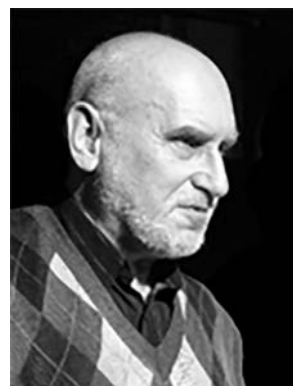


ЗНАКОМЬТЕСЬ: МОЛЕКУЛЯРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА – МЕМБРАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ПОЗВОЛЯЮЩАЯ УТИЛИЗИРОВАТЬ ИЗБЫТОЧНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ РЕСУРСЫ ПЛАНЕТЫ



*к.т.н. Лившиц В.И.,
д-р электротехники, руководитель группы патентования
ОКБ САПР, эксперт лаборатории нейронных систем и глубокого
обучения МФТИ, независимый исследователь и изобретатель*

Аннотация. Из ряда дискуссионных предложений в области альтернативной энергетики, на протяжении многих десятилетий продолжающих интересовать исследователей, выбрано приоритетное направление, на котором, судя по имеющимся данным, сложились предпосылки прорыва. Приведены малоизвестные данные, свидетельствующие, что преобразование кинетической энергии хаотического теплового движения частиц в электроэнергию в изотермических условиях возможно, причем для случая, когда частицы – свободные электроны в вакууме, а преобразование – прямое, имеется опубликованное экспериментальное доказательство. Однако прямому преобразованию, при котором рабочим телом (РТ) является электронный газ, а фактором, управляющим хаотическим тепловым движением электронов – постоянное неоднородное магнитное поле, присущ ряд физических ограничений, не позволяющих его использовать для получения электроэнергии в промышленных масштабах. Поэтому для решения этой задачи была предложена молекулярная энергетика (МЭ) – мембранная технология, в которой тепловая энергия на входе преобразуется в электрическую энергию на выходе через молекулярную стадию преобразования: энергию давления газообразного вещества, используемого в качестве РТ, циркулирующего под действием поглощаемого тепла окружающей среды с последовательным прохождением им компрессионного и ионообменного мембранных модулей (КММ и ИММ), взаимодействующих с потоком РТ по принципу «ведущий – ведомый». В качестве основы КММ предложен метаматериал «вентильная среда» (ВС), функциональным свойством которого является асимметрия потенциальных барьеров диффузии для молекул РТ. Концепция ВС – ключевой момент МЭ – детально проработана, а её создание и освоение массового производства предложено объявить международным «гигапроектом для нанотехнологий», способным стать основополагающим для «зелёной» энергетической парадигмы будущего. Выдвинута и обоснована гипотеза, согласно которой через слои ВС, составляющие КММ, будет происходить односторонняя самодиффузия молекул РТ, сопровождающаяся его ступенчатым сжатием осмотической природы – гипотетическим феноменом «эндотермической компрессии» (ЭК). Циркулируя под действием ЭК, РТ будет продавливаться через ИММ, выполненный в виде па-

кета ионообменных мембран (ИОМ), покрытых проницаемыми электродами, катализирующими диссоциацию и ионизацию молекул РТ. Входя в ИОМ, молекулы РТ будут ионизоваться, а выходя, возвращаться к молекулярной форме, обмениваясь валентными электронами с электродами и генерируя ток в соединённой с ними электрической нагрузке. В составе молекулярного термоэлектрического генератора (МТЭГ) КММ целесообразно выполнять в виде витого полового цилиндра, внутрь которого вложен стержневой ИММ. Сборка модулей помещена в герметичный корпус, заполненный под давлением РТ, циркулирующим по тороидальной траектории: водородом – в низкотемпературном МТЭГ с ИОМ из материала с протонной проводимостью, или кислородом – в высокотемпературном МТЭГ с ИОМ из керамики на основе диоксида циркония.



Ключевые слова: альтернативная энергетика, нетрадиционные источники энергии, энергия хаотического теплового движения частиц, осмос, «демон» Максвелла, термоэлектрическое преобразование, метаматериалы, материалы с протонной проводимостью, ионообменные мембраны.

Введение

Предложение в области альтернативной энергетики, выходящее за рамки традиционных представлений о пределах технических возможностей, уже выносилось в порядке обсуждения на страницы данного издания [1]. Оно основано на последних исследованиях Николы Тесла (1856 – 1943) – яркой личности, известной не только своим вкладом в историю электротехники, но и поисками новых путей получения и беспроводной передачи электричества, породившими густой мифологический флёр, окружающий его имя, и различные конспирологические версии.

Продолжая эту линию и вынося на суд общественности итог своей более чем 20-летней инициативной работы, автор представляет предложение в области альтернативной энергетики, вселяющее надежду успешного решения энергетических проблем человечества не только без дополнительного нагрева перегретой окружающей среды, но и благотворно влияя на неё.

Современная экологическая ситуация такова, что на первый план начинают выдвигаться резко обострившиеся климатические проблемы, связанные с глобальным потеплением, которые, согласно некоторым прогнозам, ставят под угрозу выживание человечества, причём в не столь отдалённом будущем. На этом фоне проблема преодоления энергетического голода, затрагивающая качество жизни, выглядит приоритетной лишь в краткосрочной (в историческом плане) перспективе. В этом аспекте исследования, нацеленные на создание всякого рода бестопливных генераторов, в т.ч., связываемых с именем Н.Тесла, и введение в хозяйственный оборот гипотетических огромных ресурсов свободной энергии, заключённых, по мнению некоторых исследователей, на более глубоких уровнях организации материи, чем атомное ядро, можно уподобить попыткам открытия ящика Пандоры: джинна, как известно, гораздо легче выпустить из бутылки, чем потом загнать его обратно.

Более того, даже тот факт, который с современных позиций принято считать актуальной проблемой: доступна и активно переводится в тепло малая доля атомной энергии – ядерного распада, а значительно большая её часть – термоядерного синтеза, не смотря на многолетние поиски и многомиллиардные затраты, для мирных применений пока недоступна, с футурологических позиций выглядит благом. Ведь любая традиционная энергетика, в особенности атомная – хотя и свободная от выбросов парникового CO_2 и кислотного SO_2 , но характеризующаяся большими сбросами тепла в окружающую среду при той же генерации, чем энергетика, основанная на сжигании природных топлив, и даже «зелёная» энергетика, основанная на возобновляемых источниках энергии, подпитывают перегретую Землю теплом, в которое, в конечном итоге, переходит львиная доля получаемого любым путем электричества.

Предпосылки и предшественники молекулярной энергетики (МЭ)

Выход из этой ситуации намечен и связан с именами менее прославленных деятелей, чем Н.Тесла, но тоже признанных отечественных учёных и изобретателей – П.К.Ощепкова (1908 – 1992) и О.А.Лаврентьева (1926 – 2011). Следует также упомянуть имя В.Е.Жвирблиса (1937 – 2006) – талантливого журналиста, сотрудничавшего с научно-популярным журналом «Химия и жизнь» и опубликовавшего много интересных материалов по этой тематике, в том числе результатов собственных исследований. Вот что, в частности, он писал: «При определённых условиях термодинамическая система формально может вести себя вопреки второму началу термодинамики, не нарушая, однако, его физического содержания (тепло естественным путём способно переходить лишь от нагретой к охлаждённой системе – В.Л.). Поэтому эксперименты по созданию двигателей, работающих не по тепловому циклу Карно, имеют полное право на существова-

ние и достойны не порицания, а тщательного обсуждения. Ведь речь идёт о совершенно разных системах – идеальных и реальных, и об этом не следует забывать» [2].

Инициативная работа д.т.н. П.К.Ощепкова широко известна: в недалёком прошлом она пользовалась общественной поддержкой (существовала даже действующая на общественных началах лаборатория), была издана научно-популярная книга [3] – однако завершилась итогом, далеко не однозначным. П.К.Ощепков, вводя в оборот термин: «Энергоинверсия – обобщённое понятие о новых методах получения энергии за счёт инверсии, то есть за счёт перемещения (перестановки) тепла окружающего пространства», исходил из того, что: «Идеальным было бы отыскать такие процессы, которые позволили бы осуществлять прямое и непосредственное преобразование тепловой энергии окружающего пространства в энергию электрическую».

По-видимому, такая постановка задачи, сузившая область поисков (очевидно, что автор допускал возможность существования и не прямых – с энергоносителем-посредником – методов такого преобразования, но, видимо, счёл их бесперспективными), а также представляющийся ошибочным вывод, что: «Анализируя многие известные в настоящее время явления природы, можно сделать заключение, что основой будущей энергетики будет не столько атомная энергетика, сколько энергетика электронная», предопределили безрезультатность этой работы, лишь укрепившей в научном сообществе предубеждение против исследований, посягающих на «священную корову» – второе начало термодинамики – относительный характер которого (т.е. отсутствие статуса универсального закона природы), впрочем, не отрицается [4].

С другой стороны, П.К.Ощепков был прав в своём утверждении, что для решения задачи энергоинверсии необходим асимметричный потенциальный барьер, преодолевая который, хаотически движущиеся частицы разделяются на более и менее горячие. Им

были приведены примеры таковых для классических жидкостей и газов: воды (барьер – плотина со стенками, наклонёнными под разными углами), и воздуха (барьер – ветряная турбина с вертикальной осью вращения как у крыльчатки анемометра). Асимметричные потенциальные барьеры, как известно, преодолевают электроны, переходя между находящимися в контакте металлами разной химической природы, или между полупроводниками с разными типами проводимости. При этом реально осуществляется прямое преобразование тепловой энергии в электрическую, проявляющееся в известном явлении контактной разности потенциалов (КРП).

