

Технология и установка опреснения воды с применением ветроэнергетического агрегата

В.В. Багров, заместитель директора, канд. техн. наук,

А.С. Камруков, заведующий отделом, канд. техн. наук,

В.Н. Кострица, ведущий инженер, канд. техн. наук,

В.И. Крылов, директор, канд. техн. наук

Научно-исследовательский институт энергетического машиностроения Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

e-mail: BagrovVV@outlook.com, kamrukov@mail.ru, aerocosmos@list.ru

Ключевые слова:

обратный осмос,
солевой концентрат,
ветроэнергетика,
суперконденсатор,
морская вода.

Представлен инновационный проект применения ветроэнергоагрегатов в установках опреснения морских и солоноватых вод методом обратного осмоса с термической утилизацией солевых концентратов и импульсным ультрафиолетовым обеззараживанием. Внедрение этого проекта обеспечит пресной водой жилые и промышленные объекты, фермерские хозяйства в районах, расположенных вблизи морского побережья или имеющих источники подземных солоноватых вод. При разработке данной установки ставилась цель – получить пресную воду при минимальном расходе солевого концентрата в виде сточных вод, а в ряде случаев исключить его полностью. Представлена техническая характеристика автономной установки для опреснения морской воды производительностью по опресненной воде 50 м³/сутки. Автономная опреснительная установка дает возможность создать модуль импульсного ультрафиолетового обеззараживания воды путем воздействия на нее высокоинтенсивным импульсным ультрафиолетовым облучением широкого спектра и накопитель энергии на базе блока суперконденсаторов, который позволил автономному ветроэлектрическому агрегату использовать энергию флуктуации ветра.

1. Введение

В настоящее время более 70 % населения земного шара испытывает нехватку пресной воды. Это вызвано тем, что запасы именно пресной воды составляют около 0,01 % всех водных запасов нашей планеты. Вместе с тем имеются практически неограниченные запасы морской воды. Естественно, что по мере дальнейшего развития цивилизации будут совершенствоваться технологии опреснения морских и солоноватых вод. Что касается Российской Федерации, то необходимость в опреснении воды наблюдается в Крыму и южных регионах России. Дешевые источники энергии, развитие экономически доступных технологий опреснения морских и солоноватых вод для получения пресной воды могли бы улучшить ситуацию с запасами пресной воды в этих регионах

и обеспечить необходимые условия для создания саморазвивающейся территориальной системы [1].

Опыт показывает, что таким недорогим источником энергии могут быть ветроэнергетические установки. Применение автономных ветроэнергоагрегатов в установках опреснения позволило бы обеспечить пресной водой жилые и промышленные объекты, фермерские хозяйства в районах, имеющих достаточный ветровой потенциал, расположенных вблизи морского побережья или содержащих источники подземных солоноватых вод. Опреснение морских и солоноватых вод сопряжено с производством высокоминерализованных концентратов. Их сброс представляет существенную опасность для окружающей среды. Экологический ущерб в ряде случаев может быть весьма значительным. В данной статье описы-

вается один из вариантов решения задачи опреснения воды, а именно — применение комбинированной ветроэнергетической установки, разрабатываемой МГТУ им. Н.Э. Баумана. При разработке данной установки ставилась цель — получить пресную воду при минимальном расходе солевого концентрата в виде сточных вод, а в ряде случаев исключить его полностью, что обеспечивает реализацию экологически безопасной технологии опреснения воды.

2. Технология, установка, результаты испытаний

На основании проведенного анализа и выполненных расчетов была разработана эскизная конструкторская документация и изготовлен экспериментальный образец комбинированной ветроэнергетической установки (ЭО КВЭУ), блок-схема которой представлена на рис. 1. Исходная вода из скважины или моря подается в блок 1 предварительной очистки, где она с помощью напорных фильтров с песчаной загрузкой очищается от мелкодисперсных примесей. На напорных фильтрах с песчаной загрузкой удаляются частицы размером более 25 мкм. Далее осветленная вода поступает в блок 2 микрофльтрации, где она доочищается с помощью фильтрующих элементов картриджного типа. С блока 5 микрофльтрации вода выходит с размерами частиц менее 5 мкм.

