

ISSN-1682-0533

Научно-Техническое Общество «КАХАК»

# ИЗВЕСТИЯ

Научно-Технического Общества «КАХАК»

2014, № 4 (47)

Алматы, 2014

# ИЗВЕСТИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА «КАХАК»

Алматы, 2014 г., № 4 (47)

Журнал выходит с 1998 г.  
Периодичность – 4 номера в год

## Редакционная коллегия:

академик НАН РК Амербаев В.М. (Москва, РФ), д.т.н., профессор Бияшев Р.Г.;  
д.с.-х.н. Кан В.М.; академик НАН РК Мукашев Б.Н.;  
д.х.н., профессор Мун Г.А. (*заместитель главного редактора*),  
заслуженный деятель науки и техники РК, д.т.н., профессор Пак И.Т. (*главный редактор*),  
член-корреспондент РАН Сон Э.Е. (Москва, РФ), д.м.н., профессор Цой О.Г.;  
д.т.н., профессор Цой С.В.; д.т.н. Хацкевич В.Х. (Нью-Йорк, США);  
Ph.D. Kim Byung-Soo (Сеул, Республика Корея); к.т.н. Ким Н.Х.;  
д.х.н., профессор Ю В.К. (ответственный секретарь),  
к.х.н. Югай О.К. (зам. ответственного секретаря)

*Адрес редколлегии и редакции: 050010, г. Алматы, ул. Пушкина, 125, к. 108.  
Телефон 8-(727)-2727902, 2916069*

Журнал зарегистрирован в Министерстве культуры, информатики и общественного согласия Республики Казахстан: Свидетельство № 1561-ж от 3 ноября 2000 г.

© Научно-Техническое Общество «КАХАК»

**В данном номере журнала представлены избранные доклады конференции  
«Проблемы эволюции сложных систем»  
ПЭСС - 2014**

Организаторы конференции:

- ОО «Ассоциация инновационно-технологического развития», г. Севастополь, РФ,
- Национальная инженерная Академия Республики Казахстан, г. Алматы, РК,
- Севастопольский национальный технический университет, г. Севастополь, РФ,
- НТО «КАХАК», г. Алматы, РК.

В качестве основной цели конференции рассматривалось создание платформы для междисциплинарной кооперации в области теоретических и экспериментальных исследований неравновесных систем различной природы, а также процессов эволюции, протекающих в таких системах.

Председатель организационного комитета – д.х.н., проф., акад НИА РК Г.А. Мун (Казахстан)

Председатель программного комитета – д.т.н., проф. А.П.Фалалеев (Россия)

Конференция проходила в г. Ялта, Россия, в период с 2 по 7 августа 2014 г.

По результатам конференции принято решение о проведении следующей конференции ПЭСС – 2015 в августе 2015 г.

Предполагаемое место проведения ПЭСС-2015 – г. Севастополь, РФ.

СОДЕРЖАНИЕ

<b><u>ОБЗОР</u></b>	<b>Стр.</b>
<b>ЭВОЛЮЦИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ</b>	<b>6</b>
<i>Сулейменов И.Э., Панченко С.В., Сулейменова К.И.</i>	
<b>МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ НА ЭВОЛЮЦИЮ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ</b>	<b>18</b>
<i>Байпакабаева С.Т., Григорьев П.Е., Шалтыкова Д.Б., Панченко С.В., Сулейменов И.Э.</i>	
<b>КОНСТРУКЦИЯ СУДНА НА СОЛНЕЧНОЙ ТЯГЕ С ОСМОТИЧЕСКИМ ДВИГАТЕЛЕМ</b>	<b>22</b>
<i>Мун Г.А., Сулейменов И.Э., Фалалеев А.П., Панченко С.В., Калдыбеков Д.Б., Кабдушев Ш.Б.</i>	
<b>КОНЦЕПЦИЯ ПОТОКОВЫХ РАВНОВЕСИЙ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ: ПРИМЕНЕНИЕ К НЕКОТОРЫМ ЗАДАЧАМ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ</b>	<b>27</b>
<i>Пак И.Т., Сулейменов И.Э., Панченко С.В., Ережеев О.Е.</i>	
<b>THE INFORMATION PROCESSING SYSTEMS BASED ON NEURAL NETWORK PROPERTIES OF HYDROPHILIC POLYMER COMPOSITES</b>	<b>34</b>
<i>Park I.T., Sabyr A.Zh, Suleimenova K.I., Suleimenov I.E.</i>	
<b>ТЕОРИЯ САМОПОДДЕРЖИВАЮЩИХСЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ</b>	<b>39</b>
<i>Пак И.Т., Мун Г.А., Шалтыкова Д.Б., Панченко С.В., Ирмухаметова Г.С., Сулейменов И.Э.</i>	
<b>ХАРАКТЕР КРИЗИСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ РК</b>	<b>48</b>
<i>Пак И.Т., Guichard J.-P., Мун Г.А., Шалтыкова Д.Б., Обухова П.В., Панченко С.В., Жумай И., Мангазбаева Р.А., Сулейменов И.Э.</i>	
<b>НОВЫЕ ОПРЕСНИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ГИДРОФИЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ</b>	<b>52</b>
<i>Мун Г.А., Сулейменов И.Э., Панченко С.В., Сулейменова К.И., Калдыбеков Д.Б., Агибаева Л.Э.</i>	
<b>ТЕОРИЯ ИОННО-ТЕПЛОВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ СИЛЬНО СШИТЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ СЕТОК</b>	<b>57</b>
<i>Сулейменов И.Э., Игликов И.В., Семенякин Н.В., Фалалеев А.П., Шалтыкова Д.Б., Рябцев М.Ю., Абиров Ж.А., Мун Г.А.</i>	
<b>ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГРАДИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ</b>	<b>69</b>
<i>Таратухин А.А., Григорьев П.Е., Саханов Ж.Т.</i>	
<b>DEVELOPMENT OF MATRIX OPTICS METHODS BASED ON</b>	<b>76</b>

**PROJECTIVE GEOMETRY**

*Panchenko S.V., Suleimenov I.E., Shaltykova D.B., Suleymenova K.I.*

**ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТЫ ИОННО-ТЕПЛОВОГО ДВИГАТЕЛЯ  
НОВОГО ТИПА** 83

*Кабдушев Ш.Б., Фалалеев А.П., Сулейменов И.Э., Ирмухаметова Г.С.*

**К ВОПРОСУ О ПРОБЛЕМЕ ПРОИЗВОДСТВА ФЛОТОРЕАГЕНТОВ  
В КАЗАХСТАНЕ** 87

*Мун Г.А., Уткелов Д. Ж., Ермухамбетова Б.Б., Мангазбаева Р.А.,  
Ирмухаметова Г.С.*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНДИКАТОРНЫХ ПАНЕЛЕЙ НА  
ОСНОВЕ ПЛОСКОСТНЫХ СВЕТОВОДОВ** 99

*Семенякин Н.В., Седлакова З., Аманов Т., Сулейменов И.Э.*

**РЕФЕРАТЫ** 113

УДК 621.391.12

## ЭВОЛЮЦИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ

<sup>1</sup> Сулейменов И.Э., <sup>2</sup> Панченко С.В., <sup>1</sup> Сулейменова К.И.

<sup>1</sup> Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup> КазНУ им аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

<sup>3</sup> Университет Бирмингема, Бирмингем, Соединенное Королевство

e-mail: esenyuch@yandex.ru

---

Предложена концепция эволюции сложных систем, основанная на представлениях об относительно самостоятельных информационных объектах – структурах, возникающих в сложных системах произвольной природы, содержащих более трех структурных уровней. Особенностью данных структур является относительно слабая связанность с носителями информации, что позволяет рассматривать эволюционные процессы, протекающие в системах различной природы, с одинаковых позиций.

---

В работах [1,2] была предложена концепция эволюции сложных систем, принципиально отличающаяся от любых моделей, так или иначе восходящих к теории происхождения видов Ч. Дарвина.

В соответствии с этими концепциями считается, что:

- Образование нового качества (в биологии – видообразование) носит мутационный (флюктуационный) характер, то есть новые признаки элементов системы возникают вследствие модификации уже существующих (в биологии – модификации исходного генома) под каким-либо внешним воздействием.

- Мутации носят стохастический характер.

- Мутации, интерпретируемые как благоприятные, закрепляются за счет механизма естественного отбора.

Применительно к задачам общей биологии, дарвинистская точка зрения позволила, как известно, интерпретировать целую совокупность экспериментальных данных. Однако попытки применить эту концепцию к системам иной природы чаще всего сталкивались с непреодолимыми трудностями.

Наглядную иллюстрацию к характеру таких трудностей можно дать, анализируя эволюцию познания в человеческом обществе, более конкретно, процесс инновационного развития. В этой области исследований случайной мутации можно поставить в соответствие появление нового изобретения (научной идеи, концепции и т.д.). Процессу закрепления мутации, очевидно, ставится в соответствие имплементация соответствующей идеи в общую систему научных знаний (внедрение изобретения в практику и т.д.).

Многочисленные работы, в частности [3,4], проведенные в области теории инноваций, однозначно показывают, что наличия «благоприятного признака», т.е. наличия потенциальной высокой отдачи от внедрения изобретения или имплементации научной идеи, отнюдь не достаточно для того, чтобы они действительно оказались воспринятыми. Существует сколько угодно примеров идей и изобретений, о которых говорят, что они обогнали свое время. Более корректно, такие факторы трактуются через понятие информационного сопротивления общества, которое на большей части истории любого

государства оставалось значительным [5,6].

Периоды истории, в течение которых инновационное сопротивление общества существенно понижалось, являются, напротив достаточно редкими, вплоть до того, что используются такие термины как «греческое чудо» [6].

Говоря коротко, наглядные примеры такого рода показывают, что «благоприятный признак» закрепляется только тогда, когда для этого созрели необходимые предпосылки, иначе говоря, *модифицировалась сама система, к которой принадлежит элемент – носитель этого признака.*

Еще одной проблемой, которую не удастся решить в рамках мутационного описания эволюционных процессов, является крайне неравномерный характер эволюции, что характеризуется специальным термином – ароморфоз, т.е. скачкообразные трансформации элементов системы, протекающие практически одновременно.

Эти, равно как и оставшиеся неупомянутыми затруднения мутационных теорий эволюции (в наглядной форме они описаны в [7]) привели к разработке принципиального нового подхода в описанию эволюции сложных систем, основы которого были заложены в [1,2].

В соответствии с этим подходом, во главу угла ставится эволюция системы как таковой. Это предполагает наличие, как минимум, двух стадий эволюции. На первой стадии трансформируется совокупность связей между элементами системы, а сами элементы остаются практически неизменными. (Данная, латентная, стадия интерпретируется через эволюцию аналога нейронной сети, комплементарной рассматриваемой системе.) На второй стадии осуществляется отбор элементов, в наибольшей степени отвечающих новому состоянию системы.

Данный подход первоначально разрабатывался на основе аналогии между обществом и нейронной сетью [8]. В рамках этой аналогии каждому индивиду

в соответствие ставится отдельный нейрон, каналам связи между нейронами – коммуникации между индивидами, а нейронной сети в целом – ноосфера (или социумы, трактуемые как ее относительно самостоятельные фрагменты).

На основе этой аналогии удалось продемонстрировать, что помимо личностного уровня переработки информации в обществе существует и над-личностный [5]. Несколько упрощая, наряду с той информацией, носителем которой является индивид, существует и информация, носителем которой является вся сеть в целом. Последняя только очень опосредованно связана с памятью собственно индивидов и определяется преимущественно характером совокупности межличностных коммуникаций. (Уместно напомнить, что в процессе обучения нейронной сети изменяются весовые коэффициенты, характеризующие связи между нейронами, а характеристики последних остаются неизменными [9].)

Более того, функционирование нейронной сети может быть обеспечено и тогда, когда существенная часть ее элементов выходит из строя [9], что еще раз подчеркивает существование информационного уровня, ассоциированного с системой (нейронной сетью) в целом.

Есть все основания полагать [5], что именно над-личностный уровень переработки информации отвечает за феномен коллективного бессознательного, многие проявления этнической идентичности и т.д.

В данной работе показано, что этот уровень отвечает за феномен, известный в социологии как «диктат среды», т.е. совокупность слабо выраженных факторов, которые заставляют индивида совершать поступки, в том числе, прямо противоречащие его собственным устремлениям и интересам.

Не будет большим преувеличением сказать, что в системе возникает нечто, в определенном смысле контролирующее и направляющее дальнейшую эволюцию. Этот фактор вполне можно рассматривать

на основании аналогии с представлениями о самоподдерживающихся информационных объектах, понимаемых в духе [7], т.е. как некую совокупность информационных пакетов, в определенном смысле «живущих самостоятельной жизнью» за счет процессов непрерывной передачи информации между элементами системы.

Действительно, такие факторы как «диктат среды» и иные проявления нейросетевых свойств социума, заведомо могут иметь только информационную природу, коль скоро они порождаются не самими элементами, а существующими между ними связями. Корректно говорить о них можно только в рамках диалектического единства и противоположности материального и нематериального: носитель информационного объекта материален, но сам информационный объект представляет собой нечто иное и в этом смысле материальным не является.

Сказанное полностью соответствует одному из основных положений системного подхода: «система есть нечто качественно отличное от совокупности составляющих ее элементов».

Возвращаясь к механизму эволюции сложных систем, предложенному в [1,2], можно сказать так. Первая стадия эволюции, протекающая без изменения свойств элементов системы, отвечает появлению информационного объекта – нового качества, порождаемого трансформацией характера связей между элементами.

На следующем этапе эволюции сформированный информационный объект начинает влиять на поведение системы в целом, «выбирая» элементы, в наибольшей степени отвечающие обеспечению его функционирования и дальнейшего развития. Разумеется, говорить об осознанности такого выбора и/или целеполагании в той или иной форме говорить не приходится, информационный объект просто создает условия для преимущественного размножения элементов с соответствующими характеристиками.

Представления о самоорганизующихся информационных объектах, разумеется, проще всего было развить, отталкиваясь от анализа социальных явлений, где достаточно отчетливо прослеживаются макроскопические/коллективные эффекты различного характера [2,10]. Более того, именно в этой области коллективные эффекты (диктат среды, коллективное бессознательное и т.д.) уже прочно вошли в научную традицию.

Однако, в силу сказанного выше, природа рассматриваемой системы не должна играть определяющую роль для формирования информационного объекта, понимаемого в духе [7]. Именно этот решающий шаг не был сделан в исследованиях, проведенных другими авторами в области трактовки эволюционных процессов.

Вместе с тем, как это и будет показано ниже, информационные объекты могут возникать в системах самой различной, в том числе и физико-химической природы. По существу, доказательство существования и возникновения таких объектов делает предметными представления Д.С.Чернавского о генерации информации [11], а также отвечает на вопрос о том, откуда вообще может появиться наследуемая информация.

Подчеркнем, что именно информационный объект, возникающий в системах физико-химической природы, делает замкнутым анализ эволюционных процессов на основе аналогии сложной системы и нейронной сети. Работы, в которых изучалась эволюция нейронных сетей как таковых, были известны и ранее [12,13], но в них так и не было сформулировано положений, трактующих появление нового качества системы как регулятора трансформаций составляющих ее элементов.

Резюмируя, задачу можно сформулировать следующим образом. Сложная система имеет Представление в информационном пространстве. При определенных условиях в ней происходит качественный переход, в результате которого в Представлении возникает

самоподдерживающийся и самоорганизующийся информационный объект.

Рассмотрим математическую модель, доказывающую существование таких информационных объектов.

Отталкиваясь от сформулированных выше тезисов, можно утверждать, что наблюдать за появлением самоподдерживающегося информационного объекта можно, рассматривая систему любой природы, лишь бы она удовлетворяла определенным критериям «сложности», в первую очередь, обладала бы достаточно высокой плотностью внутренних каналов передачи информации. Коль скоро Представление сложной системы любой природы в информационном пространстве имеет заведомо информационную природу, то и закономерности, описывающие эволюцию этого представления, должны быть сходными.

Поэтому выбор объекта, используемого для конкретизации исследуемых процессов, можно сделать, ориентируясь в основном на соображения наглядности. Исходя из этого, ниже используются модели передачи информации в процессе обучения, которые во многом совпадают с моделями, описывающими продвижение инновационных товаров/услуг на рынок.

Покажем, следуя [14], что с точки зрения математического моделирования задача описания обучения в вузе и задача о продвижении инновационных товаров/услуг на рынок во многом сходны.

В классической модели Басса, а также в современных работах, нацеленных на совершенствование этой модели [15], неявно предполагается, что продвижение товара/услуги на рынок определяется двумя типами информационных воздействий (рекламой и межличностными коммуникациями). Неявно предполагается также, что индивид, получивший информацию о новом товаре/услуге, приобретет его с определенной вероятностью. Можно сказать, что в указанных выше моделях рассматривается двухуровневая система,

один уровень в которой соответствует наличию у потребителя информации о товаре, а второй – ее отсутствию.

В действительности [14], ситуация является несколько более сложной. Мотивирующая информация (т.е. та, которая заставляет сделать приобретение) чаще всего представляет собой информационный пакет, т.е. упрощенного говоря, совокупность некоторых «квантов» информации. (Потребитель вначале получает информацию о существовании товара, потом о его характеристиках, потом о полезности лично для себя.) Иначе говоря, описание информационного воздействия на потребителя должно даваться в рамках многоуровневой системы.

Это говорит о том, что записанное ниже базовое уравнение, вытекающее из модели Басса, и фактически описывающее двухуровневую систему, не в полной мере отражает суть рассматриваемых процессов. Данное уравнение имеет вид

$$\frac{dN}{dt} = \alpha(N_0 - N)N + \beta(N_0 - N), \quad (1)$$

где коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  характеризуют интенсивность информационных воздействий указанных выше типов, определяющих продвижений инноваций на рынок, за  $N_0$  принимается потенциал рынка конкретного товара или услуги,  $N(t)$  - число состоявшихся потребителей в момент времени  $t$ . Член пропорциональный  $\alpha$  характеризует межличностные воздействия, член, пропорциональный  $\beta$  - влияние СМИ и рекламы.

Сходным образом, процесс обучения также может быть разбит на определенные элементарные информационные пакеты (что, собственно, и реализуют программы по любой дисциплине), совокупность которых должна быть усвоена студентом для получения компетенции.

На диаграмме рис.1. такие переходы показаны в виде стрелочек, связывающих

два уровня. На диаграмме показано  $N$  различных ячеек, что соответствует необходимости усвоения  $N$  элементарных информационных пакетов для получения компетенции.

Переходы в рассматриваемых ячейках, очевидно, не являются полностью независимыми. Существует информация, усвоить которую можно только на основе соответствующих сведений, полученных ранее. На схеме рис.2 это показано через определенную траекторию, по которой

элемент системы (студент) должен пройти для достижения компетенции.

Такие траектории, вообще говоря, могут быть различными, что определяется, в том числе, характером взаимной связи между усваиваемой информацией. В частности, может существовать критический уровень, который обязательно должен быть пройден для дальнейшего продвижения (рис.2).

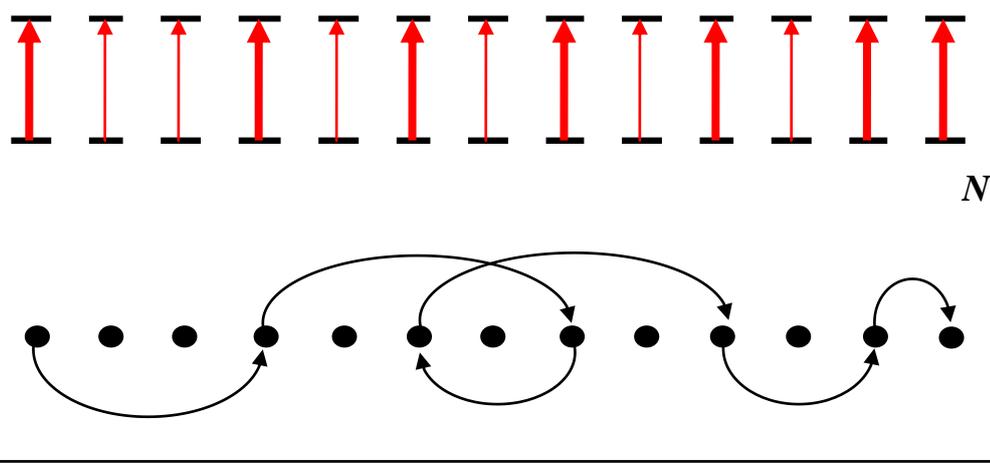


Рисунок 1 – Общая схема формирования результирующего информационного пакета  $N$

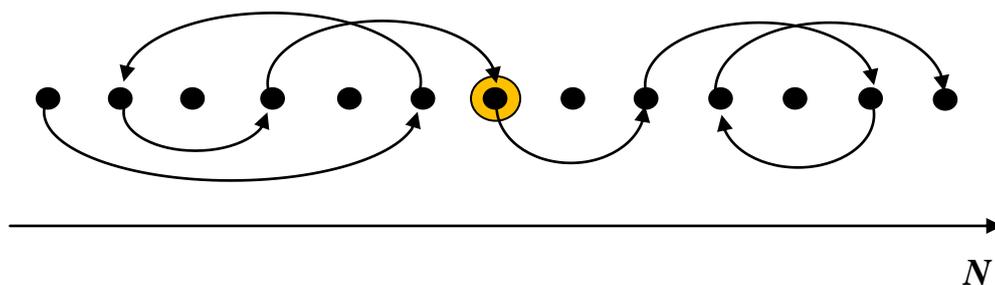


Рисунок 2 – Наличие критического уровня при формировании информационного пакета  $N$

С учетом существования таких узлов, методами теории графов можно показать, что рассматриваемые множества траекторий топологически можно разбить на определенные совокупности двух составляющих. Одна из них представляет собой набор переходов внутри группы независимых двухуровневых систем. Другая представляет собой

последовательность переходов внутри  $K$ -уровневой лестницы (рис.3).

Анализ первой из указанных выше составляющих (независимые переходы в группе двухуровневых систем) не представляет интереса. Новое качество появляется при исследовании  $K$ -уровневой лестницы, содержащей минимум три уровня.

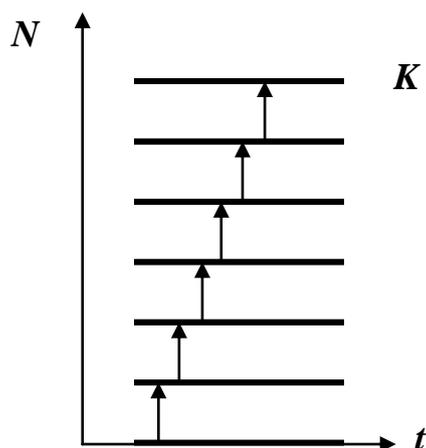


Рисунок 3 – K-уровневая лестница

Система уравнений, описывающая переходы между уровнями в системах рассматриваемого типа в общем случае имеет вид

$$\frac{dN_0}{dt} = -N_0 \sum_{j=1} \alpha_{j0} N_j - \beta_0 N_0 + \frac{1}{\tau_1} N_1 \quad (2)$$

$$\frac{dN_k}{dt} = - \sum_{j=k+1} \alpha_{jk} N_j N_k + \sum_{j=k} \alpha_{jk-1} N_j N_{k-1} - \beta_k N_k + \beta_{k-1} N_{k-1} + \frac{N_{k+1}}{\tau_{k+1}} - \frac{N_k}{\tau_k} \quad (3)$$

$$\frac{dN_K}{dt} = \alpha_{K,K-1} N_K N_{K-1} + \beta_{K-1} N_{K-1} - \frac{1}{\tau_K} N_K, \quad (4)$$

где:

-  $N_k$  – количество элементов системы, достигших уровня  $k$  (студентов, усвоивших определенный объем знаний, потребителей, получивших соответствующую информацию об инновационной услуге и т.д.);

- коэффициенты  $\alpha_{jk}$  отражают информационное воздействие межличностных коммуникаций, обеспечивающее переход между уровнями при получении дополнительных сведений;

- коэффициенты  $\beta_j$  описывают эффективность прямого информационного воздействия на занятиях.

Применительно к процессу обучения такое влияние, описываемое

коэффициентами  $\alpha_{jk}$ , в англоязычной литературе называется peer education.

В уравнениях (2) – (4) также принимается во внимание, что студент (или потребитель) может забыть определенную информацию, т.е. на диаграмме рис.3 имеют место не только прямые, но и обратные переходы, которые описываются членами вида  $N_j/\tau_j$ .

В [14] данная система уравнений анализировалась применительно к частному случаю, в котором определяющую роль играли переходы с нулевого уровня на первый, обусловленные влиянием элементов системы (студентов, потребителей услуги) уже находящихся на этом уровне.

Такой подход применительно к задачам [14] представляется вполне оправданным, особенно в современных условиях, когда

количество студентов, приобретших соответствующую компетенцию и остающихся в стенах вуза, невелико.

Однако, применительно к задачам описания эволюционных процессов, представляется целесообразным рассмотреть также случай, когда определяющее значение имеет воздействие элементов, перешедших в иное качество, что в рамках используемой

упрощенной модели отвечает определяющему воздействию элементов, перешедших на наиболее высокий уровень.

Для случая, когда принимается во внимание влияние только элементов, перешедших на максимально высокий уровень, общая система уравнений (2) – (4) приобретает вид

$$\frac{dN_0}{dt} = -\alpha_0 N_2 N_0 - \beta_0 N_0 + \frac{1}{\tau_1} N_1 \quad (5)$$

$$\frac{dN_1}{dt} = -\alpha_1 N_2 N_1 + \alpha_0 N_2 N_0 + \beta_0 N_0 - \beta_1 N_1 - \frac{1}{\tau_1} N_1 + \frac{1}{\tau_2} N_2 \quad (6)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \alpha_1 N_2 N_1 + \beta_1 N_1 - \frac{1}{\tau_2} N_2 \quad (7)$$

Суммирование соотношений (5) – (7) приводит к результату

$$N_0 + N_1 + N_2 = C, \quad (8)$$

который, выражает постоянство числа элементов системы. Следовательно, рассматриваемая система сводится к двум дифференциальным уравнениям, которые, с учетом (8), можно выбрать, например, так

$$\frac{dN_0}{dt} = -\alpha_0 N_2 N_0 - \beta_0 N_0 + \frac{1}{\tau_1} (C - N_2 - N_0) \quad (9)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \alpha_1 N_2 (C - N_2 - N_0) + \beta_1 (C - N_2 - N_0) - \frac{1}{\tau_2} N_2 \quad (10)$$

Эффективность информационного воздействия на индивида определяется двумя факторами: его собственной восприимчивостью и коммуникационной

активностью того индивида, который оказывает воздействие, что выражается соотношением

$$(\alpha_0, \beta_0) = q(\alpha_1, \beta_1) \quad (11)$$

Для отыскания равновесных (устойчивых) состояний рассматриваемой системы требуется отыскать стационарные точки, которые могут быть найдены из уравнений

$$(\alpha_0 N_2 + \beta_0) N_0 - \frac{1}{\tau_1} N_1 = 0 \quad (12)$$

$$q(\alpha_0 N_2 + \beta_0) N_1 - \frac{1}{\tau_2} N_2 = 0 \quad (13)$$

(при этом, разумеется, нужно принимать во внимание, что узлы, положение которые определяется из этих

уравнений могут быть как устойчивыми, так и неустойчивыми).

Разделив уравнение (1.2.18) на уравнение (1.2.17) почленно, получаем

$$\frac{N_1}{N_0} = \frac{\tau_1}{q\tau_2} \frac{N_2}{N_1} \quad (14)$$

Это позволяет определить коэффициент  $k$ , к отысканию которого, сводится решение рассматриваемой системы уравнений, в соответствии с записью

$$\frac{N_1}{N_0} = \frac{\tau_1}{q\tau_2} \frac{N_2}{N_1} = k \quad (15)$$

На основании (15) можно записать выражения

$$N_1 = kN_0 \quad (16)$$

$$N_2 = \frac{q\tau_2}{\tau_1} k^2 N_0 = q_1 k^2 N_0 \quad (17)$$

где

$$q_1 = \frac{\tau_2}{\tau_1} \frac{\beta_0}{\beta_1} \quad (18)$$

Используя эти соотношения можно получить единственное уравнение на искомый параметр  $k$

$$C\tau_1\alpha_0q_1k^2 + (\tau_1\beta_0 - k)(1 + k + q_1k^2) = 0 \quad (19)$$

Пример семейства зависимостей заселенности верхнего уровня от параметра, характеризующего интенсивность межличностных коммуникаций (более общо – параметра, характеризующего степень коммуникационной связности среды) представлен на рис.4. Расчет произведен на основе решений уравнения (19).

Видно, что при больших значениях параметра  $\beta_0\tau_1$ , характеризующего

интенсивность прямого информационного воздействия, рассматриваемые зависимости оказываются близки к прямолинейным. Этого и следовало ожидать, так как в данном случае переход от уровня к уровню определяется только прямым воздействием и, следовательно, результат слабо зависит от коммуникационной связности среды.

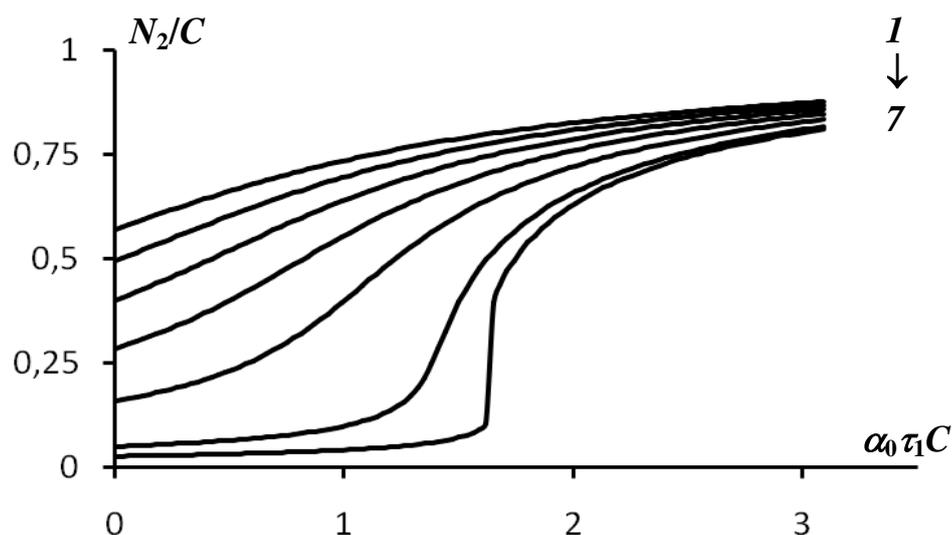


Рисунок 4 – Семейство зависимостей относительной заселенности верхнего уровня  $N_2/C$  от  $\alpha_0 \tau_1 C$  при различных значениях параметра  $\beta_0 \tau_1$ ;  $q_1 = 1,5$ ,  $\beta_0 \tau_1 = 1,2$  (1), 1,0 (2), 0,8 (3), 0,6 (4), 0,4 (5), 0,2 (6), 0,125 (7)

Напротив, при уменьшении эффективности прямого информационного воздействия, исследуемые зависимости становятся резко нелинейными. Еще большее уменьшение параметра  $\beta_0 \tau_1$  приводит к тому, что исследуемая зависимость теряет монотонность (рис.5). Точнее, исследуемые зависимости становятся S-образными. Как известно, именно такие зависимости позволяют интерпретировать существование гистерезисных явлений. (Тем самым, полученный результат показывает, что переход от двухуровневой к трехуровневой системе приводит к нетривиальным нелинейным эффектам.)

Более подробно переход от случая близкого к линейному, к системе, поведение которой полностью определяется нелинейными свойствами,

иллюстрирует рис.6, на котором показаны семейства кривых, отражающих указанный переход.

Рассмотрим систему, точки стационарности которой описываются зависимостью, представленной на рис.5. При небольших значениях параметра  $\alpha_{20} \tau_1 C$  заселенность верхнего уровня остается близкой к нулю и остается таковой при увеличении  $\alpha_{20} \tau_1 C$  до достаточно больших значений. Однако, как только достигает критического значения (точка А на рис.5), система скачком переходит на вышележащую ветвь (точка В на рис.5). Если после этого параметр  $\alpha_{20} \tau_1 C$  вновь уменьшится, то система по-прежнему останется на вышележащей ветви.

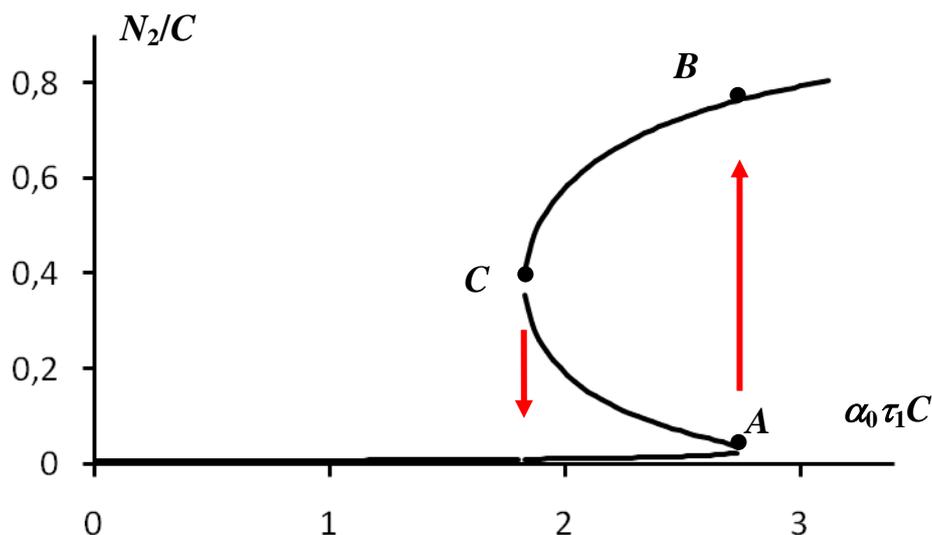


Рисунок 5 – Заселенность верхнего информационного уровня: зависимость параметра  $N_2/C$  от  $\alpha_0 \tau_1 C$  при  $\beta_0 \tau_1 = 0,07$ ,  $q_1 = 1,5$

Полученный результат позволяет, в частности, утверждать, что только небольшое усложнение коммуникационной системы (вместо двух уровней рассматриваются три) позволяет объяснить существование ароморфозов – качественных скачков в развитии системы, подтверждая тем самым гипотезы, сформулированные в [2]. Обратим внимание, что в произведение  $\alpha_0 \tau_1 C$  сомножителем входит полное число элементов в системе. Это означает, что в такой системе может происходить переход из количества в качество, обусловленный просто увеличением размеров популяции.

Полученный результат уместно сопоставить и с результатами, вытекающими из модели Басса, упоминавшейся выше. Как известно, из

этой модели вытекает, что динамика продвижения инноваций описывается логистической кривой. В частности, это означает, что указанная модель не в состоянии объяснить феномен, хорошо известный из торговой практики. Одни фирмы оказываются неспособны к продвижению своих товаров/услуг на рынок, другие – наоборот. В области PR-менеджмента также хорошо известно, что продвижение на рынок вначале требует массивной рекламной кампании, а далее достаточно поддерживать уровень продаж менее затратными средствами. Модель Басса не способна интерпретировать в полной мере также и этот эффект.

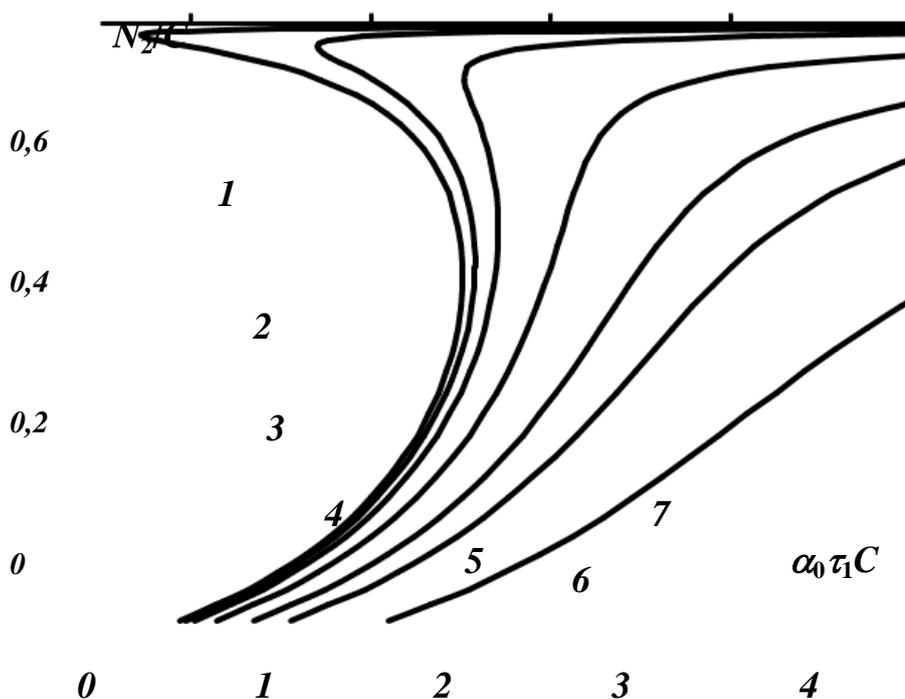


Рисунок 6 – Семейство зависимостей относительной заселенности верхнего уровня  $N_2/C$  от  $\alpha_0 \tau_1 C$  при различных значениях параметра  $\beta_0 \tau_1$ ;  $q_1 = 1,2$ ,  $\beta_0 \tau_1 = 1,2$  (1), 1,0 (2), 0,8 (3), 0,6 (4), 0,4 (5), 0,2 (6), 0,125 (7)

Доказательство существования гистерезисных явлений даже в самых простых коммуникационных системах, обладающими более, чем двумя двух информационными уровнями, позволяет устранить указанный недостаток модели Басса. Инновационный товар/услуга закрепляется на рынке тогда, когда стартовая рекламная кампания обеспечивает преодоление барьера, связанного с гистерезисными явлениями, иллюстрируемыми рис.5 и рис.6. Графически это соответствует переходу через пороговое значение, отвечающее точке А на рис.5. С практической точки зрения это отвечает правильному выбору целевой группы (мишени рекламной информационной атаки), которая по отношению к передаче конкретной разновидности информации обладает нужной степенью коммуникационной связности.

Таким образом, материалы работы показывают, что описание эволюционных процессов может быть дано на уровне весьма простых моделей, при условии, что

рассматриваемая система содержит три или более структурных уровня.

### Литература

1. Suleimenov, I., Panchenko, S. (2013). Non-Darwinists Scenarios of Evolution of Complicated Systems and Natural Neural Networks Based on Partly Dissociated Macromolecules. World Applied Sciences Journal, 24(9), 1141-1147.
2. Suleymenova, K. I., Shaltykova, D. B., Suleimenov, I. E. (2013). Aromorphoses phenomenon in the development of culture: a view from the standpoint of neural net theory of complex systems evolution. European Scientific Journal, 9(19) 840-844.
3. Дежина И.Г. Российская наука как фактор мировой политики // Космополис, 2003, №2. С.43-56.
4. Соболевская А.А., Попов А.К. Постиндустриальная революция в сфере труда. М. ИМЭМО РАН. 2009, 205 с.
5. Yergozhin Ye.Ye., Aryn Ye.M., Suleimenov I.E., Mun G.A., Belenko N.M., Gabrielyan O.A., Park N.T., Negim El-S. M. El-Ash., Suleymenova K.I. Nanotechnology

versus the global crisis / Seoul, Hollym Corporation Publishers, 2010, 300 p.

6. Владимирский Б.М. Космическая погода и глобальные вспышки творческой активности // в кн. Ноосферология: наука, образование практика. Под. ред. Габриелян О.А., Симферополь, 2008, 464 с.

7. Переслегин С.Б. Опасная бритва Оккама. М. Астрель. 2010. 644 с.

8. Сулейменов И.Э., Григорьев П.Е. Физические основы ноосферологии. Алматы – Симферополь, 2008, 158 с.

9. Горбань А.Н., Дунин-Барковский В.Л., Миркес Е.М. и др. Нейроинформатика. Новосибирск: Наука, 1998, 296 с.

10. Сулейменов И.Э., Шалтыкова Д.Б. Идентичность как самоподдерживающаяся информационная структура. Мат. 12-ой Межд. Конф. «Этничность и власть», Украина, Ялта, 20-25 мая 2013 г., С.288-290.

11. Чернавский Д. С. Проблема происхождения жизни и мышления с

точки зрения современной физики //Успехи физических наук. – 2000. – Т. 170. – №. 2. – С. 157-183.

12. Gauci, J., & Stanley, K. O. (2010). Autonomous evolution of topographic regularities in artificial neural networks. *Neural computation*, 22(7), 1860-1898.

13. Stanley, K. O., D'Ambrosio, D. B., & Gauci, J. (2009). A hypercube-based encoding for evolving large-scale neural networks. *Artificial Life*, 15(2), 185-212.

14. Suleimenov I., Shaltykova D., Obukhova P., Stentsova A. Suleymenova K. Quantitative theory of effectiveness of highest education: role of interpersonal communications // *Europ. J. Educat. Sci.* - 2014. -V.1, No.2. - P.171-180.

15. Skiadas C. H., Giovanis A. N., A stochastic Bass innovation diffusion model for studying the growth of electricity consumption in Greece, *Applied stochastic models and data analysis*, 13, 85-101 (1997)

*Поступила 21 мая 2014 г.*

УДК 550.343.6

## МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ НА ЭВОЛЮЦИЮ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

<sup>1</sup>Байпакбаева С.Т., <sup>2</sup>Григорьев П.Е., <sup>1</sup>Шалтыкова Д.Б., <sup>1</sup>Панченко С.В.,  
<sup>1</sup>Сулейменов И.Э.

<sup>1</sup>Алматинский университет энергетики и связи, Казахстан

<sup>2</sup>Крымский государственный медицинский университет имени С.И. Георгиевского, Россия  
e-mail: dina\_65@mail.ru

---

Показано, что нейросетевой механизм эволюции сложных систем, основанный на рассмотрении аналогии между сложной системой произвольной природы и нейронной сетью, позволяет непротиворечиво истолковать механизм воздействия солнечно-земных связей на социально-экономические и, шире, исторические процессы..

---

Вопрос о влиянии солнечно-земных связей на эволюцию социально-экономических систем или, шире, на характер исторических процессов, впервые затронутый в фундаментальных исследованиях А.Л.Чижевского [1,2], до сих пор остается во многом дискуссионным. Попытки внести ясность в этот вопрос предпринимались неоднократно. В частности, известно исследование Б.М. Владимирского [3] в котором на основе обширного исторического материала был дан обзор сведений, отражающих существование выраженных корреляций между космическими факторами и процессами различного рода, протекающими в социуме (от экономических до культурных). В работе [3] так же подчеркивалось, что до сих пор ни в естественных, ни в гуманитарных науках не существует общепризнанной интерпретации наиболее существенных ароморфозов, характерных для мировой истории (осевое время К.Ясперса).

Как было показано в [4,5] такое положение дел, главным образом, связано с тем, что до сих пор не существует общепризнанной интерпретации механизмов влияния космических факторов на процессы, протекающие в социуме.

В данной работе показано, что указанный выше вопрос может быть решен на основе общего нейросетевого механизма эволюции сложных систем, впервые предложенного в [4,5], и основанного на нейросетевой модели ноосферы [6,7].

В соответствии с представлениями [4,5], систему следует интерпретировать как «сложную», при условии, что такой системе можно поставить в соответствие некоторую нейронную сеть. Изначально такая интерпретация была предложена при исследовании систем на основе гидрофильных полимеров [8]. В цитированной работе было установлено, что каждая функциональная группа частично диссоциирующего полимера может рассматриваться как аналог нейрона, состояние выхода которого описывается в терминах двоичной логики (наличие и отсутствие заряда у конкретной группы). Данная интерпретация позволяет, в частности, объяснить нетривиальное поведение специфических супрамолекулярных агрегатов [9,10], формируемых в растворах стимул-чувствительных полимеров и, далее, развить общую концепцию эволюции сложных систем, альтернативную дарвинистской точке зрения.

В соответствии с этой концепцией, на первом этапе эволюции сложной системы имеет место трансформация комплементарной нейронной сети, что физически выражается в изменении структуры связей между элементами системы и не требует изменения свойств отдельных элементов. На втором этапе эволюции рассматриваемая сеть конвертируется в некое подобие фильтра, осуществляющего «выбор» элементов, в наибольшей степени отвечающих новому состоянию системы. Применительно к анализу эволюции макромолекулярных систем такой подход позволяет преодолеть многие принципиальные сложности, присущие теориям, восходящим к концепции Ч.Дарвина.