Однако в отношении КРП известно, что: «Так как в замкнутой электрической цепи никакой металл не может быть включён с помощью одного спаев, а будет обязательно иметь два спаев (в начале и конце провода), то автоматически обеспечивается, что при любом включении тока один из спаев будет выделять некоторое дополнительное количество тепла, а второй – поглощать такое же количество тепла. При применении полупроводников этот эффект обычно только усиливается». Поэтому ток в такой цепи может возникнуть лишь при наличии градиента температуры спаев – но никак не в изотермических условиях, как того требует энергоинверсия.

Надежду на преодоление этого препятствия, по мнению П.К.Ощепкова, даёт неподчинение электронов законам классической механики: их коллективное состояние в электропроводных телах описывается, как известно, законами не классической жидкости, а жидкости квантовой (Ферми-жидкости). Эта особенность, по его мнению, только способствует энергоинверсии, поскольку: «Электроны способны перемещать тепловую энергию из одной зоны в другую настолько быстро, что естественная теплопередача за этот же промежуток времени не приведёт к заметному выравниванию температур».

По нашему же мнению, ситуация обратна: подчинение электронов проводимости

законам квантовой механики является причиной того, что заставить уединённо работать асимметричный потенциальный барьер в полной электрической цепи – так, чтобы возникающая на нём КРП не была скомпенсирована встречной КРП на втором барьере, невозможно. Это было бы возможно, если поведение электронов проводимости подчинялось законам классической механики, то есть определялось бы исключительно их ближним (прилегающим к барьеру) окружением. Но в квантовых системах, как известно, имеют место и дальние (нелокальные) взаимодействия: волны, в отличие от корпускул, имеющих определённую локализацию, способны охватить весь мир. Кроме того, известный принцип детального равновесия, согласно которому прямые и обратные переходы из одного дискретного состояния в другое системы, находящейся в состоянии термодинамического равновесия, равновероятны, строго выводится из положений квантовой механики, в частности, симметрии квантовых уравнений движения относительно обращения времени [5]. С другой стороны, это наводит на мысль, что корпускулярно-волновой дуализм электрона в особых случаях допускает возможность несоблюдения этого принципа – чему в дальнейшем было получено нижеприведенное подтверждение.

Ранее мы были уверены, что квантовая природа электронного газа ставит крест на электронной энергетике, пока современный харьковский исследователь А.Ю.Дроздов – который, как оказалось, много лет занимается той же проблемой и даже независимо предложил близкие в теплофизической части пути её решения – не поделился своей информацией о другом нашем предшественнике: О.А.Лаврентьеве.

Выдающийся советский и украинский физик д.ф.-м.н. О.А.Лаврентьев, разделяющий с акад. А.Д.Сахаровым славу «отца советской водородной бомбы», известен, в основном, как инициатор работ по управляемому термоядерному синтезу в СССР. На

столь ярком фоне его другое научное достижение, фактически, прошло незамеченным: ему удалось – ни больше, ни меньше – подтвердить опытным путём то, что предполагал, но не смог доказать П.К.Ощепков: возможность преобразования кинетической энергии хаотического теплового движения частиц непосредственно в электрическую [6]. Поскольку этими частицами в эксперименте О.А.Лаврентьева были электроны, то он, казалось бы, реабилитирует концепцию электронной энергетике П.К.Ощепкова. Однако, к сожалению, это не так: энергоинверсия была предложена с целью преобразования в электричество рассеянного тепла окружающей среды, средняя температура которой $\sim 3 \cdot 10^2$ К, а тут необходимы гораздо более высокие температуры: $\sim 10^3$ К, ниже которой не проявляется термоэлектронная эмиссия даже у самых эффективных катодов.

Следовательно, эксперимент О.А.Лаврентьева лишь подтверждает нашу гипотезу, что электронная энергетика не сможет составить основу энергетике будущего по причине того, что коллективное состояние электронов проводимости, заключённых в кристаллическую решётку твёрдого тела, описывается законами квантовой механики. Успех этого эксперимента связан с тем, что электроны, покинувшие материал катода и эмитированные в вакуум, проявляют свои корпускулярные свойства, подчиняясь законам классической физики – иначе они, в частности, не могли бы группироваться в сгустки, и электронно-лучевые приборы СВЧ на пролётных эффектах, например, клистроны и ЛБВ, были бы невозможны. По этой причине и нашла подтверждение гипотеза О.А.Лаврентьева, по сути, состоящая в том, что неоднородное постоянное магнитное поле, в принципе, не требующее затрат энергии для своего поддержания (однако, к сожалению, материалов для постоянных магнитов, эксплуатируемых при той же температуре, что и накаливаемые катоды, нет), способно выступить в роли пресловутого «демона» Максвелла для элект-

тронов, проделав с ними ту работу, с которой он не справляется для электронейтральных частиц – молекул: асимметрично разделить их по энергиям.

Фундаментально-научное значение этого мало кому известного эксперимента, впервые продемонстрировавшего не подчиняющуюся второму началу термодинамики систему, целиком уместающуюся на лабораторном столе, а не космического или микроскопического масштаба размеров, каковые известны (Вселенная и феномен броуновского движения), трудно переоценить. Поэтому имеет смысл воспроизвести его схему (рис. 1) и процитировать вывод:

«Измерения показали, что в цепи, соединяющей два электрода из одинакового материала с одинаковой термоэмиссионной способностью, нагретых до одинаковой температуры, помещённых в постоянное неоднородное магнитное поле, наблюдается электрический ток. Направление тока обратно направлению дрейфовой скорости электронов. С изменением направления магнитного поля на противоположное меняется на противоположное и направление тока. Сила тока (в максимуме) увеличивается с ростом температуры электронов приблизительно как $T^{3/2}$. Имеется, по крайней мере, качественное соответствие экспериментальных и расчётных зависимостей силы тока от характеристик магнитного поля. Всё это подтверждает достоверность приведённых доказательств возможности преобразования тепловой энергии хаотического движения частиц непосредственно в электрическую».

Таким образом, описанный эксперимент свидетельствует, что электронная энергетика – в более узком смысле – возможна. Например, в качестве дополнения к атомной энергетике, для применения в которой термоэмиссионные генераторы признаны перспективными. Избавить их от необходимости сброса тепла в окружающую среду – тоже актуальная проблема.

С другой стороны, совершенно очевидно, что термоэлектрическое преобразование в исходно изотермических условиях при относительно низких и средних начальных значениях температур, использующее в качестве рабочих тел (РТ) газы из свободных электронов или ионов (плазму), невозможно, поскольку эти РТ могут существовать лишь в условиях высоких температур. Да и начальные условия в подобных системах, строго говоря, не изотермические – все их части равномерно нагретыми быть не могут, поскольку для функционирования катодов и магнитных систем, формирующих неоднородное постоянное поле, необходимо, чтобы их температуры отличались более чем на порядок. Наличие магнитной системы, являющейся здесь своеобразным холодильником, конечно, не ставит под сомнение достоверность приведённых доказательств. Это ведь не холодильник обычной тепловой машины, на который постоянно должно отводиться тепло, и температура которого по формуле Карно определяет предельный КПД. Однако задача создания подобных систем в условиях равномерно нагретых окружающих сред, одновременно являющихся источником преобразуемого тепла, неразрешима технически.

Следовательно, результаты эксперимента О.А.Лаврентьева по праву необходимо признать имеющими ключевое фундаментально-научное значение и принять к сведению. Однако для создания подобных решений, применимых в альтернативной энергетике, нужен иной подход, в котором, в частности, требование, что преобразование тепловой энергии равномерно нагретых сред в электрическую должно быть прямым (непосредственным), обязательным не является.

С другой стороны, априори ясно, что традиционная стадия преобразования энергии между теплом и электричеством – механическое вращение вала, как в турбогенераторах – не годится, и должна быть предложена иная, причём, желательно, такая, чтобы новая

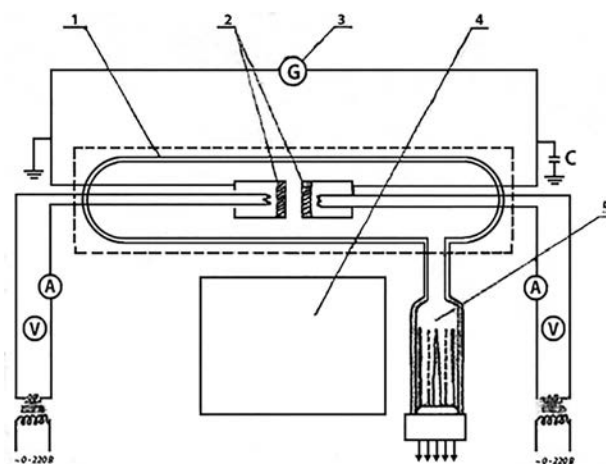


Рис. 1 Схема экспериментальной установки О.А.Лаврентьева: 1 – колба (стекло); 2 – катоды (гексаборид лантана); 3 – гальванометр (цена деления $1,5 \cdot 10^{-9}$ А); 4 – постоянный магнит; 5 – ионизационный манометр

система по всем внешним признакам и эксплуатационным показателям практически не отличалась бы от известных систем прямого термоэлектрического преобразования. Обладающий всеми нужными качествами промежуточный энергоноситель – циркулирующее по замкнутому контуру газообразное РТ, в котором подводимое из внешней среды тепло создаёт перепад давлений – был предложен автором и составил основу выдвинутой им концепции МЭ, описываемой далее.

