

А.А. ТАРАТУХИН, П.Е. ГРИГОРЬЕВ, А.В. ТИШКОВ, Г.А. МУН,  
И.Э. СУЛЕЙМЕНОВ

## ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГРАДИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ

---

*Taratukhin A.A., Grigoriev P.E., Tishkov A.V., Mun G.A., Suleimenov I.E.* **Программно-аппаратный комплекс для измерения градиента концентрации ионов.**

**Аннотация.** Ряд актуальных физико-химических задач в области исследования растворов высокомолекулярных соединений и биофизике требует регистрации пространственного распределения низкомолекулярных ионов в режиме реального времени. В данной статье предложено устройство, позволяющее проводить исследования пространственного распределения низкомолекулярных ионов кондуктометрическим методом, основанным на высокочастотном переключении измерительных электродных пар в режиме искусственной бегущей волны. Описаны технические особенности, преимущества и области применения устройства, а также результаты его тестирования.

**Ключевые слова:** кондуктометр, градиент электрической проводимости, пространственное распределение ионов, неравновесные физико-химические системы.

*Taratukhin A.A., Grigoriev P.E., Tishkov A.V., Mun G.A., Suleimenov I.E.* **Software and Hardware System for Gradient of Ion Concentration Measuring.**

**Abstract.** Several topical physicochemical issues in the area of high-molecular compounds and biophysics requires real-time registration of the spatial distribution of low-molecular ions. A device utilizing conductometric method based on high-frequency electrode pairs switching in traveling wave mode is proposed for the spatial distribution of low-molecular ion study. Technical features, advantages and applications of the device is described. Results of device testing are presented.

**Keywords:** conductometer, gradient of electrical conductivity, spatial distribution of ions, nonequilibrium physicochemical system.

---

**1. Введение.** Измерение электропроводимости достаточно часто используется в лабораторных исследованиях химических и биологических растворов. В ряде случаев измерение электропроводимости в отдельной точке раствора не является достаточным. Для последовательного описания кинетики исследуемого процесса необходимо знать пространственное распределение электропроводимости.

Примером, демонстрирующим актуальность разработки кондуктометров рассматриваемого типа, является изучение процессов, протекающих в источниках энергии нового типа, использующих осмотические явления, протекающих в системах на основе полимерных гидрогелей [1]. В таких системах внешнее воздействие (например, изменение температуры) приводит к изменению степени ионизации геля в соответствии с механизмами, описанными в [2-4]. Вследствие эффекта перераспределения концентрации [5-7], изменение плотности заряда сшитой сетки приводит к вариациям концентрации низкомолекулярных ионов над гелем.

Изменение концентрации низкомолекулярных ионов, в свою очередь вызывает локальное изменение осмотического давления, что и делает возможным преобразование тепловой энергии в энергию движения жидкости внутри контура с распределенным осмотическим давлением [1].

Еще один пример, доказывающий актуальность разработки кондуктометров, обеспечивающих регистрацию пространственного распределения электропроводности раствора, связан со специфическими неравновесными процессами, протекающими в растворах термочувствительных полимеров, обнаруженными недавно [8-10]. В некоторых растворах термочувствительных полимерах, при условии возникновения градиента температуры, могут самопроизвольно развиваться волны нового типа [8]. Такие волны, характеризуются, в частности, возникновением неоднородного распределения электропроводности, что позволяет использовать их как основу для новых сенсорных систем [9] и даже источников энергии [10]. Для возникновения колебаний такого рода важную роль играют неочевидные процессы образования различных супрамолекулярных структур [11-13], что служит дополнительным аргументом в пользу разработки нового измерительного оборудования, ориентированного на эти цели.

Для обоснования актуальности разработки кондуктометра рассматриваемого типа можно отметить также необходимость детального изучения явлений переноса протона от геля донора к гелю-акцептору при дистанционном взаимодействии сшитых сеток, которые также были обнаружены сравнительно недавно [14], явлений, протекающих в дисплейных экранях на основе термочувствительных полимеров [15] и т.д.

Для исследования электропроводимости растворов различных химических соединений (в том числе, высокомолекулярных) часто применяют кондуктометры. Данные приборы, в особенности выпускаемые серийно, как правило, имеют одну-две пары электродов, что позволяет произвести измерение лишь в одной точке раствора.