В упрощенной форме, возникновение генетического кода (или любых других упорядоченных самовоспроизводящихся структур) через случайные мутации требует неоправданно длительного времени. В то же время эволюция, протекающая через над-систему (что математически описывается через существование комплементарной нейронной сети) требует существенно меньших затрат времени, что непосредственно подтверждается данными относительно эволюции надмолекулярных структур, образованных стимул-чувствительными полимерами [9,10].

С использованием нейросетевой модели ноосферы [6], данный подход может быть перенесен на описание эволюции социума и, далее, на сложные системы произвольной природы. Согласно [6,7], ноосфера и/или любой ее относительно самостоятельный фрагмент (социум) может рассматриваться как аналог нейронной сети, при условии, что каждому из индивидов в соответствие ставится отдельный нейрон; роль нервных волокон в такой модели играют межличностные коммуникационные взаимодействия.

В соответствии с этими представлениями [4,5], эволюция человеческих сообществ также протекает по механизмам, альтернативным тем, что основываются на дарвинистской точке зрения. Вначале эволюционирует

объемлющий фрагмент нейронной сети, а затем он начинает «подбирать под себя» составляющие элементы, тем самым делая эволюцию, в известном смысле, направленной, а, следовательно, и существенно более быстрой, чем если бы она определялась только случайными мутациями. Подтверждением данной точки зрения является существование феномена ароморфозов культуры и осевого времени, проанализированных в [3].

Влияние факторов космического происхождения на исторические и/или социально-экономические процессы в рамках такого подхода также получает последовательное истолкование. Действительно, как это отмечалось еще в [11], а также в [6], воздействие низкоэнергетических процессов на процессы, протекающие в социуме, может стать выраженным за счет эффектов синхронизации. (В [11] это было наглядно продемонстрировано на примере изучения статистики суицидов по г. Алма-Ата.) Большинство процессов, протекающих в социуме, протекает по механизмам, не связанным с космическими факторами, однако, слабое внешнее воздействие способно синхронизировать их по времени, что приводит к нетривиальным результатам, особенно в том случае, когда синхронизируемые процессы протекают в системе, являющейся аналогом нейронной сети.

Высказанную точку зрения подтверждают также математические модели, построенные в данной работе. Использовалась искусственная нейронная сеть типа Хопфилда, содержащая от 40 до 80 нейронов, отличающаяся от классической асимметричным характером матрицы весовых коэффициентов. Было показано, что асимметрия матрицы весовых коэффициентов часто приводит к возникновению автоколебаний, которые в общем случае не являются коррелированными друг с другом по частоте и фазе (рисунок 1). Сигнал, равный сумме всех выходных сигналов в такой сети, колеблется вблизи нуля вследствие усреднения. Однако при подаче на все

вход нейронов кратковременного суммарного выходного сигнала  
 синхронизирующего импульса (рис.1) вид существенно меняется.

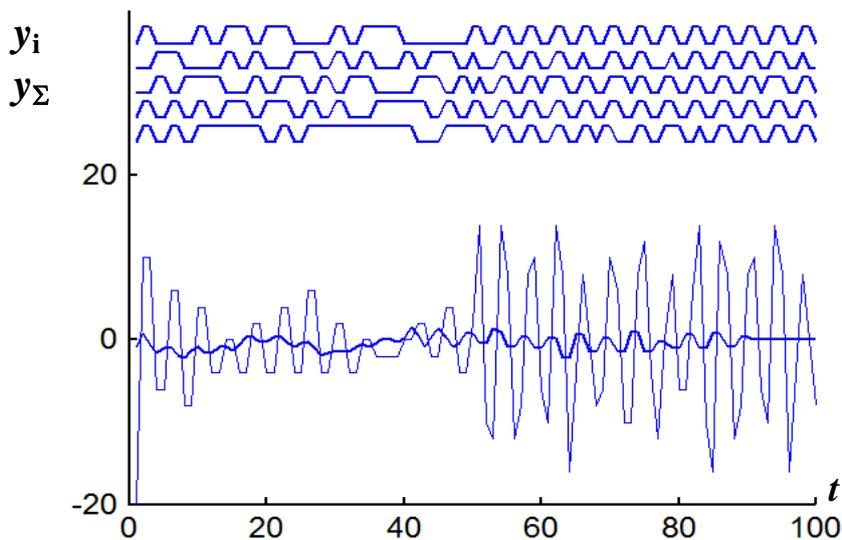


Рисунок 1 – Модельные временные диаграммы  $y_i$  выходов нейронов и усредненная сумма  $y_{\Sigma}$  всех выходных значений (окно усреднения 10)

Представленная модель носит иллюстративный характер, однако она служит аргументом в пользу сделанного выше общего вывода относительно природы воздействия космических факторов на социально-экономические и исторические процессы.

### Литература

1. Чижевский А. Л. (1924). Физические факторы исторического процесса. Калуга, 76с.
2. Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь. – М : Мысль, 1973. – 463 С..
3. Владимирский Б.М. Космическая погода и глобальные вспышки творческой активности // Ноосферология: наука, образование, практика / Под. ред. О.А. Габриелян. – Симферополь, 2008. – 464 с.
4. Suleymenova, K. I., Shaltykova, D. B., & Suleimenov, I. E. (2013). Aromorphoses phenomenon in the development of culture: a view from the standpoint of neural net theory of complex systems evolution. *European Scientific Journal*, 9(19).
5. Suleimenov, I., & Panchenko, S. (2013). Non-Darwinists Scenarios of Evolution of Complicated Systems and Natural Neural Networks Based on Partly

Dissociated Macromolecules. *World Applied Sciences Journal*, 24(9).

6. Сулейменов И.Э., Григорьев П.Е. Физические основы ноосферологии. – Алматы-Симферополь, 2008. – 158 с.

7. Mun, G. A., Negim, E. M., Shaltykova, D. B., Park, I. T., & Suleymenov, I. E. (2013). The Irrational: A View from the Standpoint of Noospherology. *World Applied Sciences Journal*, 22(10).

8. Сулейменов И. Э., Панченко С. В. Макромолекула как нейронная сеть: формирование протокодонных последовательностей // Вестник Алматинского университета энергетики и связи, 2011, №2(13), С.13-18.

9. Suleimenov, I., Güven, O., Mun, G., Beissegul, A., Panchenko, S., & Ivlev, R. (2013). 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* 62(9),1310 – 1315

10. Ергожин Е.Е., Зезин А.Б., Сулейменов И.Э., Мун Г.А. Гидрофильные полимеры в нанотехнологии и наноэлектронике (монография) / Библиотека нанотехнологии, Алматы-Москва: LEM, 2008, 214 с.

11. Дробжев В.И., Намвар Р.А., Сулейменова К.И., Жантаев Ж.Ш., Сулейменов И.Э. Влияние солнечной

активности на долгосрочную статистику смертности при различных патологиях человека // Доклады НАН РК, 2003г, №4.

*Поступила 11 июня 2014 г.*

УДК 544 – 971.62

## КОНСТРУКЦИЯ СУДНА НА СОЛНЕЧНОЙ ТЯГЕ С ОСМОТИЧЕСКИМ ДВИГАТЕЛЕМ

<sup>1,4</sup>Мун Г.А., <sup>2,4</sup>Сулейменов И.Э., <sup>3</sup>Фалалеев А.П., <sup>2</sup>Панченко С.В., <sup>1,4</sup>Калдыбеков Д.Б.,  
<sup>2</sup>Кабдушев Ш.

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Алматинский университет энергетики и связи, Казахстан

<sup>3</sup>Севастопольский национальный университет, Россия

<sup>4</sup>Национальная инженерная академия РК, Алматы, Казахстан

Рассмотрены возможные варианты конструкции судна на солнечной тяге, использующей новые преобразователи тепловой энергии в электрическую и механическую, которые используют явления, протекающих в растворах электролитов. Показано, что разработка такого рода преобразователей может рассматриваться как практическое использование результатов исследований, посвященных установлению механизмов эволюции, предшествовавшей биологической.

В работах [1,2] предложен новый способ утилизации солнечной энергии, основанный на недавно обнаруженном [2] явлении перераспределения концентраций в термической ячейке, к которой два объема, содержащие раствор низкомолекулярной соли, разделены амфотерной мембраной. (Под амфотерной мембраной понимается пластина, проницаемая для ионов обоих знаков заряда, но не проницаемая для растворителя.)

При нагреве одного из объемов такой ячейки возникает разность термодинамических потенциалов, которая приводит к обеднению одного из этих объемов по низкомолекулярной компоненте [2]. Во втором объеме, соответственно, образуется концентрированный раствор.

Используя комбинацию таких термических ячеек и типовых солнечных панелей, можно реализовать комплексную систему утилизации солнечной энергии, которая параллельно вырабатывает деминерализованную воду и электроэнергию. Преимуществом такой системы является, в том числе, непрерывное охлаждение солнечной

панели, что обеспечивает оптимизацию температурного режима ее функционирования.

В то же время, концентрированный раствор, образующийся в ходе эксплуатации данной системы, также может рассматриваться как дополнительный источник энергии. Простейший способ ее утилизации основывается на использовании концентрационных элементов. А именно, из электрохимии хорошо известно, что разность электрохимических потенциалов между двумя растворами одной и той же низкомолекулярной соли может быть преобразована в энергию электрического тока с помощью мембранных технологий.

Однако, это не единственный способ утилизации энергии, запасаемой концентрированным раствором. Действительно, рассмотрим систему, которая содержит образующийся концентрированный раствор, контактирующий с заборной водой через осмотическую мембрану, проницаемую для воды, но не проницаемую для ионов соли. В этом случае вода будет поступать в объем, содержащий концентрированный

раствор, создавая в нем избыточное давление.

Известно, осмотическое давление может достигать значительной величины [3], что позволяет использовать его, в том числе, для обеспечения движения судна. В простейшем случае движение, основанное на использовании осмоса, может обеспечивать реактивной струей, формируемой при сбросе избыточного давления с помощью клапана (имеет место прямая аналогия с движением головоногих моллюсков, что подробнее рассматривается в других материалах конференции ПЭСС – 2014, опубликованных в данном сборнике). Возможность прямого преобразования солнечной энергии в механическую при помощи осмотических явлений подтверждается также данными работы [4].

Удобство использования реактивного двигателя рассматриваемого типа состоит в том, что он может использоваться в прямой комбинации с электродвигателем, подключенным к солнечной батарее, не требуя жесткой синхронизации. Тем самым обеспечивается повышение КПД использования солнечной энергии для судов с солнечной тягой, во-первых, за счет дополнительного двигателя, а, во-вторых, за счет охлаждения непосредственно солнечной панели (за счет работы, затрачиваемой на разделение раствора на низко- и высококонцентрированный).

Существенно, что рассмотрение подобного рода двигателей представляет интерес не только с точки зрения решения конкретных прикладных задач, но и с точки зрения анализа возможных механизмов эволюции, предшествовавшей биологической.

В работе [5] была сформулирована концепция эволюции сложных систем, альтернативная господствующей дарвинистской точке зрения. Эта концепция основана на аналогии между сложными системами и нейронными сетями. В соответствии с нею на первом этапе эволюции трансформируется аналог нейронной сети, сформированный элементами системы, а на втором этапе данный аналог нейронной сети конвертируется в некий «фильтр»

осуществляющий отбор элементов, обладающих свойствами, в наибольшей степени отвечающих новому состоянию системы.

Применительно к целям данной работы, можно утверждать, что концепция [5] рассматривает эволюцию как протекающую «сверху вниз» (по отношению к уровням структурной иерархии сложных систем). Это принципиально отличает ее от концепций, основанных на дарвинистской точке зрения, в соответствии с которой движущей силой эволюции являются случайные мутации, что можно трактовать как эволюция «снизу вверх».

За рамками рассмотрения [5] остался вопрос об обеспечении эволюционирующих систем энергией. А именно, если исходить из предположения, что протобиологические системы эволюционировали по схеме «сверху вниз», то они неизбежно должны были включать в себя некие элементы, позволяющие утилизировать энергию. При этом, строение таких элементов не могло относиться к молекулярному уровню (как это имеет место для современных растений, использующих фотосинтез), так как в соответствии с [5] механизмы утилизации солнечной энергии молекулярного уровня должны относиться к позднейшим этапам протобиологической эволюции.

Осмотические явления, обеспечивающие конвертацию солнечной энергии в другие формы (электрическую, механическую) позволяют сформулировать ряд гипотез, способных истолковать появление элементов энергообеспечения для систем, в которых ее не сформировались механизмы молекулярного уровня организации.

Отталкиваясь от явления, обнаруженного в [1,2], а также от работ [6-12], сразу можно сделать вывод, что в условиях неравномерной освещенности некоторые неоднородные образцы гидрогеля уже представляют собой некий прообраз системы, способной преобразовывать солнечную энергию.

Действительно, рассмотрим образец гидрогеля, синтезированного на основе полиакриловой кислоты, помещенный в

раствор низкомолекулярной соли и неоднородно нагреваемый, скажем, солнечной радиацией. Степень диссоциации геля зависит от температуры, через зависимость константы диссоциации поликислоты от этого параметра [3]. Поэтому между областями геля, имеющими различную температуру, возникнет разность потенциалов. Это связано с тем, что заряд двойных электрических слоев, формируемых на границе геля и раствора, зависит от степени ионизации сетки [6-8]. Более того, между областями, примыкающими к гелю с различной плотностью заряда сетки, возникает и разность осмотических давлений. Это обусловлено тем, что эффект перераспределения концентраций [6,7] приводит к тому, что в локальных объемах раствора, примыкающих к неодинаковым по плотности сеточного заряда образцам гидрогеля, реализуются различные значения концентраций низкомолекулярных ионов.

Соответственно, при неоднородном разогреве даже простейшей системы на основе сшитых сеток в ней могут возникать замкнутые контуры ионных токов и токов жидкости. Энергия этих потоков далее может затрачиваться на обеспечение процессов, обеспечивающих протекание эволюции в соответствии с точкой зрения [5].

Отметим, что возникновение замкнутых токов в системах на основе полимерных гидрогелей также заслуживает рассмотрения с точки зрения возможных конструкций осмотических двигателей, отличающихся от упомянутой выше. В частности, благодаря изменению геометрии образцов гидрогелей под воздействием тока [9,10] (а также при локальном воздействии изменений рН и концентрации низкомолекулярных ионов) допустимо ставить вопрос о разработке биомиметических систем, понимаемых в духе [11], которые также могут быть использованы для обеспечения движения.

Возвращаясь к вопросу о связи преобразователей солнечной энергии и проблем протобиологической эволюции можно отметить, что изменение свойств

гидрогелей под воздействием тока [9,10] способно также стимулировать возникновение более сложных структур. В известном смысле, процессы электрохимической природы, возникающие в самоорганизующихся «батареях» и могут рассматриваться как связующее звено между процессами самоорганизации на макроскопическом и микроскопическом уровнях. Это связано с тем, что электрохимические процессы могут приводить к появлению новых химических соединений, т.е. усложнению исходной структуры. Первым шагом здесь, очевидно, является появление селективной термочувствительности, так как даже сравнительно простое усложнение химического состава полимеров способно приводить высокой степени вариативной реакции на различные внешние воздействия [12,13].

Иными словами, самопроизвольное возникновение источников электричества (пусть и макроскопических) способно существенно стимулировать эволюционные процессы, благодаря появлению естественных механизмов усложнения химической структуры системы.

Разумеется, самопроизвольное возникновение сшитых сеток также является весьма дискуссионным. Однако, нужно принять во внимание, что системы, во многом подобные им по свойствам, могут формироваться и более простым путем. Такими системами являются гидрофильные интерполимерные ассоциаты [14,15], представляющие собой сетки, существующие в динамическом режиме.

Еще один аргумент в пользу возникновения процессов самоорганизации в системах на основе полимеров, в которых развиваются градиенты термодинамических переменных, может быть приведен на основе работ [16-18]. В них было показано, что в системах такого рода могут возникать устойчивые волновые колебания.

Таким образом, вопрос о создании осмотических двигателей, основанных на явлении неоднородного разогрева систем на основе гидрофильных полимеров,

парадоксальным образом оказывается связан с проблемой интерпретации механизмов протобиологической эволюции.

### Литература

1. Suleimenov, I., Falaleev, A., Shaltykova, D., Panchenko, S., & Mun, G. (2014, November). New Thermal Energy Converters Based on Polyelectrolyte Hydrogels. In *Advanced Materials Research* (Vol. 1037, pp. 117-122).
2. Фалалеев, А. П., Сулейменов, И. Э., Рябцев, М. Ю., Авакян, А. Г., Шалтыкова, Д. Б., & Львов, А. В. (2014). Исследование эффективности термодиализа для деминерализации воды. *Вісник СевНТУ. Серія: Механіка, енергетика, екологія*, (147), 172-175.
3. Suleimenov, I. E., Budtova, T. V., Rustemova, E. M., & Bekturov, E. A. (2007). *Problems of physical chemistry of polyelectrolytes*, Almaty (in Russian)
4. Mun, G. A., Suleimenov, I. E., Bakytbekov, R. B., Negim, E. S. M., Semenyakin, N. V., & Shaltykova, D. B. (2012). Prospects of Using Osmotic Phenomena in Solutions of Thermosensitive Polymers to Improve the Efficiency of Internal Combustion Engines. *World Applied Sciences Journal*, 17(11), 1504-1509.
5. Suleimenov, I., & Panchenko, S. (2013). Non-Darwinists Scenarios of Evolution of Complicated Systems and Natural Neural Networks Based on Partly Dissociated Macromolecules. *World Applied Sciences Journal*, 24(9), 1141-1147.
6. Budtova, T. V., Belnikevich, N. G., Suleimenov, I. E., & Frenkel, S. Y. (1993). Concentration redistribution of low-molecular-weight salts of metals in the presence of a strongly swelling polyelectrolyte hydrogel. *Polymer*, 34(24), 5154-5156.
7. Budtova, T. V., Suleimenov, I. E., Bichutskii, D. A., & Frenkel, S. (1995). Redistribution of low-molecular-mass acid between polyelectrolyte hydrogel and solution. *Polymer science. Series A, Chemistry, physics*, 37(6), 646-650.
8. Mun, G., Suleimenov, I., Park, K., & Omidian, H. (2010). Superabsorbent Hydrogels. In *Biomedical Applications of Hydrogels Handbook* (pp. 375-391). Springer New York.
9. Budtova, T., Suleimenov, I., & Frenkel, S. (1995). Electrokinetics of the contraction of a polyelectrolyte hydrogel under the influence of constant electric current. *Polymer Gels and Networks*, 3(3), 387-393.
10. Kudaibergenov, S. E., Sigitov, V. B., Didukh, A. G., Bekturov, E. A., & Suleimenov, I. E. (2000). Behavior of polyelectrolyte gels under the influence of dc electric and magnetic fields. *Polymers for Advanced Technologies*, 11(8-12), 805-809.
11. Мун Г.А., Сулейменов И.Э., Зезин А.Б., Абилов Ж.А., Джумадилов Т.К., Измайлов А.М., Хуторянский В.В. Комплексообразование с участием полиэлектролитов: Теория и перспективы использования в наноэлектронике (монография) / Библиотека нанотехнологии. Выпуск 2. Алматы – Москва-Торонто – Рединг: Изд-во LEM, 2009, 256 с.
12. Dergunov, S. A., Mun, G. A., Dergunov, M. A., Suleimenov, I. E., & Pinkhassik, E. (2011). Tunable thermosensitivity in multistimuli-responsive terpolymers. *Reactive and Functional Polymers*, 71(12), 1129-1136.
13. Mun, G. A., Suleimenov, I. E., Nurkeeva, Z. S., Kudaibergenov, S. E., Nam, I. K., & Kan, V. A. (1998). Effect of the structural inhomogeneity of polyelectrolyte gels on their thermal sensitivity. *Polymer science. Series A, Chemistry, physics*, 40(3), 253-259.
14. Suleimenov, I., Güven, O., Mun, G., Beissegul, A., Panchenko, S., & Ivlev, R. (2013). 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*, 62(9), 1310-1315.
15. Suleimenov, I., Shaltykova, D., Sedlakova, Z., Mun, G., Semenyakin, N., Kaldybekov, D., & Obukhova, P. (2014). Hydrophilic Interpolymer Associates as a Satellite Product of Reactions of Formation of Interpolymer Complexes. *Applied Mechanics and Materials*, 467, 58-63.

16. Suleimenov, I., Mun, G., Ivlev, R., Panchenko, S., & Kaldybekov, D. (2012). Autooscillations in Thermo-responsive Polymer Solutions as the Basis for a New Type of Sensor Panels. AASRI Procedia, 3, 577-582.

17. Dolayev, M., Panchenko, S., Bakytbekov, R., & Ivlyev, R. (2014). The Principle of Recording Information in Distributed Environments via Suleimenov-Mun's Waves. Advanced Materials Research, 875, 642-646.

*Поступила 12 июня 2014 г.*

УДК 621.391.12

## КОНЦЕПЦИЯ ПОТОКОВЫХ РАВНОВЕСИЙ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ: ПРИМЕНЕНИЕ К НЕКОТОРЫМ ЗАДАЧАМ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

И.Т. Пак<sup>1</sup>, И.Э. Сулейменов<sup>1</sup>, С.В. Панченко<sup>1,2</sup>, Д. Бараков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

e-mail: esenych@yandex.ru

Предпринимается попытка дать корректное обоснование для использования понятия «энтропия» применительно к неравновесным стационарным системам. Развиваемый подход применен к конкретной задаче теории массового обслуживания – отысканию наиболее вероятного распределения клиентов по совокупности поставщиков услуг одинакового назначения.

Для описания сложных систем различной природы неоднократно предлагались различные подходы, основанные на аналогиях со статистической физикой [1,2]. Такие подходы часто [1,2] называют энтропийными в силу тесной связи самого понятия «энтропия» с реализацией наиболее вероятного состояния рассматриваемой системы, доказываемой в рамках статистической механики.

Сущность общего подхода к описанию сложных систем, основанного на использовании понятия «энтропия», можно вкратце описать следующим образом [1,2].

Имеется система, обладающая некоторой совокупностью микросостояний, причем подразумевается, что наиболее детальной ее характеристикой является распределение элементов по микросостояниям. Заданными являются параметры системы, характеризующие макросостояние, т.е. относящиеся к системе в целом, но не к отдельным ее элементам. Требуется отыскать распределение элементов системы по микросостояниям.

Для решения этой задачи в рамках энтропийных подходов строится функционал, представляющий собой

зависимость числа способов, которыми может реализовываться конкретное состояние системы (функционал кратности вырождения системы), от функции, описывающей распределение элементов по микросостояниям. Максимум данного функционала, достигаемый при некотором определенном распределении элементов системы, трактуется как наиболее вероятное состояние, а найденное таким способом распределение – как реализующееся на практике. Логарифм кратности вырождения системы, отвечающий наиболее вероятному распределению по микросостояниям трактуется как энтропия сложной системы.

Адекватность такого подхода максимально корректным образом доказана только применительно к кругу задач, решаемых статистической термодинамикой [3], однако, положительные результаты, полученные при применении энтропийного подхода к описанию систем другой природы, действительно позволяют ставить вопрос относительно расширительного толкования его формулировок.

Пример соответствующей постановки задачи рассматривается, в частности, в [4]. В цитированной работе решалась задача

об отыскании распределения автомобильного транспорта в пределах улично-дорожной сети отдельного города. В качестве отдельного микросостояния системы рассматривалась «единица транспортного потока», т.е. автомобиль, движущийся по определенной траектории в пределах улично-дорожной сети. Аналогом параметра «энергия», используемого при построении микроканонического ансамбля в рамках статистической термодинамики, выступало количество горючего, затрачиваемого автомобилем на поездку.

Предполагалось, что интегральные расходы горючего в пределах рассматриваемого города в среднем остаются неизменными (подобно тому, как при отыскании наиболее вероятного состояния термодинамической системы предполагается постоянным значение полной энергии системы частиц). Такой подход позволил ввести понятие потоковой температуры как величины, описывающей равновесие между системами транспортных потоков, а также заложить основы для представлений о потовых равновесиях как таковых. (Подчеркнем еще раз, что аналогичные попытки применения энтропийных методов моделирования сложных систем известны достаточно широко, в том числе, аналогичная формулировка задачи допустима и по отношению к отысканию распределения потоков энергии в электрических сетях [5].)

В данной работе предпринимается попытка дать корректное определение понятие «потоковая энтропия» в применении к некоторым задачам теории массового обслуживания.

Для того, чтобы раскрыть смысл представлений о потоковых равновесиях рассмотрим конкретный модельный пример.

Пусть имеется две сходных системы, каждая из которых характеризуется двумя дискретными состояниями (рис.1). Между двумя данными состояниями реализуется непрерывный поток, в том смысле, что элементы системы (далее – частицы) с определенной частотой переходят с уровня 0 на уровень 1, причем частицы непрерывно подводятся к уровню 0, а покидают систему, находясь как на уровне 0, так и на уровне 1.

Предполагается, что каждая из таких систем находится в стационарном состоянии, т.е. выходные потоки (потоки частиц, покидающих каждую из систем) равны входным. Переход от уровня 0 к уровню 1 осуществляет за счет внешнего воздействия.

Иллюстративным примером такой системы служит, в частности, университет или иное учебное заведение. В этом примере уровням 0 и 1 соответствуют студенты, не получившие и получившие законченную профессиональную подготовку в период обучения. Внешним воздействием в этом примере, очевидно, является работа профессорско-преподавательского состава, качество которой в двух смежных вузах может быть различным. Соответственно, допустимо поставить задачу как будут распределены потоки (т.е. каково будет распределение обучающихся) по двум сходным вузам, отличающимся качеством подготовки.

Именно такие задачи, как будет ясно из дальнейшего, могут решаться в терминах потовых равновесий.

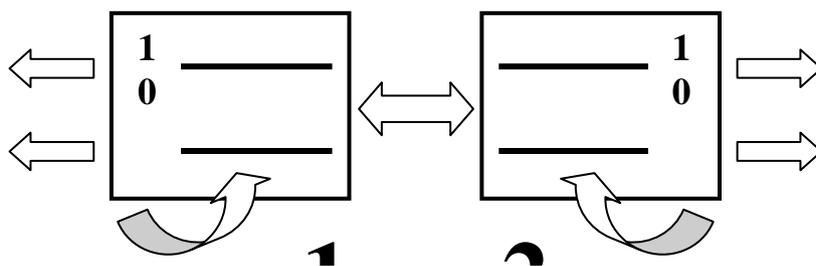


Рисунок 1 – Простейшая схема двух систем, находящихся в потоковом равновесии

Отметим, что более адекватным иллюстративным примером является обучение студента отдельной дисциплине, профессиональные знания по которой рассматриваются, следуя [6], как целостная совокупность информационных пакетов. В этом случае задача об отыскании потокового равновесия может быть поставлена по отношению к двум одинаковым курсам лекций, читаемым двумя преподавателями с неодинаковой эффективностью.

Будем характеризовать внешнее воздействие (в рассматриваемых выше иллюстративных примерах – качество преподавания) через частоту перехода  $\beta_{1,2}$  от уровня 0 к уровню 1 (нижние индексы относятся к номерам двух взаимодействующих систем).

Тогда формально можно записать, что количество «частиц», покидающих систему с верхнего уровня, будет формально определяться потоком, выражаемым как

$$J_{1,2} = \beta_{1,2} N_{1,2}^0, \quad (1)$$

где  $N_{1,2}^0$  - число частиц, относящихся к уровню 0, во взаимодействующих системах 1 и 2, а число частиц, находящихся в рассматриваемых системах на верхнем уровне определяться как

$$N_{1,2}^1 = \beta_{1,2} T_{1,2} N_{1,2}^0, \quad (2)$$

где  $T_{1,2}$  - время пребывания частицы в системе с соответствующим номером.

При условии, что полное число частиц в каждой из рассматриваемых систем известно, элементарные выкладки позволяют определить число частиц, относящихся к каждому из уровней. Однако, такой подход не позволяет описать именно взаимодействие частиц, т.е. возможный эффект перетекания частиц из одной системы в другую.

(Теоретически, в рассматриваемом выше примере студенты должны перетекать в вуз с более высоким качеством профессиональной подготовки.)

Рассмотрим, как для решения этой задачи могут быть применены энтропийные методы.

Для определенности будем рассматривать несколько другой пример, в полной мере отвечающий схеме рис.1 (строго говоря, приток студентов на первый курс заведомо является дискретным по времени, поэтому вероятностное описание применимо к описанию конкуренции между вузами только на очень больших временах усреднения).

Пусть имеется две телефонные компании, обсуживающие абонентов. Будем считать, что стоимость обслуживания для обеих компаний является одинаковыми, равно как и прочие показали за исключением вероятности отказа в установлении соединения. Будем также считать, что время ожидания установления соединения в обоих случаях равно нулю.

Обозначим через  $C_{1,2}$  количество абонентов, обслуживаемых компаниями 1 и 2 одновременно. Примем, что уровню 0 отвечает установление соединения, а уровню 1 – отказ, причем будем считать, что число отказов существенно меньше числа установленных соединений. Используя вероятность отказов  $N_{1,2}^1 = \beta_{1,2} T_{1,2} N_{1,2}^0$ , можно записать очевидное соотношение, аналогичное (1)

$$N_{1,2}^1 = \beta_{1,2} N_{1,2}^0, \quad (3)$$

которое, предполагает, что обрыв установленного соединения может произойти в любой момент времени с фиксированной вероятностью.

Выполняется также условие

$$N_{1,2}^1 + N_{1,2}^0 = C_{1,2}, \quad (4)$$

Записанные соотношения (3) и (4) сами по себе не позволяют решить поставленную задачу, т.е. определить величины  $C_{1,2}$ , для которых выполняется условие

$$C_1 + C_2 = C_0, \quad (5)$$

причем считается, что величина  $C_0$  является постоянной и известной.

Покажем, что она может быть решена при помощи энтропийных методов, упомянутых выше.

Пусть число «частиц» в двух уровневой системе рассматриваемого типа на уровне 0 составляет  $N^0$ . Рассмотрим промежуток времени  $\Delta t$ . За это время уровень 1 будет перенесено  $\beta \Delta t N_0$  частиц.

Подсчитаем, следуя основной идее энтропийных методов, число способов, которыми может реализовываться такое событие. Очевидно, что число таких способов с хорошей точностью совпадает

с числом способов, которыми из совокупности  $N^0$  элементов можно выбрать  $n = [\beta \Delta t N_0]$  частиц, где  $[a]$  - целая часть числа  $a$ . Это число есть

$$C_{N^0}^n = \frac{N^0!}{n!(N^0 - n)!}, \quad (6)$$

Применение энтропийных методов оправдано только в том случае, когда система содержит большое количество частиц. В этом случае допустимо использовать формулу Стирлинга.

$$N! \approx \left(\frac{N}{e}\right)^N \sqrt{2\pi N}, \quad (7)$$

где  $e$  - основание натуральных логарифмов.

Имеем

$$C_{N^0}^n \approx \frac{(N^0)^{N^0}}{n^n (N^0 - n)^{N^0 - n}} \frac{\sqrt{N^0}}{\sqrt{2\pi n (N^0 - n)}}, \quad (8)$$

Рассмотрим теперь две контактирующие системы, полагая, что на нижнем уровне первой из них находится  $N_1^0$  элементов, а на нижнем уровне второй -  $N_2^0$ . За время  $\Delta t$  на верхний уровень первой системы будет перенесено

$n_1 = [\beta_1 \Delta t N_0]$  элементов, а на верхний уровень второй -  $n_2 = [\beta_2 \Delta t N_0]$  частиц.

Число способов (кратность вырождения объемлющей системы  $G(n_1, n_2)$ ), которыми может реализовываться такой перенос, дается произведением

$$G \approx \frac{(N_1^0)^{N_1^0}}{(n_1)^{n_1} (N_1^0 - n_1)^{N_1^0 - n_1}} \frac{\sqrt{N_1^0}}{\sqrt{2\pi n_1 (N_1^0 - n_1)}} \frac{(N_2^0)^{N_2^0}}{(n_2)^{n_2} (N_2^0 - n_2)^{N_2^0 - n_2}} \frac{\sqrt{N_2^0}}{\sqrt{2\pi n_2 (N_2^0 - n_2)}}, \quad (9)$$

так как с каждым из возможных способов реализации определенного состояния первой системы может сочетаться любой из возможных способов реализации соответствующего состояния второй системы. В силу этого общее число реализаций конкретного состояния

объемлющей системы дается произведением числа способов реализаций соответствующих состояний подсистем 1 и 2

$$G(n_1, n_2) = G(n_1)G(n_2), \quad (10)$$

что и выражает формула (9).

Следуя логике статистической термодинамики и в силу того, что логарифм является строго монотонной функцией, вместо кратности вырождения  $G$  можно использовать ее логарифм, трактуемый как энтропия системы.

Кроме того, для любой системы рассматриваемого типа можно считать справедливым следующее неравенство

$$N_{1,2}^0 \gg n_{1,2} \quad (11)$$

Оно выражает тот факт, что в течение малого промежутка времени только небольшая часть элементов системы

может быть перемещена с одного уровня на другой. (Для корректности следует говорить о физически бесконечно малых интервалах; это подразумевает, что за соответствующий интервал времени перемещается достаточно много элементов системы, но с величиной  $\Delta t$  можно обращаться как с дифференциалом.)

Логарифмируя (9) и принимая во внимание (11), получаем

$$\ln G(n_1, n_2) \approx N_1^0 \ln N_1^0 - (N_1^0 - n_1) \ln(N_1^0 - n_1) + N_2^0 \ln N_2^0 - (N_2^0 - n_2) \ln(N_2^0 - n_2), \quad (12)$$

Снова примем во внимание (11). Можно записать

$$\ln(N_{1,2}^0 - n_{1,2}) = \ln N_{1,2}^0 \left(1 - \frac{n_{1,2}}{N_{1,2}^0}\right) = \ln N_{1,2}^0 + \ln \left(1 - \frac{n_{1,2}}{N_{1,2}^0}\right) \approx \ln N_{1,2}^0 - \frac{n_{1,2}}{N_{1,2}^0}, \quad (13)$$

Подставляя (13) в (12), имеем

$$\ln G(n_1, n_2) \approx \frac{n_1}{N_1^0} + n_1 \ln N_1^0 + \frac{n_2}{N_2^0} + n_2 \ln N_2^0, \quad (14)$$

Переходя к интервалу времени  $\Delta t$ , и предполагая, что рассматривается ситуация в которой число отказов в установлении соединения сравнительно невелико, соотношение (14) можно переписать в форме

$$\ln G(n_1, n_2) \approx \Delta t \beta_1 (1 + C_1 \ln C_1) + \Delta t \beta_2 (1 + C_2 \ln C_2), \quad (15)$$

или

$$\ln G(n_1, n_2) \approx \Delta t (\beta_1 C_1 \ln C_1 + \beta_2 C_2 \ln C_2), \quad (16)$$

где снова отброшены слагаемые более высоких порядков малости. Полученный результат, переписанный в форме

$$\frac{d \ln G}{dt} = \beta_1 C_1 \ln C_1 + \beta_2 C_2 \ln C_2, \quad (17)$$

следуя [7,8,9], допустимо трактовать как производство энтропии в

рассматриваемой системе. Данная величина имеет размерность частоты.

По форме соотношение (17) весьма напоминает выражение для энтропии равновесной системы, но оно имеет другой смысл. Прежде всего, оно содержит частотные характеристики системы (вероятности отказов в установлении соединения в единицу времени). Подчеркнем, что производство энтропии в отдельной части объемлющей системы тем больше, чем выше частота перехода (в рассматриваемом для определенности примере – вероятности отказа в установлении соединения).

$$\frac{d \ln G}{dt} = \beta_1 C_1 \ln C_1 + \beta_2 (C_0 - C_1) \ln (C_0 - C_1), \quad (18)$$

Дифференцируя (18) по переменной  $C_1$ , получаем уравнение, которое позволяет отыскать наиболее вероятное состояние объемлющей системы, т.е. переменную  $C_1$ .

$$\frac{\partial}{\partial C_1} \frac{d \ln G}{dt} = \beta_1 (1 + \ln C_1) - \beta_2 (1 + \ln (C_0 - C_1)) = 0, \quad (19)$$

Снова отбрасывая единицу по сравнению с величинами  $\ln C_{1,2}$ , получаем условие равновесия между двумя рассматриваемыми системами

$$\frac{C_1}{C_2} = \exp\left(\frac{\beta_2}{\beta_1}\right). \quad (20)$$

Полученный результат по форме напоминает известное распределение Больцмана, но существенно от него отличается по смыслу. В частности, в итоговое соотношение (20) не входит аналог температуры.

Таким образом, представления о потоковых равновесиях позволяют оценить распределение абонентов по конкурирующим поставщикам телекоммуникационных услуг, по крайней мере, в простейших случаях. Отметим также, что предложенная модель сравнительно просто допускает обобщение на случай неодинаковых стоимостей услуг, на описание конкуренции нескольких компаний и т.д. Кроме того, данная модель применима для описания конкуренции между

Покажем, что соотношение (17) содержательно, а именно, покажем, что оно позволяет решить сформулированную выше задачу – отыскание распределения потребителей услуги (абонентов) по компаниям.

Для этого вернемся к соотношению (5), выражающему постоянство общего числа потребителей. С его помощью (17) можно записать в виде, содержащем единственную переменную, подлежащую отысканию

поставщиками иных разновидностей товаров и услуг, равно как и иных систем, процессы в которых допускают описание через переходы между дискретными уровнями.

## Литература

1. Вильсон А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем: Пер. с англ., М. Мир. 1978. 248 с.
2. Сулейменов И. Байгабулова Ж., Сулейменова К., Дьяченко Е. Основы физики мегаполиса. Алматы. 2007. 167 с.
3. Киттель, Ч. (1977). Статистическая термодинамика. Перевод с англ., М.: Наука. 1977. 336 с.
4. Baigabulova Zh., Suleimenova K., Bekmagambetova J., Suleimenov I. The Ecological And Economic Methods Of Analysis Of The Urban Transport System (2008), The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B8. Beijing, p. 83-88.

5. Zhukov, V. P., Barochkin, E. V., Ulanov, D. A., Ledukhovskii, G. V., & Zubanov, A. A. (2011). Optimal generation and transmission of energy in heat and electric networks. Thermal engineering, 58(8), 629-633.

6. Переслегин С.Б. Опасная бритва Оккама (2008). М. Астроелью 664 с.

7. S. N. Singh and S. B. Tiwari. An Application of Generalized Entropy in

Queueing Theory. Journal of Applied Science and Engineering, Vol. 16, No. 1, pp. 99E103 (2013)

8. Guiasu, S. Maximum Entropy Condition in Queueing Theory. The Journal of the Operational Research Society. Vol. 37, No. 3 (Mar., 1986), pp. 293-301

9. Î. T. Jaynes. Information theory and statistical mechanics I, Phys. Rev., vol. 106, pp.620 -630 1957

*Поступила 10 июля 2014г.*

UTC 541.64

## THE INFORMATION PROCESSING SYSTEMS BASED ON NEURAL NETWORK PROPERTIES OF HYDROPHILIC POLYMER COMPOSITES

<sup>1</sup>Park I.T., <sup>1</sup>Sabyr A.Zh, <sup>2</sup>Suleymenova K.I, <sup>1</sup>Suleimenov I.E.

<sup>1</sup>*Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*Birmingham University, UK*

*e-mail: esenych@yandex.ru*

It is shown that composites based on hydrophilic polymers, which their behavior can be considered through the analogy with neural networks, are promising material for development of new systems of information processing, including signals having non-electrical nature. In the simplest case, the neural network properties of materials of the considered type can be used to create the new types of sensors possessing a threshold dependence on the applied mechanical impact.

### Introduction

In the paper [1] any macromolecule which consists of partially dissociable functional groups is a direct analogue of Hopfield's neuro-processor was described. In this case, the analog of the neuron is a single functional group that can exist at two states – dissociated and non-dissociated. And these two states respond to the logical variables that describe the state of output of the neuron analog. An analogue of signal transmission channel between the neurons is electrical fields generated by functional groups that acquire an electrostatic charge upon dissociation.

The analogy between the neural network and the macromolecule has been used in [1] to explain the mechanism of evolution of complex systems that alternative in terms of Darwin (regarding to social systems the neural network mechanism of evolution has been considered in [2]). However, the question about the technical application of neural network properties of hydrophilic macromolecules and composites based on them was not raised.

In this paper, it is shown that on the basis of neural networks formed by macromolecules due to their own physical and chemical properties, can be implemented the new information processing systems including the signals of non-electrical nature.

### Hydrophobic-hydrophilic balance in macromolecules and neural networks

Analogy between systems based on hydrophilic polymers and neural networks is not exhausted as mentioned above, in which as the neuron acts an individual functional group. Materials of [3-5] as well as general concepts about phase transitions in the solutions of thermo-sensitive polymers [6] allow to state that there is another kind of Hopfield's neuro-processor spontaneously formed by macromolecules, while possessing hydrophilic and hydrophobic functional groups simultaneously.

Solutions of such macromolecules are often stimuli-responsive, i.e. they undergo a phase transition while changing the thermodynamic parameters. Typically, the phase transition is due to a shift of the hydrophilic-hydrophobic balance. If hydrophobic interactions enhanced (for instance, by increasing the temperature), the molecules lose their solubility, which often shown through a sharp turbidity of the solution. In the reverse shift molecules become soluble again [6].

Mechanism of loss of solubility [6] associated with the formation of micelles stabilized by hydrophobic interactions (Fig.1). This figure belongs to the case where functional groups of a polymer are amphiphilic, i.e. depending on the

thermodynamic parameters of the system may exhibit both hydrophobic and hydrophilic

properties.

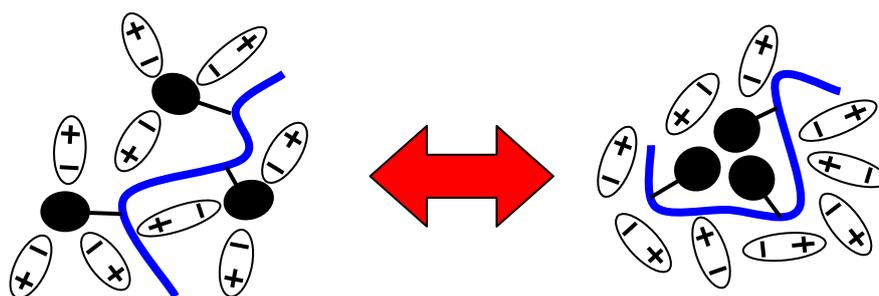


Figure 1. Scheme of micelles formed by a separate fragment of the macromolecular chains at the phase transition.

Figure 1 also emphasizes that during formation of micelles by macromolecular chain fragment a polar solvent (water) releases, which is essential to consider the phenomena of phase transitions in the solutions in terms of the analogy with neural networks.

Let us to divide the macromolecular chain into separate fragments so that the number of groups of fragment equals the number of groups in the micelle. We showed that each such fragment can be considered as an analogue of the neuron, and the solution (and/or the composite containing such macromolecules) as a whole - as an analogue of neural network.

Due to the fact that the phase transition usually occurs in jumps [6], to two states of fragment under consideration can be put two logical variables (0 and 1), respectively. Indeed, considered fragments are actually interactive. Specifically, this interaction is carried out by an exchange of polar solvent molecules. Indeed, as shown by numerous experimental data, for example [7-9], the characteristics of the phase transition (i.e. the conditions of formation of micelles) depend on

the thermodynamic variables. In particular, the change in concentration of the solution results to a shift of phase transition temperature. Therefore, the local change in the concentration of functional groups in the certain area of solution due to the formation of micelles in the other area (as noted above, during the formation of micelles the solvent releases) provides a kind of remote interaction between the fragments that capable to form micelles. Note that different kinds of distant interactions between objects based on hydrophilic polymers, currently are known and monitored, including on macroscopic samples [10].

The existence of remote interaction between micelles, which can be mathematically described through the use of relevant pseudopotentials, makes complete analogy between the neural network and the whole set of the type of macromolecules under consideration. It can be illustrated as in Fig.2 which schematically shown the analogues of neurons that are in states responding to different logical variables.

