

Шаньгин Евгений Сергеевич – д.т.н., профессор,  
профессор кафедры нефтегазового дела  
Нижевартовского государственного университета

[lpi1982@mail.ru](mailto:lpi1982@mail.ru), +998902533645

Акбаров Хатам Улмасалиевич – к.т.н., доцент,  
заведующий кафедрой «Технология машиностроения»  
Андижанского машиностроительного института

[lpi1982@mail.ru](mailto:lpi1982@mail.ru), +998902533645

Мирзаева Гулчехра Сотиволдиевна, старший  
преподаватель кафедры «Безопасность  
жизнедеятельности»

Ферганского политехнического института

[lpi1982@mail.ru](mailto:lpi1982@mail.ru), +998902533645

Юсупов Нуриддин Акмалжон угли,  
ассистент кафедры «Технология машиностроения»

Андижанского машиностроительного института

[nuriddin240497gmail.com](mailto:nuriddin240497gmail.com), +998999016152

## СУВНИ ТУЗСИЗЛАНТИРИШ УСУЛЛАРИНИНГ ТАХЛИЛИ

### АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОПРЕСНЕНИЯ ВОДЫ

### ANALYSIS OF WATER DESALINATION METHODS

#### АННОТАЦИЯ

*Laboratoriya namunasida o'tkazilgan eksperimental tadqiqotlar natijalari taqdim etilgan bo'lib, L. A. Yutkin effektida ishlaydigan ishlab chiqilgan tuzsizlantirish moslamasi konstruksiyasini hech qanday elektromexanik yuritgichdan foydalanmasdan amaliy qo'llash imkoniyatini ko'rsatadi.*

#### АННОТАЦИЯ

*Приведены результаты экспериментальных исследований, проведенных на лабораторном образце, показывающие возможность практического применения разработанной конструкции опреснителя, работающей на эффекте Л.А. Юткина без использования какого - либо электромеханического привода.*

#### ANNOTATION

*The results of experimental studies conducted on a laboratory sample are presented, showing the possibility of practical application of the developed desalination device design operating on the L.A. Yutkin effect without the use of any electromechanical drive.*

**Калим сўзлар:** *дистиллаш, тузлантириш, электродиализ, ультрафилтрация, музлатиш, осмос, тескариосмос.*

**Ключевые слова:** *дистилляция, опреснение, электродиализ, ультрафилтрация, вымораживание, осмос, обратный осмос.*

**Key words:** *distillation, desalination, electro dialysis, ultrafiltration freezing, osmosis, reverse osmosis.*

Республика Узбекистан и другие страны Центральной Азии обладают большими минералосырьевыми ресурсами, а пресноводных источников не имеют.

Средний показатель солёности Мирового океана составляет 35 г/кг. Кроме пищевой соли (NaCl), морская вода содержит и ряд других химических элементов, в основном в виде ионов, которые можно получать из неё в промышленных масштабах: K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, Br<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>. Всего в морских недрах обнаружено около пятидесяти химических элементов в разной концентрации, среди которых литий (Li), рубидий (Rb), фосфор (P), йод (J), железо (Fe), цинк (Zn), молибден (Mo). Концентрация каждого элемента мала, но их общая масса определяет солёность воды. Для пищи может быть пригодна вода, в которой содержится не более 0,001 г/мл солей. Для того, чтобы достичь такой концентрации, применяются различные технологии опреснения морской воды.

Попытки опреснения вод мирового океана пока не достигли необходимого масштаба. Это связано с несовершенством технологий опреснения, сложностью и дороговизной технологического оборудования. Пока технологии опреснения океанской воды до питьевого уровня хорошо работают в ограниченных масштабах, например, на подводных кораблях. Там стоимость оборудования не является определяющей и ограничивающей применение его не только для получения воды, но и для получения кислорода для дыхания и работы агрегатов. С помощью таких технологий подводные плавательные устройства могут находиться под водой более месяца. С сожалением можно констатировать, что такие уникальные технологии и технические средства не нашли применения для организации получения пресной воды в промышленных масштабах в силу их дороговизны.

Рассмотрим историю становления технологий опреснения воды в хронологическом порядке.

