

**БЕЗОПАСНЫЕ И БЕЗОТХОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
НА ОСНОВЕ ВОДОРОДНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ*****Р.Н. Шульга¹, И.В. Путилова², Т.С. Смирнова³, Н.С. Иванова²**¹Филиал ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ»

д. 12, ул. Красноказарменная, Москва, 111250, Россия

тел.: +7(903)248-20-56; e-mail: rnshulga@vei.ru

²НИО Научно-образовательный центр «Экология энергетики» НИУ МЭИ

д. 14, ул. Красноказарменная, Москва, 111250, Россия

тел./факс: +7(495)362-79-12; e-mail: putilovaiv@ecopower.ru

³Филиал ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ»

д. 12, ул. Красноказарменная, Москва, 111250, Россия

doi: 10.15518/isjaee.2019.22-27.064-078

Заключение совета рецензентов: 05.07.19 Заключение совета экспертов: 18.07.19 Принято к публикации: 31.07.19

В России остро стоит проблема отработки новых безопасных и безотходных технологий переработки отходов, в частности, она входит в задачи комплексного освоения Арктики. Решить эту проблему можно с помощью технологий водородной электроэнергетики. Проанализирована структура и методика безотходных технологий переработки отходов. Отходы делятся на наиболее распространенные твердые отходы промышленности и жизнедеятельности, включая природные и техногенные (свалки); жидкие отходы, в том числе стоки илов бытовой и дождевой канализации, нефтяных и др. промышленных отходов; фильтрат полигонов, включая свалочные газы; отходы при транспортировке и перегрузке нефтепродуктов и др. Описаны методы и устройства очистки (промышленные судовые установки), их характеристики в условиях Арктики. Данные устройства включают: инсинераторы, установки для очистки стоков и фильтрата сточных вод ТКО, опреснительные установки обратного осмоса с использованием снего- и ледоплавильных установок, установки по очистке и фильтрации дымовых газов с упором на способы электрической очистки, стендеры для погрузочно/разгрузочных работ нефтепродуктов и опасных отходов. Показаны преимущества применения водородных источников и накопителей электроэнергии с использованием СПГ в условиях Арктики как в части энергоэффективности, так и экологии, а также возможности их совместной эксплуатации с судовыми установками переработки отходов. Приведены характеристики твердооксидных и твердополимерных топливных элементов и области их применения. Для наиболее динамично развивающихся твердооксидных элементов даны характеристики в простом и когенерационном циклах, указана область их применения в малой и распределенной энергетике на мощности до 10 кВт. Перечислены характеристики традиционных источников электроэнергии на базе судовых и авиационных газотурбинных установок, работающих на СПГ, которые могут применяться в автономных сетях энергоснабжения арктических объектов. Продемонстрированы преимущества этих установок по удельной мощности по сравнению с дизельными энергоустановками и накопителями. Отмечено, что высокое потребление СПГ и экологические показатели ограничивают применение этих устройств в

*Шульга Р.Н., Путилова И.В., Смирнова Т.С., Иванова Н.С. Безопасные и безотходные технологии с использованием водородной электроэнергетики // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2019;22-27:64-78.



Арктике с учетом затрудненной логистики. Показано, что энергоэффективность водородных накопителей значительно выше традиционных источников, причем если КПД последних повышается с ростом их мощности, то КПД накопителей практически не изменяется во всем диапазоне мощностей.

Ключевые слова: безопасная и безотходная технология; переработка отходов; инсинератор; очистка стока и фильтрата; опреснительная установка; очистка дымовых газов; водородный источник и накопитель

SAFE AND WASTELESS TECHNOLOGIES USING HYDROGEN POWER GENERATION

R.N. Shulga¹, I.V. Putilova², T.S. Smirnova³, N.S. Ivanova²

¹Филиал FSUE "RFNC – VNIITF"

12 Krasnokazarmennaya Str., Moscow, 111250, Russia
tel.: +7 (903) 248 20 56, e-mail: rnshulga@vei.ru

²Research Department – Scientific-Educational Center "Ecology in Power Engineering" of MPEI

14 Krasnokazarmennaya Str., Moscow, 111250, Russia
tel./fax: +7 (495) 362 79 12, e-mail: putilovaiv@ecopower.ru

³Филиал FSUE "RFNC – VNIITF"

12 Krasnokazarmennaya Str., Moscow, 111250, Russia

doi: 10.15518/isjaee.2019.22-27.064-078

Referred 5 July 2019 Received in revised form 18 July 2019 Accepted 31 July 2019

In Russia, the developing new safe and non-waste technologies for processing waste is an complex issue, in particular for development of the Arctic. This problem can be solved with the help of hydrogen electric power technologies. The article analyzes the structure and method of waste-free technologies of waste processing. The waste is divided into: the most common solid waste industry and life, including natural and man-made factors (landfills); liquid waste including sewage sludge household and rainwater, oil and other industrial waste; leachate landfills, including landfill gases; waste during transportation and transshipment of oil products, etc. The methods of purification and industrial shipping equipment and their characteristics for the application at facilities of the Arctic are described. These installations include: incinerators, installations for treatment of sewage and filtrate of sewage of MSW, desalination plants of reverse osmosis and with use of snow and ice melting installations, cleaning and filtration of flue gases with an emphasis on methods of electric cleaning, standers for loading and unloading of oil products and hazardous waste. The article shows the advantages of the use of hydrogen sources and energy storage using LNG in the Arctic both in terms of energy efficiency and ecology, the possibility of their use in conjunction with the above waste treatment plants. The characteristics of solid oxide and solid polymer fuel cells and their applications are presented. For the most dynamically developing solid oxide cells, the article gives their characteristics in simple and cogeneration cycles and presents the scope of their application in small and distributed energy at power up to 10 kW. The characteristics of traditional sources of electricity on the basis of ship and aircraft gas turbine units operating on LNG, which can be used in Autonomous power supply networks of Arctic facilities. Their advantages in terms of specific power in comparison with diesel power plants and storage devices are shown, but high LNG consumption and environmental indicators limit their use in the Arctic, taking into account the difficult logistics.

Comparison of the energy efficiency of traditional sources and hydrogen storage shows significant advantages of the latter, and if the efficiency of traditional sources increases with their power, the efficiency of storage devices does not change in the entire range of capacities. This circumstance makes the use of hydrogen sources and accumulators in the field of small capacities typical for Arctic consumers uncontested, especially taking into account the possibilities for safe and waste-free technology for processing industrial and life waste.

Keywords: safe and waste-free technology; waste treatment; incinerator; purification of runoff and filtrate; desalination plant; flue gas treatment; hydrogen source and storage.





*Роберт Николаевич
Шульга
Robert Shulga*

Сведения об авторе: канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, ВЭИ – филиал ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ».

Образование: МВТУ им. Н.Э. Баумана (1963 г.).

Область научных интересов: ТВН; преобразовательная техника; комплексы электрооборудования.

Публикации: 150, включая 20 патентов.
SPIN РИНЦ: 5136-4188 по РИНЦ 41; xio РИНЦ: 5; Researcher ID: A-9321-2014; Scopus Author ID: 6506511448.

Information about the author: Ph.D. in Engineering, Leading Researcher, VEI – the Branch of the Federal State Unitary Enterprise RFNC – VNIITF.

Education: Bauman Moscow State Technical University, 1963.