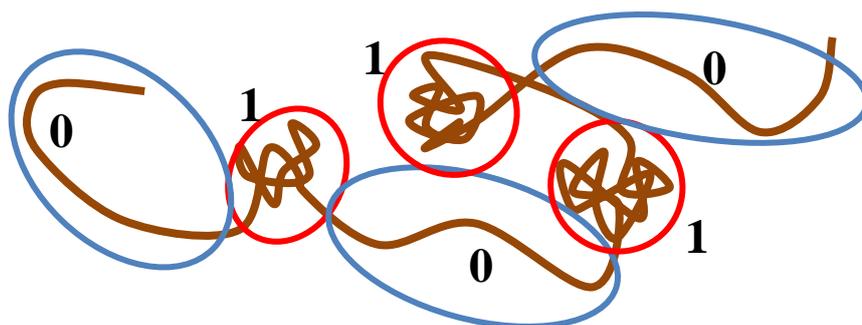


Figure 2 – The scheme initiation of analogue of neural network due to hydrophilic-hydrophobic balance

Of course, the technical use of analogues of neural networks that exist directly in the solution is problematic. However, as shown by numerous experimental data [11-13], the property of thermo-sensitivity (and therefore the ability to form the type intramolecular micelle under consideration) is often kept while the macromolecule is a part of interpolymer complex, stabilized by hydrogen bonds. It should be emphasized that such complexes are formed not only in solution but even when one of the components is a crosslinked polymer network, as well. An example is a complex formed by a crosslinked poly(acrylic acid) and macromolecules of poly(*N*-vinylcaprolactam) in solution.

Therefore, it becomes possible to fix the dimensional position of the macromolecules that form the analogue of neural network by complex formation with a base.

This factor makes it possible to study the considered analogue of neural network by

external impacts. For definiteness, let us to consider the case when the system is used to recognize the acoustic field of a certain configuration.

#### Analogue of neural network based on hydrophilic polymers as selective sensor

Figure 3 shows an example of experimental data related to the macroscopic sample and prove that the stimuli-responsive polymers can possess a pronounced reaction, including, on the change of mechanical pressure. This figure demonstrates the dependence of the degree of swelling of *N*-isopropylacrylamide polymeric hydrogel containing immersed nanoparticles at a concentration of 0.1% on temperature in conditions when the 0.002 kG load is applied to the polymer or not applied. From these figures it can be clearly seen that the application mechanical stress changes the critical temperature of the phase transition.

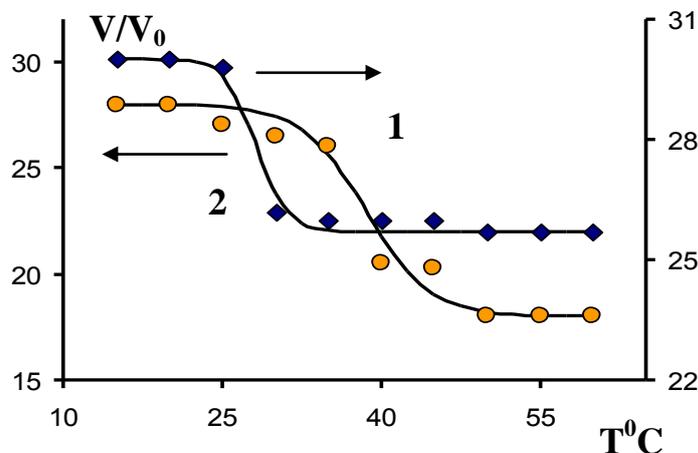


Figure 3 – Effect of applied load on the character of phase transition in gels, immersed silver nanoparticles, 1 – 0.002 kG load, 2 – no load

Presented data, in particular, show that it is possible to select such values of thermodynamic variables at which phase transition occurs due to mechanical pressure applied. We emphasize that the phase transition in crosslinked network is expressed in a change of sample volume (as recorded in the results of the experiments presented in Fig.3), and in the case of linear macromolecules or interpolymer complexes – in loss of solubility. With a glance

of the scaling, it can be shown that the applied load is used in the above mentioned experiments corresponds exactly to the characteristic power of acoustic signal, i.e. calculations show that in a certain range of thermodynamic variables phase transition may be caused by sound.

Consequently, it is possible to implement the following design of selective sensor based

on the use of neural network properties of macromolecules (Fig.4).

On the base made of densely crosslinked network (1) grafted macromolecules of a stimuli-responsive polymer (2). The system is irradiated by an acoustic wave generated by the source (3).

Assuming that layer (2) forms the analogue of neural network, it becomes able to recognize the “image”, i.e. the signal constellation attributable to individual analogues of neurons (in this case – the macromolecules that form layer 2). It should be underlined that the ability to recognize patterns is one of the basic and most well-studied their properties [14]. Such recognition, in particular, allows to restore the

image (a set of signals at the output of the neural network), even in case of heavy distortion. The condition for this is to set up a neural network to the corresponding set of images, which is provided by, for instance, exercise the neural network, i.e. correction matrix weight coefficients, characterizing the degree of influence of neurons on each other with multiple repeated presentation of the original image (and/or their combination).

In the case considered the training can be performed using the same scheme of Fig.4, though the procedure used can be considered on the basis of analogy with the recording of the hologram. It consists of the followings.

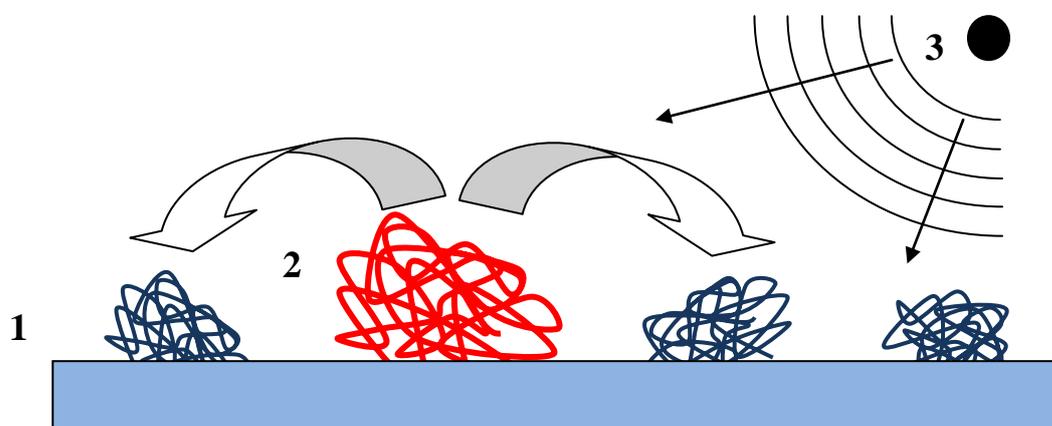


Figure 4. Scheme of work of the selective sensor, 1 – base, 2 – layer of stimuli-responsive macromolecules, 3 – a source of acoustic signal.

At the first step, the system is irradiated by a given configuration of the acoustic field that provides specified distribution of the macromolecules in which the phase transition occurred by area of the sensor. The procedure is repeated several times, with at the last step, it can be used extra crosslinking agents, fixing the resulting distribution of the macromolecules. In the next step the obtained system is used for recognition of the acoustic images. Unlike holograms it consists in the system used is able to recover at the output states that corresponds to the unperturbed field.

### Conclusions

Thus, the analogy between artificial neural networks and some systems based on hydrophilic polymers, originally proposed for the interpretation of the evolution mechanisms

of complex systems, and may have a technical application, as well.

The simplest of such applications related with pattern recognition, generated by signals of non-electrical nature, including their recovery.

### References

1. Suleimenov, I., & Panchenko, S. (2013). Non-Darwinists Scenarios of Evolution of Complicated Systems and Natural Neural Networks Based on Partly Dissociated Macromolecules. *World Applied Sciences Journal*, 24(9), 1141-1147.
2. Suleymenova, K. I., Shaltykova, D. B., & Suleimenov, I. E. (2013). Aromorphoses phenomenon in the development of culture: a view from the standpoint of neural net theory of complex systems evolution. *European Scientific Journal*, 9(19).

3. Suleimenov, I., Shaltykova, D., Sedlakova, Z., Mun, G., Semenyakin, N., Kaldybekov, D., & Obukhova, P. (2014). Hydrophilic Interpolymer Associates as a Satellite Product of Reactions of Formation of Interpolymer Complexes. *Applied Mechanics and Materials*, 467, 58-63.

4. Suleimenov, I., Güven, O., Mun, G., Beissegul, A., Panchenko, S., & Ivlev, R. (2013). 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*, 62(9), 1310-1315.

5. Mun, G. A., Nurkeeva, Z. S., Beissegul, A. B., Dubolazov, A. V., Urkimbaeva, P. I., Park, K., & Khutoryanskiy, V. V. (2007). Temperature-Responsive Water-Soluble Copolymers Based on 2-Hydroxyethyl Acrylate and Butyl Acrylate. *Macromolecular chemistry and physics*, 208(9), 979-987.

6. Bekturov, E. A., & Suleimenov, I. E. (1998). *Polymer Hydrogels*. Gylym, Almaty.

7. Mun, G. A., Nurkeeva, Z. S., Beissegul, A. B., Dubolazov, A. V., Urkimbaeva, P. I., Park, K., & Khutoryanskiy, V. V. (2007). Temperature-Responsive Water-Soluble Copolymers Based on 2-Hydroxyethyl Acrylate and Butyl Acrylate. *Macromolecular chemistry and physics*, 208(9), 979-987.

8. Khutoryanskiy, V. V., Nurkeeva, Z. S., Mun, G. A., & Dubolazov, A. V. (2004). Effect of temperature on aggregation/dissociation behavior of interpolymer complexes stabilized by hydrogen bonds. *Journal of applied polymer science*, 93(4), 1946-1950.

9. Mun, G. A., Nurkeeva, Z. S., Akhmetkalieva, G. T., Shmakov, S. N., Khutoryanskiy, V. V., Cheon Lee, S., & Park, K. (2006). Novel temperature-responsive water-soluble copolymers based on 2-hydroxyethylacrylate and vinyl butyl ether and their interactions with poly (carboxylic acids). *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 44(1), 195-204.

10. Jumadilov, T., Yermukhambetova, B., Panchenko, S., & Suleimenov, I. (2012). Long-distance Electrochemical Interactions and Anomalous Ion Exchange Phenomenon. *AASRI Procedia*, 3, 553-558.

11. Khutoryanskiy, V. V., Cascone, M. G., Lazzeri, L., Barbani, N., Nurkeeva, Z. S., Mun, G. A., & Dubolazov, A. V. (2004). Morphological and thermal characterization of interpolymer complexes and blends based on poly (acrylic acid) and hydroxypropylcellulose. *Polymer international*, 53(3), 307-311.

12. Nurkeeva, Z. S., Mun, G. A., & Khutoryanskiy, V. V. (2003). Interpolymer Complexes of Water-Soluble Nonionic Polysaccharides with Polycarboxylic Acids and Their Applications. *Macromolecular Bioscience*, 3(6), 283-295.

13. Khutoryanskaya, O. V., Mayeva, Z. A., Mun, G. A., & Khutoryanskiy, V. V. (2008). Designing temperature-responsive biocompatible copolymers and hydrogels based on 2-hydroxyethyl (meth) acrylates. *Biomacromolecules*, 9(12), 3353-3361.

14. Wasserman, P. D. (1993). *Advanced methods in neural computing*. John Wiley & Sons, Inc.

*Поступила 10 июня 2014 г.*

УДК 621.391.12

## ТЕОРИЯ САМОПОДДЕРЖИВАЮЩИХСЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ

<sup>1</sup>Пак И.Т., <sup>2</sup>Мун Г.А., <sup>1</sup>Шалтыкова Д.Б., <sup>1,2</sup>Панченко С.В., <sup>2</sup>Ирмухаметова Г.С.,  
<sup>1</sup>Сулейменов И.Э.

<sup>1</sup>Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>КазНУ им аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

e-mail: pak.it@mail.ru

Методом фазовых портретов изучены бифуркации, протекающие в эволюционирующей информационной системе, содержащей три структурных уровня. Выявлены условия, при которых переход к более высокому структурному уровню становится необратимым, что интерпретируется как появление устойчивого относительно самостоятельного информационного объекта.

В работе [1] были получены уравнения, составляющую простейшую математическую модель эволюционирующей системы. Данная модель основывается на представлениях, вытекающих из новой концепции эволюции сложных систем [2,3], принципиально отличающейся от теорий,

основанных на дарвинистской точке зрения. В рамках модели рассматриваются переходы между тремя уровнями системы, причем предполагается, что такие переходы обусловлены информационными воздействиями (рассматриваемая система может быть применена, например, для описания эффективности обучения [4])

$$\frac{dN_0}{dt} = -N_0(\alpha_{20}N_2 + \alpha_{10}N_1) - \beta_0N_0 + \frac{1}{\tau_1}N_1 \quad (1)$$

$$\frac{dN_1}{dt} = -N_1(\alpha_{21}N_2 + \alpha_{11}N_1) + N_0(\alpha_{20}N_0 + \alpha_{10}N_0) + \beta_0N_0 - \beta_1N_1 - \frac{1}{\tau_1}N_1 + \frac{1}{\tau_2}N_2 \quad (2)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = N_1(\alpha_{21}N_2 + \alpha_{11}N_1) + \beta_1N_1 - \frac{1}{\tau_2}N_2 \quad (3)$$

где  $N_k$  – количество элементов системы, достигших уровня  $k$ , коэффициенты  $\alpha_{jk}$  отражают информационное воздействие, обеспечивающее переход между уровнями системы, коэффициенты  $\beta_j$  описывают

эффективность прямого информационного воздействия, обратные переходы описываются членами вида  $N_j/\tau_j$ .

В безразмерной форме уравнения (1) – (3) можно привести к виду

$$\frac{dy_0}{dx} = -\alpha_0\tau_1C y_2y_0 - \beta_0y_0\tau_1 + (1 - y_2 - y_0) \quad (4)$$

$$\frac{\tau_2}{\tau_1} \frac{dy_2}{dx} = Q\alpha_0C\tau_1 y_2(1 - y_2 - y_0) + Q\beta_0\tau_1(1 - y_2 - y_0) - y_2 \quad (5)$$

где  $y_k = \frac{N_k}{C}$ ,  $Q = q \frac{\tau_2}{\tau_1}$ ,  $q_1 = \frac{\tau_2}{\tau_1} \beta_0$ , а

также принято во внимание, что

$$N_0 + N_1 + N_2 = C, \quad (6)$$

Покажем, что скачкообразные изменения состояния рассматриваемой системы, которые были обнаружены в [1], допускают однозначную интерпретацию на языке теории катастроф [5], т.е. речь действительно идет о бифуркациях фазовых портретов, построенных на основе решений уравнений (4) - (5).

Фазовые портреты, рассматриваемые ниже, представляют собой семейство зависимостей одного решения системы двух дифференциальных уравнений от

другого. На таких диаграммах состояние системы в каждый момент времени изображается отдельной точкой, а ее движение вдоль фазовой траектории отражает изменение состояния системы во времени.

Фазовые портреты, в частности, позволяют наглядно продемонстрировать, к какому состоянию придет система при заданных начальных условиях.

Пример фазового портрета рассматриваемой системы при заданной совокупности управляющих параметров представлен на рис.1. Данный фазовый портрет обладает единственной особой точкой, к которой сходятся все фазовые траектории.

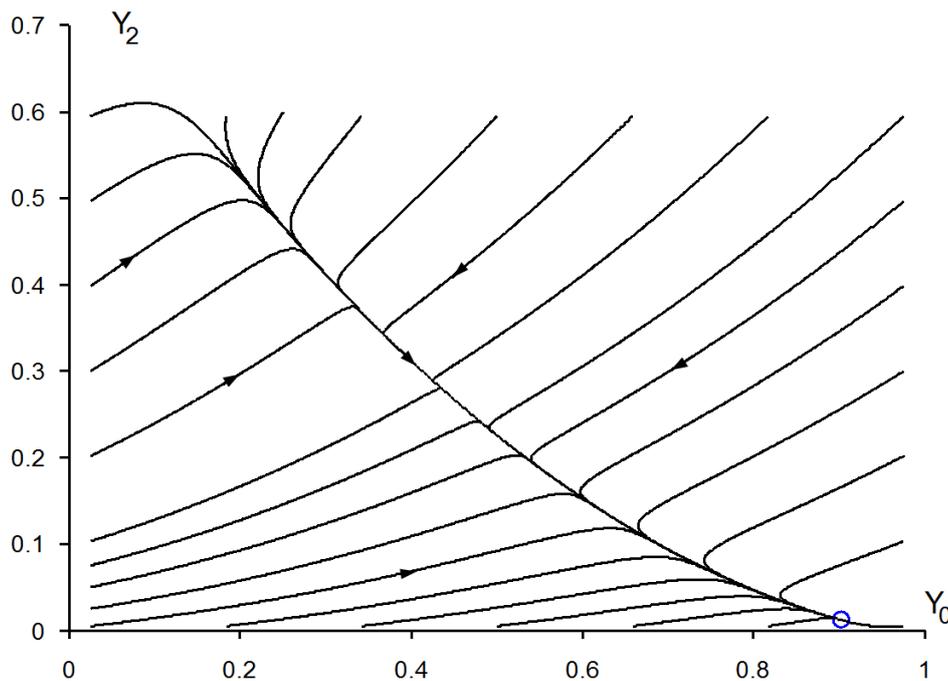


Рисунок 1 – Фазовый портрет системы уравнений (4) – (5) для случая  $\tau_1 = \tau_2$ ;  $\beta_0 \tau_1 = 0,07$ ;  $q_1 = 1,5$ ;  $\alpha_{20} \tau_1 C = 2,08$ .

Видно, что данный узел является устойчивым. Физически это соответствует тому, что из любого начального состояния система придет ко вполне определенному устойчивому состоянию, которое отыскать, приравняв правую часть системы дифференциальных уравнений к нулю. Значения параметров при

построении рис.1 были выбраны так, чтобы они соответствовали начальной области S-образной кривой, в которой система уравнений (4) - (5) имеет единственное решение.

Управляющий параметр  $\alpha_{20} \tau_1 C = 2,08$ , характеризующий коммуникационную связность системы, при построении рис.1

был подобран так, что его небольшое изменение приводит к переходу в область, где система уравнений (4) - (5) имеет три решения.

При увеличении значения этого параметра до  $\alpha_{20} \tau_1 C = 2,09$  фазовый портрет качественно изменяется, т.е. действительно имеет место бифуркация (рис.2). На фазовом портрете рис.2 присутствует три особых точки, две из которых являются устойчивыми узлами, а одна – неустойчивым. Пунктирная линия, которая проходит через неустойчивый узел делит область фазового портрета на две части. Если точка, изображающая состояние системы, изначально находилась выше этой линии, система придет к одному устойчивому узлу, если ниже – к другому.

Характер наблюдаемой бифуркации иллюстрирует также рис.3, на котором представлен увеличенный фрагмент соответствующей области рис.2. А именно,

при увеличении параметра  $\alpha_{20} \tau_1 C$  вначале реализуется система необщего положения, фазовый портрет, которой содержит две особенности, при дальнейшем увеличении указанного параметра новая особенность разделяется на устойчивый и неустойчивый узлы. По мере еще большего увеличения параметра  $\alpha_{20} \tau_1 C$  узлы этой пары (устойчивый и неустойчивый) расходятся все больше и больше, что показывает также рис.4.

Точнее, неустойчивый узел, появившийся вследствие первой бифуркации системы постепенно сближается с узлом, существовавшим до бифуркации, рис.5.

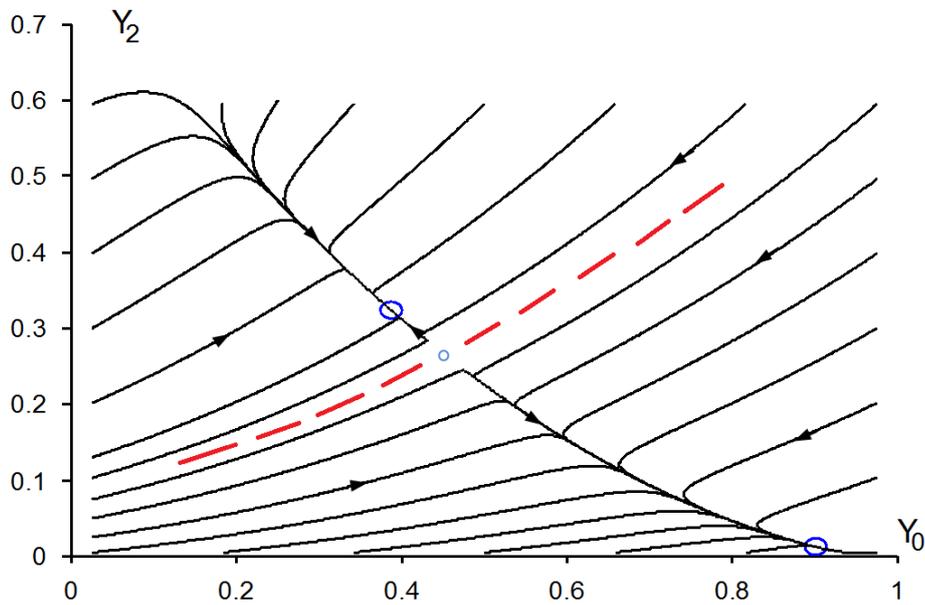


Рисунок 2 – Фазовый портрет системы уравнений (4) – (4) для случая  $\tau_1 = \tau_2$ ;  $\beta_0 \tau_1 = 0,07$ ;  $q_1 = 1,5$ ;  $\alpha_{20} \tau_1 C = 2,09$

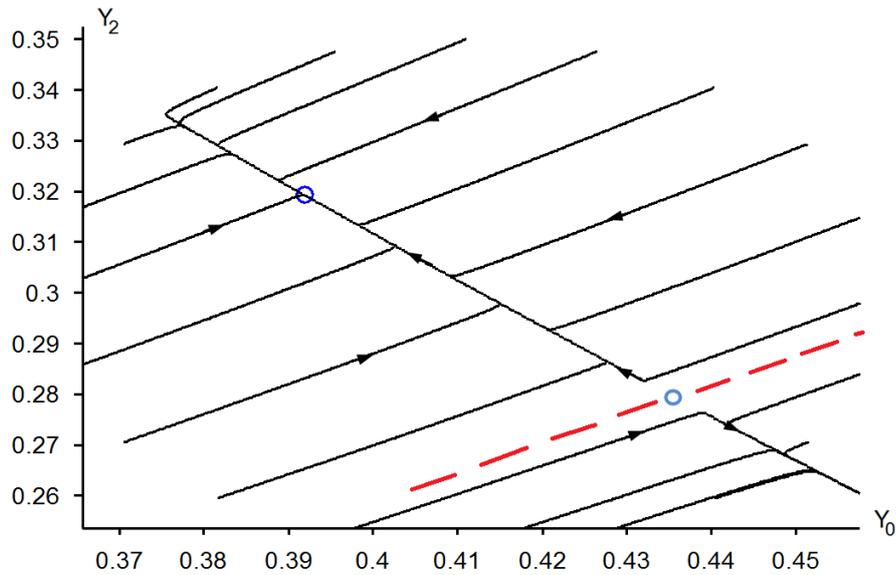


Рисунок 3 – Фазовый портрет в окрестности точки нового узла для системы уравнений (4) – (5) для случая  $\tau_1 = \tau_2$ ;  $\beta_0 \tau_1 = 0,07$ ;  $q_1 = 1,5$ ;  $\alpha_{20} \tau_1 C = 2,089$

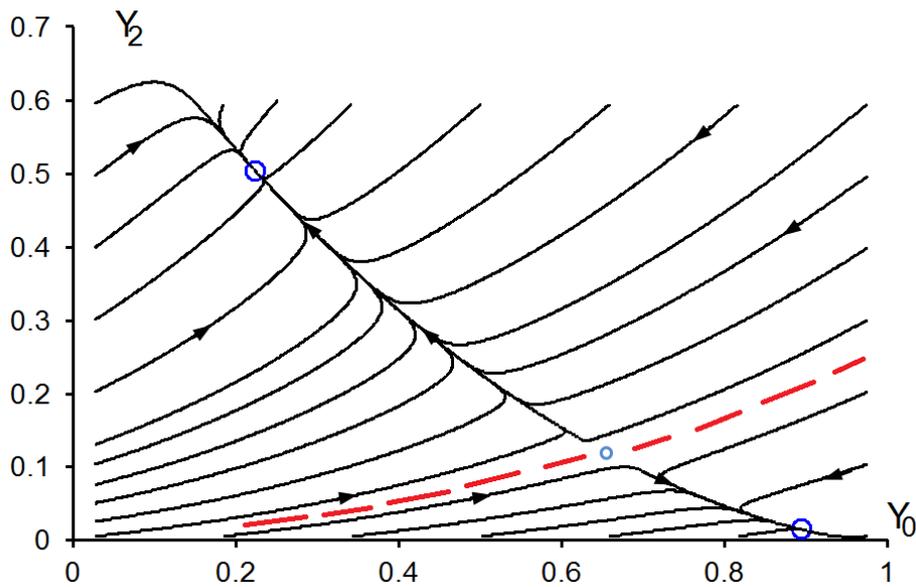


Рисунок 4 – Фазовый портрет системы уравнений (4) – (5) для случая  $\tau_1 = \tau_2$ ;  $\beta_0 \tau_1 = 0,07$ ;  $q_1 = 1,5$ ;  $\alpha_{20} \tau_1 C = 2,3$

В итоге неустойчивый узел, появившийся вследствие первой бифуркации рассматриваемой системы, и узел, существовавший до бифуркации, сливаются (имеет место вторая бифуркация, связанная с формированием еще одного необщего положения системы) и исчезают. Остается только один устойчивый узел, к которому сходятся все

фазовые траектории фазового портрета (рис.6).

Такой характер наблюдаемых бифуркаций рассматриваемой системы полностью соответствует результатам, полученным в [1]. (Точнее, использование фазовых портретов уточняет приведенный в данной работе анализ.)

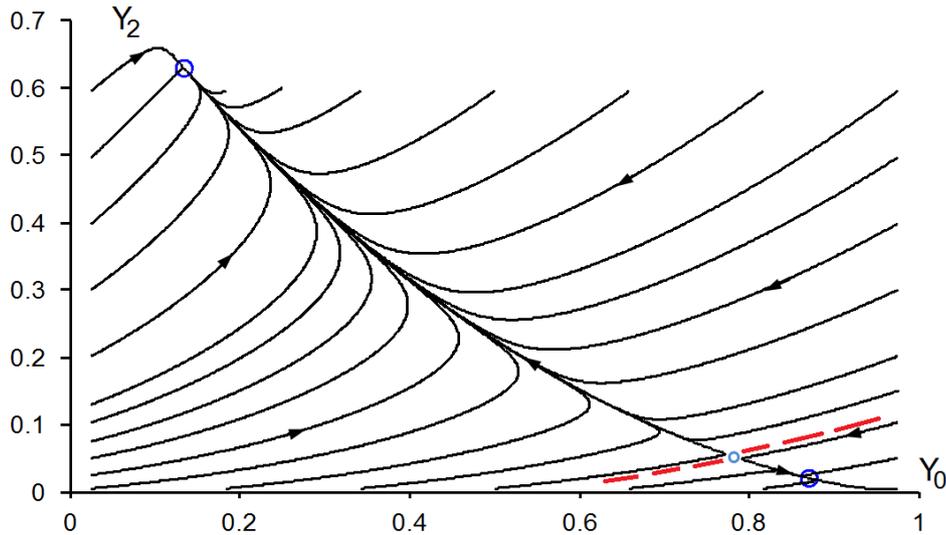


Рисунок 5 – Фазовый портрет системы уравнений (1.3.1) – (1.3.2) для случая  $\tau_1 = \tau_2$ ;  $\beta_0 \tau_1 = 0,07$ ;  $q_1 = 1,5$ ;  $\alpha_{20} \tau_1 C = 2,7$

А именно, уже на этом этапе можно утверждать, что существует способ навязать определенную информацию коммуникационной среде (этот вопрос

чрезвычайно интересен в аспекте трансформаций методов ведения информационной войны).

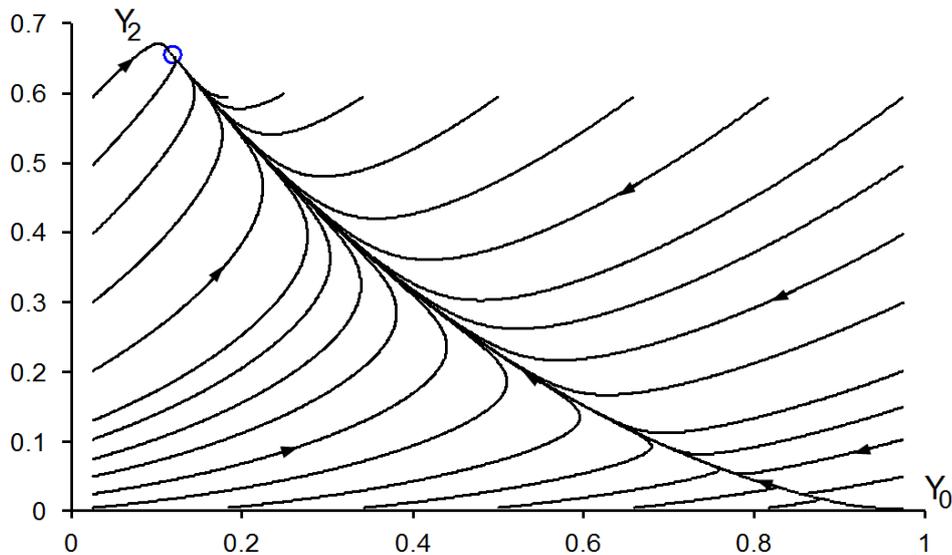


Рисунок 6 – Фазовый портрет системы уравнений (1.3.1) – (1.3.2) для случая  $\tau_1 = \tau_2$ ;  $\beta_0 \tau_1 = 0,07$ ;  $q_1 = 1,5$ ;  $\alpha_{20} \tau_1 C = 2,83$

Действительно, если система тем или иным способом попадает в состояние, изображающие точки которого лежат выше разграничительной линии, проходящей через неустойчивый узел, то навязанная система информация будет сохраняться даже при последующем

изменении управляющих параметров в достаточно широких пределах.

Изменение параметра, характеризующего коммуникационную связность среды, очевидно, является далеко не единственным способом, обеспечивающим переход к новому состоянию системы. Наиболее

показательные результаты обнаруживаются при изучении зависимости поведения системы от параметра, характеризующего эффективность внешнего информационного воздействия  $\beta_0 \tau_1$ .

На рис.7 показан пример зависимости коэффициента  $k$ , характеризующего распределение элементов системы по информационным уровням от параметра  $\beta_0 \tau_1$ . Зависимости получены путем аналитического решения уравнений (4) – (5), которые сводятся к алгебраическому уравнению третьей степени. Видно, что и в этом случае существуют условия, при

которых наблюдаются S-образные зависимости.

Такие зависимости, как отмечалось в [1], говорят о существовании гистерезисных явлений в рассматриваемой системе.

Действительно, будем постепенно увеличивать интенсивность информационного воздействия от нуля. Значение  $k$  будет незначительно расти, оставаясь сравнительно малым вплоть до критического значения (точка А на рис.7). Дальше система скачком перейдет к состоянию, характеризующемуся высокой заселенностью верхнего уровня.

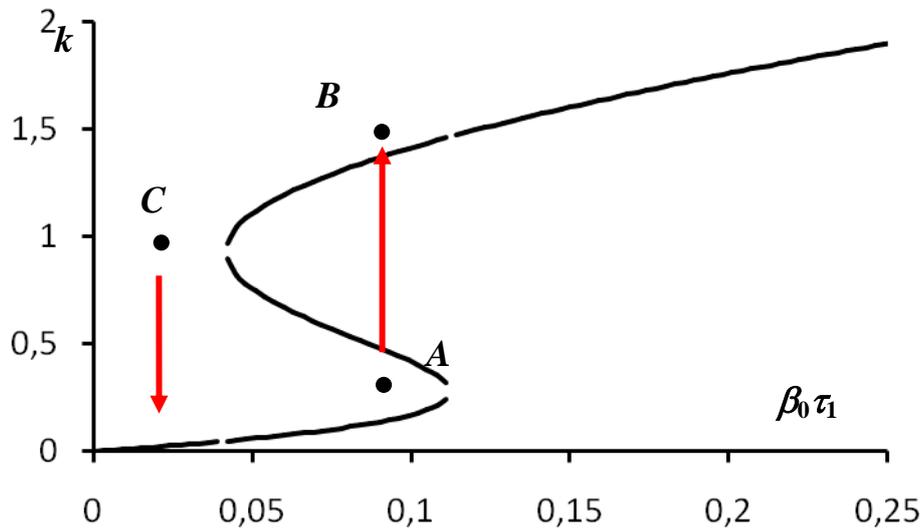


Рисунок 7 – Зависимость коэффициента  $k$  от  $\beta_0 \tau_1$  при  $\alpha_{20} \tau_1 C = 1,9$ ,  $q_1 = 1,5$

Детальный анализ фазовых портретов, аналогичных представленным выше, показывает, что и в этом случае имеет место две бифуркации: в точке С реализуется ситуация необщего положения, когда появляется дополнительная особая точка, разделяющаяся далее даже при слабом изменении параметра  $\beta_0 \tau_1$  на устойчивый и неустойчивый узлы. При дальнейшем увеличении параметра неустойчивый узел, образованный в результате первой бифуркации, также как и в предыдущих примерах, постепенно приближается к узлу, существовавшему до первой бифуркации. По мере увеличения  $\beta_0 \tau_1$  указанные особенности фазового портрета

сливаются и исчезают (вторая бифуркация). При больших значениях  $\beta_0 \tau_1$  фазовый портрет снова содержит только один устойчивый узел.

В области между точками С и А имеется три особых точки фазового портрета: два устойчивых узла и один неустойчивый. Это, в частности, говорит о том, что рассматриваемая система может существовать в двух стабильных состояниях. Какое из этих состояний реализуется на практике – зависит от начальных условий. В частности, осуществить переход от состояния с низкой заселенностью верхнего информационного уровня (низкие значения  $k$ ) к состоянию с высокой

заселенностью этого уровня можно, увеличивая параметр до значений, превышающих критический порог (точка А), а затем вернувшись назад.

Такую последовательность действий можно трактовать именно как *запись информации в коммуникационную среду*. Собственно, именно этот прием интуитивно давно используют специалисты по маркетингу. При

продвижении нового товара на рынок вначале осуществляется массивная рекламная кампания, затем реклама переходит в менее затратный режим поддержки продаж.

Наиболее существенный вывод данной работы иллюстрирует пример, показанный на рис.8, относящийся к довольно высокому значению показателя связности коммуникационного пространства.

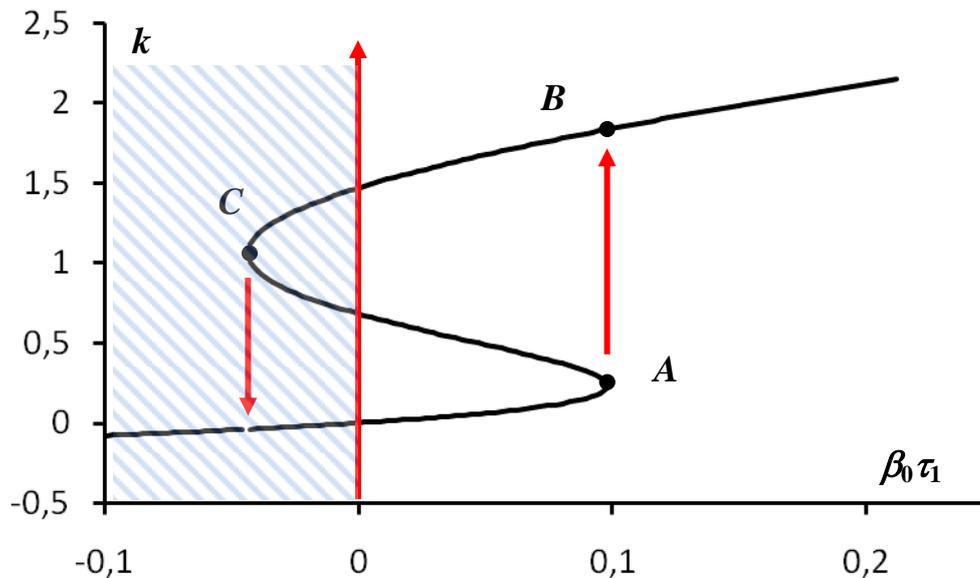


Рисунок 8 – Зависимость коэффициента  $k$  от  $\beta_0 \tau_1$  при  $\alpha_{20} \tau_1 C = 2,1$ ,  $q_1 = 1,5$

В этом случае решение рассматриваемых уравнений (4) – (5) приобретают очень характерную особенность. А именно, в  $\beta_0 \tau_1$  система обладает двумя устойчивыми состояниями даже при нулевом информационном воздействии.

Точнее, к области положительных значений параметра  $\beta_0 \tau_1$  (именно этот диапазон следует рассматривать как физически реализуемый, если не принимать во внимание специфический случай «отрицательного» информационного воздействия, примером которому является антиреклама) относится только одна бифуркация (точка А). При достижении этой точки система скачком переходит к новому состоянию, однако обратный переход вообще становится

невозможным. (Если не принимать специфических мер, аналогичных антирекламе.)

Это связано с тем, что тот участок S-образной кривой, который отвечает за существование обратного перехода, лежит в области отрицательных значений параметра  $\beta_0 \tau_1$ .

Это доказывает возможность записи информации в коммуникационную среду, причем (при достаточно высоких показателях коммуникационной связности) переход становится необратимым. Как именно показатель коммуникационной связности влияет на появление ситуации, обеспечивающей необратимую запись информации, иллюстрируют рис.9 и рис.10.

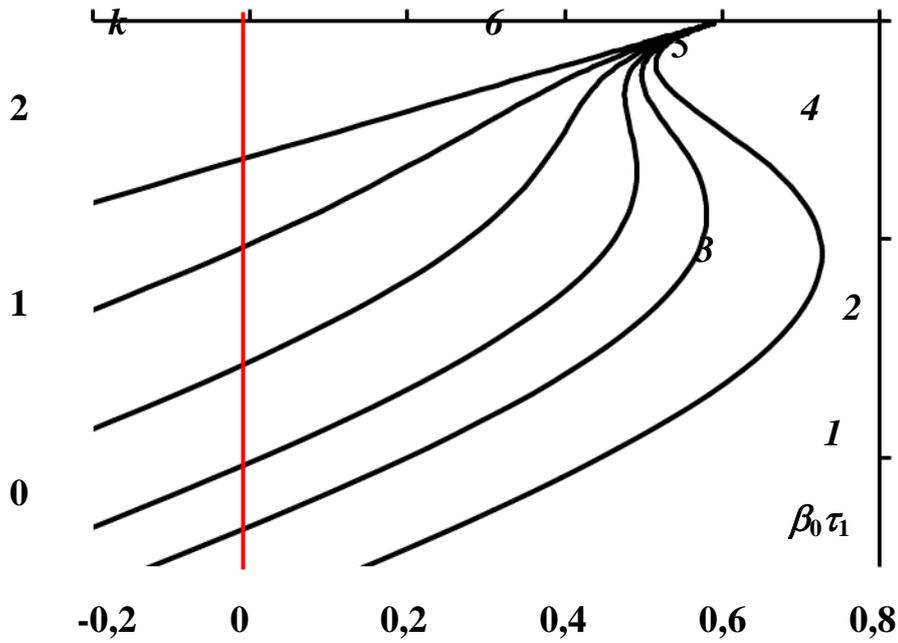


Рисунок 9 – Семейство зависимостей коэффициента  $k$  от  $\beta_0 \tau_1$  при различных значениях параметра  $\alpha_{20} \tau_1 C$ ;  $q_1 = 1,2$ ,  $\alpha_{20} \tau_1 C = 0,1$  (1), 1,1 (2), 1,8 (3), 2,3 (4), 2,5 (5), 3,0 (6)

Видно, что по мере увеличения параметра  $\alpha_{20} \tau_1 C$  имеют место все большие отклонения рассматриваемых кривых от линейности, а при достаточно больших показателях коммуникационной

связности полученные решения частично начинают лежать в отрицательной области параметра  $\beta_0 \tau_1$ . Это весьма нетривиальный вывод, который в области изучения эволюционных процессов *сделан впервые*.

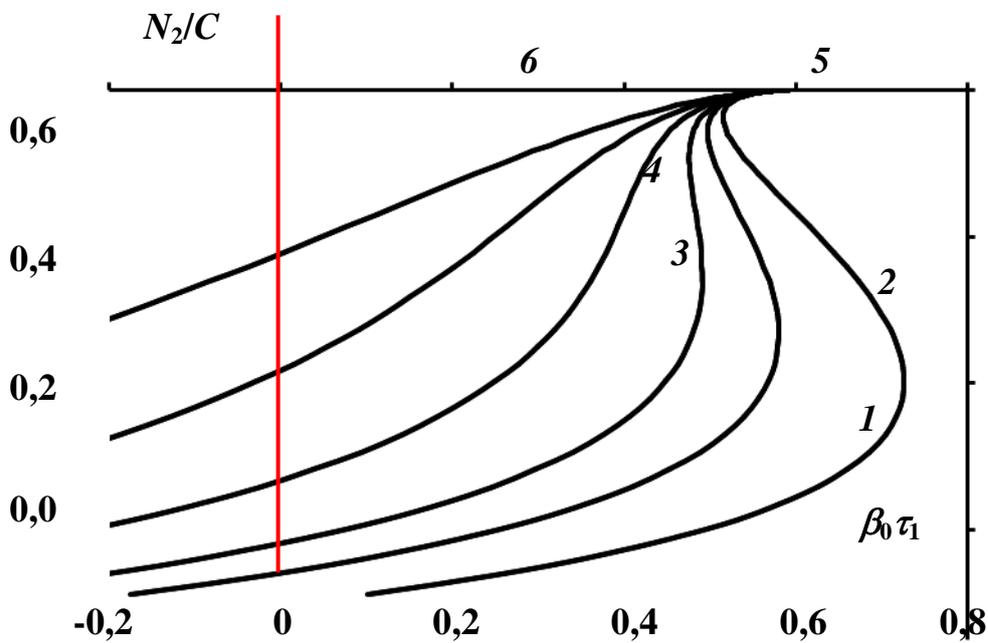


Рисунок 10 – Семейство зависимостей относительной заселенности верхнего уровня  $N_2/C$  от  $\beta_0 \tau_1$  при различных значениях параметра  $\alpha_{20} \tau_1 C$ ;  $q_1 = 1,2$ ,  $\alpha_{20} \tau_1 C = 0,1$  (1), 1,1 (2), 1,8 (3), 2,3 (4), 2,5 (5), 3,0 (6)

Таким образом, как это не парадоксально, но исследование достаточно простых систем, к тому же описываемых уравнениями, формально относящимися к полностью детерминированной задаче, позволяет пролить свет на фундаментальную проблему необратимости в эволюции, т.е. ту проблему, которую только частично удается решить на уровне статистической механики в формализме И.Пригожина.

#### **Литература**

1. Сулейменов И.Э., Панченко С.В., Сулейменова К.И. Эволюция сложных систем с точки зрения теории информации // Известия НТО «КАХАК». – 2014. – N4 (47). - С. 6-17.
2. Suleimenov, I., Panchenko, S. (2013). Non-Darwinists Scenarios of Evolution of Complicated Systems and

Natural Neural Networks Based on Partly Dissociated Macromolecules. World Applied Sciences Journal, 24(9), 1141-1147.

3. Suleymenova, K. I., Shaltykova, D. B., Suleimenov, I. E. (2013). Aromorphoses phenomenon in the development of culture: a view from the standpoint of neural net theory of complex systems evolution. European Scientific Journal, 9(19) 840-844.

4. Suleimenov I., Shaltykova D., Obukhova P., Stentsova A. Suleymenova K. Quantitative theory of effectiveness of highest education: role of interpersonal communications // Europ. J. Educat. Sci. - 2014. -V.1, No.2. - P.171-180.

5. Пригожин И., Данилов Ю. А. От существующего к возникающему: Время и сложность в физических науках. – Наука, 1985. – С. 16

*Поступила 10 октября 2014 г.*

УДК 378

## ХАРАКТЕР КРИЗИСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ РК

<sup>1,4</sup> Пак И.Т., <sup>2</sup> Guichard J.-P., <sup>3,4</sup> Мун Г.А., <sup>1,4</sup> Шалтыкова Д.Б., Обухова П.В., <sup>1,3</sup> Панченко С.В., <sup>1</sup> Жумай И., <sup>3,4</sup> Мангазбаева Р.А., <sup>1,4</sup> Сулейменов И.Э.

