

Международный научно-технический журнал

НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫЙ ИНЖИНИРИНГ

Oil & Gas Field Engineering, International scientific & technical journal

Президент Российской Федерации В.В.Путин:

«При подготовке бюджета на 2013 год и на период до 2015 года впервые было применено бюджетное правило. Его логика заключается в том, что зависимость российского бюджета от мировых цен на нефть должна снижаться.»

Russian President Vladimir Putin:

«In drafting the budget for 2013-2015, we implemented the budget rule for the first time. The budget rule logic is based on the premise that the dependence of the Russian budget on oil prices must decrease.»



**СПЕЦВЫПУСК № 3: ИТОГИ-2012
SPECIAL ISSUE № 3: RESULTS-2012**

НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫЙ
ИНЖИНИРИНГ
OIL & GAS FIELD ENGINEERING

Издатель Международного научно-технического журнала
«Нефтегазопромышленный ИНЖИНИРИНГ»: ООО «АРГМ»
Publisher of International scientific & technical journal
«Oil & Gas Field Engineering»: «ARGM», LLC

Абрамова Галина Владимировна, главный редактор
Телефон: +7 (903) 573-90-49, e-mail: g.v.abramova@bk.ru
Galina Abramova, Editor in chief, tel.: +7 (903) 573-90-49

Раткин Леонид Сергеевич, директор по научной работе
Телефон: +7 (915) 450-77-67, e-mail: rathkeen@bk.ru
Leonid Rathkeen, Scientific director, tel.: +7 (915) 450-77-67

Редакционный совет:

Бетелин Владимир Борисович,
академик РАН, директор НИИСИ РАН;
Дианов Евгений Михайлович,
академик РАН, директор ЦВРО РАН;
Дмитриевский Анатолий Николаевич,
академик РАН, директор ИПГ РАН;
Емельянов Станислав Васильевич,
академик РАН, заместитель академика-секретаря ОНТИ РАН;
Козлов Валерий Васильевич,
академик РАН, директор МИАН, вице-президент РАН;
Конторович Алексей Эмильевич,
академик РАН, ИНГ СО РАН;
Лаверов Николай Павлович,
академик РАН, вице-президент РАН;
Моисеев Илья Иосифович,
академик РАН, РГУНГ им. И.М.Губкина;
Мясоедов Борис Федорович,
академик РАН, заместитель академика-секретаря ОХНМ РАН;
Рундквист Дмитрий Васильевич,
академик РАН, советник Президиума РАН;
Федоров Игорь Борисович,
академик РАН, Президент МГТУ им. Н.Э.Баумана

Editorial Council:

Vladimir B. Betelin,
academician of RAS, director of Scientific Institute for system
researching of RAS;
Evgeny M. Dianov,
academician of RAS, director of Scientific centre of fiber optics of RAS;
Anatoly N. Dmitrievskiy,
academician of RAS, director of Institute of oil & gas problems of RAS;
Stanislav V. Eme'lanov,
academician of RAS, deputy of academician-secretary of Department
of nanotechnologies & information technologies of RAS;
Valery V. Kozlov,
academician of RAS, director of Steklov Mathematical Institute of RAS,
vice-president of RAS;
Alexei E. Kontorovich,
academician of RAS,
Trofimuk Institute of Oil & Gas Geology & Geophysics of SB of RAS;
Nikolai P. Laverov,
academician of RAS, vice-president of RAS;
Ilya I. Moiseev,
academician of RAS, Gubkin state oil & gas university;
Boris F. Myasoedov,
academician of RAS, deputy of academician-secretary of Department
of chemistry & sciences for materials of RAS;
Dmitry V. Rundkvist,
academician of RAS, councilor of Presidium of RAS;
Igor B. Fedorov,
academician of RAS, President of Bauman technical university

Журнал «Нефтегазопромышленный инжиниринг» зарегистрирован
в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств
массовых коммуникаций, регистрационный номер 77-16518.
«Oil & Gas Field Engineering» journal is registered with the Ministry
of Press and Mass Media of the Russian Federation.
Certificate № 77-16518.

Заявленный тираж: 11 800 экземпляров / Press Run: 11 800

Редакция не несет ответственности за содержание рекламы и объ-
явлений. Авторы опубликованных материалов несут ответствен-
ность за достоверность приведенных сведений, точность данных по
цитируемой литературе и отсутствие в статьях данных, не подлежа-
щих открытой публикации. Редакция может опубликовать статьи в
порядке обсуждения, не разделяя точку зрения автора. Перепечатка
и/или воспроизведение статей, рекламных, иллюстративных и иных
материалов или любых их частей из Международного научно-тех-
нического журнала «Нефтегазопромышленный инжиниринг» воз-
можны лишь с письменного разрешения редакции.

Адрес редакции: 119049, Москва, Ленинский пр-т, д. 4, стр. 1А
Телефон: +7 (495) 789-56-94. Факс: +7 (499) 487-90-83.
E-mail: argm@mail.ru

Address: 1A, 4 bldg, Leningkiy prospect, Moscow 119049 Russia

СОДЕРЖАНИЕ

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ

В.В. Путин
Россия зовет!

НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Б.Е. Патон
Роль сотрудничества ученых в решении
общих научно-технических проблем
энергетических комплексов России
и Украины

ГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Н.П. Лаверов, А.Н. Дмитриевский,
В.И. Высоцкий
Мировые ресурсы сланцевого газа
и их освоение

В.А. Голубев, А.В. Мамаев, С.А. Сиротин,
Д.А. Кузнецов
Индикатор развития: гелий может стать
локомотивом российской экономики

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАУКИ

Е.П. Велихов
Гордость российской науки

Е.Н. Аврорин
Физические исследования при ядерных взрывах

МИРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА

А.А. Макаров
Научно-технологические прогнозы развития
энергетики России

СЕЙСМОЛОГИЯ

А.С. Бугаев, В.М. Агафонов, В.Г. Криштоп,
А.Н. Антонов, В.С. Веретин
Сейсмические датчики для использования
в нефтяном и газовом комплексе,
основанные на молекулярно-электронном
переносе в твердотельных и жидкостных
микросистемах

ЭКОЛОГИЯ

А.В. Алешин, Р.Ф. Курунов, Д.В. Мантуров,
В.А. Румянцев, И.Ш. Сайфуллин,
В.А. Сотоцкий, В.А. Яковлев
Применение гидрооптической, оптико-
электронной и лазерной аппаратуры
в интересах экологического мониторинга

БУРЕНИЕ

Ассоциация предприятий
нефтегазопромышленного и бурового
оборудования: производители и потребители
– навстречу друг другу!

