

Для цитирования: Гаджиев Х.М., Гаджиев Д.С., Курбанов И.М. Декомпрессионный полупроводниковый термоэлектрический опреснитель с ультрафиолетовым облучением. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019; 46 (4): 8-18. DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-4-8-18

For citation: H.M. Gadzhiev, D.S. Gadzhiev, I.M. Kurbanov. Thermoelectric processes in an efficient light-emitting transistor. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2019; 46 (4): 8-18. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-4-8-18

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.362

DOI: 10.21822/2073-6185-2019-46-4-8-18

ДЕКОМПРЕССИОННЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ОПРЕСНИТЕЛЬ С УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ

Гаджиев Х.М., Гаджиев Д.С., Курбанов И.М.

Дагестанский государственный технический университет,
367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является разработка конструкции декомпрессионного полупроводникового термоэлектрического опреснителя с ультрафиолетовым облучением. **Метод.** Конструкция декомпрессионного полупроводникового термоэлектрического опреснителя с ультрафиолетовым облучением позволяет за счет изменения давления в опреснителе понизить температуру кипения морской воды, вытекающей пресной воды и рассола, причем, энергоэффективность установки увеличится. **Результат.** Применение декомпрессионного полупроводникового термоэлектрического опреснителя с ультрафиолетовым облучением практически уменьшает температуру кипения морской воды и полностью устраняет паразитные выделения тепла Джоуля. При этом термоэлектрический эффект Пельтье по охлаждению полностью сохраняется, доводя коэффициент полезного действия (КПД) опреснителя практически до 100%, что повышает энергоэффективность опреснителя в целом. **Вывод.** Декомпрессионный полупроводниковый термоэлектрический опреснитель с ультрафиолетовым облучением может быть использован для получения пресной воды и концентрированных растворов из любых водных растворов, а также переработки сточных вод промышленных предприятий с одновременной дезинфекцией бактерий и вирусов. Конструкционные материалы опреснительной установки являются экологически безопасными.

Ключевые слова: декомпрессионный полупроводниковый термоэлектрический опреснитель, опреснение, ультрафиолетовое излучение, морская вода, дезинфекция

DECOMPRESSION SEMICONDUCTOR THERMOELECTRIC DESALINATOR WITH UV RADIATION

H.M.Gadzhiev, D.S.Gadzhiev, I.M.Kurbanov

*Daghestan State Technical University,
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia*

Abstract. Objectives. The development of a decompression semiconductor thermoelectric desalinator with ultraviolet radiation. **Methods.** The design of a decompression semiconductor thermoelectric desalinator with ultraviolet radiation makes it possible to decrease the boiling points of sea-water and the obtained fresh water and brine by changing the pressure in the desalination thus increasing the device's energy efficiency. **Results.** The use of the designed decompression semiconductor thermoelectric desalinator with ultraviolet radiation practically reduces the boiling point of seawater, completely eliminating Joule's parasitic heat release. The Peltier thermoelectric effect of heating and cooling is completely preserved, bringing the desalination efficiency coefficient up to almost 100% and improving its energy-saving characteristics as a whole. **Conclusion.** A decompression semiconductor thermoelectric desalinator with ultraviolet radiation can be used to produce fresh water and concentrated solutions from any aqueous solutions, as well as to treat wastewater from industrial enterprises with simultaneous bacterial and virus disinfection. The construction materials of the desalination device are environmentally friendly.

Keywords: decompression semiconductor thermoelectric desalinator, desalination, ultraviolet radiation, sea water, disinfection

Введение. Современный этап развития человечества сталкивается с большим количеством проблем планетарного масштаба. Наиболее критичными являются экологические вопросы. Жизнь невозможна без воды и большинство живых организмов нуждается в большом количестве пресной воды. Необходима вода пресная не только в чистом виде для употребления внутрь, но и для выращивания растений и животных в больших количествах. Человечество столкнулось с этой проблемой не только в XXI веке, ведь проблема воды всегда была актуальна. Загрязнение источников исторически приводило к войнам, эпидемиям, катастрофам.

В настоящее время существует большое количество различных вариантов для получения чистой воды. Наиболее целесообразно получать чистую воду из морской воды, запасы которой на планете Земля колоссальны.

Имеется также возможность для получения из ледников на вершинах гор или северных и южных полюсов, но проблема транспортировки делает экономически нецелесообразным такой способ получения пресной воды.

В тоже время вблизи морской воды существует множество городов и поселений человека, позволяющих после опреснения морской воды получить необходимое количество пресной воды для проведения сельскохозяйственных мероприятий и обеспечения промышленных предприятий.

