылығы*

|           |          |          |          |          |          |          |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1926,7607 | 3539,863 | 1971,569 | 2688,503 | 1926,761 | 4861,71  | 3046,97  |
| 6900,4916 | 5152,965 | 0        | 3584,671 | 6878,087 | 0        | 0        |
| 4839,3058 | 6810,875 | 5018,539 | 5869,899 | 4794,497 | 403,2755 | 672,1258 |
| 3450,2458 | 6945,3   | 5563,728 | 5030,418 | 3805,244 | 2822,928 | 313,6587 |
| 3136,5871 | 5377,006 | 4180,003 | 5635,797 | 4497,107 | 5713,069 | 3943,138 |
| 1792,3355 | 0        | 2778,12  | 3560,21  | 5030,418 | 4436,03  | 0        |
| 2554,0781 | 1837,144 | 3360,629 | 1837,144 | 4032,755 | 4211,988 | 2778,12  |

Барлық автокөлік құралдары карбюраторлық қозғалтқышпен жүреді деп ескеріп, әрбір тор көзде 1 сағаттағы жанармай шығынын есептейміз.

Қозғалу жылдамдығына байланысты жеңіл автокөліктер үшін жүріс кезіндегі жанармай шығыны келесі формулалар бойынша есептелінеді:

$$Q_s(\vartheta) = 0,00003\vartheta^2 - 0,005\vartheta + 0,317, \frac{\pi}{\text{км} \cdot \text{итм}}.$$

Бос жүрістегі жанармай шығыны келесі формуламен есептелінеді:

$$Q_h = 608 \frac{\text{л}}{\text{сағ}} = 0,8 \frac{\text{л}}{\text{сағ}}.$$

Жылдамдығына байланысты ауыр жүк машиналарының жанармай шығыны келесі формула бойынша есептелінеді:

$$Q_s(\vartheta) = 0,00014\vartheta^2 - 0,02\vartheta + 0,808, \frac{\text{л}}{\text{км} \cdot \text{итм}}.$$

Қоғамдық автокөліктер үшін

$$Q_s(\vartheta) = 0,000125\vartheta^2 - 0,01\vartheta + 0,55, \frac{\text{л}}{\text{км} \cdot \text{итм}}.$$

Жоғарыда келтірілген формула бойынша қаланың барлық аумағында 1 сағаттағы жанармай шығынын есептейміз.

4-кесте

#### *Жанармай шығыны бойынша топ көз функциясы*

|           |          |          |          |          |          |          |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 563,81834 | 1035,852 | 576,9304 | 786,7233 | 563,8183 | 1422,658 | 891,6197 |
| 2019,2564 | 1507,886 | 0        | 1048,964 | 2012,7   | 0        | 0        |
| 1416,1019 | 1993,032 | 1468,55  | 1717,679 | 1402,99  | 118,0085 | 196,6808 |
| 1009,6282 | 2032,368 | 2234,852 | 2020,631 | 1528,5   | 826,0594 | 91,78438 |
| 917,8438  | 1573,447 | 1679,034 | 2263,801 | 1806,409 | 1671,787 | 1153,861 |
| 524,48217 | 0        | 812,9474 | 1430,074 | 2020,631 | 1298,093 | 0        |
| 747,3871  | 537,5942 | 983,4041 | 537,5942 | 1180,085 | 1232,533 | 812,9474 |

Топ көз функциясы арқылы қала бойынша орташа жанармай шығынын  $Q=53671,05 \text{ л/сағ} \approx 39716,58 \text{ кг/сағ}$  есептеуге болады.

Қала бойынша бір күндегі жанармай шығыны – 519161,8 кг/тәулік.

Қала бойынша бір жылдағы жанармай шығыны – 189494,0713 т/жыл.

Жеңіл автокөліктерден белінетін зиянды қоспалардың көлемі келесі формулалар бойынша есептелінеді:

$$Em_{CO}(\vartheta) = 0,003609\vartheta^2 - 0,325\vartheta + 10,0007, \frac{\text{л}}{\text{км}};$$

$$Em_{CO_2}(\vartheta) = 0,002619\vartheta^2 - 0,522\vartheta + 189,46, \frac{\text{л}}{\text{км}};$$

$$Em_{C_xH_y}(\vartheta) = 0,00007091\vartheta^2 - 0,013\vartheta + 1,511, \frac{\text{л}}{\text{км}};$$

$$Em_{NO_x}(\vartheta) = 0,00037951\vartheta^2 - 0,034\vartheta + 1,734, \frac{\text{л}}{\text{км}};$$

$$Em_{Pb_x}(\vartheta) = 0,000000303\vartheta^2 - 0,00005758\vartheta + 0,023, \frac{\text{л}}{\text{км}};$$

$$Em_{SO_2}(\vartheta) = 0,00000181838\vartheta^2 - 0,0003273\vartheta + 0,133, \frac{\text{л}}{\text{км}}.$$

Техникалық сипаттамасы мен жанаармайды жағуына байланысты автокөліктердің әрбір түрінен бөлінетін зиянды қоспаларды есептеуге болады.

5-кесте

*Автокөлітерден бөлінген зиянды қоспалар көлемі (г/км)*

|                 | ВАЗ-1111  | ГАЗ-2410 | ГАЗ-5312 | ЛИАЗ-677   | КАМАЗ-5320 |
|-----------------|-----------|----------|----------|------------|------------|
| V км/сағ        | 42        | 42       | 42       | 42         | 42         |
| Қатты бөлшектер | -         | -        | -        | -          | 0,34117647 |
| CO              | 11,739636 | 12,27409 | 47,076   | 40,0791667 | 5,54058824 |
| NOx             | 1,9158182 | 0,64927  | 10,17857 | 13,9738889 | 9,55058824 |
| SO2             | 0,1270909 | 0,173358 | 0,513    | 0,732      | 2,088      |
| SO*2            | 0,0270909 | 0,034672 | 0,103    | 0,146      | 0,835      |
| CxHy            | 1,2765455 | 1,384745 | 4,453143 | 4,56388889 | 2,15058824 |
| Pb              | 0,0214182 | 0,028504 | 0,085    | 0,121      | -          |
| V км/сағ        | 60        | 60       | 60       | 60         | 60         |
| Қатты бөлшектер | -         | -        | -        | -          | 0,37558824 |
| CO              | 14,338182 | 12,14139 | 57,21    | 33,7604167 | 4,63529412 |
| NOx             | 2,1890909 | 0,795109 | 15,43714 | 18,7863889 | 10,9852941 |
| SO2             | 0,1254545 | 0,186496 | 0,513    | 0,732      | 2,088      |
| SO*2            | 0,0254545 | 0,037299 | 0,103    | 0,146      | 0,835      |
| CxHy            | 1,2127273 | 1,246788 | 4,224286 | 3,75138889 | 2,05529412 |
| Pb              | 0,0210909 | 0,030474 | 0,085    | 0,121      | -          |

Бір күндегі автокөліктердің сыйымдылығын ескере отырып, зиянды қоспалардың бір күндегі және бір жылдағы жалпы көлемін есептеуге болады.

6-кесте

*Зиянды қоспалардың нәтижелі кестесі*

|                              | Бұкіл қала 1 сағатта (т/сағ) | Бір күнде (т/тәуліл) | Бір жылда (т/жыл) |
|------------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------|
| Қатты бөлшектер              | 0,004433734                  | 0,057956288          | 21,15404502       |
| CO2                          | 0                            | 0                    | 0                 |
| CO                           | 8,37860766                   | 109,5223665          | 39975,66376       |
| NOx                          | 1,549614643                  | 20,25604608          | 7393,456819       |
| SO2                          | 0,124272782                  | 1,624452381          | 592,9251192       |
| SO*2                         | 0,030563634                  | 0,399517642          | 145,8239394       |
| CxHy                         | 0,866451727                  | 11,32596815          | 4133,978376       |
| Pb                           | 0,016245792                  | 0,212359575          | 77,51124497       |
| Зиянды қоспалардың қосындысы | 10,97018997                  | 143,3986666          | 52340,5133        |

Сонымен 2016 жылы Өскемен қаласының автокөліктерден бөлінген зиянды қоспаларының көлемі 52,340 мың тоннаға жетті.

*Әдебиеттер тізімі*

- Луканин В.Н. Автомобильные потоки и окружающая среда—2: Учеб. пособие для вузов / В.Н. Луканин, А.П. Буслаев, М.В. Яшина / Под ред. В.Н. Луканина. – М.:ИНФРА-М, 2001. –646 с.

2. Темирбеков Н.М. Компьютерная технология для оценки экологического состояния воздушного бассейна города, обусловленного транспортным процессом / Н.М. Темирбеков, Ф.Н. Абдолдина, М.Н. Мадияров и др. // Науч. журнал «Региональный вестник Востока». – Усть-Каменогорск: Изд-во ВКГУ им. С. Аманжолова, 2004. - № 4 (24). – С. 3-11.

Получено 13.08.2018

---

---

по страницам



## ОДУВАНЧИК В АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ

---

Британские инженеры, продув в аэродинамической трубе семена одуванчика с их парашютиками, на 90% состоящими из прорех, обнаружили, что как раз эти пустоты обеспечивают стабильность полёта. Изготовив из пластика такие же по размерам и весу структуры, но со сплошным куполом парашютика, исследователи показали, что в полёте они неустойчивы, кувыркаются и падают быстрее настоящих семян. В потоке воздуха вокруг спиц миниатюрного купола образуются кольцеобразные завихрения, не позволяющие ему перевернуться. Открытие может пригодиться при создании миниатюрных зондов, которые будут сбрасывать с самолёта для измерений и передачи по радио параметров окружающей среды.

«Наука и жизнь» № 3, 2018



МРНТИ 52.01.93

**Г.Ю. Абдугалиева**Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск**М.К. Имангазин, Н.Н. Мыктыбаева**

Казахско-русский международный университет, г. Актобе

**АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ШАХТЫ ТОО «ВОСХОД ТРЕЙДИНГ» АКТЮБИНСКОЙ ОБЛАСТИ**

*В данной статье проведён анализ безопасности на шахте хромового месторождения Восход ТОО «Восход Трейдинг» Актюбинской области. Рассмотрены все возможные аварийные ситуации и рассчитаны последствия после этих аварий.*

*Бұл мақалада Ақтөбе облысындағы «Восход Трейдинг» ЖШС хром кенорнының Восход шахтасының қауіпсіздігіне сараптау жасалған. Барлық мүмкін болаттың апарттық жағдайлар мен осы апарттардан туындастырылған.*

*This article analyzes safety at the mine of the Voskhod chromic deposit of Voskhod Trading LLC in the Atyubinsk region. All possible emergency situations are considered and the consequences after these accidents are calculated.*

**Ключевые слова:** шахта, травматизм, аварийность, анализ, промышленная безопасность.

Горнорудная промышленность играет важную роль в экономике Республики Казахстан. Развитие тяжелой и легкой индустрии во многом определяется ростом добычи руд черных, цветных и редких металлов. В Республике Казахстан имеются богатейшие запасы угля, руд черных, цветных металлов, каменных солей, фосфоритовых руд, золота и других полезных ископаемых, из которых получают различные металлы, химические удобрения, строительные материалы, пищевую соль и многие другие виды минерального сырья.

По запасам и уровню добычи основных видов минерального сырья Казахстан входит в первую десятку стран с развитой минерально-сырьевой базой. Свыше 20 стран мира располагают запасами хромовой руды, из них около 20% приходится на долю казахстанских месторождений. Одним из сокровищ, которыми богаты казахстанские недра, являются Южно-Кемпирсайские месторождения высококачественных хромовых руд, расположенные в Актюбинской области.

Месторождение «Восход» расположено в Хромтауском районе Актюбинской области, в 10 км северо-восточнее г. Хромтау. Разработку месторождения хромовых руд ведет ТОО «Восход Трейдинг».

*Анализ безопасности промышленного объекта. Опасные производственные факторы.*

Шахта месторождения «Восход» является опасным производственным объектом [1]. В соответствии с классификацией опасных и вредных производственных факторов по ГОСТ 12.0.003-74 на шахте «Восход» определены следующие опасные производственные факторы:

- подземные горные работы;
- движущиеся машины и механизмы;
- подвижные части производственного оборудования;
- повышенная запыленность и загазованность воздуха;
- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов;

- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень вибрации.

Во всех участках шахты «Восход» была проведена идентификация опасностей (табл. 1) и оценка рисков. На основании участковых перечней опасностей разработан перечень опасностей по шахте. Согласно проведенной оценке рисков во всех подразделениях шахты установлены допустимые и недопустимые риски. Для управления рисками разрабатываются соответствующие мероприятия на текущий год. В целях улучшения работы в области охраны здоровья и безопасности труда, а также оценки деятельности в этой области, оценка рисков производится ежегодно. Предварительная оценка рисков и разработка мероприятий по снижению и не допущению рисков позволяет заблаговременно предупреждать инциденты, аварийность и травматизм. Это одно из основных положительных требований спецификации OHSAS-18001:2007. Подобная оценка рисков и разработка предупреждающих мероприятий ранее на предприятиях не проводилась (стандартная система управления охраной труда на предприятии этого не требовалась). Все корректирующие и предупреждающие действия проводились уже по совершенному факту - после аварии, несчастного случая, инцидента и т.п.

**Таблица 1**  
*Обоснование идентификации особо опасных производств*

| № п/п | Перечень идентифицированных опасных производств                                                            | Наименование опасных веществ                      | Кол-во опасного вещества | Сведения о включении объекта в перечень опасных                                                                                                                                                                               |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Ведение горных работ по добывче полезных ископаемых подземным способом                                     | Заряженный блок для производства массового взрыва | Аммонит 6ЖВ – 5,5 т      | Приказ № 331 от 14 мая 2012 г. «Об утверждении Перечня опасных объектов, подлежащих декларированию безопасности в 2012 г., и упорядочении процедуры декларирования» (с изменениями и дополнениями Приказ № 18 от 09.01.14 г.) |
|       |                                                                                                            |                                                   | Гранулит Э – 6,4 т       |                                                                                                                                                                                                                               |
| 2     | Использование стационарно установленных подъемных механизмов<br><i>(Шахтные подъемные установки и др.)</i> | Нет                                               | Нет                      |                                                                                                                                                                                                                               |
| 3     | Использование оборудования, работающего под давлением более 0,07 МПа ( <i>Компрессорные установки</i> )    | Нет                                               | Нет                      |                                                                                                                                                                                                                               |

Шахта «Восход» классифицируется как опасный производственный объект, на котором в соответствии с разделом 6 закона Республики Казахстан «О гражданской защите» № 188-В от 11.04.2014 г. осуществляется добыча полезных ископаемых подземным способом, а также применяются: грузоподъемные механизмы, баллоны с газами и взрывчатые вещества.

Сведения об известных авариях на опасном объекте и аналогичных предприятиях горной отрасли даются в табл. 2.

Таблица 2  
*Сведения об известных авариях*

| п/п   | Перечень аварий и неполадок                                                                                 | Дата             | Характеристика аварий и неполадок                                                                                                                                                                                                |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | На опасном объекте                                                                                          |                  |                                                                                                                                                                                                                                  |
| 1.1   | Нет                                                                                                         | -                | -                                                                                                                                                                                                                                |
| 2     | На других аналогичных объектах:                                                                             |                  |                                                                                                                                                                                                                                  |
| 2.1   | Иртышский рудник ТОО «Корпорация Казахмыс»                                                                  |                  |                                                                                                                                                                                                                                  |
| 2.1.1 | Падение погрузочно-доставочной машины CATERPILLAR-1300 в ствол шх. «Вспомогательная» Иртышского рудника     | октябрь 1999 г.  | В результате динамического рывка произошел обрыв каната, на котором опускалась ПДМ.                                                                                                                                              |
| 2.1.2 | Крен и усадка породного бункера шх. «Скиповая»                                                              | март 2000 г.     | Произошла усадка породного бункера шх. «Скиповая».                                                                                                                                                                               |
| 2.1.3 | В ствол упущен старый канат                                                                                 | апрель 2004 г.   | При замене каната шх. «Скиповая» упущен в ствол старый канат.                                                                                                                                                                    |
| 2.1.4 | Групповой несчастный случай в блоке 1121 ЮВЗ со смертельным исходом                                         | июнь 2004 г.     | Травма со смертельным исходом нанесена в результате внезапного локального вывала горной массы на скреперном штреке блока 1121.                                                                                                   |
| 2.2   | Белоусовский рудник ТОО «Корпорация Казахмыс»                                                               |                  |                                                                                                                                                                                                                                  |
| 2.2.1 | Взрыв ВМ в контейнере при доставке ВВ на склад ВМ на VII горизонте                                          | июль 1976 г.     | Произошло возгорание деревянной обшивки контейнера.                                                                                                                                                                              |
| 2.2.2 | Падение вагона ВГ-2,2 в ствол шахты «Капитальная» Белоусовского рудника с нулевой площадки до III горизонта | Сентябрь 1984 г. | При открытой шторной двери и несработавших стопорных кулаках произошло падение вагона в ствол.                                                                                                                                   |
| 2.2.3 | Провал земной поверхности в разрезе 92-93 Белоусовского месторождения                                       | 6 июня 2005 г.   | Вследствие неожиданного провала околоврудных целиков II-III горизонтов блоков 292-392 в непредвиденные пустоты блоков 392, 492 произошло обрушение налагающих пород, привлекшее за собой образование провала земной поверхности. |

Для анализа условий возникновения аварийных ситуаций необходимо установить возможные причины их возникновения и развития.

Причиной развития аварийных ситуаций на шахте могут являться: пожар или взрыв в горных выработках; завал и обрушение горных выработок; провалы дневной поверхности; затопление горных выработок; аварии на шахтных подъёмных установках и других ГПМ; поломка компрессорного оборудования; возгорание или детонация ВМ на складах ВМ и в раздаточной камере, а также вследствие ДТП при их транспортировке спецавтотранспортом [2].

По каждой из перечисленных возможных аварий рассмотрим их возможное проявление и сценарий развития:

- *Пожар в горных выработках.* Возгорание во время проведения газо- или электросварочных работ в выработках, возгорание электроприборов и электрокабелей, возгорание ВВ при транспортировке, использовании или хранении, возгорание при производстве взрывных работ, возгорание ГСМ при транспортировке или использовании и т.д. → по-

жар на стадиях его развития не ликвидирован → распространение огня по горным выработкам → заполнение продуктами горения горных выработок → уничтожение огнем горных выработок, оборудования, термическое воздействие и отравление людей продуктами горения → остановка работ на данном направлении для оцепления → принятие мер по эвакуации людей и по ликвидации ЧС.

- *Взрыв в горной выработке.* Преждевременная детонация ВМ или паров ГСМ при их транспортировке, хранении или использовании → распространение ударно-воздушной волны по горным выработкам → заполнение продуктами взрыва горных выработок → уничтожение ударно-воздушной волной горных выработок, оборудования, травмирование, гибель и отравление людей продуктами взрыва → остановка работ на данном направлении для оцепления → принятие мер по эвакуации людей и по ликвидации ЧС.

- *Затопление горных выработок.* Неисправность насосных установок главного водотлива или временное отключение электроэнергии → затопление горных выработок, уничтожение оборудования, травмирование людей → остановка работ на данном направлении для оцепления → принятие мер по эвакуации людей и по ликвидации ЧС.

- *Затопление горных выработок.* При вывалах и отслоениях горной массы в результате несоблюдения паспорта крепления и управления кровлей горной выработки, неправильный выбор постоянной и временной крепи при составлении паспорта крепления и управления кровлей, при несвоевременном погашении пустот, при землетрясениях, и т.д. → травмирование, гибель людей и уничтожение оборудования → остановка работ на данном направлении для оцепления → принятие мер по эвакуации людей и по ликвидации ЧС.

- *Аварии на шахтных подъёмных установках.* Неполадки в подъёмной установке, обрыв головного каната, выход клети из жестких проводников → зависание людей в клети → принятие мер по эвакуации людей и по ликвидации ЧС.

- *Падение грузоподъемного механизма.* Разрушение металлоконструкции грузоподъемного механизма или других его частей и (или) агрегатов в результате неправильной эксплуатации или по другим причинам (длительная эксплуатация при наличии усталостных трещин; неудовлетворительное качество металла; низкое качество изготовления и монтажа; температурный режим эксплуатации крана и несоответствия климатического исполнения; знакопеременная нагрузка, ведущая к появлению скрытых трещин усталостного характера; конструктивные недоработки при проектировании кранов; коррозия металла; нарушение режима эксплуатации крана, перегрузки; падение крана при землетрясении; прочие факторы) → падение грузоподъемного механизма → выход из строя оборудования → травмирование, гибель людей, находящихся в зоне падения грузоподъемного механизма → остановка работ на данном направлении для оцепления → принятие мер по ликвидации ЧС.

- *Аварии в компрессорных станциях.* Неисправность компрессоров, нарушение правил эксплуатации компрессоров → давление выше критического → неисправная работа запорно-регулировочной арматуры → разрушение сосудов и оборудования, работающих под давлением, здания компрессорной → остановка буровзрывных работ на руднике → принятие мер по эвакуации людей из здания компрессорной станции и по ликвидации ЧС.

