

## **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. Кульсеитов, 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

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.*

*Мақалада электрокардиографиялық деректерді жіктеу үшін жасанды нейрондық желілерді қолдану әдісі қарастырылады. Сау адамның электрокардиограммасының фонында белгілі бір локализацияның миокард инфарктісін тани алатын кіріс параметрлері мен нейрондық желі құрылымының оңтайлы векторы тыбылды. Дайындалған оқыту үлгісінде желіні машықтандыру өткізілді. Эксперименттік деректер негізінде ұсынылған әдістердің тиімділігі туралы және оларды 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 вышесказанном, 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).

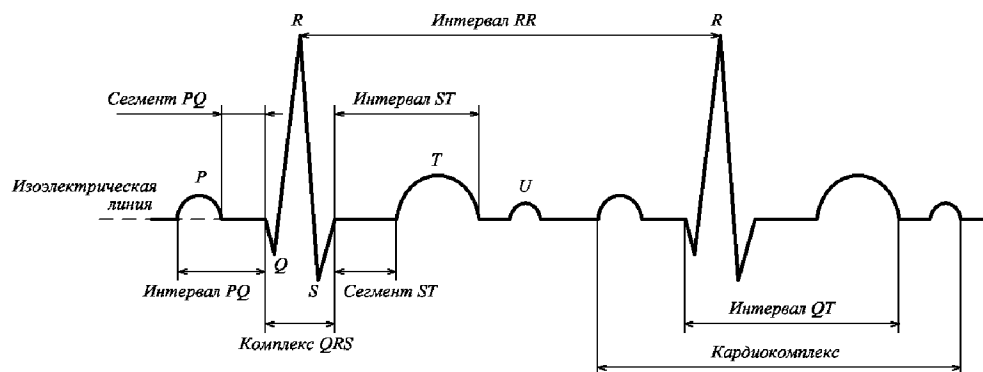


Рисунок 1 – Схематическое изображение элементов нормальной ЭКГ

Это объясняется тем, что форма ЭКГ в отведениях определяется величиной и направлением вектора электродвижущей 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 определённый 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 использовалась последовательная обработка сигналов фильтрами Баттерворта 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 центрированными относительно нуля.

Как отмечалось, НИМ проявляется в изменении формы ЭКГ в отведениях II, III, aVF,  $V_1 - V_4$ . 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;  $\sigma$  – среднее квадратическое 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

| Объек-<br>ты<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               |                         |             |             |
|                           | $Int(s_i)$<br>)   | $\sigma$   | $Int(s_i)$<br>) | $\sigma$   | $Int(s_i)$<br>) | $\sigma$   | ... | ...    | ... | ... | ...    | $Int(s_i)$<br>) | $\sigma$                |             |             |
| $p_{Rxl}^{(1)}$           | $p_1^1$           | $p_2^1$    | $p_3^1$         | $p_4^1$    | $p_5^1$         | $p_6^1$    | ... | ...    | ... | ... | ...    | $p_{17}^1$      | $p_{18}^1$              | $y_1^1$     | $y_2^1$     |
| ...                       | ...               | ...        | ...             | ...        | ...             | ...        | ... | ...    | ... | ... | ...    | ...             | ...                     | ...         | ...         |
| $p_{Rxl}^{(M)}$           | $p_1^{932}$       | $p_2^{93}$ | $p_4^{932}$     | $p_5^{93}$ | $p_7^{932}$     | $p_8^{93}$ | ... | ...    | ... | ... | ...    | $p_{17}^{932}$  | $p_{18}^{93}$           | $y_1^{932}$ | $y_2^{932}$ |

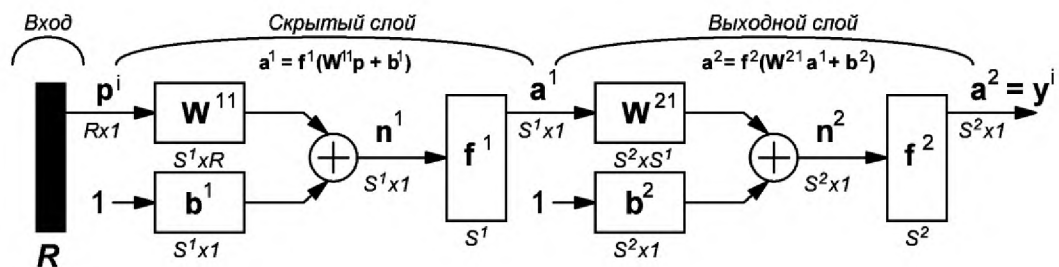


Рисунок 2 – Архитектура искусственной нейронной сети

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

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

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

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 ( $FPR = 0$ ,  $TPR = 1$ ).