#### **Варианты опреснения минерализованной воды.**

Опреснение воды как научно-техническая проблема насчитывает много веков. Основой такой технологии является процесс дистилляции, которая рассматривается как разделение смеси двух веществ. Дистилляция применяется в промышленности и в лабораторной практике для разделения и рафинирования сложных веществ: разделения смесей органических веществ. Например, разделение нефти на бензин, керосин, дизельное топливо и др.; получение душистых веществ в парфюмерии; очистка этилового спирта и для получения высокочистых неорганических веществ, например, металлов: бериллия, свинца, цинка, магния, кадмия, ртути; и неметаллов: серы, селена и др.

Первые сведения о дистилляции относятся к I веку и упоминаются в работах греческих алхимиков в Александрии (Египет). В XI веке, у Авиценны, дистилляция упоминается как метод получения эфирных масел. С середины XIX века разрабатывается ректификация. Наиболее древним способом является процесс с конденсацией пара в жидкость. К нему можно отнести следующие способы:

- простая перегонка - частичное испарение жидкой смеси путём непрерывного отвода и конденсации образовавшихся паров в холодильнике. Полученный конденсат называется дистиллятом, а неиспарившаяся жидкость - кубовым остатком.

- фракционная дистилляция (или дробная перегонка) - разделение многокомпонентных жидких смесей на отличающиеся по составу части, фракции, путём сбора конденсата частями с различной летучестью, начиная с первой, обогащённой низкокипящим компонентом. Остаток жидкости обогащён высококипящим компонентом. Пример - крекинг-процесс.

- ректификация - способ дистилляции, при котором часть жидкого конденсата постоянно возвращается в куб, двигаясь навстречу пару в колонне, при этом чистота пара и конденсата повышается.

Дистилляция воды - перегонка жидкости, включающая процесс испарения с

последующим охлаждением, в результате которого пары конденсируются и выпадают в виде капель. В качестве простого и наглядного примера можно привести закипание чайника, в процессе которого вода превращается в пар и затем вновь оседает в жидком виде на остывшую поверхность. При таком испарении жидкость отделяется от нелетучих твёрдых веществ (посторонних частиц, солей, микроорганизмов), и это делает дистилляцию воды эффективным способом её очистки от примесей. В результате выпаривания получают дистиллированную воду (или так называемый аквадистиллят), обладающую определёнными свойствами. Такая жидкость на 99% очищена от примесей, в том числе от минеральных солей, микроорганизмов, органических включений. При этом она хорошо растворяет любые вещества, не вступая с ними в реакцию и не влияя на их свойства.

Несмотря на то, что дистиллированная вода фактически пригодна для питья, её не рекомендуется употреблять на протяжении длительного времени. Учитывая, что такая вода практически стерильна, она не содержит жизненно важных для человеческого организма химических элементов. Кроме того, полностью очищенная питьевая вода обладает не самым приятным вкусом.

Дистилляционные установки включают в себя испарители, нагревательные элементы, конденсаторы и сборники дистиллята. Сам процесс испарения может быть, как одно-, так и многоступенчатым. При этом из первичного пара получается до 90% пресной воды за одну ступень. В установках с многоступенчатым опреснением, когда не вскипевшая вода перетекает из одной камеры в другую, и так до 50-60 раз, выход воды увеличивается в 15-20 раз. Однако такие системы гораздо сложнее в работе из-за существенной концентрации солевого раствора на последних этапах и порчи оборудования из-за отложения солей на трубопроводах.

Недостатки дистилляции воды - достаточно дорогой, энергоёмкий и трудоёмкий процесс.

В число существующих способов дистилляции воды можно включить вакуумную перегонку - дистиллирование в вакууме с давлением намного ниже атмосферного, которое создают специальные вакуумные насосы и регуляторы. Кроме того, можно упомянуть опреснение воды с применением искусственного замораживания. Такая технология основана на отъёме тепла при кипении воды в вакууме ниже точки её замерзания. При впрыскивании солёной воды тепло, затрачиваемое на испарение воды, отнимается от неиспарившейся её части. Вследствие этого вода замерзает, образуя суспензию кристаллов пресного льда в рассоле.

Кроме рассмотренной технологии опреснения воды с использованием дистилляции учёными разработаны и другие способы.