- *Возгорание или детонация ВМ вследствие ДТП при их транспортировке спецавтомобилем.* Дорожно-транспортное происшествие, приведшее к опрокидыванию автомобиля с ВМ → возгорание и (или) детонация ВМ → возгорание автомобиля с возможным его уничтожением, гибель либоувечья и ожоги людей, находящихся в непосред-

ственной близости от места аварии, материальный ущерб → принятие мер по эвакуации людей и по ликвидации ЧС.

- *Пожар со взрывом ВМ на базисном складе ВМ.* Возгорание ВМ при их хранении → пожар на стадиях его развития не ликвидирован → детонация ВМ → распространение ударно-воздушной волны по территории склада → выбросы в атмосферу продуктов горения и взрыва ВМ → уничтожение ударно-воздушной волной части или всего базисного склада ВМ → травмирование, гибель и отравление людей, находящихся на складе → принятие мер по эвакуации людей и по ликвидации ЧС.

- *Пожар со взрывом ВМ в раздаточной камере ВМ.* Возгорание ВМ при их хранении → пожар на стадиях его развития не ликвидирован → детонация ВМ → распространение ударно-воздушной волны по выработкам → выбросы в атмосферу продуктов взрыва ВМ → уничтожение ударно-воздушной волной части или всей камеры → травмирование, гибель и отравление людей, находящихся в камере → принятие мер по эвакуации людей и по ликвидации ЧС.

- *Взрыв ВМ в раздаточной камере ВМ.* Детонация ВМ → распространение ударно-воздушной волны по выработкам → выбросы в атмосферу продуктов взрыва ВМ → уничтожение ударно-воздушной волной части или всей камеры → травмирование, гибель и отравление людей, находящихся в камере → принятие мер по эвакуации людей и по ликвидации ЧС.

- *Пожар со взрывом ВМ в надшахтном здании.* Возгорание ВМ при их перегрузке → пожар на стадиях его развития не ликвидирован → детонация ВМ → распространение ударно-воздушной волны на поверхности → заполнение продуктами взрыва надшахтного здания → реверсирование главного вентилятора с опрокидыванием воздушной струи, уничтожение ударно-воздушной волной части или всего надшахтного здания, а также других промышленных объектов, попадающих в зону действия поражающих факторов → травмирование, гибель и отравление людей, находящихся в радиусе опасной зоны → остановка работ на данном направлении для оцепления → принятие мер по эвакуации людей и по ликвидации ЧС.

- *Взрыв ВМ в надшахтном здании.* Детонация ВМ при их перегрузке → распространение ударно-воздушной волны на поверхности → заполнение продуктами взрыва надшахтного здания → реверсирование главного вентилятора с опрокидыванием воздушной струи, уничтожение ударно-воздушной волной части или всего надшахтного здания, а также других промышленных объектов, попадающих в зону действия поражающих факторов → травмирование, гибель и отравление людей, находящихся в радиусе опасной зоны → остановка работ на данном направлении для оцепления → принятие мер по эвакуации людей и по ликвидации ЧС.

- *Возгорание ГСМ вследствие ДТП при их транспортировке спецавтомотранспортом.* Дорожно-транспортное происшествие, приведшее к опрокидыванию автомобиля с ГСМ → возгорание ГСМ → возгорание автомобиля с возможным его уничтожением, гибель либо увечия и ожоги людей, находящихся в непосредственной близости от места аварии, материальный ущерб → принятие мер по эвакуации людей и по ликвидации ЧС.

- *Пожар на складе ГСМ.* Нарушение правил хранения ГСМ → возгорание ГСМ → термические ожоги, материальный ущерб → ликвидация пожара силами предприятия.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Возможные последствия аварий и чрезвычайных ситуаций.

Последствиями аварий и чрезвычайных ситуаций могут являться: разрушение и уничтожение огнем и (или) взрывом подземных горных выработок, строительных зданий и

сооружений, складов ВМ, склада ГСМ, спецавтотранспорта, а также горно-шахтного оборудования, оборудования компрессорных станций; нарушение вентиляционного режима и энергоснабжения; выбросы в рудничную атмосферу продуктов горения и продуктов взрыва; разрушение подземных горных выработок и горно-шахтного оборудования в результате обрушения горной массы; затопление подземных горных выработок и горно-шахтного оборудования; разрушение горно-шахтного оборудования и подъемных установок в результате неправильной эксплуатации; при взрыве машины с ВМ основным поражающим фактором является ударная волна, приводящая к травмированию людей, находящихся в опасной зоне, и выводу из эксплуатации автомашины; при обрушении борта карьера или падении машин с уступа, отвала возможно повреждение бурового или погрузочного оборудования, травмирование людей; при затоплении нижнего горизонта карьера возможно снижение производительности карьера и затраты на водоотлив; при взрыве заряжаемого блока основным поражающим фактором является разлет кусков горной массы, приводящий к травмированию, людей находящихся в опасной зоне, остановка всех горных работ вследствие различных аварий; отравление, травмирование и гибель людей, находящихся в зоне действия поражающих факторов [1, 2].

## 2. Зоны действия основных поражающих факторов.

Зоны возможного поражения при возникновении ЧС включают все подземные выработки, в которых производятся горные работы, транспортируются, хранятся и используются ВВ, СВ и ГСМ, а также радиус действия поражающих факторов (ударно-воздушной волны) на поверхности по пути транспортировки ВВ, СВ и ГСМ:

а) при преждевременном взрыве заряжаемого блока безопасное расстояние составляет 400 м;

б) при взрыве машины с ВМ безопасное расстояние составляет – 200 м.

3. Число пострадавших. В зависимости от вида аварии максимальное число пострадавших на шахте, его объектах и среди персонала может достигать до 10 человек, а смертельно травмированных людей до 3 человек.

## Список литературы

1. Закон РК «О гражданской защите РК» № 314-113РК от 11.04.2014 г.
2. Требования промышленной безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом. - Астана, 2007 г.

Получено 13.08.2018

УДК 338.91

**З.Т. Ауезова, К.Т. Ауезова, Г.Т. Оспан**

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана

## ОЦЕНКА ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ УЛЫТАУСКОГО РАЙОНА КАРАГАНДИНСКОЙ ОБЛАСТИ ПО МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА РЕЙТИНГА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

*В статье рассматривается оценка демографических потенциалов Улытауского района Карагандинской области по методике расчета рейтинга конкурентоспособности. Проведен анализ демографического потенциала каждого населенного пункта по гравитационной теории Рейли, тем самым определен суммарный демографический потенциал в зависимости от численности населения и среднего расстояния от всех населенных пунктов Улытауского района.*

*Мақалада Қарағанды облысы Ұлытау ауданының демографиялық әлеуетін бәсекеге қабілеттілік рейтингісін есептеу әдісі арқылы бағалау қарастырылған. Әр елді мекениң демографиялық әлеуетіне Рейлидің гравитациялық теориясы бойынша талдау жүргізілді, осылай Ұлытау*

*ауданының халық саны мен елді мекендерінің орташа қашықтығына байланысты демографиялық әлеуеті анықталды.*

*The article considers the estimation of demographic potentials of Ulytau district of Karaganda region according to the methodology of calculation of the competitiveness rating. The analysis of demographic potential of each locality on the gravitational theory of Raleigh is carried out, thus the total demographic potential is determined depending on population size and average distance from all settlements of Ulytau district.*

Интеграция Казахстана в мировую экономику сопровождается изменениями в размещении производительных сил и формировании новой территориальной структуры населения. В настоящее время факторами, влияющими на социально-демографические процессы, наряду с трансформацией территориальной структуры размещения производительных сил, становится растущее влияние внешних факторов. Несомненным остается то, что в современных условиях сохраняет свое значение региональный принцип анализа динамики численности населения крупного промышленного региона, такого, как Карагандинская область, в условиях перехода к рынку.

Административные области в республике по уровню развития подразделяются на 3 группы. В основу выделения групп взяты показатели: валовый региональный продукт на душу населения, среднедушевые доходы населения, соотношение среднедушевых доходов и прожиточного минимума, индекс человеческого развития. Карагандинская область относится к первой группе областей Республики Казахстан. По сравнению с другими областями, в Карагандинской области сосредоточен самый большой объем основных производственных фондов промышленного производства, жилого фонда и самый высокий показатель товарооборота, платных услуг в расчете на душу населения, средний размер пенсии. Учитывая эти показатели, мы выбрали именно Ультауский район Карагандинской области.

Ультауский район был образован в 1938 году и просуществовал до 1962 года. В период 1962 по 1972 гг. такого района не было. Вся территория относилась к Жездинскому району. В 1972 году Ультауский район был вновь образован с центром в поселке Ультау. А в 1997 году Жездинский район был присоединен к Ультаускому с центром в с. Ультау. Площадь района составляет 122,9 тыс. кв. км - это самый крупный район по территории, расстояние до Караганды составляет 550-600 км. Ландшафты Ультауского района отличаются большим разнообразием.

В Ультауском районе 90% площади приходится на пустынно-степные кормовые угодья, средний балл бонитета пахотных угодий составляет всего 15, в целом по центральному Казахстану в пределах 20-25. Вся территория Ультауского района относится к зоне рискованного земледелия. В районе наблюдается экологическая напряженность, комплексность почвенного покрова и мозаичность растительности, чистые ветровые потоки, идущие из Приаралья, незначительное количество осадков. Особую тревогу вызывает загрязнение ракетным топливом – гептилом, который легко вступает в реакцию окисления, образуя концергенные продукты. Незначительная несгоревшая его часть, оставаясь в почве, сохраняется там длительное время. Комиссия, обследовавшая районы падения «Протона», установила, что показатели общей заболеваемости в районе превысины. Загрязнение почво-грунтов несгоревшим гептилом происходит в результате частого падения отработанных ступеней космических ракет космодрома Байконур.

В аульных округах высок показатель младенческой смертности, который оказывает влияние на показатель средней продолжительности жизни. Показатели общей заболеваемости сельского населения в два раза превышают республиканский уровень.

Население большинства аульных округов пользуется местными источниками, а качество воды по микробиологическому и химическому составу неудовлетворительное, вода пригодна для питья только при соответствующей обработке [1, 2, 3].

В Улытауском районе 15 сельских округов с численностью населения всего 15066 человек по данным сельских населенных пунктов Министерства сельского хозяйства. Район состоит из 29 сельских населенных пунктов, в числе которых 3 поселка и 26 аулов:

- Актас (число населения 158 человек);
- Жезды (число населения 2796 человек);
- Карсакпай (число населения 1700 человек).

В 1929 году В. Рейли (США) предложил закон гравитации розничной торговли, согласно которому город притягивает своей розничной торговлей клиентуру с окружающей территории с силой, пропорциональной размеру города и обратно пропорциональной квадрату расстояния от клиента до центра города.

Граница зон сбыта городов  $i$  и  $j$  определяется как геометрическое место точек, для которых

$$\frac{p_i}{d_{i,x}^2} = \frac{p_j}{d_{j,x}^2},$$

где  $d_{i,x}, d_{j,x}$  - расстояние от городов  $i$  и  $j$  до точки  $x$  на границе соответственно.

Гравитационная модель применяется для описания и прогноза различных социальных и экономических взаимодействий между районами города, населенными пунктами и базируется на предположении, что величина (сила) взаимодействия пропорциональна произведению показателей численности населения районов и обратно пропорциональна расстоянию между ними.

Оказалось, что демографический потенциал отражает освоенность территории лучше, чем общепринятый показатель плотности населения. Отмечена также высокая корреляция демографического потенциала с размещением розничной торговли, развитием автомобильных дорог, занятостью сельского населения в несельскохозяйственных секторах [4, 5, 6].

Для анализа общих закономерностей распределения населения как важнейшей системообразующей функции города по его территории используются модели городского пространственного развития. В качестве информационной модели города для решения такого рода задач используется граф, в вершинах которого в зависимости от цели решения задачи предполагается:

- сосредоточение населения (если речь идет о проживании);
- наличие определенного числа мест культурно-бытового или рекреационного обслуживания;
- определенное количество рабочих мест.

Улытауский район относится к локальным эколого-экономическим районам Центрального Казахстана. Это означает удаленность от областного центра (600-650 км), от крупных рынков сбыта, городских агломераций, транспортная тупиковость.

Основными факторами развития сельских территорий и расселения сельского населения по районам Казахстана являются:

- природно-климатические условия;
- специализация и размещение сельскохозяйственного производства по природным зонам;
- уровень доходов сельских товаропроизводителей;
- экологическая обстановка и уровень жизнеобеспеченности сельских жителей.

Следовательно, необходимо выделить приоритетные задачи и направления действий по улучшению комплексного состояния отдаленных и локальных территорий страны [5, 7, 8]. С помощью методики расчета рейтинга конкурентоспособности и показателей, определяющих благоприятные условия жизни в селе, выявлен рейтинг потенциала сел Ульяуского района (табл. 1).

Таблица 1

*Рейтинг потенциала развития СНП Ульяуского района*

| Рейтинг | Наименование сельского округа | Наименование сел | Оценочный балл |
|---------|-------------------------------|------------------|----------------|
| 1       | им. Мукана Иманжанова         | с. Ульятау       | 82,4           |
| 2       | Карсакпайская п.а.            | п. Карсакпай     | 72,2           |
| 3       | Сарыуский                     | с. Жыланды       | 71,6           |
| 4       | Жездинская п.а.               | п. Жезды         | 71,0           |
| 5       | Борсенгирский                 | с. Борсенгир     | 70,4           |
| 6       | Коргасынский                  | с. Коргасын      | 70,3           |
| 7       | Каракенгирский                | с. Бозтумсык     | 70,0           |
| 8       | Амангельдинский               | с. Сарлык        | 68,8           |
| 9       | Жангильдинский                | с. Байконур      | 60,0           |
| 10      | Терсакканский                 | с. Терсаккан     | 58,3           |
| 11      | Мыйбулакский                  | с. Мыйбулак      | 57,9           |
| 12      | Алгабасский                   | с. Бетбулак      | 56,4           |
| 13      | Коскольский                   | с. Косколь       | 55,3           |
| 14      | Егиндинский                   | с. Егинди        | 54,3           |
| 15      | Актасская п.а.                | с. Пионер        | 51,9           |
| 16      | Терсакканский                 | с. Косколь       | 49,2           |
| 17      | Актасская п.а.                | п. Актас         | 47,2           |
| 18      | Мыйбулакский                  | с. Аккенсе       | 38,7           |
| 19      | им. Мукана Иманжанова         | с. Айыртау       | 35,3           |
| 20      | им. Мукана Иманжанова         | н.п. Кызыл уй    | 35,1           |
| 21      | им. Мукана Иманжанова         | с. Талдысай      | 33,9           |
| 22      | Амангельдинский               | с. Боздак        | 22,3           |
| 23      | Жездинская п.а.               | н.п. Орнек       | 20,5           |
| 24      | Сарыуский                     | с. Тюемойнак     | 18,1           |
| 25      | Коргасынский                  | н.п. Унгирли     | 15,8           |
| 26      | Жангильдинский                | н.п. Кызылуй     | 15,1           |
| 27      | Коскольский                   | н.п. Кулжанбай   | 11,1           |
| 28      | Жангильдинский                | н.п. Талдыкудук  | 8,8            |
| 29      | Коскольский                   | н.п. Наролген    | 6,3            |

На основе ретроспективного анализа и вышеупомянутой оценки нами дана оценка перспективности сельских населенных пунктов, которые были разделены на следующие группы (табл. 2):

1. Перспективные СНП. Оценочный балл в интервале 70-100. Данные села предполагаемо будут являться точками роста и опорными центрами.
2. Относительно благополучные СНП. Оценочный балл в интервале 50-69. Данные села предполагаемо будут являться опорными центрами для близлежащих неблагополучных сел.

3. Относительно неблагополучные СНП. Оценочный балл в интервале 25-49.
4. Неперспективные СНП. Оценочный балл в интервале 0-24.

**Таблица 2**  
*Выходы анализа перспективности сел Улытауского района*

| № | Перспективные СНП | Относительно благополучные СНП  | Относительно не-благополучные СНП     | Неперспективные СНП                  |
|---|-------------------|---------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
|   | с. Улытау         | с. Бозтумсык                    | с. Косколь<br>(с/о Терисакканский)    | с. Боздак                            |
|   | п. Карсакпай      | с. Сарлык                       | п. Актас                              | н.п. Орнек                           |
|   | с. Жыланды        | с. Байконур                     | с. Аккенсе                            | с. Тюемойнак                         |
|   | п. Жезды          | с. Терсаккан                    | с. Айыртау                            | н.п. Унгирли                         |
|   | с. Борсенгир      | с. Мыйбулак                     | н.п. Кызыл уй (с/о им. М. Иманжанова) | н.п. Кызылуй<br>(Жангильдинский с/о) |
|   | с. Коргасын       | с. Бетбулак                     | с. Талдысай                           | н.п. Кулжанбай                       |
|   |                   | с. Косколь<br>(с/о Коскольский) |                                       | н.п. Талдыкудук                      |
|   |                   | с. Егинди                       |                                       | н.п. Киик                            |
|   |                   | с. Пионер                       |                                       |                                      |

На основе исследований мы предлагаем для разработки и реализации конкретных мер по изменению социально-экономической и демографической ситуации района 2 варианта возможного развития [6, 9].

*1 вариант* - улучшение экономической ситуации с проведением специальных мер по оздоровлению социально-демографической обстановки в районе, особенно учитывая экологическую напряженность. Общая социально-экономическая стабилизация вызовет некоторые, но очень существенные демографические изменения. Рождаемость возрастет, смертность снизится, наличие материальных средств будет способствовать прекращению оттока населения, сальдо миграции примет устойчивый характер. В результате общая численность населения района будет увеличиваться.

*2 вариант* - проведение демографической политики на фоне общего улучшения социально-экономической ситуации. Создание современной рекреационной инфраструктуры в Улытауской зоне и экологизация рекреационной деятельности. Только грамотная и обоснованная демографическая политика может действительно изменить социально-демографическую ситуацию Улытауского района, сделать его привлекательным для приезжающих, приостановить отток населения сельских населенных аульных округов.

Основой сельскохозяйственного развития Улытауского района как устойчиво развивающегося региона являются следующие опорные точки роста сельской территории:

- создание автономной многопрофильной инновационной сельскохозяйственной экосистемы, ориентированной на законченный цикл сельскохозяйственного производства с получением готовых экологически чистых продуктов питания, а также новых экологических продуктов от утилизации отходов сельхозпроизводства;
- создание единой управлеченческой, логистической, обслуживающей инфраструктуры для предприятий малого агробизнеса и индивидуального сельского предпринимательства;

- развитие несельскохозяйственных видов деятельности с использованием разнообразных местных ресурсов (производство стройматериалов и другой продукции из местного сырья, сельский туризм, различные направления сферы услуг в сельской экономике и т.д.).

#### Список литературы

1. Государственная программа развития здравоохранения Республики Казахстан «Саламатты Қазақстан» на 2011-2015 годы (Утверждена Указом Президента Республики Казахстан от 29 ноября 2010 года № 1113).
2. Государственная программа «Здоровый образ жизни» на 2008 - 2016 годы (Утверждена постановлением Правительства Республики Казахстан от 21 декабря 2007 года № 1260).
3. Официальный сайт Ульытауского района Карагандинской области.
4. Коробейников М.М. Совершенствование протекционистской поддержки сельского хозяйства // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. - 2005. - № 10. - С. 49.
5. Коробейников М. Законодательная основа экономического механизма обеспечения устойчивого развития АПК // Международный сельскохозяйственный журнал. - 2008. - № 1-3.
6. Douglas Webster and Larissa Muller. URBAN COMPETITIVENESS ASSESSMENT IN DEVELOPING COUNTRY URBAN REGIONS: THE ROAD FORWARD. Group, INFUD\* The World Bank, Washington D.C. July 17, 2000.-148 р.
7. Кузнецова О.В. Экономическое развитие регионов: Теоретические и практические аспекты государственного регулирования. - М., 2002. - 421 с.
8. Ларина Н.И. Региональная политика в странах рыночной экономики: Учеб. пособие / Н.И. Ларина, А.А. Кисельников // НГАЭИУ. - М.: ОАО Изд-во «Экономика», 1998. - 172 с.
9. Габдуалиева Р.С. Сельское хозяйство региона как объект государственного регулирования: Сельское хозяйство // Вестник КазНУ. Сер. экон.- 2006. - № 6.- С. 55.
10. Прогнозная схема территориально-пространственного развития страны до 2020 года (Утвержден Указом Президента Республики Казахстан от 21 июля 2011 года № 118).
11. Программа развития моногородов на 2012–2020 годы (Утверждено постановлением Правительства Республики Казахстан от 25 мая 2012 года № 683).
12. Карта индустриализации Казахстана на 2010-2014 годы (Утверждено постановлением Правительства Республики Казахстан от 14 апреля 2010 года № 303).
13. Дорожная карта бизнеса 2020 (Утверждена постановлением Правительства Республики Казахстан от 13 апреля 2010 года № 301).
14. Даниленко Л. Обоснование необходимости государственного регулирования аграрного сектора // АПК: экономика, управление. - 2006. - № 3. - С. 43-46.
15. Кемел М. Государственное регулирование развития АПК и сельских территорий: Агропромышленный комплекс // Устойчивое развитие КЗ. - 2005.- № 9.- С. 37.
16. Устойчивое развитие сельского хозяйства и сельских территорий: Зарубежный опыт и проблемы России / Отв. ред.: П.Ф. Глазовский, А.В. Гордеев, Г.В. Сдаюк. - М.: Т-во науч. изданий КМК, 2005. - 325 с.
17. Исходные данные Комитета по сельским территориям Министерства сельского хозяйства по сельским неселеным пунктам.