«Синтетический демон Максвелла» А.Ю.Дроздова

А.Ю.Дроздову в решении этой проблемы удалось сделать следующий шаг и предложить систему, работоспособную в изотермических условиях и не требующую высоких температур – но с энергией на выходе, представленной в неэлектрической форме. Его идея, выдвинутая им ещё в 2001 г., состоит в том, что: «Нужно создать такую молекулярную систему, в которой пространственные затруднения для теплового движения молекул рабочей жидкости [или газа – В.Л.] в одном направлении были бы меньше, чем в противоположном» [7].

Несмотря на то, что понятие «создать» предполагает, по определению, искусственную целенаправленную деятельность, и подходящий инструмент для этого есть: нанотехнологии – в чём, если не в создании молекулярных систем с заданными функциональными свойствами, состоит их предназначение? – далее вместо постановки задачи создания новой предложена известная молекулярная система, от которой можно ожидать проявления нужных свойств: жидкие кристаллы (ЖК). На этом принципе А.Ю.Дроздов предлагает построить ЖК двигатель с дисковым ротором, отделённым от дискового статора тонкой прослойкой из ориентированного под углом 45° к его поверхности ЖК материала [8]. Тем самым будет доказана возможность преобразования кинетической энергии хаотического теплового движения частиц и в механическую энергию (непрерывного вращения) – однако получение при этом параметров вращения, необходимых для работы электромеханических генераторов, вряд ли возможно.

А.Ю.Дроздовым также было показано, что на основе ЖК материала возможно построение осмотических систем, в которых имеет место нарушение принципа детального равновесия [9].

Известно, однако, что из возможных агрегатных состояний вещества – твёрдого, жидкого и газообразного – ЖК состояние, находящееся на стыке первых, существует в наиболее узком температурном диапазоне. Поэтому выбор ЖК материала в качестве РТ весьма неудачен: хотя для работы при нормальных условиях известно много ЖК материалов, температура РТ будет совпадать с температурой окружающей среды лишь при пуске. Далее же РТ – для притока тепловой энергии извне – должно сильно охладиться. Если же охлаждение РТ (образовавшийся в исходно изотермических условиях градиент температур) будет слабым – таким, чтобы ЖК материал не замёрз – то представляющая

интерес выходная мощность не может быть получена.

Однако фундаментально-научную значимость предложенных А.Ю.Дроздовым ЖК систем, находящихся в одном ряду с экспериментом О.А.Лаврентьева, трудно переоценить: вот они – наглядные примеры предсказанной ещё К.Э.Циолковским и позднее описанной В.Е.Жвирблисом термодинамической системы, которая формально ведёт себя вопреки второму началу термодинамики, не нарушая, однако, его физического содержания – тепло естественным путём способно переходить лишь от горячего тела к холодному.

В этой связи необходимо отметить, что, если для системы О.А.Лаврентьева соотношение неоднородного магнитного поля, сортирующего свободные электроны в вакууме по энергиям, с «демоном» Максвелла в его формулировке термодинамического парадокса, представляется правомерным, то обоснованность именования системы А.Ю.Дроздова «демоном» Максвелла – даже синтетическим – и дальнейшего рассмотрения её в этом аспекте, вызывает сомнения.

В самом деле, «демон», по Максвеллу, сортирует подлетающие к окошечку в перегородке молекулы по энергиям, стремясь получить и поддерживать перепад температур газа в разных частях сосуда при постоянстве, по умолчанию, его давлений. Однако система, в которой самопроизвольно образуется перепад температур при постоянстве давлений – наглядный, но не единственный пример системы, энтропия которой – вопреки второму началу термодинамики – самопроизвольно убывает, открывая путь создания т.н. вечного двигателя второго рода (ВД2). А именно, в этом примере устойчивый перепад температур можно преобразовывать в полезную работу при помощи обычной тепловой машины, работающей согласно циклу Карно. Вот какой сложный, и, главное, неэффективный ВД2 таким способом получается: КПД преобразования, согласно известной формуле

Карно, зависит не только от величин температур, но и от их перепада, на практике оказываясь, как правило, $\ll 100\%$.

Если же перегородить сосуд с газом, по предложению А.Ю.Дроздова, некоей мембраной, пространственные затруднения для теплового движения (диффузии) сквозь которую молекул рабочего газа в противоположных направлениях различны, то ясно, что в ней самопроизвольно образуется перепад давлений – причём не в результате деятельности некоего непонятного «демона», а как прямое следствие молекулярно-кинетической теории теплоты: по известному физическому механизму, ответственному, в частности, за образование осмотического давления.

Образование перепада давлений в такой системе, так же, как в первом случае, приведёт к убыванию её энтропии: энергия давления, в отличие от тепловой, является безэнтропийной. Но энергия давления может быть преобразована в полезную работу, теоретически, со 100%-ным КПД, причём значительно проще, чем градиентная тепловая: например, с помощью простейшей поршневой машины. Остаётся лишь строить предположения, почему столь привлекательному варианту ВД2 не уделялось должного внимания: по-видимому, слишком уж явно его подобие осмотическим двигателям, которые, как известно, никакими «вечными» не являются, поскольку при обычном осмосе область более концентрированного раствора представляет собой тупик для молекул растворителя, из-за чего при организации замкнутого цикла циркуляции растворы смешиваются, их концентрации выравниваются, и осмотическое давление в итоге обнуляется.

Физический принцип МЭ: эндотермическая компрессия (ЭК) – транзитный осмос

В наличии у осмоса как физического явления односторонней диффузии нераскрытых потенциальных возможностей можно убедиться, если не довольствоваться его тра-

диционным, и, как будто, отвечающим на все вопросы объяснением по принципу Ле Шателье – Брауна, а попытаться проанализировать с позиций молекулярной динамики обычно упускаемые из вида тонкие физические механизмы образования его следствия – осмотического давления – причём там, где оно зарождается: в тончайших слоях растворов разных концентраций, непосредственно прилегающих к полупроницаемой перегородке. Такое сужение области рассмотрения требует сразу исключить понятие парциального давления ингредиентов раствора как не имеющее физического смысла (давление, оказываемое на каждую молекулу её окружением, определяется законами механики и никак не связано с химической природой соударяющихся с ней других молекул), и, соответственно, отыскать другое – отличающееся от формальной ссылки на равенство парциальных давлений – объяснение тому, что молекулы растворителя, свободно проникающие сквозь поры перегородки, не выдавливаются в динамически равновесном состоянии из области более концентрированного раствора, где действующее на них (полное) давление больше, в область менее концентрированного раствора, где оно меньше.

Удовлетворительно объяснить этот факт можно только клапанным действием молекул растворённого вещества, прилегающих к порам в перегородке, но не способных проникнуть внутрь: каждая пора – то самое окошечко, а прилегающая к ней молекула растворённого вещества – та самая заслонка, которая фигурировала в формулировке термодинамического парадокса Максвелла (он настолько широко известен, что напоминать его здесь нет смысла) – только без главного действующего лица – «демона». Различие этих систем состоит в том, что «демон» сортирует молекулы по энергии (скалярной величине), измеряя её и принимая решение об открытии заслонки в ту или иную сторону – в зависимости от того, откуда подлетает к ней более или менее горячая молекула, – а

заслонка, открывающаяся в одну сторону, автоматически сортирует молекулы по импульсу (величине векторной), пропуская только те из них, которые обладают достаточными импульсами, направленными в сторону открытия заслонки.

Следовательно, перепад концентраций растворённого вещества является необходимым условием одностороннего характера диффузии молекул растворителя сквозь поры перегородки и образования осмотического давления, пока и поскольку молекулы растворённого вещества свободно блуждают по объёму раствора, что имеет место при осмосе, а не локализованы в пространстве, подобно рассмотренной заслонке близ окошечка в рассмотренной перегородке.

Таким образом, если свободу перемещения молекул растворённого вещества ограничить неким внешним фактором – причём не обязательно структурным, а, например, наложением силового поля, обеспечивающего их притяжение к перегородке – то это условие перестает быть необходимым, и в такой системе осмос фактически становится транзитным, а не тупиковым: растворитель сможет циркулировать по замкнутому контуру уже без ограничений по времени, поскольку смешение находящихся по разные стороны от перегородки растворов одинаковых, в т.ч., нулевых концентраций, на состояние системы не влияет, и она станет (по В.Е.Жвирблису) «устойчиво неравновесной» системой – т.н. «кольцаром» [10]. Подобная система, требующая определённой ориентации в гравитационном поле (гравитационно-осмотический кольцар) была проанализирована вычислительными методами молекулярной динамики А.Ю.Дроздовым [11].

Однако теоретический анализ и моделирование кольцаров, у которых все элементы имеют естественное происхождение и симметричную в исходном состоянии структуру, а фактором, вносящим в неё асимметрию, является внешнее силовое поле, показали, что их энергетический выход получается крайне

малым и представляющим интерес лишь в теоретическом плане. С другой стороны, сам факт его наличия убеждает, что системный (обусловленный достоверно установленными фундаментальными законами природы) запрет на искусственное (методами нанотехнологий) создание мембранного продукта с асимметричной (в идеале односторонней) проницаемостью, заданной оптимизированной по этому критерию асимметричной структурой перегородки с включёнными в её состав молекулярными клапанами, отсутствует. В объёме, в частности, газа, он придаст хаотическому процессу его самодиффузии односторонний, как при осмосе, характер, следствием которого будет сжатие осмотической природы - ЭК, позволяющая его потоку совершать полезную работу, потребляя рассеянное тепло окружающей среды.