Research interests: high voltage equipment; converter equipment; electrical equipment complexes.

Publications: 150, including 20 patents.



*Ирина Вячеславовна
Путилова
Irina Putilova*

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент, заведующая Научно-образовательным центром «Экология энергетики» (НОЦ «Экология энергетики» МЭИ), член редакционной коллегии от России электронного журнала “Coal Combustion and Gasification Products” (www.coalcgj-journal.org).

Награды и премии: победитель конкурса «Мой первый грант» Российского фонда фундаментальных исследований, 2012 г.

Образование: Московский энергетический институт (2001 г.).

Область научных исследований: природоохранные законодательство и технологии в энергетике, проблема обращения с золошлаками энергетики; информационное обеспечение природоохранной деятельности энергопредприятий ТЭК, ЖКХ и других отраслей экономики; повышение квалификации и профессиональная переподготовка специалистов энергопредприятий по направлениям «Теплоэнергетика и теплотехника» и «Электроэнергетика и электротехника».

Публикации: более 90.
ORCID id: <https://orcid.org/0000-0002-2494-4685>
Scopus Author ID: 6505929717

Information about the author: Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Head of the Centre for Science and Education “Ecology of Power Engineering” of MPEI, Member of the Editorial Board from Russia of the Electronic Journal “Coal Combustion and Gasification Products” (www.coalcgj-journal.org).

Awards: winner of the tender “My First Grant”, Russian Foundation for Basic Research, 2012.

Education: Moscow Power Engineering Institute, 2001.

Research interests: environmental protection legislation and technologies in power engineering, coal ash handling; information support of nature protection activity of power utilities of the fuel and energy complex, housing and communal services and other branches of economy; professional development and retraining of specialists of power utilities on Thermal Power Engineering and Electric Power Engineering.

Publications: more than 90.



*Татьяна Сергеевна
Смирнова
Tatyana Smirnova*

Сведения об авторе: ведущий научный сотрудник, ВЭИ – филиал ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ».

Образование: НИУ ВО МЭИ (2013г.)

Область научных интересов: ТВН; моделирование режимов; электрические аппараты; экология.

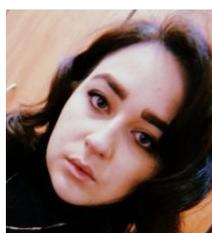
Публикации: более 5.

Information about the author: Leading Researcher, VEI – the Branch of the Federal State Unitary Enterprise RFNC – VNIITF.

Education: MPEI, 2013.

Research interests: high voltage equipment; converter equipment; electrical equipment complexes.

Publications: more than 5.



*Наталья Сергеевна
Иванова
Natalia Ivanova*

Сведения об авторе: магистр НИУ «МЭИ».

Образование: НИУ «МЭИ» (2018 г.)

Область научных интересов: котельные установки; экология энергетики.

Публикации: 2.

Information about the author: Bachelor, MPEI.

Education: MPEI, 2018.

Research interests: boiler plants; ecology of power engineering.

Publications: 2.



1. Введение

Проблема комплексного освоения Арктики становится определяющей в части развития экономики, энергетики, безопасности, экологии и отражена в ряде постановлений Президента и Правительства [1, 2]. Стартовавший в России с января 2017 г. проект «Чистая страна», описанный в [3, 4], особенно актуален для Арктики. Если в статьях [5, 6] разбирались вопросы комплексного освоения и энергообеспечения Арктики, то в настоящей работе затрагивается проблема освоения безопасных и безотходных технологий переработки отходов на основе водородной электроэнергетики. Указанная проблема касается как больших городов-портов, так и малых поселков, приисков, островов, платформ, ГОКов и др. с учетом того, что во многих из них не удалены отходы предыдущей деятельности. Так, на Ямале, Чукотке, ряде островов с 50–60-х гг. XX в. осталось весьма значительное количество строительных, конструкционных и даже радиационных отходов. Таяние вечной мерзлоты, особенно в западной части АЗРФ, большие затраты на логистику, малочисленность коренного населения и преимущественно вахтовый метод освоения заставляют применять новые технологии производства электроэнергии, тепла, водоподготовки на основе водородной электроэнергетики (ВЭЭ) с сжиженным природным газом (СПГ). СПГ соответствует всем существующим нормам выбросов вредных газов без необходимости их дополнительной нейтрализации, поскольку по сравнению с дизельным топливом СПГ обеспечивает сокращение выбросов CO₂ на 25 %, значительное снижение уровня NO_x, SO_x.

Предусмотренное в [2] освоение Севморпути (СМП) с повышением объема перевозок до 80 млн тонн и строительством для этого около 100 крупно-

тоннажных газотопливных судов (ГТС) предусматривает, в соответствии с требованиями экологического контроля и общемировой тенденции, запрет на использование в Арктике флотского мазута и перехода на газомоторное топливо. Для обеспечения перевода на СПГ водного транспорта требуется развитая логическая инфраструктура портов, а также возможность бункеровки ГТС с помощью судов-бункеровщиков с системой хранения и раздачи СПГ.

Другой проблемой энергообеспечения 10 портов по трассе СМП является перевод угольных тепловых электростанций и котельных на СПГ. В связи с этим необходимо создание системы снабжения указанных объектов основным и резервным запасом СПГ в соответствии с [7]. Обе проблемы требуют применения танк-контейнеров автомобильной перевозки, реализуемых по технологии погрузки и разгрузки СПГ.

Использование СПГ в качестве топлива является недостаточно эффективным особенно в условиях Арктики решением ввиду невысокого КПД дизельных и газотурбинных электростанций, а также ухудшения экологии от их применения. Более эффективным, экологически чистым и комплексным решением является ВЭЭ с использованием водородных топливных элементов (ТЭ) по материалам [5, 6].

Цель настоящей статьи заключается в анализе современных решений и средств их реализации для получения безопасных и безотходных технологий выработки электроэнергии, тепла, воды и переработки отходов с применением ТЭ. При этом базовыми являются мобильные установки на основе судовых комплексов, например, освоенные «ЗАО «Безопасные технологии», г. Санкт-Петербург.

Впервые анализировалось использование судовых технологических установок в составе береговых мобильных модульных комплексов жизнеобеспечения.

| Список обозначений | |
|----------------------------------|--|
| <i>Буквы латинского алфавита</i> | |
| <i>I</i> | Сила тока, А |
| <i>P</i> | Мощность, Вт |
| <i>U</i> | Напряжение, В |
| <i>Индексы нижние</i> | |
| <i>x</i> | Множественное значение |
| <i>Аббревиатуры</i> | |
| АБ | Аккумуляторная батарея |
| АЗРФ | Арктическая зона Российской Федерации |
| ВИЭ | Возобновляемый источник электроэнергии |
| ВЭЭ | Водородная электроэнергетика |
| ВЭГ | Водородный энергогенератор |
| ГТА | Газотурбинный агрегат |
| ГТУ | Газотурбинная установка |
| ГПУ | Газопоршневая установка |
| ГТС | Газотопливное судно |
| ГОК | Горно-обогатительный комбинат |
| ГЭУ | Гибридная энергоустановка |
| ДЭУ | Дизельная электроустановка |
| DC | Постоянный ток |
| KЗ | Короткое замыкание |



| | |
|-------------|---|
| КПД | Коэффициент полезного действия |
| КНЭ | Кинетический накопитель электроэнергии |
| КрЭУ | Криогенная энергоустановка |
| МБР | Биореактор анаэробно-бескислородного процесса |
| НПО | Научно-производственное объединение |
| НЭЭ | Накопитель электроэнергии |
| ПГУ | Парогазовая установка |
| СМП | Северный морской путь |
| СПГ | Сжатый природный газ |
| СПУ | Снегоплавильная установка |
| ТКО | Твердокоммунальные отходы |
| ТГ | Турбогенератор |
| ТОТЭ (SOFC) | Твердоокисный топливный элемент |
| ТПТЭ | Твердополимерный топливный элемент |
| ТЭ | Топливный элемент |
| ТЭС | Тепловая электростанция |
| ФКТЭ | Фосфорнокислотный топливный элемент |