Поэтому существующие типы кондуктометров не позволяют решить задачу измерения пространственного градиента электропроводимости в полном объеме. Применяемые в лабораторных исследованиях приборы также имеют еще один существенный недостаток – инерционность, что не позволяет их использование в изучении быстро протекающих процессов.

В связи с этим возникла необходимость разработать и изготовить программно-аппаратный комплекс, позволяющий измерять пространственное распределение электропроводности, в котором были бы учтены недостатки, отмеченные выше. Возможности разрабаты-

ваемого комплекса подразумевают также автоматическое измерение быстротечных процессов с погрешностью не более 5-7% и запись результатов в удобном для последующей обработки виде. Прибор должен быть автономным и легким в эксплуатации, иметь минимальные размеры и стоимость, а также возможность подключения к персональному компьютеру по шине USB.

**2. Общие положения комплекса.** Для реализации поставленных задач были проанализированы промышленные образцы различных моделей кондуктометров. Анализ показал отсутствие устройств, позволяющих проводить измерение пространственного градиента кондуктометрическим методом.

Для осуществления измерения градиента электрической проводимости в перечисленных выше целях целесообразно использовать метод прямой кондуктометрии. Предварительные лабораторные тесты показали, что изменение проводимости в тестовых растворах заметно уже на расстояниях порядка 5-10 см. Расстояние между электродами обычно выбирают 1-2 см, то есть для измерения электропроводимости в хорошем разрешении оптимально использовать 9 электродов.

Основное требование, которое предъявляется к кондуктометрической системе рассматриваемого типа, состоит в использовании только одного радиотехнического канала регистрации проводимости для измерений, проводимых в нескольких точках раствора. Это связано, в частности, со значительными трудностями, возникающими при калибровке кондуктометров, особенно при проведении измерений в неравновесных средах. Данное требование удовлетворяется автоматически при использовании радиотехнической схемы, которая состоит из единственного измерительного устройства и набора электродов, последовательно подключающихся к ней с помощью нескольких радиоэлектронных ключей. Условие применимости такой схемы к указанным выше задачам записывается так:

$$T \ll \tau = l/v ,$$

где  $T$  — время подключения измерительного блока к отдельной электродной паре;  $\tau$  — характерное время протекания исследуемых процессов,  $l$  — характерный размер исследуемой системы,  $v$  — характерная скорость движения ионов (0,00045 см/сек для ионов натрия).

На рисунке 1 приведена структурная схема разрабатываемого комплекса.

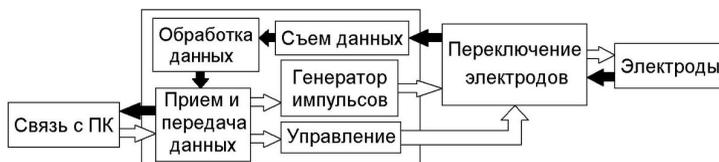


Рис. 1. Структурная схема комплекса

На рисунке 2 изображена аппаратная часть комплекса.

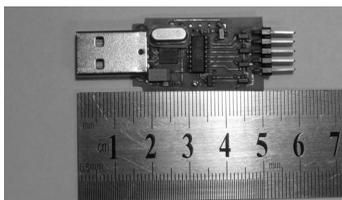


Рис. 2. Аппаратная часть комплекса

Можно выделить четыре блока: связь с ПК, переключение электродов, электроды и блок управления и обработки данных. По своей структуре программно-аппаратный комплекс состоит из двух частей. Принцип действия аппаратной части прибора состоит в следующем. В сосуд с раствором вставляется линейка электродов, состоящая из 9 электродов, равноудаленных друг от друга (рисунок 3).

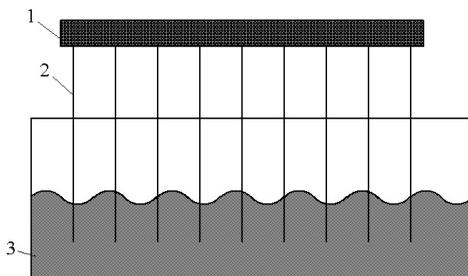


Рис. 3. Расположение электродов. 1 — шина подсоединения электродов, 2 — электроды, 3 — емкость с раствором

Пары электродов поочередно подключаются к генератору импульсного напряжения и устройству, измеряющему падение напряжения на участке между электродами (рабочий объем). Переключение осуществляется в тактируемом режиме с помощью электронных ключей. В первый такт сигнал с генератора подается на 1-й электрод, съем осуществляется со второго; на следующем такте импульсный сигнал подается уже на 2-й электрод, а снимаются данные с 3-го; на третьем

также подключается к генератору 3-й электрод, а 4-й к съемному устройству, и так далее.