Затем осветленная и доочищенная вода поступает в блок 3 опреснения исходной воды. В фильтрах обратного осмоса блока 3 опреснения исходной воды полупроницаемыми мембранами вода разделяется на два потока: пермеат (обессоленная вода) и концентрат (вода с повышенным содержанием соли). Концентрат из блока 3 опреснения исходной воды поступает в блок 5 опреснения концентрата. В фильтрах обратного осмоса блока 5 концентрат полупроницаемыми мембранами также разделяется на два потока: пермеат и концентрат.

Пермеат из блоков 3 и 5 опреснения исходной воды и концентрата подается в модуль импульсного ультрафиолетового обеззараживания воды (МИУФО), где вода облучается высокоинтенсивным импульсным ультрафиолетовым (УФ) излучением сплошного спектра. Такое воздействие на воду вызывает, как правило, необратимые фотохимические повреждения жизненно важных биологических структур микроорганизмов, не устраняемые внутриклеточными репарационными механизмами, чем достигается высокая эффективность обеззараживания воды по отношению к самым устойчивым (спорным) формам микроорганизмов и вирусов. Эффективность обеззараживания воды не менее 99,99 %. Источником излучения является импульсная ксеноновая лампа. В отличие от традиционных установок УФ обеззараживания воды с ртутными лампами МИ-

УФО работает в полностью автоматическом режиме, обеспечивая гарантированный антимикробный барьер. Новизна решений, примененных в МИУФО, защищена патентом на полезную модель [2].

Из МИУФО вода поступает в накопительный резервуар 9. МИУФО и накопительный резервуар 9 имеют кольцевую магистраль, которая обеспечивает непрерывное обеззараживание воды, хранящейся в резервуаре 9 в случае длительной остановки модуля обратноосмотического опреснения (МОО). Вода из накопительного резервуара 9 поступает к потребителю. При выходе из резервуара за кольцевой магистралью производится кондиционирование воды, т. е. в обеззараженную воду из блока кондиционирования воды

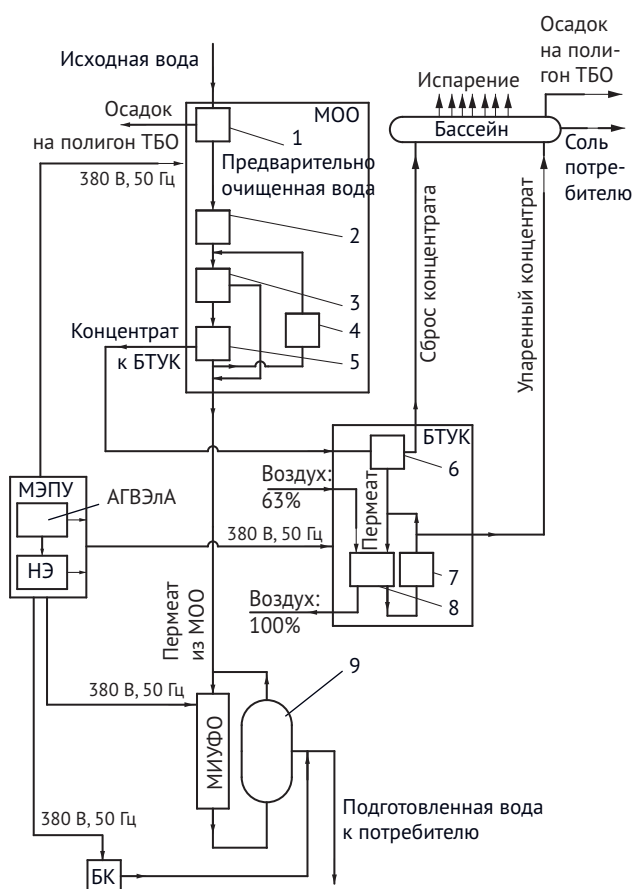


Рис. 1. Блок-схема экспериментального образца комбинированной ветроэнергетической установки