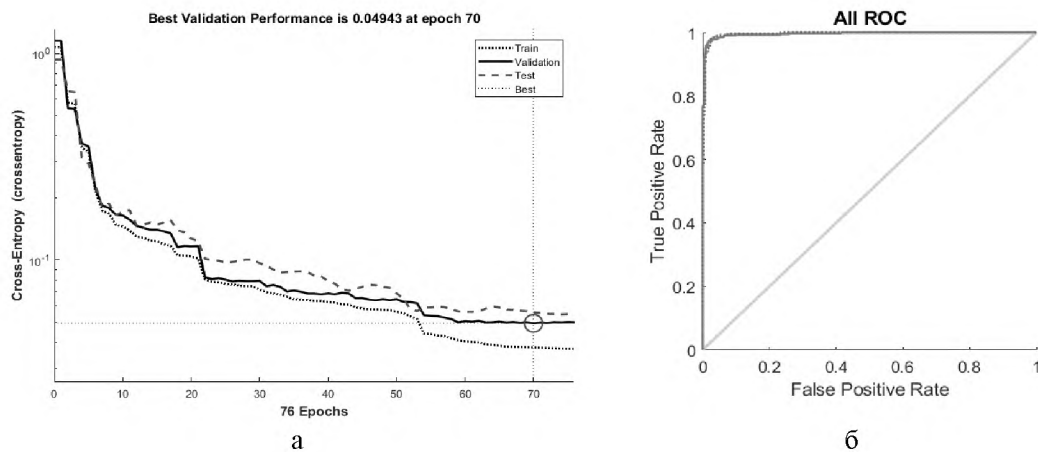


Рисунок 3 – Результаты обучения ИНС: а – зависимость величины ошибки обучения от числа циклов обучения; б – ROC-кривая

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                    | <i>Precision</i> , % | <i>Recall</i> , % | 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. Магруппов Т.М. Анализ и обработка медико-биологической информации / Т.М. Магруппов, С.А. Васильева, М.Т. Магруппова. – Т.: ТашГТУ, 2012. – 152 с.
2. Мурашко В.В. Электрокардиография: Учеб. пособие / В.В. Мурашко, А.В. Струтынский. – 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). PP. 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. PP. 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). PP. 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

## МАЗМҰНЫ

| ЖЕР ТУРАЛЫ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ<br>ГЕОГРАФИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Акимбекова Н.Н., Жолмагамбетов Н.Р., Медеубаев Н.А., Нурғалиева А.Д., Жолмагамбетов С.Р.</i> Өңделген кеңістікті қалыптастыру кезіндегі тау жыныстарының жылжу үрдістерін зерттеу                  | 3  |
| <i>Акимбекова Н.Н., Жолмагамбетов Н.Р., Медеубаев Н.А., Нурғалиева А.Д., Жолмагамбетов С.Р.</i> Шатырдың толығымен бұзылуын алғандағы әзірлеу жүйесі кезіндегі тау жыныстарының жылжу үрдісін зерттеу | 7  |
| <i>Даумова Г.К., Давыдов Ю.Ф.</i> Хромқұрамды ағынды суларды мөлдірлету процесінің динамикасын зерттеу                                                                                                | 12 |
| <i>Ермолов П.В., Мусина Е.В., Портнов В.С.</i> Қалба-Нарым террейінде Ертіс мыжығу белдемі іргетасының жасы мен құрамын зерттеу                                                                       | 16 |
| <i>Иналаков Т.Т., Апишқур Б.</i> Жазық шектік жағдайдың сипаттамаларының теңдеуін зерттеу                                                                                                             | 20 |
| <i>Мадишева Р.К., Пономарева М.В., Тунгышбаева А.Т.</i> Оңтүстік-Торғай мұнай бассейнінде қабат-коллекторлардың гидродинамикалық параметрлерін анықтау                                                | 27 |
| <i>Манучарян Л.С.</i> Шығыс Қазақстандағы қатты пайдалы қазбалар кеніштерінің сулануын бағалау тәжірибелері мен ұсыныстар                                                                             | 32 |
| <i>Сейден А.Б.</i> Өзен кенішінде қат-қабат қысымды ұстау үшін суды дайындау технологиясын оңтайландыру                                                                                               | 37 |
| ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР<br>ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР                                                                                                                                                             |    |
| <i>Бергандер М., Капаева С., Тореханова М.</i> Жаңатерілген жемістер мен көкөністерді жылу тоңазытқыш цикліде сақтауды әзірлеу                                                                        | 44 |
| <i>Галиева Г.Б., Ахметов Ж.О., Джанкулдукова А.Д., Маусымбаева А.М., Данабеков Е.А., Килыбаев К.К., Мухаметали Т.</i> Өр-                                                                             |    |

