

DOI: 10.24937/2542-2324-2022-1-399-125-129
УДК 629.5.06:628.165

В.Г. Кирикова, П.А. Дмитриев
АО «СПМБМ «Малахит», Санкт-Петербург, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛИКА ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПРОЕКТОВ АТОМНЫХ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК

Объект и цель научной работы. Объектами исследования стали опреснительные установки (ОУ), предназначенные для приготовления из морской воды дистиллята для использования в качестве питательной воды для главной энергетической установки (ГЭУ) атомных подводных лодок (АПЛ) ВМФ РФ, а также в качестве исходной среды для приготовления пресной воды питьевого и бытового назначения. Цель работы – выбор типа ОУ для перспективных АПЛ.

Материалы и методы. В настоящее время в составе АПЛ ВМФ России используются ОУ двух типов – дистилляционные и обратноосмотические. Каждый тип ОУ обладает своими преимуществами и недостатками, и вопрос выбора типа ОУ для перспективных АПЛ становится одним из наиболее актуальных.

Основные результаты. В работе выполнен краткий анализ корабельных систем опреснения морской воды в части технических характеристик и эксплуатационных свойств. Эксплуатационные свойства рассмотрены через проблемные вопросы, возникающие в процессе строительства и эксплуатации.

Заключение. В качестве перспективного направления по созданию опреснительных установок для заказов нового поколения авторы рекомендуют рассматривать обратноосмотические ОУ.

Ключевые слова: дистилляционная опреснительная установка, обратноосмотическая опреснительная установка, проектирование, эксплуатация, атомная подводная лодка, системы.
Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

DOI: 10.24937/2542-2324-2022-1-399-125-129
UDC 629.5.06:628.165

V. Kirikova, P. Dmitriev
Malachite Design Bureau, St. Petersburg, Russia

CONCEPTUAL DEVELOPMENT OF DESALINATION PLANT FOR FUTURE NUCLEAR SUBMARINES

Object and purpose of research. This paper discusses seawater desalination plants for production of distillate to be used as feed water for main engines of Russian nuclear submarines, as well as the basis of potable water for drinking and household needs. The purpose of this work was to select the type of desalination plant for future nuclear submarines.

Materials and methods. Currently, Russian nuclear submarines have two types of desalination plants, i.e. distillers and reverse-osmosis units. Each of these types has its own pros and cons, so the question of desalination plant type selection for future nuclear submarines becomes one of the most relevant.

Для цитирования: Кирикова В.Г., Дмитриев П.А. Определение облика опреснительной установки для перспективных проектов атомных подводных лодок. Труды Крыловского государственного научного центра. 2022; 1(399): 125–129.

For citations: Kirikova V., Dmitriev P. Conceptual development of desalination plant for future nuclear submarines. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2022; 1(399): 125–129 (in Russian).

Main results. This paper briefly analyses marine seawater desalination systems in terms of their performance parameters and operation peculiarities (i.e. construction and operation challenges).

Conclusion. As a promising path for desalination plants of new-generation submarines the authors recommend reverse-osmosis units.

Keywords: distiller desalination plant, reverse-osmosis desalination plant, design, operation, nuclear submarine, systems.

The authors declare no conflicts of interest.

Введение

Introduction

Опреснительные установки предназначены для приготовления из морской воды дистиллята для использования в качестве питательной воды для ГЭУ подводных лодок ВМФ РФ, а также в качестве исходной среды для приготовления пресной воды питьевого и бытового назначения.

В настоящее время на атомных подводных лодках ВМФ России используются дистилляционные и обратноосмотические ОУ. Каждый тип обладает своими преимуществами и недостатками, и в настоящий момент вопрос выбора типа ОУ для перспективных АПЛ становится одним из наиболее актуальных.

В АО «СПМБМ «Малахит» накоплен обширный опыт проектирования систем ОУ, и с учетом опыта эксплуатации различных типов ОУ на АПЛ различных проектов можно аналитически определить наиболее целесообразный путь развития этих систем с точки зрения их применения на перспективных проектах. Рассмотрим последовательно оба варианта ОУ.

