

УДК 658.589.011.46:639.2/3

А.В. Семенюк, В.В. Княжев\*

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,  
690600, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а

## ЭКОЛОГИЧНЫЙ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОР ДЛЯ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Описывается использование обратного электродиализа для получения энергии за счет разности химических потенциалов концентрированного и разбавленного растворов. В экспериментальной установке в качестве растворов использовались естественные жидкости: морская и пресная вода. Предлагается вариант исполнения промышленных электрогенераторов береговых предприятий рыбного хозяйства.

**Ключевые слова:** обратный электродиализ, морская вода, пресная вода, электрогенератор, концентрация, раствор, соленость, мембрана.

**Semenyuk A.V., Knyazhev V.V.** Environmentally appropriate electric generator for fishery enterprises // *Izv. TINRO*. — 2010. — Vol. 161. — P. 251–254.

Electricity generation by means of reverse electrodiolysis is described. It is based on the chemical potential drop between concentrated and diluted saline solutions. Natural solutions, as sea water and fresh water are tested in experimental installation. Industrial electric generator using this principle is designed and proposed for coast enterprises of fishery industry. Its basic element is an electrodiolysis battery — a package of alternate anion- and cation-exchange membranes placed between electrodes. Solutions with different concentration of salt are poured into the chambers between the pairs of membranes so as to alternate the chambers with high- and low-concentrated solution. The ordered motion of ions from the chambers with high concentration to the chambers with low concentration generates a potential drop between the electrodes.

**Key words:** reverse electrodiolysis, sea water, fresh water, electric generator, solution, salinity, membrane.

### Введение

Устья многих рек могут быть наиболее продуктивными участками моря для промышленного рыболовства, марикультуры или научного изучения популяций ценных пород рыбы. Береговые предприятия по переработке рыбной продукции, хозяйства марикультуры и научно-исследовательские станции испытывают потребность в электроэнергии.

С нарастанием темпа развития традиционной энергетики все больше проявляются связанные с ней негативные эффекты: тепловое, химическое, радиоактивное загрязнение окружающей среды в сочетании с быстрым уменьшением легкодоступных запасов топлива, особенно нефти, газа, высококачественного угля.

\* Семенюк Анатолий Васильевич, доктор технических наук, профессор, e-mail: [asemenyuk@msun.ru](mailto:asemenyuk@msun.ru); Княжев Валерий Викторович, аспирант, e-mail: [kvv@marine.febras.ru](mailto:kvv@marine.febras.ru).

Это определяет неослабевающее внимание исследователей к нетрадиционным источникам энергии, одним из которых является энергия градиентов солености (ЭГС) двух растворов, разделенных ионообменными мембранами.

Цель работы — представить краткую информацию о работах, которые проводятся в направлении использования экологически чистых возобновляемых источников энергии.

### Материалы и методы

Существуют проекты использования волновой энергии океана, в которых для закачивания в водосборник на берегу морской воды используется гидравлический таран. Оптимизированный вариант такого преобразователя, разработанный в Норвегии (Росс, 1981), имеет систему фокусировки волн, вынесенную в море и завершающуюся воронкообразным каналом, что позволяет заполнить резервуар на высоте 100 м. Из резервуара вода поступает на лопатки гидравлической турбины.

Предлагаемая нами схема использования энергии морских волн или приливов в окрестности устья реки отличается тем, что вместо турбины применяется реверс-электродиализный (РЭД) аппарат, преобразующий энергию градиентов солености речной и морской воды в электричество (рис. 1). Ранее одним из авторов (Кпязhev, 2008) была разработана математическая модель расчета термодинамических потенциалов водных ресурсов регионов и дана оценка энергетических возможностей прибрежных зон Приморского края.