2. Структура и методика безотходных технологий переработки отходов

Отходы классифицируются следующим образом: наиболее распространенные твердые отходы промышленности и жизнедеятельности, включая природные и техногенные факторы (свалки); жидкие отходы, в том числе стоки илов бытовой и дождевой канализации, нефтяных и др. промышленных отходов; фильтрат полигонов, включая свалочные газы; отходы при транспортировке и перегрузке нефтепродуктов и др.

Для переработки указанных отходов предлагаются различные отечественные и зарубежные технологические судовые установки.

2.1. Инсинераторы

К первой группе относятся судовые инсинераторы, которые должны соответствовать [8], быть компактными, надежными, работать в условиях качки. Такие инсинераторы обезвреживают твердые и жидкие отходы с производительностью 50 кг в час, а дымовые газы подаются в общий коллектор дымовых газов судна. Фото инсинераторов СП-50 (для переработки твердых отходов) и ИП-50 (для переработки нефтеотходов) приведено на рис. 1 [9].

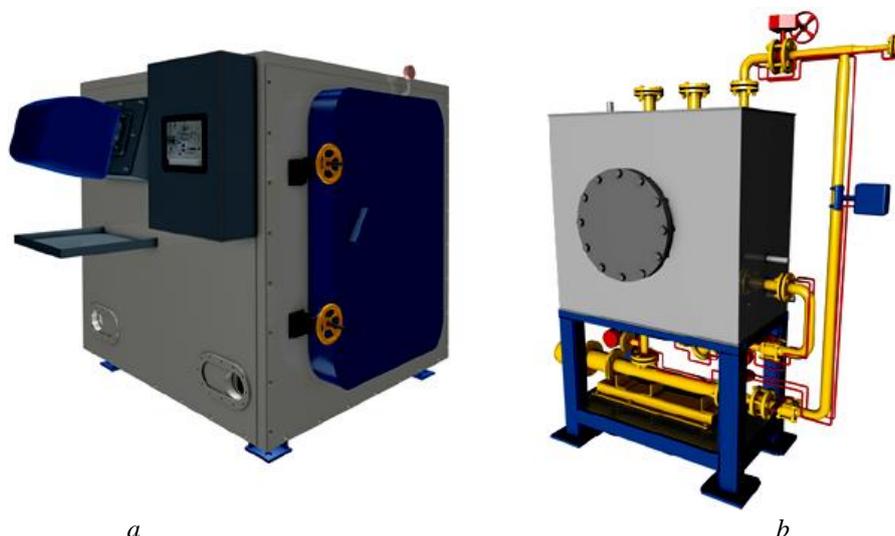


Рис. 1 – Инсинераторы: а – СП-50; б – ИП-50 [8]
Fig. 1 – Insinerators: a – SP-50; b – IP-50 [8]

Принцип работы инсинераторов заключается в следующем. Здесь применена двухступенчатая схема контролируемого высокотемпературного сжигания отходов и дожигания газообразных продуктов в со-вокупности с 2-х ступенчатой системой газоочистки

скруббером и циклоном. Дополнительно инсинератор может быть укомплектован термokatалитической системой очистки отходящих газов и «санитарным» скруббером для улавливания тяжелых металлов.



В качестве топлива используется дизельное или природный газ. Инсинератор имеет автоматическую систему регулирования температуры, которая позволяет оптимизировать расход топлива. Подача отходов в инсинератор производится механизированным горизонтальным загрузочным устройством. Объем загрузки определяется типом инсинератора. Удаление золы производится периодически после 4÷5 циклов сжигания отходов. Количество золы, в зависимости от состава отходов, составляет 5÷10 % исходной массы отходов. Зольный остаток IV класса опасности может быть использован на строительные нужды.

Более совершенной является установка **термического обезвреживания осадков У-50К**, в которой осуществляется пиролиз при температуре 500÷800 °С с последующим прокаливанием пиролизного остатка при температуре 900÷1 000 °С. Температура дожигания дымовых газов равна 1 200÷1 250 °С. Средняя производительность по отходам составляет 47,5 кг в час при среднем потреблении жидкого или газообразного топлива 1,25 кг в час; номинальная мощность установки – 10 кВт; потребляемая мощность – 7 кВт; выход до 5 % золы IV класса [10].

2.2. Судовая установка для очистки стоков

Судовая установка SWCM-50, представленная на рис. 2, содержит биореактор MBR анаэробно-бескислородного процесса и рассчитана на обслуживание 50 чел. в час. Производительность установки

составляет 473 л/ч с потребляемой мощностью 3 кВт и массой 1 450 кг [8].



Рис. 2 – Судовая установка для очистки стоков SWCM-50 [11]

Fig. 2 – Ship's sewage treatment plant SWCM-50 [11]

2.3. Мобильная установка для очистки фильтрата сточных вод ТКО

Мобильная установка для очистки фильтрата сточных вод полигона твердо-коммунальных отходов (ТКО) представлена на рис. 3.



a



b

Рис. 3 – Мобильная установка для очистки фильтрата сточных вод: a – вид внутри контейнера; b – вид снаружи контейнера [12]

Fig. 3 – Mobile plant for treatment of leachate wastewater: a – view inside the container; b – view outside the container [12]

В основу работы станции очистки сточных вод положена мембранная обратноосмотическая технология очистки воды, как одна из наиболее эффективных в сфере водоочистки, в сочетании с технологиями электрохимической обработки сточных вод.

Для полигонов наиболее перспективными являются мобильные блочно-модульные очистные сооружения, позволяющие управлять процессом при изменяющемся в зависимости от этапов жизненного цикла полигона ТКО объеме и составе сточных вод.

Компания «НТЦ» (г. Санкт-Петербург) предлагает обратноосмотическую установку глубокой очистки и обессоливания фильтрата полигона ТКО в полной заводской готовности, размещенную в утепленных 20-ти или 40-ка футовых блок-контейнерах. Возможен мобильный вариант на шасси.

Номинальная производительность установки – от 0,5 до 10 куб.м/сутки по очищенной воде.

Требования к очищенной воде – соответствует требованиям для слива в водоемы рыбо-хозяйственной категории водопользования.

Установка работает в автоматическом режиме [12].

2.4. Опреснительная установка

В опреснительной установке ПРО-0,25 (рис. 4) применяется метод обратного осмоса за счет продавливания соленой воды с уровнем солености до 35 г/л под высоким давлением 6,5 МПа через полупроницаемую мембрану.



Рис. 4 – Опреснительная установка ПРО-0,25 [13]
Fig. 4 – Desalination plant PRO-0,25 [13]

Расход воды составляет 40 л/ч, потребляемая мощность 0,8 кВт, масса 250 кг [13].

