

**Для цитирования:** Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Челушкина Т.А., Магомедова П.А., Гасанова С.Г. Энергоэффективный опреснитель. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (3):61-71. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-61-71

**For citation:** Ismailov T.A., Gadjiev Kh.M., Gasanova S.G., P.A. Magomedova, Chelushkina T.A. Energy efficient desalinator. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (3):61-71. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-61-71

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.362

DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-3-61-71

### ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ОПРЕСНИТЕЛЬ

Исмаилов Т.А.<sup>1</sup>, Гаджиев Х.М.<sup>2</sup>, Давыдова К.М.<sup>4</sup>, Магомедова П.А.<sup>5</sup>, Челушкина Т.А.<sup>3</sup>

<sup>1-5</sup> Дагестанский государственный технический университет,

<sup>1-5</sup> 367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, д.70, Россия,

<sup>1</sup> e-mail: dstu@dstu.ru, <sup>2</sup> e-mail: gadjiev.xad@mail.ru, <sup>3</sup> e-mail: chelushkina@yandex.ru, ,

<sup>4</sup> e-mail: whitenoise@mail.ru, <sup>5</sup> e-mail: magomedova@mail.ru

**Резюме. Цель.** Целью исследования является разработка конструкции тонкопленочного полупроводникового термоэлектрического теплового насоса цилиндрической формы для опреснения морской воды. **Метод.** Для повышения эффективности опреснительной установки разработан специальный тонкопленочный полупроводниковый термоэлектрический тепловой насос цилиндрической формы. Конструкция тонкопленочного полупроводникового термоэлектрического теплового насоса цилиндрической формы позволяет за счет изменения геометрических размеров опреснителя выравнивать скорости потоков поступающей морской воды, вытекающей пресной воды и рассола. Площадь поперечного сечения трубопровода для поступающей морской воды равна суммарной площади вытекающей пресной воды и рассола. **Результат.** Применение тонкопленочных полупроводниковых ветвей р- и n-типа в термомодуле практически уменьшает их электрическое сопротивление до нуля и полностью устраняет паразитные выделения тепла Джоуля. При этом термоэлектрический эффект Пельтье по нагреву и охлаждению полностью сохраняется, доводя коэффициент полезного действия теплового насоса практически до 100%, что улучшает энергосберегающие характеристики опреснителя в целом. Для дальнейшего повышения эффективности работы разработанного опреснителя рекомендуется в качестве термоэлектрических устройств использовать термоэлектрические модули с излучением. **Вывод.** За счет создания высокой степени разреженности при меньших энергетических затратах получены условия, при которых вода будет превращаться в пар, который при 20°С будет холодным, и сконденсированная дистиллированная вода будет также холодной. В этом случае энергия на нагрев и охлаждение не тратится, а дезинфекцию можно осуществить также ультрафиолетовым излучением, используемым на термоэлектрических устройствах, у которых с одной стороны, генерируется электромагнитное ультрафиолетовое излучение, а с другой стороны - охлаждение. Такие устройства работают в оптимальном режиме без тепловыделений. Опреснительная установка может быть использована для получения пресной воды и концентрированных растворов из любых водных растворов, а также переработки сточных вод промышленных предприятий. Конструкционные материалы опреснительной установки являются экологически безопасными.

**Ключевые слова:** тонкопленочный полупроводниковый термоэлектрический тепловой насос цилиндрической формы, опреснение, ультрафиолетовое излучение, морская вода, дезинфекция

TECHNICAL SCIENCE  
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

ENERGY EFFICIENT DESALINATOR

Tagir A. Ismailov<sup>1</sup>, Khadzhimurat M. Gajiyev<sup>2</sup>, Kistaman M. Davidova<sup>4</sup>,  
Patimat A. Magomedova<sup>5</sup>, Tatyana A. Chelushkina<sup>3</sup>

<sup>1-5</sup>Daghestan State Technical University,

70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367026, Russia,

<sup>1</sup>e-mail: dstu@dstu.ru, <sup>2</sup>e-mail: gadjiev.xad@mail.ru, <sup>3</sup>e-mail: cheluschkina@yandex.ru,

<sup>4</sup>e-mail: whitenoise@mail.ru, <sup>5</sup>e-mail: magomedova@mail.ru

**Abstract Objectives.** The aim of the research is to develop a thin-film semiconductor thermoelectric heat pump of cylindrical shape for the desalination of sea water. **Methods.** To improve the efficiency of the desalination device, a special thin-film semiconductor thermoelectric heat pump of cylindrical shape is developed. The construction of the thin-film semiconductor thermoelectric heat pump allows the flow rates of incoming sea water and outflowing fresh water and brine to be equalised by changing the geometric dimensions of the desalinator. The cross-sectional area of the pipeline for incoming sea water is equal to the total area of outflowing fresh water and brine. **Results.** The use of thin-film semiconductor p- and n-type branches in a thermo-module reduces their electrical resistance virtually to zero and completely eliminates Joule's parasitic heat release. The Peltier thermoelectric effect on heating and cooling is completely preserved, bringing the efficiency of the heat pump to almost 100%, improving the energy-saving characteristics of the desalinator as a whole. To further increase the efficiency of the proposed desalinator, thermoelectric modules with radiation can be used as thermoelectric devices. **Conclusion.** As a consequence of the creation of conditions of high rarefaction under which water will be converted to steam, which, at 20° C, is cold (as is the condensed distilled water), energy costs can be reduced. In this case, the energy for heating and cooling is not wasted; moreover, sterilisation is also achieved using the ultraviolet radiation used in the thermoelectric devices, which, on the one hand, generate electromagnetic ultraviolet radiation, and, on the other, cooling. Such devices operate in optimal mode without heat release. The desalination device can be used to produce fresh water and concentrated solutions from any aqueous solutions, including wastewater from industrial enterprises. The construction materials of the desalination device are environmentally friendly.