## СОДЕРЖАНИЕ

| НАУКИ О ЗЕМЛЕ<br>И ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Акимбекова Н.Н., Жолмагамбетов Н.Р., Медеубаев Н.А., Нурғалиева А.Д., Жолмагамбетов С.Р.</i> Исследование процесса сдвижения горных пород при закладке выработанного пространства            | 3  |
| <i>Акимбекова Н.Н., Жолмагамбетов Н.Р., Медеубаев Н.А., Нурғалиева А.Д., Жолмагамбетов С.Р.</i> Исследование процесса сдвижения горных пород при системах разработки с полным обрушением кровли | 7  |
| <i>Даумова Г.К., Давыдов Ю.Ф.</i> Изучение динамики процесса осветления хромосодержащих сточных вод                                                                                             | 12 |
| <i>Ермолов П.В., Мусина Е.В., Портнов В.С.</i> Изучение возраста и состава фундамента Иртышской зоны сматия в Калба-Нарымском террейне                                                          | 16 |
| <i>Иналаков Т.Т., Апишқур Б.</i> Исследование уравнений характеристик плоского предельного состояния                                                                                            | 20 |
| <i>Мадишева Р.К., Пономарева М.В., Тунгышбаева А.Т.</i> Определение гидродинамических параметров пластов-коллекторов Южно-Торгайского нефтегазоносного бассейна                                 | 27 |
| <i>Манучарян Л.С.</i> Опыт и рекомендации по оценке обводненности месторождений твердых полезных ископаемых в Восточном Казахстане                                                              | 32 |
| <i>Сейден А.Б.</i> Оптимизация технологии подготовки воды для поддержания пластового давления на месторождении Узень                                                                            | 37 |
| ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ<br>И ТЕХНОЛОГИИ                                                                                                                                                               |    |
| <i>Бергандер М., Капаева С., Тореханова М.</i> Разработка теплового холодильного цикла для хранения свежесобранного урожая фруктов и овощей                                                     | 44 |
| <i>Галиева Г.Б., Ахметов Ж.О., Джанкулдукова А.Д., Маусымбаева А.М., Данабеков Е.А., Килыбаев К.К., Мухаметали Т.</i>                                                                           |    |