Дистилляционные установки

Distiller desalination plants

Дистилляционные ОУ типа ПС используются на заказах ВМФ проектов 941, 945, 949, 971, 885 и их модификаций уже более чем 40 лет. Они зарекомендовали себя как надежные, достаточно простые в эксплуатации и не требующие большого объема технического обслуживания во время работы и в межпоходный период. ОУ данного типа имеют один режим работы: на приготовление дистиллята из морской воды.

В состав оборудования ОУ типа ПС входят агрегат моноблочной конструкции и отдельно расположенное оборудование: дистиллятный насос, рассольный насос, щиты управления, паровая дистанционная арматура, цистерна рассола, трубопроводы и кабельные связи. Разработчиком дистилляционных ОУ является АО «Красный гидропресс».

Обратноосмотические установки

Reverse-osmosis desalination plants

На современных проектах ПЛ также получили первое применение системы опреснения морской воды методом обратного осмоса. Обратноосмотические ОУ применяются на заказах проектов АО «ЦКБ МТ «Рубин» 09551, 09552, 09787 и на модернизированных проектах АО «СПМБМ «Малахит» 971М и 09718.

ОУ данного типа имеют высокую производительность, надежность комплектующих узлов и механизмов и высокий уровень автоматизации и контроля. Такие установки могут работать в двух режимах – на пресную воду и на дистиллят.

В состав оборудования таких ОУ входят: насос подачи заборной воды, система подогрева заборной воды (циркуляционный насос, теплообменный аппарат и бак подогрева).

В настоящий момент ОУ обратноосмотического типа корабельного исполнения разрабатывают:

- ООО «Рокем Сервис» (осуществлены поставки на заказы проекта «Борей», но в изделии применяются комплектующие иностранного производства);
- ЗАО «ЦНИИ СМ» (выполнен ОКР «Осмос» с положительным результатом, создан опытный образец ОУ под требования ВМФ);
- ООО «Винета» (в качестве инициативного разработчика).

По сравнению с дистилляционной ОУ система обратноосмотической ОУ конструктивно проще (см. табл.).

Парокомпрессионные установки

Steam-compression units

В промышленной энергетике и на некоторых проектах АПЛ ВМС стран НАТО нашли применение дистилляционные опреснительные установки, использующие метод сжатия водяного пара – т.н. парокомпрессионные установки.

Таблица. Сравнение основных характеристик опреснительных установок

Table. Desalination plants: comparison of main parameters

Характеристика	Дистиллянтная ОУ типа ПС	Обратноосмотическая ОУ типа РОРО
Производительность, т/сут		
▪ по дистилляту;	от 12,5 до 15	10
▪ по питьевой воде	–	5
Качество дистиллята по NaCl, мг/л, (до ФИ)	не более 1,6	не более 1,0
Температура охлаждающей воды, °С	10–40	–
Расход охлаждающей воды, т/ч	20	–
Давление пара перед ОУ	номинальное или пониженное для ЭУ	–
Расход пара на ОУ, кг/ч	не более 900	–
Потребляемая мощность, кВт		
▪ приборы управления;	0,5	7,5
▪ электронасосы;	3,5	–
▪ система подогрева	–	30
Температура забортной воды, °С	от –2 до +32	от –2 до +32
Габаритные размеры ОУ, мм	1940×1560×1590	1660×1120×1050
Габаритные размеры щита управления, мм	470×740×265	600×210×380
Габаритные размеры щита ДУ, мм	175×345×200	–
Габаритные размеры бака подогрева, мм	–	900×1150×600

В установках этого типа специальный компрессор сжимает вторичный пар, образующийся в испарителе, который при сжатии разогревается до перегретого состояния и поступает в батарею испарителя, где конденсируется в виде дистиллята.

Ожидаемыми преимуществами такого типа ОУ могут быть более низкие удельные энергетические затраты, существенно лучшие массогабаритные характеристики и меньшие уровни шума.

Вместе с тем для парокompрессионных установок необходимо наличие компрессора для водяного пара низких параметров. Кроме того, применяемый в стационарном исполнении парокompрессионных установок способ интенсификации теплообмена испаряемой воды за счет тонкопленочного испарения на теплообменных поверхностях в корабельных условиях не оправдан из-за воздействия вибрации, кренов и дифферентов судна на процесс образования тонкой пленки.