<sup>1</sup> Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Université Nice Sophia, Antipolis

<sup>3</sup> Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>4</sup> Национальная инженерная академия РК, Алматы, Казахстан

e-mail: pak.it@mail.ru

Показано, что кризисные явления в высшей школе РК приобрели системный характер, причем любые попытки преодолеть негативные тенденции типовыми методами административного регулирования будут заведомо приводить к нарастанию негативных трендов. Показано, что для преодоления кризиса высшего образования в РК требуется трансформация парадигмы управления высшей школой в целом. Продемонстрировано, что такая трансформация может быть осуществлена эволюционным путем без существенного изменения существующих административных и юридических схем.

Одна из наиболее оживленных дискуссий, ведущихся на постсоветском пространстве, связана с обсуждением кризисных явлений, характерных для постсоветской высшей школы, а также с поиском путей преодоления негативных трендов, которые проявляются все более отчетливо.

Значительное количество работ, посвященных современным проблемам высшей школы [1-4], преимущественно отталкиваются от попыток раскрыть природу текущего кризиса, рассматривая данную институцию в большей или меньшей степени изолированно, т.е. концентрируя внимание на проблемах высшей школы как таковой.

На наш взгляд [5-9], который в целом разделяется также авторами [10-13], такая точка зрения не выдерживает критики – процессы в высшей школе являются отражением процессов, протекающих в обществе в целом. В частности, заведомо обречены на провал попытки «восстановить образовательный уровень советской высшей школы»: данная институция складывалась во вполне

определенных конкретно-исторических условиях и решала специфические задачи.

Наглядно данная точка зрения подтверждается, в частности, результатами работы [14], в которой на материалах социологических опросов было показано, что в основной причине снижения качества образования в Казахстане является резкое снижение мотивации обучающихся к получению реальных знаний.

Такое снижение обусловлено объективно существующими факторами. К сожалению, казахстанское общество с его высоким уровнем коррупции, выраженным семейно-клановым протекционизмом и т.д. ясно демонстрирует студенту, что жизненный успех слишком часто слабо коррелирует с уровнем профессиональной подготовки.

Более того, даже беглый анализ рынка труда в основных образовательных центрах РК (Алматы, Астана) показывает, что существует множество возможностей для трудоустройства с приемлемой заработной платой (порядка 100 тыс. тенге в месяц) в качестве офисных работников того или иного профиля. При этом работа

на должности, не требующей реальных знаний, предусматриваемых программами вузов (обучение, как правило, происходит на рабочем месте в сжатые сроки) обеспечивает также приемлемое социальное положение, что также подтверждается прямыми социометрическими измерениями [14]. (По данным цитированной работы более 90% магистрантов таких вузов как АУЭС имеют постоянное рабочее место с полной занятостью, более того более 90% выпускников казахстанских вузов после выпуска становится или стремится стать офисными работниками.)

Обобщая данные такого рода, можно утверждать, что высшее образование РК в настоящее время работает по большей части вхолостую, де-факто перерабатывая интеллектуальные ресурсы страны в полуграмотный «офисный планктон». Именно это и является центральной проблемой казахстанской высшей школы, решить которую невозможно путем изолированных реформ данной институции, поскольку первопричина негативных трендов лежит вне собственно высшего образования.

Корректно, данную проблему можно сформулировать следующим образом. В силу объективных исторических и макроэкономических причин социальный капитал «офисного планктона» в РК существенно завышен, причем прослойка офисных работников занимает весьма существенную часть рынка труда с относительно высокой заработной платой. При этом работа на соответствующих должностях не требует высокой квалификации (достаточно общих начальных сведений, относящихся к соответствующему сектору экономики). В результате возникает кадровый «пылесос», нивелирующий все усилия работников высшей школы по повышению качества образования – знания де-факто остаются невостребованными.

Разумеется, указанные выше негативные явления представляют собой часть комплекса проблем, обусловленных сырьевой ориентацией казахстанской экономики. (Неоправданно завышенный

социальный капитал «офисного планктона», в конечном счете, вытекает из исторически обусловленного характера перераспределения доходов от экспорта казахстанского сырья.) Поэтому, строго говоря, окончательное решение сформулированной проблемы, с макроэкономической точки зрения, может быть обеспечено только за счет переход от сырьевой экономики к наукоемкой. (Это, очевидно, почти автоматически обеспечит востребованность кадров высокой квалификации.)

Однако, задача выстраивания наукоемкой экономики, требует предварительной подготовки кадров, обладающих необходимым уровнем профессиональной компетенции, что возвращает к проблеме мотивации обучающихся, о которой говорилось выше. Следовательно, можно утверждать, что возникает порочный круг, которой необходимо разорвать на самой ранней стадии решения основной макроэкономической задачи – переходу к наукоемкой экономике.

Это можно сделать, пользуясь представлениями об управлении социальными капиталом (термин понимается в духе [15,16]). А именно, социальный капитал, в отличие от финансового, допускает управление методами, которые нельзя трактовать как сугубо экономические. Это вытекает, в частности, из того, что социальный капитал различных слоев общества по существу представляет собой относительную величину: увеличение социального капитала одной социальной группы автоматически влечет за собой падение социального капитала других групп.

Следовательно, решить рассматриваемую в данной работе задачу можно, в том числе, и искусственно понизив социальный капитал «офисного планктона» в основных образовательных центрах РК (Алматы, Астана), стимулируя тем самым отток кадров в реальный сектор экономики.

Покажем, что данная задача может быть решена современными

телекоммуникационными средствами, точнее, средствами междисциплинарного характера, которые могут быть созданы на стыке институциональной экономики и теории и техники телекоммуникаций.

Доказательство возможности решения данной задачи указанным способом основывается на том, что подавляющее большинство деятельности, формирующих социальную группу, которая несколько жаргонно называется «офисным планктоном», может быть вынесена в регионы именно за счет разработки соответствующих программных средств.

Примеры деятельности, выносимых в регионы (и даже другие страны) с низкой капитализацией хорошо известны. Так, контакт-центры значительной части компаний, функционирующих на территории США, и обслуживающие клиентов из этой же страны, вынесены в Индию. Разумеется, это обусловлено, в первую очередь, экономическими причинами: оплата труда операторов контакт-центров в Индии намного ниже, чем в США. Это, однако, не противоречит использованию средств такого рода для решения поставленной задачи. Напротив, экономическая целесообразность вынесения значительной совокупности деятельности в регионы с более низкой капитализацией, нежели основные образовательные центры, только облегчает решение задачи, которая рассматривается как основная.

Более того, такой подход полностью коррелирует с основными положениями новой экономической политике "Нурлы жол", отраженной в Послании Президента РК Н.А.Назарбаева [17]. А именно, одним из основных положений данного послания является тезис о необходимости создания инструментов противодействия нарастающим проявлениям системного кризиса индустриальной фазы развития цивилизации, которые проявляются и в экономике, и в международной политике.

В качестве одного из таких инструментов [17] рассматривается совокупность инфраструктурных проектов, связанных с повышением

транспортной связности РК за счет существенного повышения протяженности дорожной сети. В обсуждениях Послания Президента РК, опубликованных в СМИ, подчеркивалось, что выбор маршрутов автомобильных и железных дорог определяется, в том числе, необходимостью повышения геополитической связности страны.

Предлагаемый в данной работе подход, основанный на выносе «офисной» деятельности в регионы, отвечает решению и этой задачи тоже (геополитическая связность страны определяется в современном мире не только транспортными, но и информационными факторами). Параллельно создается также и фактор, способствующий выравниванию экономического развития столиц и регионов. (Впрочем, следует отметить, что в настоящее время существенная часть рабочих мест, создаваемых на основе контакт-центров, уже вынесена, например, в Чимкент, т.е. данная тенденция реализуется естественным путем.)

Перечень деятельности, которые уже в ближайшей перспективе могут осуществляться в удаленном режиме существенно шире, чем это может показаться на первый взгляд. В него входит ведение бухгалтерской документации, функционирование отдела кадров и т.д.

По существу, при современном уровне развития телекоммуникационных систем, а также качестве связи, предоставляемой IP-телефонией, практически любая разновидность «офисной» деятельности может осуществляться в дистанционном режиме, на основе аутсорсинга.

Таким образом, институциональные факторы, негативно влияющие на качество высшего образования в РК, могут быть устранены в обозримой перспективе за счет средств макроскопического регулирования, причем такие средства полностью вписываются текущий геополитический контекст, а также задачи, определенные Посланием Президента РК [17].

### Литература

1. Умбиталиев А.Д. ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КАЗАХСТАНА // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – №. 10. – С. 58-61.
2. БАРОНИН С. А., СЮЗЕВ К. С. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМНЫЕ СИТУАЦИИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ // ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ В РОССИИ. – 2013. – №. 1. – С. 110-115.
3. Карманова Д.А. Кризис российского высшего образования: к проблеме аспектизации // Лабиринт. – 2012. – № 1. – С. 78–84.
4. Данилов А.А. О кризисе в образовании // Высшее образование для XXI века: V международная научная конференция. Москва, 13–15 ноября 2008 г. Ответы на вопросы, заданные Оргкомитетом конференции по проблемам высшего образования. Международный опрос, 2008 г. Ч. 1. – М.: Изд-во Моск. гуманит. ун-та, 2008. – С. 28.
5. Suleimenov, I. E., Mun, G. A., Grigoriev, P. E., Negim, E. S. M., Yeligbayeva, G. Z., & Suleimenova, K. I. (2011). Higher Education and Science: Portrait Against the Background of Global Crisis. World Applied Sciences Journal, 15(9), 1199-1205.
6. Suleimenov, I. E., Gabrielyan, O., Shaltykova, D., Negim, E. S. M., Obukhova, P., & Suleymenova, K. (2013). Current Global Crisis as a Crisis of Civilization Meta-Projects. World Applied Sciences Journal, 23(11).
7. Yergozhin Ye.Ye., Aryn Ye.M., Suleimenov I.E., Mun G.A., Belenko N.M., Gabrielyan O.A., Park N.T., Negim El-S. M. El-Ash., Suleymenova K.I. Nanotechnology versus the global crisis / Seoul, Hollym Corporation Publishers, 2010, 300 p.
8. Пак И.Т., Сулейменов И.Э., Мун Г.А., Мынбаева А.К., Сулейменова К.И. Кризисные явления в сфере высшего образования // Известия научно-технического общества «КАХАК». – 2011. - №4 (34). - С. 13-19.
9. Сулейменов И.Э., Пак И.Т., Мун Г.А., Тасбулатова З., Григорьев П.Е., Сулейменова К.И. Постмодерн: виртуальность и высшее образование // Известия научно-технического общества «КАХАК». – 2011. - №4 (34). - С. 84 - 90.
10. Дружилов С. А. Проблемы высшего профессионального образования как симптомы системного кризиса // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – №. 10. – С. 8.
11. Зборовский Г. Е. Модернизация образования сквозь призму социальной политики //Журнал исследований социальной политики. – 2010. – Т. 8. – №. 1. – С. 87-104.
12. Ярская-Смирнова Е. Р., Романов П. В. Социальная антропология в поле высшего образования //Журнал социологии и социальной антропологии. – 2011. – Т. 14. – №. 2. – С. 199-203.
13. Переслегин С.Б. Опасная бритва Оккама. М. АСТ, 2011, - 664 с.
14. Shaltykova, D. B., Suleimenova, K. I., Suleimenov, I. E., & Obukhova, P. V. (2013). Post-transition period and quality of higher education: ways to overcome the crisis phenomena. International Letters of Social and Humanistic Sciences, (08), 49-56.
15. Полищук, Л., & Меняшев, Р. (2011). Экономическое значение социального капитала. Вопросы экономики, (12), 46-65.
16. Лебедева, Н. М., & Татарко, А. Н. (2010). Ценности и социальный капитал как основа социально-экономического развития. Журнал институциональных исследований, 2(1).
17. Послание Президента Республики Казахстан Н.Назарбаева народу Казахстана, 11 ноября 2014 г. от 11.11.2014 // Официальный сайт Президента РК: <http://www.akorda.kz/>

*Поступила 10 июля 2014г.*

УДК 544 – 971.62

## НОВЫЕ ОПРЕСНИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ГИДРОФИЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

<sup>1,4</sup>Мун Г.А., <sup>2,4</sup>Сулейменов И.Э., <sup>2</sup>Панченко С.В., <sup>3</sup>Сулейменова К.И., <sup>1,4</sup>Калдыбеков Д.Б.,  
<sup>1,4</sup>Агибаева Л.Э.

<sup>1</sup> *Казахский Национальный университет им аль-Фараби, Алматы, Казахстан,*

<sup>2</sup> *Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан,*

<sup>3</sup> *Государственный университет Ниццы, София-Антиполис, Франция*

<sup>4</sup> *Национальная инженерная академия РК, Алматы, Казахстан*

*e-mail: mungrig@yandex.ru*

---

Дан краткий обзор перспектив обеспечения экономической эффективности солнечных электростанций. Показано, что данная проблема может быть успешно решена за счет внедрения в практику комбинированных систем, генерирующих, наряду, с электрической энергией, пресную воду.

---

В настоящее время во всем мире активно ведутся комплексные исследования, направленные на обеспечение экономической эффективности систем «зеленой» энергетики [1,2]. В то же время, внедрение систем зеленой энергетики в практическое использование в большинстве стран мира пока имеет место только благодаря прямой или косвенной государственной поддержке [3]. Более того, отдельными авторами высказываются (пусть и достаточно осторожные) сомнения в экономической целесообразности и перспективности дальнейшего развития таких направлений как солнечная энергетика, по крайней мере, для ближайшего будущего [4].

Тем не менее, на решение задачи обеспечения экономической эффективности солнечной энергетики в мире затрачиваются значительные усилия, причем решается как прямыми (повышение эффективности и снижение стоимости самих солнечных фотоэлектрических батарей [5-8]), так и косвенными методами (следует отметить, что использование солнечных панелей уже

хорошо себя зарекомендовало при осуществлении локальных проектов [9]).

К косвенным методам повышения экономической эффективности работы солнечных панелей относится, в частности, разработка систем, в которых получение электрической энергии за счет утилизации солнечной радиации дополняется другими полезными функциями комплексной системы, например, утилизацией ветровой энергии [10].

В этой области (системы комплексной утилизации солнечной энергии) значительные усилия сосредоточены на совершенствовании так называемых PVT – панелей [11,12], в которых собственно солнечная фотоэлектрическая панель комбинируется с солнечными коллекторами [13,14] – устройствами, обеспечивающими циркуляцию воды в замкнутом контуре под воздействием разности температур, обусловленной нагревом воды в локальном сегменте циркуляционного контура.

Солнечные коллекторы указанного выше типа в настоящее время распространены достаточно широко и

представлены на рынке, в том числе в РК. Они, главным образом, предназначены для обогрева жилых зданий и горячего водоснабжения.

Как известно, оптимум работы солнечных фотоэлектрических панелей лежит во вполне определенном диапазоне температур, поэтому при нагреве на солнце их эффективность падает [15]. Поэтому комбинация солнечных панелей и солнечных циркуляционных коллекторов, с одной стороны, обеспечивает оптимизацию температурного режима работы фотоэлектрических панелей, а, с другой стороны – позволяет получать дополнительный выигрыш в виде горячего водоснабжения или обогрева помещений [16]. В литературе [17-20] теоретически и экспериментально показано, что получение указанных выше преимуществ за счет комбинации двух систем, утилизирующих солнечную энергию, действительно является достижимым.

Таким образом, подход, основанный на комбинированных способах утилизации солнечной энергии, в настоящее время получил широкое признание и во многом отработан на практике.

Однако, получение дополнительных преимуществ, связанных с горячим водоснабжением и/или отоплением помещений, не решает в полной мере задачу по созданию экономически эффективных систем солнечной энергетики. В частности, горячее водоснабжение, обеспечиваемое солнечными коллекторами, становится оправданным только для индивидуальных домохозяйств и по стоимостным показателям оно не может конкурировать с центральным горячим водоснабжением, поддерживаемым за счет функционирования ТЭС. Следовательно, актуальным является поиск дополнительных возможностей для утилизации вторичного тепла солнечных фотоэлектрических панелей.

Недавно [21] было обнаружено новое физико-химическое явление, существование которого предсказывалось на основе диффузионной теории набухания полиэлектролитных гидрогелей

[22,23], а также ряда исследований, выполненных в области термочувствительных полимеров [24,25] и гидрофильных интерполимерных ассоциатов [26].

Данное явление во многом аналогично явлению обратного осмоса [27,28]. Обратный осмос, как известно, используется, в том числе, для опреснения и/или доочистки воды. Явление обратного осмоса протекает в системе, содержащей два объема, разделенных мембраной, проницаемой для растворителя (воды) и непроницаемой для растворенных в ней компонент, в частности, низкомолекулярных солей. При приложении внешнего механического давления к объему, заполненному раствором соли, возникает ток очищенного растворителя через мембрану.

Недостатком такого способа опреснения/очистки воды является необходимость использования значительных давлений (около 2...17 атм для фильтрации и опреснения питьевой и солоноватой воды, и 24...70 атм для морской воды), а также высокие требования, предъявляемые к материалу мембран как по механической прочности, так и по качеству изготовления [29,30].

На основе явления [21], в той же работе была предложена система, содержащая два объема, разделенных мембраной, в которой также наблюдается явление, аналогичное обратному осмосу.

Отличие состоит в том, что в данном случае применяется полиамфолитная мембрана, проницаемая для ионов обоих знаков заряда, но не проницаемая для воды. С этой целью, в частности, можно использовать составную мембрану, содержащую катионо- и анионообменные сегменты. Катионо- и анионообменные мембраны, отвечающие нужным требованиям, широко используются в электродиализных системах [31]. Кроме того, мембраны, обладающие нужными свойствами, могут быть изготовлены непосредственно на основе полиэлектролитных гидрогелей либо интерполимерных комплексов [32,33]. В частности, существует возможность

привить к матрице, выполненной из неионного полимера, макромолекула, несущие и отрицательный, и положительный заряд. При этом, области, которые в результате электролитической диссоциации приобретают различные знаки заряда, могут быть разнесены в пространстве или искусственным путем (например, за счет использования масок при протравливании матрицы соответствующими реагентами), или за счет использования процессов самоорганизации. Разнесение соответствующих областей в пространстве исключает затруднения, связанные с образованием комплексов, стабилизируемых электростатическими взаимодействиями.

Принципиальное отличие состоит также в том, что между объемами, разделенными мембраной, создается разность не давлений, а температур. Проведенные эксперименты [21] однозначно показали, что в данном случае разность термодинамических параметров приводит к обогащению раствора, заполняющего один из объемов, по низкомолекулярному электролиту (раствор во втором объеме, соответственно, обедняется).

Эксперименты проводились при температуре 40 – 600С, что является характерным диапазоном температур для существующих солнечных коллекторов, используемых для горячего водоснабжения [13,14]. На основании данных [21] можно показать, что при использовании одного каскада опреснения обеспечивается снижение концентрации соли в опресняемом растворе на 20%. Расчетное число каскадов, необходимых для опреснения морской воды, равно, соответственно 7.

Указанное явление может быть использовано для успешного решения сформулированной выше проблемы обеспечения приемлемой экономической эффективности солнечной энергетики. Это, в первую очередь, обусловлено, что для определенных регионов, (например, Прикаспий, Прибалхашье, Крым.) пресная вода является весьма ценным продуктом,

стоимость которого покрывает расходы на функционирование комплексной системы.

Задача решается за счет использования комбинированной системы, в которой непосредственно под солнечной панелью размещается система типа [21], обеспечивающая опреснение. Как и в случае PVT-панелей, данная система, с одной стороны, обеспечивает получение дополнительного товарного продукта (опресненной или деминерализованной воды). С другой стороны, работа, совершаемая против градиента термодинамических переменных при опреснении, обеспечивает охлаждение солнечной панели.

Таким образом, явление [21], обнаруженное недавно, способно создать дополнительные возможности для обеспечения экономической эффективности солнечной энергетики. Более того, в регионах, где имеет место острая нехватка пресной воды, получение электрической энергии может рассматриваться как дополнительное преимущество, а опреснение – как основное назначение системы. Это позволит создать существенные дополнительные стимулы для широкого распространения систем предложенного в данной работе типа.

### Литература

1. Jackson, T., & Victor, P. (2011). Productivity and work in the 'green economy': Some theoretical reflections and empirical tests. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(1), 101-108.
2. Midilli, A., Dincer, I., & Ay, M. (2006). Green energy strategies for sustainable development. *Energy Policy*, 34(18), 3623-3633.
3. Yi, H. (2014). Green businesses in a clean energy economy: Analyzing drivers of green business growth in US states. *Energy*, 68, 922-929.
4. Cai, W., Wang, C., Chen, J., & Wang, S. (2011). Green economy and green jobs: Myth or reality? *The case of China's power generation sector*. *Energy*, 36(10), 5994-6003.

5. Chandel, M., Agrawal, G. D., Mathur, S., & Mathur, A. (2014). Techno-Economic Analysis of Solar Photovoltaic power plant for garment zone of jaipur city. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2, 1-7.
6. Alexandru, C., & Pozna, C. (2010). Simulation of a dual-axis solar tracker for improving the performance of a photovoltaic panel. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 224(6), 797-811.
7. Wilson, M. J., & Paul, M. C. (2011). Effect of mounting geometry on convection occurring under a photovoltaic panel and the corresponding efficiency using CFD. *Solar Energy*, 85(10), 2540-2550.
8. Razouk, R. R., & Hopper, P. J. (2014). U.S. Patent No. 8,686,332. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
9. Shahinzadeh, H., Abadi, M. M. N., Hajahmadi, M., & Paknejad, A. (2013). Design and Economic Study for Use the Photovoltaic Systems for Electricity Supply in Isfahan Museum Park. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 3(1), 83-94.
10. Hiendro, A., Kurnianto, R., Rajagukguk, M., & Simanjuntak, Y. M. (2013). Techno-economic analysis of photovoltaic/wind hybrid system for onshore/remote area in Indonesia. *Energy*, 59, 652-657.
11. Chow, T. T. (2010). A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. *Applied Energy*, 87(2), 365-379.
12. Sark, W. V. (2011). Feasibility of photovoltaic-thermoelectric hybrid modules. *Applied Energy*, 88(8), 2785-2790.
13. Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & Sons.
14. Tian, Y., & Zhao, C. Y. (2013). A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications. *Applied Energy*, 104, 538-553.
15. Raval, H. D., Maiti, S., & Mittal, A. (2014). Computational fluid dynamics analysis and experimental validation of improvement in overall energy efficiency of a solar photovoltaic panel by thermal energy recovery. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 6(3), 033138.
16. Hazi, A., & Hazi, G. (2014). Comparative study of indirect photovoltaic thermal solar-assisted heat pump systems for industrial applications. *Applied Thermal Engineering*, 70(1), 90-99.
17. Anderson, T. N., Duke, M., Morrison, G. L., & Carson, J. K. (2009). Performance of a building integrated photovoltaic/thermal (BIPVT) solar collector. *Solar Energy*, 83(4), 445-455.
18. Lopez, P., Tenconi, L., Lo Castro, F., Brambilasca, S., & Virtuani, A. (2012, June). Testing of a cost-effective photovoltaic thermal hybrid solar collector prototype. In *Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2012 38th IEEE* (pp. 000479-000484). IEEE.
19. Krishna Priya, G. S., Thakare, M. S., Ghosh, P. C., & Bandyopadhyay, S. (2013). Sizing of standalone photovoltaic thermal (PVT) systems using design space approach. *Solar Energy*, 97, 48-57.
20. Pathak, M. J. M., Sanders, P. G., & Pearce, J. M. (2014). Optimizing limited solar roof access by exergy analysis of solar thermal, photovoltaic, and hybrid photovoltaic thermal systems. *Applied Energy*, 120, 115-124.
21. Suleimenov, I., Falaleev, A., Shalytkova, D., Panchenko, S., & Mun, G. (2014, November). New Thermal Energy Converters Based on Polyelectrolyte Hydrogels. In *Advanced Materials Research* (Vol. 1037, pp. 117-122).
22. Budtova, T. V., Suleimenov, I. E., & Frenkel, S. (1995). A diffusion approach to description of swelling of polyelectrolyte hydrogels. *Polymer science*, 37(1), 10-16.
23. Ergozhin, E. E., Zezin, A. B., Suleimenov, I. E., & Mun, G. A. (2008). Hydrophilic polymers in nanotechnology and nanoelectronics. LEM, Almaty-Moscow.
24. Dergunov, S. A., Mun, G. A., Dergunov, M. A., Suleimenov, I. E., & Pinkhassik, E. (2011). Tunable thermosensitivity in multistimuli-responsive terpolymers. *Reactive and Functional Polymers*, 71(12), 1129-1136.

25. Mun, G. A., Suleimenov, I. E., Nurkeeva, Z. S., Kudaibergenov, S. E., Nam, I. K., & Kan, V. A. (1998). Effect of the structural inhomogeneity of polyelectrolyte gels on their thermal sensitivity. *Polymer science. Series A, Chemistry, physics*, 40(3), 253-259.
26. Suleimenov, I., Güven, O., Mun, G., Beissegul, A., Panchenko, S., & Ivlev, R. (2013). 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*, 62(9), 1310-1315.
27. Fritzmann, C., Löwenberg, J., Wintgens, T., & Melin, T. (2007). State-of-the-art of reverse osmosis desalination. *Desalination*, 216(1), 1-76.
28. Serkiz, S. M., & Perdue, E. M. (1990). Isolation of dissolved organic matter from the Suwannee River using reverse osmosis. *Water Research*, 24(7), 911-916.
29. Petersen, R. J. (1993). Composite reverse osmosis and nanofiltration membranes. *Journal of membrane science*, 83(1), 81-150.
30. Spiegler, K. S., & Kedem, O. (1966). Thermodynamics of hyperfiltration (reverse osmosis): criteria for efficient membranes. *Desalination*, 1(4), 311-326.
31. Strathmann, H. (2010). Electrodialysis, a mature technology with a multitude of new applications. *Desalination*, 264(3), 268-288.
32. Budtova, T. V., Belnikovich, N. G., Suleimenov, I. E., & Frenkel, S. Y. (1993). Concentration redistribution of low-molecular-weight salts of metals in the presence of a strongly swelling polyelectrolyte hydrogel. *Polymer*, 34(24), 5154-5156.
33. Mun, G., Suleimenov, I., Park, K., & Omidian, H. (2010). Superabsorbent Hydrogels. In *Biomedical Applications of Hydrogels Handbook* (pp. 375-391). Springer New York.

*Поступила 23 мая 2014 г.*

УДК 544 – 971.62

## ТЕОРИЯ ИОННО-ТЕПЛОВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ СИЛЬНО СШИТЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ СЕТОК

<sup>1,5</sup>Сулейменов И.Э., <sup>2</sup>Игликов И.В., <sup>1</sup>Семенякин Н.В., <sup>3</sup>Фалалеев А.П.,  
<sup>1,5</sup>Шалтыкова Д.Б., <sup>3</sup>Львов А.В., <sup>1</sup>Абиров Ж.А., <sup>4,5</sup>Мун Г.А.

<sup>1</sup>Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>ТОО «Лаборатория Игликова»

<sup>3</sup>Севастопольский национальный технический университет, Севастополь, Россия

<sup>4</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>5</sup>Национальная инженерная академия РК, Алматы, Казахстан

*e-mail: esenych@yandex.ru*

---

Показано, что существует возможность реализовать новый тип двигателя для морского транспорта на солнечной тяге, в котором поток жидкости, обеспечивающий движение судна, возникает за счет разности температур между нагреваемой и охлаждаемой частями конструкции. Нагрев обеспечивается солнечной радиацией, а охлаждение – забортной морской водой. В качестве рабочего тела также используется забортная морская вода, представляющая собой низкомолекулярный электролит. Поток воды, содержащей низкомолекулярные ионы, возникает в незамкнутом контуре, контактирующем с неоднородно нагретой полимерной сеткой за счет специфических электрохимических свойств последней.

---

### Введение

Актуальность работ в области зеленой энергетики не требует развернутого обоснования. В настоящее время наблюдается вполне отчетливая тенденция, направленная на использование возобновляемых источников энергии в различных областях техники, включая морской транспорт [1,2], морские буровые установки [3] и т.д.

В частности, неоднократно предпринимались попытки разработать конструкцию морского или речного судна, движение которого бы полностью или частично обеспечивалось возобновляемыми источниками энергии, в том числе энергией волн [2].

В СМИ неоднократно сообщалось о рекордах, поставленных различными судами на солнечной тяге. В 1985 году японский яхтсмен и изобретатель Кеничи Хори на солнечном катере Сикрикерк (длина 9 м, ширина 2,4 м, площадь солнечных батарей 9 м<sup>2</sup>) пересек Тихий океан, преодолев 8700 морских миль со

скоростью 3-5 узлов (скорость девятиметровой крейсерской парусной яхты). В соревнованиях на озере Химзее, Бавария в 1994 году участвовало 17 судов на солнечной тяге различного типа. Эксплуатируется катамаран «Planet Solar» на солнечной тяге, длина 31 м и ширина 15 м.

Для РК данное направление исследований актуально с точки зрения возможности разработки месторождений Каспийского шельфа. А именно, в [3] показана возможность применения солнечной, ветровой и волновой энергии на ледостойких нефтедобывающих платформах на шельфе северной части Каспийского моря. По данным цитированной работы, автономный энергокомплекс позволяет практически в два раза сократить потребление дизельного топлива в период бурения скважин, а также потребление попутного газа на собственные нужды в период добычи нефти.

Однако, все перечисленные источники возобновляемой энергии пока не обладают

экономической эффективностью, сопоставимой с показателями, которые характеризуют, скажем, суда на дизельном топливе. В связи с этим сохраняет актуальность разработка новых принципов утилизации солнечной энергии, равно как и природной энергии других видов.

В данной работе предложен новый тип двигательной установки для судна на солнечной тяге, приведены теоретические оценки, демонстрирующие возможность его реализации.

Работа двигателя предложенного типа использует контактные явления, протекающие на границе плотно сшитой полимерной сетки и раствора низкомолекулярной соли (конкретно, морской воды).

Еще в работе [4] было показано, что при контакте сшитой полимерной сетки (полимерного гидрогеля) с раствором низкомолекулярной соли на поверхности геля возникает двойной электрический слой. Последовательная теория данного слоя была развита в [5], где, в частности, было показано, что между объемом геля и

объемом раствора возникает разность потенциалов, расчет которой может быть произведен без детального решения уравнения движения низкомолекулярных ионов. Выводы, сделанные в [5], в том числе, показывают, что величина указанной разности потенциалов прямо пропорциональна температуре.

В данной работе показано, что возникновение разности потенциалов между объемами сшитой полимерной сетки и раствора низкомолекулярной соли может быть использовано для создания двигателя нового типа.

### Исходные предпосылки

Рассмотрим цилиндрический образец гидрогеля, один торец которого помещен в раствор при температуре  $T_1$ , а другой – при температуре  $T_2$  (рис.1). На обоих торцах возникает контактная разность потенциалов в соответствии с механизмом, описанным в [5]. Для определенности будем рассматривать образец геля на основе полиакриловой кислоты, помещенный в раствор хлорида натрия.

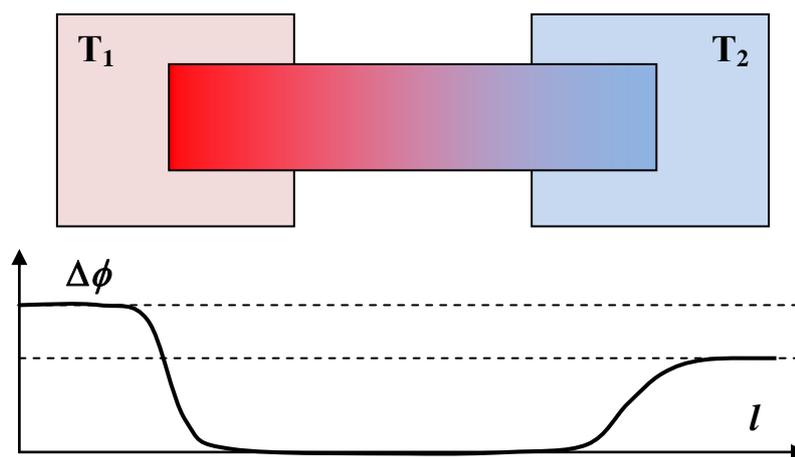


Рисунок 1 – Схематический профиль электростатического потенциала в системе гидрогель – раствор при неоднородном распределении температуры.

Разность потенциалов можно определить на основе следующих уравнений баланса концентраций:

$$[Na^+]_i = \exp\left(-\frac{\Delta\phi}{kT}\right)[Na^+]_e, \quad (1)$$

$$[Cl^-]_i = \exp\left(\frac{\Delta\phi}{kT}\right)[Cl^-]_e, \quad (2)$$

где химический символ в квадратных скобках обозначает концентрацию соответствующих ионов,  $\Delta\phi$  - разность электростатических потенциалов,  $T$  - абсолютная температура,  $k$  - постоянная Больцмана, индексы  $i$ ,  $e$  относятся к

концентрациям ионов внутри и вне гидрогеля, соответственно.

Уравнения (1) и (2) следует дополнить соотношениями, выражающими условие нейтральности среды вне и внутри гидрогеля

$$[Cl^-]_e = [Na^+]_e, \quad (3)$$

$$[-COO^-] + [Cl^-]_i = [Na^+]_i, \quad (4)$$

где  $-COO^-$  - концентрация диссоциированных функциональных групп сетки, которая в рассматриваемом случае предполагается равной полной концентрации карбоксильных групп.

Электростатический потенциал в записях (1) и (2) отсчитывается в направлении от раствора к гелю; разность  $\Delta\phi$  имеет отрицательный знак, т.е. электростатический потенциал внутри геля меньше, чем снаружи.

Величину

$$\alpha = \exp\left(-\frac{\Delta\phi}{kT}\right), \quad (5)$$

в применении к задачам электрохимии часто называют множителем Доннана. Из

уравнений (1) – (2) легко получить уравнение на этот множитель:

$$\alpha c = N_0 + \alpha^{-1}c, \quad (6)$$

где использованы обозначения:

$$c = [Na^+]_{ii}, \quad N_0 = [-COO^-], \quad (7)$$

Уравнение (6) допускает простое решение в предположении, что концентрация  $c$  является известной. Применительно к рассматриваемой задаче это предположение отвечает случаю, когда рабочее тело двигателя (гидрогель)

контактирует непосредственно с забортной морской водой. В этом случае вариации параметров системы, обусловленные эффектом перераспределения концентраций [4] являются пренебрежимо малыми. Имеем:

$$\alpha^2 c - \alpha N_0 - c = 0, \quad (8)$$

или

$$\alpha_{1,2} = \frac{1}{2c} \left( N_0 \pm \sqrt{N_0^2 + 4c^2} \right). \quad (9)$$

Физически реализуемому решению соответствует знак плюс. В том случае, когда плотность сетки существенно превышает концентрацию соли в

окружающем растворе, множитель Доннана можно оценить по формуле, являющейся предельным случаем (9):

$$\alpha = \frac{N_0}{c}. \quad (10)$$

Решение (9), в частности, говорит о том, что для рассматриваемого случая можно легко вычислить разность

электростатических потенциалов между гелем и раствором.

$$\Delta\varphi = kT \ln \left( \frac{1}{2c} \left( N_0 + \sqrt{N_0^2 + 4c^2} \right) \right). \quad (11)$$

На практике состояние набухшей сетки чаще всего характеризуется степенью набухания  $Q$ :

$$Q = \frac{m - m_0}{m_0}, \quad (12)$$

где  $m$  и  $m_0$  - массы образца в набухшем и сухом состоянии, соответственно.

При больших степенях набухания  $m \gg m_0$  и  $N_0$  можно выразить через  $Q$  как

$$N_0 = \frac{m_0}{MV} = \frac{m_0 \rho}{Mm} = \frac{\rho}{MQ}, \quad (13)$$

где  $M$  - молярная масса отдельного мономерного звена (предполагается, что гель синтезирован на основе гомополимера, а концентрация сшивающего агента пренебрежимо мала),  $\rho$  - плотность

жидкости, в которой набухает гель (в данном случае - морской воды).

Подставляя (13) в (11), получаем расчетную формулу для разности электростатических потенциалов

$$\Delta\varphi = kT \ln \left( \frac{\rho}{2MQc} \left( 1 + \sqrt{1 + 4 \left( \frac{MQc}{\rho} \right)^2} \right) \right). \quad (14)$$

Зависимости электростатического потенциала от плотности ионогенных групп внутри сетки, помещенной в солевой раствор, представлены на рисунке 2 для

трех значений температур. Концентрация соли и значение  $\rho$  в расчетах для рисунка 2 отвечает солёности воды в поверхностных слоях Чёрного моря (17%). Диапазон

изменения степени набухания отвечает наиболее употребительным значениям.

Можно видеть, что при относительно малых степенях набухания сетки (применительно к этим значениям уже можно говорить об ион-проводящем материале) контактная разность

потенциалов достигает заметных величин. Представленные расчеты также доказывают, что профиль электростатического потенциала в системе действительно ведет себя так, как показано на рисунке 1.

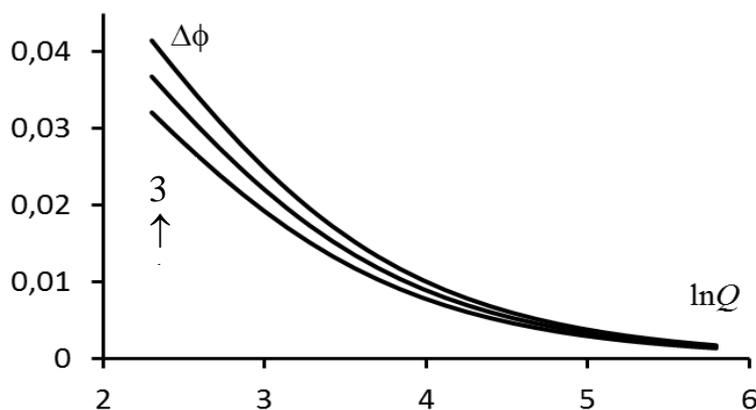


Рисунок 2 – Зависимости контактной разности потенциалов от логарифма степени набухания сетки на основе полиакрилата натрия при различных значения температуры,  $T = 0$  (1),  $40$ (2),  $80^{\circ}\text{C}$ (3)

Очевидно, что если превратить систему, показанную на рисунке 1 в замкнутый контур, то результат будет представлять собой некий аналог термопары (рисунок 3). Контактные разности потенциалов неодинаковы для двух зон контакта ион-проводящего материала и раствора вследствие разности температур, поэтому внутри контура должна возникать ЭДС.

Покажем, что этот эффект может быть использован для формирования направленного потока раствора.

#### Возникновение потока раствора за счет контактной разности потенциалов в системе гидрогель-раствор

Система, показанная на рисунке 2.35, является аналогом термопары, однако имеются и существенные отличия. А именно, в биметаллической термопаре разность температур также приводит к возникновению ЭДС, однако в этом случае имеется только один тип носителей заряда.

В случае рассматриваемой системы в каждом из элементов контура (аналога термопары) присутствуют носители зарядов двух знаков. Соответственно, баланс по токам для любого значения ЭДС выражается двумя уравнениями

$$j_1^+ = j_2^+ , \quad (15)$$

$$j_1^- = j_2^- , \quad (16)$$

где  $j_{1(2)}^{+(-)}$  - плотность тока положительных (отрицательных) зарядов в области 1 (2).

В общем случае ток ионов определяется следующими факторами:

- воздействием электрического поля,

- градиентом концентраций подвижных ионов,
- движением жидкости как целого.

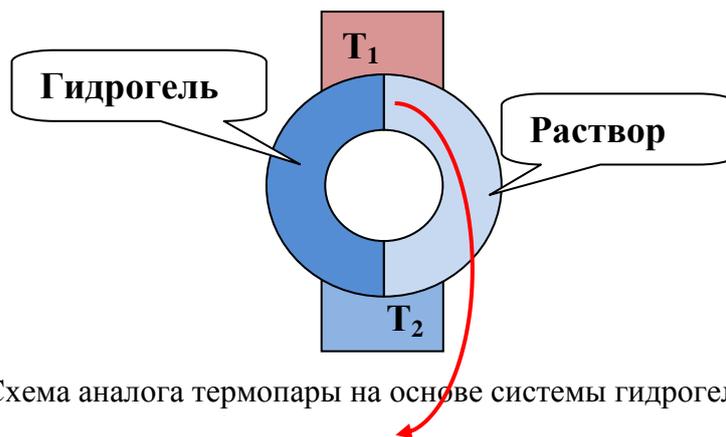


Рисунок 3 – Схема аналога термопары на основе системы гидрогель – раствор

С учетом этих факторов, уравнения баланса токов зарядов обоих знаков следует записать в виде

$$-D \frac{dc_e^+}{dx} + beE_e c_e^+ + vc_e^+ = -D \frac{dc_i^+}{dx} + beE_i c_i^+ + vc_i^+ \quad (17)$$

$$-D \frac{dc_e^-}{dx} - beE_e c_e^- + vc_e^- = -D \frac{dc_i^-}{dx} - beE_i c_i^- + vc_i^- \quad (18)$$

где  $v$  – скорость движения жидкости как целого,  $E$  – напряженность электрического поля,  $c_{e(i)}^{+(-)}$  – концентрация положительных (отрицательных) носителей заряда вне (внутри) гидрогеля,  $e$  – элементарный заряд. Для упрощения выкладок предполагается, что коэффициенты диффузии  $D$  и подвижности  $b$  для ионов обоих знаков одинаковы. Предполагается, что площадь

сечения обеих частей контура одинакова. За положительное направление при записи уравнений (17) и (18) принято техническое направление тока.

Рассмотрим случай, когда движение зарядов обусловлено только наличием ЭДС в аналоге термопары, показанном на рисунке 3. Имеем:

$$bE_e c_e^+ = bE_i c_i^+ \quad (19)$$

$$bE_e c_e^- = bE_i c_i^- \quad (20)$$

Легко видеть, что уравнения (19) и (20) не могут выполняться одновременно ни при каких значениях напряженности поля, так как концентрации носителей заряда вне гидрогеля одинаковы (3), а внутри существенно отличаются (4).

Следовательно, внутри рассматриваемого контура должны или

возникать градиенты концентраций, или появится циркуляция жидкости как целого. Если используется плотно сшитая сетка, то циркуляция жидкости в контуре, показанном на рисунке 3, существенно затруднена, т.е. уравнения (17) и (18) следует переписать в виде

$$-D \frac{dc_e^+}{dx} + beE_e c_e^+ = -D \frac{dc_i^+}{dx} + beE_i c_i^+ \quad (21)$$

$$-D \frac{dc_e^-}{dx} - beE_e c_e^- = -D \frac{dc_i^-}{dx} - beE_i c_i^- \quad (22)$$

Для оценки градиента концентраций будет рассматривать случай, когда перепад концентраций на длине контура существенно меньше средних значений. Тогда в полевых членах уравнений (21) и (22) концентрации подвижных ионов, а

также напряженность электрического поля можно считать постоянными величинами. В этом случае производные, входящие в диффузионные члены, также можно положить постоянными и записать

$$-D \left\langle \frac{dc_e^+}{dx} \right\rangle + beE_{0e} \langle c_e^+ \rangle = -D \left\langle \frac{dc_i^+}{dx} \right\rangle + beE_{0i} \langle c_i^+ \rangle \quad (23)$$

$$-D \left\langle \frac{dc_e^-}{dx} \right\rangle - beE_{0e} \langle c_e^- \rangle = -D \left\langle \frac{dc_i^-}{dx} \right\rangle - beE_{0i} \langle c_i^- \rangle \quad (24)$$

В уравнениях (23) и (24) все величины, стоящие в угловых скобках, а также среднее электрическое поле  $E_{0i(e)}$  рассматриваются как постоянные.