В описанном физическом механизме ЭК просматривается также аналогия с броуновским движением: отодвигающиеся от перегородки, при сложении необходимых условий, крупные относительно молекул растворителя молекулы растворённого вещества – аналоги броуновских частиц, приводимых в наблюдаемое в оптический микроскоп колебательное движение также сложением по законам статистики импульсов большого числа окружающих их молекул.

В связи с тем, что феномен броуновского движения признан одним из подтверждений относительности второго начала термодинамики, возможность транзитного осмоса, в котором броуновское движение играет активную роль, формальной ссылкой на его нарушение отрицать некорректно. Но в невозможности создания каких-бы то ни было «двигателей на броуновском движении», как принято считать, убеждает мысленный эксперимент «храповик – собачка», описанный в знаменитых Фейнмановских лекциях по физике [12]. Поэтому следует показать, что распространение вывода из него на ЭК – транзитный осмос – безосновательно.

А именно, в рассуждениях Р.Фейнмана, по умолчанию, предполагается, что единственный путь создания двигателя – прямой: через кинетическую энергию броуновских частиц. Однако она распределена столь микроскопическими порциями по столь огромному их числу, что проблема ее собирания и преобразования в полезный вид практически неразрешима, требуя сложных и громоздких решений, сводимых, так или иначе, к модели «храповик – собачка». В этой модели имеется и вертушка, лопасти которой моделируют поведение броуновских частиц.

Описанная система, в которой тоже имеется, по меньшей мере, одно микроскопическое тело, колеблющееся подобно броуновской частице: крупная молекула растворённого вещества, показывает, что возможен и обходной путь, при котором из двух видов тел, участвующих в броуновском движении: броуновских частиц и их молекулярного окружения – сплошной среды, используемой в качестве рабочего тела (РТ), – преобразованию в полезный вид подвергаются локальные (различные лишь изнутри) кинетические энергии флуктуирующих потоков РТ. Ключевой момент состоит здесь в том, что РТ может являться носителем и вторичного вида энергии, различного извне, – энергии давления, являющейся естественным связующим звеном для бесчисленного множества локальных кинетических энергий флуктуирующих потоков РТ, а открывающие путь потокам РТ нужного направления броуновские частицы при этом свободны.

Следовательно, такая система не может быть сведена к модели «храповик – собачка» вследствие того, что она содержит один элемент, чувствительный к хаотическим тепловым движениям молекул – относительно крупные молекулы растворённого вещества, фактически являющиеся собачками, – вертушка же отсутствует. Поэтому в ней не является необходимым условием синхронизация двух хаотических тепловых движений – лопастей вертушки и собачки, невозможность

которой и привела Р.Фейнмана к вышеуказанному пессимистическому выводу.

А.Ю.Дроздову методами молекулярной динамики удалось показать, что для проявления ЭК образование флуктуаций (группирование, по законам статистики, больших чисел молекул РТ в направленные потоки), и их взаимодействие по механизму броуновского движения с ограниченно свободными более крупными молекулами, управляющими потоками, в принципе, не обязательно – возможно создание наномембран, пронизанных нанотрубчатыми полостями с молекулярными структурами клапанного действия внутри, в которых ведущая к ЭК асимметрия потенциальных барьеров диффузии (на примере инертного газа) способна проявиться на уровне отдельных молекул РТ [13]. Приняв это к сведению, в дальнейшем изложении рассмотрим предложенный автором и представляющийся более реальным вариант, в котором образование флуктуаций и броуновское движение являются функциональными физическими механизмами.

1-я стадия МЭ: преобразование тепла в давление РТ вентильной средой (ВС)

Чтобы перейти от вышеизложенного замысла к практическому решению элемента, в котором это преобразование (ЭК) протекает – компрессионного мембранного модуля (КММ) – следует, во-первых, площадь перегородки максимально плотно заполнить окошечками с заслонками (по назначению – обратными клапанами, далее – вентилями), и, во-вторых, вместо одной перегородки последовательно поместить множество таковых. Первая мера позволяет максимизировать поток РТ, переходящего из объемов между перегородками пониженного давления РТ в объемы повышенного, а вторая – довести перепад давлений РТ, ступенчато повышающийся при таких переходах, до любого требуемого уровня. Основу КММ должен составлять, таким образом, продукт нанотехнологий – т.н. метаматериал, к которым

принято относить композиты, свойства которых обусловлены не столько свойствами составляющих их элементов, сколько искусственно созданными периодическими структурами. Метаматериалы – сформированные и особым образом структурированные среды (в данном случае, по смыслу – ВС), обладающие особыми физическими свойствами, как правило, сложнодостижимыми технологически и не встречающимися в природе. Именно таково функциональное свойство ВС – асимметричная (в идеале – односторонняя) проницаемость, которую не следует путать с анизотропной проницаемостью, свойственной, в частности, древесине, проницаемость которой вдоль волокон больше её проницаемости поперек волокон. Асимметрия же проницаемости предполагает её существенное различие вдоль одной и той же оси во встречных направлениях.

Структура идеализированного варианта ВС, в котором может быть получена теоретически предельная асимметрия её проницаемости – практически полное отсутствие таковой в обратном направлении, – изображена на рис. 2. Прототипом элементарной ячейки ВС является обратный клапан со сферическим затвором, помещенным в седло – воронкообразную полость, в которой он, отодвигаясь от седла движущимися в прямом направлении (снизу вверх) молекулами РТ, открывает им путь, или же, прижимаясь к седлу молекулами, движущимися обратно, закрывает.

Очевидно, что масштабирование обычного обратного клапана со сферическим затвором в сторону уменьшения, вплоть до его попадания в наноструктурную шкалу размеров, на каком-то этапе приведёт к тому, что затвор – далее именуемый наноглобулой (НГ) – под ударами спонтанно сгруппировавшихся молекул РТ начнёт колебаться как броуновская частица, поддерживая, по описанному физическому механизму (в котором на месте седла – окошечко, а затвора – заслонка), одностороннюю самодиффузию РТ в направлении, указанном стрелками. ВС, таким обра-

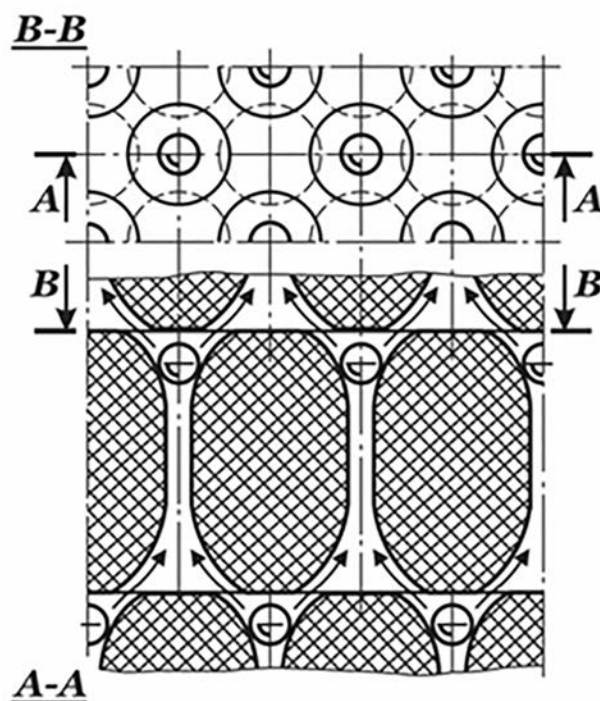


Рис. 2 Структура идеализированного варианта ВС в разрезах: сверху – продольном (выходная поверхность среднего слоя), внизу – поперечном (по смежным слоям)

зом, представляет собой плотноупакованную 3d-матрицу обратных клапанов (вентилей) со сферическими затворами масс и размеров не более таковых, при которых они в окружении молекул РТ совершают броуновское движение в заданном диапазоне температур.

В ВС под РТ целесообразно отводить относительно небольшой объем, сосредоточенный, в основном, в узких посередине и воронкообразно расширяющихся к краям наноканалах – капиллярных рабочих камерах, пронизывающих каждый слой. Заданное конечным уровнем давления РТ число слоев ВС составляет её наноканальную матрицу (НКМ). ВС, как и всякий композит, содержит не только матрицу, но и наполнитель, причем здесь он особенный: это – НГ, помещенные в расширения рабочих камер, причём только с одной стороны. Соотношение диаметров сужений капилляров и НГ задано таким, чтобы НГ обладали ограниченной свободой переме-

щения – допускающей открытие, но исключаяющей их проваливание в капилляры.

Смежные слои НКМ смещены на $0,5s$ по обеим координатам, в результате чего расширения рабочих камер предыдущего слоя находятся в промежутках между расширениями камер последующего слоя. Поскольку максимальные диаметры расширений заданы $> s/2\sin 45^\circ$, взаимное наложение слоев приводит к частичному перекрытию прилегающих расширений с образованием четырёх окон по краям каждого, через которые расширения в смежных слоях НКМ сообщаются между собой, обеспечивая последовательное соединение их рабочих камер. Расположение НГ по центру промежутков между сообщаемыми расширениями предохраняет их от выпадения и ограничивает свободу перемещения только необходимой для открывания.

Сужения рабочих камер между их расширениями вносят первый элемент организации в хаотическое движение молекул РТ, вынуждая их колебаться – благодаря многократным отражениям от стенок при столкновениях – преимущественно вдоль оси капилляров. В этом состоит первая стадия его упорядочивания – структурирование флуктуаций, подготавливающая переход ко второй стадии – селекции флуктуаций по направлениям, происходящей благодаря броуновскому движению НГ в расширениях рабочих камер. Однако это не классический случай броуновского движения – в сосуде, размеры которого много больше средней длины пробега броуновских частиц – а случай особый, требующий учета столкновений каждой броуновской частицы (НГ) со стенками сосуда (расширения рабочей камеры), ограничивающими её пробег. Активны такие флуктуирующие потоки РТ, которые, сформировавшись по стохастическим законам в сужениях рабочих камер, обеспечили бы – будучи НГ свободными броуновскими частицами – пробег, существенно превышающий его возможную длину в реальных условиях.