**Keywords:** thin-film semiconductor thermoelectric heat pump of cylindrical shape, desalination, ultraviolet radiation, sea water, disinfection

**Введение.** Развитие человечества сопровождается неуклонным ростом населения. Это происходит в условиях ограниченных ресурсов на планете.

Одним из важнейших ресурсов в настоящее время является пресная вода, которая становится дороже нефти и нефтепродуктов из нее. В ближайшее время можно ожидать конфликты из-за того, что водные ресурсы вызывают интерес у нескольких граничащих государств.

Например, проблема озера Байкал, представляющее пятую часть запасов пресной воды, обострилась при попытке Монголии построить гидроэлектростанцию на реке и ограничить водный сброс рек в Байкал, что приведет к неизменному падению уровня Байкала и нарушению экосистемы в целом.

Наше государство вынуждено идти на компромисс, и предоставляет Монголии по выгодным тарифам источники электроэнергии от Братской ГЭС, Саяно-Шушенской ГЭС и других энергосистем. Это только часть возможного конфликта в среднеобеспеченных водными ресурсами государствах. На планете большинство государств не имеет таких водных ресурсов и вынуждены либо закупать их, либо бороться за них. В то же время имеется очень много источников воды непригодных для употребления из-за того, что она либо соленая, либо содержит соли тяжелых металлов или отравлена другими микроэлементами.

**Постановка задачи.** Для избавления от вредных примесей с целью получить чистую воду издревле использовались различные методы опреснения воды. Наиболее распространённым методом являлось применение кипения воды и образование пара, не содержащего примеси и концентрированного рассола, который сливался обратно без употребления. Пар конденсировался и получалась чистая дистиллированная вода. Таким образом, можно было сразу очистить воду сразу от любых примесей, не оказывая на нее физического и химического воздействия. Однако необходимо было значительное количество энергии для того, чтобы сначала нагреть воду до кипения, а затем охладить ее.

Возможны комбинированные системы, которые используют часть тепла от охлаждаемой воды с примесями, предназначенной для кипения. Создан целый ряд опреснителей морской воды или других водных источников.

Одним из наиболее прогрессивных методов является использование термоэлектрических модулей, способных не только нагревать, но и охлаждать на различных поверхностях своей конструкции воду или конденсировать пресную воду из пара [1-8]. Из таких термомодулей построена целая серия термоэлектрических опреснителей морской воды.

На рис.1 показан внешний вид опреснительной установки. На рис. 2 - принцип ее работы.

Конструкция устройства представляет собой набор металлических капсул первого порядка 1, в которые осуществляется первоначальная подача морской воды, и набор металлических капсул второго порядка 2 (морская вода в которые подается после образования пресного льда в капсулах 1), с прикрепленными к их внешней поверхности каскадами термоэлектрических модулей 3.

По трубке 4 к капсуле 1 подводится морская вода, а по трубке 5 отводится пресная вода. Слив соленого конденсата осуществляется через отверстие 6. От внешних спаев термоэлектрических модулей тепло отводится посредством теплопроводов 7. Подача питания на клапаны входных трубок 4, выходных трубок 5, сливного отверстия 6, а также тока питания термоэлектрического модуля, регулируется блоком управления 8.