СТРОИТЕЛЬСТВО

К.А. Сухачев, Е.В. Колосова
Проект организации строительства как
стратегия обеспечения своевременного ввода
объекта в эксплуатацию

ЗАЩИТА И БЕЗОПАСНОСТЬ

Л.С. Раткин
К трехсотлетию Российской академии наук:
роль историографии науки и истории
развития отечественной промышленности
в обеспечении преемственности научных
школ и отраслевой безопасности

CONTENTS

STRATEGIC DEVELOPMENT

2 Vladimir V. Putin
Russia calling!

SCIENTIFIC COOPERATION

10 Boris E. Paton
Role of cooperation of scientists in the solution
of the common scientific and technical problems
of Russian and Ukrainian
power sectors

GAS INDUSTRY

12 Nikolai P. Laverov, Anatoly N. Dmitrievskiy,
Vladimir I. Vysotskiy
Shale gas formations of the world:
resources potential

58 Valery A. Golubev, Anatoly V. Mamaev,
Sergey A. Sirotny, Dmitry A. Kuznetsov
Indicator of development: helium as the
locomotive of Russian economy

HISTORY OF SCIENTIFIC DEVELOPMENT

24 Evgeny P. Velikhov
Pride of the Russian science

34 Evgeny N. Avrorin
Physical experiments in nuclear tests

WORLD ENERGY

38 Alexei A. Makarov
Scientific and technological
prognosis of Russian Energy Development

SEISMOLOGY

46 Alexander S. Bugaev, Vadim M. Agafonov,
Vladimir G. Krishtop, Alexander N. Antonov,
Vladimir S. Veretin
Seismic sensors for oil and gas
complex based on the molecular-electronics
transduction in the solid-state
and liquid microsystems

ECOLOGY

54 Alexei V. Aleshin, Roman F. Kurunov,
Denis V. Manturov, Vladislav A. Rumyantsev,
Insaf Sh. Sayfullin, Victor A. Sototskiy, Victor A. Yakovlev
Application of hydro-optical, electro-optical,
and laser devices for the sake of ecological
monitoring

DRILLING

64 Association of the enterprises
of oil-and-gas and drilling equipment:
manufacturers and consumers –
toward each other!

CONSTRUCTION

72 Kirill A. Sukhachev, Elena V. Kolosova
Project of construction organization
as a strategy for providing of in-time
commissioning of object

SECURITY & SAFETY

74 Leonid Rathkeen
Three hundred years of Russian Academy
of Sciences: role of historiography of science
and history of development of inner industry
for providing of continuity of scientific schools
and branch safety

С юбилеем!

Юбилей – не финал и не финиш, а старт!
Пусть окрепнет любой, кто немного устал!
Наберется пусть сил перед новым броском,
Что в работу опять, и сейчас – не потом!

Юбилей – не итог, а всего лишь пролог!
Пересменок в Судьбе, перекресток дорог!
Кто отважится на дальновидный прогноз?
Как все сложится дальше? Непредельный вопрос!

Мы желаем здоровья, что хватит на двух;
Чтобы не было хворей, чтоб бодр был Дух!
В равновесии чтоб пребывала Душа!
С юбилеем! Успехов и счастья всегда!

Congratulation with jubilee!

Jubilee is not end. It's not finish. It's start!
Let be strong and be healthy who may be so tired!
Let he find all the force and lose previous pain,
And he must not be tired. Let he work now again!

Jubilee is prolog. It is not a result!
When we change our ways crossing roads of life!
Who may say what we have as the future forecasts?
What will happen tomorrow? The question for us!

We wish you be healthy as may be the athletes!
We wish be never illness and have soul's high rate,
Let your soul be always in harmony form!
Be successful and happy forever in all!

Раткин Л.С.

Leonid Rathkeen

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В НЕФТЯНОМ И ГАЗОВОМ КОМПЛЕКСЕ, ОСНОВАННЫЕ НА МОЛЕКУЛЯРНО-ЭЛЕКТРОННОМ ПЕРЕНОСЕ В ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ И ЖИДКОСТНЫХ МИКРОСИСТЕМАХ

SEISMIC SENSORS FOR OIL AND GAS COMPLEX BASED ON THE MOLECULAR-ELECTRONICS TRANSDUCTION IN THE SOLID-STATE AND LIQUID MICROSYSTEMS

А.С. Бугаев, академик РАН, заведующий кафедрой вакуумной электроники МФТИ, заместитель директора ИРЭ РАН;
В.М. Агафонов, к.ф.-м.н., доцент кафедры экологически чистых источников энергии и молекулярной электроники МФТИ, заместитель директора ООО «Р-сенсорс»;

В.Г. Криштоп, к.ф.-м.н., доцент кафедры экологически чистых источников энергии и молекулярной электроники МФТИ, научный сотрудник Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН;

А.Н. Антонов, аспирант МФТИ, инженер-электронщик ООО «Р-сенсорс»;

В.С. Веретин, к.ф.-м.н., доцент кафедры химии и физики РЭУ им. Г.В. Плеханова

Alexander S. Bugaev, academician of RAS, chief on cathedra of vacuum electronics of Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT), deputy director of Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS;

Vadim M. Agafonov, PhD (Physics and Mathematics), docent on cathedra of ecological purity energy sources and molecular electronics of MIPT, deputy director of «R-sensors» LLC;

Vladimir G. Krishtop, PhD (Physics and Mathematics), docent on cathedra of ecological purity energy sources and molecular electronics of MIPT, scientists of Institute of Microelectronics Technology and High Purity Materials of RAS;

Alexander N. Antonov, aspirant of MIPT, engineer in electronics of «R-sensors» LLC;

Vladimir S. Veretin, PhD (Physics and Mathematics), docent on cathedra of chemistry and physics of Plekhanov Russian University of Economics



Бугаев А.С. / Alexander S. Bugaev



Агафонов В.М. / Vadim M. Agafonov



Криштоп В.Г. / Vladimir G. Krishtop



Антонов А.Н. / Alexander N. Antonov



Веретин В.С. / Vladimir S. Veretin

Традиционно, в сейсморазведке в качестве первичных датчиков используются электродинамические геофоны. В настоящее время, в связи с развитием более точных многоволновых методов, возрастают требования к качеству первичных данных, а, следовательно, к идентичности датчиков, их динамическому и частотному диапазонам. Одна из перспективных технологий для создания датчиков с требуемыми более высокими характеристиками основана на использовании принципов молекулярно-электронного переноса и современных микро и нанотехнологий.

Traditionally, seismic exploration utilizes electrodynamic geophones as primary sensors. Now more accurate multi-wave methods are beginning to use in the data processing, resulting in the more stringent requirements to the raw data and consequently to the identity, dynamic and frequency ranges of the sensors. One of the promising technologies to build more accurate sensors is based on the using of the molecular-electronic transfer principles combined with modern micro and nanotechnologies.

Ключевые слова:

сейсморазведка, геофон, акселерометр, молекулярно-электронный перенос, явления переноса в жидкостях, электрохимия, конвективная диффузия, микроструктура, нанотехнология.

Key words:

seismic exploration, geophone, accelerometer, molecular-electronic transfer, transfer phenomena in liquids, electrochemistry, convective diffusion, microstructures, nanotechnology.

В то же время, современные и перспективные новые методы в сейсморазведке зачастую подразумевают более жесткие, по сравнению с возможностями традиционных технологий, требования к идентичности датчиков, динамическому и частотному диапазонам измерений, возможностям получения дополнительной информации путем проведения многокомпонентных измерений.

Как следствие этого, основные производители сейсмического оборудования за рубежом компаний Sercel и IONgeo вложили значительные финансовые средства в создание трехкомпонентных сейсмических MEMS-акселерометров и в настоящее время имеют значительное технологическое преимущество в этой области. Результатом проведенных исследовательских и опытно-конструкторских работ явилось создание сейсморазведочных комплексов «Unite» (Sercel) и «FireFly» (ION). Известно о проведении аналогичных работ в компании Hewlett-Packard при финансировании и техническом участии Shell. Сейсмические датчики, созданные на основе твердотельных МЭМС весьма дороги, что связано с высокой стоимостью основных вложений в создание высокоточного микроэлектронного производства. В свою очередь, высокая цена ограничивает область использования подобных новых, более качественных, сейсморазведочных систем. Близкие по параметрам отечественные МЭМС акселерометры отсутствуют.