#### **Химический способ**

В воду вводят реагенты, которые связывают ионы солей и способствуют их выпадению в осадок. В качестве реагентов используются соли серебра и бария, причём их нужно до 5% от общего количества опресняемой воды. Реакция проходит с выделением ядовитых веществ, поэтому этот метод практически не используется.

#### **Электролиз**

В ванну с рассолом устанавливают два электрода в виде электрохимических активных диафрагм (с пластмассовым или резиновым корпусом и наполнителем из смол), после чего пропускают постоянный ток. Проходит химическая реакция с выделением в атмосферу хлора и кислорода. Вода скапливается в промежуточных камерах и отводится, а соляной раствор остаётся в ёмкости.

Такой метод ещё называют ионообменным опреснением: он применяется там, где солёность морской воды изначально невысока. Также он часто используется для мобильных установок на рыболовецких судах, траулерах.

#### **Ультрафильтрация (обратный осмос)**

В этом случае солевой раствор подают под давлением через мембрану, которая проницаема для воды, но непроницаема для соли. Такие мембраны создают из ацетицеллюлозного волокна и пропитывают перхлоратом магния, что позволяет увеличить водопроницаемость.

Поскольку давление значительное, до  $150 \text{ кгс/см}^2$ , мембраны дополняются пористыми бронзовыми плитами. Управление процессом возможно в автоматическом и полуавтоматическом режиме, при этом главное здесь — контроль стабильного давления подачи воды. Выход пресной воды из соленой — до 70%.

#### Вымораживание в природе

В природных условиях лёд, покрывающий океаны и моря, — пресный. Искусственно проводят медленное замораживание, что позволяет получать лёд с игольчатой кристаллической структурой. Рассол при этом оседает и не попадает в толщу льда. Полученный лёд растаивают, что позволяет получить воду с солёностью не выше 500-1000 мг/л. Для замораживания используют кристаллизаторы (контактные, вакуумные, с теплообменом через стенку), где обеспечивается контакт воды с газообразным или жидким хладагентом.

#### Технологии, активно используемые в странах-лидерах по опреснению

Лидером в этой отрасли считается Израиль, где расположены крупнейшие заводы по опреснению, обеспечивающие более 15% потребности в питьевой воде, и более 50% — в технической. Один из самых крупных местных заводов производит забор воды из Средиземного моря и фильтрует её посредством специальных мембран. Далее осуществляется перегонка, после чего чистая вода поступает в хранилища, а соляной раствор сбрасывается в море.

А французские заводы используют несколько другие способы опреснения воды: большинство установок работают на принципе обратного осмоса. Популярной в промышленных масштабах стоит назвать и технологию выпаривания.

Наиболее технологически проработанным и применяемым в промышленных масштабах является способ опреснения морской воды с использованием эффекта обратного осмоса (рис. 1).