Такой режим переключения позволяет использовать один прибор для практически одновременного измерения электропроводности в различных точках пространства, что исключает накопление систематических ошибок. Переключение происходит циклически, т.е. как бы в режиме «бегущей» волны. Каждый электрод одинаковое количество времени имеет положительную и отрицательную амплитуду сигнала с генератора, то есть является электронейтральным, чем исключается какое-либо влияние на раствор и перераспределение концентраций, что позволяет регистрировать пространственное распределение электропроводности при высокой степени синхронизации измерений. Аппаратная часть подключается к персональному компьютеру по шине USB и измеренные данные передаются в специализированную программу.

**3. Электронная схема и программное обеспечение.** Схема программно-аппаратного комплекса приведена на рисунке 4.

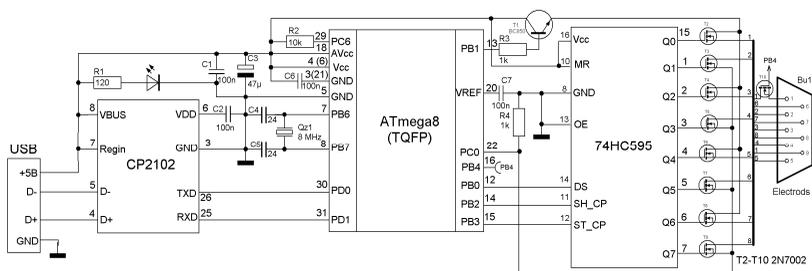


Рис. 4. Схема программно-аппаратного комплекса

Комплекс основан на микроконтроллере ATmega8, в котором программно реализован режим ШИМ (PWM), обладающий базовой частотой 333 Гц. Используется 8-ми битный АЦП (ADC), преобразующий измеряемое напряжение в двоичный код. Схема содержит также блок USART (на схеме – USB), обеспечивающий обмен данными с персональным компьютером. Компонентами схемы также являются микросхема CP2102, представляющая собой преобразователь уровней сигналов USB-UART, микросхема 74HC595 (сдвиговым регистр), служащая совместно с полевыми транзисторами T2-T10 блоком переключения электродов. Микроконтроллер устанавливает на выходах этой микросхемы кодовую последовательность, соответствующую паре электродов необходимую для подключения соответствующего электрода.

Аппаратная часть комплекса тесно связана с программной, так как в схеме отсутствуют кнопки, а все управление производится из про-

граммы. При нажатии соответствующей кнопки в программе она отправляет по каналу USB в микроконтроллер кодовую последовательность, запускающую генератор импульсов, блок переключения электродов и блок съема данных. На микросхеме 74НС595 устанавливается кодовая последовательность, переводящая полевые транзисторы соответствующей пары электродов в открытое состояние. Сигналы ШИМ с вывода РВ1 через полевые транзисторы поступают к электродам, далее проходя через раствор, в зазоре между электродами, происходит падение напряжения, которое фиксируется входом РС0. При помощи АЦП, этот сигнал приобретает кодовую последовательность равную значению этого напряжения и микроконтроллер по каналу USB отправляет его обратно в персональный компьютер. Программа принимает данные, производит вычисление проводимости и записывает результат в таблицу. В этот момент на сдвиговом регистре устанавливается следующая пара электродов. Все повторяется циклично, до тех пор, пока из программы не придет команда запрещающая генерацию импульсов.

Программная часть комплекса была реализована в среде программирования Delphi 7. Снимок экрана программы изображен на рисунке 5.