Далее, в силу нейтральности среды в обоих участках контура имеет место

$$\left\langle \frac{dc_{i(e)}^-}{dx} \right\rangle = \left\langle \frac{dc_{i(e)}^+}{dx} \right\rangle = \left\langle \frac{dc_{i(e)}}{dx} \right\rangle \quad (25)$$

$$\langle c_i^+ \rangle = N_0 + \langle c_i^- \rangle = N_0 + \langle c_i \rangle \quad (26)$$

$$\langle c_e^+ \rangle = \langle c_e^- \rangle = \langle c_e \rangle \quad (27)$$

Кроме того, в силу непрерывности функций, описывающих распределение концентраций вдоль контура, имеет место

$$l_i \left\langle \frac{dc_i^+}{dx} \right\rangle = -l_e \left\langle \frac{dc_e^+}{dx} \right\rangle \quad (28)$$

Знак «минус» подчеркивает, что градиенты концентраций в двух сегментах контура должны быть направлены противоположно (в противном случае

концентрации должны были бы испытывать скачок).

Подставляя соотношения (25) – (27) в уравнения (23) и (24), имеем

$$-D \left\langle \frac{dc_e}{dx} \right\rangle + beE_{0e} \langle c_e \rangle = -D \left\langle \frac{dc_i}{dx} \right\rangle + beE_{0i} (\langle c_i \rangle + N_0) \quad (29)$$

$$-D \left\langle \frac{dc_e}{dx} \right\rangle - beE_{0e} \langle c_e \rangle = -D \left\langle \frac{dc_i}{dx} \right\rangle - beE_{0i} \langle c_i \rangle \quad (30)$$

Вычитая из уравнения (29) уравнение (30), получаем:

$$2beE_{0e}\langle c_e \rangle = beE_{0i}(2\langle c_i \rangle + N_0) \quad (31)$$

Складывая те же уравнения, имеем:

$$-2D\left\langle \frac{dc_e}{dx} \right\rangle = -2D\left\langle \frac{dc_i}{dx} \right\rangle + beE_{0i}N_0 \quad (32)$$

Или, с учетом (28),

$$2\left(\frac{l_i}{l_e} + 1\right)D\left\langle \frac{dc_i}{dx} \right\rangle = beE_{0i}N_0 \quad (33)$$

откуда

$$\left\langle \frac{dc_i}{dx} \right\rangle = \frac{l_e}{2(l_e + l_i)} \frac{E_{0i}}{T_i} N_0 \quad (34)$$

Таким образом, баланс по токам зарядов обоих знаков в контуре рассматриваемого типа (рисунок 3) достигается за счет возникновения ненулевого градиента концентраций. Возникающая из-за этого диффузионная компонента тока уменьшает амплитуду полного тока в той части контура, где концентрация положительных ионов больше (внутри гидрогеля) и, наоборот, увеличивает ток в той части, где концентрация ионов натрия меньше (в области, занятой раствором). Аналогичным образом, баланс обеспечивается и для отрицательных ионов.

Перейдем от схемы рисунка 3 к схеме двухкомпонентного контура, показанной на

рисунке 4. Как было показано выше, между точками А и В на этом рисунке должен существовать градиент концентраций низкомолекулярных ионов. (Точнее, он возникает в отсутствие второй петли контура.) Известно, что градиент концентрации низкомолекулярных ионов приводит к возникновению разности осмотических давлений. Следовательно, можно ожидать, что разность температур между зонами контакта геля и раствора в первой петле контура вызовет циркуляцию во второй петле.

Покажем, что такая циркуляция, с одной стороны, нивелирует возникающий градиент концентрации, а, с другой стороны, существует стабильно.

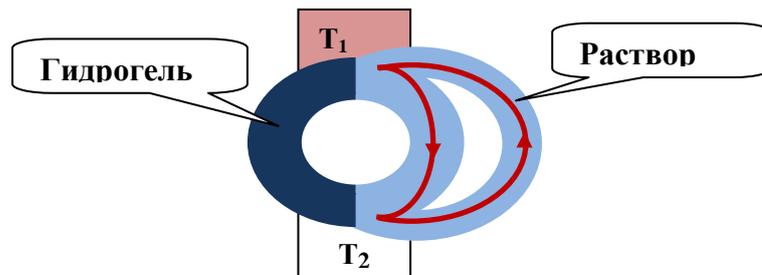


Рисунок 4 – Схема составного циркуляционного контура на основе системы гидрогель-раствор

Для этого вернемся к уравнениям (17) и (18) и положим в них все градиентные члены равными нулю. Будем также считать, что только в части контура, незанятой

гелем, реализуется ненулевая скорость движения жидкости (это соответствует ее циркуляции во второй петле контура, рисунок 4). Имеем:

$$beE_e c_e^+ + v c_e^+ = beE_i c_i^+, \quad (35)$$

$$-beE_e c_e^- + v c_e^- = -beE_i c_i^- \quad (35)$$

Или, переходя, как и ранее, к средним значениям концентраций,

$$beE_{e0} \langle c_e \rangle + v \langle c_e \rangle = beE_{i0} (\langle c_i \rangle + N_0), \quad (36)$$

$$-beE_{e0} \langle c_e \rangle + v \langle c_e \rangle = -beE_{i0} \langle c_i \rangle \quad (37)$$

Вычитая уравнения (36) и (37) друг из друга, получаем уравнение, идентичное (31). Складывая их, получаем, что

$$2v \langle c_e \rangle = beE_{i0} N_0, \quad (38)$$

Или

$$v = beE_{i0} \frac{N_0}{2 \langle c_e \rangle} \quad (39)$$

Уравнение (39) доказывает высказанное выше утверждение: во второй петле контура рисунка 4 возникает стабильная циркуляция низкомолекулярного электролита, причем можно ожидать реализации достаточно высоких скоростей за счет использования

сеток с высокой плотностью заряда ионогенных групп.

Проведем соответствующие оценки.

Умножая уравнение (39) на площадь сечения контура  $S$ , которая предполагается постоянной, его можно переписать в виде

$$\frac{2be \langle c_e \rangle S}{l_e} E_{0e} l_e = \frac{be(2 \langle c_i \rangle + N_0) S}{l_i} E_{0i} l_i \quad (40)$$

Величину

$$\sigma = \frac{2becS}{l} \quad (41)$$

можно приближенно считать равной проводимости (обратному значению сопротивления  $R$ ) объема 1:1 электролита с суммарной концентрацией

низкомолекулярных ионов  $c$ , при сечении проводника  $S$  и его длине  $l$  [6].

С этой точки зрения, уравнение (40) выражает постоянство тока в эквивалентной

электрической схеме (рисунок 5) контура, схема которого показана на рисунке 4.

Имеем

$$\frac{\Delta U_e}{R_e} = \frac{\Delta U_i}{R_i} \quad (42)$$

где принято во внимание, что при постоянной напряженности электрического поля падение напряжения может быть выражено как

$$\Delta U_{e(i)} = E_{0e(i)} l_{e(i)} \quad (43)$$

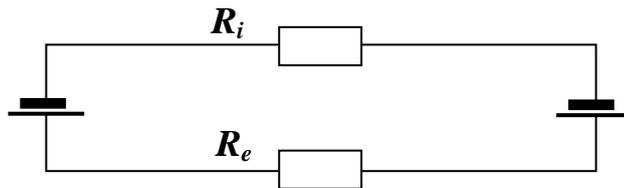


Рисунок 5 Эквивалентная электрическая схема контура

При этом, по правилу Кирхгоффа:

$$\Delta U_e + \Delta U_i = U_T = \Delta\phi(T_1) - \Delta\phi(T_2) \quad (44)$$

где контактные разности потенциалов, обеспечивающие появление термо-ЭДС  $U_T$  могут быть рассчитаны по формуле (11).

Рассматривая эквивалентную электрическую схему контура, имеем

$$\Delta U_i = U_T \frac{R_i}{R_e + R_i} \quad (45)$$

Используя соотношения (39), (43) и (45), получаем формулу, которая позволяет оценить скорость циркуляции во второй петле контура рисунка 4.

$$v = beU_T \frac{N_0}{2\langle c_e \rangle l_i} \frac{R_i}{R_e + R_i} \quad (46)$$

Выразим в формуле (46) все величины через концентрации низкомолекулярных ионов (для упрощения записи угловые скобки опущены)

$$v = beU_T \frac{N_0}{2c_e l_i + (2c_i + N_0) l_e} \quad (47)$$

Рассматриваемый контур имеет смысл эксплуатировать только при достаточно больших плотностях сеточного заряда,

поэтому при расчетах вместо (47) допустимо использовать приближенное соотношение

$$v \approx beU_T \frac{N_0}{2c_e l_i + N_0 l_e} \quad (48)$$

Формула (48) показывает, что, с точностью до численного множителя, определяемого геометрией контура и соотношением концентраций, скорость циркуляции жидкости будет равна скорости движения ионов, вызываемого приложенной термо-ЭДС.

$$v \approx be \frac{U_T}{l_e} \quad (49)$$

Скорость движения ионов натрия в поле напряженностью 1 В/см при нормальных условиях составляет 0,00045

При условии, что длины обоих участков контура соизмеримы, плотность сетки намного превосходит концентрацию соли в окружающем растворе, формулу (48) можно упростить дальше

см/с [6], т.е. для численных оценок скорости можно пользоваться формулой

$$v \approx 0,45 \cdot 10^{-6} \frac{U_T}{l_e} \quad (50)$$

При разности температур в 50<sup>0</sup>С,  $l_e = 1$  см и  $N_0/c = 700$  оценка по формуле (50) дает неприемлемо низкое значение скорости  $v = 1,27 \cdot 10^{-7}$  м/с. Это связано с тем, что в делителе напряжений, рисунок 5, при соизмеримых длинах рассматриваемых участков контура, основное падение напряжения приходит на участок, заполненный раствором, так как в нем

концентрация подвижных ионов мала, а сопротивление, соответственно, велико.

Следовательно, имеет смысл вернуться к формуле (46), которая, в частности, показывает, что скорость потока жидкости во второй петле контура будет существенно превышать скорость движения ионов, при условии, что

$$R_e \ll R_i \quad (51)$$

Добиться выполнения условия (51) можно, вставив в участок контура, заполненный раствором, дополнительный элемент с высокой электропроводностью. Подчеркнем, что просто уменьшить длину

этого участка до долей сантиметра невозможно, так как необходимо поддерживать разность температур.

При выполнении условия (51) формула (46) переходит в

$$v = be \frac{U_T}{l_i} \frac{N_0}{2c_e} \quad (52)$$

Следовательно, существует возможность увеличить полученный выше результат на несколько порядков. При тех же условиях, что были использованы выше, оценки дают значение  $v = 4,5 \cdot 10^{-5}$  м/с.

Дальнейшего увеличения данного показателя можно добиться, если использовать проводящие прокладки и для второго плеча, что формально отвечает уменьшению длины  $l_e$ . При использовании

проводящих прокладок единственным физическим ограничением на этот параметр является условие  $l_e \gg \lambda$ , где  $\lambda$  – длина Дебая (и техническая реализуемость мембраны соответствующей толщины, разумеется).

Принимая во внимание, что из плотно сшитой сетки вполне возможно изготовить мембрану толщиной 0,5 мм, для следующей

оценки можно использовать значение  $l_e = 0,1$  см. Тогда  $v = 4,5 \cdot 10^{-4}$  м/с.

Сам по себе этот показатель также является неприемлемо малым. Однако, нужно принимать во внимание, что площадь зоны контакта (фактически площадь солнечной панели, обеспечивающей работу двигателя рассматриваемого типа) неизбежно будет существенно превышать площадь сечения канала, обеспечивающего реактивное движение. Принимая для оценки площадь сечения канала  $3 \text{ см}^2$  (что по порядку величины соответствует показателю водного скутера), а площадь солнечной панели равной  $10 \text{ м}^2$ , получаем, что  $v = 1,48$  м/с. Это является уже приемлемой величиной, по крайней мере, с точки зрения возможностей дальнейшего совершенствования принципа действия двигателя предложенного типа.

Таким образом, существует принципиальная возможность реализовать реактивный водометный двигатель, работающий непосредственно на солнечной тяге. Разумеется, полученная оценка скорости является далекой от показателя, характерного для движения судов на, скажем, дизельных двигателях. Однако предложенный тип двигателя может, во-

первых, работать в комбинации с обычными солнечными батареями (по аналогии с известными конструкциями, в которых с солнечной батареей совмещается солнечный коллектор). Такая комбинация, с одной стороны, обеспечивает оптимальный температурный режим работы самой солнечной батареи, а, с другой стороны, позволяет вырабатывать дополнительную энергию.

Во-вторых, полученная оценка далеко не исчерпывает возможностей предложенного принципа работы. Так, использование потока, протекающего под углом к нормали к поверхности геля, позволяет увеличить скорость еще на порядок. Кроме того, напряжение, генерируемое аналогом термопары, также может быть увеличено, как минимум, на порядок за счет использования термочувствительных гидрогелей. В результате, существует резерв для увеличения полученного значения скорости до  $100$  м/с, что уже является приемлемым для создания водометных двигателей, аналогичных устанавливаемым в настоящее время на водные скутеры.

### Литература

1. Агеев М. Д., Горнак В. Е., Хмельков Д. Б. О разработке экспериментального образца солнечного автономного подводного аппарата // Вест. ДВО РАН. – 1998. – №. 3. – С. 3-11.
2. Агеев М.Д. Концепция автономного подводного аппарата, использующего солнечную энергию и энергию морского волнения // Подводные исследования и робототехника. 2008. №2(6) С.4-15.
3. КИН Н. Д., БАЛТАНЬЯЗОВ И. В., ГЕРЛОВ В. С. Использование возобновляемых источников энергии для энергоснабжения морских нефтедобывающих платформ // Вестник Астраханского государственного

технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2009. – №. 2., С.193-197.

4. Budtova, T. V., Belnikovich, N. G., Suleimenov, I. E., & Frenkel, S. Y. (1993). Concentration redistribution of low-molecular-weight salts of metals in the presence of a strongly swelling polyelectrolyte hydrogel. *Polymer*, 34(24), 5154-5156.
5. Budtova, T. V., Suleimenov, I. E., & FRENKEL, S. (1995). A diffusion approach to description of swelling of polyelectrolyte hydrogels. *Polymer science*, 37(1), 10-16.
6. Изгарышев Н.А., Горбачев С.В. Курс теоретической электрохимии. М. Госхимиздат. 1951. 503 с.

*Поступила 16 июня 2014 г.*

УДК 003.26: 004.9(43)

## ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГРАДИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ

Таратухин<sup>1</sup> А.А., Григорьев<sup>2</sup> П.Е., Саханов<sup>3</sup> Ж.Т.

<sup>1</sup>Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Россия

<sup>2</sup>Крымский государственный медицинский университет имени С.И. Георгиевского, Россия

<sup>3</sup>Алматинский университет энергетики и связи, Казахстан

e-mail: taratukhinalexandr@gmail.com

Ряд актуальных физико-химических задач, относящихся в частности, к области исследования растворов высокомолекулярных соединений, и к биофизике требует регистрации пространственного распределения низкомолекулярных ионов в режиме реального времени. В данной статье предложено устройство, позволяющее проводить исследование 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 программно-аппаратного комплекса. Представлены результаты тестирования измерительной системы.

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

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 полимеров, 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 экранах на основе термочувствительных полимеров [15] и т.д.

Для исследования электропроводности 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 электропроводности 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 разрабатываемого 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.

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 электропроводности 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.

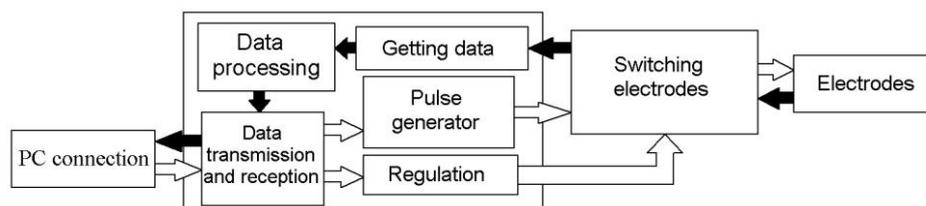


Рисунок 1. Структурная схема комплекса

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 2).

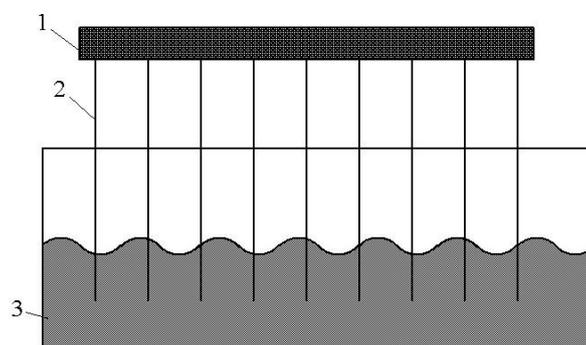


Рисунок 2. Расположение электродов

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 такте 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.

Схема программно-аппаратного комплекса приведена на рисунке 3.

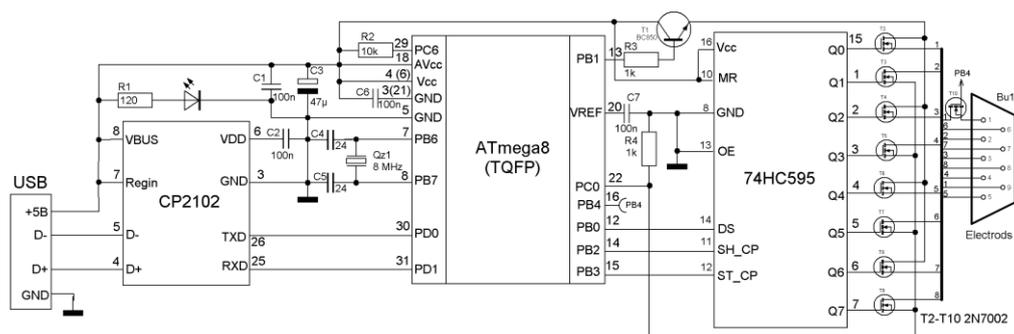


Рисунок 3. Схема программно-аппаратного комплекса.

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

Аппаратная часть комплекса тесно связана с программной, т.к. в схеме отсутствуют кнопки, а все управление производится из программы. 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 74HC595 устанавливается кодовая последовательность, переводящая полевые транзисторы соответствующей пары электродов в открытое состояние. Сигналы ШИМ с вывода PB1 через полевые транзисторы поступают к электродам, далее проходя через раствор, в зазоре между электродами, происходит падение напряжения, которое фиксируется входом PC0. 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. Экранная копия программы изображена на рисунке 4.

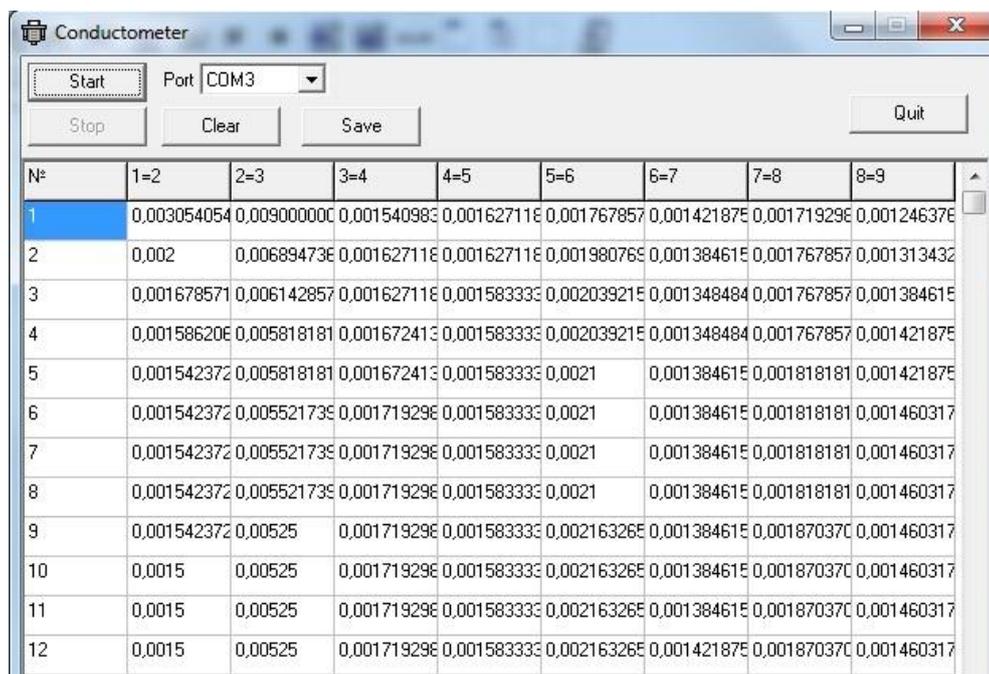


Рисунок 4. Экранная копия программной части комплекса

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».

Таким образом, 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

Напряжение питания	5 В
Ток потребления	40 мА
Время полного считывания	≈ 0.2 с
Частота импульсов	333 Гц
Погрешность измерений	3-5%

Новизна работы заключается в проведении измерений, что позволяет в применении 9-ти электродов для определять градиент электропроводимости.

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 так же 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., & Shaltykova, D. B. Prospects of Using Osmotic Phenomena in Solutions of Thermosensitive Polymers to Improve the Efficiency of Internal Combustion Engines. *World Applied Sciences Journal*, 17(11), 2012.
2. Ergozhin, E. E., Zezin, A. B., Suleimenov, I. E., & Mun, G. A. (2008). Hydrophilic polymers in nanotechnology and nanoelectronics. LEM, Almaty-Moscow.
3. Dergunov, S. A., Mun, G. A., Dergunov, M. A., Suleimenov, I. E., & Pinkhassik, E. (2011). Tunable thermosensitivity in multistimuli-responsive terpolymers. *Reactive and Functional Polymers*, 71(12), 1129-1136.
4. Bekturov, E. A., & Suleimenov, I. E. (1998). *Polymer Hydrogels*. Gylum, Almaty.
5. Budtova, T. V., Suleimenov, I. E., Bichutskii, D. A., & FRENKEL, S. (1995). Redistribution of low-molecular-mass acid between polyelectrolyte hydrogel and solution. *Polymer science. Series A, Chemistry, physics*, 37(6), 646-650.
6. Budtova, T. V., Suleimenov, I. E., & FRENKEL, S. (1995). A diffusion approach to description of swelling of polyelectrolyte hydrogels. *Polymer science*, 37(1), 10-16.
7. Budtova, T. V., & Suleimenov, I. E. (1994). Interpolymer complex formation of some nonionogenic polymers with linear and crosslinked polyacrylic acid. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 32(2), 281-284.
8. Suleimenov, I., Mun, G., Ivlev, R., Panchenko, S., & Kaldybekov, D. (2012). Autooscillations in Thermo-responsive Polymer Solutions as the Basis for a New Type of Sensor Panels. *AASRI Procedia*, 3, 577-582.
9. Dolayev, M., Obukhova, P., Panchenko, S., Bakytbekov, R. B., Ivlyev, R. S., & Chezhimbayeva, K. (2013). The principle of recording information in distributed environments via Suleimenov-Mun's waves. *European Scientific Journal*, 9(21).
10. Panchenko, S. V., Obuhova, P. V., Chezhimbaeva, K. S., Tsoi, A. M., Shaikhudinova, A. A., Eligbaeva, G. A., ... & Dolayev, M. (2013). Prospects of Using Waves of Suleimenov-Mun in "Green" Energetics. *World Applied Sciences Journal*, 22(10).
11. Suleimenov, I., Shaltykova, D., Sedlakova, Z., Mun, G., Semenyakin, N., Kaldybekov, D., & Obukhova, P. (2014). Hydrophilic Interpolymer Associates as a Satellite Product of Reactions of Formation of Interpolymer Complexes. *Applied Mechanics and Materials*, 467, 58-63.
12. Suleimenov, I., Güven, O., Mun, G., Beissegul, A., Panchenko, S., & Ivlev, R. (2013). 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*, 62(9), 1310-1315.
13. Mun, G. A., Yermukhambetova, B. B., Urkimbayeva, P. I., Bakytbekov, R. B., Irmukhmetova, G. S., Mangazbayeva, R. A., & Suleimenov, I. E. (2012). Synthesis and Characterization of Water Soluble and Water Swelling Thermo-sensitive Copolymers based on 2-Hydroxyethylacrylate and 2-Hydroxyethylmethacrylate. *AASRI Procedia*, 3, 601-606.

14. Jumadilov, T., Yermukhambetova, B., Panchenko, S., & Suleimenov, I. (2012). Long-distance Electrochemical Interactions and Anomalous Ion Exchange Phenomenon. AASRI Procedia, 3, 553-558.

15. Suleimenov, I., Semenyakin, N., Mun, G., Shaltykova, D., Panchenko, S., & Sedlakova, Z. (2012). Use of Non-linear Properties of Stimuli-sensitive Polymers in Image Display Systems. AASRI Procedia, 3, 528-533.

*Поступила 14 мая 2014 г.*

## DEVELOPMENT OF MATRIX OPTICS METHODS BASED ON PROJECTIVE GEOMETRY

<sup>1,2</sup>Panchenko S.V., <sup>1</sup>Suleimenov I.E., <sup>1</sup>Shaltykova D.B., <sup>3</sup>Suleymenova K.I.

<sup>1</sup>Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Kazakhstan

<sup>2</sup>al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup>Birmingham University, UK

e-mail: sergey@panchen.co

A new approach to the justification of matrix optics, based on the methods of projective geometry is proposed. Its advantages are shown with the help of concrete examples.

### Introduction

In recent decades methods of matrix optics were developed rapidly [1, 2]. In particular, there are various known attempts to modify the basis of the matrix optics to improve the capacity of its usage, also a set of works devoted to applications of matrix optics [3-9] is known.

In this paper we make an attempt to develop such a modification of matrix optics, which would be the closest to the methods of analytic geometry. The basis for this is a projective geometry [10], in which, as it is well known, correct mathematical meaning of concepts, such as the infinitely remote straight line and infinitely remote geometrical point, are given.

The proposed approach allows to obtain matrices directly describing the coordinates transformation of straight lines, which allows (as distinct from a known modification of matrix optics) to apply developed matrix technique to any system of lenses and mirrors in their arbitrary location in respect to each other. In addition, proposed approach allows revealing the close connection between the "optics of lenses and mirrors" and such an important branch of mathematics, as projective geometry.

Coordinates of straight line in a projective geometry is a  $(A, B, C)$  triple, defined up to a constant multiplier.

$$A_1x + B_1y + C_1 = 0 \quad (1)$$

$$A_2x + B_2y + C_2 = 0 \quad (2)$$

In this paper we develop a description of the beam reflection from the plane mirror, based on the use of projective transformations, this formalism may be extended to the case of spherical and cylindrical lenses. It allows asserting that "the optics of lenses and plane mirrors" can be considered as a physical model for such an important branch of mathematics as the projective geometry

### Description of the process of reflection within a matrix optics, built on projective geometry

One can show that the triple  $(A, B, C)$  may be considered as projective coordinates of the beam, rather than straight line. Indeed, a couple of  $(A, B)$  sets (up to sign) normal to the line. If we fix the sign and take as positive the direction of the normal when the ray and the normal to it form a right-handed system, specifying the  $(A, B)$  pair we determine not only the straight line but also the direction to it, i.e., we specify the ray.

Next formulas corresponds to it

$$\mathbf{Nr} + \rho_1 = 0 \quad (3)$$

or

$$\cos \phi_1 x + \sin \phi_1 y + \rho_1 = 0,$$

$$\text{where } \cos \phi_1 = \frac{A_1}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}},$$

$$\sin \phi_1 = \frac{B_1}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}}, \quad \rho_1 = \frac{C_1}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}}, \quad \phi_1 -$$

angle, as stressed by Figure 1, is the angle

measured from the axis  $Ox$  to the normal to the considered line in a counterclockwise direction.

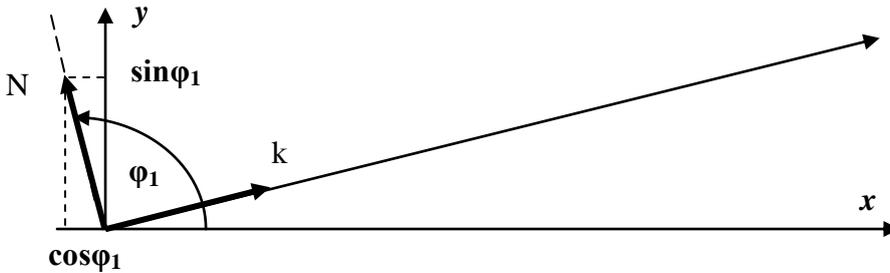


Figure 1 – Illustration for the angle count that defines the direction of the line.

Considering the agreement on setting the direction of the beam, the unit vector, that characterizes this area, has the following coordinates

$$\mathbf{k} = (\sin \phi_1, -\cos \phi_1) = (\cos \phi_1', \sin \phi_1') \quad (4)$$

where  $\phi_1' = \frac{\pi}{2} - \phi_1$ .

Similarly, the coordinates of the straight line, which describes the surface of the mirror, can be set

$$A_0 x + B_0 y + C_0 = 0 \quad (5)$$

The angle between the declining beam (straight line "1") and the line "0", which describes the surface of the mirror, is given by

$$\text{tg} \gamma_{10} = \frac{A_1 B_0 - B_1 A_0}{A_1 A_0 + B_1 B_0} = \frac{\sin(\phi_0 - \phi_1)}{\cos(\phi_0 - \phi_1)} \quad (6)$$

$\gamma_{10}$  is the angle at which it is necessary to turn a straight line "1" around the point of intersection counterclockwise till the first intersection with the line "0", which clarifies the selection of the nature of measuring angles, namely:  $\gamma_{10} = \phi_0 - \phi_1$

Formula for the reflected beam that is similar to (6) can be written as

$$\text{tg} \gamma_{02} = \frac{A_0 B_2 - B_0 A_2}{A_2 A_0 + B_2 B_0} \quad (7)$$

At the same time, taking into account the chosen method of measuring angles, obviously, we have:

$$\text{tg} \gamma_{10} = \text{tg} \gamma_{02} \quad (8)$$

On the basis of (6) and (8) we can write an equation that specifies the coordinates of the straight line corresponding to the reflected ray

$$\frac{A_0 B_2 - B_0 A_2}{A_2 A_0 + B_2 B_0} = \text{tg} \gamma_{10} \quad (9)$$

where

$$B_2 = A_2 \frac{B_0 + \text{tg} \gamma_{10} A_0}{A_0 - \text{tg} \gamma_{10} B_0} \quad (10)$$

Let us now consider a couple of linear-fractional transformations of the form

$$z_1 = \frac{b_{11} y_1 + b_{12} y_2 + b_{13}}{b_{31} y_1 + b_{32} y_2 + b_{33}} \quad (11)$$

$$z_2 = \frac{b_{21} y_1 + b_{22} y_2 + b_{23}}{b_{31} y_1 + b_{32} y_2 + b_{33}} \quad (12)$$

Such a pair meets a projective transformation of the plane  $(y_1, y_2)$  to the plane  $(z_1, z_2)$ , the distinguishing feature of these transformations is the common denominator in the right-hand side of (11) and (12).

We consider one more similar transformation, namely a couple

$$y_1 = \frac{a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}}{a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}} \quad (13)$$

$$y_2 = \frac{a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}}{a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}} \quad (14)$$

In the framework of projective geometry equation of the straight is written in projective coordinates. Namely, instead of (1) should be written

$$A_1\xi + B_1\zeta + C_1\zeta = 0 \quad (15)$$

Where three values  $(\xi, \zeta, \zeta)$  are also defined up to a multiplier, this is the projective coordinates of the point on the plane.

Provided that  $\zeta \neq 0$ , the classic position of the point on a plane is associated with projective one through a clear relationship

$$x = \frac{\xi}{\zeta}, \quad y = \frac{\zeta}{\zeta} \quad (16)$$

An exception is the case when  $\zeta = 0$ . It allows to include into consideration infinitely distant points and the infinitely distant line in the projective geometry, in which any two lines are intersected, and all the curves of the second order can be brought to the same form. In particular, the intersection of two parallel lines is one of the points with projective coordinates  $(\xi, \zeta, 0)$  belonging to the infinitely distant line.

The fact that the projective coordinates are defined up to a multiplier allows you to replace two *non-linear* relations (11) and (12) with three *linear* transformations

$$\begin{cases} \zeta_1 = b_{11}\zeta_1 + b_{12}\zeta_2 + b_{13} \\ \zeta_2 = b_{21}\zeta_1 + b_{22}\zeta_2 + b_{23} \\ \zeta_3 = b_{31}\zeta_1 + b_{32}\zeta_2 + b_{33} \end{cases} \quad (17)$$

Simplistically, the denominator common to fractions (11) and (12) is transformed as a separate coordinate. This, in particular, allows moving from nonlinear transformations to particular kind of linear.

Further, the transformation (13) and (14) can also be presented in a form similar to (17)

$$\begin{pmatrix} B_2 \\ A_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_0 & B_0 \\ -B_0 & A_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -A_0 & B_0 \\ B_0 & A_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_1 \\ A_1 \end{pmatrix} \quad (24)$$

$$\begin{cases} \zeta_1 = b_{11}\xi_1 + b_{12}\xi_2 + b_{13} \\ \zeta_2 = b_{21}\xi_1 + b_{22}\xi_2 + b_{23} \\ \zeta_3 = b_{31}\xi_1 + b_{32}\xi_2 + b_{33} \end{cases} \quad (18)$$

It is significant that the substitution (18) in (17) leads to a transformation whose matrix is the product of matrices **B** and **A**

$$\mathbf{C} = \mathbf{BA} \quad (19)$$

Such matrix also describes a couple of linear-fractional transformations that are obtained by substituting the expression (13) and (14) into (11) and (12). This fact allows us to describe the transformation of this type through the matrix, reducing them to linear transformations with the dimension of one greater than the dimension of the original space.

If there is one fractional transformation, it can be regarded as a projective transformation of the line. In particular, instead of (10) it can be written

$$\begin{pmatrix} B_2 \\ A_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B_0 + tg\gamma_{10}A_0 \\ A_0 - tg\gamma_{10}B_0 \end{pmatrix} \quad (20)$$

and, consider this entry as a projective transformation, committed on a column vector  $\begin{pmatrix} tg\gamma_{10} \\ 1 \end{pmatrix}$ .

$$\begin{pmatrix} B_2 \\ A_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_0 & B_0 \\ -B_0 & A_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} tg\gamma_{10} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (21)$$

The same reasoning can be applied to (6), writing

$$\begin{pmatrix} tg\gamma_{10} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1B_0 - B_1A_0 \\ A_1A_0 + B_1B_0 \end{pmatrix} \quad (22)$$

or

$$\begin{pmatrix} tg\gamma_{10} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -A_0 & B_0 \\ B_0 & A_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_1 \\ A_1 \end{pmatrix} \quad (23)$$

Then the transformation that describes the change in direction of the beam by reflection from a plane mirror, written in matrix form is

This record can be presented in a form that responds to a transformation of matrix similarity

$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$  like

$$\begin{pmatrix} B_2 \\ A_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_0 & B_0 \\ -B_0 & A_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_0 & -B_0 \\ B_0 & A_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_1 \\ A_1 \end{pmatrix} \quad (25)$$

It is essential that in this relationship matrices are defined up to an arbitrary constant multiplier. Accordingly, each of the matrices in (25) can be divided by the factor  $\sqrt{A_0^2 + B_0^2}$ . Then we get

$$\begin{pmatrix} B_2 \\ A_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi_0 & \sin \phi_0 \\ -\sin \phi_0 & \cos \phi_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \phi_0 & -\sin \phi_0 \\ \sin \phi_0 & \cos \phi_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_1 \\ A_1 \end{pmatrix} \quad (26)$$

Formula (27) can be understood next way.

Rotation matrix  $\begin{pmatrix} \cos \phi_0 & -\sin \phi_0 \\ \sin \phi_0 & \cos \phi_0 \end{pmatrix}$  leads to

such a coordinate system in which the mirror plane passes through the  $Ox$  axis. In this system of coordinates the reflection from a plane mirror is described obviously through the matrix  $\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ . This corresponds to a

change in the sign of y-components of the normal vector (and the vector in the direction of the beam) to the opposite. x- component remains unchanged.

Thus, the usage of projective geometry for describing the phenomenon of reflection leads to adequate results. Moreover, these tools allow obtaining matrix transformations purely analytical way, without resorting to a separate consideration of turns of vectors, which characterize rays.

Of course, this result is not new, it could be obtained at once, but the calculations carried out show that the method based on the use of projective geometry, is workable. In particular, it can display all the

transformations that describe the operation of a thin lens, oriented arbitrary.

Based on the results of [11,12] matrix describing the operation of a thin lens with focal length  $f$ , the axis of which coincides with the axis  $Oz$ , and the center is located at the origin, can be written as

$$F = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -f & 1 \end{pmatrix} \quad (27)$$

Accordingly, the transformation that performs such a lens, oriented randomly, will be given by the formula

$$RFR^{-1} \quad (28)$$

where  $R$  - matrix of rotation.

Concluding the consideration of matrices, which describe the transformation of the vectors, defining the direction of propagation of light in reflection, let us consider some additional properties of these matrices.

This fact makes it expedient to consider the commutation properties of the reflections and rotations matrix, which can be used to solve such problems as the multipath reflection in optical wedges, etc.

Consider the product of

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \phi_0 & -\sin \phi_0 \\ \sin \phi_0 & \cos \phi_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\cos \phi_0 & \sin \phi_0 \\ \sin \phi_0 & \cos \phi_0 \end{pmatrix} \quad (29)$$

The same result can be obtained by considering the product of

$$\begin{pmatrix} \cos \phi_0 & \sin \phi_0 \\ -\sin \phi_0 & \cos \phi_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\cos \phi_0 & \sin \phi_0 \\ \sin \phi_0 & \cos \phi_0 \end{pmatrix} \quad (30)$$

This result means that if you change the order of multiplication of the rotation matrix and the matrix of reflection the angle of rotation changes to the opposite.

$$R F(\phi) = F(-\phi) R, \quad (31)$$

that allows transparent geometric interpretation.

By (31), in particular, we can obtain the following expressions

$$\begin{pmatrix} B_2 \\ A_2 \end{pmatrix} = \mathbf{F}(\phi_0)\mathbf{R}\mathbf{F}(-\phi_0)\begin{pmatrix} B_1 \\ A_1 \end{pmatrix} = \mathbf{F}(\phi_0)\mathbf{F}(\phi_0)\mathbf{R}\begin{pmatrix} B_1 \\ A_1 \end{pmatrix} = \mathbf{F}(2\phi_0)\mathbf{R}\begin{pmatrix} B_1 \\ A_1 \end{pmatrix} \quad (32)$$

Also

$$\begin{pmatrix} B_2 \\ A_2 \end{pmatrix} = \mathbf{F}(\phi_0)\mathbf{R}\mathbf{F}(-\phi_0)\begin{pmatrix} B_1 \\ A_1 \end{pmatrix} = \mathbf{R}\mathbf{F}(-\phi_0)\mathbf{F}(-\phi_0)\begin{pmatrix} B_1 \\ A_1 \end{pmatrix} = \mathbf{R}\mathbf{F}(-2\phi_0)\begin{pmatrix} B_1 \\ A_1 \end{pmatrix} \quad (33)$$

It is obvious that the results of (44) and (45) differ in the direction of rotation of the vector, which defines the direction of the reflected beam. These properties can be used to significantly simplify certain tasks.

### Some benefits of matrix optics built on the basis of projective geometry

The solution of this problem is important for the development of many systems using planar waveguides. Since such an optical wedge allows easy transmitting the radiation from sources with relatively large scale (e.g., LEDs) in the thin film, which plays the role of planar waveguides.

Consider the following problem. Suppose there is an optical wedge formed by two mirrored surfaces, facing inward wedge. The radiation enters from the interior side to the reflective surface. Required to determine the conditions in which the radiation is concentrated in a narrow part of the system.

We apply to this situation representation (26) for the matrix describing the reflection from a plane mirror. Using notations in (31), the matrix which describes the 4th multiple reflection of the beam inside the optical wedge, can be written as

$$\mathbf{J}_4 = \mathbf{F}(\phi_0)\mathbf{R}\mathbf{F}(-\phi_0) \times \mathbf{F}(-\phi_0)\mathbf{R}\mathbf{F}(\phi_0) \times \mathbf{F}(\phi_0)\mathbf{R}\mathbf{F}(-\phi_0) \times \mathbf{F}(-\phi_0)\mathbf{R}\mathbf{F}(\phi_0) \quad (34)$$

where it is assumed that the axis is selected as shown in Figure 2, i.e., mirror planes are arranged symmetrically about the  $Ox$  axis.

The product of rotation matrices for two different angles is the rotation matrix for the total angle, so that (34) implies

$$\mathbf{J}_4 = \mathbf{F}(\phi_0)\mathbf{R}\mathbf{F}(-2\phi_0)\mathbf{R}\mathbf{F}(2\phi_0)\mathbf{R}\mathbf{F}(-2\phi_0)\mathbf{R}\mathbf{F}(\phi_0) \quad (35)$$

We now use the property (32), applying it to the matrix depending on the angle with a "minus" after exchanging matrices places, we have

$$\mathbf{J}_4 = \mathbf{F}(\phi_0)\mathbf{F}(2\phi_0)\mathbf{R}\mathbf{R}\mathbf{F}(2\phi_0)\mathbf{F}(2\phi_0)\mathbf{R}\mathbf{R}\mathbf{F}(\phi_0) \quad (36)$$

Directly from the form of the reflection matrix follows that

$$\mathbf{R}\mathbf{R} = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \mathbf{I} \quad (37)$$

Applying (37) to (36), we have

$$\mathbf{J}_4 = \mathbf{F}(\phi_0)\mathbf{F}(2\phi_0)\mathbf{F}(2\phi_0)\mathbf{F}(2\phi_0)\mathbf{F}(\phi_0) = \mathbf{F}(8\phi_0) \quad (38)$$

Summarizing the above example to the case of a random number of even reflections in the optical wedge, we can write the following formula.

$$\mathbf{J}_{2n} = \mathbf{F}(4n\phi_0) \quad (39)$$

Let us now consider an example of an odd number of reflections

$$\mathbf{J}_5 = \mathbf{F}(\phi_0)\mathbf{R}\mathbf{F}(-\phi_0)\mathbf{F}(-\phi_0)\mathbf{R}\mathbf{F}(\phi_0)\mathbf{F}(\phi_0)\mathbf{R}\mathbf{F}(-\phi_0)\mathbf{F}(-\phi_0)\mathbf{R}\mathbf{F}(\phi_0) \times \mathbf{F}(\phi_0)\mathbf{R}\mathbf{F}(-\phi_0) \quad (40)$$

It is easy to see that the difference is due only to the last multiplier (matrix, the first acting on the vector describing the incident rays), so

$$\mathbf{J}_5 = \mathbf{J}_4\mathbf{F}(\phi_0)\mathbf{R}\mathbf{F}(-\phi_0) \quad (41)$$

Using property (32), we get

$$\mathbf{J}_5 = \mathbf{J}_4\mathbf{F}(\phi_0)\mathbf{F}(\phi_0)\mathbf{R} = \mathbf{F}(10\phi_0)\mathbf{R} \quad (42)$$

This allows us to write a general formula for an odd number of reflections inside the optical wedge considered type as following

$$\mathbf{J}_{2n+1} = \mathbf{F}(2(2n+1)\phi_0) \mathbf{R} \quad (43)$$

Combining (39) and (43) into one formula

$$\mathbf{J}_n = \mathbf{F}(2n\phi_0) \mathbf{R}^n \quad (44)$$

Thus, use of matrix optics in the proposed form does allow you to simplify the solution of problems of this type.

**Complete description of the beam reflection from the flat mirror in terms of matrix optics, built on projective geometry**

Let us now consider a more complicated problem, which requires finding a complete transformation of straight coordinates corresponding to the incident beam, which reflects from a plane mirror placed at random.

To achieve this, the third coordinate of straight "2" should be expressed with the obtained values, the conversion of which can be found by analyzing the rotation only. Additional unused condition can be written as

$$\begin{vmatrix} A_2 & B_2 & C_2 \\ A_1 & B_1 & C_1 \\ A_0 & B_0 & C_0 \end{vmatrix} = 0 \quad (45)$$

This formula expresses the fact that the line describing the mirror, as well as the incident and the reflected beam should intersect at one point.