Постановка задачи. Как известно, для получения пресной воды существуют различные способы [1-7]. Наиболее распространенными способами являются механическая фильтрация, предполагающая применение молекулярных фильтров и насоса с большим давлением. Но такие фильтры быстро забиваются, требуют замены, и экономически не целесообразно проводить опреснение таким способом.

Существует химические способы очистки, которые требуют приобретение специальных реактивов для очистки воды от всех посторонних компонентов, но такие реактивы удорожают стоимость системы очистки и, кроме того для каждого типа морской воды или грязной воды

требуется свой состав химических реактивов. Поэтому такой способ с экономической точки зрения так же не целесообразен для получения пресной воды в промышленных масштабах.

Следующим способом является замораживание морской воды при условии, что вначале образуется пресный лёд при невысоких отрицательных температурах и, только потом образуется морской соленый лёд. Если не доводить температуру до образования морского льда, то из морской воды будет вымораживаться его пресная часть, которую после нескольких таких процедур можно превратить в пресную воду.

Такой способ предпочтительнее следующего способа по превращению морской воды в пар, так как от комнатной температуры в пределах 20-30 градусов проще понизить температуру до 0 градусов, чем повысить до 100 градусов с учётом большой теплоемкости воды. Это потребует значительных энергозатрат при попытке кипячения морской воды. Но способ кипячения обладает тем преимуществом, что он нейтрализует бактериологическую опасность, содержащуюся в морской воде, и дезинфицирует её.

Кроме того, при замораживании часть микроорганизмов, загрязнения физическими частицами и химическими реактивами могут остаться даже в пресном льду. И это требует различных методов очистки, в том числе зонной плавки.

Однако эти дополнительные расходы сводят все преимущества способа охлаждения до 0 градусов по сравнению со способом кипячения при 100 градусах. Поэтому наиболее распространёнными опреснителями в настоящий момент являются опреснители, которые используют кипячение морской воды, превращение её в пресный пар и после конденсации этого пара использование пресной воды.

Для нагрева воды используются различные системы от использования дров, газа, нефти других расходных энергоресурсов до использования возобновляемых источников энергии типа солнца. Возможно также использование атомных реакторов, как побочный эффект их действия получения электроэнергии, так и специальные опреснительные установки, которые способны преобразовать большие количества морской воды в пресную. Однако, все эти способы энергозатратны, что делает с экономической точки зрения невыгодным получение в больших количествах пресной воды.

Для решения этих проблем необходимо устранить существующие недостатки. В качестве основных видов недостатков можно привести следующий прототип. На рис.1 изображён опреснитель, использующий термоэлектрические устройства для получения пресной воды методом выпаривания.

По трубопроводу 1 из ёмкости с морской водой 4, морская вода поступает в средний контейнер с температурой окружающей среды, и её температура будет повышаться до температуры кипения (парообразования).

Нагрев происходит вначале через тонкие стенки теплообменника, причем, чем выше поднимается морская вода, тем больше она будет нагреваться [6, 9]. После этого термомодуль доводит температуру этой воды до температуры кипения, работая как тепловой насос. Причём тепловой насос будет находиться в энергетически выгодном режиме, когда он прокачивает при 100 градусах температуру от водяного пара к воде, находящейся при температуре кипения 100 градусов [1, 4, 5, 10]. Образовавшийся пар конденсируется на второй стороне термомодуля 5 и поступает в ёмкость 2 и далее к потребителю пресной воды. В ёмкости 3 накапливается рассол, который сливается обратно в море.

Таким образом, функционируют термоэлектрические опреснители, обладающие наибольшими энергоэффективными параметрами [2,3]. Однако такие термомодульные опреснители не позволяют получать в больших промышленных масштабах необходимое количество пресной воды.

Методы исследования. Для устранения существующих недостатков у традиционных опреснителей целесообразно разработать схему опреснителя, который будет использовать преимущества кипячения, совмещая их с преимуществами охлаждения, то есть не высоких температур.

Несмотря на абсурдность такого предположения, оно легко реализуемо с учётом того, что температура кипения воды при 100 градусах соответствует атмосферному давлению в 1 атмосферу. Но при пониженном давлении температура кипения воды также понижается. Причём температура кипения может равняться даже температуре окружающей среды. То есть, если создать декомпрессионную камеру, в которую поместить морскую воду, откачать воздух до значений 0,05 атмосферы, то в этом случае процесс кипения начнётся при незначительных величинах.

В табл. 1 приведена зависимость температуры кипения воды от атмосферного давления.