№	1=2	2=3	3=4	4=5	5=6	6=7	7=8	8=9
1	0,003054054	0,009000000	0,001540983	0,00162711E	0,001767857	0,00142187E	0,00171929E	0,00124637E
2	0,002	0,00689473E	0,00162711E	0,00162711E	0,00198076E	0,00138461E	0,001767857	0,00131343E
3	0,001678571	0,006142857	0,00162711E	0,00158333E	0,00203921E	0,001348484	0,001767857	0,00138461E
4	0,00158620E	0,005818181	0,00167241E	0,00158333E	0,00203921E	0,001348484	0,001767857	0,00142187E
5	0,00154237E	0,005818181	0,00167241E	0,00158333E	0,0021	0,00138461E	0,001818181	0,00142187E
6	0,00154237E	0,00552173E	0,00171929E	0,00158333E	0,0021	0,00138461E	0,001818181	0,001460317
7	0,00154237E	0,00552173E	0,00171929E	0,00158333E	0,0021	0,00138461E	0,001818181	0,001460317
8	0,00154237E	0,00552173E	0,00171929E	0,00158333E	0,0021	0,00138461E	0,001818181	0,001460317
9	0,00154237E	0,00525	0,00171929E	0,00158333E	0,00216326E	0,00138461E	0,00187037E	0,001460317
10	0,0015	0,00525	0,00171929E	0,00158333E	0,00216326E	0,00138461E	0,00187037E	0,001460317
11	0,0015	0,00525	0,00171929E	0,00158333E	0,00216326E	0,00138461E	0,00187037E	0,001460317
12	0,0015	0,00525	0,00171929E	0,00158333E	0,00216326E	0,00142187E	0,00187037E	0,001460317
13	0,0015	0,00525	0,00171929E	0,00158333E	0,00216326E	0,00142187E	0,00187037E	0,001460317
14	0,0015	0,00525	0,00171929E	0,00162711E	0,00216326E	0,00142187E	0,00187037E	0,001460317
15	0,0015	0,00525	0,00171929E	0,00162711E	0,00216326E	0,00142187E	0,00187037E	0,0015
16	0,0015	0,00525	0,00171929E	0,00162711E	0,00216326E	0,00142187E	0,00187037E	0,0015
17	0,00145901E	0,005	0,00171929E	0,00162711E	0,00216326E	0,00142187E	0,00187037E	0,0015
18	0,00145901E	0,005	0,00171929E	0,00162711E	0,00216326E	0,00142187E	0,00187037E	0,0015
19	0,00145901E	0,005	0,00171929E	0,00162711E	0,00216326E	0,00142187E	0,00187037E	0,0015
20	0,00145901E	0,005	0,00171929E	0,00162711E	0,00216326E	0,00142187E	0,00187037E	0,0015

Рис. 5. Снимок экрана программной части комплекса

Программа имеет простой и удобный интерфейс с минимальным количеством необходимых элементов. Для начала работы необходимо в поле Port выбрать виртуальный COM порт к которому подсоединена аппаратная часть комплекса. После чего нажать кнопку «Старт» при этом начнется прием данных с устройства. Эти данные пересчитываются в электрическую проводимость и записываются в таблицу. Ячейки таблицы «1=2» обозначают проводимость между первым и вторым электродами. Программа позволяет сохранить данную таблицу в формате csv, который поддерживается табличными процессорами, например, Excel, для удобства последующей обработки результатов и построения графиков. Это происходит при нажатии на кнопку «Сохранить». Очистить таблицу от значений можно нажав на кнопку «Очистить».

**Заключение.** Результатом проделанной работы является разработанный, изготовленный и протестированный аппаратно-программный комплекс, который может измерять градиент электрической проводимости в реальном времени. Кондуктометр имеет следующие технические характеристики (таблица 1).

Таблица 1. Технические характеристики кондуктометра

Показатель	Значение
Удельная электрическая проводимость	0,001..50 мСм/см
Напряжение питания	5В
Ток потребления	40мА
Время полного считывания	≈ 0,2с
Частота импульсов	333Гц
Погрешность измерений	3-5%

Новизна работы заключается в применении 9-ти электродов для проведения измерений, что позволяет определять градиент электропроводности. Так же прибор подобного класса имеет возможность подключения к компьютеру по каналу USB, отображении данных в реальном времени на экране монитора и автоматическом накоплении результатов в таблице. Все это позволяет в значительной мере упростить работу исследователя по получению и обработке результатов. В разработанном комплексе следует отметить высокую скорость съема данных, отсутствие влияния на происходящие процессы в растворе, высокую степень синхронизации.