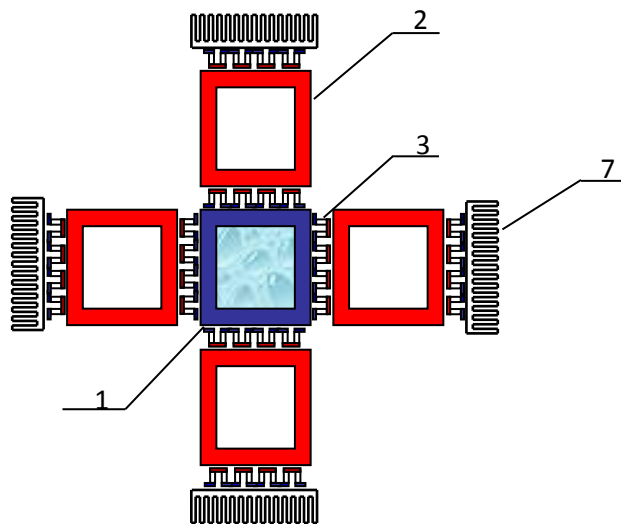
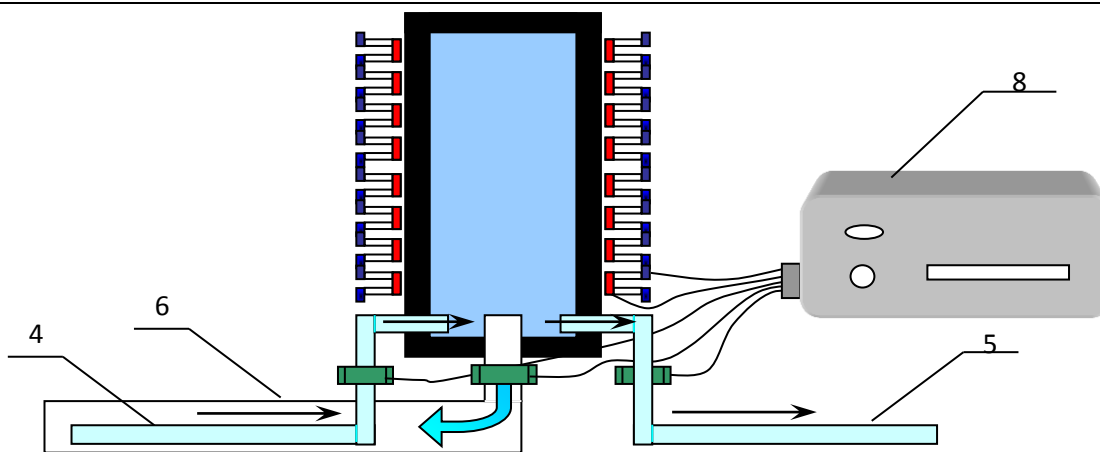


Рис. 1. Конструкция опреснительной установки  
Fig. 1. Design of the desalination plant



**Рис.2. Принцип работы опреснительной установки**  
**Fig.2. Principle of operation of the desalination plant**

Работает опреснительная установка следующим образом. По входным трубкам 3 в металлическую капсулу первого порядка 1 подается морская вода. Объем поступающей морской воды, имеет строго фиксированное значение, учитывающее степень расширения льда. После наполнения капсулы до заданного объема клапан на входной трубке 4, блоком управления 7, закрывается, а на термоэлектрический модуль 3 подается ток питания. Капсула 1 с морской водой начинает охлаждаться до температуры образования пресного льда. Теплота с горячего спае термоэлектрического модуля 3 отводится в пустые металлические капсулы 2 (вследствие невысокой температуры нагрева горячих спаев термоэлектрических модулей), либо в теплоотводы 7.

По истечении заданного промежутка времени, достаточного для образования пресного льда, блок управления 8 прекращает подачу тока питания на термоэлектрический модуль 3, в тоже время открывается клапан в отверстие 6, через который осуществляется слив соленого конденсата.

Так как солевой конденсат имеет низкую температуру, то для рекуперации тепла используется система из двух трубок таким образом, что выходная жидкость забирает часть тепла у поступающей морской воды, тем самым уменьшаются затраты энергии в процессе охлаждения. После чего с блока управления 8 подается сигнал на клапан входных трубок 4 и в пустые капсулы 2 заливается морская вода, далее осуществляется ее охлаждение. При этом тепло, выделяющееся на горячем спае термоэлектрического модуля 3, идет на расплавление пресного льда в металлических капсулах 1.

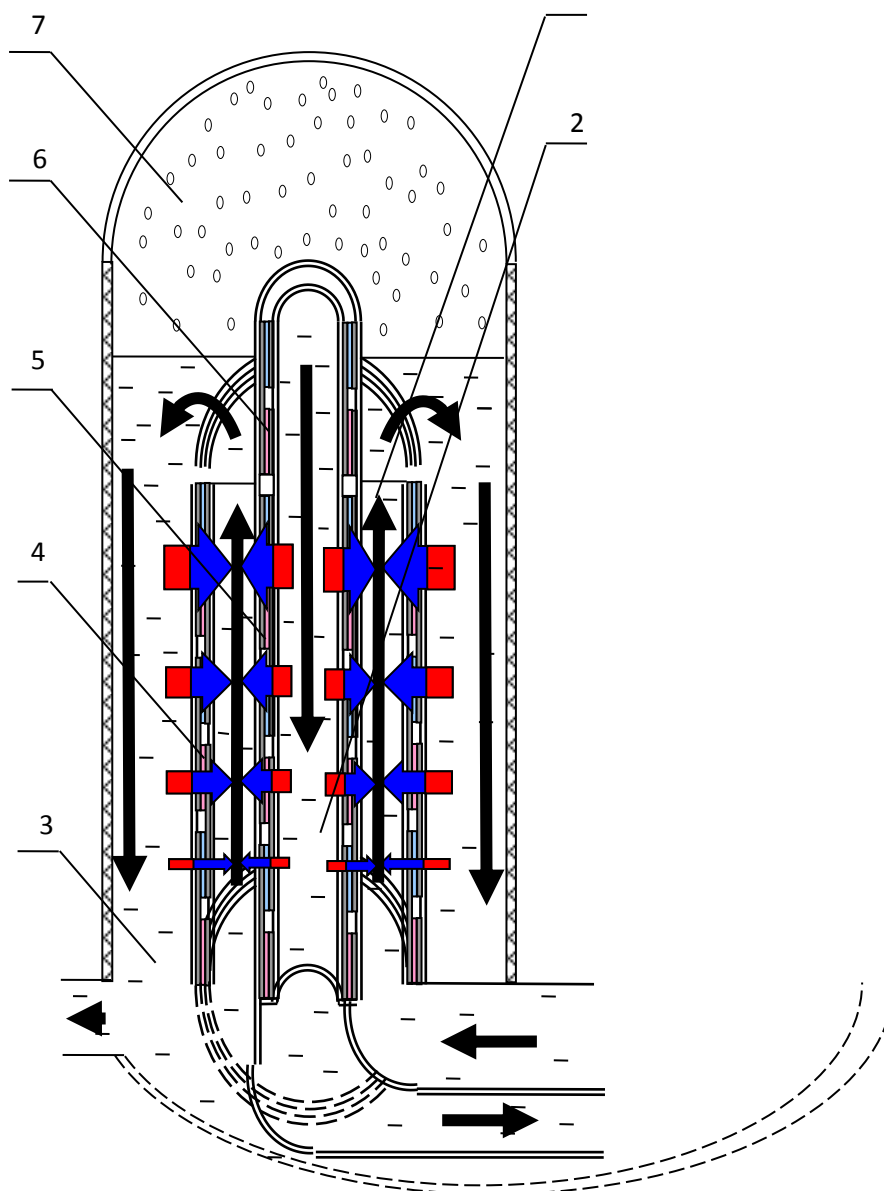
Кроме того, в широкой номенклатуре опреснителей, используются в качестве нагревателей элементы горения, химических реакций, солнечной энергии, электрических преобразователей в тепло и другие способы доведения воды до кипения. Однако всем им присущи определенные достоинства и недостатки.