Получено 13.08.2018



УДК 004.036

**Р.Т. Бржанов**

Ш. Есенов атындағы КМТЖИУ, Ақтау қ.

**В.А. Лахно**

Еуропалық университеті, Киев қ.

**АҚПАРАТТЫ ӨҢДЕУДІҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ОСАЛДЫҚТАРЫҢ МОДЕЛЬДЕУ  
ҰШИН MATLAB ЖӘНЕ SIMULINK ПАКЕТИН ПАЙДАЛАНУ**

*В статье содержатся результаты исследований, позволяющих повысить уровень защиты автоматизированных информационных систем предприятий. В работе предложена последовательность этапов моделирования работы систем защиты информации от сетевых атак, когда имеются конфликтные потоки передаваемых данных между сервером и автоматизированными рабочими местами.*

*Мақалада көсіпорындардағы автоматтандырылған ақпараттық жүйелерін қорғау деңгейін көтерудегі зерттеу нәтижелері қарастырылған. Жұмыста сервер мен жұмыс станциялары арасында берілетін деректердің қайшылықтары болған жағдайда, желілік ақпараттарды қорғау жүйелерінің жұмысын модельдеу кезіндегі кезеңдерді ұсынылды.*

*The article contains the results of studies to improve the level of protection of automated information systems of enterprises. The paper proposes a sequence of stages of modeling of information security systems from network automated information systems in conditions where there are conflicting flows of transmitted data between the server and automated workstations.*

**Кілтті сөздер:** автоматтандырылған ақпараттық жүйе, қорғау деңгейі, математикалық модельді қорғау.

Ақпараттық қауіпсіздіктің талдауға келмейтін оқигалары мен инциденттерінің көп болуына әкеледі, олар технологиялық осалдықтардың алдын алуды, сонымен қатар АКТ-ны қылмыстар жасау үшін құрал ретінде пайдаланатын қылмыскерлермен күресті қынданатады [1]. Көптеген ресурстарға қол жеткізу автоматтандырылған ақпараттық жүйелерді (ААЖ) көздейді ресурстарды бөлу арна абоненттері арасында [2, 3]. Осы жұмыс жалғастыруда тақырыбы бойынша жарияланымдар зерттеумен байланысты даулы ағындарын ААЖ деректерді, және қалай салдары туындастын проблемаларға кіріспе ақпаратты қорғау жүйесін (АҚЖ) осындай ААЖ.

Үқтималдығы трансформация қызмет көрсету рәсімдерін мәліметтер ағымының бастанқы жай-қүйін түпкі желісі бойынша орналасқан шешімі негізінде жүйесін интегро-дифференциалдық тендеулер [4,5]:

$$\Phi_{ij}(h(tr_{ij}), \tau) = O_{ij} \cdot \int_0^{\tau} f_{ik}(h(tr_{ij}), \tau) \cdot \Phi_{kj}(h(tr_{ij}) - \tau) \cdot d\tau, \quad (1)$$

мұндағы  $\{O_{ij}\}$  – матрица ықтималдықтар трансформация күйлердің ААЖ;  $\{f_{ij}(\tau)\}$  – матрица тығыздық ықтималдық заманнан болу рәсімдерді қызмет көрсету деректер ағынын әрбір  $i$ -ші жағдайы.

Шешу үшін пайдаланылады математикалық аппараты желілерін Петри-Марков (ЖПМ). Ойлаймыз, ейткені желісі таңдалды (доғаның баған белгілі), онда балама нұсқалары бойынша орын ауыстыру дугам, қарауға болады.

$$\Phi_g(\tau) = \begin{cases} \prod_{h(tr) \in H} \Phi_{i+n_{h(n_{ij})}}(h(tr_{ij}), \tau) - \text{for } \wedge; \\ 1 - \prod_{h(tr) \in H} [1 - \Phi_{i+n_{h(n_{ij})}}(h(tr_{ij}), \tau)] - \text{for } \vee, \end{cases} \quad (2)$$

мұндағы –  $\Phi_{i+n_{h(n_{ij})}}(h(tr_{ij}), \tau)$  өтпелі ықтималдығы. Анықталып, нәтижесінде теңдеулер жүйесін шешудің олар сипаттайтын жүйені трансформациялау.

Егер  $h(tr_{ij})$  желі астам емес анықталады өткелдер (немесе жок), онда ықтималдығы, бұл процесс есеп айырысу сәтіне уақыт жетеді түпкілікті көшу, яғни, тисе соңғы шынына баған орналасқан, мысалы:

$$\Phi_{i,j(t)} = \prod_{k=1}^j O_{spm(s_a)}, k(s_a, j) \cdot \int_0^t \Phi_{s_a}(\tau) \cdot f_{spm(s_a), j}(t - \tau) \cdot d\tau, \quad (3)$$

мұндағы  $spm(s_a)$  – позициясының нөмірі бойынша ЖПМ, ол керек бірден көше нөмірімен;  $s_a; k(s_a, j)$  – нөмірі бойынша өту тәртібі бойынша ауыстыру кезінде СПМ жылғы  $s_a$  көшу нөмірімен көшу нөмірімен  $j$ .

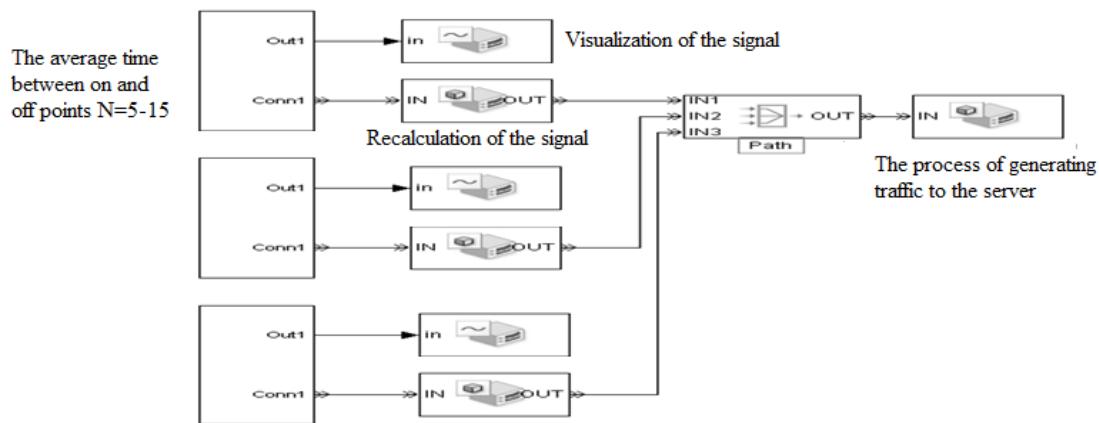
Іқтималдығы  $\Phi_{i,j(t)}$  болып табылады, шын мәнінде, мүмкіндігі іске асыру ақпараттық қауіптер. Егер қарастырылып отырған желісі тағы бар өткелдерін отырып, логикалық критерийлері болса, онда есептеу қайталаңады.

Үлкен жүйесін, оның ішінде ААЖ жарактандырылған кешендермен АҚЖ тұрады жүздеген, ал кейбір жағдайларда мың элементтерін және тағы көп санын олардың арасындағы байланыстар. Мұндай жүйе сипатталады неоднородностью элементтері. Сондай-ақ, гетерогенді арасындағы байланыс элементтері. Қарамастан дербес компоненттері немесе байланыс ААЖ барабар сипатталған модельдермен дискретті математика немесе теориясы жаппай қызмет көрсету жүйесі туралы тұтастай алғанда, бұл айтуға болмайды. Баламалы тәсіл қолдану болып табылады әдіснамасы имитациялық модельдеу (М). Имитациялық модельдеу біріктіруге мүмкіндік береді бір-бірімен әртекті математикалық модельдер элементтерінің құрамына кіретін ААЖ.

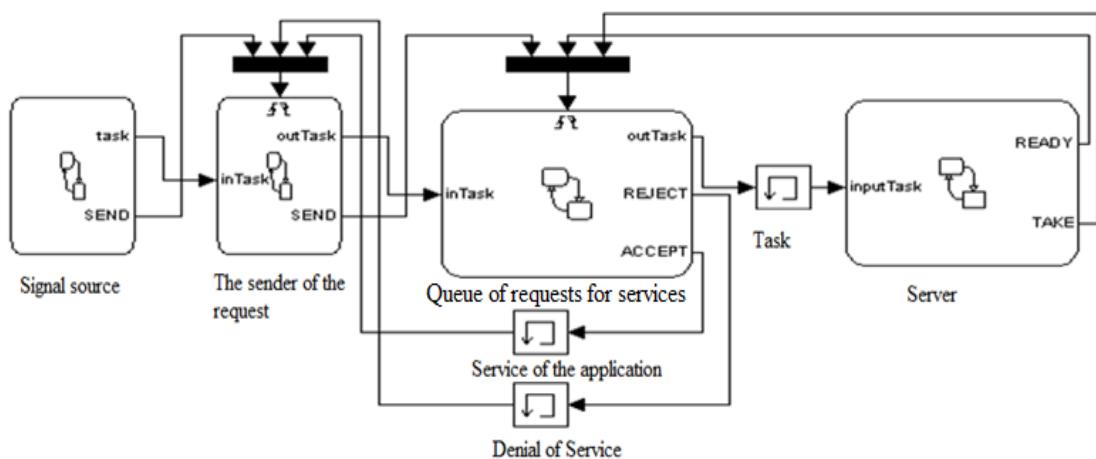
Ушін оларға ААЖ (құрылымдық компоненті ескеріледі және болуы АҚҚ) даулы ағынын таңдалған пакет Simulink. Мақсаты пакеттің жүзеге асыру болып табылады имитациялық модельдеу жүйелері мен құрылғыларын [6].

Ескере отырып, рекурренттық білдірген көлтірілген жұмыстарға [5], пайдаланып, құрал-саймандар имитациялық модельдеу пакетін MATLAB+Simulink, қарастырайық тәсілдерді талдау, динамикасын және өзара байланыстарын трафиктердің деректерді моделируемой ААЖ. Ескеріледі жанжалдық деректер ағымын [6]. Осы зерттеулерді жалғастыру [5, 6], деп ойлаймыз, желісі ААЖ дан тұрады бір деректерді беру желісі және станциялары (АЖО). АЖО мезгіл-мезгіл жіберуге талаптар деректерді беру желісі бойынша, суретті. 1, 2. Сұрау параметрлерін құрылды деректерге сәйкес [6]. (Автоматтандырылған жұмыс орны) АЖО1 – басым ағыны аз қарқындылығы; АЖО 2 – ағыны аз қарқындылығы; АЖО 3 – басым ағыны ең жоғары қарқындылығы түсетін сервер деректер).

Әуелде сондай-ақ, бұл уақытта дискретті және өзгеріп отырады 0-ден белгілі маңызы бар. АЖО бір бірінен тәуелсіз жұмыс істейді, және әрбір уақытта белгілі бір ықтималдықпен кез келген станция бола алады тұсу талабы деректерді беру желісі бойынша немесе орын босату желісі.



Сүр. 1 - Схемасы имитациялық модельдеу осалдықтар ААЖ шабуыл үшін "тіпті қызмет көрсетуден бас тарту"

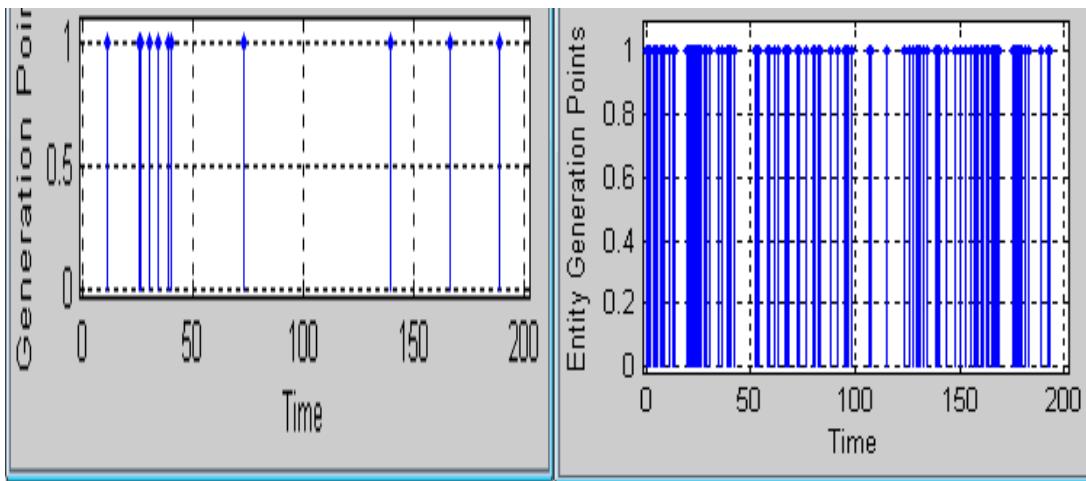


Сүр. 2 - Жұмыс істеге схемасы сервер ААЖ қызмет көрсететін өтінім

Бағдарламалық іске асыру математикалық модельдер [6] визуализация үшін мүмкіндік берді процесстер шығу әрбір АЖО. Т. е. болуы мүмкін, онда маңызды сипаттамалары ҚМК (времяостояния деректерді беру желісі ААЖ-орташа уақыты деректер беру желісі бойынша әрбір АЖО және т. б.). Ис жүзінде ұсынады күрделілігі іске асыру бағдарламалық тест реттілігі кез келген таңдалған пайдаланушы немесе негұрлым маңызды компоненті жай-күйін ААЖ (оыймызша, белгілі санды АЖО ААЖ). Мысалы, күріш. З көрсетілді тест трафиктерді желіде ААЖ.

1-нұсқа – барлық АЖО тен ықтималдығын алуы жолға беру. Шамамен бірдей және ықтималдық босату беру желілері кейін оның сабактары тиісті АЖО-суретті қараңыз. З "а".

2-нұсқа – сервер ААЖ шабуылға үшірағанда үлгідегі бас тарту қызмет көрсетуде. Содан кейін ықтималдығы жағдайларға сабактар желісі әрбір АЖО ААЖ ұмтылу "0" немесе бірінші және екінші АЖО бар көп сұраныстарын деректерді және ұзақ алады сзығына қарағанда, бірінші АЖОЗ 3 -суретті қараңыз.



Сур. 3 - Модельдеу нәтижелерін жұмыс істеге режимдерінің ААЖ

### ҚОРЫТЫНДЫ

Орындалған зерттеулер мүмкіндік берді әзірлеу кезеңдерінің реттілігі келесі модельдеу жұмыс АҚҚ-ның құрамында ААЖ:

- 1) көп фазалы КМК салу схемасы есептеу үшін сыйымдылық және уақытша сипаттамаларын АҚҚ ААЖ пайдалана отырып, MATLAB + Simulink;
- 2) орындау заңдастыруды барлық ықтимал жағдайлар модельдеу ААЖ және оның АҚҚ желілік шабуылдардан.
- 3) бөлу қауіпті жай-күйін; анықтау қарқындылығы мен көшу ықтималдығын тораптарын АҚҚ мен ААЖ жалпы жай-күйі;
- 4) сәйкес граф өтуілер жүйесін ескере отырып, дифференциалдық немесе рекурренттық тендеулер анықтау ықтималдық сипаттамалары күйлердің ААЖ уақыт функциясы сияқты және қарқындылығы кіріс ағынының талаптар.

### Қолданған әдебиеттер

1. Киберқауіпсіздік тұжырымдамасы. Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2017 жылғы «30» маусым № 407 [қаулысымен](#) бекітілген.
2. Petrov, B. Borowik, M. Karpinsky, O. Korchenko, V. Lakhno (2016). Immune and defensive corporate systems with intellectual identification of threats, Pszczyna :ŚląskaOficynaDrukarska, 222 p. ISBN: 978-83-62674-68-8.
3. Lahno, V. (2014). Ensuring of information processes' reliability and security in critical application data processing systems. MESTJournal, Vol. 2, pp. 71–79. doi: 10.12709/mest.02.02.01.07
4. Воробьев А.А. Анализ моделей процессов защиты информации от несанкционированного доступа в автоматизированных системах // Информатика-машиностроение. - 1999. - № 2. - С. 32-34.
5. Лахно В.А. Обеспечение защищенности автоматизированных информационных систем транспортных предприятий в условиях роста транзитных перевозок: Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка / В.А. Лахно, А.С. Петров. - № 21. - 2009. - С. 110-120.
6. Лахно В.А. Исследование конфликтных потоков заявок в системах защиты информации / В.А. Лахно, А.С. Петров, Н.Н. Чертунина // Вісник СНУ ім. В. Даля. - № 6 (136). - 2009. - С. 200-209.

Получено 13.08.2018

МРНТИ 681.518:339.138(045)

## Б.Е. Ибадильдин, А.А. Исмаилова

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Астана

### РОЛЬ ЧАТ-БОТОВ В АВТОМАТИЗАЦИИ СЕРВИСОВ

*В данной статье рассматривается развитие чат-ботов как инструмента автоматизации различных сервисов. Приведены и рассмотрены виды ботов и процессы взаимодействия с пользователями, а также базовые примеры разработки. Рассмотрены главные преимущества и недостатки использования данного вида автоматизации в различных сферах.*

*Бұл мақалада әртүрлі қызметтерді автоматтандыру құралы ретінде чат боттардың дамуы талқыланады. Пайдаланушылар мен боттар және өзара мәлімет алмасу процесстері, сондай-ақ негізгі даму мысалдары ұсынылып, қарастырылады. Әртүрлі салаларда автоматтандырудың осы түрін пайдаланудың негізгі артықшылықтары мен кемшиліктері қарастырылады.*

*This article discusses the development of chat bots as a tool for automating various services. Bots and interaction processes with users, as well as basic development examples, are presented and considered. The main advantages and disadvantages of using this type of automation in various fields are considered.*

**Ключевые слова:** чат-бот, сервисы, автоматизация, мессенджер, социальная сеть, Telegram, медиатренды, маркетинг.

**Мессенджер как платформа развития для автоматизации.** Актуальность данной темы определена тем, что в данный момент мессенджеры становятся более популярными. Как и мобильные телефоны, плавно перешедшие в облик смартфонов, мессенджеры обрастают новыми функциями, которые положительно влияют на их популярность в современном обществе, соответствуя современным медиатрендам.

Согласно данным аналитической компании eMarketer, в 2016 году более 1,4 миллиарда человек использовали приложения для обмена сообщениями. К 2019 году более 25% населения мира (примерно 1,75 миллиарда человек) будут постоянно использовать мессенджеры для связи друг с другом [1]. На сегодняшний день мессенджеры начинают частично вытеснять социальные сети, новостные ленты, а также различные сервисы, которые были доступны и ранее, но разнесены по отдельным классам. Одним из инструментов, позволяющих прогрессировать в направлении автоматизации, являются чат-боты.

Если обратиться к определению данного термина, чат-бот - это некая компьютерная программа, имитирующая поведение человека при общении, иначе говоря, программа-собеседник. Но и это определение уже тоже можно признать устаревшим, поскольку нынешнее поколение чат-ботов, обитающее в мессенджерах, уже не используется только для имитации общения. На сегодняшний день чат-боты - это целый программный кластер, объединяющий в себе различные сервисы в одном месте [2].

**Основные векторы использования чат-ботов.** Согласно докладу Humanity in the Machine, подавляющее большинство людей готовы к тому, что бизнес будет предоставлять свои услуги с помощью чат-ботов. Ради быстрых и точных ответов люди готовы общаться с ботами-продавцами, консультантами, секретарями. Онлайн-чат и приложения для обмена сообщениями являются наиболее предпочтительным способом связи с продавцом для 29% американцев. В других странах этот показатель пока ниже, но постепенно всё больше людей начинают отдавать предпочтение чат-ботам. В данный момент существует очень много вариаций их использования. Основные чат-боты:

- автоматизация рутинной работы - позволяет выполнять определенные функции, не привлекая людей, а работа будет выполнена моментально и безупречно;

- поиск и агрегация новостей, аналитики, данных (data-driven collaboration) - данные доступны в месте принятия решений - мессенджерах и всем участникам, которым они нужны;

- электронная коммерция - для спонтанных покупок без долгого поиска, mobile ecommerce + visual search + chatbots, для общения с клиентами;

Первая линия работы с клиентами, помощники, консультанты, типовые вопросы, телефона [3]. Ярким примером использования данной технологии является чат-бот, разработанный АО «Казпочта», взявший за основу платформу мессенджера Telegram. Несмотря на то что сервисы данной компании доступны как в веб-приложении, так и в мобильном приложении, все основные и часто используемые сервисы есть и в чат-боте (рис. 1).

