

ISSN 2518-1483 (Online),  
ISSN 2224-5227 (Print)

2021 • 5

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ  
**БАЯНДАМАЛАРЫ**

---

**ДОКЛАДЫ**  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

**REPORTS**  
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944



ALMATY, NAS RK

**Бас редактор:**

**ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрынұлы**, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының президенті, АҚ «Д.В. Сокольский атындағы отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) Н = 4

**Редакция алқасы:**

**БЕНБЕРИН Валерий Васильевич** (бас редактордың орынбасары), медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Президенті Іс Басқармасы Медициналық орталығының директоры (Алматы, Қазақстан) Н = 11

**РАМАНҚҰЛОВ Ерлан Мирхайдарұлы** (бас редактордың орынбасары), профессор, ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі, Ph.D биохимия және молекулалық генетика саласы бойынша Ұлттық биотехнология орталығының бас директоры (Нұр-Сұлтан, Қазақстан) Н = 23

**ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы**, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» халықаралық ғылыми-өндірістік холдингінің директоры (Қарағанды, Қазақстан) Н = 11

**САНГ-СУ Квак**, Ph.D (биохимия, агрохимия), профессор, Корей биоғылым және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері (Дэчон, Корея) Н = 34

**БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы**, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Еуразия ұлттық университеті. Л.Н. Гумилев (Нұр-Сұлтан, Қазақстан) Н = 12

**ӘБИЕВ Руфат**, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны оңтайландыру» кафедрасының меңгерушісі (Санкт-Петербург, Ресей) Н = 14

**ЛОКШИН Вячеслав Нотанович**, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «PERSONA» халықаралық клиникалық репродуктология орталығының директоры (Алматы, Қазақстан) Н = 8

**СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич**, биология ғылымдарының докторы, профессор, Чуваш Республикасының еңбек сіңірген ғылым қайраткері, «Чуваш мемлекеттік аграрлық университеті» Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары білім беру мекемесі Ақушерлік және терапия кафедрасының меңгерушісі (Чебоксары, Ресей) Н = 23

**ФАРУК Асана Дар**, Хамдар аль-Маджида Хамдард университетінің шығыс медицина факультеті, Шығыс медицинасы колледжінің профессоры (Карачи, Пәкістан) Н = 21

**ЩЕПЕТКИН Игорь Александрович**, медицина ғылымдарының докторы, Монтана штаты университетінің профессоры (Монтана, АҚШ) Н = 27

**КАЛАНДРА Пьетро, Ph.D (физика)**, Нанокұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия) Н = 26

**РОСС Самир, Ph.D**, Миссисипи университетінің Фармация мектебі өсімдік өнімдерін ғылыми зерттеу орталығының профессоры (Оксфорд, АҚШ) Н = 26

**МАЛЪМ Анна**, фармацевтика ғылымдарының докторы, профессор, Люблин медицина университетінің фармацевтика факультетінің деканы (Люблин, Польша) Н = 22

**ОЛИВЬЕРО Росси Сезаре, Ph.D** (химия), Калабрия университетінің профессоры (Калабрия, Италия) Н = 27

«Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының баяндамалары»

ISSN 2518-1483 (Online),

ISSN 2224-5227 (Print)

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» Республикалық қоғамдық бірлестігі (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 29.07.2020 ж. берілген № KZ93VPY00025418 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *өсімдік шаруашылығы, экология және медицина саласындағы биотехнология; физикалық және химиялық ғылымдар.*

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28; 219 бөл.; тел.: 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2021

**Главный редактор:**

**ЖУРИНОВ Мурат Журинович**, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, президент Национальной академии наук Республики Казахстан, генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского» (Алматы, Казахстан) Н = 4

**Редакционная коллегия:**

**БЕНБЕРИН Валерий Васильевич** (заместитель главного редактора), доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан (Алматы, Казахстан) Н = 11

**РАМАНКУЛОВ Ерлан Мирхайдарвич** (заместитель главного редактора), профессор, член-корреспондент НАН РК, Ph.D в области биохимии и молекулярной генетики, Генеральный директор Национального центра биотехнологии (Нур-Султан, Казахстан) Н = 23

**АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович**, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного научно-производственного холдинга «Фитохимия» (Караганда, Казахстан) Н = 11

**САНГ-СУ Квак, доктор философии** (Ph.D, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Дэчон, Корея) Н = 34

**БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендерович**, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Нур-Султан, Казахстан) Н = 12

**АБИЕВ Руфат**, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия) Н = 14

**ЛОКШИН Вячеслав Нотанович**, академик НАН РК, доктор медицинских наук, профессор, директор Международного клинического центра репродуктологии «PERSONA» (Алматы, Казахстан) Н = 8

**СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич**, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Чувашской Республики, заведующий кафедрой морфологии, акушерства и терапии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (Чебоксары, Чувашская Республика, Россия) Н = 23

**ФАРУК Асана Дар**, профессор Колледжа восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет восточной медицины Университета Хамдарда (Карачи, Пакистан) Н = 21

**ЩЕПЕТКИН Игорь Александрович**, доктор медицинских наук, профессор Университета штата Монтана (США) Н = 27

**КАЛАНДРА Пьетро**, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия) Н = 26

**РОСС Самир**, доктор Ph.D, профессор Школы фармации Национального центра научных исследований растительных продуктов Университета Миссисипи (Оксфорд, США) Н = 26

**МАЛЪМ Анна**, доктор фармацевтических наук, профессор, декан фармацевтического факультета Люблинского медицинского университета (Люблин, Польша) Н = 22

**ОЛИВЬЕРО Росси Чезаре**, доктор философии (Ph.D, химия), профессор Университета Калабрии (Калабрия, Италия) Н = 27

**Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан»****ISSN 2518-1483 (Online),****ISSN 2224-5227 (Print)**

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы). Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ93VPY00025418, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *биотехнология в области растениеводства, экологии и медицины; физические и химические науки.*

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28; ком. 219; тел. 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

**Editor in chief:**

**ZHURINOV Murat Zhurinovich**, Doctor of Chemistry, Professor, Academician of NAS RK, President of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, General Director of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky" (Almaty, Kazakhstan) H = 4

**Editorial board:**

**BENBERIN Valery Vasilievich**, Doctor of Medicine, Professor, Academician of NAS RK, Director of the Medical Center of the Presidential Property Management Department of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan) H = 11

**RAMANKULOV Erlan Mirkhaidarovich**, Professor, Corresponding Member of NAS RK, Ph.D in the field of biochemistry and molecular genetics, General Director of the National Center for Biotechnology (Nur-Sultan, Kazakhstan) H = 23

**ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich**, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Director of the International Scientific and Production Holding «Phytochemistry» (Karaganda, Kazakhstan) H = 11

**SANG-SOO Kwak**, Ph.D in Biochemistry, Agrochemistry, Professor, Chief Researcher, Plant Engineering Systems Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB) (Daecheon, Korea) H = 34

**BERSIMBAEV Rakhmetkazhi Iskendirovich**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Nur-Sultan, Kazakhstan) H = 12

**ABIYEV Rufat**, Doctor of Technical Sciences (Biochemistry), Professor, Head of the Department of Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment, St. Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia) H = 14

**LOKSHIN Vyacheslav Notanovich**, Professor, Academician of NAS RK, Director of the PERSONA International Clinical Center for Reproductology (Almaty, Kazakhstan) H = 8

**SEMENOV Vladimir Grigorievich**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Scientist of the Chuvash Republic, Head of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy, Chuvash State Agrarian University (Cheboksary, Chuvash Republic, Russia) H = 23

**PHARUK Asana Dar**, professor at Hamdard al-Majid College of Oriental Medicine. Faculty of Oriental Medicine, Hamdard University (Karachi, Pakistan) H = 21

**TSHEPETKIN Igor Aleksandrovich**, Doctor of Medical Sciences, Professor at the University of Montana (Montana, USA) H = 27

**CALANDRA Pietro**, Ph.D in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy) H = 26

**ROSS Samir**, Ph.D, Professor, School of Pharmacy, National Center for Scientific Research of Herbal Products, University of Mississippi (Oxford, USA) H = 26

**MALM Anna**, Doctor of Pharmacy, Professor, Dean of the Faculty of Pharmacy, Lublin Medical University (Lublin, Poland) H = 22

**OLIVIERRO ROSSI Cesare**, Ph.D in Chemistry, Professor at the University of Calabria (Calabria, Italy) H = 27

**Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.****ISSN 2518-1483 (Online),****ISSN 2224-5227 (Print)**

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty). The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan No. **KZ93VPY00025418**, issued 29.07.2020.

Thematic scope: *biotechnology in the field of crop research, ecology and medicine; physical and chemical sciences.*

Periodicity: 6 times a year.

Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

UDC 537.2; 537.221; 537.226

Nurmakanov Y.Y.<sup>1\*</sup>, Kalimuldina G.S.<sup>2</sup>, Kruchinin R.P.<sup>1</sup><sup>1</sup>School of Engineering and Digital Sciences, Nazarbayev University, Nur-Sultan, Kazakhstan;<sup>2</sup>Department of Mechanical and Aerospace Engineering, School of Engineering and Digital Sciences, Nazarbayev University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

E-mail: yerzhan.nurmakanov@nu.edu.kz

### WEARABLE TEXTILE PDMS-PPy/NYLON FIBER-BASED TRIBOELECTRIC NANOGENERATOR

**Abstract.** Scavenging energy from alternative renewable and widespread resources is considered as one of the effective approaches to meet the ongoing energy demand for sustainable development. Among many types of energy, mechanical energy is abundantly available in our daily surroundings and its conversion to electricity is considered to be a promising approach to meet the needs of human life. The triboelectric nanogenerator (TENG) is a promising technology for converting ambient mechanical energy into electricity. Textile-based TENGs are attracting huge attention due to their light weight, flexibility and scalability. Conductive fibers coated with triboelectric materials can be applied for fabricating TENG to harvest the energy of human motions, but current nanogenerators are mostly prepared from metal wires/foils coated with a dielectric, thus, lack durability and wearability. In this work, we developed a unique composite triboelectric yarn comprising polypyrrole (PPy) coated fiber electrode coated with polydimethylsiloxane (PDMS). We show that the PPy adheres extremely well to the nylon fiber producing a uniform and stable conductive coating. Moreover, PDMS coated polypyrrole/nylon composite yarn exhibits remarkable triboelectric energy harvesting during testing with a peak-to-peak open-circuit voltage ( $V_{oc}$ ) of about 11 V and short-circuit current ( $I_{sc}$ ) 130 nA. In addition, we demonstrated the dependence in output performance using various fabrics with motion relative to a PDMS-PPy/nylon-based TENG textile and the ability to charge capacitors.

**Key words:** triboelectric effect, nanogenerator, textile electrode, polypyrrole, polydimethylsiloxane.

**Introduction.** Nowadays tremendous research efforts are committed to finding alternatives to fossil fuels energy sources and technologies for their conversion into electrical energy. The supply of energy is crucial for smart mobile electronics, sensors, and wearable devices and most of these devices are powered by batteries, but batteries have drawbacks like the need for recharging, short life, safety issues. Therefore, the supply of sustainable energy from clean and indispensable energy sources is the key to solve the energy supply problem, which is of vital importance for smart electronic devices. Mechanical energy is an infinite source of energy and converting it to electricity is viewed as a promising energy conversion approach [1, 2]. Among many suggested technologies triboelectric nanogenerators (TENGs) based on triboelectric effect and electrostatic induction successfully demonstrate efficiency in transforming ambient mechanical energy into electrical energy [3, 4].

The working mechanism of TENGs is based on contact and then separation or sliding against each other of two different triboelectric materials with opposite polarities (Figure 1) [5]. Electrostatic charges of opposite polarities are developed on the surfaces of tribo-materials due to charge redistribution during the contact. Generally, sliding motion and vertical contact-separation motion are two main motions that can be used in a TENG to convert mechanical energy into electrical energy. Lateral sliding and freestanding designs of TENGs are based on sliding type, whereas pressure and vibrations are converted into electricity in vertical contact-separation and single-electrode modes [6].

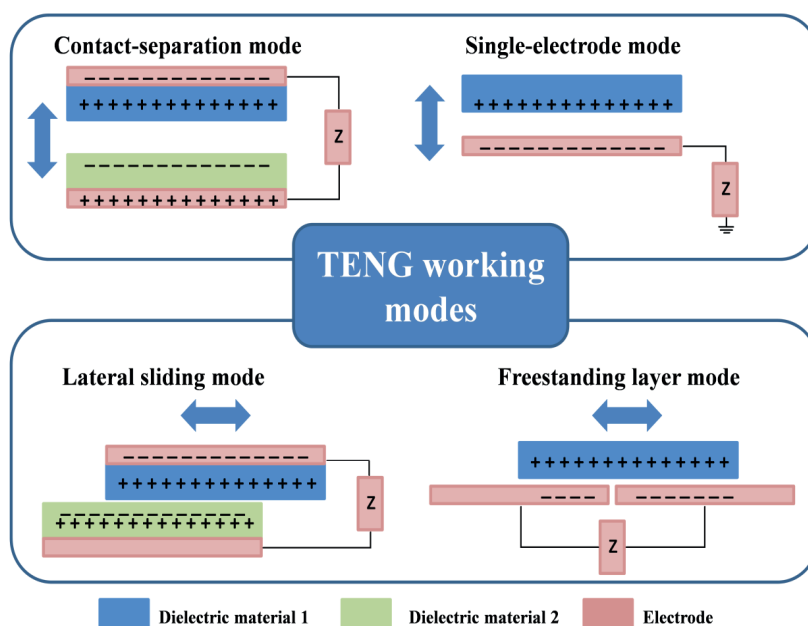


Figure 1 – Four basic operation modes for TENG

The triboelectric effect takes place during the contact between any different in natural materials and we daily experience it, but the causes of triboelectricity are still not fully investigated. The main suggested cause of triboelectricity is the redistribution of surface charges during the contact between two materials which stems from different electron affinities in molecular and material structure, thus, one material loses electrons and the other material gains them leading to the generation of triboelectric charges on the surface [7]. The materials were classified according to their relative ability to provide or gain electrons into triboelectric series [8]. Generally, non-conductive materials easily maintain a charge and are thus often used as triboelectrification layers, on the other hand, metal wires or foils and ordinary natural or synthetic yarns/fabrics coated with conductive metals, carbonaceous particles have been used as an electrode in TENGs.

Based on the four basic working modes, a variety of structures have been developed for TENGs to harvest different types of mechanical energies: vibrational, rotational, sliding, pressing and bending, energies of water drops, wind, ocean, and acoustic sound waves [9]. In particular, wearable TENGs have gained attention due to the possibility of their integration with personal mobile electronic devices and the harvesting energy of human motions [10]. Textile TENGs can be fabricated by applying textile manufacturing techniques such as weaving, knitting, and sewing. Weaving and knitting are the most common techniques for textile manufacturing, and many reported textile TENGs are fabricated through these processes [11]. The structures of textile TENGs can be classified into the following categories: 1D fiber TENGs, 2D and 3D textile TENGs [12]. The characteristic of 1D fiber TENG is that every single fiber/yarn is an electricity-generating TENG; these TENGs with 1D configuration have been reported to generate electricity when stretching, bending, or pressing the fibers [13]. The textile 2D TENGs have a planar textile structure; therefore, they expose more surface area for the triboelectrification and, thus, usually have better performance compared to 1D TENGs. Moreover, 2D TENGs can be directly realized on the fabrics as planar single/multi-layered structures with large-scale production [14]. The textile TENGs with the 3D structure are produced by the spatial formation of 2D warp- or weft-knitted fabrics, 3D braiding [15].

The main challenge in developing textile-based TENGs is the lack of durability when using ordinary metal wires or foils as an electrode, moreover, many suggested methods for fiber-based electrodes coated with metal nanoparticles are time-consuming and involve expensive techniques which can restrict the large-scale production and application of TENGs.

In the present work, we developed a new textile TENG based on polypyrrole coated nylon fiber as an electrode and PDMS as a triboelectrification layer. Polypyrrole (PPy) was deposited on nylon fiber through single-step low-temperature *in-situ* polymerization. Afterward, PPy coated nylon fiber was coated with polydimethylsiloxane (PDMS) and lastly composite PDMS-PPy coated nylon yarn was utilized for knitting PDMS-PPy/nylon fiber-based textile TENG. The proposed TENG demonstrated an electrical output while tapping with the human hand. The output electrical characteristics were examined relative to different fabric tribo-materials, further, the possibility of charging capacitors was shown which is vital for the application.

**Materials and methods.** *Textile TENG preparation:* an experimental part of the conductive fiber preparation has been carried out by the well-known in situ polymerization process which is an easy, cost-effective, large-scale, single-step, and low-temperature process technique (Figure 2). The preparation of the conductive fiber has included fiber pretreatment (removing impurities) and polymerization. Nylon fiber was initially scoured with 4% NaOH and 2%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  solutions at  $80^\circ\text{C}$  for 4 h to remove the impurities from the surface. After that nylon fiber was immersed in a 0.5 M pyrrole solution and then 1M  $\text{FeCl}_3$ , 0.02M p-toluene sulfonic acid were added to this solution. Subsequently, the resulting solution and the impregnated fiber were then left for 20 min at  $0-4^\circ\text{C}$  for polymerization. Lastly, the PPy coated nylon fiber was washed with deionized water (DI water) and dried in an oven at  $60^\circ\text{C}$  for 2 h.