**Методы исследования.** Для повышения эффективности опреснительной установки разработан специальный тонкопленочный полупроводниковый термоэлектрический тепловой насос цилиндрической формы [9].

Конструкция тонкопленочного полупроводникового термоэлектрического теплового насоса цилиндрической формы позволяет за счет изменения геометрических размеров опреснителя выравнивать скорости потоков поступающей морской воды и вытекающей пресной воды и рассола, причем, площадь поперечного сечения трубопровода для поступающей морской воды должна быть равна суммарной площади вытекающей пресной воды и рассола. Также преимуществом является то, что в отличие от рабочей камеры в форме параллелепипеда, имеющей две боковые поверхности, не участвующие в процессе теплообмена, цилиндрическая форма не имеет боковых граней и все поверхности участвуют в теплообмене, что значительно повышает производительность опреснителя и позволяет уменьшить его габариты. Кроме того, примене-

ние тонкопленочных полупроводниковых ветвей р- и n-типа в термомодуле практически уменьшает их электрическое сопротивление до нуля и полностью устраняет паразитные выделения тепла Джоуля. При этом термоэлектрический эффект Пельтье по нагреву и охлаждению полностью сохраняется, доводя КПД теплового насоса практически до 100%, что улучшает энергосберегающие характеристики опреснителя в целом.

На рис. 3 изображена конструкция тонкопленочного полупроводникового термоэлектрического теплового насоса цилиндрической формы для опреснения морской воды.



**Рис. 3. Конструкция тонкопленочного полупроводникового термоэлектрического теплового насоса цилиндрической формы для опреснения морской воды**  
**Fig. 3. The construction of a thin-film semiconductor thermoelectric heat pump of cylindrical shape for sea water desalination**

Работает опреснитель следующим образом. Морская вода 1 поступает в теплообменник снизу-вверх. Полупроводниковый термоэлектрический тепловой насос цилиндрической формы 5 предназначен для отвода тепла от пресной воды 2 к морской воде 1. Полупроводниковый

термоэлектрический тепловой насос цилиндрической формы 4 отводит тепло от концентрированного соленого раствора 3 к морской воде 1.

В верхней части расположен полупроводниковый термоэлектрический тепловой насос цилиндрической формы 6, который горячим спаем доводит до кипения морскую воду 1, а холодным спаем конденсирует пар 7 в пресную воду 2.

Полупроводниковый термоэлектрический тепловой насос цилиндрической формы 6 осуществляет основной процесс в опреснителе: кипятит морскую воду 1 и конденсирует пар 7 в чистую воду 2.

Энергетические показатели полупроводникового термоэлектрического теплового насоса цилиндрической формы 6 в опреснительной установке обладают высокой эффективностью, так как градиент температур между кипящей морской водой 1 и конденсирующимся паром 7 практически незначителен и не требует больших энергетических затрат при работе. Фактически полупроводниковый термоэлектрический тепловой насос цилиндрической формы 6 интенсифицирует процесс теплопередачи от конденсируемого пара к кипящей морской воде 1.

Аналогично работают полупроводниковые термоэлектрические насосы цилиндрической формы 4 и 5, причем градиенты температур по горизонтали отсутствуют, а по вертикали меняются от 200 С в нижней части до 1000 С в верхней части. В этом случае потребуются минимальные затраты электроэнергии для работы опреснительной установки.

Предлагаемая конструкция теплообменника делает возможным отбор практически всего тепла от чистой воды 2 для передачи его в морскую воду 1, предназначенную для последующего кипячения, уменьшая тем самым затраты энергии для работы опреснителя.