Using (45) and simple transformations, coordinate transformation of straight "2" on reflection from a plane mirror can be written as a pair of linear fractional transformations with a common denominator

$$\frac{C_2}{A_2} = \frac{2C_0(A_1A_0 + B_1B_0) - C_1(A_0^2 + B_0^2)}{A_1(A_0^2 - B_0^2) + 2B_1A_0B_0} \quad (46)$$

$$\frac{B_2}{A_2} = \frac{(-A_0^2 + B_0^2)B_1 + 2A_0B_0A_1}{2A_0B_0B_1 + (A_0^2 - B_0^2)A_1} \quad (47)$$

Thus, we have shown that a complete transformation of the coordinates of straight "2" at reflection from a plane mirror can be written in terms of a system of linear transformations

$$\begin{cases} A_2 = A_1(A_0^2 - B_0^2) + 2B_1A_0B_0 \\ B_2 = 2A_0B_0A_1 - (A_0^2 - B_0^2)B_1 \\ C_2 = A_1 2C_0A_0 + B_1 2C_0B_0 - C_1(A_0^2 + B_0^2) \end{cases} \quad (48)$$

The same result can obviously be presented in matrix form

$$\begin{pmatrix} A_2 \\ B_2 \\ C_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_0^2 - B_0^2 & 2A_0B_0 & 0 \\ 2A_0B_0 & -A_0^2 + B_0^2 & 0 \\ 2A_0C_0 & 2C_0B_0 & -(A_0^2 + B_0^2) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_1 \\ B_1 \\ C_1 \end{pmatrix} \quad (49)$$

Since in contrast to the classical matrix optics in this case all the matrices are defined up to a factor, let's divide this matrix by  $(A_0^2 + B_0^2)$ . Then

$$\begin{pmatrix} A_2 \\ B_2 \\ C_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos 2\phi_0 & \sin 2\phi_0 & 0 \\ \sin 2\phi_0 & -\cos 2\phi_0 & 0 \\ 2 \cos \phi_0 \rho_0 & 2 \sin \phi_0 \rho_0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_1 \\ B_1 \\ C_1 \end{pmatrix} \quad (50)$$

In the important particular case when the line describing the mirror, passes through the origin, the expression (75) becomes

$$\begin{pmatrix} A_2 \\ B_2 \\ C_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos 2\phi_0 & \sin 2\phi_0 & 0 \\ \sin 2\phi_0 & -\cos 2\phi_0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_1 \\ B_1 \\ C_1 \end{pmatrix} \quad (51)$$

It is obvious that in this case the matrix describing the mirror acquires a block-diagonal structure, where one unit is equal to the matrix that was used above in the description of rotation of the vector defining the direction of the rays.

This substantially simplifies, for example, the solution of the optical wedge, discussed in Section 2. Namely, for an appropriate choice of coordinates it is possible to reduce the problem to the already solved in Section 2.

### Conclusion

Thus, there is a possibility to develop ray transfer matrix technique on the base of projective geometry. The main advantage of proposed approach is the possibility to describe any optical systems containing thin lenses and plane mirrors with arbitrary orientation in space. Besides, obtained results give possibility to consider classical optics of "lenses and mirrors" as some physical presentation of projective geometry.

### References:

1. Gerrard A, Burch J M. Introduction to matrix methods in optics. New York: John Wiley and Sons, 1975:286
2. Daomu Zhao, Weichun Zhang, Shaomin Wang, « Ray transfer matrices», Optik - International Journal for Light and Electron Optics, Volume 112, Issue 6, 2001, Pages 271–272
3. T. Graf, D. N. Christodoulides, M. S. Mills, J. V. Moloney, S. C. Venkataramani, and E. M. Wright, "Propagation of Gaussian-apodized paraxial beams through first-order optical systems via complex coordinate transforms and ray transfer matrices," J. Opt. Soc. Am. A 29, 1860-1869 (2012)
4. Yuan Gong, Tian Zhao, Yun-Jiang Rao, Yu Wu, and Yu Guo, «A ray-transfer-matrix model for hybrid fiber Fabry-Perot sensor

based on graded-index multimode fiber», Optics Express, Vol. 18, Issue 15, pp. 15844-15852 (2010)

5. F. J. Duarte, «Ray transfer matrix analysis of multiple-prism dye laser oscillators», Optical and Quantum Electronics, January 1989, Volume 21, Issue 1, pp 47-54.

6. M.P. Thirugnanasambandam, Yu. Senatsky, K. Ueda, «Generation of very-high order Laguerre-Gaussian modes in Yb:YAG ceramic laser», Laser Physics Letter, Volume 7, Issue 9, pages 637–643, September 2010

7. Jun Zhu, Weiqiu Chen, Guiru Ye, «Reverberation- ray matrix analysis for wave propagation in multiferroic plates with imperfect interfacial bonding», Ultrasonics, Volume 52, Issue 1, January 2012, Pages 125-132.

8. J. Zhu, G.R. Ye, Y.Q. Xiang, W.Q. Chen, «Recursive formulae for wave propagation analysis of FGM elastic plates via reverberation- ray matrix method», Composite Structures, Volume 93, Issue 2, January 2011, Pages 259-270

9. Amalia Torre, « 2 - 1D First-Order Optical Systems: The Ray-transfer matrix », Linear Ray and Wave Optics in Phase Space, 2005, Pages 59-110.

10. Bennett, M.K. (1995). Affine and Projective Geometry. New York: Wiley. ISBN 0-471-11315-8.

11. Suleimenov, I. E., Tolmachev, Y. A., & Zhuvikina, I. A. (1996). On the question of correspondence between generalized Fourier optics and matrix optics: I. stigmatic beams. Optics and Spectroscopy, 81, 97-102.

12. Suleimenov, I. E., Zhuvikina, I. A., & Tolmachev, Y. A. (1996). On the question of interrelation of generalized Fourier optics and matrix optics. II. Astigmatic beams. Optics and Spectroscopy, 81, 583-587

*Поступила 12 июня 2014 г.*

УДК 628.165

## ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТЫ ИОННО-ТЕПЛОВОГО ДВИГАТЕЛЯ НОВОГО ТИПА

Кабдушев<sup>1</sup> Ш.Б., Фалалеев<sup>2</sup> А.П., Сулейменов<sup>1</sup> И.Э.,<sup>3,4</sup> Ирмухаметова Г.С.

<sup>1</sup>Алматинский университет энергетики и связи, Казахстан

<sup>2</sup>Севастопольский национальный университет, Россия

<sup>3</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>4</sup>Национальная инженерная академия РК, Алматы, Казахстан

e-mail: a\_falaleev@mail.ru

Предложена система, обеспечивающая испытания в тестовом режиме двигателя нового типа, основанного на использовании осмотических эффектов. Система обеспечивает импульсно-периодический нагрев рабочего раствора внутри рабочей камеры двигателя судна нового типа на реактивной тяге, создаваемой выбросом жидкости в направлении, обратном заданному направлению движения судна.

В [1,2] были предложены новые принципы действия двигателя, основанного на использовании осмотических эффектов, характерных для растворов электролитов, к которым относится в том числе, морская вода, которые обсуждались в [3]. Другие возможные модификации двигателя этого типа рассматривались в [4] на основе теоретических расчетов. Можно предложить еще одну модификацию,

основанную на использовании принципов бионики.

На рисунке 1 представлена схема реактивного движения головоногого моллюска (каракатицы). Моллюск набирает морскую воду через мантийную щель в мантийную полость. Мышечное сокращение обеспечивает резкий выброс воды через воронку, расположенную в передней части тела, что приводит к возникновению реактивного движения.



Рисунок 1 – Схема реактивного движения головоногого моллюска

Осмотические эффекты также могут приводить к появлению значительной разности давлений, что позволяет имитировать мышечное сокращение достаточно простыми средствами.

На рисунке 2 представлена схема устройства, реализующего принципы бионики применительно к рассматриваемым системам.

Данное устройство работает следующим образом. Под воздействием нагрева скутера 1 до температуры  $T_1$ , которая выше температуры заборной воды  $T_2$ , тем или иным источником тепла 3 интенсивностью  $Q$  (это может быть вторичное тепло типовых двигателей, например, дизельных, вторичное тепло,

выделяющееся при работе солнечных панелей и т.д.) происходит перенос ионов обоих знаков заряда из одной части рабочей камеры 2, разделенной амфотерными мембранами 4,5,6, в другую 9 (которая может являться заборной). (Механизмы такого переноса рассматривались выше в п.2.2 и 2.3.)

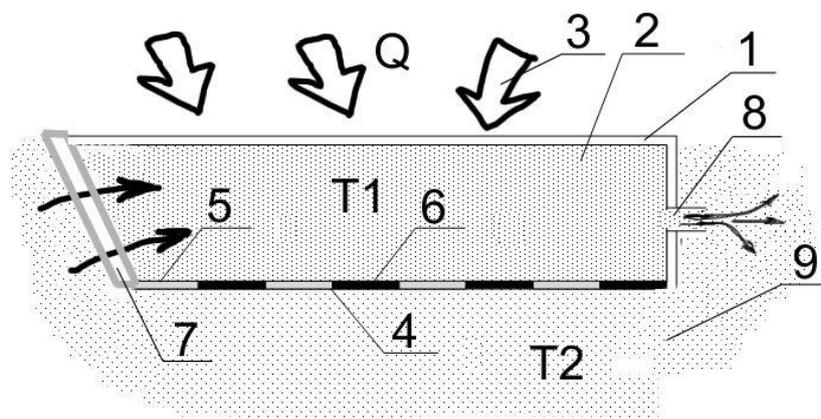


Рисунок 2 – Общая схема реактивного движения судна, использующего осмотические эффекты в системах, снабжаемых амфотерными мембранами

В результате в камере 2, создается избыточная концентрация низкомолекулярной соли в нагреваемой части рабочей камеры. Данная камера (через осмотическую мембрану 7, которая является проницаемой для воды, но не является проницаемой для низкомолекулярных ионов) контактирует с балластным резервуаром, изначально также заполняемым морской водой исходной концентрации или просто с заборной частью скутера, как указано на рисунке 2.18.

Разность осмотических давлений, обусловленная разностью концентраций между нагреваемой частью рабочей камеры и балластным объемом, вызывает появление потока воды из балластного объема в нагреваемую часть рабочей камеры. В результате этого в нагреваемой части рабочей камеры возрастает механическое давление, приводящее в действие возвратный механизм.

При возрастании давления до критической величины, определяемой

конструкционными особенностями ниппельной системы 8, происходит выброс жидкости в заборную воду. Это и обуславливает возникновение реактивного движения, которое носит периодический характер, так как после выброса жидкости ниппельная система обеспечивает возвратное поступление заборной воды во все части системы.

Для отработки принципов действия двигателя предложенного типа создан испытательный стенд, позволяющий осуществлять тестирование отдельных элементов.

Одним из вспомогательных узлов стенда является радиоэлектронный блок, обеспечивающий нагрев среды в импульсно-периодическом режиме. Разработка данного блока является целью данной работы.

Периодический нагрев испытательного стенда обеспечивается за счет специально разработанной электронной схемы (рис.3).

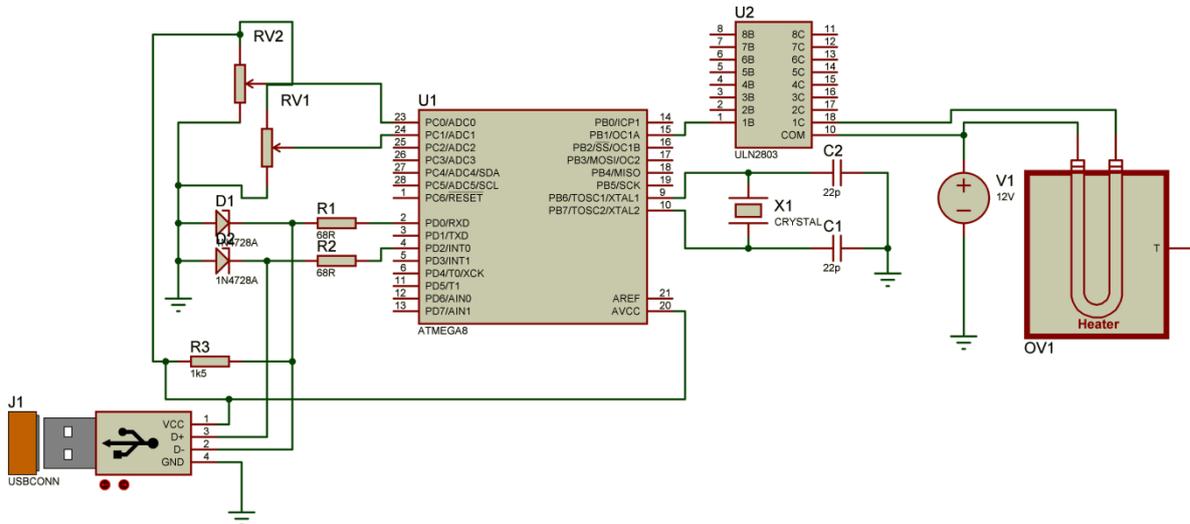


Рисунок 3 – Принципиальная схема управляющего радиоэлектронного узла

Принцип действия схемы основан на использовании внутреннего 16-ти разрядного таймера микроконтроллера ATmega 8.

Чертежи печатных плат представлены на рис. 4

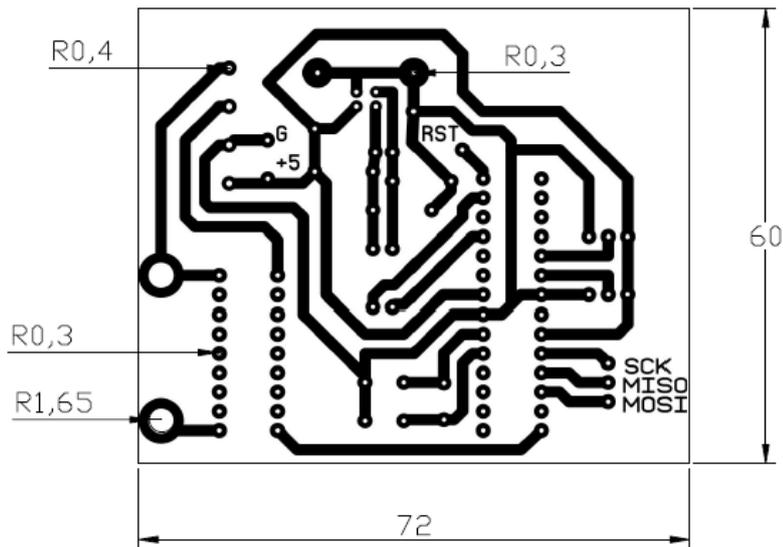


Рисунок 4 – Печатная плата управляющего радиоэлектронного узла

Блок – схема программы микроконтроллера представлена на рис.5.

Подключение блока управления к персональному компьютеру осуществляется по протоколу USB. Блок

управления определяется ПК как HID устройство, обмен данными с которым осуществляется с помощью консольной утилиты, позволяющей задавать период и длительность импульсов.

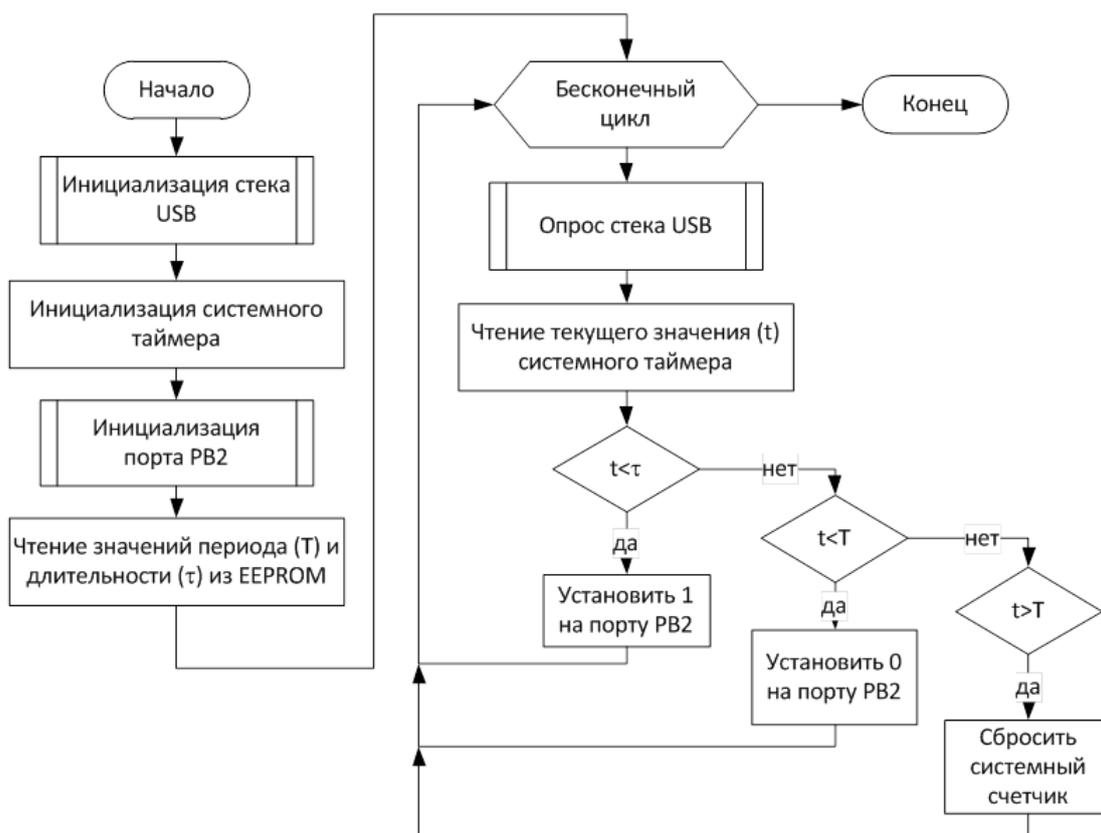


Рисунок 5 – Блок–схема программы, управляющей блоком формирования импульсов тока

Разработанная схема обеспечивает формирование прямоугольных импульсов тока амплитудой до 1А. Период следования импульсов задается программными средствами (диапазон изменения от 500 мс до 155 с), равно как и длительность импульса (диапазон изменения от 100 мс до 10 с). Это отвечает техническим условиям обеспечения работы испытательного стенда КСПО-1М/2014, указанного выше.

### Литература

- 1 Сулейменов И.Э., Мун Г.А., Игликов И.В. Способ преобразования тепловой энергии // Заключение о выдаче инновационного патента от 11.08.2014, Заявка №2013/1221.1.
- 2 Сулейменов И.Э., Фалалеев А.П., Рябцев М.Ю., Калдыбеков Д., Бакытбеков Р., Ирмухаметова Г.С. К возможности

реализации новых источников электрической энергии на основе термочувствительных полимерных гидрогелей // Вестник национальной инженерной академии Республики Казахстан. – 2014. – № 3 (53). – С. 92-97.

3 Сулейменов И.Э., Игликов И.В., Семенякин Н.В., Фалалеев А.П., Шалтыкова Д.Б., Рябцев М.Ю., Калдыбеков Д., Бакытбеков Р., Мун Г.А. Теория ионно-теплого двигателя, функционирующего на основе полиэлектролитных сеток // Известия НТО «КАХАК». – 2014. – №1 (44). - С. 70-77.

4 Suleimenov, I., Falaleev, A., Shaltykova, D., Panchenko, S., & Mun, G. (2014). New Thermal Energy Converters Based on Polyelectrolyte Hydrogels. *Advanced Materials Research Vol. 1037*, pp. 117-122.

Поступила 5 июля 2014 г.

УДК 541.14

## К ВОПРОСУ О ПРОБЛЕМЕ ПРОИЗВОДСТВА ФЛОТОРЕАГЕНТОВ В КАЗАХСТАНЕ

Мун Г.А., Уткелов Д. Ж., Ермухамбетова Б.Б.,  
Мангазбаева Р.А., Ирмухаметова Г.С.

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

*e-mail: mungrig@yandex.ru*

Представлены результаты анализа литературных сведений о производстве и использовании флотореагентов на Казахстанских обогатительных предприятиях. Обсуждаются факторы, обосновывающие необходимость разработок по синтезу и производству отечественных эффективных химических. Примеры преимущественного использования импортных флотореагентов при имеющейся ресурсной базе для их производства обосновывают приоритетность создания собственных реагентов на основе изучения флотационных процессов обогащения, обеспечивающих вовлечение в производство низкокачественного исходного сырья - упорных руд и промышленных и других техногенных продуктов включая отвалы металлургических предприятий.

### Введение

Прогресс в области обогащения в значительной мере определяется флотореагентами. Налаживание производства эффективных новых и модификация традиционных флотореагентов была задачей актуальной в советское время и обостряется сейчас из-за практического отсутствия интереса со стороны крупных компаний, проблемами малых предприятий с финансированием и необходимостью закупа исходных соединений за рубежом, а также отсутствия специалистов.

Использование более эффективных флотореагентов обеспечивает значительно

Казахстанские руды цветных металлов являются комплексными, имеют сложные структуру и минералогический состав и требуют индивидуальной отработки технологий обогащения для каждого месторождения. В последние десятилетия в переработку в Казахстане вовлекалось все большее количество труднообогатимых руд, и сегодня сложилась ситуация, при которой в цикле обогащения цветных, редких, рассеянных и благородных металлов на горные работы приходится 15-20% потерь, на обогатительный цикл - 60-70%, на металлургический передел -15-20%.

большую, в сравнении с их стоимостью, экономическую выгоду. Поскольку позволяет извлекать из руд дополнительно металлы без существенных капитальных затрат и при меньших эксплуатационных расходах. А в настоящее время, в связи с вовлечением в переработку сложного по составу, зачастую бедного сырья Казахстана, а также появляющимися в секторе химической промышленности новых ресурсов и задач, в частности, энергосбережения и экологических стандартов, вовлечение в процессы эффективных реагентов является особенно важным.

Проблемами в обогащении и металлургической переработке руд являются невысокие концентрации ценных компонентов и упорство породы, притом, что общее содержание минералов в целом по Республике может быть большим.

В Казахстане имеются большие объемы твердых отходов – шламов, шлаков и т.п. техногенных минеральных образований, которые должны вовлекаться в промышленное производство.

Основной проблемой в их переработке является отсутствие технологий и реагентов для их обогащения.

Поэтому Государственной программой по форсированному индустриально-инновационному развитию Республики Казахстан на 2010 - 2014 годы предусмотрена организация в Казахстане новых видов химической продукции, в том числе и флотореагентов.

### **Общая информация о флотации**

Флотация – один из главных методов обогащения полезных ископаемых. С ее помощью концентрируются все медные, молибденовые и свинцово-цинковые руды. Значительная часть бериллиевых, висмутовых, железных, золотых, литиевых. А также марганцовых, мышьяковых, оловянных, ртутных, серебряных, сурьмяных, титановых и других руд. Неметаллические ископаемые – апатит и фосфориты, барит, графит, известняк, магнезит, песок для производства стекла, плакировый и полевой шпаты и т. д. Благодаря флотации в промышленное производство вовлекаются месторождения тонко вкрапленных руд, и обеспечивается комплексное использование полезных ископаемых. Флотацию применяют также для очистки воды от тонкодисперсных осадков солей и шламов и органических веществ - нефти, масла.

Флотация – процесс обогащения руд, в котором флотореагент должен отделить ценный металл от пустой породы. Для этого в его молекуле должны быть группы, которыми он «цепляется» за нужный металл, а другой частью молекулы он должен ухватиться за пузырек воздуха и поднять эту частицу вверх. Суспензию тонкоизмельченной руды в воде (пульпу) после добавления небольших количеств реагентов продувают воздухом и интенсивно перемешивают. Под действием флотореагентов рудные минералы теряют способность смачиваться водой, зерна их прилипают к пузырькам воздуха и всплывают на поверхность в виде пены, пустая порода остается в пульпе. Пену, несущую частицы рудных минералов, снимают и обезвоживают, получая концентрат. От того, насколько селективен к извлекаемому металлу флотореагент, зависит степень извлечения. Более

эффективный флотореагент без изменения технологической схемы и замены оборудования обеспечивает увеличение производительности всего процесса обогащения и производства металлов. Позволяет извлекать ценные компоненты из руд, лома и других вторичных материалов, увеличить комплексность использования сырья. Обеспечивает вклад в добавленную стоимость цепочек производства металлов, что обуславливает уменьшение затрат трудовых, энергетических, материальных и уменьшение вредных выбросов. Средства, потраченные на покупку/производство более эффективного реагента, сравнительно легко окупаются: сам флотореагент стоит обычно существенно меньше стоимости извлекаемого металла.

Основная прибавка в увеличении степени извлечения может быть достигнута путем использования более эффективного собирателя. Средний расход флотореагентов невелик и обычно составляет несколько граммов или сотен граммов (очень редко несколько килограммов) на 1 т руды. Мощность наиболее крупных современных фабрик по горной массе достигает 50–55 тысяч тонн в сутки. В мире ежегодно обогащают 1 миллиард тонн руд тяжелых цветных металлов и другой горной массы более 20 типов преимущественно флотацией.

Минералы, из которых извлекают металлы, – это, как правило, либо сульфиды металлов, либо окислы. Соответственно и флотореагенты подбираются по принципу: серосодержащие реагенты – для сульфидных, и кислородсодержащих – для окисленных минералов. Тяжелых цветных металлов в рудах, как правило, единицы и десятые доли процента, благородных - от единиц до десятков граммов на тонну; молибдена, висмута, кадмия - сотые, реже десятые доли процента. Серы в сульфидных рудах - до 4-5%. Окисленные руды состоят главным образом из окислов, карбонатов и силикатов; они имеют те же ценные составляющие, но мало серы, связанной преимущественно в сульфаты. Окисленные руды залегают ближе к

поверхности и многие из них уже выработаны. Только для олова, никеля, меди и некоторых других металлов они все еще имеют значение в современной металлургии.

### **Производство и потребление флотореагентов в казахстане**

В настоящее время в Казахстане сколько-нибудь значимое производство флотореагентов (с целью использования в промышленных процессах обогащения) ограничено только двумя производствами: на медно-химическом комбинате корпорации Казахмыс в Дзезказгане и в ТОО «Альфа-Хим» в Павлодаре. Можно ожидать, что эти небольшого размера предприятия и останутся источниками собственных, произведенных в Республике, флотореагентов еще продолжительное время. Их продукцией могут оказаться наиболее востребованные сухие ксантогенаты в объеме порядка 7000 тонн в год для удовлетворения нужд республиканских предприятий и производств соседних Кыргызстана и Узбекистана. Используемый в меньших объемах натрий-бутиловый аэрофлот может производиться в объемах до 800 тонн в год, достаточных для всех казахстанских предприятий. Специальные реагенты для задач концентрирования руд для производства дорогих металлов – останутся объектами импорта.

Реагенты, используемые для обогащения минералов дорогих, благородных и редкоземельных, металлов, еще долгое время будут закупаться у западных предприятий с хорошо развитой научной базой. Для того чтобы Казахстан смог конкурировать с ведущими западными компаниями и производить свои реагенты для такого рода специальных задач, необходимо решить проблему достаточного финансирования собственных научных работ и подготовку кадров – задача многих лет.

Из основных горно-металлургических компаний Казахстана - Евразийская промышленная ассоциация, «Миттал Стил Темиртау» (Испат-Кармет), АО «Корпорация «Казахмыс», АО «Казцинк» –

последние две являются основными потребителями флотореагентов. Они имеют в своем составе предприятия по добыче, обогащению и металлургической переработке. Последние практически значимые инициативы по налаживанию производства многотоннажных продуктов исходят от них. Но флотореагенты – материалы, используемые в небольших количествах, и легкодоступны на мировом рынке по ценам, оправданным для производства дорогих металлов, - не представляют интереса для корпораций как объекты для производства. Работу, направленную на развитие флотореагентов, следует ожидать сконцентрированной в научных йентрах и на предприятиях малого и среднего размера в течение еще продолжительного времени.

С момента открытия флотации в мире было разработано и защищено патентами несколько тысяч реагентов. Однако на практике используется довольно ограниченный набор органических и неорганических соединений. Из общего числа реагентов, защищенных патентами ведущих стран, 30-40% используется для флотации тяжелых цветных металлов. Основное количество изобретений относится к защите реагентов-собирателей. Сбор информации о технологиях производства современных эффективных флотореагентов для настоящего обзора был существенно затруднен. Конкурентоспособные реагенты запатентованы и известны только под коммерческими названиями. Доступные публикации по флотации и флотореагентам посвящены результатам научных исследований. Основными способами производства флотореагентов остаются реакции внедрения атомов серы, кислорода и фосфора в состав ионогенной группы молекул реагентов. Для обеспечения гидрофобной части молекулы в синтезе реагентов используются алифатические, реже гетероциклические, спирты.

### **Флотореагенты для сульфидных минералов**

Собирателями для сульфидных минералов служат органические вещества,

включающие, как правило, тиоловую, тионовую или дисульфидную группы. Первые две входят в молекулу широко применяемых алкилксантогенатов с органическим этиловым, изопропиловым, бутиловым или амиловым радикалом и щелочным металлом – натрием или, реже, калием. В меньших объемах употребляются ди-алкилдитиофосфаты (аэрофлоты). При флотации минералов меди и свинца иногда используются карбамат МН (диметилдитиокарбамат натрия) и тиокарбанилиды. Наиболее часто используемым является бутиловый ксантогенат. Сухой бутиловый ксантогенат завозится в Казахстан в основном из России и Китая. Импорт из Китая составляет порядка 10% того, что завозится из России. Потребность его по Казахстану составляет 300-350 тонн в месяц (порядка 4 тысяч тонн ежегодно).

Обогатительные фабрики, перерабатывающие руды цветных, редких и благородных металлов в Казахстане, вынуждены закупать этот флотореагент по цене до 1600 долларов за тонну: в Казахстане сухой ксантогенат не производится и не производился. Потребность его с каждым годом в Казахстане возрастает в связи с ростом числа недропользователей, разрабатывающих малые и средние месторождения.

*Производство бутилового ксантогената в Джезказгане на Медно-химическом комбинате Корпорации «Казахмыс».* В 2001 г комбинат наладил производство бутилового ксантогената натрия взаимодействием бутилового спирта и сероуглерода. Продукт - жидкий (47% раствор) и пастообразный бутиловый ксантогенат натрия – производится в объеме, приблизительно 5-7 т в месяц, по цене 1100-1200 долларов за тонну. К сожалению, он сохраняет недолго свои собирательные свойства. Срок его хранения до 1 месяца, через две-три недели его активность теряется на 50-70%, поэтому этот ксантогенат используется в обогатительных фабриках в пределах корпорации. Кроме собственного

натриевого ксантогената, обогатители корпорации используют китайские реагенты серии ВК, отмечая их несколько более высокую эффективность – селективность и степень извлечения, которые покрывают их сравнительно высокую стоимость. Специалистами комбината подготовлен проект завода по производству устойчивых ксантогенатов, представляющих собой соли и эфиры ксантогеновых кислот ( $C_5H_4OS_2Na$ ). Схема производства:  $RON + CS_2 \rightarrow ROCSSH$ . Сырьем для получения бутилового ксантогената натрия являются бутиловый спирт, сероуглерод и едкий натр (едкий калий).

*Производство аэрофлота в г. Павлодаре.* ТОО «Альфа-Хим» - предприятие, занимающееся с 1998 г. производством натриево-бутилового аэрофлота на производственных мощностях АО «Каустик», г. Павлодар. Оно является единственным производителем фэрофлота в Казахстане. Технология производства: бутанол (изобутанол) взаимодействуют с пентасернистым фосфором при пониженной температуре,  $4^{\circ}C$  (реакция экзотермическая), в течение 2-3 часов в присутствии твердого едкого натра:  $4H_9C_4OH + P_2S_5 \rightarrow 2(H_9C_4O)_2PS_2H + H_3PS_4$ . Продукт – каша натриевой соли дибутилдитиофосфорной кислоты – используется в качестве флотореагента. Исследования, проведенные в 2009 году на Кольском ГМК АО «Норильский Никель», показали, что продукт по качеству превосходит аналог, производимый российской фирмой «Квадрат Плюс», г. Тольятти.

Бутиловые спирты и пентасернистый фосфор завозятся. Мощность эксплуатируемого цеха по производству флотореагентов составляет 3000 тонн в год, оборудование для производства дитиофосфатов, рассчитанное на 6000 тонн в год, в настоящее время не используется из-за отсутствия оборотных средств. Объемы потребления аэрофлота, производимого ТОО «Альфа-Хим», до 800 тонн. Основными потребителями являются: АО «Казцинк» Васильковский ГОК – г.

Кокшетау; АО «Актюбинская медная компания» - Актюбинская область; АО «Казахмыс», - Карагандинская область; АО «Шалкияцинк» - Южно-Казахстанская область; ТОО СП «NOVA Цинк», ТОО «Ер-Тай» - г. Алматы; ТОО «Терескей» - г. Семипалатинск; ТОО «Майкаинзолото» - Павлодарская область; АО ГМК «Казахалтын» - г. Степногорск Акмолинской области; АО «Алтын-Алмаз» г. Степногорск Акмолинской области; АО ПК «Южполиметалл» - Шымкентская область.

Кроме пентасернистого фосфора для производства используются технические спирты, каустическая сода и высокомолекулярные жирные кислоты. Казахское содержание продукции составляет треть стоимости, так как пентасернистый фосфор поставляется из Голландии, Италии, Индии и Китая. Каустическую соду приобретают в России. Технический спирт бутиловый нормальный выпускается только российскими компаниями в Перми, Салавате и Ангарске.

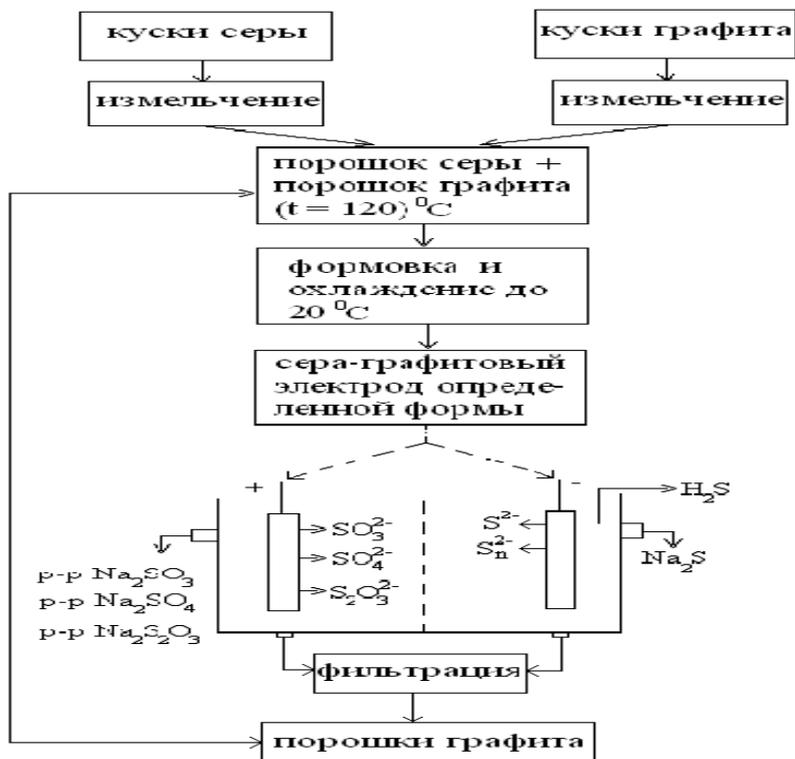
*Сульфид натрия.* Используется для флотации цинковых и цинково-железо-

свинцовых руд. Физические и химические свойства: розовато-белые кристаллы. Т. плавл. 920°; плотн. 1,856; растворим в воде 18,6 г/100 г (20°), 57,2 г/100 г (90°). В водных растворах гидролизует до NaOH и NaHS.

В Казахстане производится в ОАО «Актюбинский завод хромовых соединений». Кроме того, реагент завозится в Казахстан из Китая по цене 370 долларов за тонну или в меньших объемах – из Объединенных Арабских Эмиратов по цене 700-800 долларов. Он также предлагается предприятиями Украины и России. Производится в промышленности сплавлением сульфата натрия с углем, минерала мирабилита  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  в присутствии восстановителей кокса, водорода или окиси углерода при температуре 1200°:  

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{C} = \text{Na}_2\text{S} + 2\text{CO}_2$$

*Электрохимический способ получения сульфида натрия.* Предлагается производить гидросульфид электрохимическим методом из серы нефтехимического производства на сероуглеродном электроде с получением полисульфидного раствора:



Однако пока это только научная разработка Института органического катализа и электрохимии КБТУ.

*Сульфид натрия как продукт процесса получения бариевых солей.* В начале 90-х годов прошлого столетия серьезным испытаниям подверглась конкурентоспособность действующей технологии сульфида натрия с применением шахтных печей для сплавления сульфата натрия с коксом. Одним из пока еще научных, но перспективных разработок получения сульфида натрия, представляется метод обменного взаимодействия сульфата натрия с сульфидом бария [6]. Сущность его заключается в превращении сульфида бария в сульфид натрия по схеме:



Сульфид бария затем регенерируется путем обжига сульфата бария с углеродистым восстановителем:

$\text{BaSO}_4 + 2\text{C} = \text{BaS} + 2\text{CO}_2$  и возвращается в процесс. Выход продукта 63%  $\text{Na}_2\text{S}$ . В технико-экономическом обосновании строительства такого комплекса была подтверждена его высокая экономическая эффективность [8/

*Диметилдитиокарбамат (ДМДТКNa).* Флотореагент в кристаллической форме образуется при проведении конденсации сероуглерода с диметиламином (ДМА) в водной щелочной среде:

$(\text{CH}_3)_2\text{NH} + \text{CS}_2 = (\text{CH}_3)_2\text{N-CSSH}$  при  $15^\circ\text{C}$  в виде 40 - 42% водного раствора [9/. Затем осуществляют очистное фильтрование, кристаллизацию и фильтрование целевого продукта. В процессе используют раствор ДМА в водном растворе ДМДТКNa концентрации 50-320 г/дм<sup>3</sup>, гидроксид натрия смешивают с раствором ДМА в ДМДТКNa, а фильтрат в виде раствора ДМДТКNa возвращают в цикл для приготовления раствора ДМА в ДМДТКNa.

#### **Сырье для получения флотореагентов** *Пятисернистый фосфор.*

Пятисернистый фосфор  $\text{P}_4\text{S}_{10}$  - химическое вещество в форме порошка или хлопьев, основными потребителями являются

предприятия, занимающиеся нефтепереработкой, а также химические заводы. Областями применения пятисернистого фосфора являются использование в качестве присадок к маслам, в производстве пестицидов, для изготовления спичек и пиротехники, как сырье для производства фосфорной кислоты, флотационных агентов и других соединений. В Казахстане он не производится и завозится ТОО Альфа-хим для производства бутилового аэрофлота в объемах 58 тонн на сумму 104 тысячи долларов в 2009 году и 25 тонн на сумму 56 тысяч долларов. Поставщик – корпорация "Муданьцзян Фэнда Кемикалс Импорт Экспорт", Китай.

Производится реакцией расплавов желтого фосфора и серы при температуре выше  $300^\circ\text{C}$  или элементной серы с феррофосфором, побочным продуктом термического производства желтого фосфора из фосфоритов.

Процесс производства пентасульфида фосфора высокой чистоты прерывный. Разовый цикл процесса состоит в добавлении расплавленного фосфора в расплав серы в реакторе. Реактор разогревается до  $200^\circ\text{C}$ , затем температура реактора повышается самостоятельно за счет выделяющегося тепла реакции. Реакция происходит в атмосфере инертного газа (азота) для предотвращения окисления серы. Реакционная смесь затем вытесняется током азота в вакуумную перегонную установку с электрическим нагревом, в которой чистый жидкий продукт отделяется от примесей, которые остаются в перегонном кубе в виде стеклообразных фосфатов и соединений серы с фосфором. После завершения цикла производится продувка реактора с пропуском газа через скруббер для удаления оксидов серы и остаточного сульфида водорода. Примеси растворяются в воде и нейтрализуются. Из расплава выделяется чешуйчатый пентасульфид фосфора для его дальнейшей реализации.

*Сероуглерод.* Бесцветная жидкость с неприятным запахом. Под действием света разлагается, продукты разложения придают

желтый цвет и отвратительный запах. Молекула  $CS_2$  линейна. В инертной атмосфере сероуглерод заметно разлагается выше  $300^\circ C$  с образованием графита и паров серы. Сероуглерод слабо растворим в воде; с этанолом, диэтиловым эфиром, хлороформом, ацетоном смешивается во всех соотношениях. Получают взаимодействием природного газа с парами серы в присутствии силикагеля при  $500-700^\circ C$  в камере из хромоникелевой стали:  $CH_4 + 0.5S_8 \rightarrow CS_2 + 2H_2S$  или реакцией раскаленного древесного угля с парами серы при  $750-1000^\circ C$ . Применяется при получении ксантогенатов целлюлозы в производстве вискозы; для промышленного синтеза четыреххлористого углерода; как растворитель, экстрагент, вулканизующий агент для каучука; как промежуточное соединение в синтезе органических производных серы. Казахстанские производители флотореагентов ксантогенатов закупают сероуглерод на Российском ОАО Волжский Оргсинтез.

Разработки казахстанских ученых в области серосодержащих флотореагентов для сульфидных минералов

Одна из наиболее последних казахстанских работ в области флотации – диссертационное докторское исследование, посвященное механизму взаимодействия реагентов с поверхностью минералов и пузырьков воздуха и синтезу новых серосодержащих собирателей /5/ - позволило установить некоторые закономерности, которые позволят с большей уверенностью приступать к синтезу флотореагентов с заданными характеристиками. Так, автором получены аэрофлоты на основе спиртов различного строения с гетероциклической, изо- и линейной алифатической частью различной длины. В качестве исходных соединений использованы сивушные масла, смеси спиртов. Реагенты показали высокую селективность к золоту, меди, свинцу. Собирателем для цинка автор рекомендует диэтилдитиокарбамат.

### **Реагенты, применяемые в казахстане при флотации окисленных минералов**

*Олеиновая кислота и ее серосодержащие заменители.* Извлечение редких металлов – вольфрама, тантала и др., а также олова – производится в основном флотационной обработкой несульфидных окисленных минералов и составляет не более 60-70%. Число описанных реагентов насчитывает около 100, из них 40 – собиратели флотации редкоземельных руд и олова. Практически используются порядка 10 реагентов. Это, прежде всего, олеиновая кислота и олеат натрия, получаемые безреагентным расщеплением растительных масел. Они нетоксичны, относительно дешевы, но малоселективны. Их основной недостаток – нестабильность фракционного состава. Техническая олеиновая кислота содержит 10-12 компонентов: олеиновую, тетрозеленовую, линолеовую и др. кислоты. Соответственно и разница в технических показателях при использовании олеинов различного состава достигает 15-20%.

Эффективным заменителем олеиновой кислоты при флотации шеелитовых руд являются дихлорзамещенные синтетические жирные кислоты (СЖК) фракций C17 – C20 (90%) и C7-C9 (10%) в виде их натриевых солей. Извлечение  $WO_3$  при их использовании составило 78,8 против 75,5% технической олеиновой кислоты /11/. Применение дихлоркислот увеличило извлечение  $WO_3$  на 1,7 – 3,0% /12/. Лучшие результаты получены при использовании дихлорзамещенных СЖК и гудронного флотореагента и таллактама общей формулы  $R-CO-NH-(CH_2)_nCOOH$  /13/. Для повышения селективности и снижения температуры застывания в собиратель на основе СЖК вводят дополнительно газойлевую фракцию нефти с температурой кипения  $180-350^\circ C$ , а также крекинг-остаток /14/.

Применение алкилсульфатов  $C_{16}-C_{18}$ , алкилсульфонатов, алкиларилсульфонатов /15/ позволило практически заменить жирные кислоты для выделения касситерита, отделения флюорита от вольфрамовых минералов, селекции танталит-берилловых концентратов. Но

дороговизна этих реагентов не позволяет использовать их повсеместно. Эффективный реагент для флотации минералов колумбита и касситерита – триэтаноламинную соль алкилсульфата (C<sub>10</sub>-C<sub>16</sub>)-O-SO<sub>3</sub> NH-(CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>OH)<sub>3</sub> получают сульфатированием жирных спиртов серной кислотой с последующей нейтрализацией сульфомассы триэтаноламином. Алкилсульфосукцинат натрия (фирменное название Rogocol Sc-3D) флотирует руду с содержанием 0,15% WO<sub>3</sub> при рН 3,5. Расход собирателя 50 г/т /16/.

*Флотореагенты для окисленных минералов с донорными атомами кислорода.*

Собиратели алкилгилроксаматного типа флотационно разделяют минералы железосодержащих руд, руд редкоземельных металлов, медных, вольфрамовых, оловянных и танталниобиевых руд при рН 9 /17/. Для разделения вольфрамита и кальцита предложен салицилальдоксим. Его смесь с нитратом свинца в качестве собирателя позволила получать концентрат с содержанием WO<sub>3</sub> 64-67% /18/.