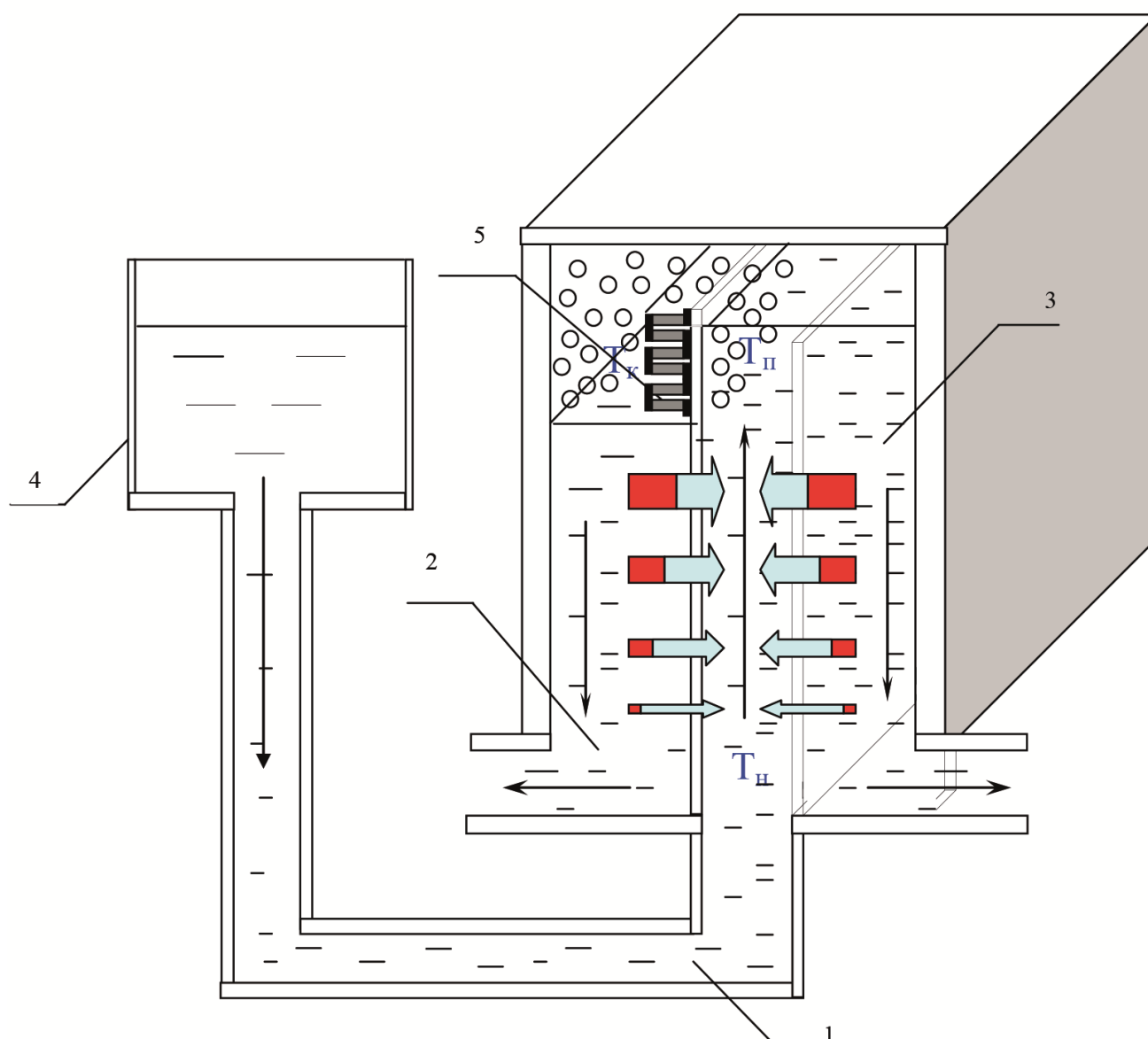


Рис.1. Опреснитель с термоэлектрическим устройством для получения пресной воды методом выпаривания

Fig. 1. Desalination device with a thermoelectric device for producing fresh water by evaporation

Таблица 1. Зависимость температуры кипения воды от атмосферного давления
Table 1. Dependence of the boiling point of water on atmospheric pressure

P		t_к, °C
кПа.	атм.	
0,981	0,01	6,698
1,961	0,02	17,20
3,923	0,05	28,64
9,807	0,1	45,45
19,61	0,2	59,67
29,42	0,3	68,68
39,23	0,4	75,42
49,03	0,5	80,86
58,84	0,6	85,45
68,65	0,7	89,45
78,45	0,8	92,99
88,26	0,9	96,18
98,07	1,0	99,09
101,3	1,033	100,00
147,1	1,5	110,79
196,1	2,0	119,62

Преимущество способа заключается в том, что вместо того, чтобы нагревать киловаттными устройствами воду до кипячения, можно компрессором с мощностью 200 Вт откачать воздух в контейнере и спровоцировать кипение с последующей конденсацией водяного пара. Это позволит на порядок понизить энергозатраты установки опреснения в целом.