Данный комплекс может найти применение для исследования процессов в новых источниках энергии основанных на использовании полимерных гидрогелей, оценки и контроля качества питьевой и технической воды на предприятиях и очистных сооружениях, в отраслях текстильной, пищевой и химической промышленности, для геологических исследований изменения состава подземных вод и смежных отраслях.

## Литература

1. *Mun G.A., Suleimenov I.E., Bakytbekov R.B., Negim E.S.M., Semenyakin N.V., Shalytkova D.B.* Prospects of Using Osmotic Phenomena in Solutions of Thermo-sensitive Polymers to Improve the Efficiency of Internal Combustion Engines // *World Applied Sciences Journal*. 2012. vol. 17(11). pp. 1504-1509.
2. *Ергожин Е.Е., Зезин А.Б., Сулейменов И.Э., Мун Г.А.* Гидрофильные полимеры в нанотехнологии и наноэлектронике // Библиотека нанотехнологии. Алматы-Москва: LEM. 2008. Вып. 1. 216 с.
3. *Dergunov S.A., Mun G.A., Dergunov M.A., Suleimenov I.E., Pinkhassik E.* Tunable thermosensitivity in multistimuli-responsive terpolymers // *Reactive and Functional Polymers*. 2011. vol. 71(12). pp. 1129-1136.
4. *Бектуров Е.А., Сулейманов И.Е.* Полимерные гидрогели // Алматы: Гылым. 1998. 240 с.
5. *Budtova T.V., Suleimenov I.E., Bichutskii D.A., Frenkel S.* Redistribution of low-molecular-mass acid between polyelectrolyte hydrogel and solution // *Polymer science. Series A. Chemistry, physics*. 1995. vol. 37(6). pp. 646-650.
6. *Budtova T.V., Suleimenov I.E., Frenkel S.* A diffusion approach to description of swelling of polyelectrolyte hydrogels // *Polymer science*. 1995. vol. 37(1). pp.10-16.
7. *Budtova T.V., Suleimenov I.E.* Interpolymer complex formation of some nonionogenic polymers with linear and crosslinked polyacrylic acid // *Journal of Polymer Science. Part A: Polymer Chemistry*. 1994. vol. 32(2). pp. 281-284.
8. *Suleimenov I., Mun G., Ivlev R., Panchenko S., Kaldybekov D.* Autooscillations in Thermo-responsive Polymer Solutions as the Basis for a New Type of Sensor Panels // *AASRI Procedia*. 2012. vol. 3. pp. 577-582.
9. *Dolayev M., Obukhova P., Panchenko S., Bakytbekov R.B., Ivlyev R.S., Chezhibayeva K.* The principle of recording information in distributed environments via Suleimenov-Mun's waves // *European Scientific Journal*. 2013. vol. 9(21). URL: <http://eujournal.org/index.php/esj/article/view/1433> (дата обращения 12.11.2014).
10. *Panchenko S.V., Obuhova P.V., Chezhibayeva K.S., Tsoi A.M., Shaikhudinova A.A., Eligbaeva G.A., Dolayev M.* Prospects of Using Waves of Suleimenov-Mun in "Green" Energetics // *World Applied Sciences Journal*. 2013. vol. 22(10). pp. 1460-1464.
11. *Suleimenov I., Shalytkova D., Sedlakova Z., Mun G., Semenyakin N., Kaldybekov D., Obukhova P.* Hydrophilic Interpolymer Associates as a Satellite Product of Reactions of Formation of Interpolymer Complexes // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. vol. 467. pp. 58-63.
12. *Suleimenov I., Güven O., Mun G., Beissegul A., Panchenko S., Ivlev R.* The formation of interpolymer complexes and hydrophilic associates of poly (acrylic acid) and non-ionic copolymers based on 2-hydroxyethylacrylate in aqueous solutions // *Polymer International*. 2013. vol. 62(9). pp. 1310-1315.
13. *Mun G.A., Yermukhambetova B.B., Urkimbayeva P.I., Bakytbekov R.B., Irmukhametova G.S., Mangazbayeva R.A., Suleimenov I.E.* Synthesis and Characterization of Water Soluble and Water Swelling Thermo-sensitive Copolymers based on 2-Hydroxyethylacrylate and 2-Hydroxyethylmethacrylate // *AASRI Procedia*. 2012. vol. 3. pp. 601-606.
14. *Jumadilov T., Yermukhambetova B., Panchenko S., Suleimenov I.* Long-distance Electrochemical Interactions and Anomalous Ion Exchange Phenomenon // *AASRI Procedia*. 2012. vol. 3. pp. 553-558.
15. *Suleimenov I., Semenyakin N., Mun G., Shalytkova D., Panchenko S., Sedlakova Z.* Use of Non-linear Properties of Stimuli-sensitive Polymers in Image Display Systems // *AASRI Procedia*. 2012. vol. 3. pp. 528-533.

