

ПЕРСПЕКТИВНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ОПОЛЗОТВОРЯВАНЕ НА МОРСКИЯ РЕСУРС

Силвия Лецковска, Камен Сейменлийски, Елдар Заеров, Радослав Симеонов
Бургаски свободен университет

PROSPECTIVE TECHNOLOGIES FOR IMPLEMENTATION OF THE MARINE RESOURCE

Silviya Letskovska, Kamen Seymenliyski, Eldar Zaerov, Radoslav Simionov
Burgas Free University

Abstract: *This article discusses the desalination of sea water. The focus is on the use of renewable energy for the desalination of sea water. Existing desalination plants from the Black Sea have been studied.*

Key words: *desalination, seawaters, membranes, reversible osmosis, renewable energy sources.*

Въведение

Водата има определящо значение за съществуването на живота. Много страни по света, особено развиващите се страни и страните от региона на Близкия изток, страдат от недостиг на прясна вода. По данни на ООН една трета от населението на света живее в страни с недостатъчно сладка вода за населението. Следователно, питейната вода с приемливо качество се е превърнала в оскъдна стока.

Общите световни запаси от вода са 1,4 милиарда km^3 , от които около 97,5% са в океаните, а останалите 2,5% са сладка вода, присъстваща в атмосферата, снежните покривки на планините и подземните води. От общото количество само 0,014% е пряко достъпно за хора и други организми. Това показва, че са необходими огромни усилия за осигуряването на нови водни ресурси, за намаляване на водния дефицит в страните, които имат недостиг на питейна вода.

Съгласно насоките на Световната здравна организация (СЗО) допустимото ограничение на солеността в питейната вода е 500 ppm (parts per million), а за специални случаи – до 1000 ppm.

По-голямата част от наличната вода на земята има соленост до 10 000 ppm, а морската вода обикновено има соленост в диапазона от 35 000–45 000 ppm под формата на общо разтворени соли.

Обезсоляването е процес, при който водата се разделя на две части, едната с ниска концентрация на разтворени соли, която се нарича сладка вода, а другата с много по-висока концентрация на разтворени соли, която е обикновено се нарича саламурен концентрат.



Обезсоляването на морската вода се превърна в един от най-важните търговски процеси за осигуряване на прясна вода за много общности и индустриални сектори, които играят решаваща роля в социално-икономическото развитие в редица развиващи се страни, особено в Африка и някои страни от региона на Близкия Изток, които страдат от недостиг на прясна вода.

Развива се широка научноизследователска и развойна дейност, особено в областта на технологиите за възобновяема енергия, за намиране на нови и осъществими методи за производство на питейна вода. Понастоящем в света работят повече от 7500 инсталации за обезсоляване, които произвеждат няколко милиарда галона вода на ден. Петдесет и седем процента са в Близкия изток.

Поради това, че централите използват изкопаеми горива, процесите са скъпи и водят до замърсяване на околната среда.

От друга страна, в много райони липсват изкопаеми горива и достатъчно електроснабдяване. В тази връзка изграждането на компактни маломерни системи за обезсоляване на водата се оказва наложително.

Известно е, че обезсоляването с използване на топлинната слънчевата енергия е жизнеспособен метод за производство на прясна вода от солена вода в отдалечени места. Използването на чист природен енергиен ресурс в процесите на обезсоляване на водата значително ще намали замърсяването, което причинява глобално затопляне.

Разработени са различни процеси за обезсоляване, някои от които в момента са в процес на изследвания и разработки. Най-широко прилаганите могат да бъдат разделени на два вида: термични процеси и мембранни процеси.

Освен това съществуват алтернативните технологии на охлаждане и йонен обмен, които не се използват широко. Всички те използват или конвенционална енергия, или енергия от възобновяем източник.