Кроме того, нет необходимости для последующего охлаждения кипящей дистиллированной воды. То есть это также снизит энергозатраты, правда у кипятка было преимущество, что он убивал микроорганизмы, поэтому очищенная вода при температуре, к примеру, 20 градусов не убивает микробы и бактерии. Но, тем не менее, существует много различных способов, позволяющих осуществить очистку от бактерий, например, с помощью ультрафиолетового облучения. Такой способ даже будет более эффективен, чем кипячение.

На рис. 2 приведена схема опреснителя декомпрессионного типа. В контейнер 2 поступает морская вода из трубопровода 16 через электромагнитный клапан 6. Морская вода наполняет контейнер и через перегородку от него находится в контейнере 3 ёмкость для пресной воды. Электрический компрессор 1 через клапан электромагнитный 11 осуществляет откачку воздуха через клапан 7 из контейнера 2 и 3.

После того, как давление будет понижено до величины 0,05 атмосферы, начнется процесс кипения воды.

Пластина 21 представляет собой светодиодный термоэлектрический модуль, у которого одни спаи охлаждаются, а вторые излучают ультрафиолет в обе стороны перпендикулярно поверхности пластины.

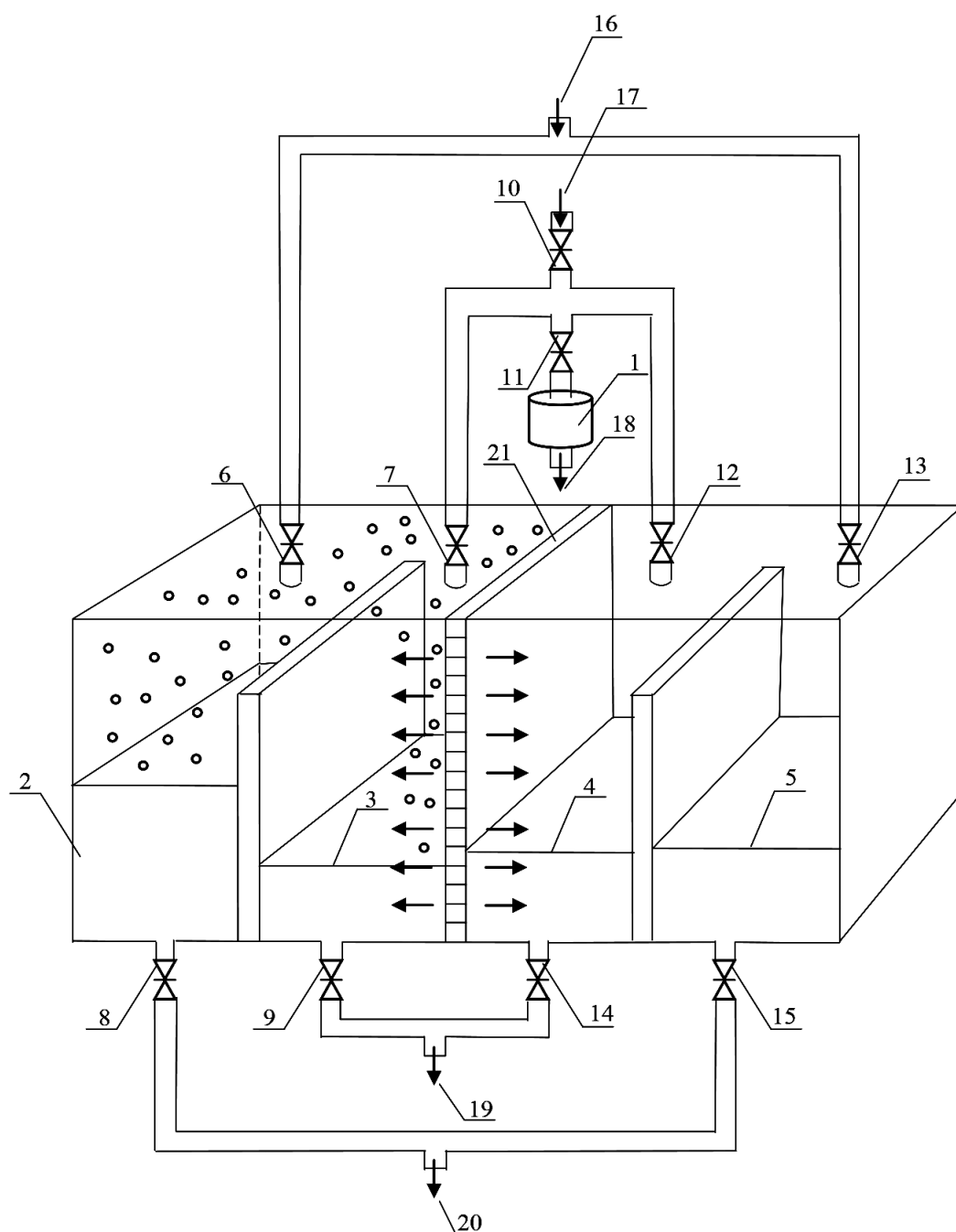


Рис.2. Схема опреснителя декомпрессионного типа
Fig. 2. Decompression Type desalination scheme

Охлаждение пластины приводит к тому, что пар при температуре 20 градусов будет конденсироваться и стекать в ёмкость 3. Далее из ёмкости 3 по завершению процесса опреснения через электромагнитный клапан 9 пресная вода поступит к потребителю через патрубок 19.

Таким образом, можно осуществить откачку воздуха через патрубок 18 в окружающую атмосферу при помощи электрического компрессора 1 и клапана 11. Клапан электромагнитный 10 в этот момент будет закрыт, и он будет использован только однократно, когда необходимо выровнять давление с окружающим воздухом.

Цикл работы будет осуществляться следующим образом: при одном атмосферном давлении из патрубка 16 поступает морская вода через электромагнитный клапан 6 и наполняет до максимального уровня морской водой декомпрессионную камеру 2, от которой через перегородку в камере 3 будет конденсироваться пресная вода.

После того как морская вода заполнила полностью до максимального уровня контейнер 2, клапан 6 перекрывается, клапан 7 открывается, клапан 10 перекрывается, клапан 12 перекрывается, клапан 11 открывается, включается электрический компрессор 1, и он начинает откачку воздуха через клапан 11 и 7 из декомпрессионных емкостей.