Таким образом, с учетом отсутствия отечественного опыта, данное направление может рассматриваться только в весьма отдаленном будущем.

Выбор на перспективу

Choice for the future

При выборе типа опреснительной установки для перспективных проектов ПЛ необходимо выполнить сравнительный анализ не только их технических характеристик, но и эксплуатационных свойств. Проще всего их рассматривать посредством изучения проблемных вопросов, появляющихся в процессе строительства и при использовании оборудования по назначению.

Для системы ОУ типа ПС к сложностям в процессе создания корабля относится, прежде всего, размещение оборудования в отсеках ПЛ (цистерна рассола емкостью не менее 3 м³, четыре электронасоса с учетом кавитационного запаса, паровой трубопровод с дистанционной арматурой и т.д.).

Анализ опыта эксплуатации ОУ типа ПС на заказах проекта 885 выявил следующие проблемы:

- снижение производительности из-за повышения температуры охлаждающей пресной воды;
- нарушение герметичности уплотнения паровой арматуры (регулирующие и быстрозапорные клапаны);

- выход из строя рассольных электронасосов по причине повышенного накипеобразования на рабочих поверхностях насоса;
- нестабильная работа системы регулирования рассола, дистиллята, пара и, как следствие, повышение уровня рассола, что приводит к длительному рассаливанию установки.

На проектах 09717 и 09718 оборудование ОУ обратноосмотического типа размещается проще, прежде всего, за счет меньших габаритов ОУ, насосов и трубопроводов меньших диаметров ($D_n < 38$). Малые габариты и меньшая номенклатура оборудования, в свою очередь, способствует более удобному обслуживанию ОУ.

Тем не менее обслуживание обратноосмотической ОУ в походе является на порядок более трудоемким по сравнению с ОУ типа ПС, требует значительного объема возимых расходных материалов и определяет более жесткие требования по подготовке личного состава. Отдельным пунктом можно выделить высокий уровень шума высоконапорного насоса.

В настоящее время опыт работы с ОУ обратноосмотического типа на заказах нашего предприятия невелик и ограничивается только работой с ОУ в рамках заводских и приемосдаточных испытаний. Однако из опыта эксплуатации заказов проектов 09551 и 09552 следует, что неисправности в работе, а также ухудшение характеристик в течение похода происходят из-за неполного или несвоевременного выполнения регламентных работ, что, в свою очередь, является следствием более высокой сложности обслуживания таких установок.

Основные предположения

Main assumptions

На основании проведенного анализа можно предположить, что дистилляционные опреснительные установки типа ПС могут рассматриваться в качестве ОУ для перспективных АПЛ только при условии существенной оптимизации конструктивных и схемных решений.

Так, прокачку большой массы охлаждающей воды можно снизить за счет интенсификации теплообмена в конденсаторе (применение оребренных трубок, использование другого типа конденсатора). Предварительные расчеты показывают, что увеличение теплообменной поверхности конденсатора установки ПС2-5 на 4 м^2 с сохранением количества трубок (т.е. только за счет их оребрения) позволит снизить расход охлаждающей воды на 25 %.

Влияние кипения морской воды можно снизить за счет изоляции камеры испарения и нагревательных батарей от корпуса испарителя амортизирующими вставками, как по линии подачи пара, так и по креплению батарей. При проведении модернизации установок типа ПС следует проработать применение конструкций из специальных демпфирующих материалов.

Необходимо отметить, что полезное, на первый взгляд, расширение параметров рабочих сред (давление морской воды и сброса рассола) потребует создания новой номенклатуры регулирующей арматуры с соответствующими требованиями, что обременит доработку изделия дополнительными временными и финансовыми затратами.

В целом следует признать, что за счет ряда конструктивных мероприятий возможно создание дистилляционных батарейных установок типа ПС с улучшенными характеристиками, но даже такие установки вряд ли можно будет назвать новым поколением оборудования.

При создании обратноосмотических установок основным проблемным вопросом остается комплектация установок российскими маложумными насосами высокого давления для каждого типоразмера установки.