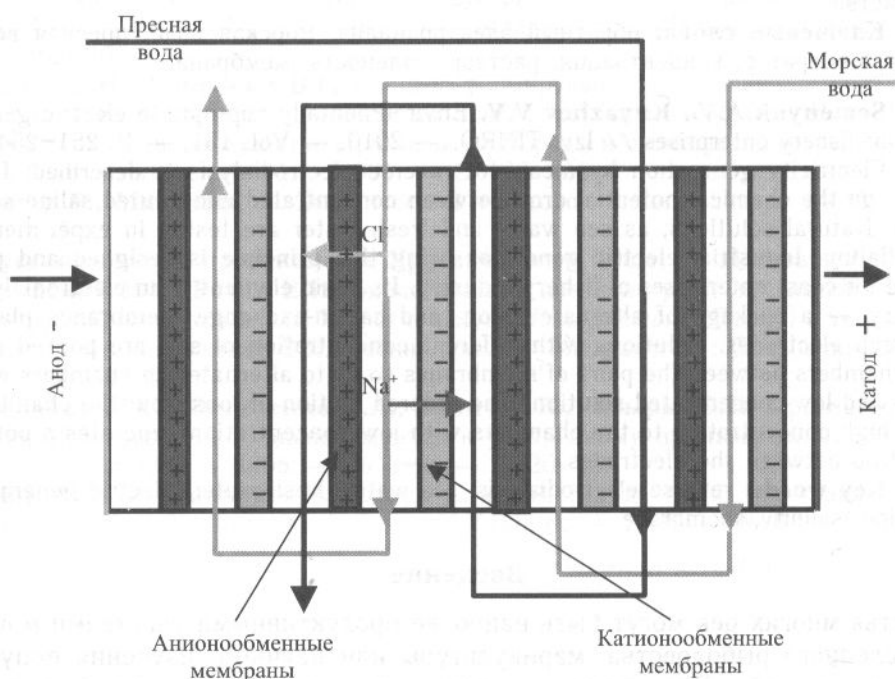


Рис. 1. Принципиальная схема обратного электродиализа (РЭД-аппарата)  
Fig. 1. Schematic circuit of reverse electro-dialysis

Преобразование энергии градиентов солености пресной воды (раствора с низкой концентрацией солей) и морской воды (раствора высокой концентрации) происходит при течении растворов в ячейках (шириной от 0,1 до 2,0 мм), ограниченных с одной стороны анионообменной, а с другой — катионообменной мембранами. Необходимый напор для создания эффективного скоростного потока обеспечивается соответствующим уровнем расположения резервуаров с пресной и морской водой, зависит от расстояния между мембранами и не превышает 10 м

водяного столба. Резервуар с речной водой заполняется скоростным напором реки или подъемом уровня воды в водохранилище за счет строительства дамбы, размеры емкостей морской и речной воды определяются требуемой мощностью электрогенератора.

Снабжение РЭД-аппарата водой возможно непосредственно центробежными насосами, навешенными на аппарат и получающими от него электропитание. Первоначальный запуск такой установки в работу производится от внешнего источника электроэнергии, а в случае его отсутствия заполнением расходных баков вручную.

Удельная масса батареи, заполненной водой, составит 50 кг/кВт, в то время как для среднеоборотного дизеля, который обычно применяется для привода генератора автономной электростанции, этот показатель равен в среднем 100 кг/кВт. Следует отметить, что удельная масса сухой РЭД-установки будет еще меньше (около 20 кг/кВт).

Морская вода, в которой растворено значительное количество разнообразных солей, представляет собой сильный электролит. Сильные электролиты как в разбавленных растворах, так и в растворах высокой концентрации содержатся только в виде ионов. Ионы солей стремятся перейти в раствор более низкой концентрации, который движется с противоположной стороны мембраны. Однако селективность мембран позволяет проходить через катионные мембраны только отрицательным (например,  $\text{Cl}^-$ ), а через анионные — положительным ионам ( $\text{Na}^+$ ). Направленное движение ионов вызывает появление электрических зарядов на мембранах: отрицательного на катионных и положительного на анионных. Чем больше таких ячеек в батарее, тем более высокое напряжение и мощность можно получить в цепи электрической нагрузки, замыкающейся на крайние электроды.

## Результаты и их обсуждение

С целью определения некоторых факторов, влияющих на эффективность прямого преобразования ЭГС в натуральных условиях, была создана экспериментальная РЭД-установка (Семенюк, Княжев, 2009). Конструктивно она представляет собой аппарат с горизонтальным расположением рабочих камер (рис. 2). В нее входят два титановых электрода, платинированных с рабочей стороны. Между электродами расположены электродные камеры для промывки электродов, пакет рабочих и поворотных рамок с турбулизаторами, образующими камеры пресной и морской воды, разделенные в чередующейся последовательности анионитовыми и катионитовыми мембранами.

В рамках и мембранах имеются пазы для прохода воды. Снизу и сверху аппарат ограничен прижимными плитами с отверстиями для монтажа трубопроводов. Стягивается аппарат при помощи шпилек. Для разделения рабочих и промывных потоков, а также изоляции электродов от прижимных плит служат распределительные плиты.

Электродиализная батарея собрана из 22 гетерогенных анионообменных мембран МА-40 и 21 гетерогенной катионообменной мембраны МК-40. Площадь одной мембраны — 0,165 м<sup>2</sup>. Мембраны разделяются полипропиленовыми рабочими и поворотными рамками толщиной 2 мм, внутри рамок находится турбулизатор из гофрированного просечного винипласта.