2.5. Снегоплавильная установка

Принцип работы снегоплавильной установки заключается в следующем. Снег сбрасывается в приемный бункер, заполненный горячей водой, где он потом будет плавиться. Снег постоянно перемешивается с тальми водами – вода разогревается до тридцати градусов, благодаря теплообменным процессам температура постоянно поддерживается и не падает ниже десяти градусов. При этом средняя температура воды всегда остается примерно на таком уровне, то есть остается слишком теплой для образования льда при сливе.

Для улучшения оперативности процесса плавления перед запуском установки необходимо заполнить бункер установки холодной водой до минимального уровня, так как снежные массы плавятся именно водой из камеры плавления бункера. В некоторых снегоплавильных установках, работающих на жидком топливе, предусмотрена возможность «сухого» запус-

ка. Таким образом, для нормальной работы со снегоплавильной установкой рекомендуется иметь бесперебойный источник холодной воды поблизости.



Рис. 5 – Принцип работы снегоплавильной установки [14]
Fig. 5 – Principle of operation of snow-melting unit [14]

В то время как снежные и ледовые массы опускаются в плавильню и превращаются в воду, уровень воды в бункере поднимается. Избыточная вода проходит через вертикальные дренажные трубы и фильтры, доходя до слива, и оставшиеся талые воды сливаются в сети ливневой канализации. Система также сокращает временные затраты на очистку оборудования и снижает необходимость в привлечении дополнительного рабочего персонала за счет автоматизации процесса.

Установки такого типа работают на одном из двух основных видов топлива: газовом или дизельном. Характерной особенностью этих установок является возможность использования теплового излучения теплообменника – вертикальных труб, подогреваемых горелками, которые установлены в бункере снеготаялки. Это происходит за счет выработки горелками больших потоков выхлопных газов, которые передаются по теплообменнику и распространяются на дно бункера, улучшая тепловой и энергетический КПД установки [14]. Для Арктики наиболее применимы мобильные установки, например, типа СПУ-15 производительностью 15 м³ в час, которые необходимо дополнительно оснастить устройствами минерализации и озонирования. Возможным и более рациональным решением для Арктики является способ вымораживания с последующей водоподготовкой и возможностью получения легкой (протиевой) питьевой воды.

Другим более компактным и недорогим вариантом водообеспечения является получение дистиллированной воды непосредственно с выхода водородного энергогенератора (ВЭГ), что будет показано в разделе 3.

2.6. Очистка и фильтрация дымовых газов

Методы очистки дымовых газов (ДГ) разделяются на: мокрый способ; полусухая абсорбция; сухая абсорбция; фильтрация через слой неподвижного материала; селективная газоочистка. Размеры частиц, которые порождает хозяйственная деятельность человека, изменяются от долей миллиметра до размеров молекул. При этом они находятся в различных агрегатных состояниях:

- в виде мельчайших капель – туман, дым, которых за год в мире выбрасывается порядка 150 млн тонн;
- в виде твердых частиц – это пыль, которая поступает в атмосферу в количестве примерно 1 км^3 по всему миру в целом.

Очистку воздуха или газов от нежелательных мельчайших загрязнений выполняют специальные фильтры, через которые пропускается загрязненный воздух или газ. Взвешенные в нем частицы осаждаются в соответствии с размером и конструкцией фильтра. Для наиболее мелких загрязнителей применяется электростатический фильтр, работа которого основана на взаимодействии заряженных частиц и электродов, создающих электростатическое поле. Это поле заряжает частицы, от которых необходимо избавиться при помощи электрической фильтрации.

Чем дольше очищаемый газ подвергается воздействию поля, тем лучше качество его очистки. Электрическая очистка по энергетической эффективности является одной из лучших. Затраты энергии на создание электростатического поля относительно невелики, а перемещение очищаемого газа через фильтр также требует немного энергии. На $1\ 000 \text{ м}^3$ газа обычно расходуется от $0,1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ до $0,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. Для любого фильтра существует такой параметр как его гидравлическое сопротивление, которое в электростатических очистителях лежит в пределах от 100 Па до 150 Па , что существенно меньше, чем в других конструкциях.

Качество электрической очистки почти стопроцентное. Причем нет существенной разницы в результатах очистки между различными концентрациями загрязненности и размерами фильтруемых частиц. Важными свойствами электрической очистки является возможность обработки влажных газов и химически активных газовых сред с температурами от отрицательных значений до $500 \text{ }^\circ\text{C}$ включительно при значительных обрабатываемых объемах, которые исчисляются сотнями тысяч кубометров.

2.6.1. Особенности электрической очистки

При более низких температурах процесс электрической фильтрации происходит более эффективно. Это объясняется свойствами газов и увеличением влажности. В охлажденном газе частицы испытывают меньшее сопротивление. Коронный разряд в охлажденном газе более устойчив и мощен, что увеличивает пропускную способность фильтра. От скорости движения потока зависят его размеры и скорость процесса электрической фильтрации.

Однако имеются и недостатки. Электростатические фильтры нуждаются в большой стабильности параметров процесса очистки, так как конструктивно они громоздки и металлоемки. Здесь требуется квалифицированный персонал как для сборки, так и для обслуживания. Электростатическое поле слабо заряжает частицы с большим электрическим сопротивле-

нием, поэтому такие разновидности пыли плохо удаляются ими.

В процессе электрической фильтрации могут возникать искры, которые будут воздействовать на фильтруемый газ при его взрывоопасности. В связи с этим очищать таким способом допустимо только негорючие газы и смеси газов. Электрическое поле оказывает на молекулы газа сильное воздействие. Если газы или смеси газов могут вступать в электрохимические реакции с выделением нежелательных продуктов, то их также нельзя фильтровать электрическим способом. Устройство электростатического фильтра показано на рис. 6.

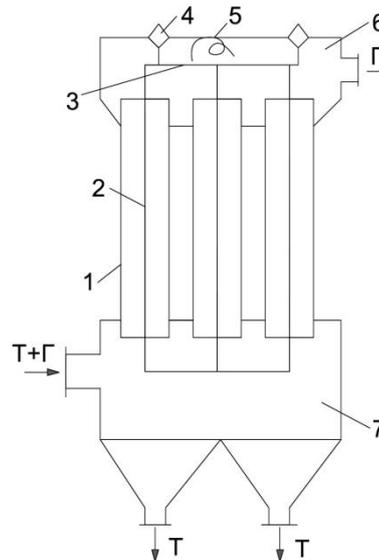


Рис. 6 – Устройство электростатического фильтра [15]:
1 – осадительный электрод; 2 – коронирующий электрод;
3 – рама; 4 – высоковольтный изолятор; 5 – встряхивающее устройство; 6 – верхняя камера; 7 – сборник пыли; Г – газ;
Т – твердые частицы пыли

Fig. 6 – Electrostatic precipitator [15]:
1 – sedimentary electrode; 2 – corona electrode; 3 – frame;
4 – high voltage insulator; 5 – shaking device;
6 – upper chamber; 7 – dust collector; G – gas;
T – dust particles

Коронирующий электрод с постоянным потенциалом быстро сообщает заряд частицам пыли. Эти зарядившиеся частицы в течение нескольких секунд притягиваются к осадительному электроду и остаются на нем в виде слоя пыли. По мере накопления и увеличения толщины слоя на электродах они очищаются встряхиванием или смыванием. Знак заряда на электроде имеет значение. Коронирующий электрод с положительным потенциалом выделяет меньше озона при фильтрации загрязненного воздуха. Однако при отсутствии требований к наличию озона используется коронирующий электрод с отрицательным потенциалом. При этом фильтр функционирует более стабильно, подвижность ионов с отрицательным знаком выше, его электрическая мощность и, следовательно, очистная эффективность также выше.