Размеры полупроводникового термоэлектрического теплового насоса зависят от электротеплофизических параметров самого теплового насоса, скорости движения жидкости, толщины стенок, объемов жидкости и коэффициентов теплопередачи материалов стенок. Солевой раствор 3, двигаясь вниз, отдает через полупроводниковый термоэлектрический тепловой насос цилиндрической формы 4 тепло морской воде 1, поступающей для опреснения вверх.

Предлагаемая конструкция позволяет рекуперировать тепло и улучшить энергетические показатели опреснителя в целом.

Внешние стенки опреснителя должны состоять из теплоизоляционного материала для уменьшения паразитного кондуктивного переноса тепловой энергии в окружающую среду. Габариты опреснителя могут изменяться в широких пределах при сохранении основного условия: температура на выходе опреснительной установки для чистой воды 2 и соленого раствора 3 должна быть практически равна температуре морской воды 1, подающейся в опреснительную установку.

Для удовлетворения этого условия можно увеличить высоту опреснительной установки, уменьшить скорость вытекающей чистой воды 2 и концентрацию соленого раствора 3, сделать тоньше все три камеры опреснительной установки для жидкостей 1, 2, 3. Производительность установки зависит от энергетических показателей термоэлектрического устройства цилиндрической формы 4, 5, 6.

Для дальнейшего повышения эффективности работы предложенного опреснителя рекомендуем в качестве термоэлектрических устройств использовать термоэлектрические модули с излучением [10-16].

В этих модулях та сторона батареи, которая должна была нагреваться за счет изменения энергии электронов, испускает электромагнитное излучение с частотой тем большей, чем больше перепад энергии электронов при переходе из одного участка термомодуля на другой. Наибольший эффект имеет термоэлектрическое устройство с ультрафиолетовым излучением.

В этом случае охлаждающий электрод получает максимальную степень охлаждения, а излучающий электрод испускает максимальную степень энергии.

Если режим будет не оптимальный, то из режима охлаждения термомодуль все равно может перейти в режим нагрева, как видно из графика, представленного на рис.4.

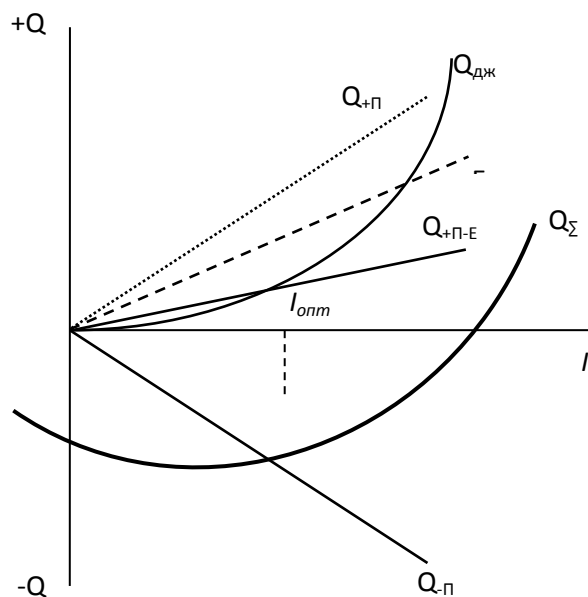


Рис. 4. Зависимость тепла от величины питающего тока I  
Fig. 4. The dependence of heat on the value of the supply current I

$Q_{\Sigma}$  – тепловой баланс теплового насоса;  
 $Q_{дж}$  – эффект Джоуля;  
 $Q_{-П}$  – охлаждающий эффект Пельтье на p-n-переходе;  
 $Q_{+П}$  – нагревающий эффект Пельтье на p-n-переходе;  
 $Q_{+П-Е}$  – результирующее тепло на p-n-переходе;  
E – энергия излучения.

В этом случае, мы получим одновременно и нагрев на горячей зоне, и излучение. На холодной зоне будет охлаждение, но не самое эффективное. Тем не менее, такой режим является более предпочтительным для опреснителя, так как ультрафиолетовое излучение обладает дезинфицирующим свойством и убивает микроорганизмы. То есть, в процессе работы термомодуля появляется новое функциональное качество по дезинфекции воды не только за счет кипячения, но и за счет облучения ультрафиолетовым излучением, которое после уничтожения микробов, попадет на стенки этого термомодуля и, безусловно, осуществит нагрев этих стенок.

**Обсуждение результатов.** В конечном итоге, промежуточное преобразование тепловой энергии в ультрафиолетовое излучение, потом будет завершено опять повторным преобразованием в тепловую энергию и, тем самым, без потерь осуществится передача всей тепловой энергии для интенсификации процесса кипячения. В результате, вода будет дважды продезинфицирована, как самим кипячением, так и ультрафиолетом. То есть, на какое-то время, тепловая энергия превращается в ультрафиолетовое излучение и осуществляет дезинфекцию, затем, вновь превращается в тепловую энергию и продолжает дезинфекцию.

В этом случае, энергоэффективность процесса дистилляции воды будет гораздо выше и будет гораздо выгоднее, чем все предшествующие виды опреснения.