В то же время, российские исследователи имеют существенный научный и технический задел в альтернативном направлении, связанном с использованием для измерения параметров движения принципов молекулярно-электронного переноса. В частности, в результате фундаментальных исследований, выполненных в разные годы в Институте электрохимии и физической химии РАН, Московском физико-техническом институте, Институте проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН, ООО «Р-сенсорс» и последовавших ОКР, на российском рынке появился целый модельный ряд сейсмических датчиков различного назначения [1], основанных на принципах молекулярно-электронного переноса.

Важнейшими отличительными особенностями этих датчиков является заметное расширение частотного рабочего диапазона по сравнению со стандартными электродинамическими сейсмодатчиками (геофонами), особенно в области низких частот, более высокий коэффициент преобразования, динамический диапазон сопоставимый с динамическим диапазоном цифровых сейсморазведочных станций, нечувствительность к наклонам при установке. Кроме того, с использованием специально разработанных сейсмодатчиков угловых движений, возможна прямая регистрация крутильных колебаний. По сравнению с сейсмическими МЭМС молекулярно-электронные датчики дешевле, при этом не уступают им по техническим параметрам. Особенности молекулярно-электронных сейсмодатчиков

Most of the seismic surveying systems use the traditional electro dynamical geophones. At the same time modern and prospective methods of seismic surveying and exploration often make more stringent requirements in comparison with the traditional technologies capabilities for such parameters as sensors identity, frequency and dynamic range and the possibility of gathering the additional information by means of running multicomponent acquisitions.

As a result the main manufacturers of seismic equipment – Sercel and IONgeo – have invested substantial funds in the development of 3-axis seismic MEMS-accelerometers, and now have significant technical advantage in this area. As a result of this research and development activities the new seismic survey systems «Unite» (Sercel) and «FireFly» (IONgeo) were created. It is known that the similar research work was carried out in Hewlett-Packard in financial and technical cooperation with Shell. High precision microelectronics manufacture creation requires significant investments, and thus seismic sensors, based on the solid-state MEMS technology are quite expensive. High price restricts the area of possible applications of the new, more accurate seismic survey systems. Russian MEMS accelerometers with comparable parameters are not available for today.

At the same time Russian researchers have great scientific and technical achievements in the alternative way of measuring the motion parameters. The alternative inertial motion sensors are based on the molecular electronics transfer principles. Institute of Physical chemistry and Electrochemistry RAS, Moscow Institute of Physics and Technology and R-sensors LLC have performed fundamental researches and series of followed development projects. As a result, a number of seismic sensors for different applications have appeared in the Russian market [1].

The main features of these sensors are:

- the frequency range, that is much wider in comparison with the common electro dynamical geophones, especially at low frequencies;
- higher conversion factor;
- wide dynamic range, comparable with the dynamic range of the digital seismic survey systems;
- insensibility to the slope;

Moreover, the development of the unique angular sensors makes possible the direct registration of the rotation oscillations. In comparison with the seismic MEMS the molecular-electronic sensors are cheaper and don't yield to in the performance characteristics. The distinctive features of molecular-electronic seismic sensors allows to qualitatively increase the efficiency of the seismic surveying work, in particular:

- The widening of the frequency range allows to improve the definition of the measurements, which is determined by the ration F_{max}/F_{min} – the high and the low threshold frequencies of measuring signals, and improve the signal-to-noise ratio for the reflections from the deep layers of the Earth

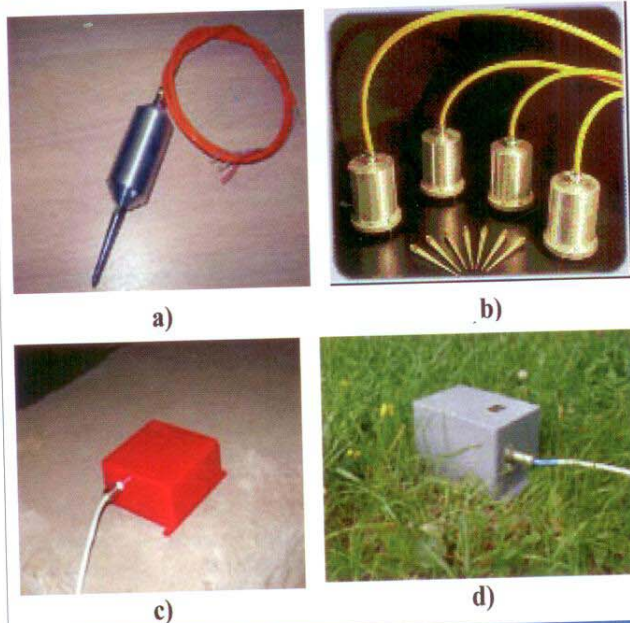


Рисунок 1. Некоторые из современных приборов, разработанные в ООО «Р-сенсорс».

- a), б) компактные высококачественные сейсмодатчики MTSS-1001 / MTSS-1003
в) трехкомпонентный сейсмический датчик MTSS-2003;
г) шестикомпонентный сейсмодатчик CME-106C

- Figure 1. Some of modern devices, developed in R-sensors LLC.
a), b) small-sized high sensitive seismic sensors MTSS-1001 / MTSS-1003;
c) 3-axis seismic sensor MTSS-2003;
d) 6-axis (linear and angular) seismic sensor CME-106C.

на принципиальном уровне позволяют качественно повысить эффективность сейсморазведочных работ, в частности:

- расширение частотного диапазона позволяет улучшить разрешающую способность измерений, определяемую отношением $F_{\max}/F_{\min}$, верхней и нижней частот регистрируемых сигналов и улучшить соотношение сигнал/шум для отражений от глубинных слоев, что связано с меньшим затуханием низких частот при распространении сигнала;
- высокий коэффициент преобразования, в сочетании с низкими собственными шумами, позволяет регистрировать слабые сигналы с использованием меньшего числа датчиков в расчете на один канал регистрации. В свою очередь, при проведении сейсморазведочных работ уменьшаются расходы, как в части стоимости самих датчиков, так и связанные с доставкой и расстановкой сейсмоков с большим количеством сейсмодатчиков. Нечувствительность к наклонам снижает требования к точности установки сейсмодатчиков и позволяет ускорить сейсморазведочные работы за счет уменьшения времени, необходимого для расстановки датчиков;
- использование высокочувствительных датчиков угловых колебаний позволяет проводить разделение сейсмического сигнала на составляющие, соответствующие различным типам волн с использованием информации о поляризации линейных и угловых колебаний как дискриминирующего фактора.

Таким образом, использование нового типа сейсмодатчиков вполне способно оказать существенное комплексное влияние на эффективность сейсморазведочных работ в части их ускорения, снижения стоимости, повышения разрешающей способности, увеличения глубинности разведки.

В настоящее время существует множество электрохимических преобразователей и сенсоров, работающих на принципах молекулярной электроники. Основу действия электрохимических преобразователей информации могут составлять концентрационная поляризация электродов, электрокинетические явления, анодное растворение (или катодное электроосаждение), конвекция неоднородного электролита в поле тяжести и другие. Более подробно с различными способами преобразования механических (и других) сигналов в электрохимических системах можно ознакомиться в [2-4]. В сейсмологии наибольшее распространение получили приборы на основе молекулярно-электронных преобразователей (МЭП).

Принцип действия МЭП легко пояснить, используя приближение плоских «полупроницаемых» (проницаемых для жидкости, но не для заряда) электродов [5]. Простейшая модель МЭП представляет собой цилиндрический канал, заполненный электролитом и перегороденный «полупроницаемыми» электродами (аноды и катоды на рис. 2 обозначены буквами «А» и «К»), таким образом, что электролит может протекать через систему электродов под воздействием сил инерции.