## References

1. *Mun G.A., Suleimenov I.E., Bakytbekov R.B., Negim E.S.M., Semenyakin N.V., Shalytkova D.B.* Prospects of Using Osmotic Phenomena in Solutions of

- Thermosensitive Polymers to Improve the Efficiency of Internal Combustion Engines. World Applied Sciences Journal. 2012. vol. 17(11). pp. 1504-1509.
2. Ergozhin E.E., Zezin A.B., Suleimenov I.E., Mun G.A. *Gidrofilnye polimery v nanotekhnologii i nanoelektronike. Biblioteka nanotekhnologii* [Hydrophilic polymers in nanotechnology and nanoelectronics. Library of nanotechnology]. Almaty-Moscow: LEM. 2008. 216 p. (In Russ.).
  3. Dergunov S.A., Mun G.A., Dergunov M.A., Suleimenov I.E., Pinkhassik E. Tunable thermosensitivity in multistimuli-responsive terpolymers. *Reactive and Functional Polymers*. 2011. vol. 71(12). pp. 1129–1136.
  4. Bekturov E.A., Suleimenov I.E. *Polimernye gidrogeli* [Polymer Hydrogels]. Almaty: Gylm. 1998. 240 p. (In Russ.).
  5. Budtova T.V., Suleimenov I.E., Bichutskii D.A., Frenkel S. Redistribution of low-molecular-mass acid between polyelectrolyte hydrogel and solution. *Polymer science. Series A. Chemistry, physics*. 1995. vol. 37(6). pp. 646–650.
  6. Budtova T.V., Suleimenov I.E., Frenkel S. A diffusion approach to description of swelling of polyelectrolyte hydrogels. *Polymer science*. 1995. vol. 37(1). pp. 10–16.
  7. Budtova T.V., Suleimenov I.E. Interpolymer complex formation of some nonionogenic polymers with linear and crosslinked polyacrylic acid. *Journal of Polymer Science. Part A: Polymer Chemistry*. 1994. vol. 32(2). pp. 281–284.
  8. Suleimenov I., Mun G., Ivlev R., Panchenko S., Kaldybekov D. Autooscillations in Thermo-responsive Polymer Solutions as the Basis for a New Type of Sensor Panels. *AASRI Procedia*. 2012. vol. 3. pp. 577–582.
  9. Dolayev M., Obukhova P., Panchenko S., Bakytbekov R.B., Ivlyev R.S., Chezhimbayeva K. The principle of recording information in distributed environments via Suleimenov-Mun's waves. *European Scientific Journal*. 2013. vol. 9(21). Available at: <http://eujournal.org/index.php/esj/article/view/1433> (accessed 12.11.2014).
  10. Panchenko S.V., Obuhova P.V., Chezhimbaeva K.S., Tsoi A.M., Shaikhudinova A.A., Eligbaeva G.A., Dolayev M. Prospects of Using Waves of Suleimenov-Mun in "Green" Energetics. *World Applied Sciences Journal*. 2013. vol. 22(10). pp. 1460–1464.
  11. Suleimenov I., Shaltykova D., Sedlakova Z., Mun G., Semenyakin N., Kaldybekov D., Obukhova P. Hydrophilic Interpolymer Associates as a Satellite Product of Reactions of Formation of Interpolymer Complexes. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. vol. 467. pp. 58–63.
  12. Suleimenov I., Güven O., Mun G., Beissegul A., Panchenko S., Ivlev R. The formation of interpolymer complexes and hydrophilic associates of poly (acrylic acid) and non-ionic copolymers based on 2-hydroxyethylacrylate in aqueous solutions. *Polymer International*. 2013. vol. 62(9). pp. 1310–1315.
  13. Mun G.A., Yermukhambetova B.B., Urkimbayeva P.I., Bakytbekov R.B., Irmukhambetova G.S., Mangazbayeva R.A., Suleimenov I.E. Synthesis and Characterization of Water Soluble and Water Swelling Thermo-sensitive Copolymers based on 2-Hydroxyethylacrylate and 2-Hydroxyethylmethacrylate. *AASRI Procedia*. 2012. vol. 3. pp. 601–606.
  14. Jumadilov T., Yermukhambetova B., Panchenko S., Suleimenov I. Long-distance Electrochemical Interactions and Anomalous Ion Exchange Phenomenon. *AASRI Procedia*. 2012. vol. 3. pp. 553–558.
  15. Suleimenov I., Semenyakin N., Mun G., Shaltykova D., Panchenko S., Sedlakova Z. Use of Non-linear Properties of Stimuli-sensitive Polymers in Image Display Systems. *AASRI Procedia*. 2012. vol. 3. pp. 528–533.