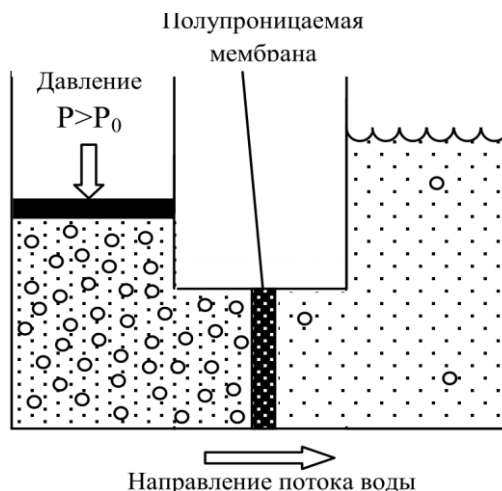


Рис. 1 Схема обратного осмоса

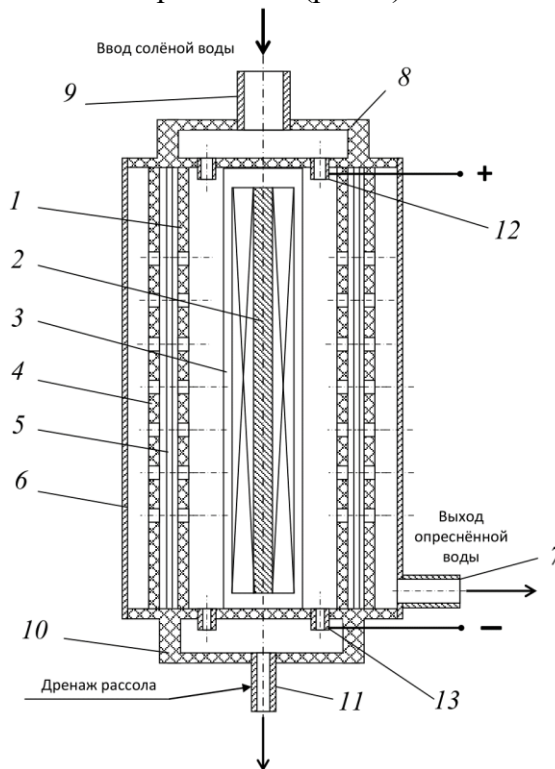
Для получения эффекта прямого осмоса необходима только полупроницаемая мембрана между двумя отсеками резервуара, в одном отсеке находится солёная вода, а во втором — пресная. Процесс осмоса начинается сам собой, без вмешательства внешних сил. Пресная вода через полупроницаемую мембрану поступает в отсек с солёной водой до тех пор, пока солёность в обоих отсеках не сравняется.

При организации обратного осмоса необходимо применение давления, подаваемого в отсек с солёной водой (рис. 1). Повышенное давление необходимо для проталкивания воды через поры мембраны в отсек с пресной водой. Размеры пор мембраны достаточны для прохождения молекул воды, но не достаточны для прохождения соли. Ахиллесовой пятой обратного осмоса является то самое давление, которое необходимо для осуществления обратного осмоса. В зависимости от требуемой

производительности опреснителя давление может подбираться в диапазоне от 5 до 100 кг/см<sup>2</sup>.

Для создания необходимого давления могут использоваться различные методы, кроме традиционных насосных.

Магнетогидродинамический опреснитель (рис. 2).