АГВЭЛА — автономный гибридный ветроэлектрический агрегат; БК — блок кондиционирования воды; БТУК — блок термической утилизации концентрата; МИУФО — модуль импульсного ультрафиолетового обеззараживания воды; МОО — модуль обратноосмотического опреснения воды; МЭПУ — модуль электропитания установки; НЭ — накопитель энергии; ТБО — твердые бытовые отходы; 1 — блок предварительной очистки исходной воды; 2 — блок микрофльтрации; 3 — блок опреснения исходной воды; 4 — станция промывки фильтров обратного осмоса; 5 — блок опреснения концентрата; 6 — блок емкости сбора концентрата; 7 — блок емкости промежуточной; 8 — испаритель; 9 — резервуар накопительный

БК добавляется физиологический раствор типа «Северянка» для введения в состав воды полезных веществ, необходимых для нормальной жизнедеятельности человека. Физиологический раствор вводится с помощью насоса-дозатора, работающего в автоматическом режиме. После кондиционирования вода соответствует требуемому качеству и направляется потребителю. Кондиционирование воды осуществляется только при наличии разбора воды потребителем.

Концентрат из блока 5 опреснения концентрата подается в блок термической утилизации концентрата (БТУК), где он собирается в блоке 6 емкости сбора концентрата. Из блока 6 емкости сбора концентрат при помощи повышающего центробежного насоса подается в испаритель 8 и на сброс в бассейн. Для испарения солевого концентрата использовалась вентиляционная испарительная градирня типа ГРД115М. Блок 7 емкости промежуточной и испаритель 8 образуют циркуляционный контур, в котором обеспечивается циркуляция солевого концентрата между испарителем 8 и блоком 7 емкости промежуточной.

При достижении заданной концентрации солевого концентрата его сбрасывают в бассейн. Бассейн имеет накопительную часть, где хранится упаренный концентрат, и рабочую часть, где происходит испарение оставшейся воды в окружающую среду. Рабочая часть бассейна состоит из двух отсеков. В первом отсеке при плотности концентрата от 1,20 до 1,22 кг/л происходит выпадение в осадок карбонатов кальция, магния и гипса, которые успешно можно применить как сырье для строительных материалов. Во втором отсеке бассейна при плотности концентрата свыше 1,24 кг/л выпадает в осадок поваренная соль. Полученная соль фасуется и отправляется потребителю. Следует отметить, что в отличие от сырья из морской воды, в упаренном концентрате отсутствуют примеси ила и песка. Как правило, выход садовой поваренной соли составляет около 75 % от упаренного концентрата [3]. Полученная морская соль в дальнейшем должна реализовываться для индивидуальных ванн и как сырье для медицины и косметики.

Автономность работы комбинированной ветроэнергетической установки обеспечивает модуль электропитания установки МЭПУ, который состоит из автономного гибридного ветроэлектрического агрегата АГВЭЛА и накопителя энергии. МЭПУ питает электроэнергией все блоки и МИУФО. На рис. 2 представлена блок-схема МЭПУ. Принцип действия МЭПУ следующий. При набегании ветрового потока на ветроколесо ветродвигателя 1 вал последнего начинает вращаться и передавать мощность на систему 2 передачи мощности. Здесь происходит увеличение частоты вращения выходного вала системы 2 переда-

чи мощности, как следствие, осуществляется согласование оборотов ветродвигателя 1 и электромашинного генератора 3. Электромашинный генератор 3 преобразует механическую энергию ветродвигателя 1 в энергию трехфазного электрического тока. Потребители (МОО, БТУК, МИУФО, БК) питаются от ВЭУ. Если мощности, вырабатываемой электромашинным генератором 3, и энергии от аккумуляторной батареи 5 будет недостаточно для питания потребителей, то автономный инвертер 6 напряжения включит дизель-генераторную установку 7 для дальнейшего питания потребителей.