При приложении электрического напряжения между анодами и катодами в системе возникает градиент концентрации основных носителей заряда и протекает стационарный электрохимический ток (т.н. «фоновый ток»), не зависящий от наличия механического движения (см. рисунок 2А). Электрический ток через электрод в такой системе зависит от градиента концентрации вблизи поверхности электрода следующим образом:

$$I = -Dq \oint (\nabla c \cdot ds)$$

При наличии механического сигнала электролит приходит в движение под воздействием сил инерции, и возникающий в результате механического движения поток жидкости искажает установившееся «неподвижное» распределение кон-

crust, because when the signal is propagating through the medium low frequencies has less attenuation;

- High conversion factor in combination with low intrinsic noise allows to measure weak signals using less amount of sensors relative to the number of registration channels. As a result, the cost of seismic surveying is reduced by both lowering the sensors cost, and lowering the expenses, specified by the delivery and arrangement of high amount of sensors in the seismic surveying systems. Absence of sensitivity to the slope angle reduces the requirements to the accuracy of the sensors installation and thus reduces the time required to sensors arrangement;
- High sensitive angular sensors in combination with the traditional linear sensors allow obtaining information about the polarization of the seismic wave, and therefore allow separating the seismic signals to the components that correspond to the various wave types.

Thus, usage of the sensors of the new type could exert significant complex influence on the efficiency of the seismic surveying in such aspects as an enhancement of the speed of surveying, reducing its cost, increasing the definition and depth of measuring.

At the current time there exist a lot of electrochemical transducers and sensors, based on the principle of molecular electronics. The basis of this transducers could be concentration polarization of the electrodes, electrokinetic phenomena, anode solution (or cathode electrodeposition), the convection of the heterogeneous electrolyte in the gravity field, and so on. [2-4] give more details about different technologies of converting the mechanical motion (and the other) signals in the electrochemical systems. In seismology the highest distribution was achieved by the devices based on the molecular electronic transducers (MET).

The principle of operation of MET can be easily explained in the flange semi permeable (permeable for the liquid, not for the charge) electrodes [5]. The simple model of MET represents the cylindrical channel filled with the electrolyte and obstructed by the semi permeable electrodes (anodes and cathodes are marked as "A" and "K"). When the inertial forces act on the electrolyte, it flows through the electrode system.

When the voltage is applied between anodes and cathodes the gradient of concentration of main charge carriers appears in the system, and thus the permanent electric current (so-called background current) flows. The background current doesn't depend on the mechanical motion of the liquid. In this system the relation between the electric current and the gradient of concentration of the electrolyte is described by the following equation:

$$I = -Dq \oint (\nabla c \cdot ds)$$

If there is a mechanical signal the electrolyte begins to move under the impact of inertial forces. The emerging flow of the electrolyte distorts the balanced distribution of concentration of charge carriers in the space between electrodes. This leads to high alteration of the gradient concentration near the electrodes surface. And thus there appears the additional (to the background) electric current, which is proportional to the mechanical signal. Such electrochemical system is characterized by high sensitivity to the mechanical action.

There could be different types of oxidation-reduction reactions, for example: iodine-iodide, ferro-ferrocyanide et al. Besides, the electrodes are made from the metal that doesn't take part in the cation exchange, but carry out only the exchange of electrons. This in theory allows the device to work infinite time without degradation of its performance characteristics. At the present time the main practical disadvantage of molecular-electronic transducers is a relatively small temperature range that is limited by the temperatures of freezing and boiling of electrolyte. However, modern low-temperature electrolyte

the medi-
nsic noise
sensors rel-
t, the cost
sors cost,
d arrange-
g systems.
uirements
duces the

tradition-
polariza-
g the seis-
he various

significant
ing in such
ing it cost,

l transduc-
electronics.
rization of
n (or cath-
eous elec-
tails about
on (and the
nology the
sed on the

ained in the
he charge)
he cylindri-
he semi per-
and "K").
through the

d cathodes
ers appears
urrent (so-
d current
uid. In this
d the gra-
by the fol-

ins to move
of the elec-
ntration of
leads to high
electrodes sur-
background)
nical signal.
a sensitivity

on reactions,
des, the elec-
in the cation
This in theo-
practical disad-
ly small tem-
freezing and
electrolytes

центрации носителей заряда в межэлектродном пространстве, что приводит к сильному изменению градиента концентрации вблизи поверхности электродов. В системе возникает дополнительный («фоновому») электрический ток, который пропорционален внешнему механическому сигналу. Такая электрохимическая система обладает высокой чувствительностью к механическому воздействию.

В преобразователе могут быть использованы различные окислительно-восстановительные реакции, например: йод-йодид, ферри-ферроцианид и др. При этом электроды МЭП изготавливаются из металла, который не участвует в обмене катионами, а осуществляет только электронный обмен, что теоретически позволяет устройству работать бесконечно долгое время без изменения рабочих параметров. Основным на текущий момент эксплуатационным недостатком молекулярно-электронных преобразователей является относительно узкий температурный диапазон использования приборов, ограниченный температурами замораживания и кипения электролита. Тем не менее, современные низкотемпературные электролиты позволяют изготавливать устройства с температурным диапазоном $-55 \dots +75^\circ\text{C}$, которого, как правило, вполне достаточно для использования в составе систем сейсморазведочного назначения.

При изготовлении сейсмического датчика чувствительный элемент помещается поперек диэлектрического канала, заполненного рабочей жидкостью. Схематическое изображение сейсмических датчиков показано на Рисунке 3.

В ряде работ, в частности [6-7], исследовались различные геометрии электродных узлов МЭП, и было показано, что в части рабочих характеристик электродная система с планарными электродами имеет ряд преимуществ перед другими конфигурациями электродов. При этом уменьшение характерных размеров основных элементов преобразующей системы позволяет расширить частотный диапазон преобразования, повысить линейность, и, возможно, обеспечить более высокую чувствительность. Одним из важнейших параметров планарной структуры, в значительной степени определяющим характеристики преобразователя, является расстояние между катодом и анодом.

Наиболее широкое распространение получила технология изготовления МЭП в керамическом корпусе с сеточными электродами (Рисунок 4).

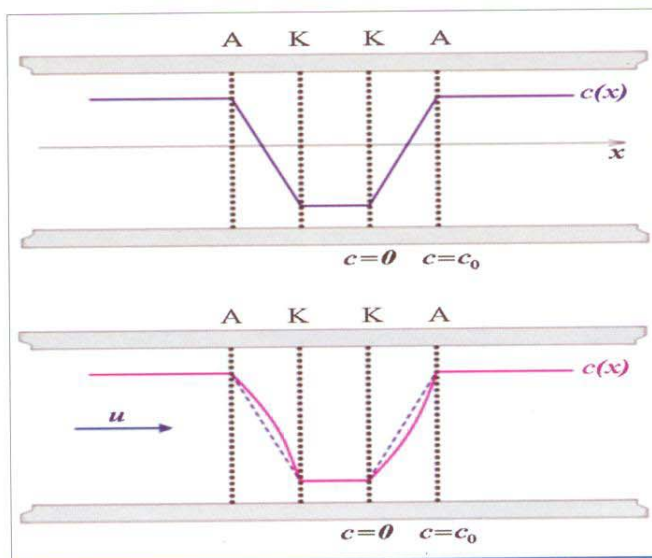


Рисунок 2. Распределение концентрации электролита в электроде узле с плоскими проницаемыми электродами. c_0 — равновесная концентрация электролита, $c(x)$ — установившаяся при наличии напряжения смещения концентрация, на нижнем рисунке показано как изменяется распределение концентрации $c(x)$ под воздействием набегающего потока жидкости.