Такие флуктуации, выталкивая, подоб-

но поршням, оказавшиеся на их пути другие молекулы РТ и обладая импульсом, способным отодвинуть НГ от выходных расширений своего слоя, попадают в сообщаемые с ними входные расширения последующего слоя, где концентрация молекул РТ и, соответственно, его давление повышаются. Флуктуации другого направления – в сторону входного расширения своего слоя и сообщаемых с ним выходных расширений предыдущего слоя – попав в промежуток между ними, частично упруго отражаются, а их краевые части задерживаются НГ в расширениях рабочих камер предыдущего слоя. Поэтому превышение давления РТ в каждом из последующих слоёв НКМ по отношению к каждому из предыдущих её слоёв стабильно поддерживается, чем и обеспечивается ЭК.

В приведённом описании физического механизма ЭК не учитывалось, что аналогия между обычным клапаном со сферическим затвором и НГ, помещённой в расширение рабочей камеры НКМ, строго говоря, неполная: для правильной работы обратных клапанов необходимо также, чтобы исходное положение их затворов было бы определенным (втянутым в седла), для чего, как правило, используют возвратные пружины, которых здесь нет.

Однако это вовсе не значит, что в ВС отсутствуют работающие вместо них упругие силы, втягивающие НГ в расширения рабочих камер. Здесь просматривается ещё одна молекулярно-физическая аналогия: с сорбцией, в которой в качестве сорбента фигурирует НКМ, а сорбата – НГ. Согласно ей, в ВС будут проявляться и ответственные за сорбцию силы межмолекулярного притяжения – ван-дер-ваальсовы и дисперсионные [14]. Они должны поддерживать правильное – закрытое – положение НГ в НКМ, устойчивое, благодаря максимуму поверхности их контакта (по линии). Открытое положение соответствует контакту НГ с НКМ, по большей мере, в двух точках, и потому неустойчиво. Проведённые А.Ю.Дроздовым оценочные

расчёты для варианта ВС с рабочей камерой – углеродной нанотрубкой, а НГ – молекулой фуллерена (C_{60}), показали, что величина этих сил не только является достаточной, но даже может оказаться излишней [15].

Возможно также принудительное заряджение наноглобул для образования между ними и НКМ упругих сил кулоновского притяжения путём предварительной продувки через ВС газа – трибоэлектрического активирования ВС. Для этого НГ должны обладать свойством связывания статического заряда, присущего, как известно, хорошим диэлектрикам, например, фторопласту. Способ, позволяющий изготавливать фторопластовые НГ, существует [16]. Статические заряды в диэлектриках, в отличие от зарядов в электропроводных телах (каковым является НКМ на углеродной основе), как известно, не стекают на заземлённую поверхность при контакте с нею, а газ, получающий при продувке ВС заряд противоположного знака, эвакуируется. Поэтому единственные элементы ВС, получающие стабильный заряд в результате её продувки – НГ, причём, независимо от знака, кулоновские силы, возникающие между НГ и НКМ – притяжения.

Кроме того, рассмотренная выше молекулярно-физическая аналогия между ЭК и осмосом, в котором затворами, придающими диффузии растворителя односторонний характер, являются свободно блуждающие по объёму молекулы растворённого вещества, в число каковых, по законам статистики, в каждый момент входят и находящиеся в правильных (прилегающих к порам) положениях, даёт основания предполагать, что наличие заранее предопределённых сил упругого притяжения НГ к НКМ не обязательно. Анализ динамики достижения осмотическим давлением своего равновесного значения показывает, что для того, чтобы этот процесс пошёл, достаточно очень небольшой изначальной разницы диффузионных затруднений для молекул растворителя через перегородку в разные стороны. По мере же повышения полного давления в

более концентрированном растворе, эта разница только усиливается вследствие удержания им в правильных положениях всё большего числа молекул растворённого вещества (это – типичный случай самовозбуждения динамической системы). Следовательно, высоко вероятно, что и в ВС усреднённых сил избыточного давления на НГ находящихся за ними молекул РТ, сжатого, благодаря ЭК, достаточно для замены возвратных пружин в обычных обратных клапанах.

Изложенное свидетельствует, что ЭК РТ в ВС – тонкий молекулярно-физический процесс, подверженный влиянию различных факторов, но, при правильном их учёте, работоспособный.

Детальное рассмотрение возможных технологий изготовления ВС и выбора применяемых материалов на данном этапе представляется преждевременным. Можно лишь отметить, что при их разработке целесообразно принять за основу методы синтеза клатратов – надмолекулярных (супрамолекулярных) соединений, в которых частицы вещества – «гостя» (НГ) включены в полости решетки, образованной атомами другого вещества – «хозяина» (НКМ) [17].

2-я стадия МЭ: ионно-транспортное преобразование давления РТ в электроэнергию

Единственным применяемым в энергетике способом прямого преобразования энергии потока газа в электроэнергию является магнитогидродинамическая (МГД) генерация, которая для МЭ совершенно не пригодна как идущая через кинетическую энергию, определяющуюся скоростью движения газа – здесь, очевидно, весьма невысокой – и, кроме того, газ должен быть ионизирован. МГД генерация, таким образом – энергетика быстрых и горячих потоков газа, а потоки газа, обязанные существованием ЭК – относительно медленные и холодные. С другой стороны, аналогия ЭК с осмосом позволяет предположить, что давление может быть высоким

– осмотическое давление, как известно, на практике иногда даже разрывает вмещающие сосуды. Следовательно, необходим альтернативный способ генерации электричества, который шёл бы через потенциальную энергию газа, определяющуюся величиной перепада давлений в нем.

Способ генерации, представляющийся для МЭ идеальным, предлагает электрохимия, точнее – её не имеющий энергетических приложений раздел «физические электрохимические цепи». Они составлены из одинаковых по химическому составу, но разных по физическому состоянию электродов – в частности (простые газовые цепи), газовых (как правило, водородных или кислородных) разного давления. Химическими же, при отсутствии реагирующих веществ, их делает то, что ионизация в них – что характерно для химии – протекает на уровне валентных электронов, не распространяясь на более глубокие электронные слои (при их наличии). ЭДС, генерируемая простой газовой цепью, согласно известной формулы Нернста [18], равна работе, совершаемой одним молем газа при прохождении через перегородку (ионообменную мембрану – ИОМ), выполненную, в частности, из материала с протонной проводимостью (для водорода):

$$E = RT/2F \cdot \ln(P_1/P_2),$$

где: R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура, F – число Фарадея, P_1 и P_2 – давления газа до и после ИОМ соответственно.

Подстановка в эту формулу реальных числовых значений показывает, что нет оснований ожидать получения с одной ИОМ ЭДС, превышающих несколько десятков, в лучшем случае – сотен мВ, причем при относительно небольшой проницаемости ИОМ на единицу поверхности, в пересчёте на количество газа. Поэтому такой способ генерации пока применяется только в измерительной технике: на этом принципе основан датчик содержания

остаточного кислорода в выхлопных газах, без которого не обходится ни один современный автомобиль [19]. Его ИОМ представляет собой колпачок из керамики на основе диоксида циркония, которая, как известно, в нагретом состоянии обладает проводимостью по ионам кислорода. Полость колпачка через выведенную трубку сообщается с атмосферой, а его внешняя поверхность омывается выхлопными газами. На обе поверхности колпачка нанесены электроды из пористой платины, катализирующей диссоциацию и ионизацию кислорода. ЭДС образуется вследствие разности парциальных давлений кислорода внутри и снаружи и доходит до 1000 мВ при $T \geq 600$ К.

Для работы при температурах, приближающихся к нормальным, пригодна обратимая электрохимическая система, имеющая всесторонне изученный прототип – т.н. водородные интеграторы (ВИ), ранее выпускавшиеся серийно (модели Х-15 и Х-602) [20]. В качестве ИОМ в них использовалась пористая стеклянная пластина, пропитанная электролитом – 30÷38% раствором серной кислоты, с обеих сторон которой закреплены практически неполяризуемые водородные электроды, выполненные из платиновой сетки. Эта пластина является перегородкой в герметичном кольцеобразном сосуде, свободный объем которого заполнен водородом. При прохождении тока через ВИ, на электроде, находящемся под отрицательным потенциалом – катоде, происходит выделение водорода, благодаря разряду водородных ионов, содержащихся в электролите. На противоположном же электроде – аноде – происходит поглощение равного количества водорода, благодаря ионизации его молекул, адсорбированных на платине, и переходу водородных ионов (протонов) в электролит. В итоге общее количество водорода в системе и концентрация протонов в электролите остаются неизменными – но между прикатодным и прианодным пространствами образуется перепад давлений водорода, который и при-

водит к смещению столбика индикаторной жидкости. Электролит же остается на месте, удерживаемый в порах стеклянной пластины силами поверхностного натяжения. Так работает ВИ по своему прямому назначению – измерению заряда интегрированием по времени тока.