**Таратухин Александр Александрович** — лаборант кафедры медицинской физики и информатики Крымский государственный медицинский университет им.С.И. Георгиевского. Область научных интересов: медицинские приборы, радиотехника, программирование, анализ данных, статистика. Число научных публикаций — 8. taratukhinalexandr@gmail.com; бульвар Ленина 5/7, Симферополь, 95006, Россия; р.т. +38 (0652) 554 770.

**Taratukhin Alexandr Alexandrovich** — laboratory assistant Department of Medical Physics and Informatics of Crimea State Medical University named after S.I. Georgievsky. Scientific interests: medical devices, radio engineering, programming, data analysis, statistics. The number of publications — 8. taratukhinalexandr@gmail.com; Lenin B., 5/7, Simferopol, 95006, Russia; office phone +38 (0652) 554 770.

**Григорьев Павел Евгеньевич** — д-р биол. наук, доцент, заведующий кафедрой медицинской физики и информатики Крымский государственный медицинский университет имени С.И. Георгиевского. Область научных интересов: системный подход в междисциплинарных исследованиях, моделирование психики. Число научных публикаций — 140. mhnty@yandex.ru, <http://www.csmu.edu.ua>; бульвар Ленина 5/7, Симферополь, 95006, Россия; р.т. +38 (0652) 554 770.

**Grigoriev Pavel Yevgenievich** — Ph.D., Dr. Sci., associate professor, head of department of medical physics and informatics, Crimea State medical university named by S.I. Georgiyevskiy. Scientific interests: system approach in interdisciplinary researches, modelling of human behaviour. The number of publications — 140. mhnty@yandex.ru, <http://www.csmu.edu.ua>; Lenin B., 5/7, Simferopol, 95006, Russia; office phone +38 (0652) 554 770.

**Тишков Артем Валерьевич** — докторант, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), заведующий кафедрой физики, математики и информатики, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им.И.П. Павлова (ПСПбГМУ им.И.П.Павлова). Область научных интересов: анализ биомедицинских данных, поддержка принятия решений в медицине, программно-аппаратные средства в корпоративных медицинских информационных системах. Число научных публикаций — 62. artem.tishkov@gmail.com; ул.Льва Толстого 6-8, 197022, Санкт-Петербург, РФ; р.т. +79219529185.

**Tishkov Artem Valer'evich** — Ph.D., postdoctoral researcher. St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences (SPIIRAS), head of department Department of Physics, Mathematics and Informatics, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University. Scientific interests: biomedical data analysis, decision support in medicine, hardware and software for corporate medical information systems. The number of publications — 62. artem.tishkov@gmail.com; 6-8 Lev Tolstoy street, 197022, St. Petersburg, Russia; office phone +79219529185.

**Мун Григорий Алексеевич** — д-р хим. наук, заведующий кафедрой химии и технологии органических веществ, природных соединений и полимеров, Казахский национальный университет имени Аль-Фараби. Область научных интересов: химия и технология полимеров. Число научных публикаций — 450. mungrig@yandex.ru, <http://kaznu.kz/>; пр. Аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан, 295006; р.т. 393-19-12.