Термичното обезсоляване, често наричано дестилация, е един от най-древните начини за пречистване на морска вода и солена вода за превръщането и в питейна. Той се основава на принципите на кипене или изпаряване и кондензация. Водата се нагрява, докато достигне състояние на изпаряване. Необходимата топлинна енергия се произвежда в парогенератори, котли за отпадна топлина или чрез извличане на пара под налягане от турбини в електроцентралите. Най-често срещаните процеси за термично обезсоляване са:

- многостепенна дестилация (MSF);
- високоефективна дестилация (MED);
- компресия на пара (VC);
- когенерация;
- обезсоляване на слънчева вода.

Установките за многостепенна дестилация са сравнително прости за изграждане и експлоатация. Многостепенната дестилация позволява морската вода да претърпи многократно кипене, без да се подава допълнителна топлина след първия ефект.

Ефективността на производителността на инсталациите при високоефективната дестилация MED е по-висока от тази в инсталациите за MSF; процесът протича при по-ниски температури от порядъка на 70⁰ С.

Процесът на изпаряване с компресия на пара (VC) се използва в комбинация с друг процес, такъв като MED и еднократно компресиране с пара. При този процес топлината за изпаряване на морската вода идва от компресирането на парите.

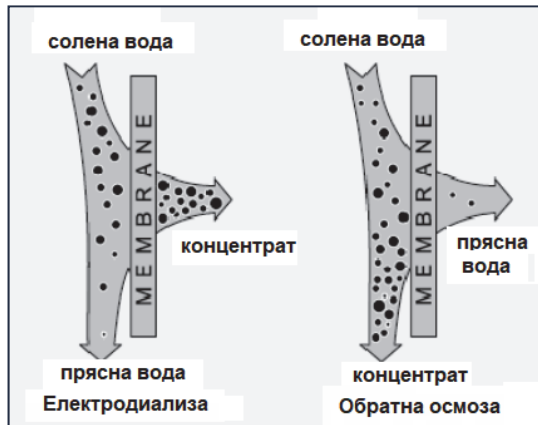
Простотата и надеждността на работата на инсталациите ги прави привлекателни за изграждането на малки обезсоляващи системи. Те обикновено са с капацитет от 3000 m³/ден и често се използват за курорти, промишлени отрасли и сондажи, на места, в които сладката вода не е лесно достъпна. Ниската работна температура на VC процесът го прави прост и ефективен по отношение на необходимата мощност. Ниските работни температури (под 70 °C) намаляват образуването на корозия в тръбите.

Възможно е използването на енергия в системи с когенерация, в които енергийните източници могат да изпълняват няколко различни функции, такива като производство на електрическа енергия и обезсоляване на водата.

По-голямата част от обезсолената питейна вода и електричество в страните от Арабския залив и Северна Африка се произвеждат от когенерационни инсталации, свързани с многостепни инсталации за бързо обезсоляване, работещи с морска вода. Въпреки че други процеси на дестилация, като термичната компресия на парите и MED, започват да намират своя път на пазара, процесът на MSF все още се счита за основен в индустрията за обезсоляване.

Мембранната технология включва няколко процеса, като основната разлика между тях се състои в размера на образуванията, йоните, молекулите и суспендираните частици, които се задържат от мембраните или преминават през тях. При тази технология проблемите с корозията на материала са значително по-малко в сравнение с процесите на MSF и MED. Използват се повече полимерни материали, и по-малко метални сплави.

Електродиализата (ED) е процес на електрохимично разделяне, който използва електрически заредени мембрани за обмен на йони с разлика в електрическия потенциал като движеща сила (Фиг. 1).



Фиг. 1. Технологии за опресняване на морска вода – електролиза и с използване на обратна осмоза.

Процесът е свързан с факта, че при повечето соли, разтворени във вода, има положително (катиони), или отрицателно (аниони) заредени йони, които мигрират към електродите с противоположен електрически заряд.