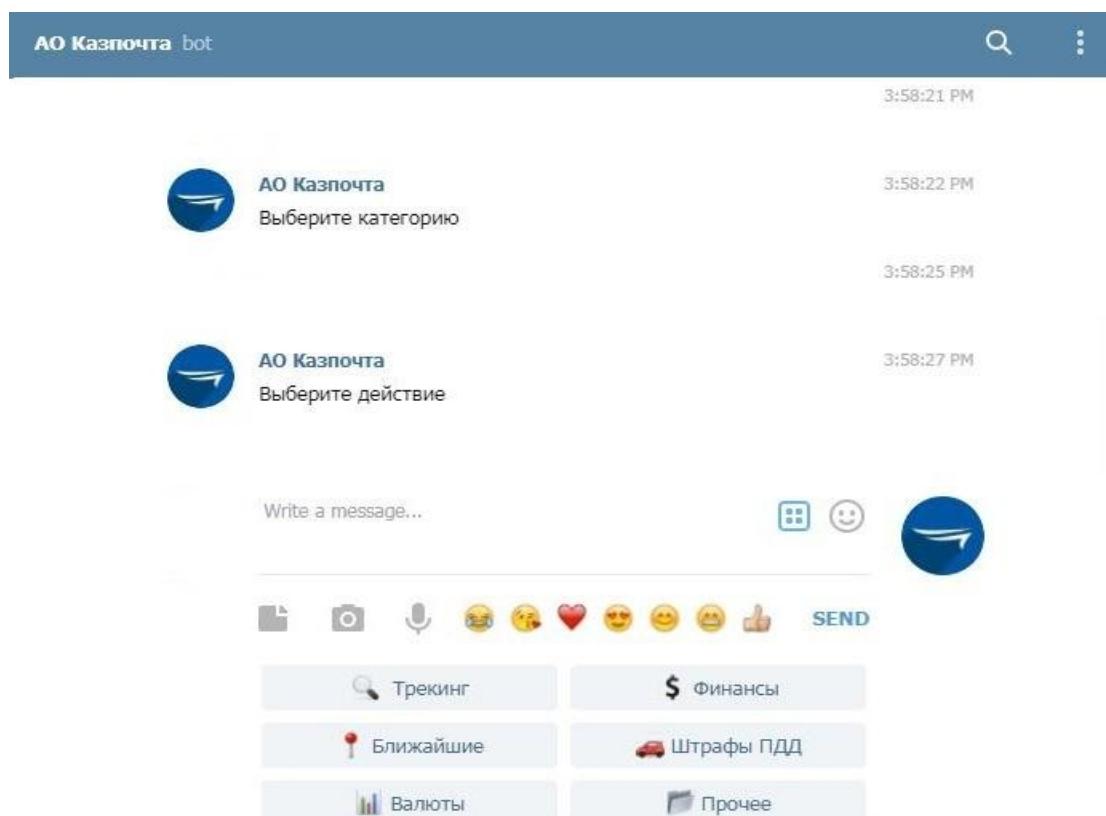


Рисунок 1 - Вид бота из веб-версии Telegram

*Примеры реализаций.* Разработка и реализация чат-ботов может быть абсолютно разнообразной, в основном зависящей от выбранной платформы (мессенджера). В основе каждого бота лежит некий обработчик событий, который срабатывает при определенном запросе со стороны клиента (рис. 2). Это может быть как заранее определенная четкая логика или сценарий, так и искусственный интеллект, который работает на основе машинного обучения. Второй вариант используется для создания личных виртуальных помощников или виртуальных собеседников, предоставляющих некую информацию или набор сервисов. Первый вариант используется более часто, поскольку в данный момент чат-боты используют в первую очередь компании для продвижения и оптимизации своих сервисов и услуг.

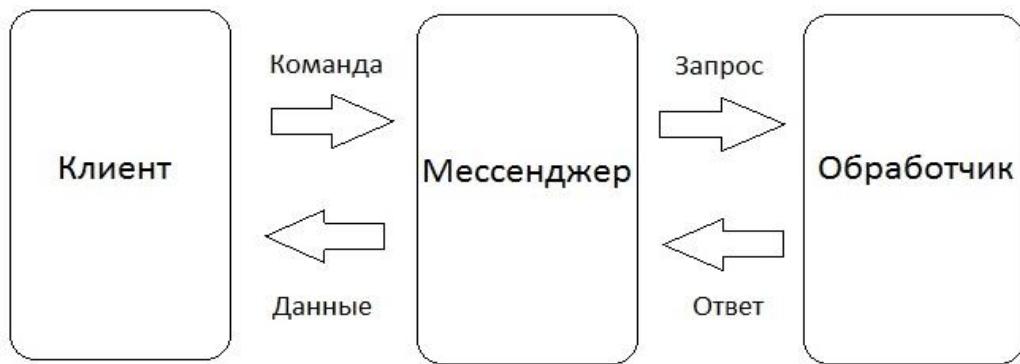


Рисунок 2 - Схема работы чат-ботов

Как можно заметить, мессенджер, как и говорилось ранее, выступает в роли платформы для связи между пользователем и обработчиком. К примеру, если брать мессенджер Telegram, в нем все команды, подаваемые обработчику, указываются через символ «/», тем самым дав понять, что это команда. Но есть и более удобные реализации общения с ботом, которые сводятся к нажатию специальных кнопок на клавиатуре, заранее подготовленной разработчиками, которая интерпретирует нажатие определенной кнопки в определенную команду.

*Выбор платформы и базовые особенности разработки.* Если обратиться к статистике, то большинство чат-ботов разрабатываются для таких платформ, как Facebook Messenger, Slack, Telegram, WeChat, Kik (см. табл.).

#### Сводная статистика популярных мессенджеров [6]

| Мессенджер         | Аудитория в РФ (MAU) | Аудитория в мире (MAU) | В скольких странах лидирует?            | Боты                       |
|--------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|
| WhatsApp           | 30 млн               | 1 млрд                 | 109                                     | 2017-2018                  |
| Viber              | 20 млн               | 249 млн                | 15                                      | Скоро                      |
| Skype              | 10 млн               | 300 млн                | Нет данных                              | Да                         |
| Facebook Messenger | 4 млн                | 1 млрд                 | 49                                      | Да, платный/approve (\$99) |
| ICQ                | 6,7 млн              | 11 млн                 | -                                       | Возможно                   |
| Telegram           | 3,5 млн              | 120 млн                | Иран<br>Узбекистан                      | Да                         |
| WeChat             | Нет данных           | 800 млн                | 3 (Китай)                               | Да                         |
| Line               | Нет данных           | 218 млн                | 4 (Япония, Таиланд, Тайвань, Индонезия) | Да                         |
| Kik                | Нет данных           | Нет данных             | -                                       | Да                         |

Для примера мы решили выбрать платформу мессенджера Telegram, поскольку его разработчики сами открыто распространяют API для написания обработчика, тем самым делая разработку чат-бота для сторонних разработчиков более удобной. К примеру, тот же WhatsApp категорически запрещает вмешиваться в процесс работы своего продукта сторонним разработчикам, тем самым ограничивая свою платформу, несмотря на свои лидирующие позиции в отношении аудитории [2].

Перейдем непосредственно к части разработки. Для создания и регистрации непосредственно самого бота необходимо обратится к боту BotFather с командой /newbot, будет

получен токен для коммуникации с будущим ботом, а также заданы базовые параметры в виде имени, никнейма, аватара и т.п. [4]. После этого необходимо определиться с методом общения мессенджера с обработчиком для нашего бота. Telegram предлагает целых два - это GetUpdates и Webhook. Разница в них в том, что в первом случае наш сервер будет опрашивать серверы мессенджера на наличие запросов к нашему боту, что не очень стабильно, поскольку такие запросы могут быть отклонены по тем или иным причинам (недоступность серверов, технические ошибки при запросе). Во втором же случае мы задаем конкретный адрес, к которому серверы Telegram будут обращаться сами при поступлении запросов. Но для этого нужен хостинг или выделенный виртуальный сервер, имеющий домен любого уровня, с установленным SSL-сертификатом для шифрации соединения. Поскольку второй является более рациональным и отказоустойчивым, при разработке лучше использовать его. Далее мы подвязываем при помощи метода setWebhook бота к нашему домену и пишем обработчик, который будет возвращать некоторые данные по запросам, что будут приходить из мессенджера [5].

Благодаря API мессенджер Telegram уже предлагает готовые методы «из коробки», в связи с чем обработчик можно будет написать вручную, создав для удобства небольшую библиотеку для регулярных выражений, функций и методов. Но также можно воспользоваться и готовыми библиотеками, написанными и дорабатываемыми сообществом разработчиков.

Для платформы Telegram есть множество библиотек на таких языках программирования, как PHP, Python, Javascript, C# и даже Haskell. После того как мы настроили базовый ввод и вывод запросов через обработчик (рис. 3), можно уже приступить к интеграции с нашими сторонними сервисами, которые в свою очередь, как и боты, работают через API или связаны напрямую с обработчиком. Создавая логику или сценарий обработчика, надо и не забывать о пользователях, для которых и создается конечный продукт [6].

```
// обязательное. Запуск бота
$bot->command('start', function ($message) use ($bot) {
    $answer = 'Добро пожаловать!';
    $bot->sendMessage($message->getChat()->getId(), $answer);
});

$bot->command('help', function ($message) use ($bot) {
    $answer = 'Команды:
/help - помощь';
    $bot->sendMessage($message->getChat()->getId(), $answer);
});

// запускаем обработку
$bot->run();
```

Рисунок 3 – Базовый пример реализации ввода-вывода запросов на языке PHP

Процесс взаимодействия с ботом должен быть максимально удобным, а также интуитивно понятным. Для этого существуют кастомные клавиатуры, всплывающие сообщения-ссылки и другие инструменты, которые также можно использовать в ходе разработки для улучшения чат-бота.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что чат-боты действительно становятся очень популярным инструментом для получения разнообразной информации в одном месте. Однако в то, что они могут полностью вытеснить традиционные способы представления сервисов (мобильные приложения, веб-приложения), верится с трудом. Поскольку, несмотря на все свое удобство и гибкость, все равно есть привязка к платформе, которая является сторонней, а именно к самому мессенджеру. Несмотря на хорошие возможности кастомизации, у ботов есть предел, который обусловлен самой платформой. К примеру, если пользователь будет получать какие-то конфиденциальные данные, бот не сможет обеспечить должный уровень безопасности, даже если реализовать что-то похожее на процесс аутентификации. Также некоторые приложения используют специфичные методы при разработке сервисов, которые изначально являются непортретируемыми. Но, несмотря на все эти минусы, хотелось бы отметить и положительные стороны. Боты намного проще в установке и использовании, чем приложения, легче в распространении, дешевле в разработке и поддержке. Также сама платформа (мессенджеры) используется намного чаще, чем другие приложения, в связи с этим чат-боты отлично подходят для сервисов, которые используют очень часто. Ну и конечно не стоит забывать и про человеческий фактор, то, что люди с рождения предрасположены к разговорам.

Суммируя вышеизложенное, можно с уверенностью сказать, что чат-боты - очень интересный вариант автоматизации с некоторыми ограничениями. При использовании которого нужно учитывать нюансы использования платформы и наборов сервисов.

#### Список литературы

1. ASUS Russia. Чат-боты: где, как и когда заменить человека [Электронный ресурс]. – 2017. – URL: <https://geektimes.ru/company/asus/blog/289997> (дата обращения 13.01.2018).
2. БИТ. Чат-боты для бизнеса. Рубрика: Технологии бизнеса [Электронный ресурс]. – 2017. – URL: <http://bit.samag.ru/archive/article/1855> (дата обращения 22.01.2018).
3. Документация по REST. Чат-боты [Электронный ресурс]. – 2017. – URL: [https://dev.1c-bitrix.ru/rest\\_help/imbot/index.php?print=Y](https://dev.1c-bitrix.ru/rest_help/imbot/index.php?print=Y) (дата обращения 25.01.2018).
4. Telegram Bots. Telegram Bot API [Электронный ресурс]. – 2017. – URL: <https://core.telegram.org/bots/api#setwebhook> (дата обращения 31.01.2018).
5. Telegram Bots. Bots: An introduction for developers [Электронный ресурс]. – 2017. – URL: <https://core.telegram.org/bots#inline-mode> (дата обращения 01.02.2018).
6. Любимцева М. Мессенджеры и боты: возможности для продвижения [Электронный ресурс]. – 2016. – URL: <https://spark.ru/startup/546dae36cfa4a/blog/17709/messendzheri-i-boty-vozmozhnosti-dlya-prodvizheniya> (дата обращения 02.02.2018).

Получено 13.08.2018

---

УДК 004.42

**С.К. Кумаргажанова, А.А. Серикпаев**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикаева,  
г. Усть-Каменогорск

#### МИГРАЦИЯ ДАННЫХ SAP – ЗАГРУЗКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ПОЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ СТАНДАРТНОГО ИНСТРУМЕНТА МИГРАЦИИ LSMW

*В данной статье рассмотрена задача миграции полей, созданных в рамках конкретного решения системы SAP, с помощью стандартного инструмента загрузки данных Legacy System Migration*

*Workbench.* Возможность переноса данных полей реализуется с помощью использования специальной структуры и использования фрагмента кода на языке программирования ABAP.

The article discusses the task of migrating fields created within a specific SAP system solution using the standard Legacy System Migration Workbench data loader. The ability to transfer field data is realized by using a special structure and using a code fragment in the ABAP programming language.

Бұл мақалада стандартты Legacy System Migration Workbench деректердің енгізу құралы көмегімен SAP жүйесіндегі белгілі бір шешімі негізінде жасалған ерістерді миграциялау тапсырмасы қарастырылады. Арнайы құрылымдың қолдану арқылы және ABAP бағдарламалау тіліндегі код фрагменті арқылы өріс деректерін аудыстыру мүмкіндігі жүзеге асырылады.

**Ключевые слова:** ERP-системы, бизнес-процессы, SAP, миграция данных.

В настоящее время многие предприятия переходят на новые стандарты, усложняются требования бизнес-процессов, увеличивается количество документации и отчетности. Это подразумевает всё больший уровень автоматизации бизнес-процессов посредством ERP-системы. Одним из лидирующих продуктов на рынке систем управления ресурсами предприятия является SAP ERP.

Внедрение SAP – это целый проект с отдельно выделенной командой. В данной статье рассматривается процесс внедрения системы SAP ERP в компании ТОО «Казцинк», в частности задача миграции данных.

Общий план проекта по внедрению выглядит следующим образом (рис 1.):

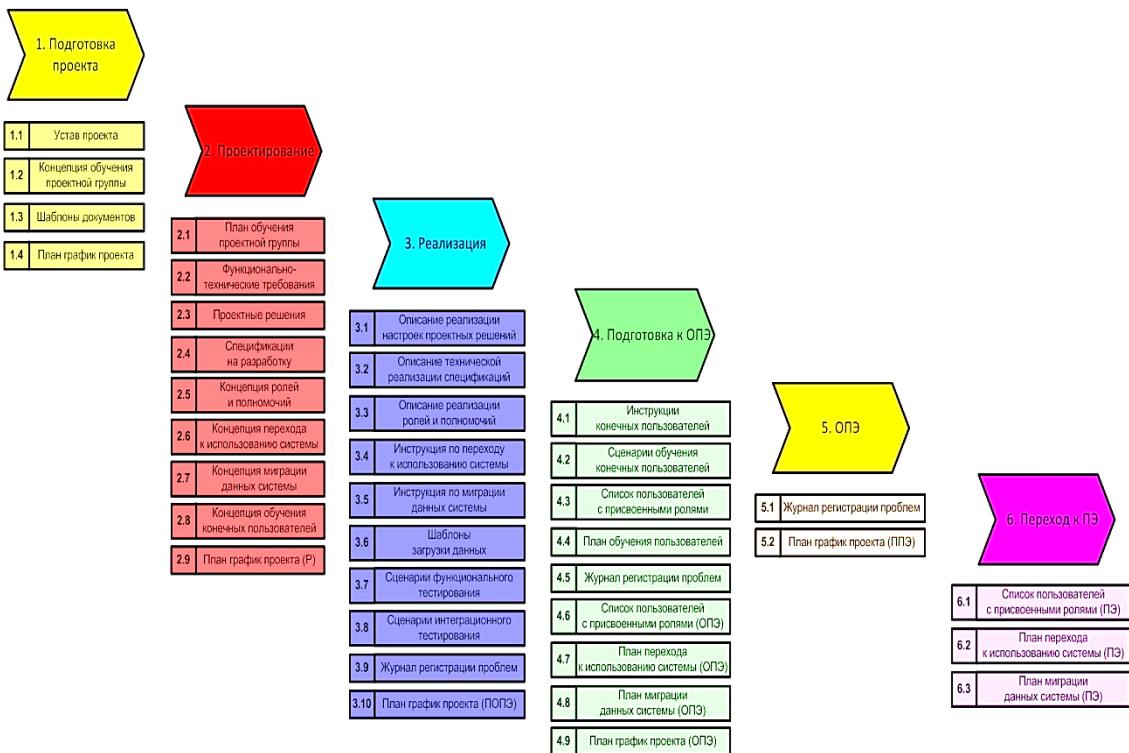


Рисунок 1 - Общая схема внедрения системы SAP

Часть процесса по миграции данных входит в этап реализации (рис. 2, п. 3.5).

Алгоритм миграции данных:

- выявление объектов по каждому направлению, необходимому для миграции;

- составление шаблонов для загрузки с обязательными для бизнес-процесса полями;
- разработка инструментов выгрузки из исторической системы на основе данных шаблонов;
- разработка инструментов загрузки в систему SAP (рассматривается в данной статье);
- тестирование и реализация процесса миграции;
- выгрузка данных из исторической системы;
- проверка выгруженных данных;
- загрузка проверенных данных в систему SAP;
- сверка загруженных данных непосредственно в системе;
- согласование загруженных данных.



Рисунок 2 - Этап реализации

Стандартных решений SAP не всегда хватает для полной реализации бизнес-процессов предприятий. С этой целью система SAP позволяет создать пользовательские поля (далее – Z-поля) в стандартных таблицах, а также полностью пользовательские таблицы с полями в случае необходимости. Стандартные инструменты миграции данных не предусматривают миграцию Z-полей напрямую, однако существует специальная структура,

позволяющая передавать необходимые данные и затем мигрировать их значения в пользовательские поля. В данной статье рассмотрена возможность включения в стандартные инструменты загрузки Z-полей.

В основе предлагаемого метода лежит использование специальной структуры EXTENSIONIN. Связь внутри программы загрузки осуществляется через ссылочную структуру E1BPPAREX. Данная структура имеет 5 текстовых полей: 4 по 240 символов и одно поле 30 символов. Таким образом, всего структура содержит строку из 1000 символов. Данная строка представляет собой последовательную комбинацию значений полей из структуры расширения любой таблицы. Также строка содержит поле с именем структуры, для которой выполнено расширение.

Для работы со стандартным средством существует ограничение – дополнительные (новые) поля таблицы не должны иметь тип Р. Однако, даже если бизнес-процесс требует использования именно этого типа данных, предусмотрены расширения обработки данных структуры EXTENSIONIN с помощью BADI. В расширении можно произвести перекодировку цифрового поля в текстовое.

Структура E1BPPAREX представлена следующим образом (табл. 1):

Таблица 1  
*Структура E1BPPAREX*

| Поле       | Тип | Длина |
|------------|-----|-------|
| STRUCTURE  | C   | 30    |
| VALUEPART1 | C   | 240   |
| VALUEPART2 | C   | 240   |
| VALUEPART3 | C   | 240   |
| VALUEPART4 | C   | 240   |

Поле STRUCTURE содержит имя структуры BAPI, которая в процессе обработки дополняется новыми полями. В зависимости от документа в системе это может быть и структура заголовка, и структура позиций. Также, как правило, необходима передача индикаторов изменяемых полей с помощью дополнительной структуры индикаторов, имеющей символ «X» в конце названия.

Далее рассмотрим конкретный пример заполнения пользовательских полей для заказа клиента в рамках внедрения системы SAP в компании ТОО «Казцинк».

Таблица позиций заказа на поставку расширена следующей структурой полей (табл. 2).

Таблица 2  
*Структура ZZ\_VBAP\_ESF*

| Поле        | Тип | Длина | Название              |
|-------------|-----|-------|-----------------------|
| ZZGTDNUMBER | C   | 20    | Номер ГТД             |
| ZZGTDPOS    | C   | 3     | Позиция ГТД           |
| ZZSTAWN     | C   | 17    | Код ТНВЭД             |
| ZZATTRIGIN  | C   | 2     | Признак происхождения |

Задача: загрузить в позиции заказов клиента значения данных полей.