Для флотации руд цветных и редких металлов наиболее важны фосфорсодержащие органические соединения. В научной литературе /19/ показано, что алкилфосфоновые кислоты с радикалами, содержащими 6-8 атомов углерода, проявляют лучшие собирательные свойства, чем олефины и алкилсульфаты. Они малотоксичны, используются в малых дозировках и флотируют в слабокислой и нейтральной средах. Перспективны изооктил- и алкенфосфоновые кислоты /20/. Производные бензилфосфоновой кислоты R-C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>-C(R<sub>2</sub>)-O-PO(OH)<sub>2</sub> успешно используются при флотации касситерита, шеелита и вольфрамита. Так, при расходе бензилфосфоновой кислоты 0,3 кг/т (рН 4,5) получают концентрат с 9,9% олова с извлечением 85,5%. Использование собирателя, содержащего гидроксипропилендифосфоновые кислоты с 7-9 атомами углерода в алкильном радикале, под названием Флотол-7,9, позволяет получать касситеритный

концентрат с содержанием 25,6% при извлечении 82,7%. Флотол получают взаимодействием эфира карбоновой кислоты с трехокисью фосфора при мольном соотношении 0,5-3,5 : 1,0 в присутствии фторида бора, взятого в количестве 1 моль на 0,4-1,4 моля трехокиси фосфора. Процесс ведут в среде полярного растворителя при 20-60<sup>0</sup>С с последующим гидролизом полученного продукта в кислой среде при нагревании /21/.

Приведенные литературные сведения иллюстрируют перспективу производства флотореагентов с ионогенной фосфатной группой – известные фосфатные собиратели селективны в процессах флотации окисленных руд. Известны два реагента, отличающиеся особенно высокой степенью извлечения оксида вольфрама из вольфрамитовой руды: Казахстанский реагент ФРОМ-1, извлекающий до 84-86% WO<sub>3</sub> и SM-15 Германской фирмы Hoechst – до 75%. Испытания проводились Институтом металлургии и обогащения на обогатительной фабрике п. Акчатау Шетского района Карагандинской области. Олеиновая кислота обеспечивает 65-70% извлечения. Реагент ФРОМ-1 получен взаимодействием доступных фосфорсодержащих реагентов с полимерными спиртами пока только в масштабах пилотной установки /22/.

*«Жидкое стекло», или «силикат-глыба».*

Концентрированные растворы силикатов щелочных металлов, получаемые автоклавным растворением силикат-глыбы, являются системами, переходными от растворов к коллоидам и имеют очень широкую область применения, что обусловлено их связующими свойствами. Они применяются в качестве компонента цементов, неорганического клея для изготовления композиционных материалов и покрытий, для склеивания (сборки) деталей и узлов агрегатов различного назначения в машиностроении. Жидкие стёкла - единственно доступный сырьевой источник растворимого кремнезема для получения таких продуктов, как золи и гели кремнекислоты, цеолиты, катализаторы. Их

высокая щёлочность и коллоидно-химические свойства обусловили их широкое применение в процессах флотации и в составе средств химической чистки. Жидкое стекло востребовано практически всеми отраслями промышленности Казахстана.

Силикаты натрия в промышленности получают щелочным плавлением диоксида кремния:  $2\text{NaOH} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ .

Для производства содовой силикат-глыбы применяется сода кальцинированная, для содово-сульфатной силикат-глыбы — сульфат натрия в смеси с содой:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{SO}_3$ . При производстве содово-сульфатной силикат-глыбы в состав стекольной шихты вводят кокс, который выступает в роли восстановителя. Наиболее важным фактором производства жидкого стекла является его высокое энергопотребление. Реакция силикатообразования при производстве содовой силикат-глыбы начинается при сравнительно низких температурах ( $380^\circ\text{C}$ ) по схеме (карбонатный метод):  $\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{O} + \text{SiO}_2 + \text{CO}_2$ . Наиболее низкая температура появления щелочно-силикатного расплава при варке содовой силикат-глыбы —  $780^\circ\text{C}$ . Для растворения кварца в силикатном расплаве и формирования однородного расплава, отвечающего составу промышленной силикат-глыбы, требуется температура до  $1250^\circ\text{C}$ . Как в стационарных, так и во вращающихся автоклавах разогрев силикат-глыбы и поддержание требуемых температуры и давления осуществляется острым паром. Длительность варки в стационарных автоклавах составляет 5-6 часов и превышает длительность растворения силикат-глыбы во вращающихся автоклавах (1-2 часа). В промышленных условиях жидкое стекло получают также растворением силикат-глыбы безавтоклавным способом; растворением кремнеземсодержащих компонентов в едких щелочах: после достижения давления в автоклаве  $0,8$  МПа подачу пара прекращают, и далее процесс идет за счет тепла реакции (экзоэффект

растворения— $1344$  кДж/кг силикат-глыбы), при этом давление в автоклаве поднимается до  $1,0$  МПа.

В Казахстане натриевую силикат-глыбу и натриевое жидкое стекло производит компания "БИОЗ" в Восточно-Казахстанской области. В число предприятий, стабильно использующих в производстве силикат натрия, входят ОАО "Ульбинский металлургический завод", Восток-Машиностроительный завод АО УМЗ, ТОО "Ульбафторкомплекс", ТОО «Павлодарреактив» (г. Павлодар), ТОО "AES-Экибастуз" (г. Экибастуз).

Синтез флотореагентов на основе доступного углеводородного сырья - сивушных масел. Актуальность и значительную ценность имеет разработка методов синтеза эффективных флотореагентов из углеводородного сырья, имеющегося в Казахстане, - сивушных масел - отходов спиртового производства, которые до сих пор не были востребованы и выливаются в канализацию. Они являются полноценным сырьем для получения флотореагентов. Состав СМ: этанол, н-пропанол, изо-пропанол, изо-бутанол, изо-амиловый спирт, вода. Проведено модифицирование СМ с получением на их основе аэрофлотов - содовых, кальциевых, гидролизированных, а также вспенивателей [[27]. Рекомендованы наиболее перспективные образцы соединений на основе СМ с заданными свойствами: собиратель диизоамилдифитофосфат натрия (условное наименование "аэрофлот САН-2") и окисленная фракция спиртов (условное наименование "вспениватель ОФС"). САН-2 и ОФС могут применяться при флотации полиметаллических, медно-цинковых, свинцово-цинковых, золотосодержащих руд коренных месторождений. Перечень химических и технологических стадий согласно их последовательности: азеотропная осушка товарного (содержащего воду) сивушного масла с получением безводного сивушного масла. Реакция безводного сивушного

масла с пентасернистым фосфором с получением реакционной массы:  $4\text{ROH} + \text{P}_2\text{S}_5 \rightarrow (\text{RO})_2\text{PSSH} + 3\text{H}_2\text{S}$ , где  $\text{R} = \text{C}_3\text{H}_7\text{-C}_6\text{H}_{13}$ . Образцы аэрофлотов испытаны в сочетании с ксантогенатом при флотации золотосодержащей руды Архарлинского месторождения, содержащей золота 6,5 г/т и серебра 13 г/т. Установлено, что применение аэрофлотов САН позволяет повысить извлечение золота и серебра на 5 - 9%.

### **Выводы и рекомендации**

*Исходные соединения.* Начальной задачей развития производства флотореагентов является налаживание промышленного получения собственных, не импортируемых, исходных соединений, используемых для синтеза флотореагентов – сульфида натрия, пентасернистого фосфора и бутилового спирта.

*Стандарты производства.* Для производства более эффективных – селективных, постоянного состава, используемых в небольших объемах для обогащения ценных рудных пород с малым потреблением – необходимы соответствующие научные разработки. Только при существенном преимуществе предлагаемых наукой флотореагентов и доказательствах воспроизводимости результатов флотации обогатительные фабрики металлургических комбинатов согласятся на приобретение отечественных реагентов. Существующее производство наиболее широко используемых флотореагентов – ксантогенатов и аэрофлотов – является прерогативой сектора малого и среднего бизнеса.

*Научно-технологическое обеспечение.* Разрабатываемые собственные казахстанские флотореагенты пока не способны эффективно конкурировать с коммерчески доступными иностранными образцами. Инвестировать средства в производство описанных в казахстанской научной литературе реагенты невозможно из-за отсутствия данных об их эффективности – нет данных о результатах пилотных и промышленных испытаний. Одним из путей решения проблемы является развитие собственного научного

направления в данной области. Другой – покупка патентов с последующим инновационным усовершенствованием разработок и производство уже собственных флотореагентов.

Разработку флотореагентов необходимо продолжать в научных центрах, где имеется соответствующий потенциал, а также стимулировать создание новых центров на химических и обогатительных предприятиях.

Приоритетами научного направления отрасли являются создание собственных реагентов на основе изучения флотационных процессов обогащения с последующей разработкой новых технологий с применением эффективных химических реагентов, обеспечивающих вовлечение в производство низкокачественного исходного сырья – упорных руд и промышленных и других техногенных продуктов включая отвалы металлургических предприятий. Эти исследования предполагают снижение капитальных затрат и уменьшение выбросов вредных веществ. Они должны явиться основой для создания новых технологий и аппаратов, обеспечивающих обогащение из сложного рассеянного минерального сырья.

*Производственная база.* Перспектива создания в Казахстане базы для производства флотационных реагентов выглядит вполне реальной. Для этого имеется рынок, включающий предприятия Казахстана, Кыргызстана и Узбекистана. Есть сырьевая база, технологии, готовятся кадры (Центр наук о Земле, металлургии и обогащении, КБТУ, включающий Институт химических наук, КазНУ им. аль-Фараби). Имеются оснащенные, но простаивающие или только частично задействованные, производственные мощности (г. Павлодар, ОАО "Каустик").

*Экономика.* Реализация перечисленных мероприятий позволит повысить показатели переработки руд Казахстана на стадии обогащения, а также повысить сквозные показатели по извлечению и комплексность в масштабе всего горно-

обогадительно-металлургического комплекса Казахстана.

### Литература

1. Муқанов Д. Инновационное развитие металлургического комплекса. "Промышленность Казахстана", 2005, 1(28).
2. Жарменов А., Галиев С., Лисенков А., Жумабекова С. Индустриально инновационное развитие горно-металлургического комплекса Казахстана. Промышленность Казахстана. 10. 2010, С.20-25.
3. Тропман Э., Самохвалов А. Перспективы обновления номенклатуры флотационных реагентов и их производства в Казахстане. Труды ВНИИцветмета. Институту «ВНИИцветмет» - 60 лет. 2010 г., 204 с. ДГП «ВНИИцветмет», г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан.
4. Никитин Н.И., Химия древесины и целлюлозы, М.-Л., 1962; Сапотницкий С. А., Использование сульфитных щелоков. М., 1981.
5. Тусупбеков Н.К. Физико-химические основы создания и применения новых реагентов для интенсификации флотационных процессов обогащения сульфидных полиметаллических руд. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. РК. Алматы. 2010; «Новые композиционные флокулянты и флотореагенты» Химия и химическая технология. Современные проблемы. 2001 г, № 1, с. 113-137.
6. Ахметов Т.Г., Бусыгин В.М., Гайсин Л.Г., Порфирьева Р.Т. Химическая технология неорганических веществ. М.: 1998. 488 с.
7. Бусыгин В.М., Гайсин Л.Г., Ткачев К.В., Прохоров А.Г. // XVI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, М., 1998. Т. 2. С. 253-254; Пат. № 2142907 РФ. 6С 01В 17/24. Способ получения сульфида натрия.
8. Малыш Л.А., Гайсин Л.Г., Прохоров А.Г. и др. // ЖПХ. Т. 76. В. 2. 2003. С. 196-200; Малыш Л.А., Гайсин Л.Г., Прохоров А.Г. и др. // Химическая промышленность сегодня. № 9. 2003., С. 10-12.
9. Баешов А.Б. Технология получения промышленных флотореагентов для обогащения руд цветных, благородных металлов из серы – продукта нефтегазовой промышленности. Доклад на научно-практической конференции «О реализации в промышленном секторе Республики Казахстан инновационных IT и химико-технологических разработок». Алматы. 20 Декабря 2010.
10. Ганкин В. Ю., Гуревич Г. С., Технология оксосинтеза. Бутиловые спирты.- Л., 1981; Kirk-Othmer encyclopedia, 3 ed., v. 4, N.Y.-[a.o.], 1978, p. 338. А.Б. Гущевский.
11. Броницкая Е.С. / В кн.: Обогащение комплексных руд цветных и редких металлов. М., 1984. С 21-27; Авт. Свид. № 874201 СССР, 1980.
12. Авт. Свид. СССР № 643199 СССР, 1979.
13. Авт. Свид. СССР № 923623 СССР, 1982.
14. Бойко Г.К., Китикова Л.А., Шевякова В.Ф. / В кн.: Обогащение и металлургическая переработка полиметаллического сырья. Ташкент, 1984. С. 13-21; Авт. Свид. № 933117 СССР, 1982.
15. Плаксин И.Н., Шрадер Э.А. О взаимодействии флотационных реагентов с некоторыми несulfидными минералами редких металлов. М.: Недра, 1967. 37 с.; Авт. Свид. № 294644 СССР, 1971; № 1058136 СССР, 1985.
16. Rao G.V., Charan J.G.// Aufbereitungstechn. 1990. V 31, N 8. P. 442-446.
17. Wu X., Huang L. // New Fr. R.-E. Sci. and Appl. Proc. Int. Conf. Beijing. Sept. 10-14, 1985. P. 71-74. Pradip. Surface Chemistry and Application of Alkyl

Hydroxamate collectors in mineral flotation. Trans. Ind. Inst. Met. 1987. V. 40, N 4. P. 287-304.

18. Xu J. Zhu L. // Юсэ цзиньшиу-Nonferrous metals. 1989. V. 41, N 2. P.28-32.

19. Перевалова С.Ф., Гурвич С.М. Разработка реагентов и практика флотации касситерита за рубежом. М. Цветметинформация, 1974. 35 с.

20. Collins D.N. // Trans. Inst. Mining and Met. 1969. V. 77. P. 47-51; Wottgen E., Luft D. // Reagenzien die Zinnstein flotation. Bergacademie. 1970. Bd. 22, N 8. S. 366-367.

21. Kotlyarevsky I.A. // Reag. Miner.Int. Pal. Conf., Rome, 18-21 Sept. 198, London. 1984. P. 177-179; Авт. Свид.№ 406575 СССР, 1973; Краснухина А.В., Котляревский И.А., Алферьев И.С. / В кн.: Соверш. Технол. Схем обогащения и металлургии олова. Новосибирск. 1981. С. 38-45; Авт. Свид. № 772152 СССР, 1983.

22. Ергожин Е.Е., Уткелов Б.А. Хелатные полимерные реагенты. Алматы. Гылым. 1998. 247 С.

23. Тропман Э.П. Новые пути создания эффективных флотационных реагентов и разработка на их основе реагентных режимов флотации //

Повышение технического уровня горно-металлургических предприятий Казахстана: Сб. науч. тр. ВНИИцветмет. - Усть-Каменогорск, 2000. - С.168-171.

24. Применение гидросульфида натрия для обогащения упорных медно-цинковых руд / Быков Р.А., Едакина Л.А., Тропман Э.П. и др. // Цветные металлы. - 1999. — 310. С. 10-11.

25. Новые реагенты - собиратели для флотации барита / Селиванова Н.В. и др. / Цветные металлы. - 1999. - №3.- с.8-11.

26. Арашкевич В.М. Кетоновые, сульфатные и смоляные масла как пенообразователи // Изв. Вузов. Горный журнал. - 1958. - №3. - С.152-158.

27. Козлов В.Н., Арашкевич В.М., Соколова Б.А. Применение сивушных масел и продуктов их переработки в качестве пенообразователей // Журнал прикладной химии. - 1954. - Вып.2. - Т. XXVII- 223 с

*Поступила 27 мая 2014 г.*

УДК 528.8:629.78

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНДИКАТОРНЫХ ПАНЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПЛОСКОСТНЫХ СВЕТОВОДОВ

<sup>1</sup>Семенякин Н.В., <sup>2</sup>Седлакова З., <sup>1</sup>Аманов Т., <sup>1</sup>Сулейменов И.Э.  
<sup>1</sup>Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан,  
<sup>2</sup>Институт макромолекулярной химии АН ЧР, Прага, Чехия  
*e-mail: semenyakin.nikolay@gmail.com*

Предложен новый материал, обеспечивающий существенное повышение качества оптического контакта между световодами, используемыми в индикаторных панелях и клавиатурах с оптической кодировкой. Материал основан на сополимере бутилметакрилата и 2,6-этилметакрилата, содержащего силикатные наночастицы.

В работах [1,2] были предложены новые конструкции сенсорных и индикаторных панелей, а так же клавиатур с оптической кодировкой. Принцип действия этих устройств основан на передаче оптического сигнала от одного световода к другому при контакте, возникающем за счет механического воздействия. Практическая реализация такого рода систем требует совершенствования материалов, традиционно используемых для изготовления световодов, в первую очередь, повышения качества оптического контакта.

В данной работе эта задача решается с использованием материалов, имерсированных наночастицами. Для определенности будем отталкиваться от рассмотрения индикаторных панелей, хотя данный подход может быть распространен и на клавиатуры с оптической кодировкой

Работа панелей рассматриваемого типа основана на использовании комбинированных плоских световодов. Одна их часть (подводящая) не рассеивает излучение, а другая (воспроизводящая элемент символа) – рассеивает свет.

При поступлении оптического сигнала в подводящую часть световода высвечиваются (т.е. визуально воспринимаются как освещенные) только те части поверхности, которые рассеивают свет, что и обеспечивает индикацию

элементов буквенных и цифровых символов. Рассеивающую часть световода можно выполнить или механически (например, фрезерованием надписи в пластине, выполненной из оргстекла) или наполнением отверстий в пластинах светорассеивающим материалом. Оба упомянутых способа получения светорассеивающих элементов являются достаточно трудоемкими. Намного более перспективным является способ, основанный на использовании полимерных пленок, допускающих наклейку вырезных из них букв или иных символов на подводящие прозрачные поверхности, например, витринное стекло.

Поставленная задача может быть решена за счет использования пленок на основе сополимера бутилметакрилата и 2,6-этилметакрилата, содержащих силикатные наночастицы. Соединения такого рода являются одним из наиболее распространенных нанотехнологических продуктов, представленных в настоящее время на рынке. Элементы сложной конфигурации могут изготавливаться прямым синтезом. Возможен и альтернативный путь, когда рабочая пленка изготавливается промышленно в виде рулонов, а элементы необходимой формы вырезаются из нее.

Для синтеза используемых полимеров использовались бутилметакрилат (БМА) и

2-этилгексилакрилат (ЭГА), Aldrich, без дополнительной очистки, а также динитрил азо-бис-изомаслянной кислоты (ДАК), Aldrich.

Для синтеза модифицирующих катионных соединений были использованы 2-(диметиламино)этилметакрилат (ДАМА), Aldrich, бензилбромид, Aldrich, тетрагидрофуран, диоксан, метанол в качестве растворителей и осадителей.

Для введения силикатных наночастиц в исследуемые пленки использовали продукты Nanocor и Cloisite 20A (Southern Clay).

В экспериментах использовались сополимеры бутилметакрилата и 2-этилгексилакрилата, полученные методом радикальной сополимеризации с ДАК в качестве инициатора. Полимеризацию проводили в растворе тетрагидрофурана.

Компонента ЭГА вводилась в состав сополимера в целях повышения адгезии пленки к полиметилметакрилату.

Средневесовая молекулярная масса полученных сополимеров определялась методом гель-проникающей хроматографии и составила 250 000 Дальтон.

Были проведены четыре серии измерений оптического контакта между синтезируемыми пленками и пластиной, выполненной из промышленного оргстекла (полиметилметакрилата, Hangzhou Uniwise International Co., Ltd).

Для первой серии экспериментов были получены пленки БМА-ЭГА переменного состава, пленки получали испарением из раствора в тетрагидрофуране. Образцы этой серии не содержали наночастиц,

исследование по переменному составу было проведено для определения оптимального (с точки зрения эффективности оптического контакта) состава сополимера.

Во второй серии экспериментов использовались пленки БМА-ЭГА при соотношении компонент 90:10 (соотношение по молярным процентам), содержащие наночастицы Cloisite 20A (Southern Clay). Расчетное весовое количество наночастиц вводилось в раствор полимера в смеси ацетонитрил – ацетон (1:2), из которого формировались пленки методом испарения.

В третьей серии экспериментов использовались пленки БМА-ЭГА состава 90:10 (соотношение по молярным процентам), также содержащие наночастицы Cloisite 20A. Пленки получали методом испарения из смеси ацетонитрил – ацетон (1:2), наночастицы вводились в исходную мономерную смесь. Диспергирование наночастиц осуществлялось при помощи ультразвука с помощью (оборудование).

В четвертой серии измерений для внедрения наночастиц (использовались глины марки Nanocor) в полимерную матрицу были использованы модифицирующие катионные соединения, полученные по следующей методике.

Использованные модифицирующие катионные соединения были синтезированы алкилированием 2-(диметиламино)этилметакрилата бензилбромидом в соответствии со схемой реакции, представленной на рисунке 1 в растворе тетрагидрофурана.

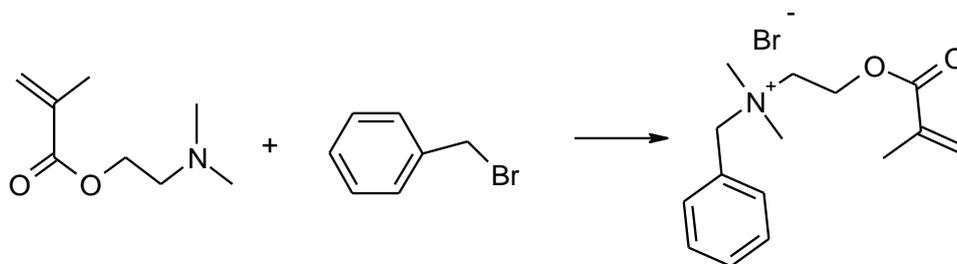


Рисунок 1 – Схема реакции синтеза катиона с четвертичной аммониевой группой.

Для проведения реакции смешивали 0,1 моля ДАМА с 0,15 моля бензилбромида в среде тетрагидрофурана объемом 250 мл; реакционную смесь выдерживали в холодильнике. Выпавшую в осадок четвертичную аммониевую соль отфильтровывали, промывали тетрагидрофураном. Выделенные продукты очищали перекристаллизацией в смеси диоксан - метанол и сушили до постоянного веса. Их характеризовали при помощи элементного анализа и <sup>1</sup>H ЯМР, а также измерения температуры плавления.

Результаты анализов подтвердили структуру модификатора, отвечающую химической формуле, представленной на рисунке 1, а также необходимую степень чистоты полученного продукта.

Необходимость использования модификатора определяется тем, что используемая глина (вещество, обеспечивающее присутствие наночастиц) марки Nanocog представляет собой природный слоистый силикат, точнее природный Na<sup>+</sup>-монтмореллонит (ММТ), который является гидрофильным и не смешивается с используемыми полимерами на молекулярном уровне.

Для того, чтобы сделать используемые слоистые наночастицы совместимыми с полимерными системами, противоионы, в данном конкретном случае Na<sup>+</sup>, находящиеся в пространстве между слоями, должны быть заменены на молекулы, которые могли бы сделать поверхность частиц органотфильной.

Органотфильный ММТ готовили следующим образом. Натриевую форму монтмориллонита (10г) диспергировали в

дистиллированной воде (60 мл) и давали набухнуть при перемешивании при комнатной температуре в течение 24 часов. Затем дисперсию нагревали до 70°C и перемешивали в течение 1 часа. После охлаждения в дисперсию медленно добавляли раствор четвертичной аммониевой соли при концентрации, эквивалентной 3 трем концентрациям Na<sup>+</sup>-ММТ по ионообменной емкости. После перемешивания в течение 30 мин при комнатной температуре систему выдерживали 24 часа в холодильнике. Затем отфильтрованный продукт промывали несколько раз деионизованной водой для удаления избытка исходных реагентов. Итоговый порошок О-ММТ был получен просушкой.

На следующей стадии проводили полимеризацию БМА-ЭГА в присутствии глины, модифицированной по описанной выше схеме, в смеси тетрагидрофурана и воды (ТГФ:Н<sub>2</sub>O = 2:1). В качестве инициатора радикальной полимеризации использовали ДАК. Схема внедрения наночастиц в полимерную цепь представлена на рисунке 2. Продукт высушивали и растворяли в хлороформе (5% весовых процентов полимера). Пленки получали испарением из раствора хлороформа.

Полученные пленки все указанных выше разновидностей обладали необходимой для выполнения оптических измерений однородностью и визуально были оптически прозрачными (вплоть до концентрации наночастиц 3% по весу).

Фотографии полученных пленок представлены на рисунке 3.

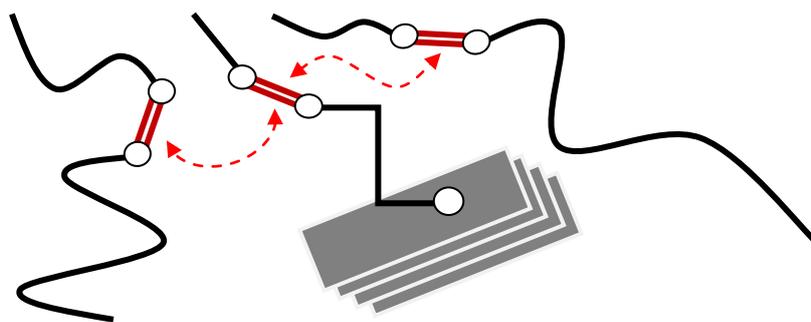


Рисунок 2 – Схема внедрения наночастиц в полимерную цепь

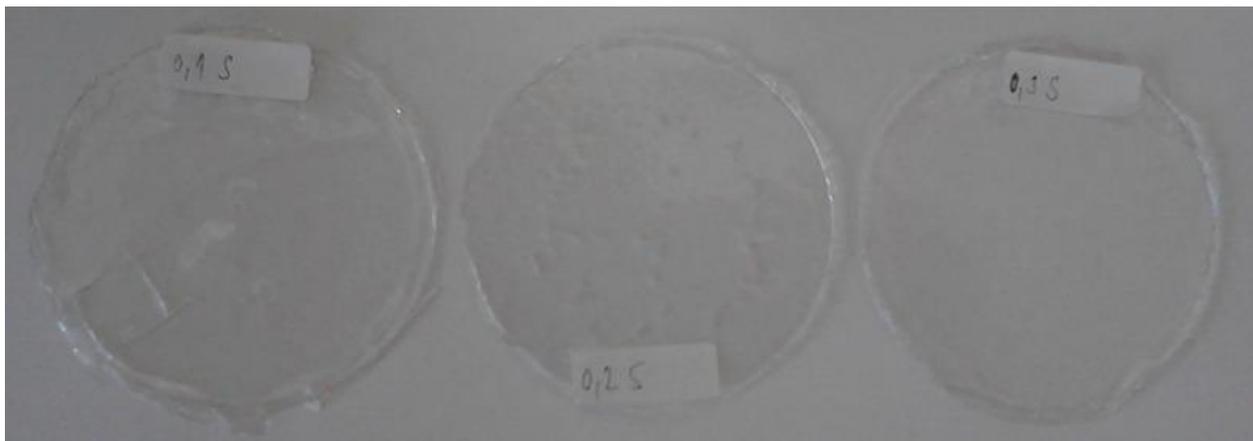


Рисунок 3 – Фотография полученных пленок с концентрацией наночастиц 0.1, 0.2 и 0.3 процента.

Для исследования качества оптического контакта между полученными пленками и промышленным полиметилметакрилатом

использовали установку, собранную по следующей схеме (рисунок 4).

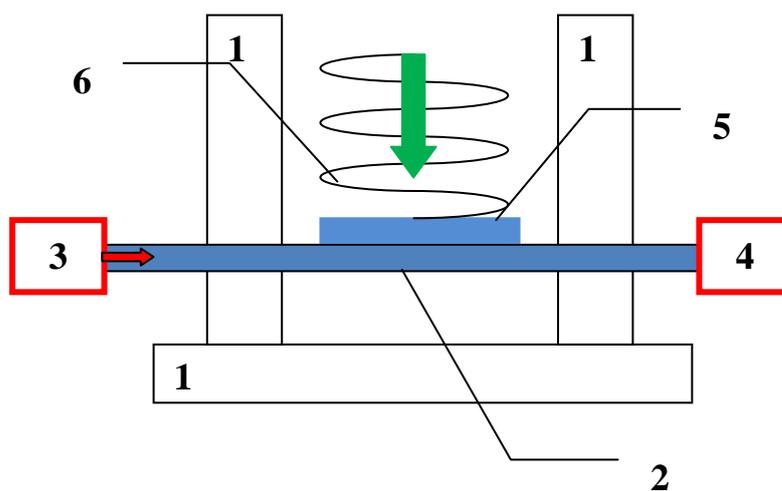


Рисунок 4 – Схема экспериментальной установки.

Установка содержала держатели (1), в которые вставлялась пластина (2), выполненная из оргстекла. В торец пластины подводилось излучение оптического диапазона, генерируемое светодиодом (3) KTL0500WHCI (белый цвет). Приемник излучения (4, фоторезистор СФЗ-2Б) располагался на противоположном торце пластины. Исследуемый образец пленки (5) располагался непосредственно на пластине (2) и прижимался к ней пружинным зажимом (6), обеспечивающим усилие в 1,5 Н. Данный показатель приблизительно

соответствует усилию, создаваемому пальцем оператора на клавиатуре компьютера или сенсорной панели. Для предотвращения повреждений пленки использовалась дополнительная прокладка, также выполненная из оргстекла (7). Схема установки предусматривала также возможность использования калиброванной механической нагрузки с помощью грузов.

Фотографии основной части экспериментальной установки показаны на рисунке 5а и рисунке 5б. На рисунке 5а показан образец пленки, приведенный в контакт с платиной (2) до приложения

механической нагрузки, на рисунке 5б – после. На представленных фотографиях видно, что исследуемый образец после

приложения механической нагрузки становится освещенным.



а)



б)

Рисунок 5 – Фотографии образца исследуемой пленки, приведенной в контакт со светопроводящей пластиной; а) – до приложения механической нагрузки, б) – после.

На рисунках 6 – 10 представлены зависимости интенсивности оптического сигнала, измеренные на выходе осветительной системы, от времени. Изменение интенсивности сигнала происходит в момент приложения механической нагрузки к пленке, располагающейся на световоде. Характер

скачка интенсивности и его амплитуда отражает качество оптического контакта между исследуемой пленкой и материалом световода.

Рисунки 6 – 10 однозначно свидетельствуют, что с увеличением доли ЭГА в исследуемом полимере качество оптического контакта также увеличивается.

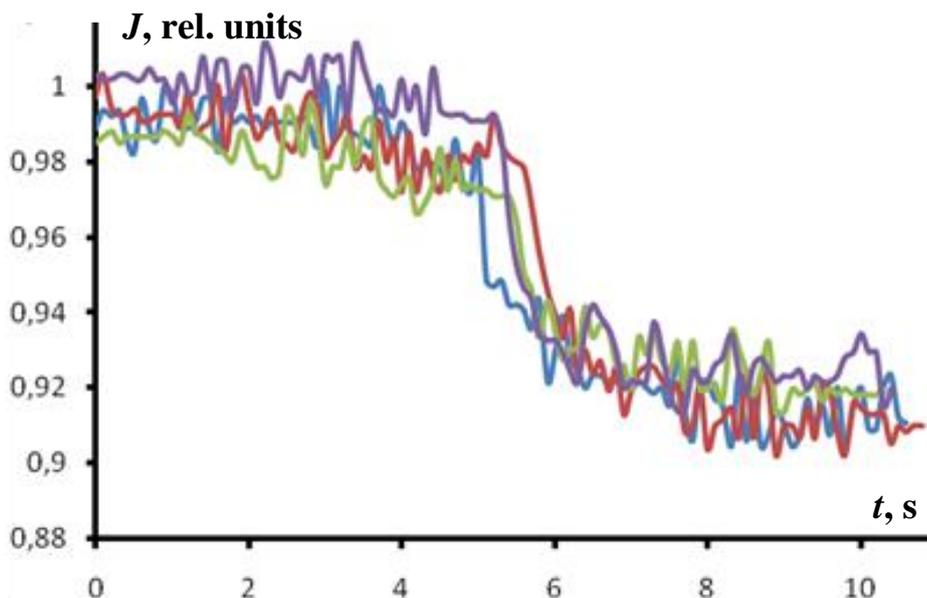


Рисунок 6 – Зависимость амплитуды оптического сигнала от времени при механическом воздействии на пленку и соотношении компонент [БМА]:[ЭГА] = 95:5, представлены результаты 4-х контрольных измерений.

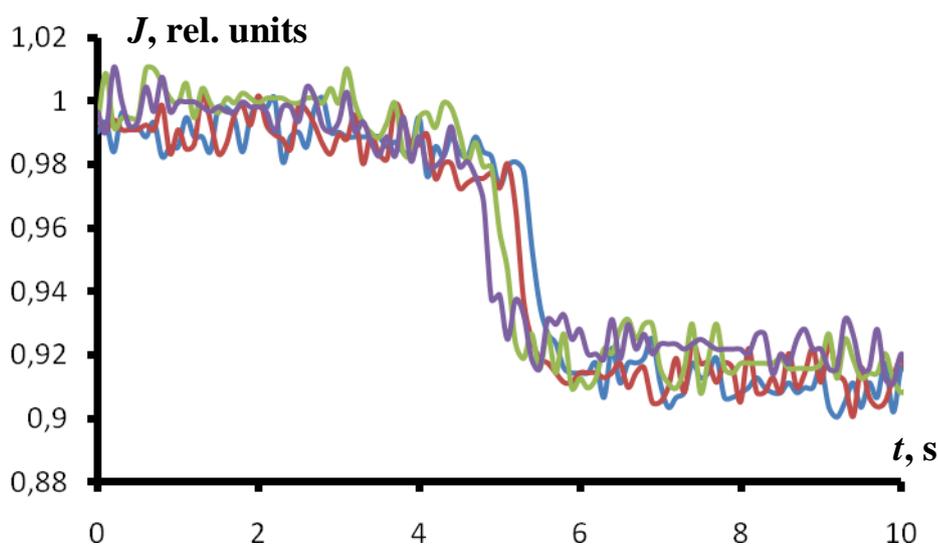


Рисунок 7 – Зависимость амплитуды оптического сигнала от времени при механическом воздействии на пленку и соотношении компонент [БМА]:[ЭГА] = 90:10, представлены результаты 4-х контрольных измерений.

Это полностью соответствует наблюдаемому поведению пленок: с ростом доли ЭГА в сополимере улучшается адгезия пленки к полиметилметакрилату. Однако для практического использования адгезия

рассматриваемых материалов друг к другу не должна быть чрезмерной, так как необходимо обеспечить обратный ход оптической кнопки или полотна сенсорной панели.

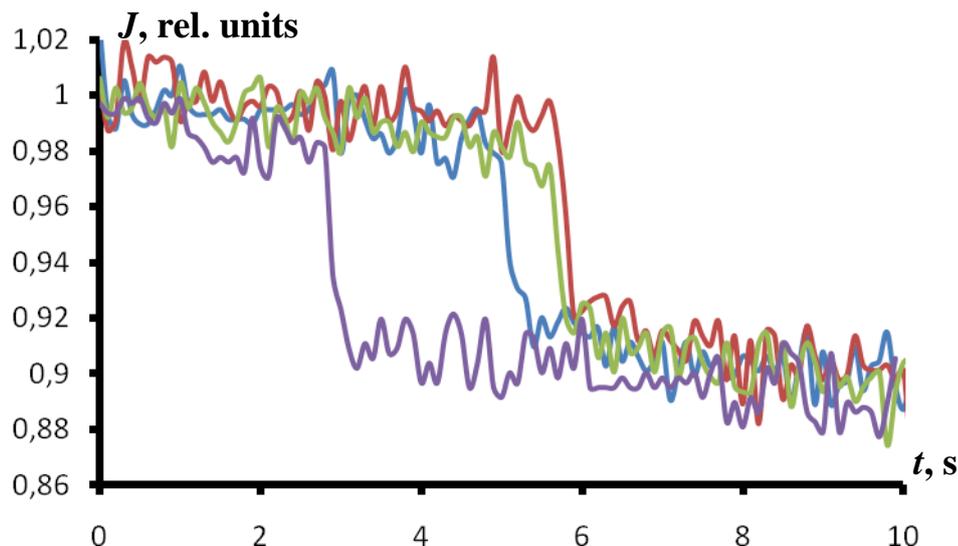


Рисунок 8 – Зависимость амплитуды оптического сигнала от времени при механическом воздействии на пленку и соотношении компонент [БМА]:[ЭГА] = 85:15, представлены результаты 4-х контрольных измерений.

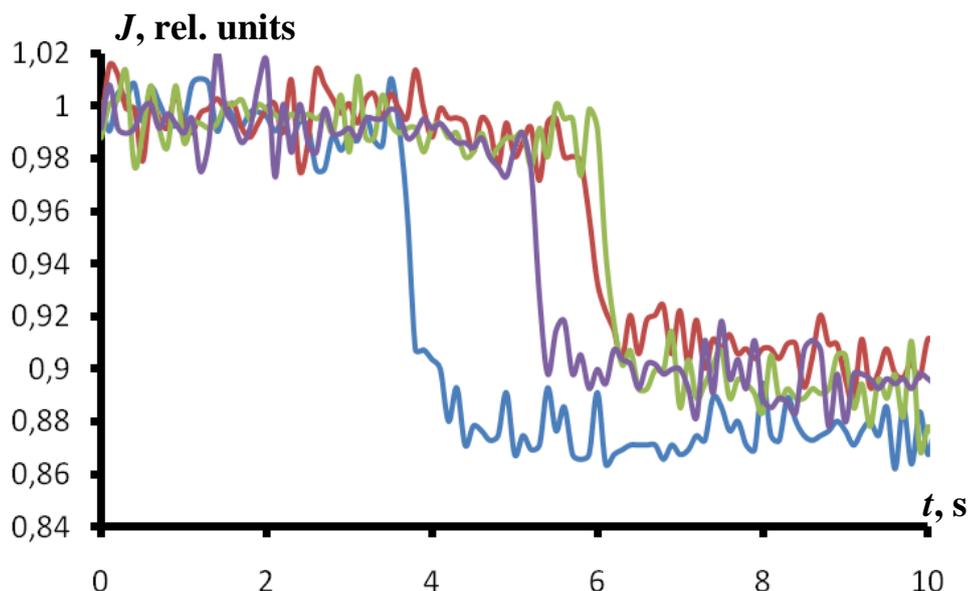


Рисунок 9 – Зависимость амплитуды оптического сигнала от времени при механическом воздействии на пленку и соотношении компонент [БМА]:[ЭГА] = 80:20, представлены результаты 4-х контрольных измерений.

Исходя из этих соображений для дальнейших исследований был выбран состав сополимера [БМА]:[ЭГА] = 90:10. Как видно из рисунков 6 - 10, дальнейшее увеличение доли ЭГА в сополимере не приводит к существенному улучшению качества оптического контакта, в то время

как высокая адгезия при большей доли ЭГА делает затруднительным обеспечение обратного хода сенсорной панели или аналогичных деталей информационных систем. В тоже время для целей создания панелей необходимо именно обеспечение высокой адгезии.

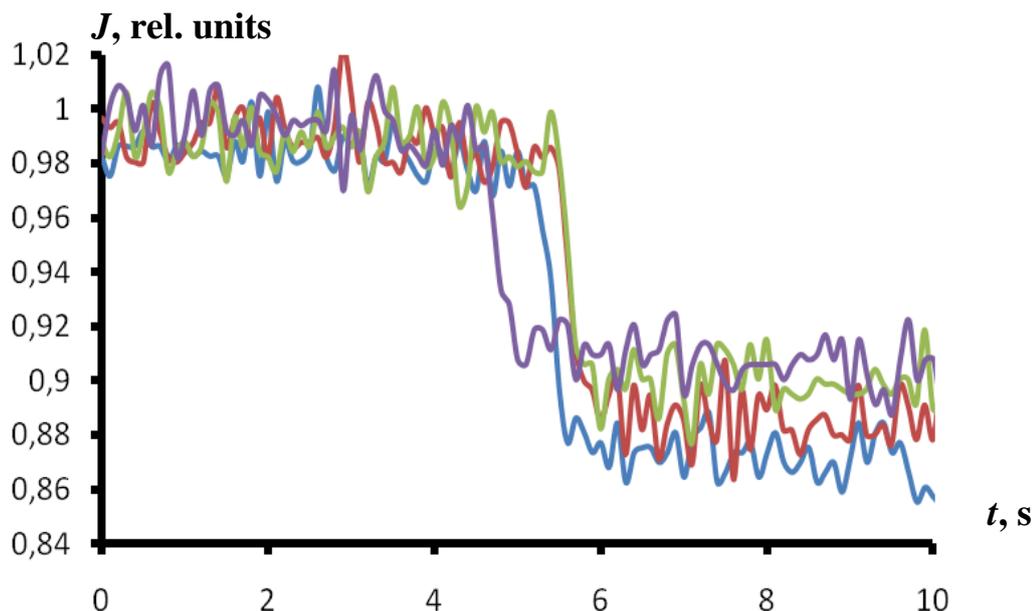


Рисунок 10 – Зависимость амплитуды оптического сигнала от времени при механическом воздействии на пленку и соотношении компонент [БМА]:[ЭГА] = 75:25, представлены результаты 4-х контрольных измерений.

На рисунках 11 и 12 показаны аналогичные кривые для случая, когда исследуемая пленка содержит наночастицы, вводимые непосредственно в раствор сополимера в смеси ацетонитрил – ацетон (1:2), предназначенный для получения пленки методом испарения.

Видно, что такой метод введения наночастиц в систему не только не обеспечивает повышения качества оптического контакта, но, напротив, приводит к его ухудшению.

Другими словами, в этом случае не имеет места ожидаемого эффекта, который бы вызывал повышение качества оптического контакта за счет процессов рассеяния света

на наночастицах. Можно высказать предположение, что такая ситуация складывается вследствие агрегации силикатных наночастиц, не являющихся органотфильными, в среде ацетонитрил – ацетон.

Исходя из этого соображения, в работе была сделана попытка повысить качество оптического контакта за счет диспергирования наночастиц, вводимых в исходную мономерную смесь, при помощи ультразвука.

Результаты исследования качества оптического контакта для таких пленок представлены на рисунках 12 и 13.

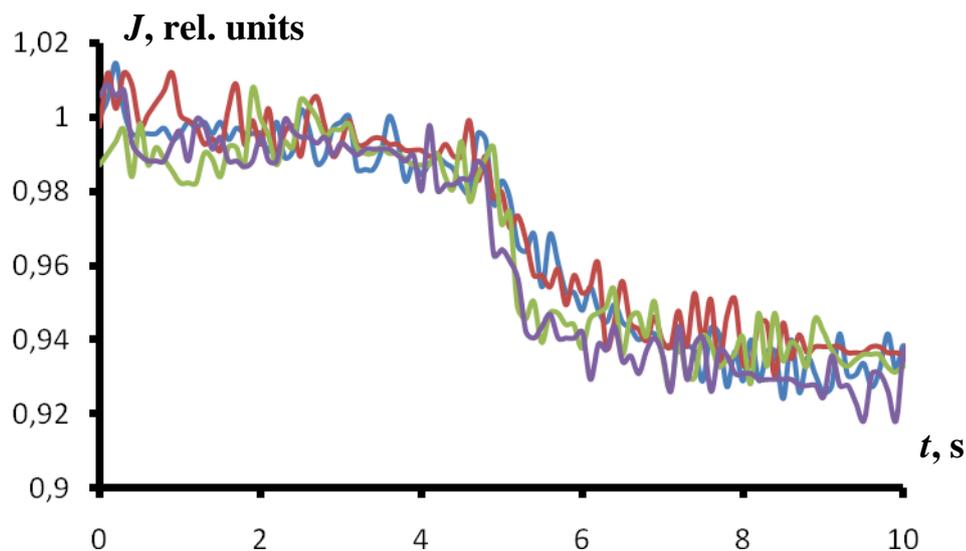


Рисунок 11 – Зависимость амплитуды оптического сигнала от времени при механическом воздействии, состав пленки [БМА]:[ЭГА] = 90:10, содержание наночастиц Cloisite 20A, добавляемых в раствора сополимера - 0,1% (весовых).