Обратимость подобных электрохимических систем проявляется в том, что если электроды отсоединить от источника тока и соединить их через внешнюю нагрузку, а перепад давлений создать искусственно, то на электродах будут протекать точно такие же процессы поглощения газа (со стороны большего давления) и выделения (со стороны меньшего давления), как при подключении внешнего источника тока – однако между электродами образуется ЭДС и через нагрузку потечет ток. При отключённой же нагрузке (в режиме ХХ) разность потенциалов электродов, пропорциональная накапливающимся зарядам, будет возрастать до равновесного значения (оно соответствует величине ЭДС), при котором, благодаря обратимости системы, её насосное действие – в частности, соответствующее работе ВИ в штатном режиме – своим тормозящим электрическим полем остановит поток ионов газа, обусловленный перепадом его давлений у электродов. Восстановить проницаемость ИОМ можно, замкнув цепь нагрузки, в результате чего тормозящая поток разность потенциалов электродов снизится.

Следовательно, в таких электрохимических системах – ионно-транспортных генераторах (ИТГ) потребитель вторичной энергии (электрической) оказывает реактивное воздействие на источник первичной энергии (давления газа), автоматически регулируя поступление второй в количестве, соответствующем потреблению первой. В этом состоит важнейшее преимущество основанной на этом принципе ионно-транспортной генерации перед электромашинной.

Когда отбор энергии от электромашинных генераторов сокращается или прекраща-

ется вовсе, то для того, чтобы сократить поступление первичной энергии – в частности, уменьшив расход сжигаемого топлива – необходимо управляющее воздействие извне. Если же оно запоздает, то это может привести не только к перерасходу ресурсов, но и к катастрофическим последствиям из-за того, что введённый в режим ХХ турбогенератор способен пойти вразнос и разрушиться. В любых же электрохимических генераторах необходимость во внешнем контуре регулирования отсутствует, поскольку даже простейший химический источник электроэнергии (например, обыкновенная батарейка) имеет контур внутренней отрицательной обратной связи, автоматически управляющий поступлением первичной энергии (например, расходом активных материалов) изменением высоты автоматически образующегося на их пути потенциального барьера. Кроме того, электромашинный генератор имеет нижнюю границу скорости вращения своего ротора, при которой он сохраняет приемлемое значение КПД, а на малых оборотах его работоспособность теряется. Напротив, в ИТГ, являющемся по принципу действия объёмным, каждая прошедшая через ИОМ молекула газа имеет инвариантный по отношению к скорости её прохождения электрический эквивалент и, соответственно, вклад в генерируемый ток нагрузки.

Что касается основного недостатка ИТГ – малости величины генерируемой ЭДС – то в живой природе имеется прецедент, когда в основе генераторов напряжения, измеряемого сотнями вольт, лежат ячейки с ЭДС, составляющей милливольты: электрические органы скатов и некоторых видов рыб. В частности, электрические органы ската *Torpedo nobiliana* состоят из нескольких сотен собранных столбиком тонких пластин, генерирующих ~ 100 мВ, которые, в свою очередь, соединены в ~ 2000 параллельных групп [21]. Следуя этому примеру, этот недостаток преодолён в подобной (биоморфной) конструкции ИТГ, содержащей несколько сотен элементарных

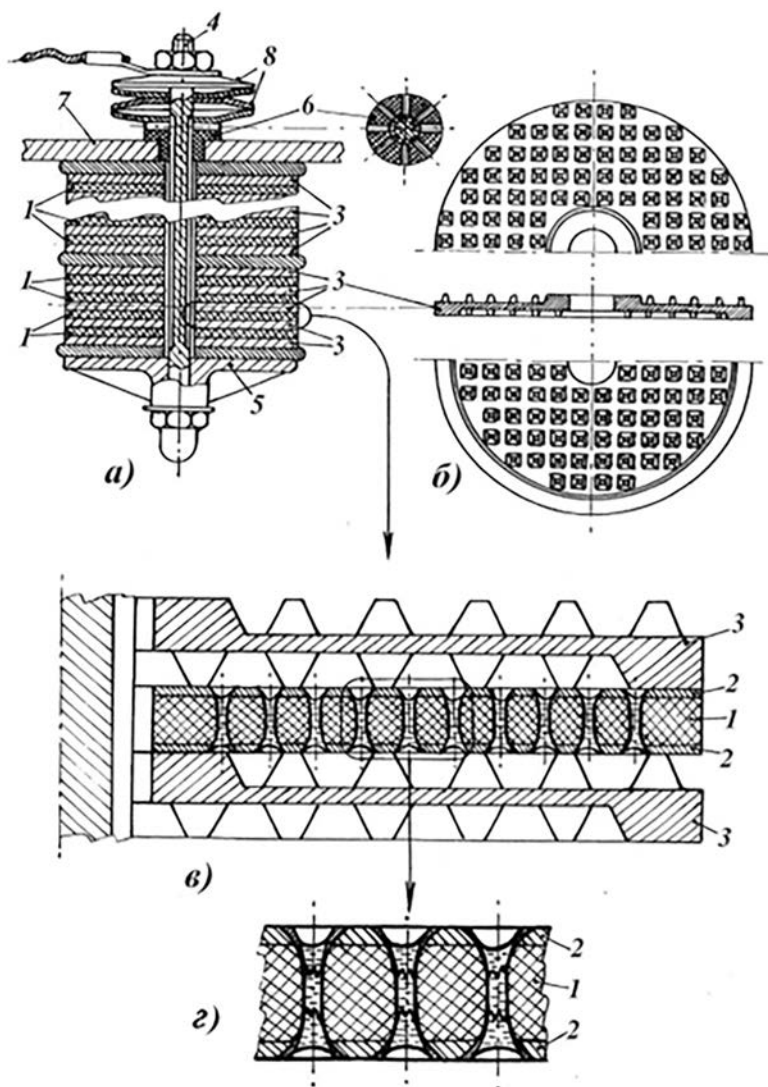


Рис. 3 Конструкция стержневого ИММ:

а) – продольный разрез, б) – увеличенная выноска биполярного электрода-сепаратора, в) – увеличенная выноска секции, г) – ещё более увеличенная выноска участка ИОМ

ионообменных ячеек (секций), построенных по принципу простых газовых цепей и соединенных по электрическому току последовательно, а по потоку газа параллельно.

Так устроен стержневой ионообменный мембранный модуль (ИММ), устанавливаемый в контуре циркуляции РТ последовательно с КММ и используемый в качестве ИТГ. В основу примера его конструкции (рис. 3) положена обращённая электрохимическая система ВИ.

Основу секций ИММ составляют ИОМ 1 в виде микроканальных пластин, покрытых, с частичным проникновением в микро-

каналы, электропроводными каталитическими слоями 2. Микроканалы заполнены электролитом – раствором H_2SO_4 , удерживаемым от вытеснения из них давлением РТ – H_2 – силами поверхностного натяжения. ИОМ в требуемом количестве стянуты в пакет, чередуясь с металлическими сепараторами 3, изолированной шпилькой 4 со шлицами, обеспечивающими проход вдоль нее потока РТ. На нижний конец шпильки 4 надета заглушка 5, замыкающая внутренний объем пакета, а верх шпильки пропущен через проходной изолятор 6 с торцевыми пазами, обеспечивающими выход потока РТ в объем низкого

давления, сквозь монтажное отверстие в перегородке 7, разделяющей объемы высокого (внизу) и низкого (вверху) давления. Сверху на шпильку 4 надеты доводимые до плоского состояния при сборке тарельчатые пружины 8, поддерживающие плотность пакета при изменениях температуры.

Металлические сепараторы 3 – bipolarные электроды, разделяющие ИОМ – имеют с обеих сторон углубленные рельефы, выполненные, например, двухсторонней фотолитографией и травлением листовой заготовки. Их назначение – обеспечение сообщения одних сторон ИОМ с внешним объемом пакета, а других – с внутренним. Для этого они имеют кольцевые зоны, свободные от рельефов – с одной стороны внешние, а с другой внутренние. Рельефы радиально проницаемы, что обеспечивает подвод РТ ко всем ИОМ извне и отвод РТ от всех ИОМ внутрь.

Поскольку сепараторы в пакете прижимаются к электропроводным слоям, покрывающим ИОМ, стянутый пакет является собой последовательную электрическую цепь, ЭДС которой – действующая между перегородкой 7 и шпилькой 4 с заглушкой 5 – равна сумме ЭДС ячеек, образующихся благодаря перепаду давлений РТ между внешним и внутренними объемами пакета, с которыми сообщаются все ячейки. Но при этом по РТ ячейки, разветвляющие его суммарный поток, текущий снаружи – из области повышенного давления (окружающей ИММ), внутрь – в область пониженного давления (окружающую шпильку 4), соединены параллельно.

Высокая теплопроводность тонких металлических сепараторов способствуют тепловому балансу процессов диссоциации/ассоциации РТ на каталитических слоях: тепло, выделяющееся при ассоциации РТ, передаётся через примыкающие к ним сепараторы на каталитические слои смежных ИОМ, на которых происходит диссоциация РТ, требующая таких же затрат энергии.

Молекулярный термоэлектрический генератор (МТЭГ)

Компактная конструкция относительно низкотемпературного МТЭГ с РТ в виде водорода, находящегося под повышенным, относительно атмосферного, давлением, изображена на рис. 4.

Её особенностью является то, что в ней стержневой ИММ конструкции, приведённой на рис. 3, помещён внутрь трубчатого КММ, для изготовления которого целесообразно использовать модифицированный, относительно приведённого на рис. 2 идеализированного, вариант ВС.