|                                                                                                                                                                          |     |                                                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| түрлі жаттығу кезеңдерінде жоғары мамандандырылған спортшылардың жүйке жүйесінің функционалдық жағдайын зерттеу                                                          | 52  | Исследование функционального состояния сердечно-сосудистой системы высококвалифицированных спортсменов на различных этапах тренировочного процесса                                     | 52  |
| <b>Искакова М.М., Бакланова О.Е.</b> Медициналық мақсаттағы бұйымдарды тозаңдандыру процесінің сапасын көзбен бақылау үшін математикалық модельді әзірлеу                | 57  | <b>Искакова М.М., Бакланова О.Е.</b> Разработка математической модели для визуального контроля качества процесса напыления на изделия медицинского назначения                          | 57  |
| <b>Каравайцева А.А., Квеглиц Л.И., Герт С.С., Анфилофьев В.В.</b> 20ГЛ марганецті болаттағы ультратыңақтық жұтылуы                                                       | 63  | <b>Каравайцева А.А., Квеглиц Л.И., Герт С.С., Анфилофьев В.В.</b> Поглощение ультразвука в марганцовистой стали 20ГЛ                                                                   | 63  |
| <b>Капаева С.Д., Николаенко С.А.</b> Білдек ролингі қатайту үшін микроплазмалық балқыту әдісімен серіппені жасау                                                         | 69  | <b>Капаева С.Д., Николаенко С.А.</b> Упрочнение роликов станка для навивки пружин методом микроплазменного напыления                                                                   | 69  |
| <b>Квон Св.С., Куликов В.Ю., Достоева А.М., Адамова Г.Х.</b> Металлургиялық шлақтың құрамында металлы бар бөлігінің кейбір қасиеттерін зерттеу                           | 75  | <b>Квон Св.С., Куликов В.Ю., Достоева А.М., Адамова Г.Х.</b> Исследование некоторых свойств металлосодержащей части металлургического шлака                                            | 75  |
| <b>Кухарчук Н.Л., Блинаева Е.В.</b> Қазақстандағы шикі мұнайдың кинематикалық тұтқырлығына төменгі жиілікті толқындардың әсері                                           | 80  | <b>Кухарчук Н.Л., Блинаева Е.В.</b> Влияние звуков низкой частоты на кинематическую вязкость казахстанской сырой нефти                                                                 | 80  |
| <b>Савостин А.А., Савостина Г.В.</b> Электрокардиографиялық деректерді екілік классификациялау үшін жасанды нейрондық желіні қолдану                                     | 85  | <b>Савостин А.А., Савостина Г.В.</b> Применение искусственной нейронной сети для бинарной классификации электрокардиографических данных                                                | 85  |
| <b>Таскарина А.Ж., Итыбаева Г.Т., Мусина Ж.К., Касенов А.Ж.</b> Тесікті төбесі жоқ тістері қатты бекітулі кескіш құрамалы ұңғылағышпен өңдеуге эксперименттік зерттеулер | 91  | <b>Таскарина А.Ж., Итыбаева Г.Т., Мусина Ж.К., Касенов А.Ж.</b> Экспериментальные исследования обработки отверстий резцово-сборной развёрткой с жёстким креплением безвершинных зубьев | 91  |
| <b>Тақуадинова А.И.</b> Фармакокинетикалық зерттеулерде үлгілерді сәйкестендіру                                                                                          | 96  | <b>Тақуадинова А.И.</b> Идентифицируемость моделей в фармакокинетических исследованиях                                                                                                 | 96  |
| <b>Таңжарықов П.Ә., Сарабекова Ұ.Ж., Дүйсенбеков Е.О.</b> Асфальт-пайырлы парафин шөгінділері негізінде жалпы мақсаттағы техникалық майды даярлау технологиясы           | 101 | <b>Таңжарықов П.Ә., Сарабекова Ұ.Ж., Дүйсенбеков Е.О.</b> Технология подготовки технических масел на основе асфальто-смолисто-парафиновых отложений                                    | 101 |
| <b>Тусупов Д.А., Абдикеримова Г.Б., Мурзин Ф.А.</b> Сұр реңктегі суреттерді стандартты емес тәсілмен сегменттеу                                                          | 106 | <b>Тусупов Д.А., Абдикеримова Г.Б., Мурзин Ф.А.</b> Сегментация полутоновых изображений по нестандартному подходу                                                                      | 106 |
| <b>Халелов А.М., Куленова Н.А.</b> Титанқұрамды шикізаттан ниобийді алудың оңтайлы тәсілін іздестіру                                                                     | 113 | <b>Халелов А.М., Куленова Н.А.</b> Поиск оптимального способа извлечения ниобия из титаносодержащего сырья                                                                             | 113 |
| <b>ЭКОЛОГИЯ</b>                                                                                                                                                          |     | <b>ЭКОЛОГИЯ</b>                                                                                                                                                                        |     |
| <b>Адиқанова С.</b> Өскемен қаласының қоршаған ортасына автокөліктерден бөлінген зиянды қоспаларды анықтау                                                               | 116 | <b>Адиқанова С.</b> Определение вредных примесей, выделенных автотранспортом в окружающую среду города Усть-Каменогорска                                                               | 116 |