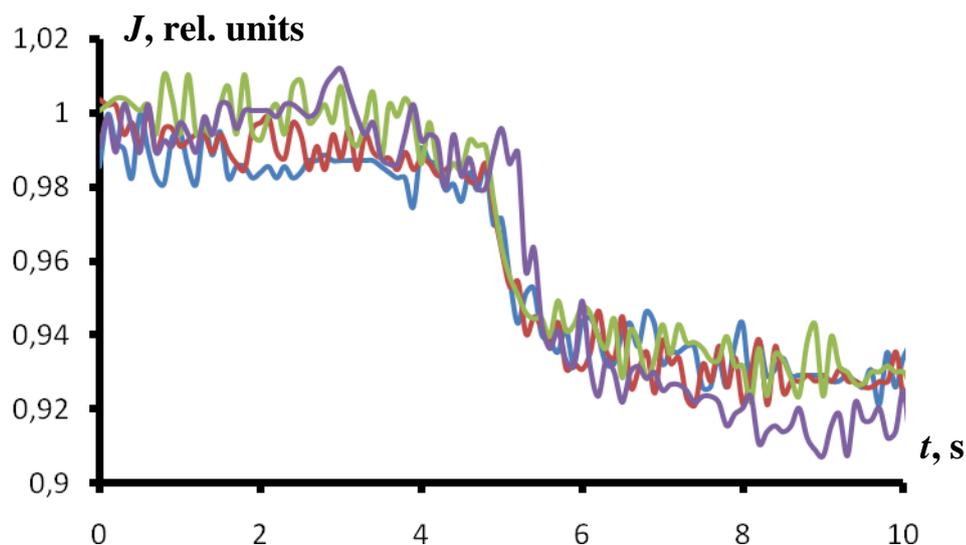


Рисунок 12 – Зависимость амплитуды оптического сигнала от времени при механическом воздействии, состав пленки [БМА]:[ЭГА] = 90:10, содержание наночастиц Cloisite 20A, добавляемых в раствора сополимера - 0,2% (весовых).

Видно, что и в этом случае существуют условия, при которых происходит уверенное снижение амплитуда оптического сигнала на 10% (что является достаточным для уверенной регистрации факта нажатия на кнопку или сенсорную панель). Однако

наблюдаемое качество оптического контакта не соответствует тому, которого можно было бы ожидать за счет использования эффектов рассеяния света на наночастицах, иммерсированных в полимерную матрицу.

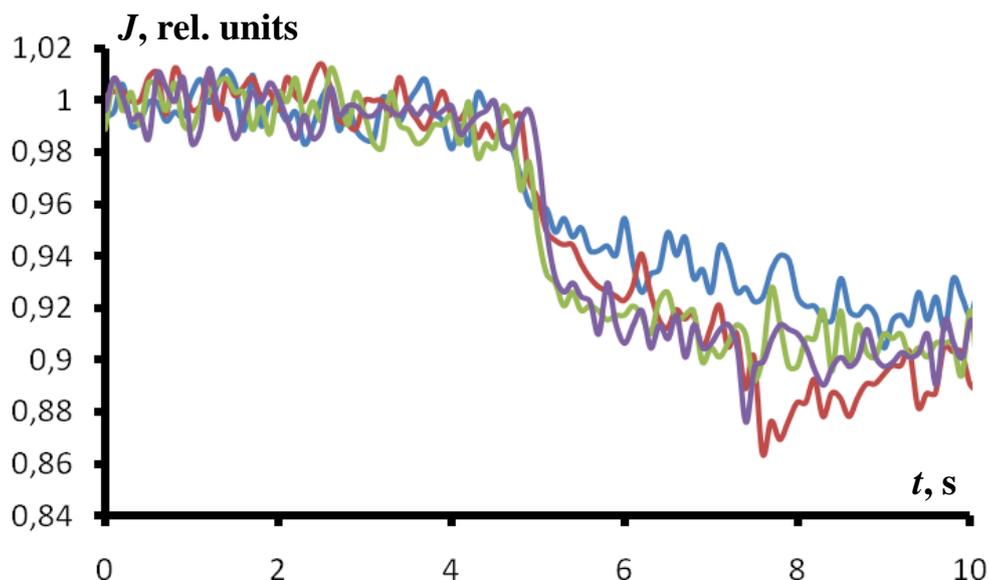


Рисунок 13 – Зависимость амплитуды оптического сигнала от времени при механическом воздействии, состав пленки [БМА]:[ЭГА] = 90:10, содержание наночастиц Cloisite 20А, диспергируемых в исходной мономерной смеси ультразвуком - 0,1% (весовых).

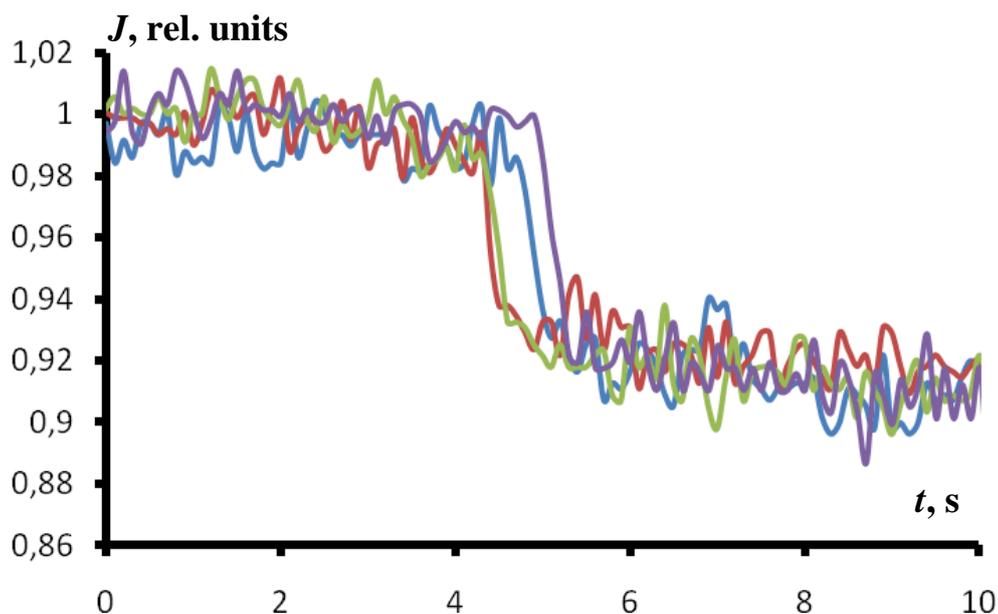


Рисунок 14 – Зависимость амплитуды оптического сигнала от времени при механическом воздействии, состав пленки [БМА]:[ЭГА] = 90:10, содержание наночастиц Cloisite 20А, диспергируемых в исходной мономерной смеси ультразвуком - 0,2% (весовых).

Это обстоятельство определяет необходимость более равномерного распределения наночастиц по объему полимерной матрицы, которое не является достижимым при использовании таких внешних воздействий как ультразвук.

Четвертая серия экспериментов, рассматриваемая ниже, обеспечивает наиболее равномерное распределения наночастиц по объему полимерной матрицы за счет использования химических средств, в соответствии с методикой, описанной выше.

На рисунках 15 – 19 представлены результаты определения качества оптического контакта между пленками, содержащими наночастицы и иммерсированные оргстеклом.

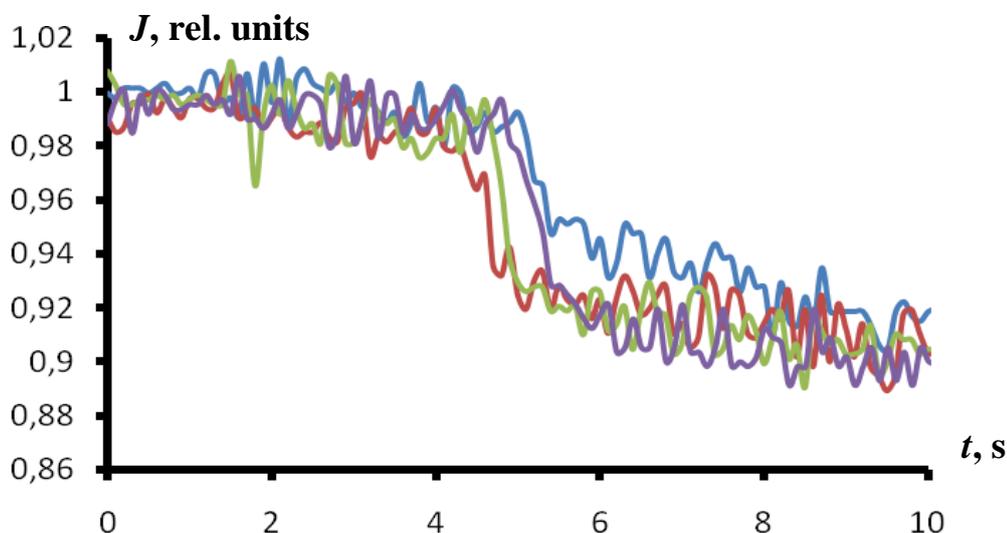


Рисунок 15 – Зависимость амплитуды оптического сигнала от времени при механическом воздействии, состав пленки [БМА]:[ЭГА] = 90:10, содержание наночастиц Cloisite 20A, диспергируемых в исходной мономерной смеси ультразвуком - 0,3% (весовых).

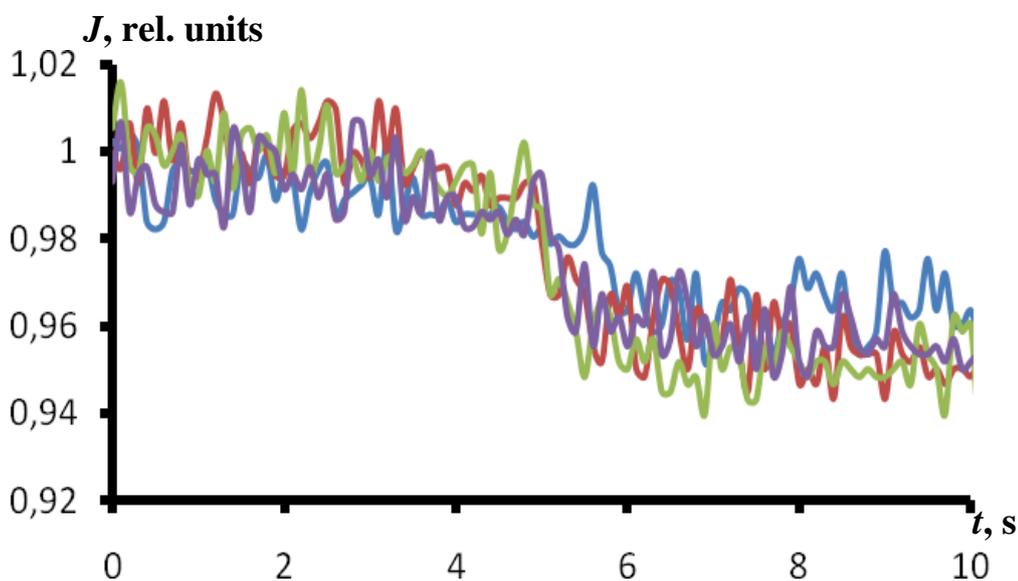


Рисунок 16 – Зависимость амплитуды оптического сигнала от времени при механическом воздействии, состав пленки [БМА]:[ЭГА] = 90:10, содержание наночастиц Nanosog, химически внедряемых в полимерную матрицу, - 0,1% (весовых).

Рисунки отвечают различному содержанию наночастиц, выраженному в весовых процентах. Видно, что избранный способ обеспечивает решение поставленной задачи.

Полученные результаты также показывают, что для практических применений целесообразно использовать пленки с 1%-ным содержанием наночастиц на основе монтморрелонита.

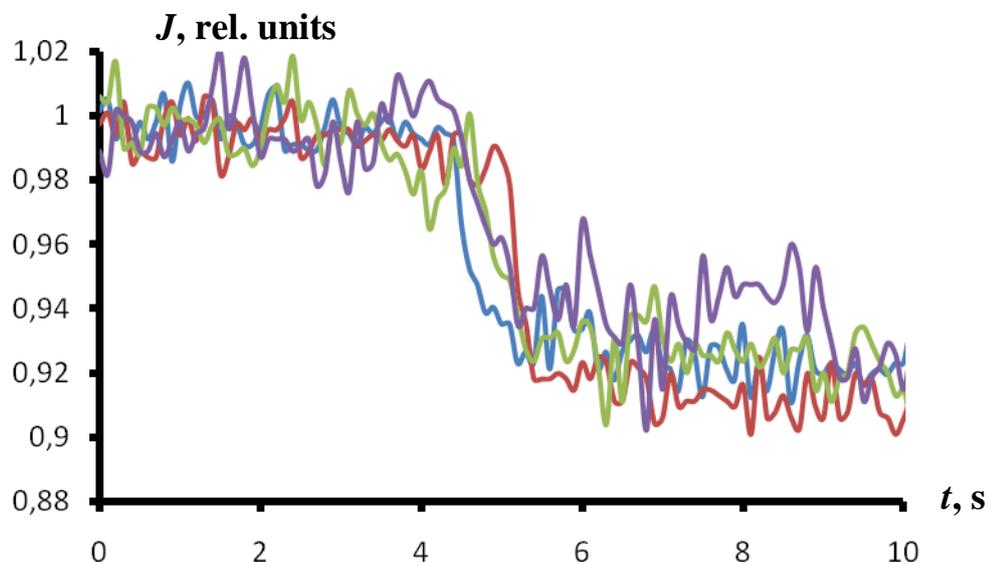


Рисунок 17 – Зависимость амплитуды оптического сигнала от времени при механическом воздействии, состав пленки [БМА]:[ЭГА] = 90:10, содержание наночастиц Nanosog, химически внедряемых в полимерную матрицу, - 0,2% (весовых).

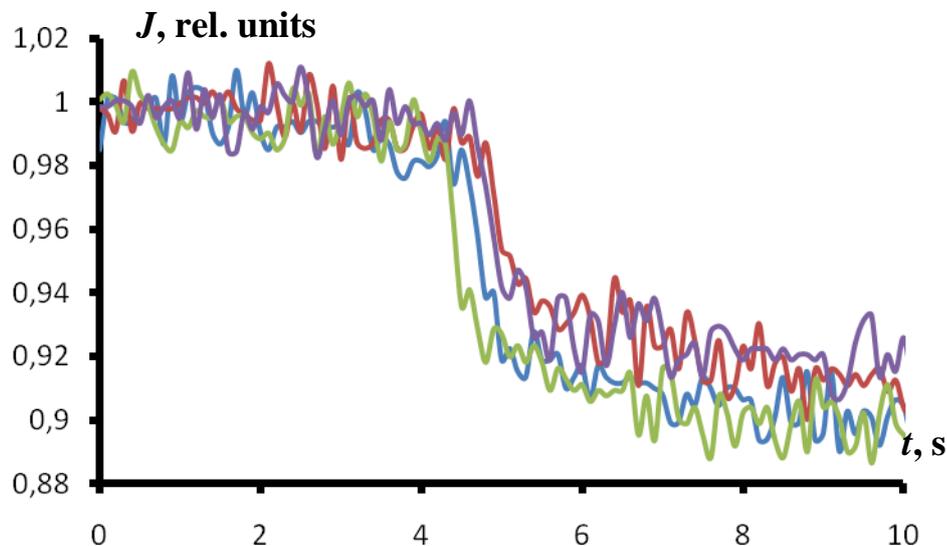


Рисунок 18 – Зависимость амплитуды оптического сигнала от времени при механическом воздействии, состав пленки [БМА]:[ЭГА] = 90:10, содержание наночастиц Nanosog, химически внедряемых в полимерную матрицу, - 0,3% (весовых).

Данные пленки обеспечивают, как это видно из представленных рисунков, наиболее устойчивый оптический контакт между используемыми материалами. Это, очевидно, объясняется тем, что при использовании химического метода

внедрения наночастиц в матрицу полимеров обеспечивается их наиболее однородное распределение по объему системы, которого не удастся добиться, например, при использовании ультразвукового диспергирования.

Таким образом, проведенный комплекс исследований позволяет утверждать, что оптимальной способ приготовления полимерных пленок, предназначенных для использования в индикаторных панелях на основе плоскостных световодов и и

родственных устройствах должен быть основан на химическом внедрении силикатных наночастиц при концентрации в один весовой процент и при соотношении мономеров БМА:ЭГА = 90:10.

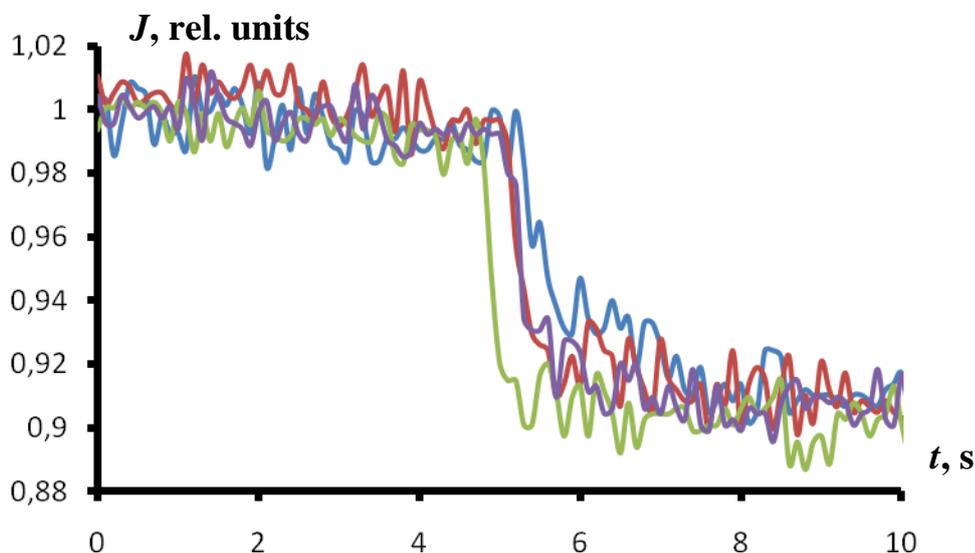


Рисунок 19 – Зависимость амплитуды оптического сигнала от времени при механическом воздействии, состав пленки [БМА]:[ЭГА] = 90:10, содержание наночастиц Nanosog, химически внедряемых в полимерную матрицу, - 1% (весовых).

Возможность использования такой композиции для индикаторных панелей, описанных в начале данного раздела, непосредственно иллюстрируют также рисунки 20 и 21, на которых показан пример индикации отдельного символа, вырезанного из полученной пленки.

Рисунки также показывают, что существует возможность непосредственного использования исследованных полимерных пленок для целей повышения зрелищной эффективности средств наружной рекламы.

А именно, надпись, выполняемая из пленки установленного состава, может размещаться непосредственно на витринном стекле, выполняющем параллельно функции плоского световода. В этом случае в дневное время суток надпись остается

практически невидимой (что обеспечивается сравнительно низкой концентрацией наночастиц). В ночное время надпись визуально воспринимается с повышенной эффективностью, так как имеет место эффект бокового рассеяния света.

Таким образом, использование нанокomпозиционных материалов предложенного типа, дает возможность существенного упрощения изготовления индикаторных панелей, основанных на использовании сочлененных световодов. Предложенный материал обеспечивает так же реализацию работы клавиатур с оптической кодировкой, принцип действия которых был предложен в [3].



Рисунок 20 – Буквенный символ, располагаемый на подложке из оргстекла; визуальное восприятие – темный, оптический контакт отсутствует.



Рисунок 21 – Буквенный символ, располагаемый на подложке из оргстекла; визуальное восприятие – освещенный, оптический контакт присутствует.

### Литература

1. Suleimenov, I., Semenyakin, N., Mun, G., Shalytkova, D., Panchenko, S., & Sedlakova, Z. (2012). Use of Non-linear Properties of Stimuli-sensitive Polymers in Image Display Systems. AASRI Procedia, 3, 528-533.

2. Panchenko, S., Suleimenov, I., Sedlakova, Z., Semenyakin, N. New optical sensor panel on nanocomposite base (2014). Advanced material research, 1037, 20-25

3. Сулейменов И. Э., Обухова П. В., Жунусов А. Р. Построение клавиатур с оптической кодировкой клавиш на основе полимерных гидрогелей //Известия научно-технического общества КАХАК., 2012, 39, с. 37-41.

*Поступила 11 июня 2014 г.*

## РЕФЕРАТЫ

*Suleimenov I.E., Panchenko S.V., Suleimenova K.I.*

### **EVOLUTION OF DIFFICULT SYSTEMS FROM THE POINT OF VIEW OF THE THEORY OF INFORMATION**

The concept of evolution of difficult systems based on notions of rather independent information objects – structures, arising in the difficult systems of arbitrary nature containing more than three structural levels is offered. Feature of these structures is rather weak coherence with data carriers that allows considering evolutionary processes, proceeding in systems of various nature, from identical positions.

*Сулейменов И.Э., Панченко С.В., Сулейменова К.И.*

### **АҚПАРАТ ТЕОРИЯСЫНЫҢ КӨЗҚАРАСЫНАН КҮРДЕЛІ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ЭВОЛЮЦИЯСЫ**

Құрылымдық деңгейі үштен асатын, ықтиярлы жаратылысты күрделі жүйелерде туындайтын біршама тәуелсіз ақпараттық объект – құрылым туралы түсініктерге негізделген күрделі жүйелердің эволюция тұжырымдамасы ұсынылған. Бұндай құрылымдардың ерекшелігі болып ақпарат тасушылармен байланысының біршама әлсіздігі саналады, бұл өз алдына түрлі жаратылысты жүйелерде өтетін эволюция процестерін бірдей позициядан қарастыру мүмкіндігін береді.

\*\*\*

*Baipakbaeva S., Grigoriev P.E., Shaltykova D.B., Panchenko S.V., Suleimenov I.E.*

### **INFLUENCE MECHANISM OF SOLAR-TERRESTRIAL COMMUNICATIONS ON EVOLUTION OF SOCIAL-ECONOMICAL SYSTEMS**

It is shown that the neural network mechanism of evolution of difficult systems based on consideration of analogy between difficult system of arbitrary nature and a neural network allows to interpret consistently the mechanism of impact of solar-terrestrial communications on social-economic and, more widely, historical processes.

*Байпақбаева С., Григорьев П.Е., Шалтыкова Д.Б., Панченко С.В., Сулейменов И.Э.*

### **ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕР ЭВОЛЮЦИЯСЫНА КҮНДІК-ЖЕРДІК БАЙЛАНЫСТАРДЫҢ ЫҚПАЛ МЕХАНИЗМІ**

Нейрондық желі мен ықтиярлы табиғаттың күрделі жүйесі арасындағы ұқсастығын қарастыруға негізделген күрделі жүйелер эволюциясының нейрожелілік механизмі күндік-жердік байланыстардың әлеуметтік-экономикалық және одан да ары тарихи процестерге ықпал механизмін қарама-қарсы емес түрде ұғындыру мүмкіндігі бар екені көрсетілген.

\*\*\*

*Mun G.A., Suleimenov I.E., Falaleev A.P., Ryabcev M.U., Kaldybekov D.B., Kabdushev Sh.B.*

### **DESIGN OF THE SOLAR-POWERED VESSEL WITH AN OSMOTIC ENGINE**

Possible options for a design of the vessel on solar draft, using new converters of thermal energy in electric and mechanical, which use the phenomenon occurring in electrolyte solutions. It is shown that development of such converters can be considered as practical use of results of the research devoted to establishment of mechanisms of the evolution preceding biological.

*Мун Г.А., Сулейменов И.Э., Фалалеев А.П., Рябцев М.Ю. Калдыбеков Д.Б.*

### **ОСМОТИКАЛЫҚ ҚОЗҒАЛТҚЫШЫ БАР КҮН ТАРТУ КҮШІНЕ НЕГІЗДІЛГЕН КЕМЕ ҚҰРЫЛЫСЫ**

Электролит ерітінділеріндегі өтетін құбылыстарды қолданатын жылулық энергияны электрлік және механикалық түрлерге өткізетін жаңа түрлендіргіштерді пайдаланатын күн тарту күшіне негізделген кеме құрылысының мүмкін нұсқалары зерттелген. Аталған түрлендіргіштерді дайындау биологиялыққа дейін болған эволюция механизмдерінің орнатылуына бағышталған зерттеулер нәтижелерін тәжірибелік қолдану ретінде қарастырыла алады.

\*\*\*

*Suleimenov I.E., Panchenko S.V., Erezheev O.E., Pak I.T.*

#### **THE CONCEPT OF STREAM EQUILIBRIUM IN DIFFICULT SYSTEMS: APPLICATION TO SOME PROBLEMS IN THE THEORY OF MASS SERVICE**

In this work an attempt to give correct justification for use of the concept "entropy" in relation to nonequilibrium stationary systems is made. The developed approach is applied to a specific objective of the theory of mass service – finding the most probable distribution of clients on set of service providers of identical appointment.

*Сулейменов И.Э., Панченко С.В., Ережеев О.Е., Пак И.Т.*

#### **КҮРДЕЛІ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ АҒЫНДЫҚ ТЕПЕ-ТЕҢДІК ТҮЖЫРЫМДАМАСЫ: ЖАППАЙ ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУ ТЕОРИЯСЫНЫҢ КЕЙБІР МӘСЕЛЕЛЕРІНЕ ҚОЛДАНУ**

Тепе-тең емес стационарлық жүйелерге қатысты «энтропия» ұғымын қолдану үшін дұрыс дәйектеме беру талпынысы жасалған. Жетілдірілген тәсілдеме жаппай қызмет көрсету теориясының нақтылы мәселесіне – бірдей міндетті қызмет көрсетушілер жиынтығына ең ықтимал клиенттер бөлісуін табу мәселесіне қолданылған.

\*\*\*

*Пак И.Т., Сабыр А.Ж., Сулейменова К.И., Сулейменов И.Э.*

#### **СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ, ОСНОВАННЫЕ НА СВОЙСТВАХ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ГИДРОФИЛЬНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

Показано, что соединения, основанные на гидрофильных полимерах, чье поведение можно рассмотреть по аналогии с нейронными сетями, являются многообещающим материалом для развития новых систем обработки информации, включающих сигналы, имеющие неэлектрическую природу. В самом простом случае свойства нейронной сети материалов продуманного типа могут использоваться, чтобы создать новые типы датчиков, обладающих пороговой зависимостью от прикладного механического воздействия.

*Пак И.Т., Сабыр А.Ж., Сулейменова К.И., Сулейменов И.Э.*

#### **ГИДРОФИЛЬДІ ПОЛИМЕРЛІ ҚОСЫЛЫСТАРДЫҢ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ СИПАТТАМАЛАРЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН АҚПАРАТТЫ ӨҢДЕУ ЖҮЙЕЛЕРІ**

Нейронды желілермен ұқсастығы негізінде мінез-қылығын қарастыруға болатын, гидрофильді полимерлерге негізделген қосылыстар ақпаратты өңдеу жүйелерінің электрлік емес табиғатты сигналдарды да қамтитын жаңа түрлерін дамыту үшін болашағы зор материал екені көрсетілген. Ең қарапайым жағдайда табылған түр материалдардан жасалған нейронды желі сипаттамалары қолданбалы механикалық ықпалдан шектік тәуелділігі бар жаңа үлгідегі тексергіш құралдарды (датчик) жасау үшін қолданыла алады.

\*\*\*

*Pak I.T., Mun G.A., Shaltykova D.B., Panchenko S.V., Irmukhametova G.S., Suleimenov I.E.*  
**THEORY OF SELF-SUSTAINING INFORMATION OBJECTS**

Bifurcations occurring in the evolving information system containing three structural levels are studied by the method of phase portraits. We revealed conditions under which a transition to a higher structural level becomes irreversible, which is interpreted as the emergence of sustainable relatively independent data object.

*Пак И.Т., Мун Г.А., Шалтыкова Д.Б., Панченко С.В., Ирмухаметова Г.С., Сулейменов И.Э.*

**ӨЗДІГІНЕН ҚОЛДАУ ЖАСАЙТЫН ИНФОРМАЦИОНДЫҚ ОБЪЕКТІЛЕР ТЕОРИЯСЫ**

Үш құрылымдық деңгейі бар эволюция жолымен дамиды ақпараттық жүйеде өтетін бифуркациялар фазалық кесін әдісімен зерттелінген. Одан жоғары құрылымдық деңгейге өту қайтарымсыз болатын шарттар айқындалған, бұл тұрақты, біршама тәуелсіз ақпараттық объектінің пайда болуы ретінде түсіндіріледі.

\*\*\*

*Pak I.T., Gishar J.P., Mun G.A., Shaltykova D.B., Obukhova P.V., Mangazbaeva R.A., Suleimenov I.E.*

**THE NATURE OF THE CRISIS PHENOMENA AT THE HIGHER EDUCATION IN REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

It is shown that the crisis phenomena at the higher education of Republic of Kazakhstan gained systematic character, and any attempts to overcome negative tendencies by standard methods of administrative regulation will obviously lead to increase of negative trends. It is shown that to overcome the crisis of higher education in the RK requires the transformation of higher education management paradigm as a whole. It is shown that such transformation can be carried out in the evolutionary way without essential change of the existing administrative and legal schemes.

*Пак И.Т., Гишар Ж.-П., Мун Г.А., Шалтыкова Д.Б., Обухова П.В., Мангазбаева Р.А., Сулейменов И.Э.*

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ЖОҒАРҒЫ ОҚУ ОРНЫНДАҒЫ ДАҒДАРЫС ҚҰБЫЛЫСТАРЫНЫҢ СИПАТЫ**

Қазақстан республикасының жоғарғы оқу орнындағы дағдарыс құбылыстары жүйелік сипатқа ие болғаны көрсетілген, сонымен бірге жағымсыз үрдістерді әкімшілік тәртіптеудің кез-келген типтік әдістерімен жеңу талпыныстары жағымсыз трендтердің артуына көре тұра әкеледі. Қазақстан республикасының жоғарғы оқу орнындағы дағдарысты жеңіп шығу үшін жоғарғы оқу орнын басқару парадигмасын толығымен өзгерту керек екені көрсетілген. Мұндай өзгеру қазіргі күні қолданылатын әкімшілік және заңды тәсімдерді айтарлықтай ауыстырмай эволюциялық жолмен жүзеге асырылу мүмкіндігі бар екені айқындалған.

\*\*\*

*Mun G.A., Suleimenov I.E., Falaleev A.P., Suleimenova K.I., Kaldybekov D.B., Agybaeva L.E.,*  
**NEW DESALINATION SYSTEM BASED ON HYDROPHILIC POLYMERS AS A TOOL FOR ECONOMIC EFFICIENCY OF GREEN ENERGY**

A brief review of the prospects of achieving economic efficiency of solar power plants is given. It is shown that this problem can be successfully solved by introduction in practice of combined systems that generate fresh water, along with electricity.

*Мун Г.А., Сулейменов И.Э., Фалалеев А.П., Сулейменова К.И., Калдыбеков Д.Б., Азгыбаева Л.Э.*

### **ЖАСЫЛ ЭНЕРГЕТИКАНЫҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ НӘТИЖЕЛІЛІГІН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТЕТІН ҚҰРЫЛҒЫ РЕТІНДЕГІ ГИДРОФИЛЬДІ ПОЛИМЕРЛЕР НЕГІЗІНДЕГІ ЖАҢА ТҰЩЫТҚЫШ ЖҮЙЕЛЕР**

Күн электр станциясының экономикалық нәтижелілігін қамтамасыз ету келешегіне қысқаша шолу берілген. Электр энергиясымен қатар тұщы суды өндіретін құрамдас жүйелерді, тәжірибиеге енгізу арқылы, берілген мәселені сәтті шешуге болатындығы көрсетілген.

\*\*\*

*Suleimenov I.E., Iglikov I.V., Semenyakin N.V., Falaleev A.P., Shaltykova D.B., Ryabcev M.U., Abirov Zh.A., Mun G.A.*

### **THE THEORY OF THE ION-HEAT ENGINE ON THE BASIS OF STRONGLY SEWED POLYELECTROLYTIC GRIDS**

It is shown that there is an opportunity to realize new type of the engine for sea transport on solar draft in which the liquid stream providing the movement of the vessel arises by the difference of temperatures between the heated and cooled parts of a structure. Heating is provided with solar radiation and cooling – with outside sea water. As the working body outboard sea water is also used, which is a low molecular weight electrolyte. Water flow, containing low-molecular ions, arises in not closed contour contacting with is non-uniform heated polymeric grid due to specific electrochemical properties of the last.

*Сулейменов И.Э., Игликов И.В., Семенякин Н.В., Фалалеев А.П., Шалтыкова Д.Б., Рябцев М.Ю., Абиоров Ж.А., Мун Г.А.*

### **ҚАТТЫ ТІГІЛГЕН ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТТІК ТОРЛАР НЕГІЗІНДЕГІ ИОНДЫ-ЖЫЛУЛЫҚ ҚОЗҒАЛТҚЫШ ТЕОРИЯСЫ**

Күн тарту күшіне негізделген су көліктеріне арналған қозғалтқыштың жаңа түрін жүзеге асыру мүмкіндігі бар екені көрсетілген. Бұл қозғалтқышта кеме қозғалысын қамтамасыз ететін сұйықтық ағыны құрылымның жылынатын және суытақтайтын бөлімдері арасындағы температуралар айырмашылығынан туындайды. Жылыну күн сәулелерінің таралуынан, ал суықтау – сыртқы теңіз суынан болады. Жұмыс жасау денесі ретінде де төмен молекулалық электролит болып табылатын сыртқы теңіз суы қолданылады. Төмен молекулалы иондары бар су ағыны өзгеше электрохимиялық сипаттамалары бар әртекті жылынған полимерлі тормен жалғасқан тұйықталмаған контурда пайда болады.

\*\*\*

*Taratuhin A.A., Grigoriev P.E., Sahanov Zh.T., Suleimenov I.E.*

### **HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR MEASUREMENT OF THE GRADIENT OF IONS CONCENTRATION**

A number of the actual physical and chemical tasks relating in particular to area of solutions research of high-molecular connections, and to biophysics demands registration of spatial distribution of low-molecular ions in real time. In this article the device allowing to conduct researches of spatial distribution of low-molecular ions by the conduct-metrical method based on high-frequency switching of measuring electrode couples in the mode of the artificial running wave is offered. Technical features, advantages and scopes of a hardware-software complex are described. Results of measuring system testing are presented.

*Таратухин А.А., Григорьев П.Е., Саханов Ж.Т., Сулейменов<sup>3</sup> И.Э.*

### **ИОНДАР ШОҒЫРЛАНУ ГРАДИЕНТИН ӨЛШЕУГЕ АРНАЛҒАН БАҒДАРЛАМАЛЫ-АППАРАТТЫҚ КОМПЛЕКС**

Жоғары молекулалы қосылысты ерітінділерді зерттеу аймағына және биофизикаға жататын бірсыпыра өзекті физико-химиялық мәселелер нақтылы уақыт тәртіптемесінде төмен молекулярлық иондардың кеңістіктік үлестірімін тіркеуін талап етеді. Берілген мақалада жасанды кума толқын тәртіптемесінде өлшегіш электродтық жұптардың жоғарыжиілікті ауыстырып қосуына негізделген кондуктометриялық әдіспен төменмолекулалық иондардың кеңістіктік үлестірімін зерттеу жүргізуге мүмкіндік жасайтын құрлығы ұсынылған. Бағдарламалы-аппараттық комплекстің техникалық ерекшеліктері, артықшылықтары және қолдану аймақтары сипатталған. Өлшегіш жүйені тестілеу нәтижелері ұсынылған.

\*\*\*

*Панченко С.В., Сулейменов И.Э., Шалтыкова Д.Б., Сулейменова К.И.*

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ МАТРИЧНОЙ ОПТИКИ, ОСНОВАННЫХ НА ПРОЕКТИВНОЙ ГЕОМЕТРИИ**

Предложен новый подход к обоснованию матричной оптики, основанной на методах проективной геометрии. Показаны его преимущества с помощью конкретных примеров.

*Панченко С.В., Сулейменов И.Э., Шалтыкова Д.Б., Сулейменова К.И.*

### **ПРОЕКЦИОННАЯ ГЕОМЕТРИЯ НА ОСНОВЕ НЕГІЗДЕЛГЕН МАТРИЦАЛЫҚ ОПТИКА ТӘСІЛДЕРІН ЖЕТЕ ЗЕРТТЕУ**

Проекциялық геометрия амалдарына сүйенген матрицалық оптика негіздемесіне жаңа тәсіл ұсынылған. Оның артықшылықтары нақты мысалдармен көрсетілген.

\*\*\*

*Kabdushev Sh.B., Falaleev A.P., Suleimenov I.E., Irmukhametova G.S.*

### **PILOT RADIO-ELECTRONIC SYSTEM FOR ENSURING OPERATION OF THE ION-HEAT ENGINE OF NEW TYPE**

The system, which provides trials of the engine of a new type in test mode, based on the use of osmotic effects. The system provides pulsed-periodic heating of working solution in the working camera of the engine of the new typed vessel based on reactive draw, which is produced by ejection of liquid in a direction opposite to the predetermined direction of the vessel.

*Кабдушев Ш.Б., Фалалеев А.П., Сулейменов И.Э., Ирмухаметова Г.С.*

### **ЖАҢА ТҮРДЕГІ ИОНДЫҚ-ЖЫЛУЛЫҚ ҚОЗҒАЛТҚЫШ ЖҰМЫСЫН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТЕНІН СЫНАУ РАДИОЭЛЕКТРОНДЫҚ ЖҮЙЕ**

Осмостық эффектілерін қолдану негізінде жұмыс жасайтын, жаңа үлгілі қозғалтқыштың тестік режимде сынақ жасауын қамтамасыз ететін жүйе ұсынылды. Ұсынылған жүйе, реактивті тарту күші негізінде жаңа үлгілі кеме қозғалтқышының жұмыс камерасындағы жұмыстық ерітіндінің импульсті-периодтық жылынуын қамтамасыз етеді. Реактивті тарту күші, сұйықтықтың кеме жүру бағытына қарама қарсы бағытта шығарулуына байланысты туындайды.

\*\*\*

*Mun G.A., Utkelov D.Zh.*

### **CONCERNING THE ISSUE OF PRODUCTION OF FLOTATION REAGENTS IN KAZAKHSTAN**

The review presents results of analysis of the literature data on the production and use of flotation reagents at the Kazakh enrichment plants. The factors justifying the need for development of synthesis and production of domestic effective enrichment chemicals are discussed. Examples of pre-emptive use of imported flotoreagents with the existing resource base for their production justify the priority of creating own reagents based on the study of flotation processes, ensuring the industrial production involves the low-quality raw materials - refractory ores and industrial and other man-made products including dumps of metallurgical enterprises.

*Мун Г.А., Уткелов Д.Ж.*

### **ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ФЛОТОРЕАГЕНТТЕРДІ ӨНДІРУДІҢ МӘСЕЛЕСІ ТУРАЛЫ**

Қазақстандық кен орындарында флотореагенттердің қолданылуы мен өндірісі туралы әдеби мәліметтер талдауының нәтижелері көрсетілген. Отандық химиялық тиімді өндіріс пен синтез бойынша қажеттілігіне негізделген факторлар қарастырылады. Шетелдік флотореагенттерді қолданудың артықшылығы, сапасы төмен бастапқы шикізат өндірісінің қамтамасыз ететін – қажырлы кен және өндірістік және металлургия орындарының қалдықтарын қоса отырып, басқа да техногенді қолда бар ресурстық базалардың өнімдерін қолдану кенді байытудың флотациялық үрдістерін анықтауға негізделген.

\*\*\*

*Semenyakin N.V., Sedlakova Z., Shaltykova D.B., Shaimagambetova A., Suleimenov I.E.*

### **USE OF NANOTECHNOLOGY FOR IMPROVEMENT OF DISPLAY PANELS BASED ON PLANE LIGHT GUIDES**

The new material providing essential improvement of quality of optical contact between the light guides used in display panels and keyboards with the optical coding is offered. Material based on a copolymer of butyl methacrylate and 2.6- ethyl methacrylate containing silicate nanoparticles.

*Семенякин Н.В., Седлакова З., Шалтыкова Д.Б., Шаймагамбетова А., Сулейменов И.Э.*

### **ЖАЗЫҚТЫҚ СВЕТОДИОД НЕГІЗІНДЕГІ ИНДИКАТОРЛЫҚ ПАНЕЛЬДЕРДІ ЖЕТІЛДІРУ ҮШІН НАНОТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНУ**

Индикаторлық панельдер мен оптикалық кодтауы бар пернетақталарда қолданылатын жарық өткізгіштер арасындағы оптикалық түйісу сапасын айтарлықтай жоғарылауын қамтамасыз ететін жаңа материал ұсынылған. Бұл материал силикаттық нанобөлшектері бар бутилметакрилат пен 2,6-этилметакрилаттың бірегей полимеріне негізделген.

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Журнал «Известия НТО «Кахак» публикует написанные на русском, казахском, английском, корейском языках оригинальные статьи, обзоры. Журнал дает информацию, связанную с деятельностью общества под рубрикой «ХРОНИКА НТО «Кахак».
2. В оригинальных статьях могут рассматриваться результаты как теоретических, так и прикладных НИР.
3. Авторы, желающие опубликовать обзорную статью, должны предварительно согласовать ее тематику, представив аннотацию на 1-2 стр. В обзорах следует освещать темы, представляющие достаточно общий интерес по выбранной тематике или отражающие какой-либо важный аспект применения в промышленности, сельском хозяйстве, медицине и т.д. Допускается обобщение результатов многолетних исследований научных коллективов.
4. Объем статьи не должен превышать 10 страниц формата А4. Статья должна начинаться с введения. В нем должны быть даны: содержательная постановка рассматриваемого в статье вопроса, краткие сведения по его истории, отличие предлагаемой задачи от уже известных, или преимущество излагаемого метода по сравнению с существующим. Основная часть статьи должна содержать формулировку задачи и предлагаемый метод ее решения, заключительная часть – краткое обсуждение полученных результатов и, если возможно, пример, иллюстрирующий их эффективность и способы применения.
5. К статье прилагается АННОТАЦИЯ с названием статьи, ФИО авторов, названием организации на русском, казахском и английском языках.

### *Требования к оформлению рукописей*

Статьи представляются в электронном виде (в текстовом редакторе MS WinWord 97 (95), формулы набираются с помощью редактора MS Equation 3.0 (2.0) или Chem.Draw.

Шрифт Times New Roman (Сур) 11 pt. Интервал 1. Поля: верхнее - 2.0 см, нижнее - 2.0 см, левое – 2 см, правое – 2.0 см. Абзац – красная строка – 0,5 см.

Статья представляется в одном экземпляре и на электронном носителе, подписывается авторами с указанием сведений об авторах: имени, отчества, почтового домашнего и служебного адресов, места работы и телефонов.

### *Образец оформления статьи:*

УДК .....

## **РАЗРАБОТКА ХИМИОТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА**

**Тен В.Б., Даулетьярова А.С., Канатбаев С., Михалев А.Н.**

*Научно-исследовательский ветеринарный институт*

[saule.daugalieva@mail.ru](mailto:saule.daugalieva@mail.ru)

В статье приводится методика изготовления препарата, предназначенного для лечения и профилактики бруцеллеза животных и результаты его испытания на лабораторных животных.

Создание новых препаратов осуществляется путем синтеза перспективных соединений, модификаций молекул широко известных препаратов и путем разработки комплексных препаратов...

### **Литература:**

*Ten V.B., Dauletjarova A.C., Kanatbaev C., Mihalev A.N.*

### **DEVELOPMENT OF THE CHEMOTHERAPEUTIC PREPARATION**

In article the technique of manufacturing of the preparation intended for treatment and preventive maintenance brucellosis of animals and results of his test for laboratory animals is resulted.

*Тен В., Даулетьярова А.С., Қанатбаев С., Михалев А.Н.*

### **ХИМИОТЕРАПИЯЛЫҚ ПРЕПАРАТТЫ ӨНДЕУ**

Мақалада жануарларды бруцеллезден емдеу және алдың алуға арналған препараттың өндеу әдістемесі мен оны зертханалық жануарларда тексеру нәтижелері келтірілген.

Компьютерный набор и макетирование Ли У.П.

Подписано в печать 25.11.2014 г.

Печать трафаретная. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная № 1.

Тираж 500 экз.