2.6.2. Конструктивные разновидности электростатических фильтров

Конструктивно фильтр наиболее часто выполняется по коаксиальной схеме, в которой заземленный осадительный электрод охватывает стержень или проволоку, являющейся коронирующим электродом. Между электродами создается постоянное напряжение в пределах от 30 кВ до 60 кВ. Помимо коаксиальной трубчатой конструкции фильтры могут быть изготовлены с пластинчатыми осадительными электродами.

По расположению электростатические очистители воздуха могут быть либо горизонтальными, либо вертикальными. Вертикальные конструкции требуют меньше места для размещения. Горизонтальные фильтры обычно являются многозвенными и применяются для поэтапной очистки. В данном случае определяющим является направление движения очищаемого потока. Способ очистки фильтра от накапливающейся грязи также связан с его конструктивным расположением. Смывание грязи делается в фильтрах с вертикальным расположением (называются «мокрыми»).

ные очистители воздуха очищаются встряхиванием (называются «сухими»). Один из таких промышленных фильтров показан на рис. 7 [15].

В состав конструкции электрофильтров входят также устройства для распределения газа, изоляторные блоки, механизмы удаления накопившейся грязи встряхиванием или смыванием. Некоторые из этих устройств показаны на рис. 7. Следует отметить, что электрическая фильтрация применяется не только на производстве.

2.6.3. Возможные способы очистки с применением электрической фильтрации

Во многих кондиционерах, предназначенных для климатического контроля офисных и жилых помещений, присутствует встроенный электростатический очиститель воздуха. Электрическая фильтрация – это самый эффективный способ борьбы за чистоту воздуха, которым мы дышим.

Другие методы могут предусматривать использование электрической фильтрации сточных вод (см. раздел 2.3) как для получения питьевой воды, так и для выделения (сепарации) тяжелых металлов.

Весьма многообещающим является способ отделения воды от нефти, протекающих в трубе с внутренним токопроводом под постоянным напряжением 30-40 кВ. Указанные методы фильтрации реализованы на опытных установках ТПУ [16].

2.7. Стендеры для погрузочно/разгрузочных операций нефтепродуктов, СПГ и воды

Аварийный разлив нефти в Мексиканском заливе в 2010 г., приведший к огромному экологическому ущербу, заострил внимание на проблеме безопасной добычи и транспортировки нефтепродуктов. Стендер-аппарат осуществляет безопасный слив/налив значительных объемов продукции, в том числе ядовитых и опасных для окружающей среды, в различных погодных условиях, включая обледенение. Важнейшим узлом стендера является разрывная аварийная муфта, обеспечивающая надежный захват манифольда, допускающая перекус и прерывающая перекачку при выходе из штатных условий.

На рис. 8 приведена конструкция стендера С-150 для слива/налива танкеров. Стендер представляет самонесущую конструкцию с противовесами и жесткой пантографической системой [17]. В конструкции предусмотрена замена манжет в шарнирах без их демонтажа. Стендер благодаря простому управлению и низкой цене дает значительный выигрыш сравнительно с транспортировкой по шлангам, не говоря уже об экологической безопасности. Высокая безопасность и коэффициент готовности, простота обслуживания и управления обеспечивают применимость указанной конструкции. Стендер имеет следующие характеристики: диаметр условного прохода 150 мм; рабочее давление 1,6 МПа; пропускная способность 1 600 куб. м/ч; время присоединения 5 мин.;

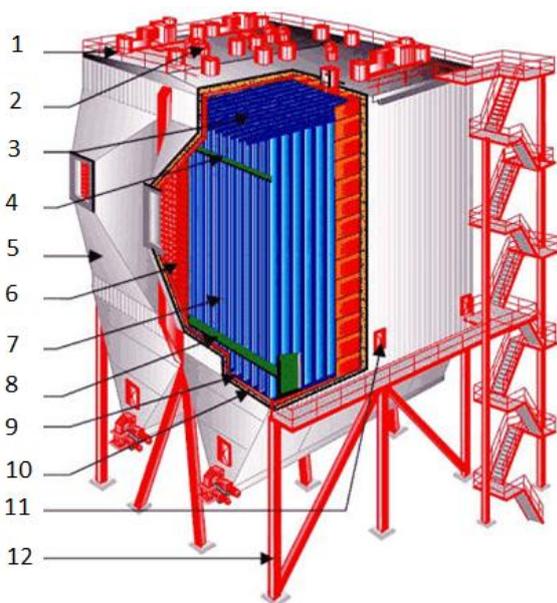


Рис. 7 – Конструкция промышленного фильтра [15]:

- 1 – камера изолятора; 2 – пост привода встряхивающего механизма; 3 – система коронирующего электрода;
- 4 – система встряхивания коронирующего электрода;
- 5 – входной канал (диффузор); 6 – система газораспределения; 7 – осадительный электрод; 8 – система встряхивания осадительного электрода; 9 – корпус;
- 10 – изоляция; 11 – смотровая дверка; 12 – опора

Fig. 7 – Industrial filter design [15]: 1 – insulator chamber; 2 – shaking mechanism drive post; 3 – corona electrode system; 4 – corona electrode shaking system; 5 – inlet channel (diffuser); 6 – timing system; 7 – sedimentary electrode; 8 – sedimentary electrode shaking system; 9 – housing; 10 – insulation; 11 – observation door; 12 – support

Эти фильтры в основном применяются на химических производствах для фильтрации кислот и прочих вредных химических соединений. Горизонталь-



рабочая температура от минус 40 °С до плюс 50 °С; вес 4,686 кг [17].



Рис. 8 – Конструкция стэндера С-150
Fig. 8 – S-150 Stander Design

В случае аварийного пролива нефти или опасных химикатов могут быть задействованы снего- и ледоплавильные агрегаты, наподобие представленных в разделе 2.5, с последующей фильтрацией опасного компонента и сбросом очищенного стока согласно требованиям природоохранного законодательства РФ. Указанные агрегаты устанавливаются на палубе судна, очищающего акваторию, производительностью по льду 8 м³/ч.

3. Водородные источники и накопители электроэнергии

3.1. Водородные источники

В западной части Арктики выявлены значительные запасы СПГ. Этот факт вместе с ростом грузооборота СМП с использованием до 100 крупнотоннажных судов на газомоторном топливе требуют рассмотрения возможности применения водородных источников и накопителей электроэнергии различных видов. Ранее широкое распространение водородной энергетики сдерживалось недостаточно развитой инфраструктурой и опасениями в части безопасности. Нормы контроля водорода в замкнутых объемах и современные решения требуют развития инфраструктуры по регазофикации, транспортировке и складированию, а также применению средств водородной безопасности (например, разработанные в ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», г. Снежинск, устройства поджига пассивного каталитического рекомбинатора водорода).