The triboelectrification layer was prepared by coating above prepared PPy coated nylon fiber with PDMS. The first PDMS solution was prepared by mixing the base and curing agent (Sylgard 184) at a ratio of 10:1. Then PPy coated nylon fiber was immersed into viscous PDMS solution for coating, lastly, after immersion, it was placed into a hot oven to allow PDMS to be cured at  $130^\circ\text{C}$  for 1.5 h.

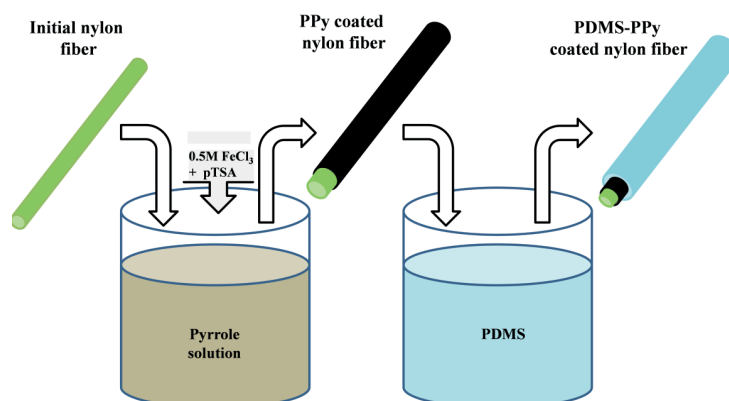


Figure 2 – The preparation process of PDMS-PPy coated nylon fiber.

The PDMS-PPy/nylon fiber-based TENG textile was prepared by knitting PDMS-PPy/nylon fiber-based TENG yarns into planar fabric TENG.

#### *Characterization and Measurements.*

The morphology of the fibers was studied with scanning electron microscopy (Zeiss Crossbeam 540) and the stress-strain behavior of the composites was studied using a Universal Testing Machine (model WDW-3).

The output short-circuit current and open-circuit voltage of the textile TENG were measured by a Stanford low-noise current preamplifier (SR570) and a digital oscilloscope (Tektronix 2002C), respectively.

**Results.** In Figure 3 the images obtained using SEM of the initial and composite PDMS-PPy/nylon fibers are shown.

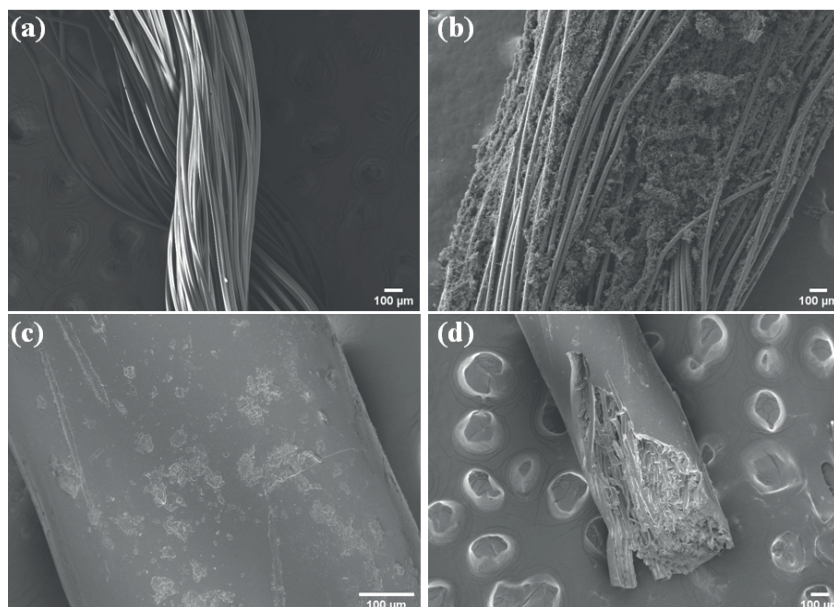


Figure 3 - SEM images of the a) initial, b) coated with PPy nylon and c)-d) PDMS-PPy nylon fiber.

A tensile-strength test was performed to evaluate the mechanical properties of the PDMS-PPy/nylon composite yarn. Representative stress-strain curves for pure nylon and composite PDMS-PPy/nylon yarns are presented in Figure 4.

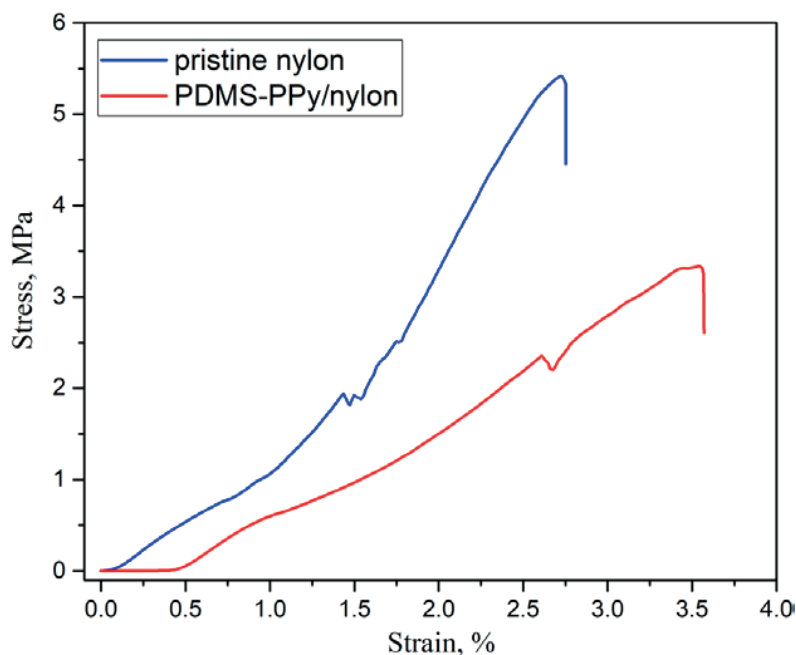


Figure 4 - The stress-strain curves of pristine and composite PDMS-PPy/nylon fibers under tensile loading.

The open-circuit voltage and short-circuit current of PDMS-PPy/nylon TENG were measured. Since any two different dielectric materials exhibit a triboelectrification, therefore, for demonstration, a series of different fabrics have been tested with motion relative to a PDMS-PPy/nylon-based TENG textile.

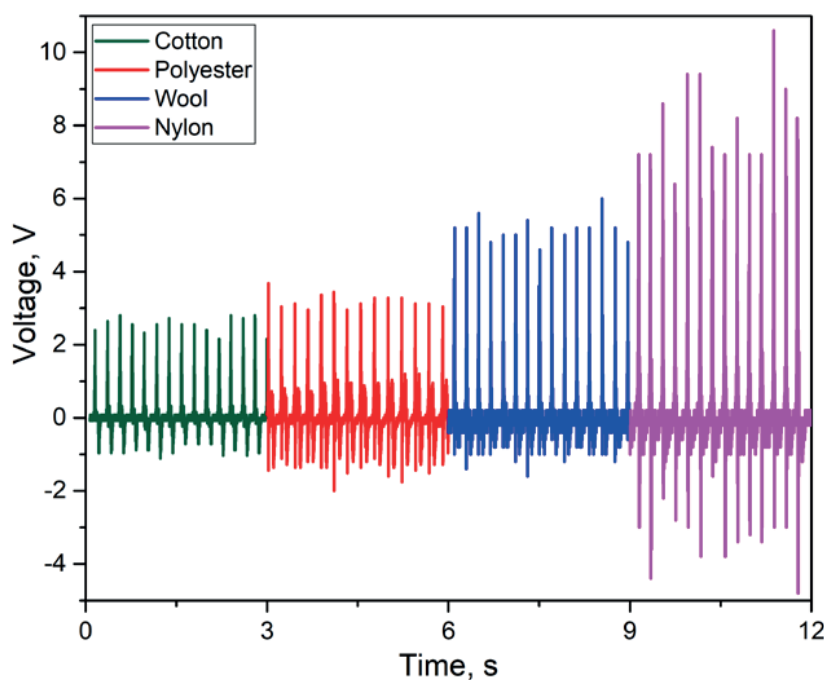


Figure 5 - Output voltage of the as-fabricated PDMS-PPy/nylon textile TENG interacting with various commercial fabrics.

The peak-to-peak short-circuit current during the relative motion to PDMS-PPy/nylon-based TENG textile of cotton, polyester, wool, nylon fabrics is shown in Figure 6.