После понижения давления начинается процесс кипения морской воды, она превращается в пресный пар при температуре окружающей среды. Этот пар, коснувшись перегородки 21, находящейся в состоянии охлаждения и излучения ультрафиолета, будет конденсироваться, и стекать в виде пресной воды в контейнер 3.

После того как необходимая часть в контейнере 2 морской воды превратится в пар и необходимая часть будет набрана в заданной части пресной воды в контейнере 3, процесс прекращается и атмосферное давление впускается в эти декомпрессионные камеры. Затем можно открыть клапан электромагнитный 8 и слить морской рассол обратно в море через патрубок 20. А электромагнитный клапан 9 откроется и сольёт пресную воду через патрубок 19 к потребителю. Таким образом, работает половина опреснителя.

Для повышения энергоэффективности целесообразно сделать его двухтактным. Перед тем, как сбросить с 0,05 давления атмосферы до 1 атмосферы, можно перераспределить равномерно давление между двумя камерами. То есть, если вначале открыть клапан 12, то во второй части контейнера 4 и 5 зеркально представляющий собой декомпрессионные камеры для соленой воды и пресной, то там 1 атмосфера, соединившись с 0,05 атмосферы декомпрессионной камеры 2 и 3, выровняется до 0,5 атмосферы.

Таким образом, уже половина работы электрического компрессора будет выполнена и ему нужно будет только довести в камере 4 и 5 давление от 0,5 атмосферного до 0,05 атмосферного, что в два раза легче и быстрее. После того как давление достигнет заданного уровня можно осуществить опреснение морской воды в контейнере 5, превратив её в пресную воду в контейнере 4, для того чтобы через электромагнитный клапан 14 направить через трубопровод 19 к потребителю, а через клапан 15 через трубопровод 20 слить рассол в море.

Обсуждение результатов. Предложенный вариант работы декомпрессионного опреснителя обладает высокой энергоэффективностью за счёт того, что поэтапно осуществляет декомпрессию. Панель термоэлектрическая 21 предназначена для охлаждения и облучения ультрафиолетом. Одни полупроводниковые переходы термоэлектрической панели 21 - там, где электроны теряют энергию, будут поглощать тепло и создавать конденсат. Вторые полупроводниковые переходы термоэлектрической панели 21, там, где электроны трансформируют свою энергию в ультрафиолетовое излучение, будет проводиться дезинфекция пресной воды.