Figure 2. The distribution of concentration of electrolyte in the electrode cell with flat semipermeable electrodes. c_0 — the balanced concentration of electrolyte, $c(x)$ — concentration that is set in when the voltage is applied to the electrodes. The lower figure represents the alteration of the $c(x)$ when the liquid is moving.

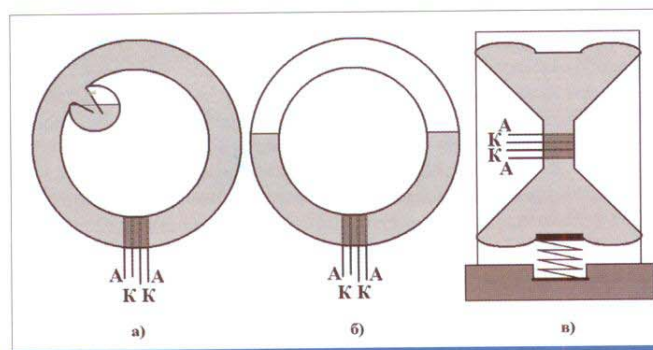


Рисунок 3. Типы датчиков на основе МЭП.

а) датчик вращательных движений; б) горизонтальный; в) вертикальный. А — аноды, К — катоды. 1 — корпус, 2 — преобразователь, 3 — канал, заполненный электролитом, 4 — мембраны

Figure 3. Different types of the MET seismic sensors. A) Angular motion sensor; B) Horizontal axis linear sensor; C) Vertical axis linear sensor. A — anodes, K — cathodes.

allows to produce the devices with the temperature range of $-55 \dots +75^\circ\text{C}$, which is usually enough for the seismic survey purposes.

The electrolytic cell is placed crosswise to the dielectric channel filled with the operating liquid. The schematic view of the seismic sensors is shown in fig. 3

In the series of publications, in particular [6-7] different geometrical parameters of the MET electrolytic cells were investigated. It was shown, that in part of the performance characteristics the system with planar electrodes has a list of advantages against the other electrodes configuration. At the same time the reduction of dimensions of transduction system main elements allows widening the frequency range, increasing the linearity, and, probably, increasing the sensitivity. One of the main parameter of the planar electrode structure that mostly defines the transducer's characteristics is the distance between anode and cathode.

The widest prevalence got the technology of MET manufacturing where ceramic housing and grid electrodes (Figure 4).

At present time R-Sensors LLC is manufacturing the serial produced electrode cells for MET sensors with the grid electrodes in micro-ceramic housing. Electrode cells for MET are made from the metal grid with the diameter of $30-100 \mu\text{m}$. There are quite a number of original devices and systems based on these converting cells and intended for various applications. Some of the commercial devices are shown on the fig. 1. In general there is about several dozen different devices and their modifications. Among them there are some unique

developments that have no analogues in the world, for example the device for high precision azimuth determination, the bore-hole 3-axis seismometer, 6-axis sensors with both linear and rotational sensors and shelf seismometers in the sealed case for underwater installation to the depth up to 10 meters.

However, the expensive precise seismometers still remain the main application of MET sensors with grid cell. Access to the other markets is restricted primarily by the relative expensiveness of the converting cell, manufactured by this technology. Furthermore, the existing technology constrains the further reduction of dimensions of the electrode cell, which makes it impossible to achieve the high limit of frequency range up to 1 kHz.

Currently the companies Mettech LLC and R-sensors LLC are testing the technology of layer-by layer printing of the convert-

В настоящее время ООО «Р-сенсорс» серийно производит преобразующие элементы для МЭП с сетчатыми электродами в микрокерамическом исполнении. Электродные узлы для МЭП изготавливаются из металлической сетки с диаметром проволоки 30–100 мкм. На основе этих преобразующих элементов разработан ряд оригинальных приборов и систем, предназначенных для решения самых разных задач. Некоторые из серийно выпускаемых устройств изображены на рисунке 1, общее число различных разработанных устройств и модификаций составляет несколько десятков, среди которых встречаются уникальные, не имеющие в мире аналогов разработки, например, устройство для определения направления на географический север, скважинный трехкомпонентный сейсмометр, шестикомпонентные сейсмические датчики, способные регистрировать как линейные, так и вращательные колебания, или шельфовые и скважинные подводные сейсмометры, позволяющие производить подводную установку на глубине до 300 метров без дополнительных герметичных корпусов.

Тем не менее, основным применением для сетчатых МЭП остаются дорогие прецизионные сейсмометры, и выход на более широкие рынки в первую очередь ограничивает относительная дороговизна преобразующих элементов, выполненных по данной технологии. Кроме того, существующая технология накладывает ограничения на дальнейшее уменьшение геометрических параметров электродного узла, что не позволяет достичь верхней рабочей частоты более 1 кГц.

В настоящее время компаниями Mettech и Р-сенсорс испытывается технология послойной печати преобразующего элемента керамической пастой (Рисунок 5), но, хотя проведен ряд экспериментальных работ, на текущий момент геофоны с преобразователями, выполненными по данной технологии, отсутствуют в продаже. В перспективе основная проблема технологии послойной печати состоит в том, что она не позволяет достичь расстояния между электродами менее нескольких десятков микрон, и при этом из-за высокого удельного сопротивления используемых материалов дополнительное сопротивление электродов получается относительно высоким. Определенным преимуществом данной технологии можно считать теоретическую возможность достичь меньшего разброса параметров при серийном производстве, чем при использовании классической сеточной технологии.

Для перспектив широкого практического применения молекулярно-электронных сейсмических датчиков важнейшее значение имеет создание первых образцов устройств, основанных на принципиально новой технологии изготовления чувствительно-

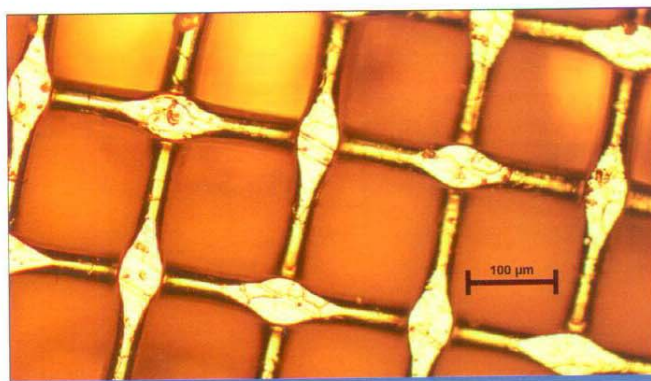


Рисунок 4. Снимок электродного пакета современного МЭП, созданный с помощью микроскопа Nikon Eclipse LV150.
Figure 4. Modern MET electrode cell, made by microscope Nikon Eclipse LV150.