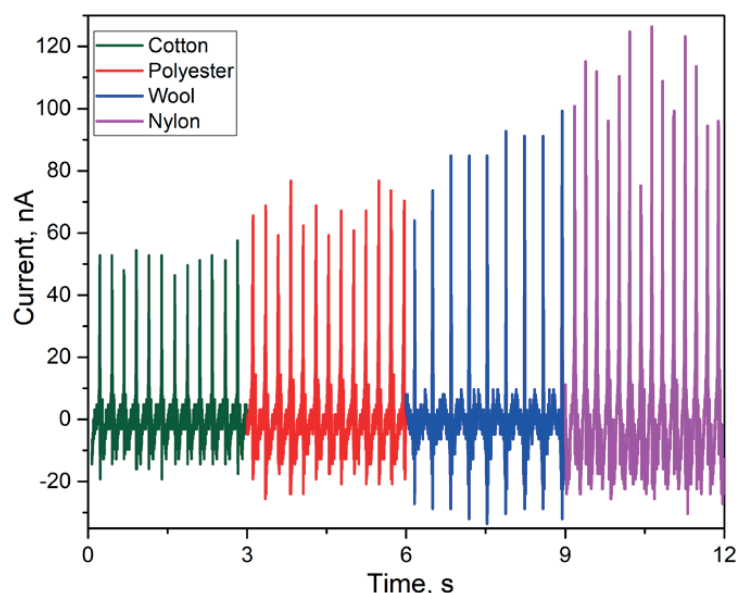


Figure 6 - Output current of the as-fabricated PDMS-PPy/nylon textile TENG interacting with various commercial fabrics.

TENG generates AC electrical pulses and therefore an energy storage unit like a capacitor or battery is needed to power electronic devices. The capability of the PDMS-PPy/nylon fiber-based TENG to charge the capacitors is shown in Figure 7. Here, a circuit integrating the TENG with a full-wave bridge rectifier and a capacitor was constructed.

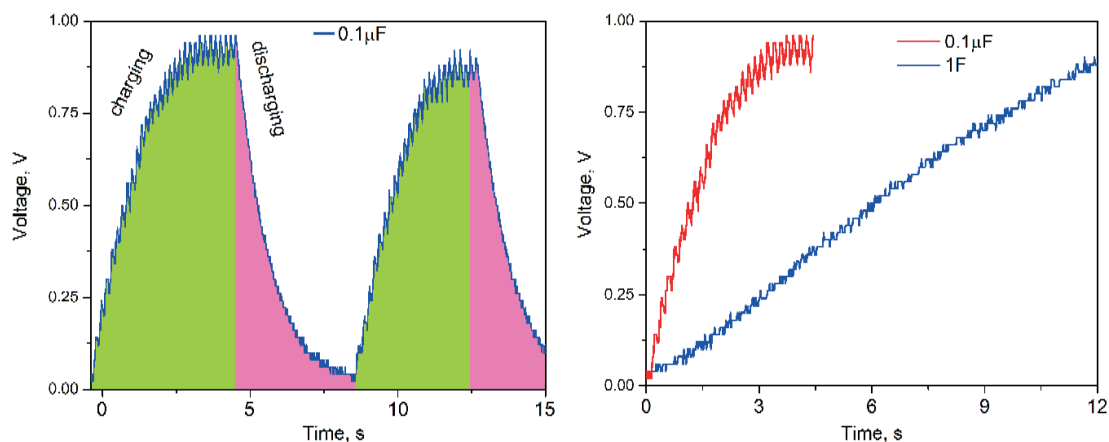


Figure 7 –Charging a capacitor by PDMS-PPy/nylon fiber-based TENG: a) Typical charge-discharge curve for capacitor b) Voltage-time relationship at different load capacitances.

**Discussion.** SEM image of bare fiber clearly demonstrates that it comprised the interlaced microfibrous network and the surfaces of microfibrils of bare fiber appear almost smooth (Figure 3a). Whereas, the macromolecules of PPy could be seen between the interlaced microfibrous network of nylon fiber after coating as shown in Figure 3b. Figure 3c demonstrated the PDMS coating on PPy/nylon fiber, it can be seen that fiber was smoothly uniformly coated, moreover, Figure 3d shows a cross-sectional image of composite yarn which confirms the coating of PDMS on PPy/nylon fiber. As shown in Figure 4 the pure nylon experienced the stress of 5.4 MPa and demonstrated a strain limit equal to 2.7%. On the other hand, PDMS-PPy/nylon yarn has shown lower stress resistance, 3.3 MPa, this physical deterioration is due to thermal treatment taking place while coating PDMS layer on PPy/nylon, but composite yarn demonstrated higher elasticity with a strain limit equal to 3.5%. The results of tensile strength evaluation suggest the composite yarn possesses considerable elasticity and, thus, is suitable for TENG fabrication.

The output voltage during the relative motion to PDMS-PPy/nylon-based TENG textile of cotton, polyester, wool, nylon fabrics is shown in Figure 5. When the PDMS-PPy/nylon-based TENG textile exhibits motion

relative to a common cotton textile an open-circuit peak-to-peak voltage ( $V_{oc}$ ) of  $\approx 3.5$  V can be generated. A slightly higher  $V_{oc}$  of about 4 V was observed when using polyester fabric. Wool fabric demonstrated  $V_{oc}$  equal to 5 V, while the maximum output peak-to-peak voltage of about 11 V was demonstrated by nylon fabric.

The output current when using different fabrics as a counter tribo-layer follows the same trend observed for the output voltage. The lowest output current of nearly 60 nA demonstrated PDMS-PPy/nylon-based TENG textile against the cotton fabric, on the other hand, the highest peak-to-peak  $I_{sc}$  of about 130 nA has PDMS-PPy/nylon-based TENG textile with nylon fabric. When the PDMS-PPy/nylon-based TENG textile exhibits motion relative to a common polyester textile a short-circuit peak-to-peak current of  $\approx 90$  nA can be generated, while  $I_{sc}$  of about 110 nA was observed when using wool. The variations in  $V_{oc}$  and  $I_{sc}$  coincide well with the triboelectric series, where two materials with large differences in the tribo-series cause high charge density, therefore, a higher output. Thus, PDMS and nylon fabric are two pairs with large opposite triboelectrification properties. The charge-discharge curve under periodic motion is illustrated in Figure 7a, where a 0.1  $\mu$ F capacitor was charged up to about 1 V in 4 seconds. Furthermore, the TENG was able to charge the capacitors with different capacitances, here, as shown in Figure 7b the higher the value of the capacitor, the slower the voltage will rise. Initially, the capacitors were charging at the highest speed followed by a gradual decrease which is due to the difference in time-constant values of capacitors.

Consequently, it is safe to anticipate that the TENG textile based on PDMS coated conductive PPy/nylon fiber is universally applicable in terms of fabrication knitted TENG and can work with various tribo-surfaces and can easily charge capacitors. Because of the unique structure of the developed knitted textile TENG and output electrical profiles the potential portable, flexible TENG can be further studied to scavenge energy from different human parts.

**Conclusion.** In conclusion, an inexpensive and easily fabricated flexible TENG on the base of nylon fiber coated with PPy and PDMS was demonstrated. Herein, as an alternative to metal nanoparticles, the PPy was utilized for coating nylon fiber for electrode fabrication. Further, PPy coated nylon fiber was coated with PDMS, such PDMS-PPy coated nylon fiber was knitted into fabric TENG. Corresponding TENG exhibited maximum  $V_{oc}$  and  $I_{sc}$  values of 11 V and 130 nA, respectively. On the other hand, the ability of PDMS-PPy/nylon TENG to charge capacitors was also revealed which is promising to power small-scale devices and sensors. The developed TENG can be applied for upcoming wearable electronic applications because of its potential to harvest small mechanical energies of human motion.

**Acknowledgments.** This work was supported by the research grant AP08052143 “Development of wearable self-charging power unit” from the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan.