ВЭЭ в значительной мере использует наработки проф. Везироглу (США) [18, 19]. В составе автономных энергоустановок, описанных в публикациях [5,

20], задействована совокупность водородных источников и накопителей. Следует отметить, что именно ВЭЭ исходя из минимизации выбросов диоксида углерода, соединений серы и др. загрязнений, является предпочтительной в условиях Арктики. В [6] описана установка с циркуляцией различных сред для получения и выработки электричества, тепла, воды и переработки твердых отходов. В этой установке водород из метана и кислород из воды на входе ТЭ вступают во взаимодействие при нагреве, производя на выходе электричество и тепло с минимумом уходящих газов, которые также используются для подогрева исходного метана и повышения КПД электрогенерации. В результате получают электрический ток, пригодный для потребителя. При этом вода на выходе установки, пройдя минерализатор и озонатор, становится питьевой. Тепло на выходе установки используется для обогрева помещений, а в случае необходимости – для переработки опасных и твердых отходов с пропуском через пиролизную камеру и последующим прокаливанием и дожиганием дымовых газов.

Наиболее продвинутыми в техническом и коммерческом отношении являются твердо-оксидные топливные элементы (ТОТЭ), обладающие высоким КПД (50÷75 %), высокой наработкой от 40 тыс. ч до 80 тыс. ч, приемлемой удельной стоимостью, достигающей 250 долл./кг, сопоставимой с литий-ионными аккумуляторами.

3.2. Гибридные водородные источники

Гибридные водородные источники наиболее полно проанализированы в [21], где показано, что гибридные энергетические установки (ГЭУ) простого и когенерационного цикла получают широкое распространение в малой и распределенной энергетике на мощности до 10 кВт. При мощностях до 250 кВт ТОТЭ простого цикла по термической эффективности не уступают более сложным ГЭУ. Атмосферные гибридные схемы по термодинамической эффективности существенно уступают схемам под давлением, однако в установках большой мощности, например с газификацией угля, они могут оказаться достаточно перспективными. Современные ТОТЭ работают под давлением 7÷9 бар, с ростом их мощности свыше 1÷5 МВт в установках ГЭУ необходимо повышать степень давления до 11 и выше. Для ГЭУ большой мощности свыше 10 МВт наиболее эффективен когенерационный цикл с парогазовыми установками (ПГУ). Наивысший электрический КПД установок ГЭУ большой мощности свыше 10 МВт достигает 75 % с использованием ПГУ и котлов-утилизаторов трех давлений с промежуточным перегревом. Сравнительно с ГЭУ наиболее эффективные ПГУ мощностью 570÷1 515 МВт имеют КПД на уровне 60 %, что сопоставимо с ТОТЭ простого цикла.

На рис. 9 представлена разработанная фирмой Siemens первая гибридная установка ГТУ типа SOFC

(в комбинации с микрогазовой турбиной), которая была установлена в Национальном научно-исследовательском центре Топливного элемента в Калифорнийском университете. Этот модуль вклю-

чает микротурбину, произведенную Ingersoll-Rand Energy Systems, и имеет общий объем производства электроэнергии 220 кВт: 200 кВт от SOFC и 20 кВт от микротурбины [22].



Рис. 9 – ГЭУ фирмы Siemens с газовой турбиной фирмы Ingersoll-Rand Energy Systems [22]

Fig. 9 – GEM of the Siemens gas turbine company Ingersoll-Rand Energy Systems [22]

Разработка и применение гибридных ГЭУ с использованием ПГУ требует серьезных расчетов по оптимизации технических решений, например, приведенных в [23]. Эти решения позволяют выделить области применения ГЭУ, которые являются экономически эффективными и конкурентоспособными по сравнению с традиционными технологиями производства электроэнергии.

3.3. Традиционные источники на СПГ и их сопоставление с накопителями электроэнергии

Традиционные источники на СПГ, конкурирующие с накопителями электроэнергии, включая ТОТЭ, представляют дизель-электрические установки (ДЭУ), ГТУ, газопоршневые установки (ГПУ), которые применяются в автономных системах на мощности до 10 МВт и ниже, объединены в группу двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Стационарные установки в составе тепловых электростанций (ТЭС), ПГУ и ГТУ выполняются на мощности свыше 10 МВт.

Проблема формирования автономных локальных систем энергоснабжения освещена в [24, 25]. Подобная схема энергоснабжения может и должна применяться для мобильной, а также стационарной системы автономного энергоснабжения надводного, подводного и наземного базирования, если мощность единичного модуля электропитания составляет 6 МВт при напряжении 6 кВ. Ниже приведены характеристики газотурбинного агрегата ГТА-6/8 РМ производства НПО «Сатурн» (г. Рыбинск) на базе авиационного двигателя Д30КУ/КП. Указанные агрегаты имеют суммарную наработку 55 млн ч при питании от газа или керосина и имеют следующие характеристики:

- мощность электрическая 6 МВт
- мощность тепловая 12,2 Гкал/час
- КПД (ISO 2314) 25,7%
- частота вращения 3 000 об/мин
- расход дизельного топлива 2 263 кг/час
- расход топливного газа 1 950 кг/час

- температура газа за турбиной 460 °С
- расход газа на выходе 47,3 кг/с
- габариты (L x B x H) 3,4 x 2,3 x 2,5 м
- масса с рамой 5,62 т.

В качестве источника корабельной ГТУ может использоваться установка электрической мощностью 12,65 МВт, КПД 28,5 %, коэффициентом давления 10,5, расходом выхлопа 124 кг/с, температурой выхлопа 487 °С, частотой вращения 5 000 об/мин, весом 87 т, габаритами 11,6 x 3,2 x 3,7 м. Назначенный ресурс ГТУ составляет 120 тыс. ч, срок службы 20 лет. Удельная мощность авиационных газовых турбин составляет выше 1 000 Вт/кг, корабельных в 3 раза ниже, а дизель-генераторов примерно в 5÷7 раз ниже.

Важнейшим параметром традиционных источников и накопителей электроэнергии (НЭЭ) является их энергоэффективность, определяемая электрическим КПД. На рис. 10 приведены ориентировочные графики энергоэффективности (КПД, %) разных типов источников и НЭЭ в зависимости от их мощности (МВт) и области применения.

По оси абсцисс отложены диапазоны установленных мощностей разных установок и областей их применения к настоящему времени, причем предполагается, что область малой генерации не превышает 10 МВт.

Сплошными (черными) линиями показаны зоны КПД традиционных источников, причем для них характерно заметное повышение с ростом мощности, в то время как НЭЭ практически не зависят от их установленной мощности. Так, в ДВС наибольшие значения КПД 40÷45 % достигаются для ПГУ при мощностях 10÷15 МВт. ДЭУ мощностью до 5 МВт достигают КПД 35÷40 %. ПГУ и ГТУ достигают КПД 45 % за счет утилизации отработанного тепла. ТЭС могут превысить показатели ГТУ и ПГУ и достигают КПД до 60 % за счет улучшения утилизации тепла.