Для конденсации из парообразного состояния в жидкое пресной воды используется термоэлектрическое устройство. Термоэлектрическое устройство представляет собой конструкцию, состоящую из полупроводниковых ветвей р-п типов проводимости, энергия электронов которых подобрана таким образом, что при переходе электрона из одной зоны р в зону n избыток энергии превращается не в тепловую энергию, а в энергию излучения. Причём перепад энергии настолько велик, что энергия излучения расположена не в инфракрасном или красном диапазоне, а в ультрафиолетовой области спектра, что позволяет отвести большое количество энергии в виде ультрафиолетового излучения.

В других случаях, когда электрон переходит из зоны р в зону n, он теряет энергию и охлаждает полупроводниковые атомы в кристаллической решетке. Чем больше энергии будет выпущено излучающим спаем, тем больше энергии будет поглощено на другом спае [8, 11- 14].

Таким образом, эффективность такого устройства будет высокой и одновременно энергия излучения будет использована для уничтожения бактерий и вирусов в очищаемой воде. Так как перегородки будут зеркальными, то после многократного отражения они будут поглощены этими стенками и, тем самым, все фотоны, так или иначе, уничтожат все проявления биологических паразитов. В то же время КПД такой батареи будет выше за счёт того, что она выполнена в виде тонких пленок. Обычно термоэлектрические тепловые насосы делаются с определенной толщиной с учётом того, что перепад температур приводит к паразитному теплопереносу.

Но в нашем случае при наличии тонкой пленки теплопереноса не будет, так как нет перепада температур, а есть только низкая температура и излучающий ультрафиолет р-п переход.

Таким образом, так как площадь поперечного сечения р и п полупроводниковых модулей намного больше, чем высота этих модулей или толщина их, то Джоулево сопротивление таких модулей будет стремиться к нулю, и тепловые потери будут тоже сводиться к нулю и ими можно пренебречь. А эффект Пельтье остаётся в полном объёме также как и светоизлучающий эффект. Такой модуль позволяет нам с высокой эффективностью преобразовать электрическую энергию в охлаждающую поверхность и светоизлучающую поверхность в ультрафиолетовом диапазоне. Такая конструкция обладает высокой надежностью и способна круглосуточно работать в составе декомпрессионного опреснителя.

Предложенный вариант конструкции декомпрессионного опреснителя обладает большими преимуществами по сравнению с энергоэффективным опреснителем, предложенным на рис. 1.

С точки зрения энергоэффективности можно привести расчет количества тепла, необходимого для понижения температуры в приведённой формуле (1) за счет изменения температуры при парообразовании.

$$Q_{\text{в}} = cm_{\text{в}}\Delta t \quad (1)$$

где $Q_{\text{в}}$ – количество теплоты для нагрева воды,
 c – теплоемкость воды,
 $m_{\text{в}}$ – масса воды,
 Δt – изменение температуры.

При кипении воды даже при комнатной температуре или температуре окружающей среды будет происходить отбор тепла для парообразования, что приведено в формуле (2).

$$Q_{\text{п}} = \lambda m_{\text{п}} \quad (2)$$

где $Q_{\text{п}}$ – количество теплоты для парообразования,
 λ – удельная теплоемкость,
 $m_{\text{п}}$ – масса пара.

Таким образом, можно оценить какой перепад температур будет достигнут, то есть с каким запасом нужно будет осуществить охлаждение для того, чтобы произошла конденсация полученного пара, формула (3).

$$\Delta t = \frac{\lambda m_{\text{п}}}{cm_{\text{р}}} \quad (3)$$

где Δt – изменение температуры,
 λ – удельная теплоемкость,
 c – теплоемкость воды,
 $m_{\text{п}}$ – масса пара,
 $m_{\text{р}}$ – масса рассола.

Массу рассола можно вычислить по формуле (4):

$$m_{\text{в}} = m_{\text{п}} + m_{\text{р}} \quad (4)$$

где $m_{\text{в}}$ – масса воды,
 $m_{\text{п}}$ – масса пара,
 $m_{\text{р}}$ – масса рассола.

При конденсации основные процессы происходят на полупроводниковой термоэлектрической панели. Энергетический баланс определяется по формуле (5):

$$Q_k = -JPt + J^2Rt - E \quad (5)$$

где Q_k – количество теплоты, отводимой при конденсации,

J – электрический ток,

P – коэффициент Пельтье,

t – время,

R – электрическое сопротивление полупроводниковой термоэлектрической панели,

E – энергия ультрафиолетового излучения.