Мембраните могат да бъдат конструирани така, че да позволяват селективно преминаване на катиони или аниони. Използването на този метод за обезсоляването на вода с концентрация на разтворени твърди вещества над 30 g/l, подобно на морската вода, е възможно, но не е икономически изгодно.

Мембранна дестилация е основа на използването на хидрофобни мембрани, пропускливи само за изпарения, като по този начин се изключва преход на течна фаза и потенциални разтворени частици (Фиг. 1). Процесът на MD изисква хранващата вода да бъде чиста по отношение на органични замърсители, което обяснява ограниченото използване на този метод.

Редица други процеси са използвани за обезсоляване на водата, но никой не е постигнал толкова високи производствени резултати като многоетапната дестилация MSF.

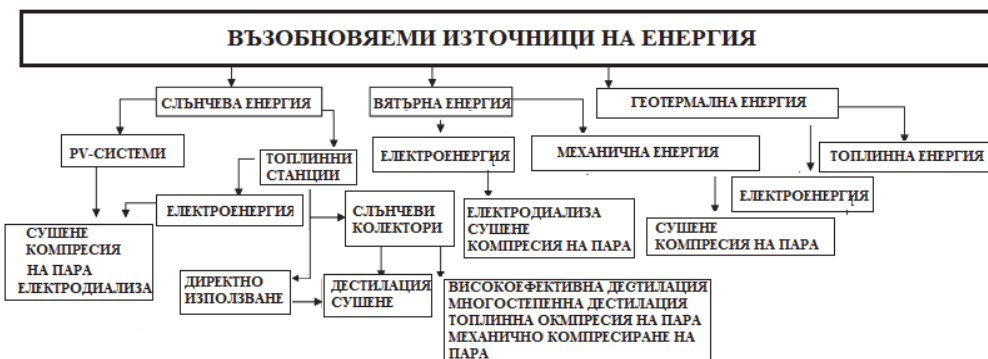
Алтернативен процес за обезсоляване на морската вода е охлаждане на водата до образуване на кристали при контролирани условия. Може да се произвежда много чиста питейна вода и има специални предимства за производство на вода за напояване.

Друг алтернативен процес е използване на йонообменни мембрани за обезсоляване на морска и солена вода и при пречистване на промишлени отпадни води. За съжаление, този процес не е подходящ за обезсоляване на солена или морска вода, просто защото разходите му са прекомерни.

I. ИЗПОЛЗВАНЕ НА ВЪЗБНОВЯЕМА ЕНЕРГИЯ ЗА ОБЕЗСОЛЯВАНЕ НА МОРСКА ВОДА

Потенциалното използване на възобновяема енергия като чиста енергия за в експлоатацията на малки инсталации за обезсоляване в отдалечени обекти привлича все повече вниманието на специалистите през последните години.

Съчетаването на възобновяеми енергийни източници – като слънчева, вятърна и геотермална енергия със системи за обезсоляване представлява голям интерес по отношение справянето с недостига на вода и представлява потенциал за жизнеспособно решение на изменението на климата и недостига на вода.



Фиг. 2. Възможни технологични комбинации на основните възобновяеми източници на енергия и методите за опресняване на вода.

По-голямата част от системите за обезсоляване, които използват възобновяем източник на енергия, могат да бъдат разделени на три категории: вятърна, слънчева – (фотоволтаици или слънчеви колектори) и такива, които използват геотермална енергия.

Тези възобновяеми източници на енергия могат да бъдат съчетани с термична дестилация или мембранни системи за обезсоляване.

В някои случаи тези системи са свързани с конвенционален източник на енергия (например локална електрическа мрежа), за да се сведат до минимум отклоненията в нивото на производство на енергия и съответно производството на вода.