**Рис. 2** Схема установки обратного осмоса с внутренним источником вращающегося магнитного поля

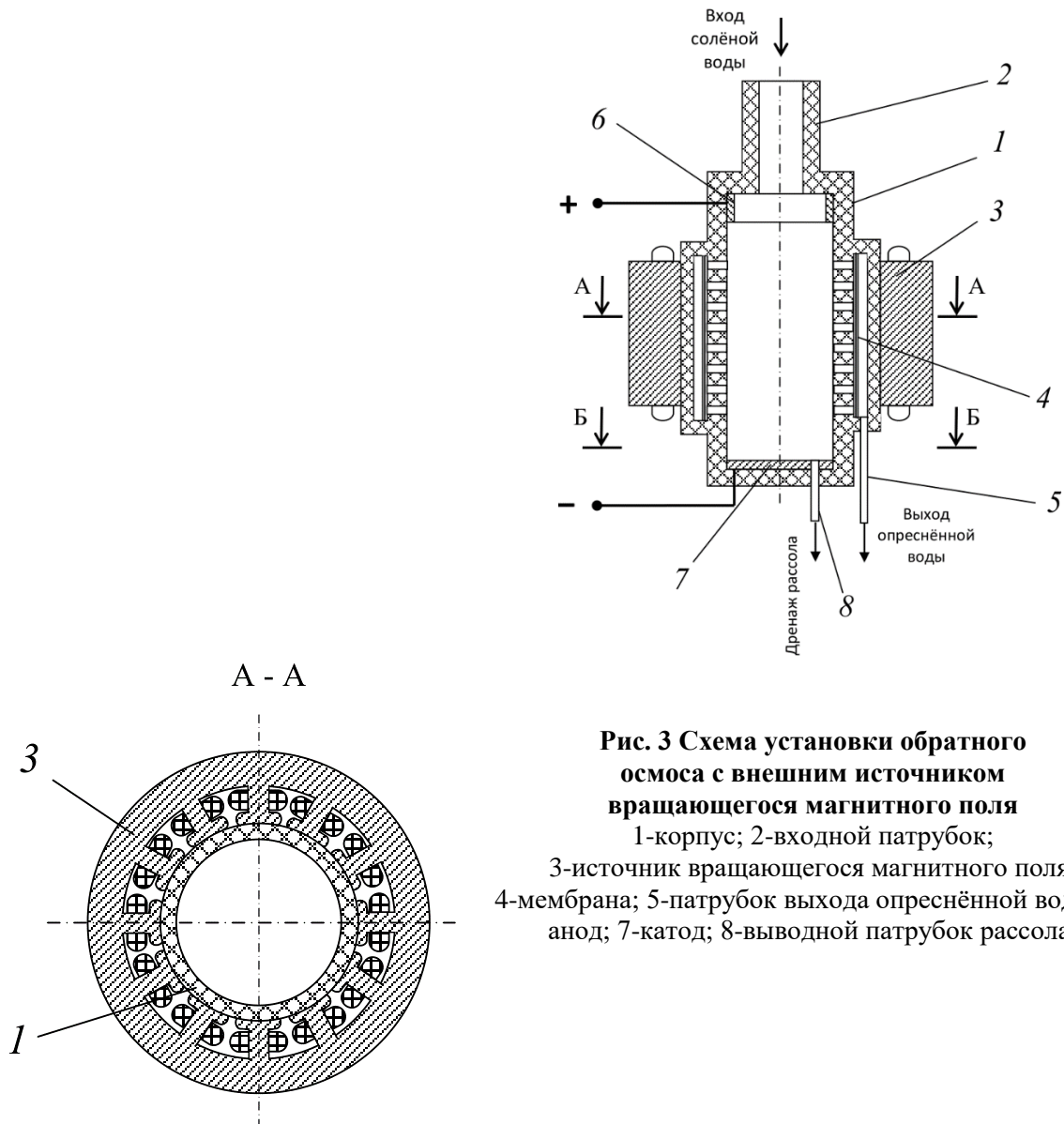
1-корпус; 2-источник вращающегося магнитного поля; 3-герметичный корпус; 4-цилиндр; 5-мембрана; 6-внешний корпус; 7-выходной патрубок; 8-входная камера; 9-входной патрубок солёной воды; 10-камера для удаления рассола; 11-патрубок для удаления рассола; 12-положительный электрод; 13 отрицательный электрод

Представленная конструкция не содержит движущихся деталей, необходимое давление для обеспечения обратного осмоса получается путём создания центробежной силы вращающейся солёной воды, увлекаемой вращающимся магнитным полем. Давление солёной воды на мембрану 5 создаётся центробежной силой, её величина описывается критерием Фруда:  $K_{Fr} = \frac{F_{ц}}{g}$ ,

где  $F_{ц}$  – величина центробежной силы:  $F_{ц} = \frac{m \cdot v^2}{r}$  ( $r$  – радиус вращения воды).

$g$  – ускорение свободного падения,

Для упрощения конструкции установки обратного осмоса разработана схема с внешним источником вращающегося магнитного поля (рис. 3).



**Рис. 3** Схема установки обратного осмоса с внешним источником вращающегося магнитного поля

1-корпус; 2-входной патрубков;  
3-источник вращающегося магнитного поля;  
4-мембрана; 5-патрубок выхода опреснённой воды; 6-анод; 7-катод; 8-выводной патрубков рассола;

Магнитогидродинамический насос работает следующим образом [5].

Через патрубок 2 в камеру 1 заливают солёную воду, из которой следует удалить лишнюю соль. После этого подают постоянное напряжение на электроды 6 и 7. При подаче постоянного напряжения на электроды в жидкости, представляющей раствор солей, кислот и т.д., происходит диссоциация солей на ионы (как правило, хлорида натрия  $\text{NaCl}$ ). Под действием напряженности электрического поля, отрицательно заряженные анионы хлора  $\text{Cl}^-$  двигаются в сторону положительно заряженного электрода 6 (анода), а положительно заряженные катионы натрия  $\text{Na}^+$  в сторону отрицательно заряженного электрода 7 (катода). Подвижность анионов хлора выше, чем катионов натрия, поэтому для дальнейшего описания принципа работы рассмотрим только анионы хлора. После этого включают источник вращающегося магнитного поля 3. При движении анионов хлора к положительно заряженному электроду 6 (аноду) на анионы действует сила Лоренца, направленная перпендикулярно линиям магнитного поля, создаваемого источником 3. Под воздействием силы Лоренца траектория движения анионов хлора изменяется, и они движутся вслед за вращающимся магнитным полем, увлекая за собой жидкость, заполняющую полость камеры 1.