Приведённые математические соотношения подтверждают энергоэффективность декомпрессионного опреснителя с ультрафиолетовым облучением.

Вывод. Данная установка может быть использована в перспективе для получения медицинских препаратов в фармакологии, где выпаривание концентратов не допускает высоких температур. А также может быть использована в парфюмерной промышленности для получения различных ароматов, где также недопустима высокая температура при выпаривании концентрированных жидкостей.

Имеются перспективы для использования в химической промышленности в различных технологических процессах.

Декомпрессионный полупроводниковый термоэлектрический опреснитель с ультрафиолетовым облучением будет использоваться для получения пресной воды и концентрированных растворов из любых водных растворов, а также переработки сточных вод промышленных предприятий с одновременной дезинфекцией бактерий и вирусов. 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. Челушкина Т.А., Челушкин Д.А. Высокоэффективные полупроводниковые термоэлектрические устройства и приборы. – Махачкала: ИПЦ ФГБОУ ВПО «ДГТУ», 2014. –112 с.
6. 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.
7. 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., Челушкна Т.А. // Оpubл. 20.09.2016.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Гаджиева С.М. Многослойное излучающее термоэлектрическое устройство // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2013.- №1. С.90-93.
12. 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.

13. 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.

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

References:

1. Ismailov T.A. Termoelektricheskiye poluprovodnikovyye ustroystva i intensifikatory teploperedachi. – S.-Pb.: OAO «Izdatel'stvo «Politehnik»», 2005. – 534 s. [Ismailov T.A. Thermoelectric semiconductor devices and heat transfer intensifiers. - S.-Pb.: OJSC Polytechnic Publishing House, 2005. 534 p. (In Russ)]

2. Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M. Termoelektricheskoye okhlazhdeniye teplovydelyayushchikh komponentov mikroelektronnoy tekhniki. – M.: «Akademiya», 2012. – 136 s. [Ismailov T.A., Gadzhiev H.M. Thermoelectric cooling of fuel components of microelectronic equipment. - M.: "Academy", 2012. - 136 p. (In Russ)]

3. Patent RU №2368877. МПК: G01K 7/22. Термостат с дискретными полупроводниковыми термоэлектрическими преобразователями / Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M., Gadzhieva S.M., Gafurov K.A. // Opubl. 08.08.2006. Byul. №27. [Patent RU No. 2368877. IPC: G01K 7/22. Thermostat with discrete semiconductor thermoelectric converters / Ismailov T.A., Gadzhiev H.M., Gadzhieva S.M., Gafurov K.A. // Publ. 08/08/2006. Bull. No. 27. (In Russ)]

4. Patent RU №2535597, МПК: F28D 15/06. Способ интенсификации теплообмена в тепловой трубе / Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M. Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D. // Opubl. 20.12.2014. Byul. №35 [Patent RU No. 2535597, IPC: F28D 15/06. The method of intensification of heat transfer in a heat pipe / Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Gadzhiev S.M., Nezhvedilov T.D. // Publ. 12/20/2014. Bull. No. 35 (In Russ)]

5. Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M. Chelushkina T.A., Chelushkin D.A. Vysokoeffektivnyye poluprovodnikovyye termoelektricheskiye ustroystva i pribory. – Makhachkala: IPTS FGBOU VPO «DGTU», 2014. –112 s. [Ismailov T.A., Gadzhiev H.M. Chelushkina T.A., Chelushkin D.A. Highly efficient semiconductor thermoelectric devices and devices. - Makhachkala: CPI FSBEI HPE DGTU, 2014. 112 p. (In Russ)]

6. Patent RU №2156424. МПК: F28D7/10, F28D21/00. Термоэлектрический полупроводниковый теплообменник / Ismailov T.A., Magomedov K.A., Gadzhieva S.M., Muradova M.M. // Opubl. 20.09.2000. [Patent RU No. 2156424. IPC: F28D7 / 10, F28D21 / 00. Thermoelectric semiconductor heat exchanger / Ismailov T.A., Magomedov K.A., Gadzhieva S.M., Muradova M.M. // Publ. 09/20/2000. (In Russ)]

7. Patent 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 / Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M., Gafurova Z.M., Chelushkin D.A., Chelushkina T.A. // Opubl. 20.09.2016. [Patent RU No. 2575650. IPC: 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 / Ismailov T.A., Gadzhiev H.M., Gafurova Z.M., Chelushkin D.A., Chelushkina T.A. // Publ. 09/20/2016. (In Russ)]