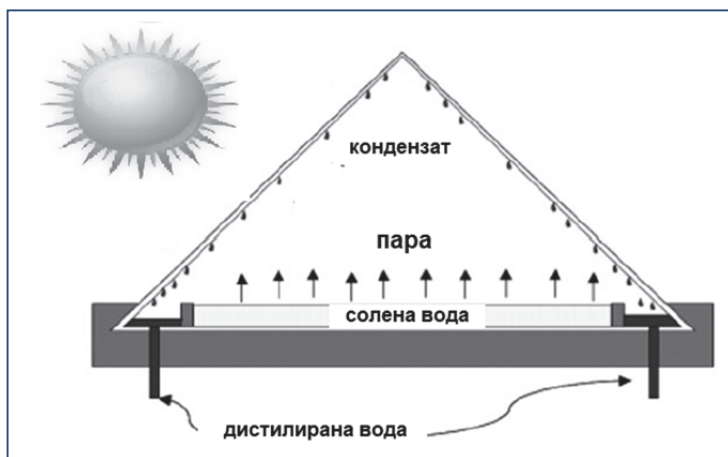
Ако възобновяемите енергийни източници се използват за експлоатация на централите за реконструкция, разходите драстично нарастват.

Слънчевата енергия се използва най-много, в сравнение с другите възобновяеми енергийни източници.

Слънчевата енергия може да се използва за преобразуване на солена вода в прясна вода със сравнително несложна и икономична технология, така че тя е подходяща за малки общности, селски райони и райони, където нивото на доходите е много ниско. Последните разработки показват, че процесите на обезсоляване със слънчева енергия са по-добри от алтернативните технологии.

Възможните технологични комбинации на основните възобновяеми източници на енергия и методите за опресняване на вода са показани на Фиг. 2.

Процесите на обезсоляване със слънчева енергия обикновено се разделят на две категории – директни и индиректни системи.



Фиг. 3. Инсталация тип Слънчевият басейн.

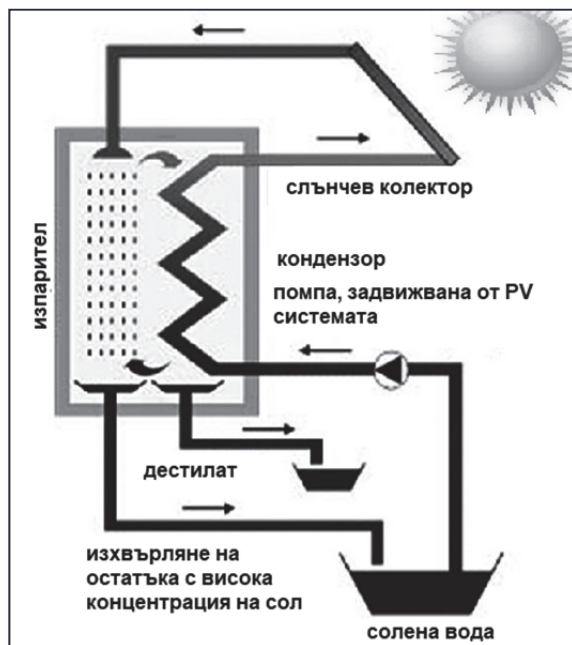
Директни системи са тези, при които процесите на нагряване и обезсоляване протичат естествено в едно и също устройство.

Слънчевият басейн работи като капан за слънчева радиация, която преминава през прозрачен капак (Фиг. 3). Слънчевата енергия навлиза в устройството през наклонен прозрачен стъклен или пластмасов панел и загрява съд със солена вода. Басейнът обикновено е черен, за да абсорбира по-ефективно енергията.

Загрялата вода се изпарява и след това се кондензира върху по-студените стъклени панели. Капчиците кондензат се стичат по панелите и се събират за използване като прясна вода.

В индиректните системи системата е разделена на две подсистеми – слънчев колектор и обезсоляващ блок.

Слънчевият колектор може да бъде плоска плоча, тръба или слънчев концентратор и може да бъде свързан с всеки от описаните по-горе типове дестилационни единици, които използват принципа на изпаряване и кондензация, като многостепенна дестилация (MSF), високоефективна дестилация (MED) и мембранна дестилация (MD) за възможни комбинации от термично обезсоляване със слънчева енергия. Системите, които използват фотоволтаични устройства, са склонни да генерират електричество, за да управляват процеси за обезсоляване, примерно чрез електродиализа.