При модификации данного опреснителя можно добиться противоположного способа опреснения не за счет кипячения, а за счет превращения в лед [17]. Дело в том, что при охлаждении, например, морской воды, в лед сначала превращается пресная вода и остается рассол. В этом случае, рассол можно слить, растопить лед, и получить пресную воду. Для повышения чистоты можно процесс несколько раз повторить по циклу. Таким образом, можно получить

очень высокую степень чистоты. Можно также использовать зонные методы плавки. Степень чистоты опресненной воды будет еще выше.

Предложенный термомодуль может не только нагревать, светить и охлаждать, но и осуществлять также на охлаждающей поверхности превращение соленой воды в лед и рассол с одновременной обработкой ультрафиолетом льда, который также будет дезинфицирован. После этого будет растоплена дистиллированная вода с более высокой степенью очистки и уничтоженными микроорганизмами. В этом случае, затратим еще меньше энергии, так как охладить воду, например, от 20°C до 0°C потребуются меньше энергии, чем от 20°C вскипятить ее до 100°C. Процесс охлаждения будет эффективнее в четыре раза. Однако, при этом исчезает эффект дезинфекции от кипячения, зато остается эффект дезинфекции от ультрафиолетового облучения.

Дальнейшим развитием опреснителя будет изменение условий, при которых вода будет кипеть. Этого можно достичь за счет изменения атмосферного давления. При увеличении степени разрежения атмосферное давление будет влиять таким образом на процесс кипячения, что при более низкой температуре вода будет закипать, так как при меньшем давлении водяные пары будут легче отрываться от поверхности воды.

При уменьшении атмосферного давления до 0,1 атмосферы температура кипячения воды может составлять 20-30°C в зависимости от условий. Таким образом, за счет создания высокой степени разреженности, при меньших энергетических затратах можно получить условия, при которых вода будет превращаться в пар, но пар при 20°C будет холодным, и сконденсированная дистиллированная вода будет также холодной.

В этом случае, мы не тратим энергию на нагрев и охлаждение, а дезинфекцию можно осуществить также ультрафиолетовым излучением, которое уже в чистом виде будет использовано на термоэлектрических устройствах, у которых с одной стороны генерируется электромагнитное ультрафиолетовое излучение, а с другой стороны охлаждение и работают такие устройства в полностью оптимальном режиме без тепловыделений. Для этого делается маленькая высота термоэлектрических полупроводниковых столбиков, что уменьшает их джоулево-резистивное сопротивление.

**Вывод.** Опреснительная установка будет использоваться для получения пресной воды и концентрированных растворов из любых водных растворов, а также переработки сточных вод промышленных предприятий. Конструкционные материалы опреснительной установки являются экологически безопасными.

#### **Библиографический список:**

1. Исмаилов Т.А. Термоэлектрические полупроводниковые устройства и интенсификаторы теплопередачи. – С.-Пб.: ОАО «Издательство «Политехник»», 2005. – 534 с.
2. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Термоэлектрическое охлаждение тепловыделяющих компонентов микроэлектронной техники. – М.: «Академия», 2012. – 136 с.
3. Патент RU №2368877. МПК: G01K 7/22. Термостат с дискретными полупроводниковыми термоэлектрическими преобразователями/ Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Гафуров К.А.// Оpubл. 08.08.2006. Бюл. №27.
4. Патент RU №2535597, МПК: F28D 15/06. Способ интенсификации теплообмена в тепловой трубе / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д.// Оpubл. 20.12.2014. Бюл. №35
5. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Нежведилов Т.Д. Термостабилизация микроэлектронной аппаратуры при помощи полупроводниковых термоэлектрических устройств. - Махачкала: ИПЦ ДГТУ, 2013. – 149 с.
6. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Челушкина Т.А., Челушкин Д.А. Интенсификация теплопереноса от кристалла интегральной схемы к теплоотводу за счет применения нанопленочного термоэлектрического теплового насоса // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - 2014. - №32. – С. 7-15.



7. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Челушкина Т.А., Челушкин Д.А. Высокоэффективные полупроводниковые термоэлектрические устройства и приборы. – Махачкала: ИПЦ ФГБОУ ВПО «ДГТУ», 2014. –112 с.

8. Патент RU №2156424. МПК: F28D7/10, F28D21/00. Термоэлектрический полупроводниковый теплообменник / Исмаилов Т.А, Магомедов К.А, Гаджиева С.М, Мурадова М.М.// Оpubл. 20.09.2000.

9. Патент RU №2575650. МПК: G02F 1/04, B01D 1/22, B01D 5/00/ Способ опреснения морской воды при помощи тонкопленочного полупроводникового термоэлектрического теплового насоса цилиндрической формы / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гафурова З.М., Челушкин Д.А., Челушкина Т.А. // Оpubл. 20.09.2016.

10. Патент RU №2405230, МПК: H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. Способ отвода тепла от тепловыделяющих электронных компонентов в виде излучения / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А.// Оpubл. 01.06.2009. Бюл. №33.

11. Патент RU №2205279, МПК: F01P3/20. Термоэлектрический автомобильный радиатор / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Зарат А., Гафуров К.А.// Оpubл. 27.05.2003. Бюл. №27.