Нурмаканов Е.Е.<sup>1</sup>, Калимулдина Г.С.<sup>2</sup>, Кручинин Р.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Инженерия және цифрлық ғылымдар мектебі, Назарбаев Университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан;

<sup>2</sup>Механикалық және аэроғарыштық инженерия кафедрасы, Инженерия және цифрлық ғылымдар мектебі, Назарбаев Университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

E-mail: yerzhan.nurmakanov@nu.edu.kz

## КИЛЕТІН ПДМС-ПП / НЕЙЛОН ЖІБІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ТЕКСТИЛЬ ТРИБОЭЛЕКТРИКАЛЫҚ НАНОГЕНЕРАТОРЫ

**Аннотация.** Баламалы жаңартылатын және табиғатта кең таралған ресурстардан энергия алу тұрақты дамуға қажетті энергия сұранысын қанағаттандырудың тиімді тәсілдерінің бірі болып саналады. Энергияның көптеген түрлерінің ішінде механикалық энергия біздің айналамызда өте көп болғандықтан, оны электр энергиясына айналдыру арқылы адам өміріндегі энергия қажеттіліктерін өтейтін зор мүмкіндігі бар. Трибоэлектрлік наногенератор (ТЭНГ) қоршаған ортаның механикалық энергиясын электр энергиясына түрлендіре алатын перспективалы технология болып табылады. Бүгінде текстильге негізделген ТЭНГ салмағының жеңілдігіне, икемділігіне және ауқымды мөлшерде өндірілу мүмкіндігіне байланысты үлкен сұранысқа ие болып отыр. Трибоэлектрлік материалдармен қапталған өткізгіш талшықтарды адам қозғалысының энергиясын жинайтын ТЭНГ жасауға қолдануға болады. Алайда, ток наногенераторлары көбінесе диэлектрикпен қапталған металл сымдардан немесе фольгадан дайындалатындықтан, беріктігі төмен және тез тозады. Бұл жұмыста біз полидиметилсилоксан (ПДМС) және полипирролмен қапталған талшықты электродтан тұратын бірегей композиттік трибоэлектрлік жіптерді дайындадық. Біз полипирролдың нейлон талшығына

өте жақсы жабыса отырып, біркелкі және тұрақты өткізгіш беттік қабат түзетінін көрсеттік. Сонымен қатар, ПДМС қапталған полипиррол/нейлоннан тұратын иірілгіш жіп ТЭНГ тестілеу кезінде өте жоғары трибоэлектрлік энергияны жинақтау қасиеттерін көрсетті. Атап айтқанда, біздің дайындаған ТЭНГ ашық тізбектегі шыңнан шыңға дейін 11 В шамасында кернеу мен 130 нА қысқа тұйықталу тогын шығарды. Сонымен қатар, біз ПДМС-полипиррол/нейлон негізіндегі ТЭНГ тоқыма бұйымдарына қатысты қозғалысы бар әр түрлі маталарды қолдана отырып, өнімділікке тәуелділікті және конденсаторларды зарядтау мүмкіндігін көрсеттік.

**Түйінді сөздер:** трибоэлектрлік эффект, наногенератор, текстильді электрод, полипиррол, полидиметилсилоксан.

**Нурмаканов Е.Е.<sup>1\*</sup>, Калимулдина Г.С.<sup>2</sup>, Кручинин Р.П.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Школа инженерии и цифровых наук, Назарбаев Университет, Нур-Султан, Казахстан;

<sup>2</sup>Департамент механической и аэрокосмической инженерии, Школа инженерии и цифровых наук, Назарбаев Университет, Нур-Султан, Казахстан.

E-mail: yerzhan.nurmakanov@nu.edu.kz

### **НОСИМЫЙ ТЕКСТИЛЬНЫЙ ТРИБОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАНОГЕНЕРАТОР НА ОСНОВЕ PDMS-PPY/НАЙЛОНОВОЙ НИТИ**

**Аннотация.** Получение энергии из альтернативных возобновляемых и широко распространенных ресурсов считается одним из эффективных подходов к удовлетворению текущего спроса на энергию для устойчивого развития. Среди многих видов энергии механическая энергия в доступна изобилии в нашем повседневном окружении, и ее преобразование в электричество считается многообещающим подходом для удовлетворения нужд человеческой жизнедеятельности. Трибоэлектрический наногенератор (ТЭНГ) является перспективной технологией преобразования механической энергии окружающей среды в электричество. ТЭНГ на текстильной основе привлекают огромное внимание благодаря своему легкому весу, гибкости и масштабируемости. Проводящие нити – электроды, покрытые трибоэлектрическими материалами, могут быть применены для изготовления ТЭНГ для сбора энергии движений человека, но современные наногенераторы в основном изготавливаются из металлических проводов/фольги, покрытых диэлектриком, что не обеспечивает долговечность и износостойкость. В данной работе была разработана уникальная композитная трибоэлектрическая нить, состоящая из волокна, покрытого полипирролом в качестве электрода, далее – покрытого полидиметилсилоксаном (ПДМС). Мы показали очень хорошую адгезию полипиррола к нейлоновому волокну, образующего однородное и стабильное проводящее покрытие. Кроме того, композитная нить из полипиррола/нейлона, покрытого ПДМС, демонстрирует значительный сбор трибоэлектрической энергии во время испытаний с двойным амплитудным напряжением около 11 В и током короткого замыкания 130 нА. Кроме того, мы продемонстрировали зависимость выходной мощности в зависимости от используемых различных тканей с движением относительно ткани разработанного ТЭНГ на основе ПДМС-полипиррол/нейлона, а также возможность заряжать конденсаторы.

**Ключевые слова:** трибоэлектрический эффект, наногенератор, текстильный электрод, полипиррол, полидиметилсилоксан.

#### **Information about the authors:**

**Yerzhan Nurmakanov** – PhD, Research Assistant, School of Engineering and Digital Sciences, Nazarbayev University, Nur-Sultan, Kazakhstan. Tel.+77077564412, e-mail: yerzhan.nurmakanov@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0404-1833>;

**Gulnur Kalimuldina** – PhD, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, School of Engineering and Digital Sciences, Nazarbayev University, Nur-Sultan, Kazakhstan. Tel. +77751445841, e-mail: gkalimuldina@nu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9185-3217>;

**Roman Kruchinin** – MSc, Research Assistant, School of Engineering and Digital Sciences, Nazarbayev University, Nur-Sultan, Kazakhstan. Tel. +77029614113, e-mail: roman.kruchinin@alumni.nu.edu.kz.

## REFERENCES

- [1] Fan F.R., Tang W., Wang Z.L. Flexible Nanogenerators for Energy Harvesting and Self-Powered Electronics // *Advanced Materials*. 2016, Vol. 28, P. 4283-4305. <https://doi.org/10.1002/adma.201504299>.
- [2] Dharmasena R.D.I.G., Silva S.R.P. Towards optimized triboelectric nanogenerators // *Nano Energy*. 2019, Vol. 62, P. 530-549. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.05.057>.
- [3] Wang Z.L. Triboelectric Nanogenerators as New Energy Technology for Self-Powered Systems and as Active Mechanical and Chemical Sensors. *ACS Nano*. 2013, Vol. 7, P. 9533-9557. <https://doi.org/10.1021/nn404614z>.
- [4] Fan F.R., Tian Z.Q., Wang Z.L. Flexible triboelectric generator // *Nano Energy*. 2012, Vol. 1, pp. 328-334.
- [5] Wu C., Wang A.C., Ding W., Guo H., Wang Z.L. Triboelectric Nanogenerator: A Foundation of the Energy for the New Era // *Advanced Energy Materials*. 2019, Vol. 9, p. 1802906. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2012.01.004>.
- [6] Lin Z., Chen J., Yang J. Recent Progress in Triboelectric Nanogenerators as a Renewable and Sustainable Power Source // *Journal of Nanomaterials*. 2016, Vol. 2016, p. 5651613. <https://doi.org/10.1155/2016/5651613>.
- [7] Kim W.G., Kim D.W., Tcho I.W., Kim J.K., Kim M.S., Choi Y.K. Triboelectric nanogenerator: Structure, Mechanism, and Applications // *ACS Nano*. 2021, Vol. 15, P. 258-287. <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c09803>.
- [8] Zou H., Ying Z., Guo L., Wang P., He X., Dai G., Zheng H., Chen C., Wang A.C., Xu, C. Wang Z. L. Quantifying the triboelectric series // *Nature Communications*. 2019, Vol. 10. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15926-1>.
- [9] Wang W., Yu A., Liu X., Liu Y., Zhang Y., Zhu Y., Lei Y., Jia M., Zhai J., Wang Z.L. Large-scale fabrication of robust textile triboelectric nanogenerator // *Nano Energy*. 2020, Vol. 71, p. 104605. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.104605>.
- [10] J. Liu, L. Gu, N. Cui, Q. Xu, Y. Qin, R. Yang. Fabric-based triboelectric nanogenerator // *Research*. 2019, Vol. 2019, p. 109163. <https://doi.org/10.34133/2019/1091632>.
- [11] Zhang L., Yu Y., Eyer G.P., Suo G., Kozik L.A., Fairbanks M., Wang X., Andrew T.L. All-Textile Triboelectric Generator Compatible with Traditional Textile Process // *Advanced Materials Technologies*. 2016, Vol. 1, p. 1600147. <https://doi.org/10.1002/admt.201600147>.
- [12] Xiong J., Lee P.S. Progress on wearable triboelectric nanogenerators in shapes of fiber, yarn, and textile // *Science and Technology of Advanced Materials*. 2019, Vol. 20, P. 837-857. <https://doi.org/10.1080/14686996.2019.1650396>.
- [13] He X., Zi Y., Guo H., Zheng H., Xi Y., Wu C., Wang J., Zhang W., Lu C., Wang Z.L. A highly stretchable fiber-based triboelectric nanogenerator for self-powered wearable electronics // *Advanced Functional Materials*. 2017, Vol. 27, p. 1604378. <https://doi.org/10.1002/adfm.201604378>.
- [14] Paosangthong W., Torah R., Beeby S. Recent progress on textile-based triboelectric nanogenerator // *Nano Energy*. 2019, Vol. 55, pp. 401-423. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2018.10.036>.
- [15] Dong K., Peng X., An J., Wang A.C., Luo J., Sun B., Wang J., Wang Z.L. Shape adaptable and highly resilient 3D braided triboelectric nanogenerators as e-textiles for power and sensing // *Nature Communications*. 2020, Vol. 11. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16642-6>.