Идеализированный вариант ВС, требующий высочайших точностей взаиморасположения рабочих камер в слоях НКМ, может быть реализован в ВС плоскопараллельной конфигурации – но никак не в наиболее рациональных цилиндрических ВС, площадь смежных слоёв которых сокращается по мере приближения к центру. Проблему изготовления трубчатых КММ можно решить совместной навивкой на цилиндрическую оправку активной и пассивной лент – слоёв (собственно, НКМ), и изотропно проницаемых прослоек – буферных объёмов, стыкующих заведомо рассовмещённые по рабочим камерам активные (вентильные) слои.

Рабочие камеры в ленте слоёв можно формировать, например, перфорацией гибкой заготовки, протягиваемой в вакуумном объёме, остросфокусированным электронным лучом, управляемым по заданной программе. Для формирования расширений наноканалов пригодно, например, ионно-плазменное травление, которое при проведении в установках магнетронного типа скругляет острые края. Для изготовления ленты прослоек такая технология возможна, но нецелесообразна, поскольку регулярность расположения перфораций не требуется. Поэтому возможны и более простые технологии – например, изготовления трековых мембран.

Ленты слоев и прослоек должны иметь по краям технологические поля, необходимые

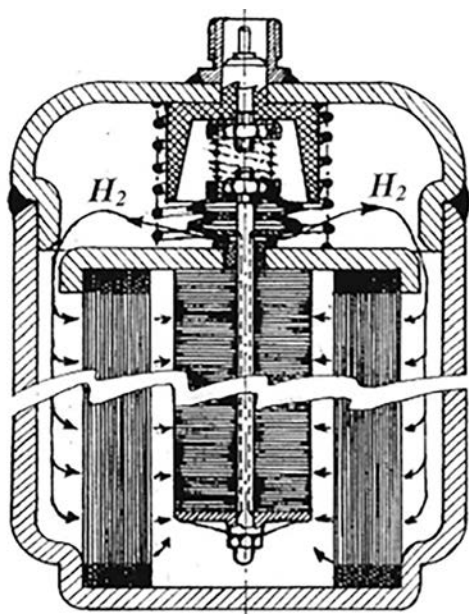


Рис. 4 Молекулярный термоэлектрический генератор

для обеспечения их натяжения при навивке. Навивку осуществляют с одновременным поливом ленты слоев суспензией НГ в технологическом растворителе, удаляя избытки плотно прижатым ракелем. В результате во все верхние при навивке (в данном случае, обращенные к центру – выпускные) расширения рабочих камер попадают НГ, далее удерживаемые там плотно прилегающей к ленте слоев лентой прослоек. При этом в нижние (обращенные от центра – впускные) расширения рабочих камер НГ не попадают. Кроме того, вентильный и изотропно проницаемый слой витого КММ могут быть сформированы и с разных сторон одной ленты – последний, например, в виде углубленного нанорельефа, в отдельных точках сохраняющего исходную поверхность между гладкими краями, исключаяющими поперечную проницаемость.

Заполненный водородом корпус МТЭГ представляет собой стакан из листового металла, составленный из двух частей: основания (внизу) и крышки (вверху), сопряженных по внутреннему и внешнему диаметрам и затем соединенных шовной сваркой. КММ запрессован своим нижним торцом в

углубление дна основания, а верхним – в отбортованную дисковую перегородку с центральным отверстием, в которое заранее был установлен стержневой ИММ.

В результате в корпусе образовался внутренний объем высокого давления, сообщающийся с внешним (окружающим МТЭГ) объемом низкого давления по боковой поверхности КММ и торцевым пазом в проходном изоляторе (поз. 6 на рис. 3), через отверстие которого пропущена шлицованная шпилька (поз. 4), стягивающая нанизанные на неё ИОМ и сепараторы ИММ.

В связи с тем, что проницаемость ИММ, как было указано выше, не остается постоянной, а зависит от электрической нагрузки МТЭГ, и при её отсутствии (в режиме ХХ) практически пропадает, мембранные процессы, положенные в основу МЭ – эндотермической компрессии и ионно-транспортной генерации – при работе МТЭГ взаимодействуют по известному принципу «ведущий – ведомый», где активная роль ведущего отведена первому. А именно, поскольку асимметрия проницаемости КММ задаёт однонаправленный характер самодиффузии водорода через него – снаружи внутрь – внешняя поверхность КММ поглощает водород, а во внутреннем объеме, где расположен ИММ, давление водорода повышается. Пройдя через ИММ и благодаря генерации электричества охладившись, более плотный водород собирается вверху радиального зазора между внешней поверхностью КММ и внутренней поверхностью корпуса МТЭГ, а далее, замыкая тороидальную траекторию, устремляется вниз, поглощая при этом – благодаря образовавшемуся градиенту температуры – тепло из окружающей среды. Для интенсификации этого процесса в нижней части корпуса МТЭГ целесообразно выполнять вертикальные гофры.

Геотермальные электростанции, ТЭЦ обращенного энергетического цикла, системы климат-контроля для эпохи гло-

бального потепления и отдалённые перспективы МЭ

Мощность генерации МТЭГ, черпающих тепло из ближайшего окружения (например, из расположенного рядом водоёма), ограничена тем, что тепло атмосферы, мирового океана и верхних слоев земной коры (с температурой ~ 300 К) низкопотенциальное и нестабильное. Поэтому ясно, что такие МТЭГ пригодны для удовлетворения малых потребностей в энергии, а надеяться на то, что они смогут внести весомый вклад и в большую энергетику, не приходится.

С другой стороны, известно, что существует практически неисчерпаемый и стабильный источник высокопотенциального тепла, находящийся буквально у нас под ногами: это – тепло глубинных слоев земной коры, температура которых повышается на ~ 3 К на каждые 100 м погружения, а в регионах с повышенной вулканической активностью – гораздо быстрее. Там и на современном уровне используется геотермальное тепло с водяным теплоносителем – один из путей ресурсосберегающей энергетики – но львиная его доля, не смотря на наличие везде (нефтяные скважины многокилометровой глубины – сегодняшняя реальность) пока недоступна.

Причина состоит в том, что принципиально невозможно создание пригодных для практического применения обычных (действующих согласно циклу Карно) тепловых машин или преобразователей энергии, у которых нагреваемые и охлаждаемые части были бы разнесены на несколько километров. Но МТЭГ, способные преобразовывать геотермальное тепло в электричество на месте (в забое глубокой скважины), способны радикально изменить ситуацию: транспортировка электроэнергии с приемлемыми потерями возможна и на гораздо большие расстояния. Существенно, что в нефтегазоносных регионах можно обойтись и без дорогостоящего бурения специальных глубоких скважин на тепло: скважины, истощившиеся по основно-

му ресурсу – углеводородному – можно эксплуатировать неограниченно долго и далее, извлекая из недр Земли ресурс практически неисчерпаемый – тепловой.

Геотермальная (точнее, петротермальная – на сухом тепле горных пород) электростанция на физических принципах МЭ должна содержать, по меньшей мере, две разнесённые скважины, в забои которых опущены МТЭГ, например, подобные приведённым на рис. 4. Для уменьшения потерь при подъёме электроэнергии по кабелям, в верхней части их корпусов целесообразно размещать инверторы с повышающими трансформаторами (по конструктивным соображениям – на тороидальных сердечниках), и передавать электроэнергию на переменном токе высокого напряжения. Отбор мощности от разнесённых МТЭГ должен осуществляться циклически: пока эксплуатируется один, активно охлаждая окружающую его породу (с целью интенсификации теплообмена, зазор между МТЭГ и стенками скважины можно заливать, например, свинцово-висмутовым сплавом), второй МТЭГ отключён. При этом ранее охлаждённая им порода вновь нагревается теплом, притекающим из его окружения, а далее происходит переключение МТЭГ.

Энергетический цикл ТЭЦ предполагает, как известно, использование в отопительных целях сбросного тепла, образующегося при производстве электроэнергии турбогенераторами, при котором вода, нагревшаяся в результате охлаждения конденсаторов паровых турбин, подается в теплотрассу, соединяющую ТЭЦ с потребителями тепла. Таким образом, в обычных ТЭЦ при производстве двух полезных продуктов – электричества и тепла – производство тепла следует за производством электричества, частично утилизируя тепловые «хвосты» первого. Но анализ значимости для человечества этих продуктов показывает, что тепло жизненно важнее электричества: на протяжении большей части своей истории – кроме новейшей – человечество без электричества более или менее успешно

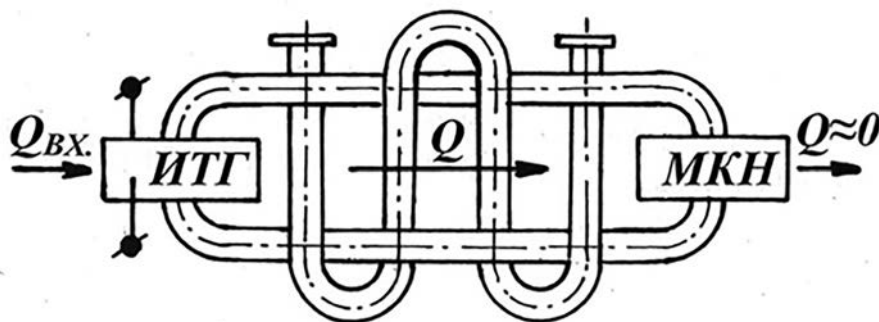


Рис. 5 Принципиальная схема ТЭЦ обращённого энергетического цикла: Q – поток первичного теплоносителя, ИТГ – ионно-транспортный генератор, МКН – молекулярно-кинетический насос, змеевик – водяной канал, кольцо – кислородный канал

обходилось, а согреваться было необходимо всегда. Следовательно, традиционный энергетический цикл ТЭЦ в этом смысле противоестественен: сырьем производства более важного продукта являются отходы производства менее важного.