12. Патент RU №2098725, МПК: F25B21/02, H01M10/50. Способ охлаждения объекта каскадной термоэлектрической батареей и устройство для его осуществления / Манухин В.В., Дубинин Н.И., Колобаев В.А., Кудрявцев А.В., Волков В.Ю., Марковский М.А.// Оpubл. 10.12.1997.

13. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Гаджиева С.М. Многослойное излучающее термоэлектрическое устройство // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2013. - №1.- С.90-93.

14. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Гаджиева С.М. Тонкопленочные термоэлектрические устройства с отводом тепла в виде излучения для охлаждения микросистемной техники // Научное приборостроение. - 2013. – Т.23. - №3. - С.120-124.

15. Патент RU №2507613. МПК: G12B 15/06, H01L 23/34, H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. Каскадное светоизлучающее термоэлектрическое устройство / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А.// Оpubл. 20.02.2014. Бюл. №5.

16. Исмаилов Т.А. Гаджиев Х.М. Микроэлектронные компоненты с интегральным использованием эффекта Пельтье и оптического излучения. – Махачкала: ИПЦ ФГБОУ ВО «ДГТУ», 2015. –112 с.

17. Гаджиев Х.М. Челушкин Д.А. Полупроводниковое термоэлектрическое устройство для термостатирования компьютерного процессора с применением материалов в состоянии фазового перехода // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - 2015. - №38– С.37-43.

#### References:

1. Ismailov T.A. Termoelektricheskie poluprovodnikovye ustroystva i intensifikatory teploperedachi. S.-Pb.: OAO "Izdatel'stvo "Politekhnik"; 2005. 534 s. [Ismailov T.A. Thermoelectric semiconductor devices and heat transfer intensifiers. S.-Pb.: OAO «Izdatel'stvo «Politekhnik»; 2005. 534 p. (In Russ.)]
2. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Termoelektricheskoe okhlazhdenie teplovydelyayushchikh komponentov mikroelektronnoi tekhniki. M.: "Akademiya"; 2012. 136 s. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Thermoelectric cooling of heat-emitting components of microelectronic engineering. M.: "Akademiya"; 2012. 136 p. (In Russ.)]
3. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Gafurov K.A. Patent RU №2368877. МПК: G01K 7/22. Termostat s diskretnymi poluprovodnikovymi termoelektricheskimi preobrazovatelyami. Opubl. 08.08.2006. Byul. №27. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Gafurov K.A. Patent RU №2368877. МПК: G01K 7/22. Thermostat with discrete semiconductor thermoelectric converters. Publ. 08.08.2006. Bull. №27. (In Russ.)]
4. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D. Patent RU №2535597, МПК: F28D 15/06. Sposob intensifikatsii teploobmena v teplovoi trube. Opubl. 20.12.2014. Byul. №35. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D. Patent RU №2535597, МПК: F28D 15/06. Method of intensification of heat transfer in a heat pipe. Publ. 20.12.2014. Bull. №35. (In Russ.)]
5. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Nezhvedilov T.D. Termostabilizatsiya mikroelektronnoi apparatury pri pomoshchi poluprovodnikovyx termoelektricheskikh ustroystv. Makhachkala: IPTs DGTU; 2013. 149 s. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Nezhvedilov T.D. Thermal stabilisation of microelectronic equipment using semiconductor thermoelectric devices. Makhachkala: IPTs DSTU; 2013. 149 p. (In Russ.)]
6. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Chelushkina T.A., Chelushkin D.A. Intensifikatsiya teploperenosa ot