Опыт эксплуатации ВЭУ показывает, что энергия ветра, заключенная в кратковременных флуктуациях, может достигать величины 80 % энергии ветра без флуктуаций. Освоение электроэнергии, заключенной во флуктуациях ветра, повысила бы коэффициент полезного действия ВЭУ, как вновь проектируемых, так и существующих. Поэтому в МЭПУ введен накопитель энергии НЭ и проведена доработка контроллера

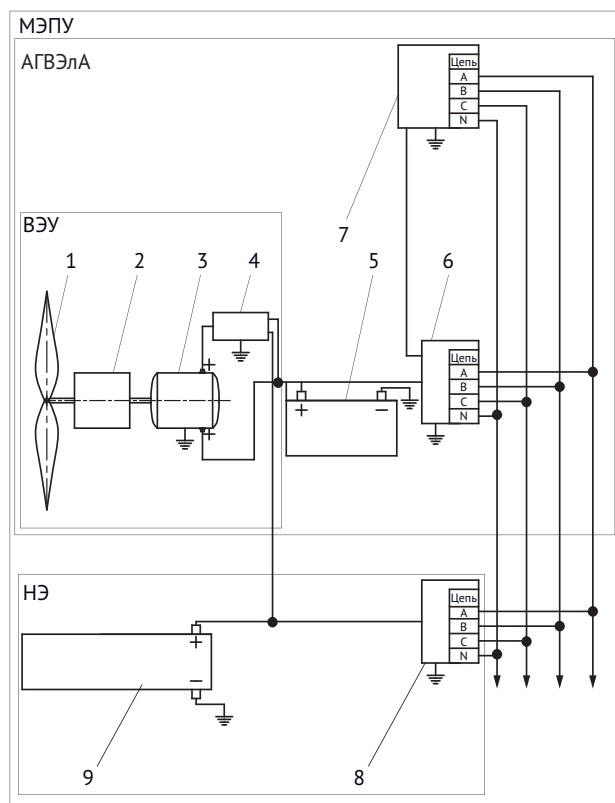


Рис. 2. Блок-схема модуля электропитания установки МЭПУ – модуль электропитания установки; АГВЭЛА – автономный гибридный ветроэлектрический агрегат; ВЭУ – ветроэнергетическая установка; НЭ – накопитель энергии; 1 – ветродвигатель; 2 – система передачи мощности; 3 – электромашинный генератор; 4 – контроллер; 5 – аккумуляторная батарея; 6 – автономный инвертер напряжения; 7 – дизель-генераторная установка; 8 – зарядно-разрядное устройство; 9 – блок суперконденсаторов

4 с целью создать канал для питания блока 9 суперконденсаторов. Накопитель энергии НЭ сглаживает кратковременные флуктуации электроэнергии, вырабатываемой ветроэнергетической установкой ВЭУ, и накапливает энергию, заключенную в кратковременных флуктуациях, в блоке 9 и суперконденсаторов с последующей отдачей электроэнергии в цепь электропитания без кратковременных флуктуаций.

Испытания ЭО КВЭУ проводились на модельной исходной воде (раствор поваренной соли) при следующих условиях:

- температура исходной воды изменялась от +2 до +28 °С;
- напор исходной воды изменялся от 370 до 420 м водяного столба;
- расход исходной воды изменялся от 3,5 до 4,5 м³/ч;
- солесодержание 18 г/л.

В процессе выполненных испытаний было установлено:

- степень конверсии (гидравлический КПД) изменялась от 45 до 61 %;
- расход пермеата изменялся от 1,8 до 2,5 м³/ч;
- солесодержание пермеата изменялось от 57 до 257 мг/л.

Зависимость удельного энергопотребления МОО при различной температуре исходной воды представлена на рис. 3.