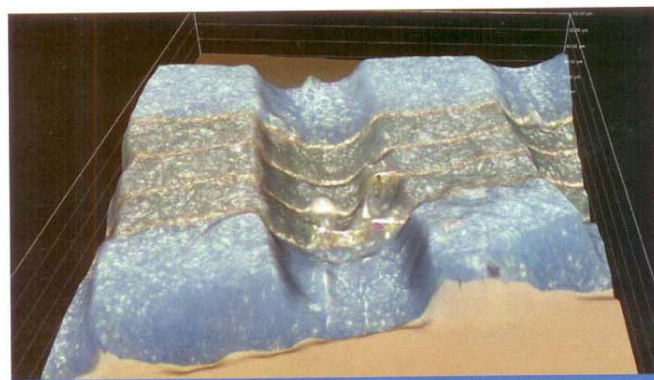


Рисунок 5. Снимок внутреннего устройства электродного пакета преобразователя, выполненного по технологии послойной печати, построенный с помощью микроскопа Nikon Eclipse LV150, оснащенного BWH-501 3D surface profiler. Расстояние между тонкими проводящими слоями — 40 мкм.
Figure 5. The internal structure of the electrode cell, made by the technology of layer-by-layer printing. The image is taken by the microscope Nikon Eclipse LV150, equipped with BWH-501 3D surface profiler. The distance between thin electroconductive layers is 40 mkm.

qualitative reduction of the cost price of the sensors, created by the new technologies. Soon it will be possible to create the devices with a cost close to the traditional geophones and with significantly better performance characteristics.

Among new sensors' various applications, the most prospective one are:

- The creation of measuring systems for use if the technologies, based on the passive seismic. The most important of these areas of application are registration of the signals in wide frequency range covering 1 Hz and even lower frequencies, and high sensitivity that allows to measure quite weak signals of microseismic noise;
- Underwater seismic surveying, active and passive, including usage of autonomous bottom stations. The most important thing there, along with high performance characteristics, is that the sensors have no sensibility to the slope. This feature significantly simplifies the design of underwater station by excluding the system that aligns the sensitivity axes in accordance to the gravity vector;
- Multi-component seismic survey, including usage of angular sensors. This area just starts to be accepted in the world. In general the main idea of multi-component seismic surveying consists in simultaneous registration of several components of the seismic field (linear and rotational vibrations relatively to vertical and horizontal axes, measurement of pressure and pressure gra-

ing cell by means of the ceramic paste (Figure 5). The list of experimental works was performed, but in spite of it no sensors manufactured by this technology appeared in the market. In prospective the main problem of layer-by-layer printing is that this technology doesn't allow achieving the distance between electrodes less than several dozen micrometers. At the same time the additional electrical resistivity of the electrodes themselves appears to be relatively high because of high resistivity of used materials. Certain advantage of this technology in comparison with traditional grid cells technology is a theoretical possibility of achieving small parameters spread when sensors are produced serially.

For the prospective of wide application of MET seismic sensors it is very important to create the first samples of the devices, based on the essentially new technology of manufacturing the sensing cell. [8, 9] Using a list of microelectronic technologies the planar converting structures with extremely low distance between the electrodes of the system were developed (Figure 6). In turn, this led to significant widening of frequency range and improving the linearity of the response. At the same time using the planar technologies forms the basis for

e list of
as per-
if it no
by this
in the
ve the
y-layer
chnolo-
ing the
trodes
microm-
me the
sistivity
mselves
ly high
ivity of
an advan-
in com-
nal grid
eoretical
g small
en sen-
ally.

e of wide
ismic sen-
nt to cre-
s of the
essential-
manufac-
ll. [8, 9]
electronic
r convert-
xtremely
the elec-
ere devel-
ern, this
dening of
mproving
sponse. At
the planar
e basis for
reated by
he devices
significant-

rospective
hologies,
these areas
frequency
l high sen-
microseism

including
rtant thigh
at the sen-
cantly sim-
the system
the gravity

of angular
ld. In gen-
ng consists
of the seis-
to vertical
essure gra-

го элемента. [8, 9] С использованием набора микроэлектронных технологических операций были созданы планарные преобразующие структуры с рекордно малым расстоянием между электродами преобразующей микросистемы (Рисунок 6). В свою очередь, это привело к существенному расширению частотного диапазона измерений, улучшению линейности отклика. Одновременно, использование планарных технологий создает основу для качественного снижения себестоимости сейсмодатчиков, созданных на базе новых технологий. Уже в ближайшее время возможно создание устройств по цене близких к стандартным геофонам, при сохранении значительных преимуществ в части технических характеристик.

Среди направлений использования новых типов сейсмических датчиков, которые способны дать наибольший эффект стоит выделить следующие:

- создание измерительных комплексов для использования в технологиях, основанных на пассивной сейсмике. Для этих областей применения наибольшее значение имеет регистрация сигналов в широкой полосе частот, с охватом низкочастотной области вблизи и даже ниже 1 Герца, а также высокая чувствительность датчиков, позволяющая регистрировать достаточно низкие уровни микросейсмического фона;
- подводная сейсморазведка, активная и пассивная, в том числе с использованием автономных донных станций. Здесь принципиальным является, наряду с высокими основными рабочими характеристиками, нечувствительность датчиков к углам установки, что позволяет значительно упростить конструкцию подводной станции, исключив системы выставления осей чувствительности датчиков относительно силы тяжести;
- многокомпонентная сейсморазведка, в том числе с использованием датчиков угловых движений. Данное направление в мире только начинает развиваться. В самом общем виде основная идея многокомпонентной сейсморазведки состоит в одновременной регистрации нескольких компонент сейсмического поля (линейных и угловых колебаний относительно вертикальных и горизонтальных осей, изменений давления и градиентов давления в жидких средах в сейсмическом поле) Обработка полученных данных позволяет разделить сейсмический сигнал на составляющие, соответствующие различным типам волн – продольные, поперечные, волн, распространяющиеся вдоль неоднородностей среды. После этого малоинформативные составляющие отфильтровываются, а несущие полезную информацию обрабатываются способом, оптимизированным для каждого типа волн. Значительный интерес к развитию многокомпонентных методов проявляет ряд ведущих международных компаний (Schlumberger, Geokinetics, Seismic Source), и инициировавших серию экспериментальных работ, направленных на выявление наиболее эффективных методов сбора и обработки многокомпонентных сейсмических данных. Полученные результаты были использованы при подготовке новых патентов на методы сейсморазведки, основанные на применении многокомпонентных измерений.

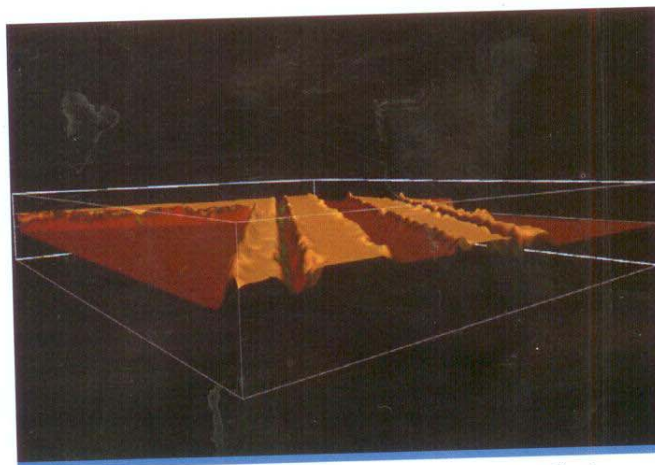


Рисунок 6. Трехмерный снимок преобразующей электродной структуры, построенный с помощью микроскопа Nikon Eclipse LV150, оснащенного BWH-501 3D surface profiler. Расстояние между электродами – 3 мкм, высота электродов над поверхностью пластины – 300 нм (масштаб по вертикали и горизонтали различный).
Figure 6. 3D image of the electrode cell. The image is taken by the microscope Nikon Eclipse LV150, equipped with BWH-501 3D surface profiler. Distance between electrodes 3 mkm, height of the electrodes relative to the plate surface 300 nm (scales on vertical and horizontal axes are different).

dient in liquid media in seismic field). Data processing allows to separate seismic signal to the components, which corresponds to different types of waves – lateral, longitudinal, and wave that propagates along the heterogeneous medium. After this the low-informative components are being filtered, and the components with useful information are processed in the way, optimized for each type of wave. Significant interest to development multi-component methods is shown by the list of leading international companies (Schlumberger, Geokinetics, Seismic Source), which initiated a series of experimental researches pointed at revealing the most efficient methods of multi-component seismic data acquisition and processing. The results achieved were used to prepare

the new patents for the seismic survey methods, based on the multi-component measurements.