В созданном проекте LSMW использован метод загрузки IDOC: SALESORDER\_CREATEFROMDAT2.

В качестве структуры передачи значений дополнительных полей используется структура BAPE\_VBAP. К ней обязательно заполнение полей структуры BAPE\_VBAPX, кото-

рая содержит индикаторы изменения дополнительных полей. Названия данных структур должны быть переданы в поле STRUCTURE структуры E1BPPAREX. Значения полей передаются в соответствующие поля VALUEPART\* последовательно.

Для решения представленной задачи в проект необходимо передать следующую структуру данных (табл. 3).

Таблица 3  
*Значения структуры E1BPPAREX*

| STRUCTURE  | VALUEPART1                          |
|------------|-------------------------------------|
| BAPE_VBAP  | 000010009483746578 0019408237543 22 |
| BAPE_VBAPX | 000010XXXX                          |

Таким образом, для структуры BAPE\_VBAP в поле VALUEPART1 первые 10 символов представляют собой номер заказа, так как мы только создаем заказ, номер не указывается, поскольку заказ ещё не создан. Затем следуют 6 символов, указывающие номер позиции заказа (в данном случае указана первая позиция 000010), затем указывается номер ГТД длиной 20 символов (указывается номер 009483746578 и недостающие пробелы). Далее идут по порядку: позиция ГТД, код ТНВЭД и признак происхождения.

Для структуры BAPE\_VBAPX первые шесть символов поля VALUEPART1 также содержат номер позиции заявки, затем следуют пять символов «X», что означает, что заполняются все поля данной структуры.

На рис. 3 показано, как выглядит заполнение полей непосредственно в проекте LSMW.

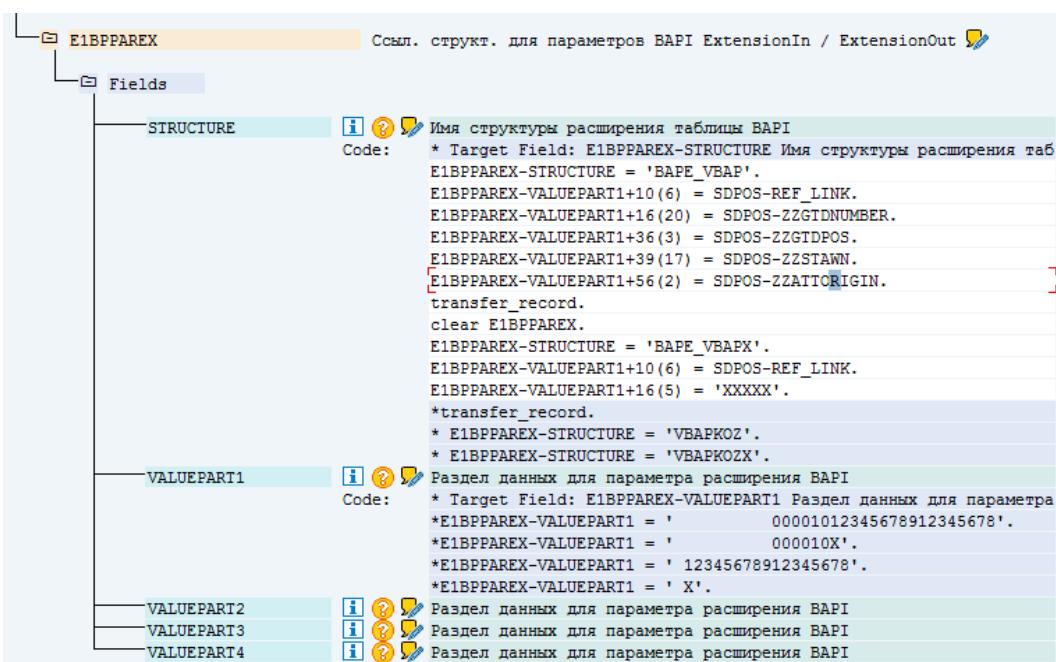


Рисунок 3 - Структура E1BPPAREX в проекте LSMW

Важный момент. Так как структура у нас одна (E1BPPAREX), а нам нужно подать данные для двух структур (BAPE\_VBAP и BAPE\_VBAPX), используем следующий под-

ход: сначала подаём данные для структуры BAPE\_VBAP, затем передаём данные с помощью метода transfer\_record, далее очищаем полностью структуру оператором clear и после этого подаём данные для второй структуры BAPE\_VBAPX.

В коде, сформированном автоматически при запуске данного инструмента, данный фрагмент выглядит в соответствии с рис. 4 (второй раз данные передаются автоматически).

```
809 | |
810 | | * --- E1BPPAREX-STRUCTURE
811 | | * Target Field: E1BPPAREX-STRUCTURE Имя структуры расширения таблицы ВАР
812 | | E1BPPAREX-STRUCTURE = 'BAPE_VBAP'.
813 | | E1BPPAREX-VALUEPART1+10(6) = SDPOS-REF_LINK.
814 | | E1BPPAREX-VALUEPART1+16(20) = SDPOS-ZZGTDNUMBER.
815 | | E1BPPAREX-VALUEPART1+36(3) = SDPOS-ZZGTDPOS.
816 | | E1BPPAREX-VALUEPART1+39(17) = SDPOS-ZZSTAWN.
817 | | E1BPPAREX-VALUEPART1+56(2) = SDPOS-ZZATTORIGIN.
818 | | transfer_record.
819 | | clear E1BPPAREX.
820 | | E1BPPAREX-STRUCTURE = 'BAPE_VBAPX'.
821 | | E1BPPAREX-VALUEPART1+10(6) = SDPOS-REF_LINK.
822 | | E1BPPAREX-VALUEPART1+16(5) = 'XXXXXX'.
823 | | *transfer_record.
824 | | * E1BPPAREX-STRUCTURE = 'VBAPKOZ'.
825 | | * E1BPPAREX-STRUCTURE = 'VBAPKOZX'.
826 | |
827 | | * --- E1BPPAREX-VALUEPART1
828 | | * Target Field: E1BPPAREX-VALUEPART1 Раздел данных для параметра расшире
829 | |
830 | | *E1BPPAREX-VALUEPART1 = '          00001012345678912345678'.
831 | | *E1BPPAREX-VALUEPART1 = '          000010X'.
832 | | *E1BPPAREX-VALUEPART1 = ' 12345678912345678'.
833 | | *E1BPPAREX-VALUEPART1 = ' X'.
834 | |
835 | | * --- __END_OF_RECORD__
836 | | transfer_record.
```

Рисунок 4 - Фрагмент кода программы конвертации в проекте LSMW

Описанная выше техника позволяет с помощью стандартных средств загрузки загружать значения нестандартных полей различных документов, не прибегая к средствам ABAP-разработки.

Так, например, если требуется заполнить дополнительные поля заголовка и позиций заказа на поставку, следует пользоваться значениями поля STRUCTURE структуры E1BPPAREX: BAPI\_TE\_MEPOHEADER, BAPI\_TE\_MEPOHEADERX и BAPI\_TE\_MEPOITEM, BAPI\_TE\_MEPOITEMX.

#### Список литературы

1. Форум консультантов SAP [www.sapland.ru](http://www.sapland.ru).
2. Полезные ресурсы для SAP-консультанта [www.saptex.blogspot.ru](http://www.saptex.blogspot.ru).
3. Курс BC100 – Введение в программирование (на основе ABAP). - 2000.
4. Курс BC400 – ABAP-инструментальные средства: основы. - 2005.
5. Курс BC402 – Расширенные средства ABAP. - 2009.
6. Статья по загрузке данных с помощью LSMW [www.habrahabr.ru/post/215655/](http://www.habrahabr.ru/post/215655/).

Получено 13.08.2018

УДК 004.93

**Е.В. Рыжкова, О.Е. Бакланова, А.Е. Бакланов**

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО  
КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ (ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ КОНТУРА ДЕТАЛИ)**

*В данной статье рассматриваются методы обработки изображения с применением машинного зрения, возможность замены визуального контроля качества технологических изделий в сферах промышленности, требующих высокоточных измерений.*

*Бұл мақалада машиналық көрүдің қолданып суреттерді өңдеу әдістері, өнеркәсіп салаларында жоғары дәлдікті өлшеуді қажет ететін технологиялық бұйымдардың сапасын көзбен бақылауды ауыстыру мүмкіндігі қарастырылады.*

*This article deals with image processing techniques using machine vision, the ability to replace visual quality control of technological products in industries requiring high-precision measurements.*

**Ключевые слова:** цифровизация, машинное зрение, распознавание изображения, методы обработки изображения, контроль качества.

Государственная программа «Цифровой Казахстан» на 2017-2020 гг. [1] направлена на развитие и цифровые преобразования в отраслях экономики, развитие цифровой индустрии путем автоматизации транспортно-логической системы страны, внедрение цифровых технологий в сфере промышленности; обеспечение доступности цифровой информации, реализацию технологий для создания умных городов. Большое значение цифровизации придает президент РК Н.А. Назарбаев: «Я объявил в своем послании народу Казахстана о третьей модернизации, стержнем которой является цифровизация» [2].

В связи с развитием промышленности в наше время стал актуальным вопрос высокоточной проверки качества продукции с помощью новых технологий. Машинное зрение позволяет сохранить, записать изображения, форму, размеры, местоположение, а также текстуру изделия. С помощью машинного зрения системы визуального контроля имеют высокую скорость работы, возможность 24-часовой работы, точность и надежность измерений. Преимущество машин над человеком заключается в отсутствии усталости, болезней или невнимательности.

Машинное зрение - это непосредственно инженерное направление, к нему относят цифровые устройства ввода-вывода и компьютерные сети, предназначенные для контроля производственного оборудования, роботы-манипуляторы или аппараты для извлечения бракованной продукции. Машинное зрение - это направление в инженерии, связанное с вычислительной техникой, оптикой, машиностроением и промышленной автоматизацией. Одним из самых распространенных применений машинного зрения является инспекция товаров, таких как полупроводниковые чипы [3], автомобили [4], продукты питания [5] и лекарства [6]. Системы контроля машинного зрения для проверки продукции используют цифровые и интеллектуальные камеры, программное обеспечение для обработки изображения и выполнения аналогичных проверок.

Перспективным является использование машинного зрения в медицине, травматологии и стоматологии. Эффективным способом лечения и восстановления целостности костной ткани является эндопротезирование. Имплантаты позволяют сократить сроки лечения при тяжелых заболеваниях и исключить отторжение последних. При изготовлении имплантата непременно важная роль отводится как качеству исходного материала, так и качеству напыления при эндопротезировании. В статье рассмотрено применение системы

контроля качества машинного зрения на примере зубных имплантатов, в данном случае основной частью для контроля является штифт или шуруп, представляющий собой корневую часть, внедряемую в челюстную ткань пациента, от его целостности зависит установка, вживление и дальнейшая эксплуатация. Использование машинного зрения дает следующие возможности.

Система контроля машинного зрения позволит исключить человеческий фактор при визуальном контроле качества изделий, что немаловажно при изготовлении точных изделий, а именно при получении медицинских материалов и изделий. На основе подобраных методов открывается возможность в создании автоматизированного комплекса с применением машинного зрения.

Система контроля машинного зрения может быть использована как технология для оценки геометрических параметров объекта, наличия дефектов на контурах детали, а именно на резьбе, что немаловажно для проведения работ в прикладных материаловедческих исследованиях, металлургии и получении медицинских материалов и изделий.

Применение машинного зрения позволяет заменить визуальный контроль качества медицинских имплантатов на машинный, это позволит исключить человеческий фактор при появлении брака, ускорить процесс производства, снизить затраты на оплату труда, тем самым сократить стоимость готового изделия и самое главное, повысить качество продукции.

Нами рассмотрена система контроля качества машинного зрения, позволяющая распознавать дефекты, связанные с геометрическими характеристиками объекта. В частности, цилиндрических деталей и деталей сложной формы (в нашем случае с резьбой).

Существует множество подходов к выделению границ, но практически все можно разделить на две категории: методы, основанные на поиске максимумов, и методы, основанные на поиске нулей. Методы, основанные на поиске максимумов, выделяют границы с помощью вычисления силы края, обычно выражаящейся первой производной, такой, как величина градиента, и затем поиска локальных максимумов силы края, используя предполагаемое направление границы, обычно это перпендикуляр к вектору градиента. Методы, основанные на поиске нулей, ищут пересечения оси абсцисс выражения второй производной, обычно нули лапласиана [7] или нули нелинейного дифференциального выражения, как будет описано далее. В качестве шага предобработки к выделению границ практически всегда применяется сглаживание изображения, обычно фильтром Гаусса [8]. Опубликованные методы выделения границ отличаются применяемыми фильтрами сглаживания и способами вычисления сила края. Хотя многие методы выделения границ основываются на вычислении градиента изображения, они отличаются типами фильтров, применяемых для вычисления градиентов в  $x$ - и  $y$ -направлениях.

В результате проведения наблюдений с точки зрения распознавания изображений наиболее информативным является очертание объектов, то есть их граница. Носителем информации является не яркость, а граница объектов на изображении.

Оператор Собеля [9] — дискретный дифференциальный оператор, вычисляющий приближённое значение градиента яркости изображения. Результатом применения оператора Собеля в каждой точке изображения является либо вектор градиента яркости в этой точке, либо его норма. Используется в области обработки изображений, в частности часто применяется в алгоритмах выделения границ. Оператор Собеля основан на свёртке изображения небольшими сепарабельными целочисленными фильтрами в вертикальном и горизонтальном направлениях, поэтому его относительно легко вычислять. С другой стороны, используемая им аппроксимация градиента достаточно грубая, особенно это оказывается на высокочастотных колебаниях изображения. Оператор вычисляет градиент яркости изображения в каждой точке. Так находится направление наибольшего увеличе-

ния яркости и величина её изменения в этом направлении. Результат показывает, насколько резко или плавно меняется яркость изображения в каждой точке, а значит, вероятность нахождения точки на грани, а также ориентация границы. На практике вычисление величины изменения яркости (вероятности принадлежности к грани) надёжнее и проще в интерпретации, чем расчёт направления. Математически градиент функции двух переменных для каждой точки изображения (которой и является функция яркости) — двумерный вектор, компонентами которого являются производные яркости изображения по горизонтали и вертикали. В каждой точке изображения градиентный вектор ориентирован в направлении наибольшего увеличения яркости, а его длина соответствует величине изменения яркости. Это означает, что результатом оператора Собеля в точке, лежащей в области постоянной яркости, будет нулевой вектор, а в точке, лежащей на границе областей различной яркости, вектор, пересекающий границу в направлении увеличения яркости. Оператор использует ядра 3x3, с которыми сворачивают исходное изображение для вычисления приближённых значений производных по горизонтали и по вертикали. Пусть A - это исходное изображение, а Gx и Gy - два изображения, на которых каждая точка содержит приближённые производные по x и по y. Они вычисляются следующим образом:

$$Gy = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix} * A$$

и

$$Gy = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix} * A,$$

где \* обозначает двумерную операцию свертки.

Координата x здесь возрастает направо, а у вниз. В каждой точке изображения приближённое значение величины градиента можно вычислить путём использования полученных приближённых значений производных:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \text{ (имеется в виду поэлементно).}$$

Используя эту информацию, мы можем также вычислить направление градиента:

$$\theta = \arctan \frac{G_y}{G_x},$$

где, к примеру, угол  $\Theta$  равен нулю для вертикальной границы, у которой тёмная сторона слева.

Поскольку функция яркости известна только в дискретных точках, мы не можем определить производные до тех пор, пока не положим яркость дифференцируемой функцией, которая проходит через эти точки. С этой дополнительной предпосылкой производную дифференцируемой функции яркости можно вычислить как от функции, с которой взяты замеры - точки изображения. Оказывается, что производные в любой отдельной точке есть функции яркости от всех точек изображения. Однако приближения их производных можно определить с большей или меньшей степенью точности. Оператор Собеля представляет собой более неточное приближение градиента изображения, но он достаточно качественен для практического применения во многих задачах. Точнее, оператор использует значения интенсивности только в окрестности 3x3 каждого пикселя для получения приближения соответствующего градиента изображения и только целочисленные значения весовых коэффициентов яркости для оценки градиента.

Программная реализация оператора Собеля может эффективно использовать SIMD-расширения системы команд современных процессоров (т. н. векторизация кода), при этом выигрыш в скорости вычисления оператора может составлять до пяти раз по сравнению с высокоуровневой реализацией. Ручное кодирование на языке ассемблера позволяет обогнать по скорости такие компиляторы, как Microsoft Visual C++ и Intel C++ Compiler. [10]

Вычисление оператора Собеля элементарно распараллеливается на произвольное число потоков (в пределе каждую точку результирующего изображения можно вычислять независимо от соседних). Например, при наличии двух процессоров (ядер) верхний полукард изображения может быть обработан одним из них, а нижний - другим.

Практическая реализация использования метода Собеля была произведена в программе Matlab. В качестве объекта был выбран имплантат, представляющий собой шуруп, изготовленный из титана, изображение имплантата было загружено в программу Matlab. После этого осуществилось преобразование изображения в полутоновое изображение (рис. 1). С помощью возможностей библиотеки Matlab был написан код использования преобразования Собеля. В результате работы программы был выделен контур имплантата, по которому можно в дальнейшем определить дефекты, возникающие в результате его изготовления. Полученное изображение контура имплантата показано на рис. 2.

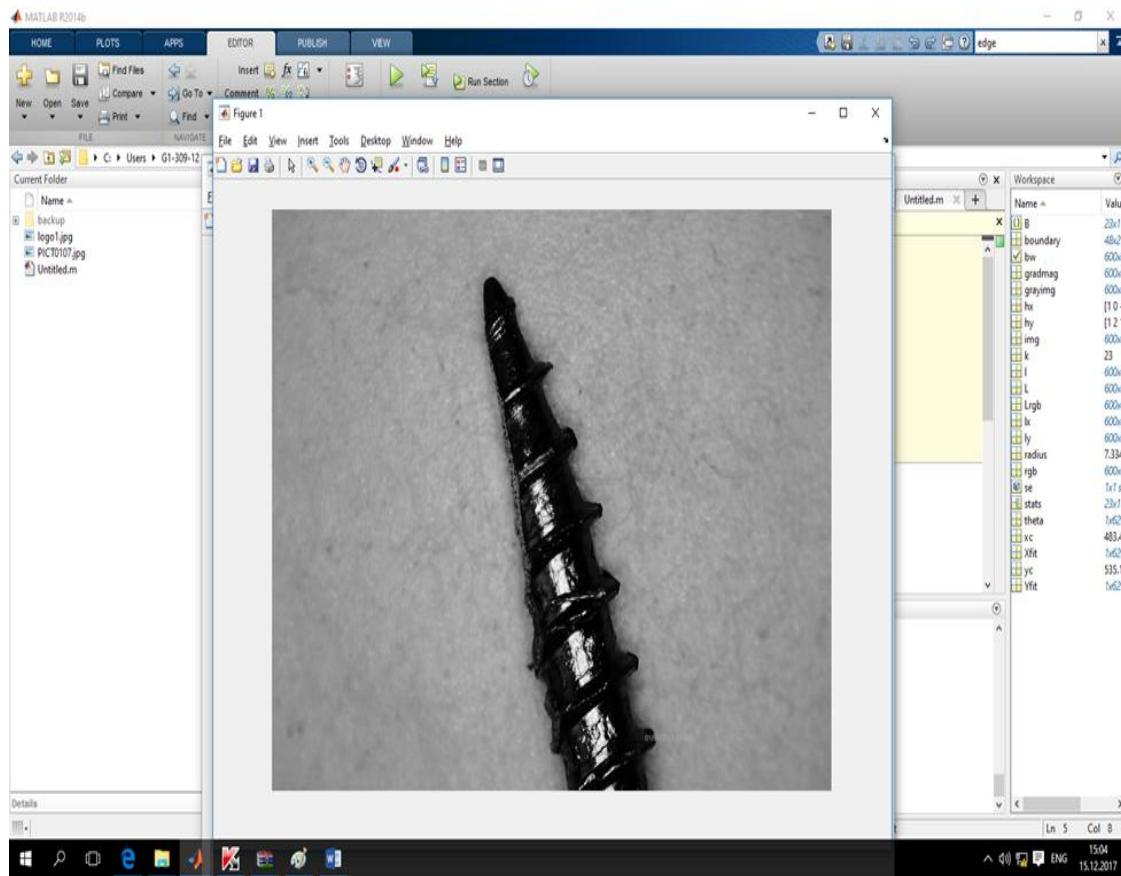


Рисунок 1 - Полутоновое изображение в программе Matlab

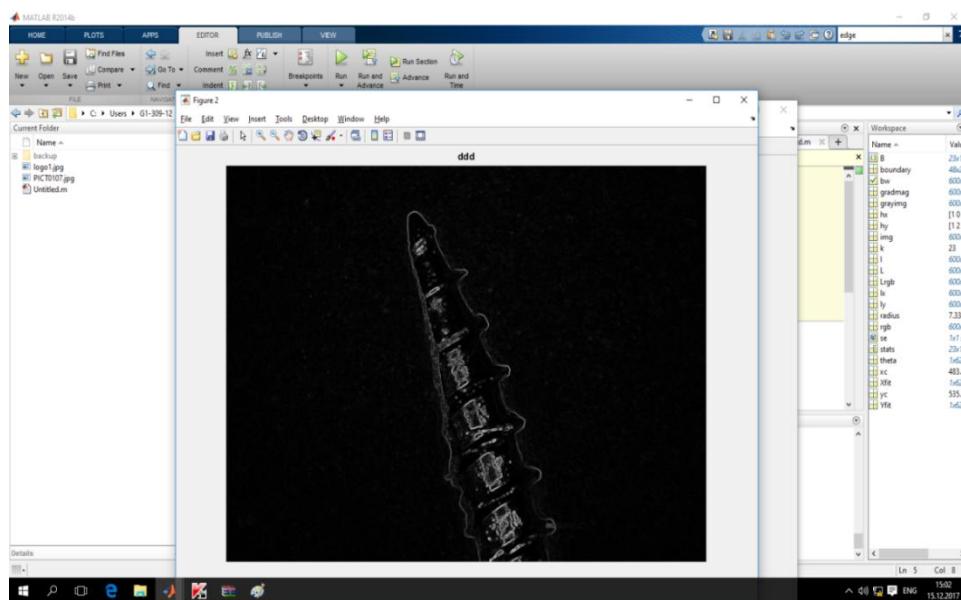


Рисунок 2 - Нормализованный Собелев градиент изображения шурупа в программе Matlab

В нашей статье рассмотрена обработка изображения на базе программы Matlab с использованием компьютера, программы Matlab, системы подобранных методов преобразования изображений. С помощью этих инструментов можно создать библиотеку данных с содержанием эталона продукции, в данном случае штифта, при этом программа будет автоматически отсортировывать продукцию, что позволит автоматизировать контроль качества продукции с помощью машинного зрения. Все это позволит автоматизировать процесс контроля качества продукции на стадиях производства.