СОДЕРЖАНИЕ

БИОТЕХНОЛОГИЯ

<b>Абай Г.Қ., Юлдашбаев Ю.А., Чоманов У.Ч., Савчук С.В., Бержанова Р.Ж.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОФЛОРЫ КОЗЬЕГО МОЛОКА КАК ОБЪЕКТА НУТРИЦЕВТИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ.....	5
<b>Иманбаева М.К., Арынова Р.А., Масалимов Ж.К., Просеков А.Ю., Серикбай Г.</b> БЕЗЛАКТОЗНАЯ ЗАКВАСКА НА ОСНОВЕ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ШТАММОВ ЛАКТОБАКТЕРИЙ.....	12
<b>Кенжиханова М.Б., Мамаева Л.А., Ветехин С.С., Тулекбаева А.К., Кайсарова А.А.</b> ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ЯБЛОК, ВЫРАЩИВАЕМЫХ В ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВАХ ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ В ЯБЛОЧНЫЕ ЧИПСЫ.....	22
<b>Насиев Б.Н., Бушнев А.С.</b> ФОРМИРОВАНИЕ МАСЛИЧНЫХ АГРОЦЕНОЗОВ В ЗОНЕ СУХИХ СТЕПЕЙ.....	30
<b>Обухова А.В., Михайлов Н.С., Никитин Д.А., Кульмакова Н.И., Альдяков А.В.</b> МЯСНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ МОЛОДНЯКА СВИНЕЙ И ВЕТЕРИНАРНО - САНИТАРНАЯ ОЦЕНКА МЯСА НА ФОНЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ.....	37
<b>Онегов А.В., Стрельников А.И., Семенов В.Г., Исхан К.Ж., Баймуканов Д.А.</b> ВЛИЯНИЕ ГРУПП КРОВИ СИСТЕМЫ D НА МОЛОЧНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ КОБЫЛ ТЯЖЕЛОВОЗНЫХ ПОРОД.....	43
<b>Рахымжан Ж., Ашимова Б.А., Бейсенова Р.Р.</b> ПРОБЛЕМА ЗАСОЛЕННОСТИ ПОЧВ КАЗАХСТАНА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ.....	48
<b>Сыдыков Ш.К., Байболов А.Е., Алибек Н.Б., Токмолдаев А.Б., Абдикадилова А.А.</b> К МЕТОДИКЕ ВЫБОРА ТЕПЛОВОГО НАСОСА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НОРМИРОВАННОГО МИКРОКЛИМАТА В ЖИВОТНОВОДЧЕСКОМ ПОМЕЩЕНИИ.....	56
<b>Садырова Г.А., Инелова З.А., Байжигитов Д.К., Жамилова С.М.</b> АНАЛИЗ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ГАЛОФИЛЬНОГО ФЛОРИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ХРЕБТА КЕТПЕН-ТЕМИРЛИК.....	65

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Абильмагжанов А.З., Иванов Н.С., Адельбаев И.Е.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ С АЛМАТИНСКОГО ПОЛИГОНА.....	73
<b>Бейсеев С.А., Наукенова А.С., Сатаев М.И., Ивахнюк Г.К., Тулекбаева А.К.</b> РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ РИСКОВ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ПИЩЕВЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЕВ МЕЖДУНАРОДНОГО СТАНДАРТА ISO 45001.....	82
<b>Багова З., Жантасов К., Бектуреева Г., Сапаргалиева Б., Javier Rodrigo-Parri</b> ВЛИЯНИЕ СВИНЕЦСОДЕРЖАЩИХ ШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	94
<b>Дергачева М.Б., Хусурова Г.М., Пузикова Д.С., Леонтьева К.А., Панченко П.В.</b> ХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК СУЛЬФИД ИОДИД ВИСМУТА.....	100

<b>Джелдыбаева И.М., Каирбеков Ж., Суймбаева С.М.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И АНТИОКСИДАНТНЫХ СВОЙСТВ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ УГЛЯ.....	109
<b>Ермагамбет Б.Т., Казанкапова М.К., Касенова Ж.М.</b> ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ГУМИНОВОЙ КИСЛОТЫ И ОКСИДА КРЕМНИЯ...	119
<b>Зарипова Ю.А., Гладких Т.М., Бигельдиева М.Т., Дьячков В.В., Юшков А.В.</b> МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОГЛОЩЕНИЯ ГАММА- КВАНТОВ НА ПУЧКЕ МЕДИЦИНСКОГО УСКОРИТЕЛЯ ELEKTA AXESSE.....	126
<b>Ибраимова Ж.У., Полимбетова Г.С., Борангазиева А.К., Иткулова Ш.С., Болеубаев Е.А.</b> КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ПЕЧНОГО ГАЗА ФОСФОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ПУТИ ЕГО ДАЛЬНЕЙШЕЙ УТИЛИЗАЦИИ.....	136
<b>Ильясова Г.У., Ахметов Н.К., Казыбекова С.К., Касымбекова Д.А.</b> УСТРАНЕНИЕ ПРОТИВОРЕЧИЙ В ТАБЛИЦЕ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА.....	144
<b>Исаева А., Корганбаев Б., Волненко А., Жумадуллаев Д.</b> ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РЕГУЛЯРНОЙ ТРУБЧАТОЙ НАСАДКИ.....	151
<b>Нурлыбекова А.К., Кудайберген А.А., Дюсебаева М.А., Ибрахим М., Женис Ж.</b> ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ARTEMISIA SEROTINA.....	158
<b>Нурмаканов Е.Е., Калимулдина Г.С., Кручинин Р.П.</b> НОСИМЫЙ ТЕКСТИЛЬНЫЙ ТРИБОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ НАНОГЕНЕРАТОР НА ОСНОВЕ PDMS-PPy/НАЙЛОНОВОЙ НИТИ.....	166
<b>Нургазина А.Е., Шокобаев Н.М.</b> ПОЛУЧЕНИЕ МЕДНОГО ПОРОШКА В ПРИСУТСТВИИ НИТРИЛОТРИМЕТИЛ-ФОСФОНОВОЙ КИСЛОТЫ.....	174
<b>Такибаева А.Т., Касенов Р.З., Демец О.В., Алиева М.Р., Бакибаев А.А.</b> ВЫДЕЛЕНИЕ БЕТУЛИНА ИЗ БЕРЕСТЫ БЕРЕЗЫ КИРГИЗСКОЙ (BETULAKIRGHISORUM) МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АКТИВАЦИИ.....	182
<b>Уразов К.А., Грибкова О.Л., Тамеев А.Р., Рахимова А.К.</b> ВЛИЯНИЕ СОСТАВА КОМПЛЕКСА ПОЛИАНИЛИНА НА ФОТОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК CZTSE.....	189

#### ФИЗИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Батырбекова М.Б.</b> УВЕЛИЧЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ВЫГОДЫ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ ERP В СФЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ КОММЕРЧЕСКОЙ НЕДВИЖИМОСТЬЮ.....	198
<b>Кабылбеков К.А., Абдрахманова Х.К., Винтайкин Б.Е., Сайдахметов П.А., Исаев Е.Б.</b> РАСЧЕТ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА С ПАРАШЮТОМ.....	210
<b>Мазаков Т.Ж., Саметова А.А.</b> КЛАССИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЛЕСНЫХ И СТЕПНЫХ ПОЖАРОВ.....	219
<b>Шопагулов О.А., Исмаилова А.А., Корячко В.П.</b> БАЗЫ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВЕТЕРИНАРИИ.....	226

МАЗМҰНЫ

БИОТЕХНОЛОГИЯ

<b>Абай Г.Қ., Юлдашбаев Ю.А., Чоманов У.Ч., Савчук С.В., Бержанова Р.Ж.</b> НУТРИЦЕВТИКАЛЫҚ ТАҒАМ ОБЪЕКТИСІ РЕТІНДЕ ЕШКІ СҮТІНІҢ МИКРОФЛОРАСЫН ЗЕРТТЕУ.....	5
<b>Иманбаева М.К., Арынова Р.А., Масалимов Ж.К., Просеков А.Ю., Серикбайқызы Г.</b> ЛАКТОБАКТЕРИЯЛАРДЫҢ ПРОБИОТИКАЛЫҚ ШТАМДАРЫНАН НЕГІЗІНДЕ ЛАКТОЗАСЫЗ АШЫТҚЫ.....	12
<b>Кенжеханова М.Б., Мамаева Л.А., Ветохин С.С., Тулекбаева А.К., Қайсарова А.А.</b> ТҮРКІСТАН ОБЛЫСЫНДАҒЫ ФЕРМЕРЛІК ШАРУАШЫЛЫҚТАРДА ӨСІРІЛЕТІН АЛМАЛАРДЫҢ АЛМА ҚЫТЫРЛАҒЫН ӨНДЕУГЕ ЖАРАМДЫЛЫҒЫН ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ БАҒАЛАУ.....	22
<b>Насиев Б.Н., Бушнев А.С.</b> ҚҰРҒАҚ ДАЛА ЖАҒДАЙЫНДА МАЙЛЫ АГРОЦЕНОЗДАРДЫ ҚАЛЫПТАСТЫРУ.....	30
<b>Обухова А.В., Михайлов Н.С., Никитин Д.А., Кульмакова Н.И., Альдяков А.В.</b> ШОШҚА ТӨЛІНІҢ ЕТТІ ӨНІМДІЛІГІ ЖӘНЕ ПРОБИОТИКАЛЫҚ ПРЕПАРАТТАРДЫ ҚОЛДАНУ АЯСЫНДАЕТТІ ВЕТЕРИНАРИЯЛЫҚ-САНИТАРИЯЛЫҚ БАҒАЛАУ.....	37
<b>Онегов А.В., Стрельников А.И., Семенов В.Г., Исхан К.Ж., Баймуканов Д.А.</b> D ЖҮЙЕСІНІҢ ҚАН ТОПТАРЫНЫҢ АУЫР ЖҮК ТАСЫМАЛДАУШЫ ТҰҚЫМДЫ БИЕЛЕРДІҢ СҮТ ӨНІМДІЛІГІНЕ ӘСЕРІ.....	43
<b>Рахымжан Ж., Ашимова Б.А., Бейсенова Р.Р.</b> ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ТОПЫРАҚТЫҢ ТҮЗДАНУ МӘСЕЛЕСІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ШЕШУ ЖОЛДАРЫ.....	48
<b>Сыдықов Ш.Қ., Байболов А.Е., Әлібек Н.Б., Тоқмолдаев А.Б., Әбдіқадірова А.А.</b> МАЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ҚОРА-ЖАЙЫНДА ҚОЛАЙЛЫ МИКРОКЛИМАТТЫ ҚАЛЫПТАСТЫРУ ҮШІН ЖЫЛУ СОРҒЫСЫН ТАҢДАУ ӘДІСТЕМЕСІ.....	56
<b>Садырова Г.А., Инелова З.А., Байжігітов Д.К., Жәмилова С.М.</b> ГАЛОФИЛЬДІ ТҮРЛЕРДІҢ ӨРТҮРЛІЛІГІН ТАЛДАУ КЕТПЕН-ТЕМІРЛІК ЖОТАСЫНЫҢ ФЛОРИСТИКАЛЫҚ КЕШЕНІ.....	65

ХИМИЯ ҒЫЛЫМДАРЫ

<b>Абильмагжанов А.З., Иванов Н.С., Нургазина А.Е., Адельбаев И.Е.</b> АЛМАТЫ ПОЛИГОНЫНАН ҚАЛҒАН ТҮРМЫСТЫҚ ҚАТТЫ ҚАЛДЫҚТАРДЫҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ.....	73
<b>Бейсеев С.А., Наукенова А.С., Сатаев М.И., Ивахнюк Г.К., Тулекбаева А.К.</b> ISO 45001 ХАЛЫҚАРАЛЫҚ СТАНДАРТЫНЫҢ КРИТЕРИЙЛЕРІ НЕГІЗІНДЕ ӨСІМДІК МАЙЫН ӨНДІРЕТІН КӘСІПОРЫНДАРДЫҢ ЖҰМЫС ОРЫНДАРЫНДАҒЫ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАҒАЛАУ БОЙЫНША ҰСЫНЫСТАР.....	82
<b>Багова З., Жантасов Қ., Бектуреева Г., Сапарғалиева Б., Javier Rodrigo-Parri</b> ҚҰРАМЫНДА ҚОРҒАСЫН БАР ҚОЖДЫ ҚАЛДЫҚТАРДЫҢ ТІРШЛІК ЕТУ ҚАУІПСІЗДІГІНЕ ӘСЕРІ.....	94
<b>Дергачева М.Б., Хусурова Г.М., Пузикова Д.С., Леонтьева К.А., Панченко П.В.</b> ВИСМУТ ЙОДИД СУЛЬФИД ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШ ЖҰҚА ҚАБЫҚШАЛАРЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ӘДІСПЕН ТҮНДЫРЫЛУЫ.....	100

<b>Джелдыбаева И.М., Қайырбеков Ж., Суймбаева С.М.</b> КӨМІРДЕН БӨЛІНІП АЛЫНҒАН ГУМИН ҚЫШҚЫЛДАРЫНЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ANTIОКСИДАНТТЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	109
<b>Ермағамбет Б.Т., Қазанқапова М.К., Касенова Ж.М.</b> ГУМИН ҚЫШҚЫЛЫ ЖӘНЕ КРЕМНИЙ ТОТЫҒЫ НЕГІЗІНДЕ КОМПОЗИТ АЛУ.....	119
<b>Зарипова Ю.А., Гладких Т.М., Бигельдиева М.Т., Дьячков В.В., Юшков А.В.</b> ELEKTA AXESSE МЕДИЦИНАЛЫҚ ҮДЕТКІШІНІҢ СӘУЛЕСІНДЕ СЫЗЫҚТЫҚ ГАММА-КВАНТ СІңІРУ КОЭФИЦИЕНТТЕРІН ӨЛШЕУ ӘДІСІ.....	126
<b>Ибраимова Ж.У., Полимбетова Г.С., Борангазиева А.К., Итқулова Ш.С., Болеубаев Е.А.</b> ФОСФОР ӨНДІРІСІНІҢ ПЕШ ГАЗЫН КАТАЛИТИКАЛЫҚ ТАЗАЛАУ ЖӘНЕ ОНЫ ОДАН ӘРІ КӘДЕГЕ ЖАРАТУ ЖОЛДАРЫ.....	136
<b>Ильясова Г.У., Ахметов Н.К., Казыбекова С.К., Касымбекова Д.А.</b> Д.И. МЕНДЕЛЕЕВ КЕСТЕСІНІҢ ҚАРАМА-ҚАЙШЫЛЫҒЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ЖОЮ.....	144
<b>Исаева А., Корганбаев Б., Волненко А., Жумадуллаев Д.</b> РЕЖИМ ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ ТҰРАҚТЫ ҚҰБЫРЛЫ САПТАМАНЫҢ ГИДРОДИНАМИКАЛЫҚ ЗАНДЫЛЫҚТАРЫНА ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	151
<b>Нурлыбекова А.К., Құдайберген А.А., Дюсебаева М.А., Ибрахим М., Жеңіс Ж.</b> ARTEMISIA SEROTINA ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ.....	158
<b>Нурмаканов Е.Е., Калимулдина Г.С., Кручинин Р.П.</b> КИЛЕТІН ПДМС-ПП / НЕЙЛОН ЖІБІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ТЕКСТИЛЬ ТРИБОЭЛЕКТРИКАЛЫҚ НАНОГЕНЕРАТОРЫ.....	166
<b>Нуртазина А.Е., Шокобаев Н.М.</b> НИТРИЛОТРИМЕТІЛ ФОСФОН ҚЫШҚЫЛЫНЫҢ ҚАТЫСУЫМЕН МЫС ҰНТАҒЫН АЛУ.....	174
<b>Такибаева А.Т., Касенов Р.З., Демец О.В., Алиева М.Р., Бакибаев А.А.</b> БЕТУЛИНДІ УЛЬТРАДЫБЫСТЫҚ АКТИВТЕНДІРУ ӘДІСІМЕН ҚЫРҒЫЗ ҚАЙЫҢ ҚАБЫҒЫНАН (BETULAKIRGHISORUM) БӨЛІП АЛУ.....	182
<b>Уразов К.А., Грибкова О.Л., Тамеев А.Р., Рахимова А.К.</b> ПОЛИАНИЛИН КОМПЛЕКСІ ҚҰРАМЫНЫҢ CZTSE ЖҰҚА ҚАБЫҚШАЛАРЫНЫҢ ФОТОЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ.....	189
<b>ФИЗИКА ҒЫЛЫМДАРЫ</b>	
<b>Батырбекова М.Б.</b> КОММЕРЦИЯЛЫҚ ЖЫЛЖЫМАЙТЫН МҮЛІКТІ БАСҚАРУ САЛАСЫНДА ОРТАЛЫҚТАНДЫРЫЛМАҒАН ERP ЖҮЙЕСІН ҚОЛДАНУДЫҢ ИНВЕСТИЦИЯЛЫҚ ПАЙДАСЫН АРТТЫРУ.....	198
<b>Қабылбеков К.А., Абдрахманова Х.К., Винтайкин Б.Е., Сайдахметов П.А., Исаев Е.Б.</b> ПАРАШЮТПЕН СЕКІРГЕН АДАМНЫҢ ҚОЗҒАЛЫСЫН ЕСЕПТЕУ МЕН БЕЙНЕЛЕУ.....	210
<b>Мазаков Т.Ж., Саметова А.А.</b> ОРМАН ЖӘНЕ ДАЛА ӨРТТЕРІНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛДЕРІНІҢ КЛАССИФИКАЦИЯСЫ.....	219
<b>Шопагулов О.А., Исмаилова А.А., Корячко В.П.</b> ВЕТЕРИНАРИЯ МІНДЕТТЕРІН ШЕШУГЕ АРНАЛҒАН САРАПТАМАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ БІЛІМ ҚОРЫ.....	226