В качестве источника высокого давления применена центробежная сила,

возникающая при воздействии вращающегося магнитного поля на воду, через которую пропускают постоянный ток в продольном направлении.

Это приводит к вращению жидкости вокруг оси камеры 1, при этом возникает центробежная сила, которая повышает давление воды у стенки корпуса 1. По патрубку 2 вода под давлением поступает в полость корпуса 1. Это давление нужно для проталкивания молекул воды через поры плёнки мембраны 4, не превышающие размер 0,0001 мкм. Прошедшая через мембрану 4 вода удаляется через патрубок 5, а насыщенный отфильтрованной солью рассол удаляется через патрубок 8.

Создание экономичной опреснительной установки может быть основано на иных физических принципах. Одним из наиболее эффективных методов опреснения скважинной воды может быть устройство с использованием эффекта Юткина.

Первооткрывателем механизма этого явления по праву считается советский ученый Лев Александрович Юткин, который впервые сформулировал и обозначил новый способ трансформации электроэнергии в механическую как электрогидравлический эффект (ЭГЭ) в 1933 году. Сущность этого эффекта состоит в том, что при прохождении электроразряда высокого напряжения через жидкость в открытом или закрытом сосуде, некоторый объём этой жидкости, находящийся в межэлектродном пространстве, мгновенно вскипает, в результате чего в сосуде образуется газожидкостная смесь. При расширении образовавшегося газа в сосуде возникают высокие и сверхвысокие избыточные гидравлические давления, способные совершать полезную механическую работу (так, если в закрытом сосуде установлен подвижный поршень, то можно получить его, практически мгновенное, перемещение - рабочий ход). После прекращения действия избыточного давления происходит конденсация (релаксация) ранее образовавшихся паров жидкости (в этот момент, в закрытом сосуде, подвижный поршень совершит обратный ход).

Результатом электроразряда в толще воды, интересующим создателей способа опреснения солёной скважинной воды, является устройство опреснителя без движущихся частей.

Устройство электрогидравлического опреснителя солёной воды - это не обычная электропаровая машина, это - открытая энергетическая система, по сути тепловой насос с использованием огромной энергии внешней и внутренней среды. Внутренняя энергия вещества содержится в самой структуре - состоянии водяного пара, в его межмолекулярных связях и атомах, и она - эта внутренняя энергия пара как нелинейной системы эффективно и циклично высвобождается посредством ЭГД- разряда и последующего взрыва пара с использования скрытой энергии межмолекулярных и внутримолекулярных связей водяного пара. Причём, эта скрытая внутренняя энергия водяного пара высвобождается поэтапно и именно в результате такого необычного мощного воздействия на нелинейную энергосистему путём электрогидравлического взрыва пара и превращения его в водородосодержащий газ, который сгорает вследствие наличия электрической искры. Этот процесс перевода пара в газообразное  $H_2$ -топливо можно использовать эффективно и в теплоэнергетике.

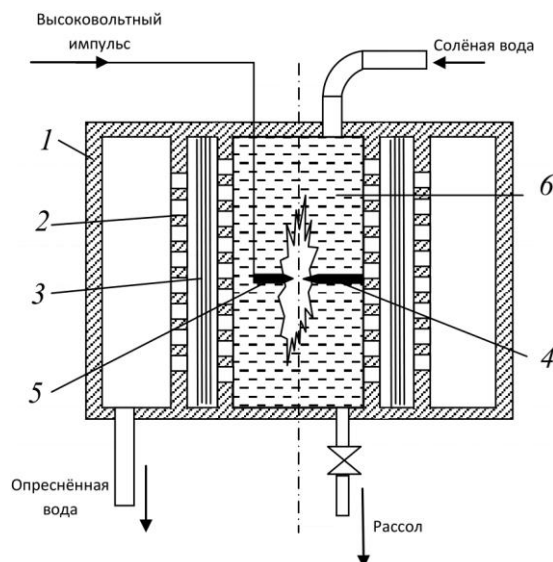
На рис. 4 приведена схема устройства, использующего эффект Юткина для опреснения продукции скважины без применения механических насосов [1, 2].