Маркерами указаны экспериментальные результаты. Маркеры экспериментальных результатов отличаются по температуре воды

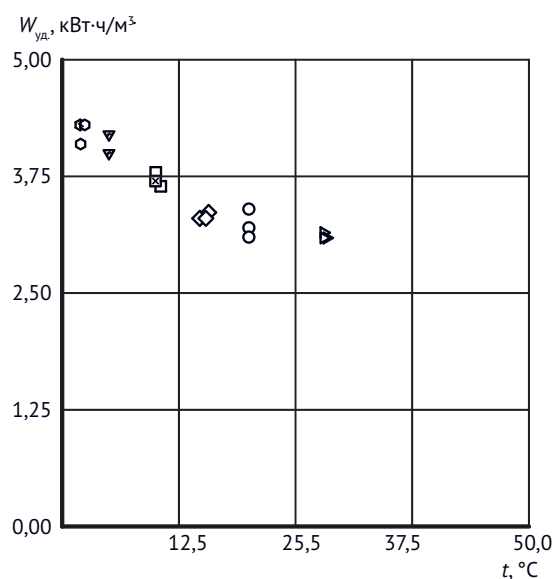


Рис. 3. Зависимость удельного энергопотребления МОО ($W_{уд.}$, кВт·ч/м³) от температуры исходной воды (t , °С)

На рис. 3 видно, что удельное энергопотребление МОО существенно растет с уменьшением температуры исходной воды. Так, при изменении температуры исходной воды от +28 до +2 °С удельное энергопотребление МОО изменяется от 3,1 до 4,3 кВт·ч/м³, что соответствует увеличению энергопотребления МОО на 39 %. Физически это объясняется тем, что при уменьшении температуры исходной воды снижается подвижность молекул воды и в связи с этим возрастает вязкость воды. Что касается уровня удельных энергозатрат на опреснение обратным осмосом по сравнению с другими методами, то этот уровень небольшой. Так, расход теплоты на получение 1 кг пресной воды в одноступенчатом дистилляционном опреснителе составляет около 2400 кДж (или 667 кВт·ч/м³), в многоступенчатых дистилляционных опреснительных установках — от 250 до 300 кДж (или от 70 до 83 кВт·ч/м³) [4]. Согласно экспериментальным данным, представленным на рисунке 3, расход энергии на опреснение 1 кг исходной воды составляет от 11,2 до 15,5 кДж. Такое низкое значение расхода энергии объясняется отсутствием фазового перехода воды в процессе обратнo-осмотического опреснения.

Исследовательские испытания ЭО КВЭУ показали эффективность установки. По результатам испытаний получена техническая характеристика ЭО КВЭУ, которая представлена в таблице.

Таблица

Технические характеристики ЭО КВЭУ	
Наименование параметра	Значение
Производительность по исходной воде (морская вода – Черное море), м ³ /сутки	83,3
Производительность по опресненной воде, м ³ /сутки	50,0
Солесодержание в опресненной воде, мг/л	114,0
Гарантированность водоснабжения, %	98,0
Эффективность обеззараживания очищенной воды, %	99,99
Выход по твердым отходам (сырье для реализации), кг/сутки	220
Выход садовой соли (сырье для реализации), кг/сутки	1250
Выход сточных вод (инертные), м ³ /год	1
Выход твердых бытовых отходов (инертные), кг/год	580

3. Заключение

Предложено перерабатывать упаренный концентрат с целью получить морскую соль с последующей реализацией ее для индивидуальных ванн и как сырье для медицины и косметики, а также для строительства. Дальнейшая переработка упаренного концентрата сводит к минимуму значение общего расхода сточных вод

(1 м³/год — сточные воды от промывки фильтров обратного осмоса), твердых бытовых отходов (580 кг/год — отработанная засыпка кварцевого песка напорных фильтров) и повышает коммерческую привлекательность проекта. Сточные воды и твердые бытовые отходы относятся к инертным веществам. Реализация данного проекта позволяет ликвидировать сброс высокоминерализованных концентратов, которые представляют существенную опасность для окружающей среды.