## CONTENTS

### BIOTECHNOLOGY

- Abay G.K., Yuldashbaev Yu.A., Chomanov U.Ch., Savchuk S.B., Berzhanova R.Zh.**  
STUDY OF THE MICROFLORA OF GOAT'S MILK AS AN OBJECT OF NUTRACEUTICAL NUTRITION.....5
- Imanbayeva M.K., Arynova R.A., Masalimov Zh.K., Prosekov A.U., Serikbay G.**  
LACTOSE-FREE STARTER CULTURE BASED ON PROBIOTIC STRAINS OF LACTOBACILLI.....12
- Kenzhekhanova M.B., Mamaeva L.A., Vetokhin S.S., Tulekbayeva A.K., Kaysarova A.A.**  
TECHNOLOGICAL ASSESSMENT OF THE SUITABILITY OF APPLES CULTIVATED IN FARMING TURKESTAN REGION FOR PROCESSING INTO APPLE CHIPS.....22
- Nasiyev B.N., Bushnev A.S.**  
THE FORMATION OF OIL-BEARING AGROCENOSISES IN THE ZONE OF DRY STEPPES.....30
- Obukhova A.V., Mikhailov N.S., Nikitin D.A., Kulmakova N.I., Aldyakov A.V.**  
MEAT PRODUCTIVITY OF YOUNG PIGS AND VETERINARY MEAT ASSESSMENT IN THE BACKGROUND OF APPLICATION OF PROBIOTIC PREPARATIONS.....37
- Onegov A.V., Strelnikov A.I., Semenov V.G., Iskhan K.Zh., Baimukanov D.A.**  
INFLUENCE OF BLOOD GROUPS D ON DAIRY PRODUCTIVITY OF HEAVYDRAFT MARES.....43
- Rakhymzhan Zh., Ashimova B.A., Beisenova R.R.**  
THE PROBLEM OF SOIL SALINITY IN KAZAKHSTAN AND WAYS TO SOLVE THEM.....48
- Sydykov Sh., Baibolov A., Alibek N., Tokmoldaev A., Abdikadirova A.**  
ON THE METHOD OF CHOOSING A HEAT PUMP FOR THE FORMATION OF A NORMALIZED MICROCLIMATE IN A LIVESTOCK BUILDING.....56
- Sadyrova G., Inelova Z., Bayzhigitov D., Jamilova S.**  
ANALYSIS OF THE BIOLOGICAL DIVERSITY OF THE HALOPHILIC FLORISTIC COMPLEX OF THE KETPEN-TEMERLIK RIDGE.....65

### CHEMICAL SCIENCES

- Abilmagzhanov A.Z., Ivanov N.S., Nurtazina A.E., Adelbayev I.E.**  
STUDY OF ENERGY CHARACTERISTICS OF SOLID HOUSEHOLD WASTE FROM THE ALMATY LANDFILL.....73
- Beiseev S.A., Naukenova A.S., Sataev M.I., Ivakhnyuk G.K., Tulekbayeva A.K.**  
RECOMMENDATIONS FOR RISK ASSESSMENT AT WORKPLACES OF ENTERPRISES PRODUCING EDIBLE VEGETABLE OILS BASED ON THE CRITERIA OF THE INTERNATIONAL STANDARD ISO 45001.....82
- Bagova Z., Zhantasov K., Bektureeva G., Sapargaliyeva B., Javier Rodrigo-Illarri**  
THE IMPACT OF LEAD-CONTAINING SLAG WASTES ON THE LIFE SAFETY.....94
- Dergacheva M.B., Khusurova G.M., Puzikova D.S., Leontyeva X.A., Panchenko P.V.**  
CHEMICAL DEPOSITION OF BISMUTH IODIDE SULFIDE SEMICONDUCTOR THIN FILMS.....100
- Jeldybayeva I.M., Kairbekov Zh., Suimbayeva S.M.**  
INVESTIGATION OF PHYSICO-CHEMICAL AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF HUMIC ACIDS ISOLATED FROM COAL.....109

<b>Yermagambet B.T., Kazankapova M.K., Kassenova Zh.M.</b> PREPARATION OF A COMPOSITE BASED ON HUMIC ACID AND SILICON OXIDE.....	119
<b>Zaripova Y.A., Gladkikh T.M., Bigeldiyeva M.T., Dyachkov V.V., Yushkov A.V.</b> METHOD FOR MEASURING LINEAR GAMMA RADIATION ABSORPTION COEFFICIENTS AT THE ELEKTA AXESSE MEDICAL ACCELERATOR BEAM.....	126
<b>Ibraimova Z.U., Polimbetova G.S., Borangazieva A.K., Itkulova S.S., Boleubaev E.A.</b> CATALYTIC PURIFICATION AND WAYS FOR UTILIZATION OF FURNACE GAS OF PHOSPHORUS PRODUCTION.....	136
<b>Ilyasova G.U., Akhmetov N.K., Kazybekova S.K., Kassymbekova D.A.</b> ELIMINATION OF CONTRADICTIONS IN THE TABLE OF D. I. MENDELEEV.....	144
<b>Issayeva A., Korganbayev B., Volnenko A., Zhumadullayev D.</b> STUDY OF THE INFLUENCE OF OPERATING CONDITIONS ON THE HYDRODYNAMIC REGULARITIES OF A REGULAR TUBULAR PACKING.....	151
<b>Nurlybekova A.K., Kudaibergen A.A., Dyusebaeva M.A., Ibrahim M., Jenis J.</b> CHEMICAL CONSTITUENTS OF ARTEMISIASEROTINA.....	158
<b>Nurmakanov Y.Y., Kalimuldina G.S., Kruchinin R.P.</b> WEARABLE TEXTILE PDMS-PPy/NYLON FIBER-BASED TRIBOELECTRIC NANOGENERATOR.....	166
<b>Nurtazina A.E., Shokobayev N.M.</b> OBTAINING COPPER POWDER IN THE PRESENCE OF NITRIL OTRIMETHYL PHOSPHONIC ACID.....	174
<b>Takibayeva A.T., Kassenov R.Z., Demets O.V., Aliyeva M.R., Bakibayev A.A.</b> ISOLATION OF BETULIN FROM BIRCH BARK (BETULA KIRGHISORUM) BY THE ULTRASONIC ACTIVATION METHOD.....	182
<b>Urazov K.A., Gribkova O.L., Tameev A.R., Rahimova A.K.</b> EFFECT OF THE COMPOSITION OF THE POLYANILINE COMPLEX ON THE PHOTOELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF CZTSE THIN FILMS.....	189

#### PHYSICAL SCIENCES

<b>Batyrbekova M.B.</b> INCREASE IN INVESTMENT BENEFITS FROM THE USE OF A DECENTRALIZED ERP SYSTEM IN THE FIELD OF COMMERCIAL REAL ESTATE MANAGEMENT.....	198
<b>Kabylbekov K.A., Abdrakhmanova Kh.K., Vintaykin B.E., Saidakhmetov P.A., Issayev Ye.B.</b> CALCULATION AND VISUALIZATION OF A MAN PARACHUTING DOWNWARD.....	210
<b>Mazakov T.Zh., Sametova A.A.</b> CLASSIFICATION OF MATHEMATICAL MODELS FOR FOREST AND STEPPE FIRES.....	219
<b>Shopagulov O.A., Ismailova A.A., Koryachko V.P.</b> EXPERT SYSTEMS KNOWLEDGE BASES FOR SOLVING VETERINARY PROBLEMS.....	226

## **Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the originality detection service Cross Check <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

**[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)**

**ISSN 2518-1483 (Online),  
ISSN 2224-5227 (Print)**

**<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>**

Редакторы: *М.С. Ахметова, А. Ботанқызы, Д.С. Аленов, Р.Ж. Мрзабаева*  
Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 15.10.2021.  
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать - ризограф.  
8,5 п.л. Тираж 300. Заказ 4.