| ЭКОНОМИКА                                                                                                                                                                                                       |     | ЭКОНОМИКА                                                                                                                                                                                                    |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Абдугалиева Г.Ю., Имангазин М.К., Мыктыбаева Н.Н.</i> Ақтөбе облысы «Восход Трейдинг» ЖШС шахтасындағы қауіпсіздікті сараптау                                                                                | 124 | <i>Абдугалиева Г.Ю., Имангазин М.К., Мыктыбаева Н.Н.</i> Анализ безопасности шахты ТОО «Восход Трейдинг» Актюбинской области                                                                                 | 124 |
| <i>Ауезова З.Т., Ауезова К.Т., Оспан Г.Т.</i> Қарағанды облысының Улытау ауданының демографиялық потенциалдарын бәсеке-лестікке қабылеттілік рейтингін есептеу әдістемесі бойынша бағалау                       | 129 | <i>Ауезова З.Т., Ауезова К.Т., Оспан Г.Т.</i> Оценка демографических потенциалов Улытауского района Карагандинской области по методике расчета рейтинга конкурентоспособности                                | 129 |
| МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА, ХИМИЯ, ИНФОРМАТИКА                                                                                                                                                                          |     | МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА, ХИМИЯ, ИНФОРМАТИКА                                                                                                                                                                       |     |
| <i>Бржанов Р.Т., Лахно В.А.</i> Ақпаратты өңдеудің автоматтандырылған жүйелерінің осалдықтарын модельдеу үшін Matlab және Simulink пакетін пайдалану                                                            | 135 | <i>Бржанов Р.Т., Лахно В.А.</i> Использование пакетов Matlab и Simulink для моделирования уязвимостей автоматизированных систем обработки информации                                                         | 135 |
| <i>Ибадильдин Б.Е., Исмаилова А.А.</i> Серверлерді автоматтандырудағы чат-боттардың рөлі                                                                                                                        | 139 | <i>Ибадильдин Б.Е., Исмаилова А.А.</i> Роль чат-ботов в автоматизации сервисов                                                                                                                               | 139 |
| <i>Қумаргажсанова С.К., Серикпаев А.А.</i> SAP деректердің миграциялауы - LSMW стандартты миграциялық құралы көмегімен қолданушылардың өрістерінің жүктелуі                                                     | 143 | <i>Қумаргажсанова С.К., Серикпаев А.А.</i> Миграция данных SAP – загрузка пользовательских полей с помощью стандартного инструмента миграции LSMW                                                            | 143 |
| <i>Рыжкова Е.В., Бакланова О.Е., Бакланов А.Е.</i> Объектілердің геометриялық параметрлерін визуалды бақылау үшін компьютерлік көру алгоритмдерін жасау және зерттеу (бөліктің контурының шекараларын айқындау) | 149 | <i>Рыжкова Е.В., Бакланова О.Е., Бакланов А.Е.</i> Разработка и исследование алгоритмов компьютерного зрения для визуального контроля геометрических параметров объектов (определения границ контура детали) | 149 |
| <i>Сауырқанова Н.Е., Нұғыманова Ә.Б., Смаилова С.С.</i> R ортасының визуализациялау құралдары көмегімен TF және TF-IDF өлшемдерін көрнекі салыстыру                                                             | 154 | <i>Сауырқанова Н.Е., Нұғыманова Ә.Б., Смаилова С.С.</i> Наглядное сравнение метрик TF и TF-IDF с помощью средств визуализации в среде R                                                                      | 154 |
| ӘСКЕРИ ІС ЖӘНЕ ҚАУІПСІЗДІК                                                                                                                                                                                      |     | ВОЕННОЕ ДЕЛО И БЕЗОПАСНОСТЬ                                                                                                                                                                                  |     |
| <i>Асанов И.С.</i> Мемлекеттік шекарада балалары энергетика жүйелерін құру тәсілдері                                                                                                                            | 161 | <i>Асанов И.С.</i> Подходы к созданию альтернативной энергетической системы на государственной границе                                                                                                       | 161 |
| МЕРЕЙТОЙ ИЕЛЕРІ                                                                                                                                                                                                 | 166 | 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