Применение модуля импульсного ультрафиолетового обеззараживания воды повышает эффективность и надежность обеззараживания воды по сравнению с традиционными методами и впервые полностью автоматизирует процесс получения пресной воды. Использование накопителя энергии на базе блока суперконденсаторов и доработанного

контроллера обеспечивает возможность использовать энергию, заключенную в ветровых флуктуациях. Целесообразна модернизация существующих автономных ветроэнергетических агрегатов для повышения их мощности с применением описанной технологии. Проведены исследовательские испытания экспериментального образца комбинированной ветроэнергетической установки, которые показали ее высокие технические характеристики.

Работа выполнена за счет субсидии Минобрнауки России (Соглашение 14.577.21.0123 от 20 декабря 2014 г. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI57714X0123) и средств индустриального партнера — ООО «Товарищество энергетических и электромобильных Проектов».

ЛИТЕРАТУРА

1. Басков В.Н., Камянчук А.Б. Сельское сообщество XXI века: Пути развития / В.Н. Басков, А.Б. Камянчук. Ирбит: ИД «Печатный вал», 2008. 25 с.
2. Патент на полезную модель № 161633 РФ МПК С02F 1/32 / Автоматическая установка для обеззараживания

воды / В.П. Архипов, В.В. Багров, И.А. Желаев и др. // Бюл. — 2016. — № 12.

3. Устойчивый западный Крым. Крымские золотые пески. Т. 19. Симферополь: Бизнес-Информ, 2014. — 472 с.
4. Мосин О.В. Установки опреснения морской воды / О.В. Мосин // Журнал СОК. 2011. № 11. С. 22–25.

REFERENCES

1. Baskov V.N., Kamyanchuk A.B. *Sel'skoe soobshchestvo KhKhI veka: Puti razvitiya* [Rural communities of the XXI century: Ways of development]. Irbit: «Pechatnyy val» Publ., 2008. 25 p. (in Russian).
2. Arkhipov V.P., Bagrov V.V., Zhelaev I.A. *Patent na poleznuyu model' № 161633 RF MPK S02F 1/32 / Avtomaticheskaya ustanovka dlya obezrazhivaniya vody* [A utility model

patent number 161 633 RF IPC S02F 1/32 / Automatic installation of water disinfection]. 2016, I. 12. (in Russian).

3. Ustoychivyy zapadnyy Krym. *Krymskie zolotye pesky* [Steady western Crimea. Crimean golden sands]. V. 19. Simferopol': Biznes-Inform Publ., 2014. 472 p. (in Russian).
4. Mosin O.V. *Ustanovki opresneniya morskoy vody* [Plants sea water desalination]. *Zhurnal SOK* [Journal of SOK]. 2011, I. 11, pp. 22–25. (in Russian).

Technology and Unit for Water Desalination with Use of Wind-Driven Generator

V.V. Bagrov, Ph.D. in Engineering, Deputy Director

A.S. Kamrukov, Ph.D. of Engineering, Head of Department, Scientific Research Institute of Power Engineering, Bauman Moscow State Technical University

V.N. Kostritsa, Ph.D. in Engineering, Lead Engineer, Scientific Research Institute of Power Engineering, Bauman Moscow State Technical University

V.I. Krilov, Ph.D. in Engineering, Director, Scientific Research Institute of Power Engineering, Bauman Moscow State Technical University

The innovative project of application of wind driven generators in units for sea and brackish waters desalination by reversed osmosis method with thermal utilization of salt concentrates and pulse ultra-violet disinfecting has been presented. This project implementation will provide with fresh water residential and industrial facilities, as well as farms in the areas located near the sea coast or having sources of underground brackish waters. This unit development aimed to obtaining fresh water with minimum expense of the salt concentrate in the form of sewage, and in some cases with its complete exception. The technical characteristic of autonomous unit for sea water desalination with performance on desalinated water equal to 50 m³ per day has been presented. Distinctive feature of the autonomous desalination unit is development of a module for pulse ultra-violet disinfecting of water by impact on it with high-intensity pulse ultra-violet wide range radiation and construction of an energy storage device based on a super condensers block which allowed the autonomous wind driven generator to use the energy concluded in wind fluctuations.

Keywords: reversed osmosis, salt concentrate, wind power, super condenser, sea water.