**Mun Grigoriy Alekseyevich** — Ph.D., Dr. Sci., head of department of chemistry and technology of organic substances, natural compounds and polymers, Kazakh National University named by Al-Farabi. Scientific interests: chemistry and technology of polymers. The number of publications — 450. mungrig@yandex.ru, <http://kaznu.kz/>; Al-Farabi Pr., 71, Almaty, Kazakhstan, 295006; office phone 393-19-12.

**Сулейменов Ибрагим Эсеневич** — д-р хим. наук, заведующий лабораторией нанозлектроники, Алма-атинский институт энергетики и связи. Область научных интересов: нанотехнологии. Число научных публикаций — 220. esenyeh@ya.ru, <http://www.aipet.kz>; 050013, Алматы, Байтурсынова 126, корпус "Б", Казахстан; р.т. +7 777 295 29 19.

**Suleimenov Ibrahim Esenovich** — Ph.D., Dr. Sci., head of Laboratory of nanoelectronics Almaty Institute of Energy and Communications. Scientific interests: nanotechnology. The number of publications — 220. esenyeh@ya.ru, <http://www.aipet.kz>; 050013, Almaty, Baitursynov 126, Building "B"; office phone +7 777 295 29 19.

## РЕФЕРАТ

*Таратухин А.А., Григорьев П.Е., Тишков А.В., Мун Г.А., Сулейменов И.Э.* **Программно-аппаратный комплекс для измерения градиента концентрации ионов.**

В статье предложен кондуктометрический метод исследования пространственного распределения низкомолекулярных ионов, основанный на высокочастотном переключении измерительных электродных пар в режиме искусственной бегущей волны. Необходимость такого исследования обусловлена задачами, возникающими, в частности, при исследовании электрофоретических процессов, протекающих в источниках энергии нового типа, основанных на использовании полимерных гидрогелей, которые требуют регистрации пространственного распределения низкомолекулярных ионов в режиме реального времени.

Реализован программно-аппаратный комплекс, представляющий собой работоспособный многоканальный кондуктометр, обеспечивающий регистрацию пространственного профиля электропроводности сравнительно простыми схемотехническими средствами. Подробно описан принцип действия программно-аппаратного комплекса. Приведено схематическое решение и снимок экрана программного обеспечения.

Технические характеристики прибора: удельная электрическая проводимость 0,001..50 мСм/см, напряжение питания 5В, ток потребления 40 мА, время полного считывания 0,2с, частота импульсов 333Гц, погрешность измерений 3-5%.

Новизна работы заключается в применении 9-ти электродов для проведения измерений, что позволяет определять градиент электропроводности. Так же прибор подобного класса имеет возможность подключения к компьютеру по каналу USB, отображении данных в реальном времени на экране монитора и автоматическом накоплении результатов в таблице. Комплекс обладает высокой скоростью съема данных, не влияет на происходящие процессы в растворе, имеет высокую степень синхронизации.

## SUMMARY

*Taratukhin A.A., Grigoriev P.E., Tishkov A.V., Mun G.A., Suleimenov I.E.*  
**Software and Hardware System for Gradient of Ion Concentration Measuring.**

The article suggests a method for the conductometric studies of the spatial distribution of low-molecular ions, based on the high-frequency switching measure electrode pairs in traveling wave mode. The need for such studies is due to problems that arise in particular in the study of electrophoretic processes in new types of energy sources based on the use of polymer hydrogels which requires registration of the spatial distribution of the low molecular weight ions in real time.

Implemented in software and hardware multi-channel conductometer provides registration of the spatial profile of the electrical conductivity of a relatively simple circuit design. Described in detail the principle of operation of software and hardware system. Circuit diagram of the device and screenshot of the software are presented.

Technical specifications of the device: conductivity 0.001..50 mS/cm, voltage 5V, current consumption 40 mA, read out time 0.2s, frequency 333 Hz, error 3-5%.

The novelty of the work lies in the use of 9 electrodes for measurement, which allows to determine the conductivity gradient. Such a device can be connected to a computer via USB, the data is displayed in real time on the screen, results are automatically accumulated in a table. The device has high speed of data acquisition, no effect on the processes occurring in the solution, a high degree of synchronization.