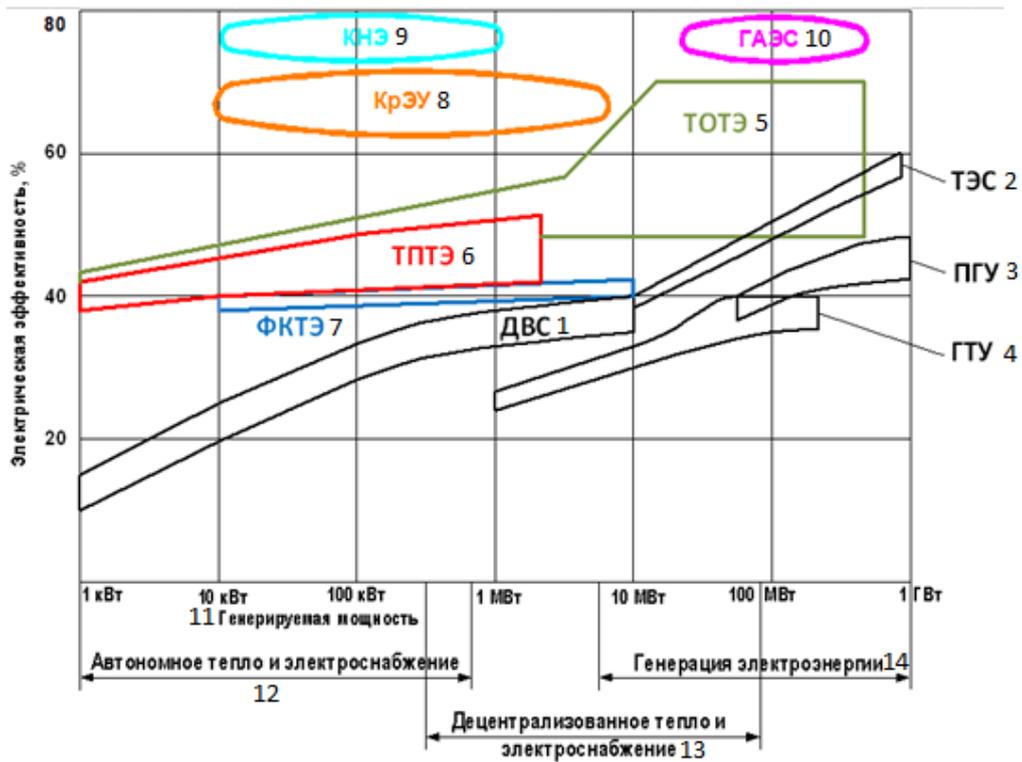


Рис. 10 – Графики энергоэффективности разных источников (черные линии): ДВС 1 – двигатели внутреннего сгорания, ТЭС 2 – тепловые электростанции, ПГУ 3 – парогазовые установки, ГТУ 4 – газотурбинные установки; и типов НЭЭ (цветные линии): ТОТЭ 5 – твердоокисдный топливный элемент, ТПТЭ 6 – твердополимерный топливный элемент, ФКТЭ 7 – фосфорноокислотный топливный элемент, КрЭУ 8 – криогенная энергоустановка, КНЭ 9 – кинетический накопитель энергии, ГАЭС 10 – гидравлическая аккумулирующая электростанция, 11 – генерируемая мощность, 12 – автономное тепло и электроснабжение, 13 – децентрализованное тепло и электроснабжение, 14 – генерация электроэнергии

Fig. 10 – Graphs of energy efficiency of different sources (black lines): 1 – internal combustion engines, 2 – thermal power plants, 3 – steam and gas plants, 4 – gas turbine plants; and types of energy storage device (color lines): 5 – solid oxide fuel cell, 6 – solid-polymer fuel cell, 7 – phosphoric acid fuel cell, 8 – Cryogenic power plant, 9 – kinetic energy storage, 10 – pumped-hydraulic storage power station, 11 – generated power, 12 – autonomous heat and power supply, 13 – decentralized heat and power supply, 14 – electricity generation

Что касается НЭЭ, то наивысшие значения КПД 72÷80 % имеют ГАЭС на уровне 1 ГВт. В диапазоне 1÷10 МВт криогенная энергоустановка (КрЭУ) может обеспечить КПД до 71 % при давлении азота в накопителе 80 атм; в диапазоне 0,1÷1 МВт кинетический накопитель электроэнергии (КНЭ) – КПД до 85 % [25].

Рассмотренные накопители ТОТЭ развиваются наиболее динамично и к настоящему времени могут занимать наибольший диапазон мощностей от 1 кВт до 100 МВт (пока до 5 МВт) с КПД от 40 % до 70 % соответственно (пока до 60 %). Нижняя кривая характеристики ТОТЭ соответствует простому циклу, верхняя кривая показана для когенерационного цикла. Применение ТОТЭ ограничивает их медленный старт (сутки), обусловленный высокой рабочей температурой (600÷1 000 °С), причем КПД повышается с ростом температуры. ТОТЭ работает как генератор и накопитель в стационарном режиме в течение ряда лет при подаче любого вида топлива. Недостатком ТОТЭ является необходимость подогрева топлива и

кислорода воздуха до рабочей температуры, что требует наличия внешнего микроканального теплообменника. Помимо подогрева в теплообменнике происходит паровой риформинг, в результате чего вода и углекислый газ, реагируя с входящим газом и кислородом при высокой температуре, дают водород и угарный газ, которые играют роль топлива. Возможны следующие комбинации ТОТЭ: с ГТУ и ПГУ для повышения КПД и снижения выбросов; с АЭС; с пассивными средствами защиты с рекомбинацией водорода; в сочетании с ВИЭ в качестве автономных источников энергии в зданиях и домохозяйствах.

Накопители ТПТЭ имеют меньший диапазон применения (по мощности до 1 МВт и КПД до 45 %), однако являются маневренными (быстродействие 5 мс), низкотемпературными (до 40 °С). Недостатками ТПТЭ являются: необходимость очистки водорода и значительный объем емкости (2 бака с жидким электролитом емкостью 140 т, площадью 200 м²) при мощности 250 кВт.

4. Заключение

Рекомендуемые для применения в арктических условиях инсинераторы и установки термического обезвреживания типа У-50К характеризуются температурой переработки от 500 °С до 1 200 °С, средней производительностью около 50 кг/ч отходов, мощностью 10 кВт. Судовые установки для очистки стоков SWCM-50 имеют производительность 473 л/ч, мощность 3 кВт, массу 1 450 кг. Опреснительные установки ПРО-0,25 дают расход питьевой воды 40 л/ч, имеют мощность 0,8 кВт, массу 250 кг, а широко применяемые снегоплавильные установки СПУ-15 имеют производительность 15 куб. м/ч. Стендер С-150 с рабочим давлением 1,6 МПа имеет пропускную способность 1 600 куб. м/ч, вес менее 5 кг, время присоединения 5 мин.

Атмосферные гибридные схемы по термодинамической эффективности существенно уступают схемам под давлением, однако в установках большой мощности, например, с газификацией угля могут оказаться достаточно перспективными. Современные ТОГЭ работают под давлением 7÷9 бар, с ростом их мощности свыше 1÷5 МВт в гибридных энергоустановках необходимо повышать степень давления до 11 и выше. Для ГЭУ большой мощности свыше 10 МВт наиболее эффективен когенерационный цикл с парогазовыми установками ПГУ. Наивысший электрический КПД установок ГЭУ большой мощности свыше 10 МВт достигает 75 % с использованием ПГУ и котлов-утилизаторов трех давлений с промежуточным перегревом.

Сравнение по энергоэффективности традиционных источников и водородных накопителей показало существенные преимущества последних, причем если КПД традиционных источников повышается с ростом их мощности, то КПД накопителей практически не изменяется во всем диапазоне мощностей. Указанное обстоятельство делает безальтернативным применение водородных источников и накопителей в области малых мощностей, характерных для потребителей в Арктике, тем более с учетом возможности по безопасной и безотходной технологии переработки отходов производственной и жизнедеятельности.