Фиг. 4. Дестилационна система със слънчев колектор.

Проведени са много проучвания за обезсоляване с помощта на овлажняване – обезводняване с различен тип произведени устройства.

Принципът на този процес на обезсоляване се основава на изпарението на водата и кондензацията на пара от влажен въздух. Влажният въздух тече в посока на часовниковата стрелка, задвижван от естествена конвекция между кондензатора и изпарителя, както е показано на Фиг. 4.

В този пример изпарителят и кондензаторът са разположени в един и същ термично изолиран елемент. Морската вода се нагрява в изпарителя и се разпределя бавно, докато се стича надолу. Въздухът се движи в обратен поток към остатъчния концентриран разтвор през изпарителя и се насища с влажност. Частичното изпарение охлажда солената вода, която е останала в изпарителната единица с по-висока концентрация на сол, докато наситеният въздух се кондензира върху плосък топлообменник.

II. ТЕХНОЛОГИИ ЗА ОБЕЗСОЛЯВАНЕ НА ВОДА ОТ ЧЕРНО МОРЕ

Черноморската вода по химичен състав значително се различава от водата на другите морета. Основният компонент на морската вода е натриев хлорид, а в състава присъства и калциев карбонат, магнезиев сулфат и др. Солите във водната среда са под формата на йони като хлориди, флуориди, бромиди и йодиди. Така в 1 kg морска вода от повърхността на Черно море има около 0,025 g бром, 0,0006 g флуор, разтворен в морето и 0,00002 g йод. Една отличителна черта на черноморските води, разположени на големи дълбочини, е наличието на хидросулфиди в тях.

Водата на Черно море има средна алкалност около 3,33 mg Eq/L, рН на повърхностните води на Черно море варира от 8,1 до 8.5. Минималната стойност на рН се наблюдава през зимата, а максималната – през лятото. Най-разпространен разтворен газ е азотът, съдържанието му е 15,9 mg/l, съдържанието на кислород е по-малко, 10 mg/l в повърхностния слой.

В условията на Черно море е използвана технологията на механично компресиране на пара (VC) за обезсоляване, която има редица предимства в сравнение с основния си конкурент – обратната осмоза.

Технологията, използваща механичното компресиране, осигурява значително по-добро качество на водата. Освен това установките не изискват регулярно техническо обслужване от страна на фирмата, производител на мембрани.

Разработен е математически модел за определяне на оптималните режими на работа на опреснителни установки с механическо компресиране на пара при различна соленост на водата, съответстваща на различни морета и заливи.

Този модел дава възможност да се оцени стойността на опресняване на водата за условията на Черно море.

$$BPE=((CX+B)X+A)X \quad (1)$$

Този параметър може да се определи с помощта на система уравнения (2):

$$A=(4,02 \cdot 10^{-6}T + 1,883 \cdot 10^{-4})T + 8,25431 \cdot 10^{-2} \quad (2)$$

$$B=(-5,2 \cdot 10^{-7}T + 9,2 \cdot 10^{-5})T - 7,625 \cdot 10^{-4}$$

$$C=(-3 \cdot 10^{-8}T - 3 \cdot 10^{-6})T + 1,522 \cdot 10^{-4}$$

Където: BPE – повишаване на температурата на кипене (°C); T – температура на кипене (°C); X – съдържание на сол (%).

Влиянието на солеността на морската вода на върху работата на опреснителната установка се определя с параметър BPE (1) – повишаване на температурата на кипене спрямо с температурата на кипене на прясна вода.

Един от важните фактори, оказващи влияние на себестойността на опреснената вода е съдържанието на сол в изпарителя. Доказано е, че на всяка стойност на солеността на морската вода съответства някаква оптимална стойност на солеността на кипящия разтвор в изпарителя.