#### Список литературы

- Государственная программа «Цифровой Казахстан» на 2017-2020 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zerde.gov.kz/images>.
- Выступление главы государства Н.А. Назарбаева [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.sputniknews.kz/>.
- Машинное зрение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://neuronus.com/>.
- Машинное зрение: что и как видят автомобили [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geektimes.ru/>.
- Компьютерное зрение в сельском хозяйстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cosmoport.club/post/>.
- Обзор задач компьютерного зрения в медицине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/>.
- Дуда Р. Распознавание образов и анализ сцен / Р. Дуда, П. Харт; Пер. с англ. Вайнштейна Г.Г., Васильковского А.М. — М.: Мир, 1976. – С. 271-272.
- Ватутин Э.И. Программная оптимизация оператора Собела с использованием SIMD-расширений процессоров семейства x86 / Э.И. Ватутин, С.Ю. Мирошниченко, В.С. Титов. - Телекоммуникации. - 2006. - № 6. - С. 12—16.
- Дубков А.А. Преобразование Лапласа: Учеб.-метод. пособие / А.А. Дубков, Н.В. Агудов. - Нижегородский гос. ун-т им. Н.И. Лобачевского. - Нижний Новгород, 2016.
- Mark S. Nixon and Alberto S. Aguado. Feature Extraction and Image Processing. — Academic Press, 2008. — С. 88.

Получено 13.08.2018

## ӘОЖ 004.8

**Н.Е. Сауырқанова, Ә.Б. Нұғыманова**

С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік университеті, Өскемен қ.

**С.С. Смаилова**Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті,  
Өскемен қ.**R ОРТАСЫНЫҢ ВИЗУАЛИЗАЦИЯЛАУ ҚҰРАЛДАРЫ ҚОМЕГІМЕН  
TF ЖӘНЕ TF-IDF ӨЛШЕМДЕРІН ҚОРНЕКІ САЛЫСТАРЫ**

*В статье рассматриваются две фундаментальные метрики взвешивания ключевых слов: TF и TF-IDF. На примере корпуса, содержащего 11 документов, анализируются особенности каждой из метрик. Чтобы отличия между метриками были более наглядны, используются инструменты визуализации языка R.*

*Мәқалада кілттік сөздер салмағын анықтаудың екі фундаменталды TF және TF-Idf өлшемдері қарастырылған. 11 құжаттан тұратын корпус мысалында әрбір өлшем ерекшеліктері талданыды. Өлшемдер арасындағы артықшылықтарды қорнекі түрде көрсету үшін R тілінің визуализациялау құралдары қолданылды.*

*This article describes comparison of two fundamental keywords weighting metrics: TF and TF-IDF. Features of each metric are analyzed on the example of a corpus containing 11 documents. To make differences between these metrics more obvious, visualization tools of R language are used.*

Пәндік аймақтың мәтіндерінен термин сөздерді алу көптеген қолданбалы есептесудерде, ең алдымен тезаурустар мен онтологиялар сияқты түрлі терминологиялық ресурстарды әзірлеуде және оларды толықтыруды аса маңызға ие. Мұндай ресурстарды қолмен әзірлеу біршама ауқымды жұмыс болғандықтан, соңғы жылдары бұл үрдістерді автоматтандыру бойынша көптеген зерттеулер жүргізілуде.

Термин сөздер белгілі бір пәндік аймақ материалдың мазмұнын аштын маңызды кілттік сөздерді қамтиды. Кілттік сөздерді шығарудың заманауи әдістері сөздердің түрлі статистикалық және лингвистикалық қасиеттерін қолдануға негізделген. Ұсынылған қасиеттерді 3 топқа жіктеуге болады [1]:

- үміткер сөздердің кездесу жиілігіне негізделген қасиеттер. Бұл топқа TF, DF, TF IDF әдістерін жатқызуға болады;
- контрасты, яғни ортақ тақырыптағы жиынтықтарды қолданатын қасиеттер. Аталмыш топқа қарастырылатын және контрасты мәтіндік жиынтықтағы сөздердің қатыстық жиіліктерін салыстыруға негізделген қатыстық жиілік қасиеті жатқызылады;
- үміткер сөздердің жиілігі мен олардың қолданылуу контексте туралы мәліметтерді қамтитын контекстті қасиеттер. Бұл топты сипаттаушылар C-Value және NC-Value қасиеттері болып табылады.

| Жиілікке негізделген қасиеттер                                                                                                                                             | Контрасты жиынтыкты қолданатын қасиеттер                                                                                                                                                     | Контекстті қасиеттер                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Идеясы:</i> терминдер басқа сөздерге қарағанда жиі кездеседі.</li><li>• Tf, Df, TfIdf, Domain Consensus, т.б. жатады.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Идеясы:</i> макстаңы және контрасты жиынтықтағы терминдер жиілігі ерекшеленеді.</li><li>• Weirdness, KFIDF, Loglikelihood, т.б. жатады.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Идеясы:</i> сөздердің жиілігі мен олардың контексте қолданылуу туралы мәліметтерди бағыттансырады.</li><li>• C-Value, NC-Value, Sum 3, Insideness және т.б. жатады.</li></ul> |

1-сурет – Кілттік сөздерді автоматты шығару әдістері негізделген қасиеттер

Эксперименттік жұмыста кілттік сөздердің кездесу жиіліктеріне негізделген TF және TF-IDF өлшемдеріне салыстырмалы талдау жүргізілді. TF өлшемі арқылы құжаттағы кез келген сөздің ұлес салмағын, яғни маңыздылығын анықтауға болады. TF (term frequency - сөздер жиілігі) өлшемі — сөздің кездесу санының құжаттағы барлық сөз санына қатынасы:

$$TF(t, d) = \frac{n_t}{k n_k},$$

мұндағы  $n_t$  - құжаттағы  $t$  терминінің кездесу саны.

TF-IDF (TF және IDF – inverse document frequency) – құжат немесе корпус жиынтығының бір бөлігі болып табылатын құжат контекстінде сөздің маңыздылығын анықтауда қолданылатын статистикалық өлшем. Бұл өлшем мәтінді талдау мен ақпараттық іздеу мәселелерін шешуде кеңінен қолданылады. Өлшем формуласы төмендегідей:

$$TF-IDF = TF(t, d) \times IDF(t, D) = \frac{n_t}{\sum_k n_k} \times \log \frac{D}{|d_i \in D | t \in d_i|},$$

мұндағы  $n_t$  - сөздің кездесу саны,  $\sum_k n_k$  - берілген құжаттағы жалпы сөз саны,  $|D|$  - жиынтықтағы құжат саны,  $|\{d_i \in D | t \in d_i\}|$  -  $t$  кездесетін  $D$  жиынтығындағы құжаттар саны (егер  $n_t \neq 0$  болса).

TF-IDF өлшемі бойынша белгілі бір құжатта жоғары жиілікпен кездесетін және өзге құжаттарда қолданылу жиілігі төмен термин маңыздылыққа ие.

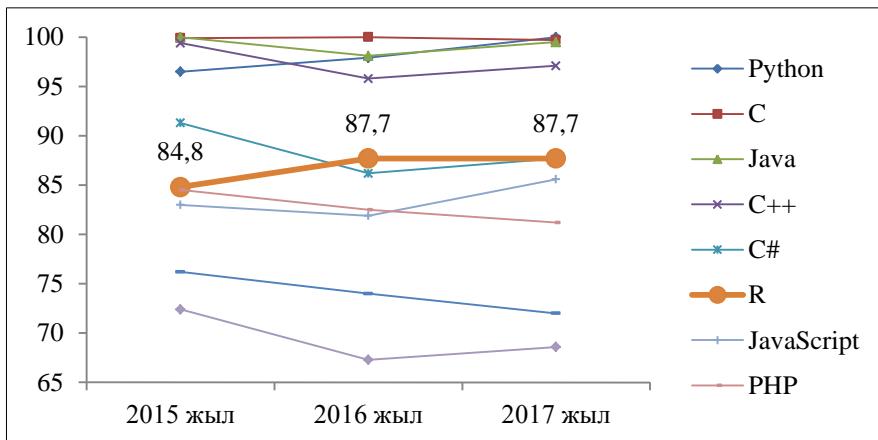
Эксперименттік жұмыста TF және TF-IDF өлшемдері бойынша құжаттың кілттік сөздерді шығару және нәтижелерін R ортасының визуализациялау әдістері көмегімен көрнекі түрде салыстыру әрекеттері жасалынды. Зерттеуге 11 тараудан тұратын Жозеф Новак пен Альберто Канастың ағылшын тіліндегі «The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them» атты жұмыстары алынды [2]. Зерттеуге алынған құжат концепт-карта теориясының негіздерін, сонымен қатар оны қалай құру туралы және қолдану аясы жайлар мәліметтерді қамтиды. Құжат тарауларының мағыналық тақырыптары бойынша 11 құжатқа бөлініп, жеке \*.txt файлдар түрінде сакталды.

Эксперименттік жұмысты жүзеге асыру үшін статистикалық мәліметтерді талдауда, нәтижелерді анықтауда көптеген мүмкіндіктерге ие R статистикалық платформасы таңдалды, себебі R бағдарламалық ортасы ақысыз таратылады, 7000-нан аса пакеттері бола отырып, пайдаланушының жаңа пакеттерді құруына мүмкіндік береді және сапалы визуализациялау құралдарымен жабдықталған, сонымен қатар құжаттық, техникалық жабдықталуы үнемі жаңартылып отырады.

Бұғынгі таңда R ортасы еркін таратылатын статистикалық талдау жүйелері арасында алдыңғы орын алады. IEEE Spectrum журналы жыл сайын танымал бағдарламалашау тілдерінің рейтингісін жариялада отырады [3]. Төмендегі суретте соңғы үш жыл нәтижесінде анықталған бағдарламалашау тілдерінің үздік ондығы берілген.

Жоғарыда берілген статистикаға көз жүгіртсек, R тілі IEEE Spectrum журналы жыл сайын жүргізетін танымал бағдарламалашау тілдерінің рейтингісінде 2015-2016 жылдары 5-ші орында болса, өткен 2017 жылды үздік алтыншықты аяқтады.

R ортасы талдау жүргізу таңдаған алынған соң, қарастырылатын құжаттар «корпусы» түркізылды, яғни алынған 11 құжат бір обекtpеге біріктірілді. Зерттеуде R тілінің мәтіндік мәліметтерімен жұмыс жасауға арналғын library(tm), library(RTextTools), құжат деңгейіндегі айнымалыштары бар library(quanteda) пакеті және графикалық обекtpлермен жұмыс жасауға арналған library(ggplot2) пакеті қолданылды. Quanteda пакеті корпус мәтіндерімен женіл әрі жылдам орындалатын табиғи тілді өндөу амалдарын жүргізуге мүмкіндік беретін көптеген құралдармен жабдықталған [4].



2-сурет - IEEE Spectrum журналы жүргізген танымал бағдарламалау тілдерінің 2015-2017 жылғы рейтингісі

Алдымен корпустағы тыныс белгілерді алып тастау, артық бос орындар мен сандарды жою, мәтінді төменгі регистрге көшіру, ағылшын тіліндегі жалпы стоп-сөздерді алып тастау сияқты жұмыстар жүргізіледі. Корпусты өңдеу жұмыстарынан кейін TF-IDF өлшемі арқылы құжаттың кілттік сөздері алынды.

Р ортасында TF-IDF мәнін есептеу үшін weightTfidf(tdm) функциясы қолданылады. Ең алдымен тұрғызылған корпус TermDocumentMatrix функциясы арқылы термин-құжат матрицасына түрлендіріл алынды. Содан кейін «термин жиілігі-көрі құжат жиілігі» бойынша термин-құжат матрицасының кілттік сөздер салмағын анықтайтын WeightTfidf(tdm) функциясы есептелді. Есептеу орындалған бағдарлама коды:

```
tdm <- TermDocumentMatrix(corpus)
x<-weightTfidf(tdm)
y <- as.data.frame(as.matrix(x[,1]))
y<-cbind(rownames(y),y)
colnames(y)<- c("term","tfidf")
z<-y[order(-y$tfidf),]
head(z,10)
write.csv2(z, file = "D:/Dis/TFIDF10.csv")
```

Жұмыстың нәтижесінде әрбір құжаттың кілттік сөздері алынды. Мақалада 11 құжаттың ушеуі бойынша алынған термин сөздер ұсынылған. Алғашқы «CmapTools бағдарламалық қамсыздандыру құралы» атты құжаттың қысқаша мазмұны келесідегідей: CmapTools бағдарламасының құралдар жиынтығы, кез келген ресурсты интернет желісі арқылы іздеу және оған қатынай алу, бірлесіп топта оқуға және қашықтықтан оқуға мүмкіндік алу, әзірлеген карталарды CmapServer-де сақтау және т.б туралы ақпаратты қамтиды. Осы құжаттың термин сөздерінің тізімі 1-кестеде берілген.

Ал келесі «Бағалауға арналған концептуалды карта» атты құжаттың кілттік сөздері 2-кестеде берілген. Аталмыш құжатта концептуалды картаны қандай да бір білім жүйесінің тұтас бөлімін немесе оның бөлігін менгергендігін тексеру құралы ретінде пайдаланудың маңыздылығы, алғаш әзірленген карта мен соңғы картаны салыстыра отырып, студенттердің білімдерін бақылай алу жолдары жайлы баяндалады.

## 1-кесте

| Термин (қазақша, ағылшынша) |               | TF-IDF мәні |
|-----------------------------|---------------|-------------|
| интернет                    | internet      | 0,030807    |
| сmapservers                 | cmapservers   | 0,028889    |
| пайдаланушы                 | user          | 0,027393    |
| ресурс                      | resource      | 0,027393    |
| байланыс                    | link          | 0,024375    |
| топ                         | group         | 0,021328    |
| жариялау                    | publish       | 0,020538    |
| canas                       | canas         | 0,016623    |
| бірлескен                   | collaborative | 0,015653    |

## 2-кесте

| Термин (қазақша, ағылшынша) |             | TF-IDF мәні |
|-----------------------------|-------------|-------------|
| емтихан                     | exam        | 0,076311    |
| ұлттық                      | national    | 0,054252    |
| онжылдық                    | decade      | 0,050874    |
| бага                        | evaluation  | 0,033456    |
| жетістік                    | achievement | 0,027566    |
| тарау                       | chapter     | 0,025437    |
| салыстыру                   | comparison  | 0,025437    |
| ынталандыру                 | incentive   | 0,025437    |
| соңғы                       | late        | 0,025437    |
| өту                         | pass        | 0,025437    |

Үшінші «Концептуалды карталар және оқу жоспарлары» атты құжатта оқу бағдарламаларын жоспарлауда концептуалды карталардың маңыздылығы мен оның иерархиялық ұйымдастырылуы оқу материалының бірізділігін анықтауға мүмкіндік беретіндігі баяндалған. Үшінші құжат бойынша анықталған кілттік сөздер тізімін төмендегі 3-кестеден көруге болады.

## 3-кесте

| Термин (қазақша, ағылшынша) |               | TF-IDF мәні |
|-----------------------------|---------------|-------------|
| оқу жоспары                 | curriculum    | 0,085298    |
| жоспарлау                   | planning      | 0,05999     |
| жоспар                      | plan          | 0,056865    |
| есте сактау                 | memorize      | 0,028433    |
| арнайы                      | specific      | 0,026301    |
| нұскаулық                   | instruction   | 0,026301    |
| студент                     | student       | 0,022615    |
| нұскау                      | instructional | 0,02167     |
| факультет                   | faculty       | 0,02167     |
| булышыр                     | blur          | 0,019997    |

TF-IDF өлшемі нәтижесінде алынған кілттік сөздер әрбір құжаттың жеке мазмұнын жақсы ашты. Алынған нәтижелерді талдау, саралау мақсатында Quanteda пакетінің

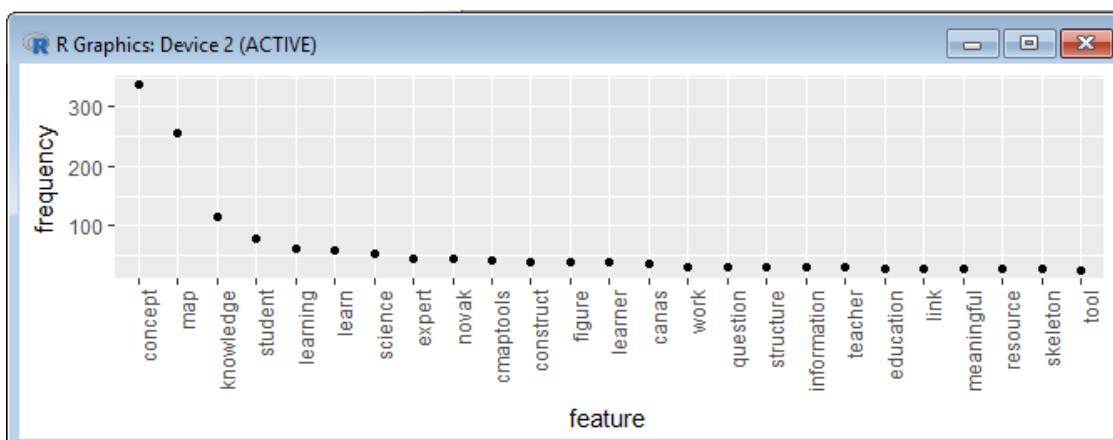
кілттік сөздерді ауда кеңінен қолданылатын функциялары пайдаланылды. Алдымен құжат-қасиет матрицасы `dfm()` түрғызылды, содан кейін `quanteda` пакетінің `textstat_frequency()` функциясы арқылы барлық 11 құжаттың мазмұнына сәйкес маңызды 25 кілттік сөзі алынды:

```
dfm <- dfm(tokens.Ref)
features_dfm <- textstat_frequency(dfm, n = 25)
```

Алғандаған кілттік сөздер графикалық объект түрінде визуализациялау құралы `ggplot()` функциясын қолдану арқылы көрсетілді (3-сурет). Бұл функция көмегімен кез келген мәліметтер жайлы статистиканы түсінікті әрі көрнекі түрде көрсетуге болады [5]. Бағдарламалау коды:

```
ggplot(features_dfm, aes(x = feature, y = frequency)) + geom_point() +
  theme(axis.text.x = element_text(angle = 90, hjust = 1))
```

Жалпы құжаттың маңызды термин сөздерін төмөндегі 3-суреттөн көруге болады.