The analysis of modern publications shows that today there goes on a new technological round in seismic surveying, that is based on wide application the most advanced technologies and seismic data acquisition and processing, with the help of powerful computing means. In general, the new opportunities allows to create super-multichannel seismic survey systems that consist of several thousands of high definition digital channels. Such systems, based on the measurements of several different components of seismic field, allow using the acquired data in the most efficient way. In turn, the qualitatively more detailed information about seismic field allows investigating the geological structures with higher definition and precision, including cases with complicated geological conditions.

The advantage of molecular-electronic technology is not only that it gives to the seismic surveying specialists a new, high quality and, in addition, quite various tools, required for obtaining the initial data of seismic field. Besides, the modern understanding of the technology opens wide prospects of the integration of primary sensors with the digital data acquisition and processing tools, when the transducing element and the electronic circuitry for data processing are manufactured on the single chip. This approach apparently is the most efficient way of creating the mass-produced measurement units that are used as components of super-multichannel seismic survey systems.

These circumstances allows presuming that the future of represented in this paper technology in the area of oil and gas industry could be very promising.

Researches and developments, resulted in the new technology, described in the present publication, would not be possible without financial support from the Russian Foundation of the Basic Researches (grants NN 11-07-00663-a, 12-07-12057-ofi_m, 12-07-33101-mol-a-ved), Russian Ministry of Education and Science under the Special Federal Program "Researches and developments in the high priority areas of the Russian science and technical complex development for 2007-2013 years" (contracts NN 16.513.11.3016, 11.519.11.5003), as well as under the Project P218. □

Анализ современных публикаций показывает, что в настоящее время в сейсморазведке происходит новый технологический виток в развитии, базирующийся на широком использовании самых современных технологий сбора информации и обработки полученных данных с применением мощных вычислительных средств. В совокупности, новые возможности позволяют создавать сверх-многоканальные сейсморазведочные комплексы с числом цифровых каналов высокого разрешения в несколько сотен тысяч, в том числе, комплексы, основанные на измерениях нескольких компонент сейсмического поля, и эффективно использовать полученные данные. В свою очередь, качественно более детальная информация о сейсмическом поле, позволяет исследовать геологические структуры с более высоким разрешением и точностью, с тем числе в сложных геологических условиях.

Достоинство молекулярно-электронной технологии не только в том, что она дает в руки специалистов в области сейсморазведки новый высококачественный и, к тому же, весьма разнообразный инструментарий, необходимый для получения первичных данных о сейсмическом поле. Помимо этого, современное понимание технологии открывает широкие перспективы интеграции первичных датчиков с цифровыми средствами сбора и обработки информации, когда преобразующий элемент и микросхема для обработки сигналов создаются на едином кристалле. Такой подход, по всей видимости, является наиболее эффективным при создании массовых измерительных устройств, используемых в составе сверх-многоканальных сейсморазведочных комплексов.

Указанные обстоятельства позволяют предположить, что будущее представленной в работе технологии в нефтяной и газовой индустрии может быть весьма многообещающим.

Исследования и разработки, приведшие к созданию описанной в работе технологии были бы невозможны без финансовой поддержки РФФИ (гранты №№ 11-07-00663-а, 12-07-12057-офи_м, 12-07-33101-мол-а-вед) и Министерства образования и науки РФ в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007—2013 годы» (контракты №№ 16.513.11.3016, 11.519.11.5003) а также в рамках проекта П218. □

Сведения об авторах:

Бугаев Александр Степанович, академик РАН, заведующий кафедрой вакуумной электроники Московского физико-технического института (государственного университета), заместитель директора Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН;

Агафонов Вадим Михайлович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры экологически чистых источников энергии и молекулярной электроники Московского физико-технического института (государственного университета), заместитель директора ООО «Р-сенсорс»;

Криштоп Владимир Григорьевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры экологически чистых источников энергии и молекулярной электроники Московского физико-технического института (государственного университета), научный сотрудник Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН;

Антонов Александр Николаевич, аспирант Московского физико-технического института (государственного университета), инженер-электронщик ООО «Р-сенсорс»;

Веретин Владимир Сергеевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры химии и физики Российского экономического университета (РЭУ) им. Г.В. Плеханова.

Тел.: +7 (495) 408-81-09. E-mail: bugaev@cplire.ru.

Адрес Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН: 125009, Москва, ул. Моховая 11, корп.7.

Адрес Московского физико-технического института (гос. университета): 141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер. д. 9.

Адрес Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН: 142432, Московская область, Ногинский район, Черноголовка, Институтская ул., д.6.

Адрес РЭУ им Г.В.Плеханова: 117997, Москва, Стремянный переулок, д.36.

Список литературы.

1. www.r-sensors.ru
2. Введение в молекулярную электронику / под ред. Лидоренко Н.С. М.: Энергоатомиздат, 1984.
3. Графов Б.М. и др. Электрохимические преобразователи первичной информации. — М.: Машиностроение, 1969.
4. J. Newman, K. E. Thomas-Alyea, *Electrochemical Systems*, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, 2004.
5. Larcam C. W. — J. Acoust. Soc. Amer. 1965, V. 37 № 4, p. 664.
6. Агафонов В.М., Криштоп В.Г., «Исследование АЧХ Молекулярно-электронного преобразователя с новой геометрией». Микросистемная техника, 2004, №9, с 40-45.
7. Агафонов В.М., Бугаев А.С., Орел А.А., Нано-и микросистемная техника, 2009, № 05, с.32
8. Агафонов В.М., Криштоп В.Г., Сафонов М.В., «Измерительные устройства на основе молекулярно-электронного переноса в микро- и наноструктурах», Нано- и Микросистемная техника, V, №6, с.47-53, 2010 г.
9. Криштоп В.Г., Агафонов В.М., Бугаев А.С., «Технологические основы преобразователей параметров движения на принципах переноса массы и заряда в электрохимических микросистемах», Электрохимия, 2012, том 48, № 7, с. 820—829.

References.

1. www.r-sensors.ru
2. Introduction into molecular electronics./ Ed. Lidorenko N. S. M.: Energoatomizdat, 1984.
3. Grafov B.M. etc. *Electrochemical transducers of primary information*. — M.: Mashinostroenie, 1969.
4. J. Newman, K.E. Thomas-Alyea, *Electrochemical Systems*, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, 2004.
5. Larcam C.W. — J. Acoust. Soc. Amer. 1965, V. 37 № 4, p. 664.
6. Agafonov V.M., Krishtop V.G. The amplitude vs frequency response of the molecular-electronic transducer with new geometry. *Microsystem technique*. 2004. N. 9.
7. Agafonov V.M., Bugaev A.S., Orel A.A. Non-linear effects in molecular electronic cell with planar geometry. *Nano- and microsystem technique*. 2009. #7.
8. Agafonov V.M., Krishtop V.G., Safonov M.V. Measurement devices based on molecular-electronic transfer on micro- and nano-structures. *Nano i Mikrosistemnaya Tekhnika (Nano and Microsystem Technique)*. 2010. №6, P.47-53.10.
9. Krishtop V.G., Agafonov V.M., Bugaev A.S. Technological foundations of the motion transducers based on mass and charge transfer in electrochemical microsystems.// *Russian Journal of Electrochemistry Special Edition*. V. 48 (2012), N 7, P. 1-10.