Путь исправления этой ситуации средствами МЭ состоит в обращении традиционного энергетического цикла ТЭЦ, утилизируя, причем в пределе полностью (доводя до температуры окружающей среды), тепловые «хвосты» первичного теплоносителя (топочных газов) после отдачи им основной части своего тепла вторичному теплоносителю (воде). При этом исходная температура первичного теплоносителя (на входе в теплообменник со вторичным) составляет $\sim 103\text{ K}$ – т.е. такую, при которой керамика на основе ZrO_2 обладает высокой проводимостью по кислород-ионам, что является предпосылкой применения высокотемпературного кислородного ИТГ. Но для этого компактная схема МТЭГ (рис. 4) непригодна: между КММ и ИММ должен располагаться теплообменник – например, согласно схеме, приведённой на рис. 5.

Такая распределённая схема может быть реализована не только в крупных стационарных ТЭЦ, но и в небольших гибридных (сочетающих в себе топливную энергетику с молекулярной) теплоэлектрических агрегатах, относящихся к малой энергетике. Для таких применений, по-ви-

димому, сжиганию природных топлив ещё долго не будет реальной альтернативы, и потому описанный компромиссный вариант МЭ, пожалуй, весьма перспективный. Поскольку наиболее подвижны горячие ионы кислорода, которые, диффундируя быстрее других через слой ZrO_2 против сил электрического поля, первыми отдают ему энергию и охлаждаются, то возможно, что тепло, подводимое к такому ИТГ, не только создает благоприятные условия для его работы, но и, наряду с основным (внешним) фактором генерации – градиентом давления кислорода – преобразуется в электричество, внося дополнительный вклад в энергетический выход. Этот гипотетический внутренний фактор генерации требует отдельных исследований.

МЭ может кардинальным образом изменить лицо систем климат-контроля (прежде всего, бытовых кондиционеров), через радиаторы внешних блоков которых в итак перегретую окружающую среду выбрасывается тепло, причем – учитывая КПД холодильных установок – в количестве, превышающем выведенное из помещений. Если же удастся построить внутренние блоки кондиционеров на принципах МЭ, позволяющих преобразовывать тепло помещений в электричество, то станет возможным не только сократить потребление электроэнергии на бытовые нужды, но и навсегда избавиться от избытков тепла, безвозвратно отправив энергию, полученную

в результате их преобразования, в космос. Для этого достаточно заменить внешние блоки кондиционеров, отдающие тепло воздуху, установленными на крышах зданий антеннами (похожими на спутниковые «тарелки»), направленными в зенит, а электроэнергию, которую нецелесообразно аккумулировать, с помощью магнетронов преобразовывать в СВЧ-сигнал.

Если продолжать и дальше фантазировать в этом направлении, то можно прийти и к концепции терраформирования, позволяющей по-новому оценить потенциальную пригодность для жизни даже таких перегретых планет, как Венера. Развитие этой идеи лучше пока оставить фантастам, наметив такую цепочку: тепло → энергия давления РТ → постоянное напряжение → СВЧ энергия → электромагнитное излучение → космическое пространство.

Заключение

О нанотехнологиях в последние годы – в особенности, до наметившегося спада пика их популярности – было написано так много, что нет необходимости вновь перечислять сферы их приложения, в которых с ними были связаны ожидания технических прорывов. На этом фоне необъяснимым с рациональных позиций выглядит то, что, казалось бы, напрямую вытекающую из их сути сферу приложения – энергетическую – окружил какой-то иррациональный барьер, поневоле заставляющий вспомнить про «когнитивную блокаду» и «коллективную афазию».

Действительно, широко известно, что наиболее распространённая в природе первичная форма энергии – тепловая, и ей присуща энтропия – размерная физическая величина [Дж/К], ограничивающая предельный КПД её преобразования в иные виды, что нашло количественное отражение в формуле Карно, а качественное – во втором начале термодинамики. С другой стороны, не менее широко известно, что на наноструктурном

уровне организации материи – т.е. там, где работают нанотехнологии – теплота проявляется в виде безэнтропийной кинетической энергии хаотического движения мельчайших частиц вещества – электронов, атомов или молекул – на которую распространение указанных ограничений совершенно не обоснованно. Наука этого не отрицает – однако дальше голословного признания относительного характера второго начала термодинамики дело не идёт, а предложения по путям преобразования тепловой энергии с опорой на нанотехнологии игнорируются без рассмотрения по существу.

Все попытки автора обсудить предложение с потенциально заинтересованными учёными и специалистами наталкивались на вежливый отказ со ссылкой на занятость – и это при том, что замысел в своей основе так прост, что предположить, что для его понимания действительно требуется много времени, невозможно. Это наводит на мысль, что предложение на самом деле заслуживает пристального внимания, а единственный барьер – психологический (когнитивная блокада): установка на незыблемость второго начала термодинамики так прочно укоренилась в сознании, что любые сведения, дающие повод для сомнений, блокируются на входе.

Статья публикуется с целью преодоления этой ненормальной ситуации и инициирования обсуждения данного предмета по существу. Все раскрытые технические решения, являющиеся потенциально патентоспособными, автор передаёт в безвозмездное общественное пользование, оставляя за собой неимущественные авторские права, вытекающие из научной публикации.

Список литературы

1. Острейко В.Н. Теория и алгоритм расчёта бестопливного электрического генератора, родственного генераторам Тесла – Известия АЭН РФ, 2020, вып. 22, с. 13–21 – ч. 1, и 2023, вып. 27, с. 57–69 – ч. 2.

2. **Жвирблис В.Е.** Вспомним Циолковского. – Химия и жизнь, 2001, № 12, с. 65.
3. **Ощепков П.К.** Жизнь и мечта. М.: Московский рабочий, 1977 – 320с.
4. **Радченко И.В.** Молекулярная физика. – М.: Наука, 1965 – 479 с.
5. Принцип детального равновесия. Материал из Википедии [электрон. ресурс] https://ru.wikipedia.org/wiki/Принцип_детального_равновесия (дата обр. 09.09.2023).
6. **Лаврентьев О.А.** Экспериментальное доказательство возможности преобразования тепловой энергии хаотического движения частиц непосредственно в электрическую. – Препринт ХФТИ № 92-24 – Харьков, 1992 – 16 с., см. тж. электрон. ресурс <http://www.daju.narod.ru/Maxwell/LavrentyevOA.pdf> (дата обр. 09.09.2023).
7. **Дроздов А.Ю.** Синтетический демон Максвелла. – Химия и жизнь, 2001, №12, с. 62-63., см. тж. эл. ресурс <http://daju.narod.ru/Maxwell/SintMaxwDem.pdf> (дата обращения 09.09.2023).
8. **Дроздов А.Ю.** Жидкокристаллический двигатель [электрон. ресурс] <https://liquidcrystalosmos.narod.ru/liquidcrystalengine.htm> (дата обращения 09.09.2023).
9. **Дроздов А.Ю.** Жидкокристаллический осмос или о возможности нарушения принципа детального равновесия в жидкокристаллической дисклинации [электрон. ресурс] <https://nbviewer.org/github/daju1/articles/blob/master/liquidcrystalosmos/liquidcrystalosmos.ipynb> (дата обращения 22.09.2023).
10. **Жвирблис В.Е.** Феноменологическое описание и экспериментальное исследование некоторых колец. Препринт МНТЦ «ВЕНТ» № 33, М.: 1993-38 с., см. тж. электрон. ресурс: https://github.com/daju1/articles/blob/master/references/Maxwells_demon/V.E.Zhvirblis.pdf (дата обращения 06.10.2023).
11. **Дроздов А.Ю.** Гравитационно-осмотический кольцар [электрон. ресурс] <http://liquidcrystalosmos.narod.ru/gravitosmocolcar.htm> (дата обращения 09.09.2023).
12. **Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.** Фейнмановские лекции по физике. Вып.4: Кинетика. Теплота. Звук. Пер. с англ. под ред. Смородинского Я.А. Изд. 5-е. – М.: Книжный дом «Либроком», 2009 – 264 с. (с.139).
13. **Дроздов А.Ю.** Моделирование барьера диффузии инертного газа через клапан в нанотрубке. Модель нанотрубки (12.0) с клапанным затвором из цианогруппы [эл. ресурс] https://github.com/daju1/moldyn/blob/main/laboro/valve_gate_nanotube_12_0.pdf (обр. 09.09.2023).
14. Сорбция. Материал из Википедии [электрон. ресурс] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Сорбция> (дата обращения 09.09.2023).
15. **Дроздов А.Ю.** К вопросу о сорбции фуллерена конической мембраной [эл. ресурс] <https://github.com/daju1/moldyn/tree/main/conicmembrane.Fullerene> (дата обращения 09.09.2023).
16. **Бузник В.М.** Фторопласт в наноформе. Химия и жизнь, 2010, № 5, с. 6–8.
17. **Щевельков А.В.** Супрамолекулярные клатраты: от экзотических веществ к материалам нового поколения. – Соросовский образовательный журнал, т.8, №2, 2004, с.44–49.
18. **Антропов Л.И.** Теоретическая электрохимия. – М.: Высшая школа, 1969 – 512 с.
19. Лямбда-зонд. Материал из Википедии [электрон. ресурс] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Лямбда-зонд> (дата обращения 09.09.2023).
20. **Трейер В.В.** Электрохимические приборы. – М.: Советское радио, 1978 – 88 с.
21. **Юсти Э., Винзель А.** Топливные элементы. М.: Мир, 1964 – 480 с.