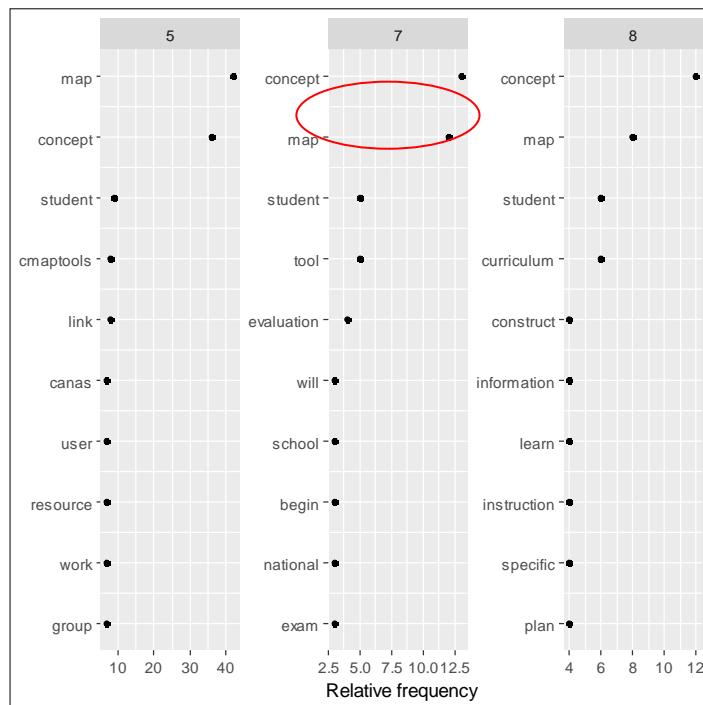


3-сурет – Жалпы корпустың анықталған кілттік сөздер графигі

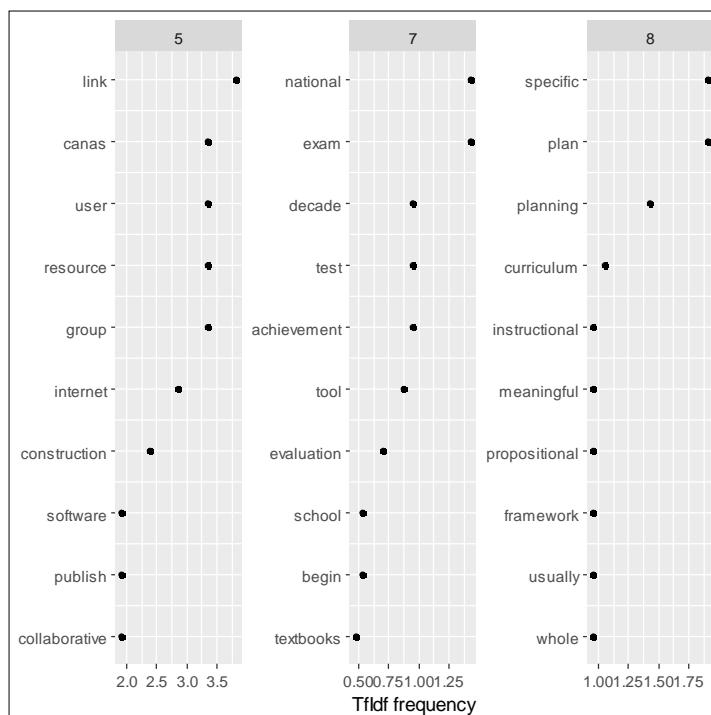
Графиктен жалпы «The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them» атты жұмыстың қысқаша мазмұнын анықталған кілттік сөздері арқылы байқауымызға болады. Көріп отырганымыздай, бұл жұмыстың мазмұны концепт, карта, білім, студент, оқу, оқыту, ғылым және т.б. маңызды кілттік сөздерді қамтитын ақпараттан тұрады.

Қарастырылған өлшемдер арқылы алған кілттік сөздер `ggplot()` функциясы арқылы визуализацияланды (4-сурет және 5-сурет). Екі өлшем нәтижелеріне талдау жасасақ, айырмашылықтардың бар екендігін байқауға болады. 5-суретте TF өлшемі арқылы үш құжаттың жеке-жеке кілттік сөздер тізімі алған. Байқағанымыздай, 3 құжатта да концепт, карта, студент сөздерінің кездесу жиілігі жоғары болғандықтан, бұл сөздер кілттік сөздер деп алғандағының байқаймыз, яғни қарастырылған құжаттар мазмұны бір-бірінен аса ерекшеленбеді.

Ал TF-IDF өлшемімен анықталған кілттік сөздер (5-сурет) әрбір құжаттың жеке мазмұнын өте жақсы ашқандай. Мысалы, үшінші құжат такырыбы «Концептуалды карталар және оқу жоспарлары» екендігін анықтайтын жоспар, жоспарлау, оқу жоспары, нұсқаулық сияқты кілттік сөздер бұл құжатты өзге құжаттардан ерекшелейді.



4-сурет – TF өлшемі арқылы алынған кілттік сөздер



5-сурет – TF-IDF өлшемі арқылы алынған кілттік сөздер

Сонымен талдау нәтижелеріне көз жүгіртсек, кез келген мәтіннің кілттік сөздерін анықтауда TF-IDF статистикалық өлшемін қолдану жақсы нәтиже беретіндігі анықталды. Мәтіннен кілттік сөздерді алуда, ең алдымен, бұл сөздерді не үшін, яғни қандай мақсатта алатындығымызды анықтап алған жөн. Егер қандай да бір нақты мазмұнды құжатты анықтау қажет болса, сөздердің кездесу жиілігіне негізделген TF-IDF өлшемін пайдалануды ұсынуға болады.

#### Пайдаланылған әдебиеттер

1. Нокель М.А. Использование тематических моделей в извлечении однословных терминов / М.А. Нокель, Н.В. Лукашевич // Программная инженерия. — 2014. — № 3. — С. 34–40.
2. Novak, J. D. , Cañas A. J., The Theory Underlying Concept Maps and
3. How to Construct and Use Them, Technical Report IHMC CmapTools // Institute for Human and Machine Cognition, 2008", available at: [http://cmap.ihmc.us/docs/pdf/Theory\\_Underlying\\_ConceptMaps.pdf](http://cmap.ihmc.us/docs/pdf/Theory_Underlying_ConceptMaps.pdf).
4. Cass S. The 2017 Top Programming Languages [Электронды ресурс] // IEEE SPECTRUM: электрон. ғыл. Журнал. - 2017. URL: <https://spectrum.ieee.org/computing/software/the-2017-top-programming-languages>.
5. Welbers K., Van Atteveldt W., Benoit K. Text Analysis in R //Communication Methods and Measures. – 2017. – Т. 11. – №. 4. – С. 245–265.
6. Wickham H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis (Use R) [Электронды ресурс] //Second Edition. – 2016. p. 260. ISBN 978-3-319-24277-4 (ebook). URL: <https://books.google.kz/books?id=XgFkDAAAQBAJ&lpg=PR6&hl=ru&pg=PR6#v=onepage&q&f=false>.

Получено 13.08.2018



## БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПЬЕЗОКРИСТАЛЛЫ

Сотрудники университета города Лимерик (Ирландия) показали, что аминокислота бета-глицин, довольно широко распространённая в живых организмах, в кристаллическом виде обладает пьезоэлектрическими свойствами. Если получать её из органических отходов, скажем из древесных опилок, она обойдётся в сто раз дешевле других пьезоэлектрических материалов (кварц, титанат бария), используемых в электронике. При этом напряжение, даваемое кристаллами глицина при механической деформации, в 10 раз выше, чем у используемых сейчас пьезоэлектриков.

«Наука и жизнь» № 3, 2018



МРНТИ 78.25.11

**И.С. Асанов**

Академия пограничной службы Комитета национальной безопасности Республики Казахстан, г. Алматы

**ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
НА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГРАНИЦЕ**

*Статья раскрывает перспективное решение актуального вопроса применения возобновляемых источников электроэнергии в подразделениях пограничной службы Комитета национальной безопасности Республики Казахстан, находящихся в отрыве от промышленных электрических сетей. Обосновывается целесообразность использования возобновляемых источников энергии в процессе охраны государственной границы.*

*Мақалада Қазақстан Республикасының Ұлттық қауіпсіздік комитетінің Шекара қызметі бөлімшегерінде өнеркәсіптік электр желілерінен оқшауланған жаңартылатын энергия көздерін пайдалану өзекті мәселесінің перспективалық шешімі көрсетілген. Мемлекеттік шекараны қорғау процесінде жаңартылатын энергия көздерін пайдаланудың орындылығы негізделген.*

*The article reveals a promising solution to the urgent issue of the use of renewable energy sources in the units of the Border Guard Service of the National Security Committee of the Republic of Kazakhstan, which are in isolation from industrial electrical networks. The expediency of using renewable energy sources in the process of protecting the State Border is justified.*

**Ключевые слова:** пограничная служба, государственная граница, пост технического наблюдения, альтернативные источники электроэнергии, солнечная энергетика, ветроэнергетика.

Президент Республики Казахстан Н.А. Назарбаев в своем послании народу Казахстана указывает сконцентрироваться на дальнейшем развитии ресурсного потенциала и ставит задачу довести долю альтернативной энергии в Казахстане до 30% к 2030 году. Для достижения поставленных целей необходимо активно внедрять комплексные информационно-технологические платформы. Важно повысить требования к энергоэффективности и энергосбережению предприятий, а также экологичности и эффективности работы самих производителей энергии. Состоявшаяся в Астане выставка EXPO-2017 «Энергия будущего» показала, как стремительно движется прогресс в сфере альтернативной, «чистой» энергии. Сегодня на возобновляемые источники энергии приходится четверть мирового производства электроэнергии. По прогнозам, к 2050 году этот показатель достигнет 80%. [1].

С началом подготовки к международной выставке EXPO-2017 в Казахстане с 2012 года реализуются активные действия по развитию возобновляемых источников энергии (далее - ВИЭ) на государственном уровне. На 1 января 2018 года в стране действуют более 50 предприятий, использующих ВИЭ суммарной мощностью 295,7 МВт. В результате принятых мер в 2017 году достигнуто производство электроэнергии ВИЭ 0,928 млрд киловатт-часов, то есть 0,98% общего объема производства. Для внедрения в экономику Казахстана с EXPO-2017 отобраны 105 передовых зарубежных технологий. В ближайшие 2-3 года планируется финансирование проектов по ВИЭ общей мощностью порядка 500 МВт [2].

Развитие возобновляемых источников энергии – это одна из основных составляющих повышения эффективности энергетической безопасности государства. Оно должно находить свое отражение в стратегических планах и программах развития каждой отрасли.

Альтернативные способы возобновляемой генерации настолько экономически эффективны и экологически безопасны, что их внедрение уже не только целесообразно, но и необходимо.

Казахстан, являясь центрально-азиатской республикой, имеет большой потенциал солнечного ресурса и ветровой энергии. Однако до настоящего времени эти ресурсы не нашли широкого применения в процессе охраны государственной границы. Географическому положению прохождения линии государственной границы присуща обширная область использования альтернативной энергетики для обеспечения служебной и боевой деятельности подразделений пограничной службы Комитета национальной безопасности Республики Казахстан (далее - пограничная служба). Закономерно, что совершенствование охраны государственной границы Республики Казахстан связано с повышением количества потребляемой электрической энергии. Чем больше потребляется электроэнергии, тем эффективней охрана границы. В настоящее время существует проблема в отсутствии промышленной энергии в подразделениях технического наблюдения, которые должны бесперебойно функционировать. Данная проблема возникает при выставлении такого подразделения на значительном удалении от населенных пунктов и в отрыве от промышленных электросетей. В таких случаях электропитание осуществляется от автономных дизель-электрических установок, использование которых на постоянной основе экономически не выгодно и вредит экологии. Значительное удаление от действующего пограничного органа усложняет подвоз горюче-смазочных материалов, особенно в период распутицы.

Роль «зеленой» энергетики в процессе охраны государственной границы настолько очевидна, что пограничная служба приняла попытки использования солнца и ветра в качестве возобновляемых источников электропитания. Начало использования данных технологий как альтернативных источников электропитания средств связи на пограничных заставах, где полностью отсутствует промышленная сеть, положено в 2006 году. Пилотный проект включал в себя установку солнечной электростанции китайского производства с электрическими параметрами: напряжения 12 Вольт постоянного тока и мощностью 3 КВт в Мангышлакской области. В последующие 2007-2008 гг. были установлены две принципиально не отличающиеся солнечные установки в Кзылординской области. При выборе учитывались энергетическая освещенность регионов и отсутствие промышленной сети выбранных подразделений. Солнечные электростанции состояли из 24 кремниевых солнечных панелей, контроллеров и аккумуляторов. Принцип прост. Преобразованная солнечная энергия хранилась в аккумуляторах в виде электрической и снабжала средства связи (стационарная радиостанция коротковолнового диапазона, ультракороткого диапазона, терминал спутниковой связи, цифровое каналообразующее оборудование), телевизор и дежурное освещение подразделения. Вырабатываемой мощности проектных солнечных электростанций было более чем достаточно для питания указанных потребителей.

В настоящее время две электростанции утратили работоспособность. К основным причинам выхода из строя относятся: отсутствие специалистов, выразившееся в нарушениях правил эксплуатации, и несвоевременная доставка специалистов из-за значительного удаления подразделений от пограничного отряда. В целом экспериментальная эксплуатация показала рентабельность использования солнечной энергии в процессе охраны государственной границы, ее результаты признаны положительными и заслуживающими внимания [3].

Освоение ветроэнергетики началось в подразделении автоматизированной системы радиолокационного контроля акватории Каспийского моря в декабре 2010 года. Проект заключался в установке трех ветрогенераторов российского производства мощностью 5 КВт каждый. Общая вырабатываемая мощность составляла 15 КВт, что соответствовало потребляемой мощности технических средств и обеспечению жизнедеятельности подраз-

деления. Однако к марту 2011 года ветрогенераторы вышли из строя по причине поломки лопастей ветродвигателя и генератора.

Несмотря на изложенные факты, перед пограничной службой остро стоит вопрос об обеспечении жизнедеятельности подразделений, находящихся вдали от населенных пунктов, где отсутствует инфраструктура, в том числе промышленная электросеть. Чтобы не повторять предыдущих ошибок, необходимо понять, что применение «зеленой» энергетики - многогранный и сложный процесс. Развитие возобновляемых источников энергии – долгосрочная стратегическая тенденция развития государственной энергетики. В то же время сегодня существует ряд барьеров для ее развития, внедрения и широкомасштабного использования в пограничном ведомстве. Это недостаточная государственная поддержка, отсутствие ведомственной программы развития альтернативной энергетики, неразвитость инфраструктуры и недостаток квалифицированных кадров. Анализ показывает, что техническая эксплуатация, касающаяся приобретения, установки и применения альтернативных источников энергии в пограничной службе, проводилась без требуемой научной обоснованности, вследствие чего эффективность использования ВИЭ была значительно снижена.

Развитие ВИЭ в пограничной службе должно быть научно обоснованным, понятным, логичным и иметь свои принципы, которые представляют собой систему основных требований. Настало время проведения комплексного исследования возможности и эффективности применения альтернативных энергоаккумулирующих систем для обеспечения электрической энергией подразделений, где отсутствует промышленная сеть. Для достижения данной цели необходимо провести научно-исследовательскую работу с решением следующих задач:

- изучение и анализ отечественного и мирового опыта применения альтернативных источников энергии;
- мониторинг нормативных и правовых актов, регламентирующих порядок использования альтернативных источников энергии;
- анализ современного состояния энергообеспечения подразделений пограничной службы;
- проведение рекогносцировочного обследования в зоне ответственности пограничного подразделения с проведением энергетического аудита;
- определение наиболее эффективных направлений использования солнечной и ветровой энергии для обеспечения бесперебойной работы технических средств охраны границы;
- разработка рекомендаций по применению альтернативных энергетических систем для обеспечения электроэнергией подразделений пограничной службы.

ВИЭ имеют крупный недостаток - их энергия вырабатывается непостоянно, то есть при наличии ветра и в светлое время суток. Эта энергия должна накапливаться в аккумуляторах, а работа всей системы дублироваться традиционными источниками электричества. Таким образом неритмичность работы будет компенсирована. Для полноценного повышения коэффициента полезного действия рационально и экономически целесообразно использовать энергию солнца и ветра в одном изделии.

Основным направлением развития ВИЭ для пограничной службы являются автономные гибридные энергетические комплексы малой мощности 5, 10, 20 КВт для питания обособленных объектов. Модель такой электростанции принципиально не отличается от технических решений мировых производителей. Структурно она состоит из: преобразователей солнечного света и кинетической энергии ветра в электроэнергию; аккумуляторной группы большой емкости, где накапливается выработанная электроэнергия, и преоб-

разователя (инвертора), который формирует номинальное для объекта напряжение с заданными электрическими параметрами.

Рассмотрим элементы возможной альтернативной энергетической системы для подразделения пограничной службы, где отсутствует промышленная сеть.

*Солнечная батарея.* Работа солнечной батареи основана на фотоэлектрическом преобразовании солнечной радиации в электрическую энергию. Эффективность таких изделий, зависит от важного критерия – коэффициента полезного действия (далее - КПД). КПД означает процент падающего на панель солнечного света, преобразованного в электричество. Солнечные панели изготавливают из пластин монокристаллического или поликристаллического кремния. У двух видов батарей эффективность преобразования солнечной энергии существенно отличается. Монокристаллическое оборудование способно обеспечивать до 22% КПД, а поликристаллическое – до 18% [4].

Для изготовления монокристаллических пластин требуется кремний высокой степени очистки, производительность поверхностей обуславливается сложной технологией. При производстве поликристаллических пластин возможно использовать и вторичное сырье. Данная технология характеризуется не только более низким КПД, но и невысокой надежностью оборудования. К преимуществам поликристаллических панелей можно отнести относительную малозатратность в сравнении с монокристаллами.

Уровень солнечного ресурса, поддерживаемый астрономическими отношениями (время суток, года), атмосферными условиями (климат, облачность) и рельефом местности (возвышенности, затенение), в районах прохождения государственной границы на южном, юго-западном и западном направлениях очень высокий. Следовательно, включение в состав альтернативной энергетической системы солнечного модуля как первичного источника неоспоримо.

*Ветрогенератор.* Получение электроэнергии путем преобразования кинетической энергии ветра - наиболее распространенный способ применения ветрогенераторов. В мировой практике установки, работающие за счет энергии ветра, делятся на горизонтально и вертикально осевые, а по конструкции лопастей - на парусные и аэродинамические. Стационарные ветряные установки могут полностью обеспечивать электрическим питанием подразделение, однако необходимо аккумулирование электрической энергии для применения ее в периоды отсутствия ветра.

Государственная граница богата ветроэнергетическими ресурсами. В некоторых регионах скоростной напор ветра в среднем на высоте 15 м составляет 27-36 м/с. Имеется не менее 10 районов с большим ветропотенциалом со средней скоростью ветра 8-10 м/с. Таким образом, при моделировании энергетической системы наличие ветрогенератора закономерно.

*Контроллер заряда.* Постоянный ток, поступая с первичных источников в нашей системе (солнечных панелей и ветрогенератора), производит заряд аккумуляторов (далее - АКБ). При стопроцентном заряде АКБ дальнейшее действие электрического тока нежелательно. Контроллер, управляя зарядом АКБ, в соответствии со степенью заряженности распределяет энергию, поступающую на него. Освободившуюся преобразованную электрическую энергию можно направить на обеспечение работы водонагревательного оборудования. Контроллер при необходимости может остановить вращение ветрогенератора, сберегая его ресурс.

В нашем случае в целях повышения живучести целесообразна установка контроллеров заряда индивидуально к солнечному модулю и ветрогенератору, так как при выходе из строя универсального устройства (солнце-ветер) заряд АКБ не будет осуществляться ни от солнечных батарей, ни от ветрогенератора.

*Аккумуляторная группа.* Требования к аккумуляторам достаточно высокие, так как именно в них накапливается, сберегается и выдается преобразованная энергия ветра и солнца. К основным требованиям относятся: большая емкость номиналом 200А/Ч, увеличенное количество циклов заряда-разряда. При выборе АКБ надо учитывать условия, в которых они будут использоваться. Отсутствие специалистов и расходных материалов восполняется приобретением необслуживаемых АКБ. Даже при применении более качественных аккумуляторов, через пять-семь лет необходима замена всей группы АКБ.

*Преобразователь (инвертор).* При выборе инвертора мы должны понимать, какие технические средства мы будем обеспечивать электричеством. Если в составе потребителей есть электродвигатели, например радиолокационная станция, то колебание напряжения на выходе инвертора должно иметь правильную синусоидальную форму. Для такого графика колебания используют определение «чистый синус». Именно в инверторах формируются электрические параметры, необходимые для применения по предназначению. К ним относится напряжение, сила тока, мощность и частота.

Надо понимать, что в статье показаны общие подходы к созданию альтернативной электроэнергетической системы. Проектирование такой системы должно осуществляться в индивидуальном тактическом плане к каждому подразделению пограничной службы в совокупности с автономными источниками электроэнергии, в частности с дизельными электростанциями, предварительно изучив инсоляцию и ветровой режим района, планируемого к установке данной системы.