About authors:

Alexander S. Bugaev, academician of RAS, chief on cathedra of vacuum electronics of Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT), deputy director of Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS;

Vadim M. Agafonov, PhD (Physics and Mathematics), docent on cathedra of ecological purity energy sources and molecular electronics of MIPT, deputy director of «R-sensors» LLC;

Vladimir G. Krishtop, PhD (Physics and Mathematics), docent on cathedra of ecological purity energy sources and molecular electronics of MIPT, scientists of Institute of Microelectronics Technology and High Purity Materials of RAS;

Alexander N. Antonov, aspirant of MIPT, engineer in electronics of «R-sensors» LLC;

Vladimir S. Veretin, PhD (Physics and Mathematics), docent on cathedra of chemistry and physics of Plekhanov Russian University of Economics.

Tel.: +7 (495) 408-81-09. E-mail: bugaev@cplire.ru.

Address of Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS: Mokhovaya 11-7, Moscow, 125009, Russia.

Address of Moscow Institute of Physics and Technology: 141700, 9, Institutskii per., Dolgoprudny, Moscow Region, Russia.

Address of Institute of Microelectronics Technology and High Purity Materials of RAS: 142432 6, Institutskaya str. Chernogolovka, Moscow Region, Russia.

Address of Plekhanov Russian University of Economics: 117997, 36, Stremyannyy per., Moscow.



К шестидесятипятилетию академика Александра Степановича Бугаева!

Александр Степанович Бугаев родился в 1947 году в Донецкой области (Горловка). В 1971 году А.С. Бугаев окончил Факультет физической и квантовой электроники Московского физико-технического института (МФТИ). Александр Степанович защитил кандидатскую диссертацию в 1974 году по теме «К теории разогретых акустоэлектронных явлений в полупроводниках». В 1984 году А.С. Бугаев защитил докторскую диссертацию «Макроскопическая теория взаимодействия ультразвука с волновыми возмущениями полупроводников и магнитных диэлектриков». Звание профессора ему было присвоено в 1987 году. А.С. Бугаев избран членом-корреспондентом Российской академии наук 31 марта 1994 года по Отделению информатики, вычислительной техники и автоматизации (информатика).

Александр Степанович Бугаев – специалист в области информатики и математического моделирования полупроводниковых и твердотельных устройств обработки информации и элементной базы. А.С. Бугаевым разработаны теоретические основы разогретых акустоэлектронных явлений. Им было предсказано возникновение в полупроводниках под действием ультразвука волн электронной температуры и акустической перегретой неустойчивости. Александром Степановичем проведен анализ принципиальных особенностей приборов с акустическим переносом заряда, акустических линий задержки и фильтров СВЧ-сигналов и развита теория распространения акустических волн в НЧ переменных внешних полях. А.С. Бугаевым построена теория взаимодействия ультразвуковых колебаний с автоволновыми системами, волнами электронно-дырочной плазмы и волнами пространственной перезарядки ловушек.

Александр Степанович прошел творческий путь в МФТИ от аспиранта до заведующего Кафедрой вакуумной электроники. А.С. Бугаев является также заведующим лабораторией Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова (ИРЭ) РАН. Александр Степанович подготовил 15 кандидатов наук и двух докторов наук. А.С. Бугаев – член Института инженеров радиотехники и электротехники (IEEE), вице-президент Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, член Ученых советов МФТИ и ИРЭ РАН, председатель Научно-технического совета по комплексной экспертизе инновационных проектов Московского Правительства, 3 диссертационных докторских советов и председатель одного из Экспертных советов ВАК Минобрнауки России.

Александр Степанович – автор и соавтор более 200 научных работ и изобретений, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, Государственной премии РФ и премии Ленинского комсомола. А.С. Бугаев избран академиком Российской академии наук 26 мая 2000 года по Отделению информатики, вычислительной техники и автоматизации (информатика).

Раткин Л.С.

Редакция международного научно-технического журнала «Нефтегазопромышленный инжиниринг» сердечно поздравляет с юбилеем академика А.С. Бугаева и желает приумножения учеников научной школы в Московском физико-техническом институте и Институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук!

To the 65th anniversary of academician Alexander S. Bugaev!

Alexander S. Bugaev was born in 1947 in Donetsk region (Gorlovka). In 1971 A.S. Bugaev graduate in 1971 Faculty of physics & quantum electronics of Moscow physical & technical institute (MPTI). Alexander S. Bugaev became candidate of sciences (PhD) in 1974 (Theory of warmed acoustic & electronic appearance in semi-conductors). In 1984 A.S. Bugaev became Doctor of Sciences (Macroscopic theory of cooperation of ultrasonic with the wave impedance of semi-conductors & magnetic dielectric). He became professor at 1987. A.S. Bugaev was elected as a corresponding member of Russian Academy of Sciences March 31, 1994 by Department of informatics, calculating technical and automation (informatics).

Alexander S. Bugaev is well-known specialist in the field of informatics and mathematical modeling of semiconductors & solid state devices for information treatment and components. A.S. Bugaev designed the theoretical bases of warmed acoustic & electronic appearance. He decided the appearance of electronic temperature & acoustic warmed non-stability in semiconductors under ultrasonic waves. Alexander S. Bugaev analyzed the principal features of devices with acoustic transmission, acoustic lines of stop and filters of super-high-frequency. He develops the theory of distribution of acoustic waves in low frequency inner fields. A.S. Bugaev constructs the theory of cooperation of ultrasonic processes with auto-wave systems, waves of electronic plasma and waves of space recharge.

Alexander S. Bugaev became from aspirant to leader of Cathedra of vacuum electronics of Moscow physical & technical institute. Alexander S. Bugaev is also the leader of laboratory of Kotelnikov Institute of Radio Engineering & Electronics of Russian Academy of Sciences. Alexander S. Bugaev prepared 15 candidates of sciences (PhD) and 2 Doctors of Sciences. A.S. Bugaev is a member of Institute of Engineers of radio Electronics & Electro-technical (IEEE). He is the vice-president of Russian scientific & technical society of radio engineering, electronics & communications named after A.S. Popov. He is the member of Scientific Councils of Moscow physical & technical institute and Kotelnikov Institute of Radio Engineering & Electronics of Russian Academy of Sciences. He is the Chairman of Scientific & technical Council for complex expertise of innovation projects of Moscow Government. A.S. Bugaev is the Chairman of 3 dissertation doctor councils and the Chairman of one of Expert Council of Highest Attestation Commission of Ministry for Science & Education of Russian Federation.

Alexander S. Bugaev is the author and coauthor over 200 scientific works. He is laureate of Prize of Russian Government in the field of science & technical, Government prize of Russian Federation and Leinskiy komsomol prize. A.S. Bugaev was elected as an academician of Russian Academy of Sciences May 26, 2000 by the Department of informatics, calculating technical and automation (informatics).

Leonid Rathkeen

Editorial Council and Management Committee of the International scientific and technical journal «Oil & Gas Field Engineering» warmly congratulate academician A.S. Bugaev and wish an enhancement the number of students in Moscow physical & technical institute and Kotelnikov institute of Radio Engineering & Electronics of Russian Academy of Sciences!