Помимо этого, требует решения ряд вопросов:

- эксплуатация ОУ в части применения химических реагентов при регламентных работах по мембранным элементам, в т.ч. в походных условиях;
- регулирование режимов работы установок, изменяющихся при изменении температур и соле-содержания морской воды, при загрязнении мембранных элементов;
- ограниченная бор- и бром-селективность мембран, создание мембран с повышенной селективностью растворов легких металлов;
- значительный объем периодических регламентных работ по насосу высокого давления.

Ключевые выводы

Key findings

Авторы настоящей работы пришли к следующим заключениям:

1. Существующие дистилляционные батарейные опреснительные установки типа ПС (ПС2-2, ПС2-4, ПС3-1, ПС2-5) практически исчерпали технические возможности по существенному улучшению своих характеристик (массогабаритные показатели, ВШХ, увеличение произво-

- дительности, удобства эксплуатации и т.д.). Применение данного типа ОУ в новом проектировании может быть рассмотрено исключительно в составе блока ПТУ и только для приготовления питательной воды.
2. С учетом мирового и частично отечественного опыта, а также принимая во внимание важность отраслевой унификации, в качестве перспективного направления по созданию опреснительных установок для заказов нового поколения следует рассматривать обратноосмотические опреснительные установки. В частности, одним из способов их применения может являться приготовление питательной воды в базе (при выведенной ГЭУ).
 3. Также для перспективных проектов АПЛ могут быть в дальнейшем рассмотрены комбинированные системы из разных типов ОУ, дифференцированных по назначению.

Список использованной литературы

1. Мосин О.В., Игнатов И. Современные технологии опреснения морской воды // Энергосбережение и водоподготовка. 2012. № 4(78). С. 13–19.
2. Герасимов А.В. Применение новых технологических решений при проектировании оборудования водоподготовки // Судостроительная промышленность. Серия: Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. 2010. С. 172–176.
3. Болтенков В.В., Веселов Ю.С., Герасимов А.В. Зависимость технических характеристик судовой обратноосмотической опреснительной установки от района эксплуатации в мировом океане // Судостроительная промышленность. Серия: Технология и организация производства. Судовое машиностроение. Опыт проектирования и создания судовых механизмов. 2010. С. 37–42.

References

1. O. Mosin, I. Ignatov. Modern seawater desalination technologies // *Energoberezhenie i vodopodgotovka (Energy saving and water treatment)*. 2012, № 4(78), pp. 13–19 (in Russian).
2. A. Gerasimov. Application of new design solutions for water treatment equipment // *Sudostritel'naya Promyshlennost'* (Shipbuilding Industry). Series: Technology and organization of production. Marine engineering. Design experience and development of ship machinery. 2010, pp. 172–176 (in Russian).
3. V. Boltenev, Yu. Veselov, A. Gerasimov. Performance parameters of marine reverse-osmosis desalination plant with respect to intended operation area. // *Sudostritel'naya Promyshlennost'* (Shipbuilding Industry). Series: Technology and organization of production. Marine engineering. Design experience and development of ship machinery. 2010, pp. 37–42 (in Russian).

Сведения об авторах

Кирикова Валерия Геннадьевна, начальник сектора АО СПМБМ «Малахит». Адрес: 196135, Россия, Санкт-Петербург, ул. Фрунзе, д. 18. E-mail: Kvg2706@mail.ru.

Дмитриев Петр Андреевич, инженер-конструктор 1-й категории АО СПМБМ «Малахит». Адрес: 196135, Россия, Санкт-Петербург, ул. Фрунзе, д. 18. E-mail: Rao12@yandex.ru.

About the authors

Valeria G. Kirikova, Head of Sector, Malachite Design Bureau. Address: 18, Frunze st., St. Petersburg, Russia, post code 196135. E-mail: Kvg2706@mail.ru.

Petr A. Dmitriev, 1st Category Design Engineer, Malachite Design Bureau. Address: 18, Frunze st., St. Petersburg, Russia, post code 196135. E-mail: Rao12@yandex.ru.

Поступила / Received: 06.09.21
Принята в печать / Accepted: 09.03.22
© Кирикова В.Г., Дмитриев П.А., 2022