Опреснитель действует следующим образом.

Через входной патрубок в разрядную камеру 6 подаётся вода, подвергающаяся опреснению. После заполнения камеры 6 водой на электрод 5 подаётся высоковольтное напряжение, вызывающее электрический разряд между электродами 4 и 5. Давление в камере 6 возрастает, что позволяет продавить порцию воды через поры фильтровальной плёнки 3. Соль остаётся в разрядной камере и удаляется в виде

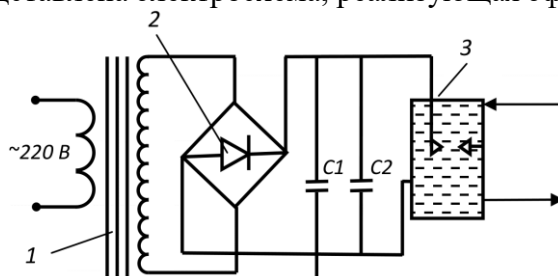
рассола. Опреснённая вода накапливается во внешней камере корпуса 1 и удаляется через выпускной патрубок.

Одной из практических ценностей и преимуществ данного эффекта является, его стопроцентная повторяемость и простота реализации.



**Рис. 4 Общая схема опреснителя воды на основе эффекта Юткина**  
1-корпус опреснителя; 2-перфорированная камера; 3-фильтровальная плёнка;  
4-«нулевой» электрод; 5-высоковольтный электрод; 6-разрядная камера

На рисунке 5 представлена электросхема, реализующая эффект Юткина.



**Рис. 5 Электросхема возбуждения электрогидравлического эффекта с конденсаторной батареей**

1-повышающий трансформатор; 2-диодный выпрямитель; 3-разрядная камера

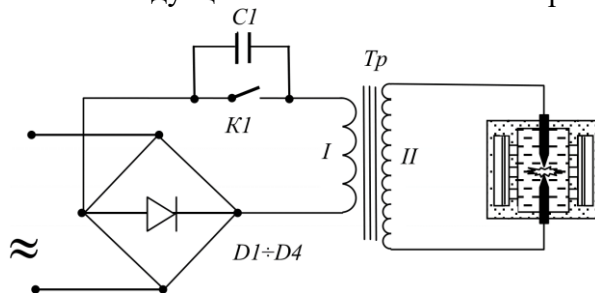
При проявлении электрогидравлического эффекта происходит мгновенное (10100 мкс) выделение энергии, накопленной в конденсаторной батарее ( $C1$ ,  $C2$  - рис. 5), посредством импульсного разряда в жидкости, помещённой в камеру 3. При разряде образуется плазменный канал с температурой 15:30 тыс. град.  $K$ . В канале, имеющем небольшое поперечное сечение, происходит интенсивный локальный разогрев жидкости. При этом в нём концентрируется энергия перегретого ионизированного пара и газа. Быстрое расширение канала разряда в виде парогазовой полости (пузыря) под действием внутреннего давления создаёт в окружающей несжимаемой среде, какой можно считать жидкость, волны сжатия и импульсы давления. При интенсивном выделении энергии в канале скорость его расширения может превзойти скорость звука в жидкости, тогда волна сжатия превращается в ударную волну. Расширение полости продолжается до тех пор, пока давление в ней из-за инерции расходящегося потока жидкости не станет меньше давления внешней среды. В момент расширения газовой



полости происходит вытеснение части жидкости через перфорации камеры 2 и плёнку 3 (рис. 4). С этого момента происходит обратное движение жидкости, полость захлопывается, давление газа в ней падает. В камере возникает разрежение, которое заполняется через впускной клапан (не показан) жидкостью из внешней среды. Так происходит перемещение жидкости из разрядной камеры 6 (рис. 4) через поры плёнки 3, т.е. отделение соли от воды.