Камеры, образованные парой мембран и рамкой, соединяются между собой по потокам растворов последовательно или параллельно в зависимости от использования соответственно поворотной или рабочей рамки. В рамках и мембранах выполнены пазы для прохода растворов.

На основе представленного генератора можно проектировать промышленные электростанции, которые будут состоять из отдельных легко соединяемых модулей (Van den Ende, Groeman, 2007).

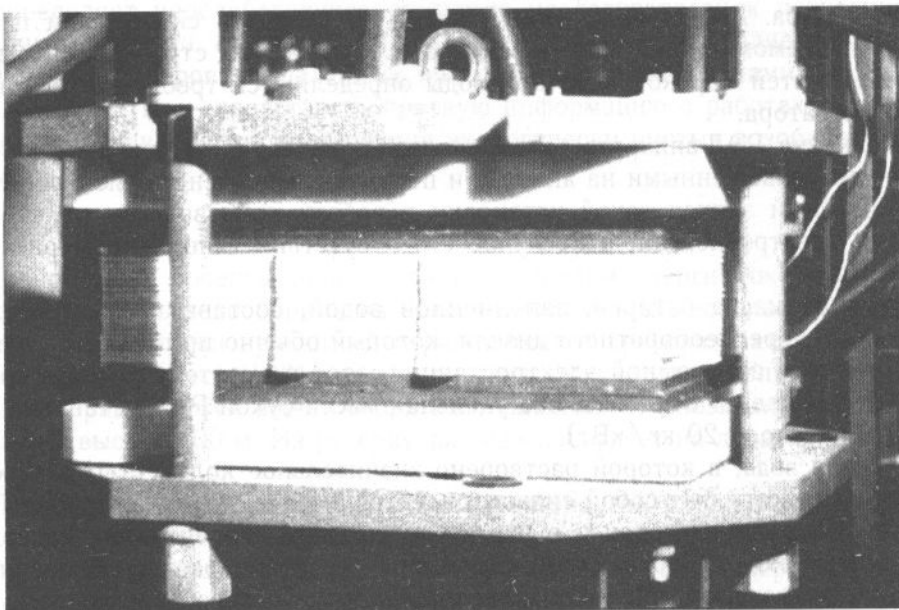


Рис. 2. Электродиализный блок в сборе  
Fig. 2. Assembled reverse electrodiolysis unit

Каждый модуль представляет собой контейнер емкостью около  $1 \text{ м}^3$ , наполненный ионообменными мембранами (более 1000 пар), образующими электродиализную батарею. Суммарное напряжение сборки составляет примерно 80...110 В. В зависимости от исполнения мембран электрическая мощность контейнера оценивается значением 50...150 кВт. С целью интеграции в существующие энергосистемы постоянный ток преобразуется в переменный с помощью электронных конвертеров, являющихся неотъемлемой частью электростанции. Энергоблоки и конвертеры будут содержать системы управления и аварийной защиты, интегрированные в общую систему.

Основные элементы РЭД-аппаратов предполагается изготавливать в основном из полимерных синтетических материалов, за исключением крайних титановых электродов, обладающих исключительной коррозионной стойкостью. Поэтому надежность и долговечность таких энергоустановок значительно выше, чем у гидравлических турбин, работающих на морской воде.

### Заключение

Проведенная работа позволяет предложить вариант промышленного генератора, основанного на экологически чистом преобразовании энергии градиентов солености морской и речной воды.

Использование такого преобразователя даст возможность экономить топливо и сокращать выбросы вредных газов, которыми сопровождается работа современных электростанций.

### Список литературы

- Росс Д. Энергия волн : монография. — Л. : Гидрометеиздат, 1981. — 112 с.
- Семенюк А.В., Княжев В.В. Экспериментальные исследования энергетической установки на основе обратного электродиализа // Мат-лы 8-й Междунар. науч.-практ. конф. "Проблемы транспорта Дальнего Востока". — Владивосток : МГУ, 2009. — С. 113–115.
- Knyazhev V.V. Salinity gradient — source of energy in the coastal zone of ocean // Proceedings of The Eighth (2008) ISOPE PACIFIC/ASIA OFFSHORE MECHANICS SYMPOSIUM (PACOMS-2008). — Bangkok, Thailand, 2008. — P. 59–63.
- Van den Ende K., Groeman F. Blue Energy. Briefing Paper. — Kema : KEMA Consulting, 2007.