- kristalla integral'noi skhemy k teplootvodu za schet primeneniya nanoplenochnogo termoelektricheskogo teplovogo nasosa. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2014;32:7-15. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Chelushkina T.A., Chelushkin D.A. Intensification of heat transfer from the crystal of the integrated circuit to the heat sink due to the use of a nanofilm thermoelectric heat pump. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2014;32:7-15. (In Russ.)]
7. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Chelushkina T.A., Chelushkin D.A. Vysokoeffektivnye poluprovodnikovye termoelektricheskie ustroystva i pribory. Makhachkala: IPTs DGTU; 2014. 112 s. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Chelushkina T.A., Chelushkin D.A. Highly efficient semiconductor thermoelectric devices and instruments. Makhachkala: IPTs DSTU; 2014. 112 p. (In Russ.)]
  8. Ismailov T.A., Magomedov K.A., Gadzhieva S.M., Muradova M.M. Patent RU №2156424. MPK: F28D7/10, F28D21/00. Termoelektricheskii poluprovodnikovyi teploobmennik. Opubl. 20.09.2000. [Ismailov T.A., Magomedov K.A., Gadzhieva S.M., Muradova M.M. Patent RU №2156424. MPK: F28D7/10, F28D21/00. Thermoelectric semiconductor heat exchanger. Publ. 20.09.2000. (In Russ.)]
  9. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gafurova Z.M., Chelushkin D.A., Chelushkina T.A. Patent RU №2575650. MPK: G02F 1/04, B01D 1/22, B01D 5/00/. Sposob opresneniya morskoi vody pri pomoshchi tonkoplnochnogo poluprovodnikovogo termoelektricheskogo teplovogo nasosa tsilindricheskoi formy. Opubl. 20.09.2016. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gafurova Z.M., Chelushkin D.A., Chelushkina T.A. Patent RU №2575650. MPK: G02F 1/04, B01D 1/22, B01D 5/00/. Method of desalination of sea water using a thin-film semiconductor thermoelectric heat pump of cylindrical shape. Publ. 20.09.2016. (In Russ.)]
  10. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. Patent RU №2405230, MPK: H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. Sposob otvoda tepla ot teplovydelyayushchikh elektronnykh komponentov v vide izlucheniya. Opubl. 01.06.2009. Byul. №33. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. Patent RU №2405230, MPK: H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. The method of heat removal from heat-emitting electronic components in the form of radiation. Publ. 01.06.2009. Bull. №33. (In Russ.)]
  11. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Zarat A., Gafurov K.A. Patent RU №2205279, MPK: F01P3/20. Termoelektricheskii avtomobil'nyi radiator. Opubl. 27.05.2003. Byul. №27. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Zarat A., Gafurov K.A. Patent RU №2205279, MPK: F01P3/20. Thermoelectric automobile radiator. Publ. 27.05.2003. Bull. №27. (In Russ.)]
  12. Manukhin V.V., Dubinin N.I., Kolobaev V.A., Kudryavtsev A.V., Volkov V.Yu., Markovskii M.A. Patent RU №2098725, MPK: F25B21/02, H01M10/50. Sposob okhlazhdeniya ob'ekta kaskadnoi termoelektricheskoi batareei i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya. Opubl. 10.12.1997. [Manukhin V.V., Dubinin N.I., Kolobaev V.A., Kudryavtsev A.V., Volkov V.Yu., Markovskii M.A. Patent RU №2098725, MPK: F25B21/02, H01M10/50. The method of cooling an object with a cascade thermoelectric battery and a device for its implementation. Publ. 10.12.1997. (In Russ.)]
  13. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Gadzhieva S.M. Mnogosloinoe izluchayushchee termoelektricheskoe ustroystvo. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii Rossii. Radioelektronika. 2013;1:90-93. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Gadzhieva S.M. Multilayer radiating thermoelectric device. Journal of the Russian Universities: Radioelectronics. 2013;1:90-93. (In Russ.)]
  14. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Gadzhieva S.M. Tonkoplnochnye termoelektricheskie ustroystva s otvodom tepla v vide izlucheniya dlya okhlazhdeniya mikrosistemnoi tekhniki. Nauchnoe priborostroenie. 2013; 23(3):120-124. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Gadzhieva S.M. Thin-film thermoelectric devices with heat removal in the form of radiation for cooling microsystem equipment. Scientific Instrumentation. 2013 (3):120-124. (In Russ.)]
  15. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. Patent RU №2507613. MPK: G12B 15/06, H01L 23/34, H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. Kaskadnoe svetozluchayushchee termoelektricheskoe ustroystvo. Opubl. 20.02.2014. Byul. №5. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. Patent RU №2507613. MPK: G12B 15/06, H01L 23/34, H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. Cascade light-emitting thermoelectric device. Publ. 20.02.2014. Bull. №5. (In Russ.)]
  16. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Mikroelektronnye komponenty s integral'nym ispol'zovaniem efekta Pel't'e i opticheskogo izlucheniya. Makhachkala: IPTs DGTU; 2015. 112 s. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Microelectronic components with integral use of the Peltier effect and optical radiation. Makhachkala: IPTs DSTU; 2015. 112 p. (In Russ.)]

17. Gadzhiev Kh.M. Chelushkin D.A. Poluprovodnikovoe termoelektricheskoe ustroystvo dlya termostirovaniya komp'yuternogo protsessora s primeneniem materialov v sostoyanii fazovogo perekhoda. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2015;38:37-43. [Gadzhiev Kh.M. Chelushkin D.A. Semiconductor thermoelectric device for temperature control of a CPU with the use of materials in a state of phase transition. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2015; 38:37-43. (In Russ.)]

**Сведения об авторах.**

**Исмаилов Тагир Абдурашидович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и общей электротехники. Ректор Дагестанского государственного технического университета, Заслуженный деятель науки РФ.

**Гаджиев Хаджимурат Магомедович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники.

**Давыдова Кистаман Мудуновна** – аспирант, кафедра физики.

**Магомедова Патимат Арсланадиевна** – аспирант, кафедра теоретической и общей электротехники.

**Челушкина Татьяна Алексеевна** – кандидат технических наук, кафедра теоретической и общей электротехники.

**Information about the authors.**

**Tagir A. Ismailov** – Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Theoretical and General electrical engineering. The rector Daghestan State Technical University. Honored worker of science of the Russian Federation.

**Khadzhimurat M. Gajiyev** – Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Theoretical and General electrical engineering.

**Kistaman M. Davidova** – Graduate student, Department of Physics.

**Patimat A. Magomedova** – Graduate student, Department of Theoretical and General electrical engineering.

**Tatyana A. Chelushkina** – Cand. Sci. (Technical), Department of theoretical and General electrical engineering.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Поступила в редакцию** 11.08.2017.

**Принята в печать** 20.09.2017.

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

**Received** 11.08.2017.

**Accepted for publication** 20.09.2017.