Параметры конкретного устройства, реализующего электрогидравлический эффект, зависят от комплекса условий осуществления его в реальной среде. К ним можно отнести: состав жидкости, давление воды, проводимость среды, температуру и т.д. Основными параметрами электрического разряда при этом являются мощность разряда, напряжение, длительность импульса. На основе практических исследований определен рабочий диапазон этих параметров, основным из которых остаётся напряжение между электродами - от 40 до 70 кВ. Мощность разряда регулируется электрической ёмкостью батареи конденсаторов  $C1$  и  $C2$  (рис. 5), величина которой подбирается от 4 до 20 мкФ с рабочим напряжением 50:75 кВ. Частота следования импульсов разряда лежит в диапазоне 10:100 Гц.

С целью упрощения конструкции предложена схема генерации высоковольтного разряда в жидкости на основе индукционного накопления энергии (рис. 6).



**Рис. 6** Электросхема возбуждения электрогидравлического эффекта с индукционным накоплением энергии

Повышающий трансформатор  $TP$  имеет две обмотки: обмотка  $I$  -низковольтная, обмотка  $II$  - высоковольтная. На обмотку  $I$  подают постоянный ток от выпрямителя  $D1+D4$ . Замыкая и размыкая ключ  $K1$  на обмотку  $I$  подают импульсное униполярное напряжение, которое возбуждает в обмотке  $I$  импульс тока, индукционно возбуждающий в обмотке  $II$  высоковольтное напряжение, вызывающее в разряднике разряд, повышающий давление в камере. Конденсатор  $C1$  защищает рабочие контакты ключа  $K1$  от электроэрозии.

В отличие от схемы с конденсаторным накопителем (рис. 5) схема на рис. 6 обладает большим быстродействием, поскольку не нуждается в накоплении энергии конденсаторной батареей, следовательно, может работать с большей частотой разряда и более высокой производительностью. Такая схема работает так же, как система зажигания в автомобильных двигателях с частотой следования разряда не менее 15 кГц.

Преимущество описанного способа опреснения жидкости состоит в том, что:

1. Возможность стабильной работы опреснителя без использования какого-либо электромеханического привода, что исключает мощностные затраты, связанные с приведением в движение привода насоса, и повышает КПД работы;
2. Возможность гибко управлять работой опреснителя с помощью электронного пульта управления, что улучшает процесс контроля мощности разряда в камере, повышая эффективность работы в целом;
3. Применение эффекта Юткина позволяет значительно снизить металлоёмкость

конструкции и стоимость процесса опреснения воды, а также упростить её техническое обслуживание.

Таким образом, описанные результаты экспериментальных исследований, проведенных на лабораторном образце ЭГЭ, показали:

- возможность практического применения разработанной конструкции опреснителя, работающей на эффекте Л.А. Юткина без использования какого-либо электромеханического привода;

- возможность создания больших избыточных давлений ( $>1000$  МПа) по сравнению с серийно выпускаемыми насосами ( $< 100$  МПа);

- возможность плавной (грубой и тонкой) регулировки создаваемых избыточных давлений жидкости в рабочей камере с пульта управления, что способствует оптимизации режима и повышению КПД процесса опреснения;

- способность работать как от электрической сети, так и при генерации электрического тока аккумулятором или генератором (приводимым в движение от ДВС);

- простота в эксплуатации и обслуживании (за счёт простой конструкции, что снижает стоимость применения);

- экологическая чистота (потребляет только электрическую энергию).

В целом, применение электрогидравлического эффекта в качестве опреснителя скважинной жидкости вместо насосной установки позволит на 40-50% снизить себестоимость опреснения воды и существенно уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду [3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект. М.; Л.: Машгиз, 1955, 52 с.
2. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л.: Машиностроение, ленингр. отд., 1986, 253 с. ил.
3. Дунаев, В.Ф. Экономика предприятий нефтяной и газовой промышленности/ В.Ф. Дунаев, В.Л. Шпаков. Н.П. Епифанова, В.Н. Лындин. - М.: Изд-во "нефть и газ" РГУ нефти и газа им. Губкина. 2006 г, 352 с.
4. Канке В.А. Философия. Исторический и систематический курс. - М.: Изд-во - книготорговый дом «Логос», 2002.
5. Курбасов А.С. Магнитогидродинамический насос / Патент RU № 2363088, кл. H20K44/02-2009.