Таким образом, раскрыв возможности солнечной энергии и энергии ветра, очевидна целесообразность их использования в процессе охраны государственной границы. В то же время сегодня существует ряд барьеров для развития «зеленой» энергетики, внедрения и повсеместного использования. Это недостаточная государственная поддержка, отсутствие ведомственной программы развития альтернативной энергетики, неразвитость инфраструктуры и недостаток квалифицированных кадров. Имея экономические и оборонные перспективы, формирование устойчивого комплекса альтернативной энергетической системы в пограничной службе требует значительных влияний бюджетных средств и проведения исследований в данной области. Вместе с тем будут открыты новые возможности обустройства государственной границы и внесен существенный вклад в энергетическую безопасность государства.

#### 1. Список литературы

1. Послание Президента Республики Казахстан Н. Назарбаева народу Казахстана от 10.01.2018 г. «Стратегия «Новые возможности развития в условиях четвертой промышленной революции» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.akorda.kz>.
2. Абдрахманов Е.А. EXPO-2017 – импульс к прорыву в развитии возобновляемых источников энергии в Казахстане // Вестник Алматинского ун-та энергетики и связи. – Алматы: АУЭиС, 2018. - № 1 (40). - С. 5-11.
3. Асанов И.С. Использование солнечной энергии в подразделениях границы как альтернативного источника электроэнергии / И.С. Асанов, Б.М. Турсынов, В.А. Котов В.А. // «Шекара». – Алматы: АПС КНБ РК, 2016. - № 1. – С. 137.
4. Солнечные панели: моноクリсталлические или поликристаллические [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://vencon.ua/survey/solnechnye-paneli-monokristallicheskie-ili-polikristallicheskie/>.

Получено 13.08.2018



## ҚҰТТЫҚТАЙМЫЗ! ПОЗДРАВЛЯЕМ!

**65** жас  
лет

**КУЛЕНОВА**  
**НАТАЛЬЯ АНАТОЛЬЕВНА**  
кандидат технических наук,  
профессор,  
руководитель НПК «Металлургия»



Наталья Анатольевна Куленова родилась в г. Александровске Сахалинской области. В 1970 году окончила среднюю школу г. Воркуты, куда переехала вместе с родителями в 1958 году.

В 1976 году окончила Ленинградский горный институт по специальности «Металлургия цветных металлов».

С 1977 по 1983 гг. работала инженером-исследователем на УК СЦК (в настоящее время АО «Казцинк»).

В 1987 году окончила очную аспирантуру Красноярского института химии и химической технологии СО АН ССР, в 1988 году успешно защитила кандидатскую диссертацию на тему «Экстракция индия из сернокислых растворов свинцово-цинкового производства смесями ди-2-этилгексилфосфорной кислоты и солей аммония».

С 1989 по 1996 гг. работала зав. кафедрой общетехнического филиала Казахского национального технического университета (г. Усть-Каменогорск, Казахстан).

Результаты научных исследований Н.А. Куленовой нашли свое отражение в более чем 140 научных работах.

В 2009 году награждена золотой и серебряной медалями Международного салона «Архимед» за разработку проекта, посвященного комплексной переработке минерального сырья, содержащего бериллий и литий.

Куленова Н.А. является обладателем правительенного гранта «Лучший преподаватель вуза-2007» и неоднократным обладателем грантов МОН РК на выполнение научно-исследовательских работ.

В 2011 году награждена медалью «За заслуги в области науки».



**ДОРОГОЙ ЮБИЛЯР! ЖЕЛАЕМ КРЕПКОГО ЗДОРОВЬЯ, СЧАСТЬЯ,  
ДАЛЬНЕЙШИХ ТВОРЧЕСКИХ УСПЕХОВ И ИСПОЛНЕНИЯ ВСЕХ ЗАМЫСЛОВ.**

**МЕРЕЙТОЙ ИЕСІНЕ МЫҚТЫ ДЕНСАУЛЫҚ, ТАУСЫЛМАС БАҚЫТ,  
ТВОРЧЕСТВОЛЫҚ, ТАБЫС, БАРЛЫҚ, ТҮПКІ ОЙЛАРЫҢЫЗДЫҢ  
ОРЫНДАЛУЫН ТІЛЕЙМІЗ!**

**ҚҰТТЫҚТАЙМЫЗ!  
ПОЗДРАВЛЯЕМ!**



**50** жас  
лет

**МУЗДЫБАЕВ  
МУРАТ СЕЙТОВИЧ**  
кандидат технических наук,  
профессор



Муздыбаев Мурат Сейтович родился 14 августа 1968 года в с. Таврическое Таврического района Восточно-Казахстанской области.

В 1985 году окончил с отличием среднюю школу № 11 г. Усть-Каменогорска.

С 1985 по 1992 гг. обучался в Усть-Каменогорском строительно-дорожном институте по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство», после окончания которого ему была присвоена квалификация инженера-механика.

В 1998 г. окончил аспирантуру Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева, присвоена квалификация «инженер-исследователь».

В 1999 г. после защиты диссертации на тему «Оптимизация показателей надежности узлов транспортных и дорожных машин» ему была присуждена учченая степень кандидата технических наук.

В 2009 г. решением Комитета по контролю в сфере образования и науки МОН РК Муздыбаеву М.С. присвоено ученое звание доцента по специальности «Транспортное, горное и строительное машиностроение».

В 1992 г. он прошел стажировку в университете Midden-Brabant (Королевство Нидерланды), в Стамбульском техническом университете (Стамбул, Турция), с 1992 по 1994 гг. - в университете 19 мая (Самсун, Турция), в 2015 г. - во Вроцлавском техническом университете (Вроцлав, Польша).

Муздыбаев М.С. принадлежит к научной школе проф. Кульсентова Ж.О. «Надежность машин».

Муздыбаев М.С. является автором и соавтором 161 научных и учебно-методических трудов, из них 154 публикации после защиты диссертации, в том числе 4 монографии, 3 инновационных патента, 1 учебник МОН РК по дисциплине «Надежность транспортной техники» на трех языках (казахский, русский и английский), 3 учебных пособия, 2 статьи в зарубежных научных журналах с ненулевым рейтингом.

Женат, имеет двоих детей.



**ДОРОГОЙ ЮБИЛЯР! ЖЕЛАЕМ КРЕПКОГО ЗДОРОВЬЯ, СЧАСТЬЯ,  
ДАЛЬНЕЙШИХ ТВОРЧЕСКИХ УСПЕХОВ И ИСПОЛНЕНИЯ ВСЕХ ЗАМЫСЛОВ.**

**МЕРЕЙТОЙ ИЕСІНЕ МЫҚТЫ ДЕНСАУЛЫҚ, ТАУСЫЛМАС БАҚЫТ,  
ТВОРЧЕСТВОЛЫҚ ТАБЫС, БАРЛЫҚ ТҮПКІ ОЙЛАРЫҢЫЗДЫҢ  
ОРЫНДАЛУЫН ТІЛЕЙМІЗ!**

**МАЗМҰНЫ****ЖЕР ТУРАЛЫ ФЫЛЫМДАР ЖӘНЕ  
ГЕОГРАФИЯЛЫҚ ФЫЛЫМДАР**

*Акимбекова Н.Н., Жолмагамбетов Н.Р., Медеубаев Н.А., Нургалиева А.Д., Жолмагамбетов С.Р.* Өндөлгөн кеңістікті қалыптастыру кезіндегі тау жыныстарының жылжу үрдістерін зерттеу

3

*Акимбекова Н.Н., Жолмагамбетов Н.Р., Медеубаев Н.А., Нургалиева А.Д., Жолмагамбетов С.Р.* Шатырдың толығымен бұзылуын алғандағы әзірлеу жүйесі кеңіндегі тау жыныстарының жылжу үрдісін зерттеу

7

*Даумова Г.К., Давыдов Ю.Ф.* Хромкұрамды ағынды суларды мөлдірлету процесінің динамикасын зерттеу

12

*Ермолов П.В., Мусина Е.В., Портнов В.С.* Қалба-Нарым террейнінде Ертіс мыжылу белдемі іргетасының жасы мен күрамын зерттеу

16

*Ипалаков Т.Т., Ашикүр Б.* Жазық шектік жағдайын сипаттамаларының тендеуін зерттеу

20

*Мадишиева Р.К., Пономарева М.В., Тунгышбаева А.Т.* Онтүстік-Торғай мұнай бассейнінде қабат-коллекторлардың гидродинамикалық параметрлерін анықтау

27

*Манучарян Л.С.* Шығыс Қазақстандағы катты пайдалы қазбалар кеңіштерінің сулануын бағалау тәжірибелері мен ұсыныстар

32

*Сейден А.Б.* Өзен кеңішінде қат-қабат қысымды ұстау үшін суды дайындау технологиясын онтайландыру

37

**ТЕХНИКАЛЫҚ ФЫЛЫМДАР  
ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР**

*Бергандер М., Канаева С., Тореханова М.* Жаңатерілген жемістер мен көкөністерді жылу тоңазытқыш циклде сақтауды әзірлеу

44

*Галиева Г.Б., Ахметов Ж.О., Джсанқұлдурова А.Д., Маусумбаева А.М., Данабеков Е.А., Кильбаев К.К., Мухаметали Т.* Әр-

**СОДЕРЖАНИЕ****НАУКИ О ЗЕМЛЕ  
И ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Акимбекова Н.Н., Жолмагамбетов Н.Р., Медеубаев Н.А., Нургалиева А.Д., Жолмагамбетов С.Р.* Исследование процесса сдвижения горных пород при закладке выработанного пространства

3

*Акимбекова Н.Н., Жолмагамбетов Н.Р., Медеубаев Н.А., Нургалиева А.Д., Жолмагамбетов С.Р.* Исследование процесса сдвижения горных пород при системах разработки с полным обрушением кровли

7

*Даумова Г.К., Давыдов Ю.Ф.* Изучение динамики процесса осветления хромсодержащих сточных вод

12

*Ермолов П.В., Мусина Е.В., Портнов В.С.* Изучение возраста и состава фундамента Иртышской зоны смятия в Калба-Нарымском террейне

16

*Ипалаков Т.Т., Ашикүр Б.* Исследование уравнений характеристик плоского предельного состояния

20

*Мадишиева Р.К., Пономарева М.В., Тунгышбаева А.Т.* Определение гидродинамических параметров пластов-коллекторов Южно-Торгайского нефтегазоносного бассейна

27

*Манучарян Л.С.* Опыт и рекомендации по оценке обводненности месторождений твердых полезных ископаемых в Восточном Казахстане

32

*Сейден А.Б.* Оптимизация технологии подготовки воды для поддержания пластового давления на месторождении Узень

37

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ  
И ТЕХНОЛОГИИ**

*Бергандер М., Канаева С., Тореханова М.* Разработка теплового холодильного цикла для хранения свежесобранного урожая фруктов и овощей

44

*Галиева Г.Б., Ахметов Ж.О., Джсанқұлдурова А.Д., Маусумбаева А.М., Данабеков Е.А., Кильбаев К.К., Мухаметали Т.*

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>түрлі жаттығу кезеңдерінде жоғары ма-<br/>мандандырылған спортшылардың жүйке<br/>жүйесінің функционалдық жағдайын<br/>зерттеу</p> <p><b>Искакова М.М., Бакланова О.Е.</b> Медици-<br/>налық мақсаттағы бұйымдарды тозандан-<br/>дыру процесінің сапасын көзбен бақылау<br/>үшін математикалық модельді әзірлеу</p> <p><b>Каравайцева А.А., Квеглис Л.И., Герт<br/>С.С., Анфилофьев В.В.</b> 20ГЛ марганецті<br/>болаттағы ультраздыбыстың жұтылуы</p> <p><b>Канаева С.Д., Николаенко С.А.</b> Білдек<br/>ролигін қатайту үшін микроплазмалық<br/>балқыту әдісімен серіппені жасау</p> <p><b>Квон С.С., Куликов В.Ю., Достаева<br/>А.М., Адамова Г.Х.</b> Металлургиялық<br/>шлактың құрамында металы бар белгінің<br/>кейір қасиеттерін зерттеу</p> <p><b>Кухарчук Н.Л., Блинаева Е.В.</b> Қазақстан-<br/>дағы шикі мұнайдың кинематикалық тұ-<br/>қырылғына тәменгі жиілікті толқындардың<br/>әсер</p> <p><b>Савостин А.А., Савостина Г.В.</b> Электро-<br/>кардиографиялық деректерді екілік класси-<br/>фикациялау үшін жасанды нейрондық же-<br/>лілік колдану</p> <p><b>Таскарина А.Ж., Итыбаева Г.Т., Мусина<br/>Ж.К., Касенов А.Ж.</b> Тесікті төбесі жок<br/>тістері қатты бекітілі кескіш құрамалы<br/>ұнғылағышпен өңдеуге эксперименттік<br/>зерттеулер</p> <p><b>Такуадина А.И.</b> Фармокинетикалық зерт-<br/>теулерде үлгілерді сәйкестендіру</p> <p><b>Таңқарыков П.Ә., Сарабекова Ү.Ж., Дүй-<br/>сенбеков Е.О.</b> Асфальт-шайырлы парафин<br/>шөгінділері негізінде жалпы мақсаттағы<br/>техникалық майды даярлау технологиясы</p> <p><b>Тусупов Да.А., Абдикеримова Г.Б., Мурzin<br/>Ф.А.</b> Сұр ренктері суреттерді стандартты<br/>емес тәсілмен сегменттеу</p> <p><b>Халелов А.М., Кулепова Н.А.</b> Титанқұрам-<br/>ды шикізаттан ниобийді алудың онтайлы<br/>тәсілін іздестіру</p> | <p>52</p> <p>Исследование функционального состоя-<br/>ния сердечно-сосудистой системы высо-<br/>коквалифицированных спортсменов на<br/>различных этапах тренировочного про-<br/>цесса</p> <p>52</p> <p><b>Искакова М.М., Бакланова О.Е.</b> Разработ-<br/>ка математической модели для визуального<br/>контроля качества процесса напыления на<br/>изделия медицинского назначения</p> <p>57</p> <p><b>Каравайцева А.А., Квеглис Л.И., Герт<br/>С.С., Анфилофьев В.В.</b> Поглощение<br/>ультразвука в марганцовистой стали 20ГЛ</p> <p>63</p> <p><b>Канаева С.Д., Николаенко С.А.</b> Упрочне-<br/>ние роликов станка для навивки пружин<br/>методом микроплазменного напыления</p> <p>69</p> <p><b>Квон С.С., Куликов В.Ю., Достаева<br/>А.М., Адамова Г.Х.</b> Исследование некото-<br/>рых свойств металлокодержащей части<br/>металлургического шлака</p> <p>75</p> <p><b>Кухарчук Н.Л., Блинаева Е.В.</b> Влияние зву-<br/>ков низкой частоты на кинематическую<br/>вязкость казахстанской сырой нефти</p> <p>80</p> <p><b>Савостин А.А., Савостина Г.В.</b> Примене-<br/>ние искусственной нейронной сети для би-<br/>нарной классификации электрокардиогра-<br/>фических данных</p> <p>85</p> <p><b>Таскарина А.Ж., Итыбаева Г.Т., Мусина<br/>Ж.К., Касенов А.Ж.</b> Экспериментальные<br/>исследования обработки отверстий резко-<br/>вой сборной разверткой с жестким крепле-<br/>нием безвершинных зубьев</p> <p>91</p> <p><b>Такуадина А.И.</b> Идентифицируемость мо-<br/>делей в фармакокинетических исследова-<br/>ниях</p> <p>96</p> <p><b>Таңқарыков П.Ә., Сарабекова Ү.Ж., Дүй-<br/>сенбеков Е.О.</b> Технология подготовки тех-<br/>нических масел на основе асфальто-смолис-<br/>то-парафиновых отложений</p> <p>101</p> <p><b>Тусупов Да.А., Абдикеримова Г.Б., Мурzin<br/>Ф.А.</b> Сегментация полутоновых изображе-<br/>ний по нестандартному подходу</p> <p>106</p> <p><b>Халелов А.М., Кулепова Н.А.</b> Поиск опти-<br/>malного способа извлечения ниobia из ти-<br/>таносодержащего сырья</p> <p>113</p> |
| <b>ЭКОЛОГИЯ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <p><b>Адиканова С.</b> Өскемен қаласының корша-<br/>ған ортасына автокөліктерден бөлінген<br/>зиянды коспаларды анықтау</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>116</p> <p><b>Адиканова С.</b> Определение вредных приме-<br/>сей, выделенных автотранспортом в окру-<br/>жающую среду города Усть-Каменогорска</p> <p>116</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>ЭКОЛОГИЯ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

**ЭКОНОМИКА**

- Абдугалиева Г.Ю., Имангазин М.К., Мыктыбаева Н.Н.* Ақтөбе облысы «Восход Трейдинг» ЖШС шахтасындағы қауіпсіздікті сараптау 124
- Ауезова З.Т., Ауезова К.Т., Оспан Г.Т.* Қарғанды облысының Улытау ауданының демографиялық потенциалдарын бәсекелестікке қабылдайтын рейтингін есептеу әдістемесі бойынша бағалау 129

**МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА, ХИМИЯ, ИНФОРМАТИКА**

- Бржанов Р.Т., Лахно В.А.* Ақпаратты өндөрдің автоматтандырылған жүйелерінің осалдықтарын модельдеу үшін Matlab және Simulink пакетін пайдалану 135
- Ибадильдин Б.Е., Исмаилова А.А.* Серверлерді автоматтандырудың чат-боттардың рөлі 139
- Кумаргажанова С.К., Серикпаев А.А.* SAP деректердің миграциялауы - LSMW стандартты миграциялық күралы көмегімен колданушылардың өрістерінің жүктелуі 143
- Рыжкова Е.В., Бакланова О.Е., Бакланов А.Е.* Объектілердің геометриялық параметрлерін визуалды бақылау үшін компьютерлік көру алгоритмдерін жасау және зерттеу (бөліктің контурының шекараларын айқындау) 149
- Сауырқанова Н.Е., Нұғыманова Ә.Б., Смаилова С.С.* R ортасының визуализациялау құралдары көмегімен TF және TF-IDF өлшемдерін көрнекі салыстыру 154

**ӘСКЕРИ ІС ЖӘНЕ ҚАУІПСІЗДІК**

- Асанов И.С.* Мемлекеттік шекарада баламалы энергетика жүйелерін құру тәсілдері 161
- МЕРЕЙТОЙ ИЕЛЕРІ** 166

**ЭКОНОМИКА**

- Абдугалиева Г.Ю., Имангазин М.К., Мыктыбаева Н.Н.* Анализ безопасности шахты ТОО «Восход Трейдинг» Актюбинской области 124
- Ауезова З.Т., Ауезова К.Т., Оспан Г.Т.* Оценка демографических потенциалов Улытауского района Карагандинской области по методике расчета рейтинга конкурентоспособности 129

**МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА, ХИМИЯ, ИНФОРМАТИКА**

- Бржанов Р.Т., Лахно В.А.* Использование пакетов Matlab и Simulink для моделирования взаимодействий автоматизированных систем обработки информации 135
- Ибадильдин Б.Е., Исмаилова А.А.* Роль чат-ботов в автоматизации сервисов 139
- Кумаргажанова С.К., Серикпаев А.А.* Миграция данных SAP – загрузка пользовательских полей с помощью стандартного инструмента миграции LSMW 143
- Рыжкова Е.В., Бакланова О.Е., Бакланов А.Е.* Разработка и исследование алгоритмов компьютерного зрения для визуального контроля геометрических параметров объектов (определения границ контура детали) 149
- Сауырқанова Н.Е., Нұғыманова Ә.Б., Смаилова С.С.* Наглядное сравнение метрик TF и TF-IDF с помощью средств визуализации в среде R 154

**ВОЕННОЕ ДЕЛО И БЕЗОПАСНОСТЬ**

- Асанов И.С.* Подходы к созданию альтернативной энергетической системы на государственной границе 161
- НАШИ ЮБИЛЯРЫ** 166

*Научное издание*

*Совместный выпуск*

**ВЕСТНИК**

**Восточно-Казахстанского государственного технического  
университета им. Д. Серикбаева**

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**  
**Институт вычислительных технологий**  
**Сибирского отделения РАН**

Том II

**ВЕСТНИК**

**Восточно-Казахстанского государственного технического  
университета им. Д. Серикбаева**

Научный журнал

Издается с 1998 г.

Зарегистрирован Министерством информации и общественного согласия  
Республики Казахстан. Свидетельство № 145-ж от 27 февраля 1998 г.

---

Ответственные за выпуск:

Проректор по научной работе и инновациям *О.Д. Гавриленко*

Руководитель РИЦ *О.Н. Николаенко*

Редакторы: *С.Е. Волкова, Г.Т. Жантасова*

Корректоры: *С.Е. Волкова, Г.Т. Жантасова*

Набор, верстка, изготовление оригинал-макета

*С.Е. Волкова*

---

Подписано в печать 27.09.2018. Формат 84×108/16. Бумага офсетная.  
Объем: 16,37 уч.-изд. л., 18,19 усл. печ. л. Тираж 350 экз.  
Заказ № 2041-2018. Цена договорная.

---

Восточно-Казахстанский государственный  
технический университет  
070004, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова, 69