8. Patent RU №2405230, МПК: H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. Способ отвода тепла от тепловыделяющих электронных компонентов в виде излучения / Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. // Opubl. 01.06.2009. Byul. №33. [Patent RU No. 2405230, IPC: H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. The method of heat removal from heat-generating electronic components in the form of radiation / Ismailov T.A., Gadzhiev H.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. // Publ. 06/01/2009. Bull. No. 33. (In Russ)]

9. Patent RU №2205279, МПК: F01P3/20. Термоэлектрический автомобильный радиатор / Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M., Zarat A., Gafurov K.A. // Opubl. 27.05.2003. Byul. №27. [Patent RU No. 2205279, IPC: F01P3 / 20. Thermoelectric automobile radiator / Ismailov T.A., Gadzhiev H.M., Zarat A., Gafurov K.A. // Publ. 05/27/2003. Bull. No. 27. (In Russ)]

10. Patent RU №2098725, МПК: F25B21/02, H01M10/50. Способ охлаждения объекта каскадной термоэлектрической батареей и устройство для его осуществления / Manukhin V.V., Dubinin N.I., Kolobayev V.A., Kudryavtsev A.V., Volkov V.YU., Markovskiy M.A. // Opubl. 10.12.1997. [Patent RU No. 2098725, IPC: F25B21 / 02, H01M10 / 50. A method of cooling an object with a cascade thermoelectric battery and a device for its implementation / Manukhin V.V., Dubinin N.I., Kolobaev V.A., Kudryavtsev A.V., Volkov V.Yu., Markovsky M.A. // Publ. . 12/10/1997. (In Russ)]

11. Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M. Gadzhieva S.M. Mnogosloynoye izluchayushcheye termoelektricheskoye ustroystvo // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy Rossii. Radioelektronika. – 2013. - №1.- S.90-93. [Ismailov T.A., Gadzhiev H.M. Gadzhieva S.M. Multilayer emitting thermoelectric device // News of higher educational institutions of Russia. Radio Electronics 2013. No. 1. pp.90-93. (In Russ)]

12. Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M. Gadzhieva S.M. Tonkoplenochnyye termoelektricheskiye ustroystva s otvodom tepla v vide izlucheniya dlya okhlazhdeniya mikrosistemnoy tekhniki // Nauchnoye priborostroyeniye. - 2013. – T.23. - №3. - S.120-124. [Ismailov T.A., Gadzhiev H.M. Gadzhieva S.M. Thin-film thermoelectric devices with heat dissipation in the form of radiation for cooling microsystem technology // Scientific instrument making. - 2013. Vol.23. No. 3. pp. 120-124. (In Russ)]

13. Patent RU №2507613. МПК: G12B 15/06, H01L 23/34, H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. Каскадное светоизлучающее термоэлектрическое устройство / Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M., Gadzhieva S.M., Nezh-

vedilov T.D., Chelushkina T.A. // Opubl. 20.02.2014. Byul. №5. [Patent RU No. 2507613. IPC: G12B 15/06, H01L 23/34, H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. Cascade light-emitting thermoelectric device / Ismailov T.A., Gadzhiev H.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. // Publ. 02/20/2014. Bull. No. 5. (In Russ)]

14. Ismailov T.A. Gadzhiev KH.M. Mikroelektronnyye komponenty s integral'nyim ispol'zovaniyem effekta Pel't'ye i opticheskogo izlucheniya. – Makhachkala: IPTS FGBOU VO «DGTU» [Ismailov T.A. Hajiyeve H.M. Microelectronic components with integrated use of the Peltier effect and optical radiation. - Makhachkala: CPI FSBEI HE "DSTU" 112 p. (In Russ)]

Сведения об авторах:

Гаджиев Хаджимурат Магомедович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники; e-mail: gadjiev.xad@mail.ru

Гаджиев Даниял Солтанович, аспирант, кафедра теоретической и общей электротехники; e-mail: danik.g.s@mail.ru

Курбанов Ислам Магомедович, аспирант, кафедра теоретической и общей электротехники; e-mail: m.i.kurbanow@mail.ru

Information about the authors:

Hadzhimurat M. Gadzhiev, Cand.Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Radio Engineering, Telecommunications and Microelectronics; e-mail: gadjiev.xad@mail.ru

Daniyal S. Gadzhiev, Postgraduate, Department of Theoretical and General Electrical Engineering; e-mail: danik.g.s@mail.ru

Islam M. Kurbanov, Postgraduate, Department of Theoretical and General Electrical Engineering; e-mail: m.i.kurbanow@mail.ru

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 03.09.2019.

Принята в печать 27.09.2019.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 03.09.2019.

Accepted for publication 27.09.2019.