Обезсоляването на вода от Черно море с такива установки може да бъде особено полезно за селското стопанство. Проблемът засега е технически – липсват компресори, предназначени за компресиране на водна пара със степен на компресия 1,2 – 1,5 с уплътнения, издържащи при вакуум около 0,8 – 0,9 bar както на входа, така и на изхода. За питейно и битово водоснабдяване в крайбрежните райони на Русия с недостиг на прясна вода методът за обратна осмоза се използва масово за обезсоляване на морска вода. Образуването на слабо разтворими соли в мембранните устройства обаче усложнява работата на тези установки.



Един от най-ефективните методи за предотвратяване на образуването на кристални отлагания по мембраните е дозирането на инхибитори в изходната вода. Направени са проучвания, насочени към сравняване на ефективността на ново разработени и традиционните инхибитори, когато те се използват в схемите за обезсоляване на морската вода (използвайки имитацията на вода на Черно море като пример). Изследванията са свързани с подбор на най-ефективните инхибитори; разработването на възможни схеми за обезсоляване на черноморската вода; определянето на ефективността на инхибиторите; оценка и оптимизация на оперативните разходи и др.

Разработен е проект за доставка на прясна вода за гр. Судак в Крим чрез преработка на морска вода с използване на фотоволтаична система и обратна осмоза. В случай на природни бедствия жителите и почиващите в града ще имат осигурени 10 литра на час за човек при работа на станцията, осигурена от ВИЕ.

Изводи

Разгледаните технологии за обезсоляване на морска вода могат да бъдат успешно приложени за условията на Черно море и в България, т.к. проблемът с недостига на вода засяга и България през последните години. Водата е необходима не само за промишлени и битови нужди, а и за осигуряване на туристическите комплекси.

Литература

- [1] Dimitrios Mentis, George Karalis, Arthouros Zervos, Mark Howells, Desalination using renewable energy sources on the arid islands of South Aegean Seaq Energy 94 (2016) 262-272
- [2] Mahmoud Shatat and Saffa B. Riffat, Water desalination technologies utilizing conventional and renewable energy sources, International Journal of Low-Carbon Technologies 2014, 9, 1–19
- [3] Farbod Esmacilion, Hybrid renewable energy systems for desalination, Applied Water Science (2020) 10:84
- [4] <https://www.membrane-solutions.com/sea-water-desalination.htm>
- [5] Екологична химия, СУ - София, <http://www.dce.uni-sofia.bg/>
- [6] Muhammad TauhaAli, HassanE.S., Fath,PeterR.Armstrong, A comprehensive techno-economical review of indirect solar desalination, Renewable and Sustainable Energy Reviews15(2011)4187–4199
- [7] Долчинков Радостин, Пенка Георгиева, Ефективност на системи за слънчево проследяване, Годишник БСУ, том XXVII, ISBN 1311-221-X, стр. 243 - 255, 2012 г.
- [8] Р. Долчинков, Механизми и машини във ВЕИ, Електронно списание на ЦИТН за компютърни науки и комуникации, бр. 3, ISSN 1314-7846, стр. 31-42, 2013 г.
- [9] Рахматулин, И.Р. Использование возобновляемых источников энергии для очистки воды. / И.Р. Рахматулин // Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых, Екатеринбург, УрФУ, 13-16 декабря. – 2011. – С. 458 – 460.
- [10] Ildar Rakhmatulin. International Journal of Engineering Research & Technology. In IJERT, Vol. 2 – Issue 12 (December - 2013)
- [11] Галимов, Г.А. Изменение водородного показателя pH при водоочистки методом обратного осмоса / Г.А. Галимов, А.Н. Ключарев, А.Н. Королев // Известия Южного Федерального Университета. Технические науки. – 2001. – Том 19. – № 1. – С. 214 – 215.