Список литературы

- [1] Об утверждении основ государственной политики регионального развития Российской Федерации на период до 2025 г.: указ Президента РФ от 16 января 2017 г. № 13 [Электронный источник]. – Режим доступа: <http://constitution.garant.ru/act/federative/71587690/>. – (Дата обращения: 12.03.2019.).
- [2] О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2014 г. № 366: постановление Правительства Российской Федерации от 31 августа 2017 г. № 1064 [Электронный источник]. – <http://government.ru/docs/all/113146/>. – (Дата обращения: 12.03.2019.).

[3] Об отходах производства и потребления Федеральный Закон 1998 г, с изменениями 01.01.2019 г. № 89 [Электронный источник]. – Режим доступа: <https://legalacts.ru/doc/FZ-ob-othodah-proizvodstva-i-potreblenija/>. – (Дата обращения: 12.03.2019.).

[4] Водный кодекс Российской Федерации №282-ФЗ от 21.10.2013 [Электронный источник]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901982862>. – (Дата обращения: 12.03.2019.).

[5] Шульга, Р.Н. Мультиагентные системы постоянного тока с использованием ВИЭ и водородных топливных элементов / Р.Н. Шульга, И.В. Путилова // Международный научный журнал «Альтернативная электроэнергетика» (ISJAEE). – 2019. – № 1–3. – С. 65–82.

[6] Шульга, Р.Н. Арктика: экология и водородная электроэнергетика / Р.Н. Шульга, И.В. Путилова // Международный научный журнал «Альтернативная электроэнергетика» (ISJAEE). – 2019. – № 4–6. – С. 43–61.

[7] Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок Приказ Минэнерго РФ от 22.08.2013 № 469 [Электронный источник]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901856779>. – (Дата обращения: 12.03.2019.).

[8] Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов, МАРПОЛ 73/78 [Электронный источник]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901764502>. – (Дата обращения: 12.03.2019.).

[9] Судовые инсинераторы [Электронный источник]. – Режим доступа: <https://incinerator.ru/technology/sudovye-insineratory>. – (Дата обращения: 12.03.2019.).

[10] Установка термического обезвреживания осадков серии Е-50К [Электронный источник]. – <https://enviro.su/>. – (Дата обращения: 12.03.2019.).

[11] Судовая установка для очистки стоков SWCM-50 [Электронный источник]. – Режим доступа: <https://www.etwinternational.ru/5-2-marine-sewage-treatment-plant-29508.html>. – (Дата обращения: 12.03.2019.).

[12] Очистка фильтрата полигона ТКО [Электронный источник]. – Режим доступа: http://ntc-tbo.ru/catalog/ochistka_filtrata_poligona_tbo/. – (Дата обращения: 12.03.2019.).

[13] Обратноосмотическая опреснительная установка ПРО-0,25 [Электронный источник]. – Режим доступа: <http://www.sudmash.ru/produce/sudmash/water-treatment/desalination-plants/pro025.html#prettyPhoto>. – (Дата обращения: 12.03.2019.).

[14] Снегоплавильные установки: виды, устройство и принцип работы машины-снеготаялки [Электронный источник]. – Режим доступа: <https://rcycle.net/sneg-i-led/snegoplavilnaya-tehnika/ustanovki-vidy-ustrojstvo-i-princip-raboty>. – (Дата обращения: 12.03.2019.).

[15] Электростатические фильтры для очистки воздуха [Электронный источник]. – Режим доступа:



<http://podvi.ru/elektrobytovye-pribory/elektrostaticheskij-filtr.html>. – (Дата обращения: 12.03.2019.).

[16] Очистка воды по технологии ТПУ [Электронный источник]. – Режим доступа: <https://tpu.ru/research/fields/water>. – (Дата обращения: 12.03.2019.).

[17] Стендер для слива-налива в морские и речные суда С-150 [Электронный источник]. – Режим доступа: <http://zavod-neftemash.ru/stender-dlya-sliva-naliva-v-morskie-i-rechnye-suda-s-150/>. – (Дата обращения: 12.03.2019.).

[18] Везироглу, Т.Н. Энергетическая система на основе термоядерного синтеза водорода / Т.Н. Везироглу // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). – 2017. – № 16–18. – С. 16–29; – Режим доступа: <https://doi.org/10.15518/isjaee.2017.16-18.016-029>. – (Дата обращения: 12.03.2019.).

[19] Бокрис, Дж.О'М. Солнечно-водородная энергия. Сила, способная спасти мир. Дж.О'М. / Бокрис, Т.Н. Везироглу, Д. Смит. – Пер. с англ. Д.О. Дуников. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 164 с.

[20] Solomin, E. Wind-hydrogen standalone uninterrupted power supply plant for all-climate application / E. Solomin [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy. – 2019. – Vol. 44. – Is. 7. – P. 3433–3449; – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.12.001>. – (Дата обращения: 12.03.2019.).

[21] Бредихин, С.И. Стационарные энергетические установки с топливными элементами: материалы, технологии, рынки / С.И. Бредихин [др.]. – М.: НТФ «Энергопрогресс» Корпорации «ЕЭЭК», 2017. – 392 с.

[22] Общая информация ТОТЭ [Электронный источник]. – Режим доступа: http://sphere.ecoruspace.me/index.php?id_news=453791&tr=1. – (Дата обращения: 12.03.2019.).

[23] Захаренков, Е.А. Исследование и оптимизация схем и параметров гибридных электростанций на основе топливных элементов и газотурбинных установок, Диссертация кандидата технических наук, МЭИ. Москва, 2009. – 120 с.

[24] Шульга, Р.Н. Автономное энергоснабжение с использованием разнородной генерации / Р.Н. Шульга // Электро. – 2015. – № 3. – С. 7–11.

[25] Шульга, Р.Н. К вопросу о возможности создания гибридной энергораспределительной сети ГЭС с накоплением электроэнергии / Р.Н. Шульга // Новое в Российской электроэнергетике. – 2015. – № 12. – С. 29–44.

References

[1] Approving the fundamentals of state policy of regional development of the Russian Federation for the period till 2025: the decree of the President of the Russian Federation of 16 January, 2017. No. 13 (Ob ut-

verzhenii osnov gosudarstvennoi politiki regional'nogo razvitiya Rossiiskoi Federatsii na period do 2025 g.: ukaz Prezidenta RF ot 16 yanvarya 2017 g. no. 1) [E-resource]. Available on: <http://constitution.garant.ru/act/federative/71587690/> (03.12.2019) (in Russ.).

[2] About modification of the order of the Government of the Russian Federation of April 21, 2014 No. 366: the order of the Government of the Russian Federation of August 31, 2017 No. 1064 (O vnesenii izmenenii v postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 21 aprelya 2014g. no. 366: postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 31 avgusta 2017 g no. 1064) [E-resource]. Available on: <http://government.ru/docs/all/113146/> (03.12.2019).

[3] On production and consumption waste Federal Law , 1998, as amended on 01.01.2009. No. 89 (Ob otdah proizvodstva i potrebleniya Federal'nyi Zakon 1998 g, s izmeneniyami 01.01.2019 g. № 89) [E-resource]. Available on: <https://legalacts.ru/doc/FZ-ob-otdakh-proizvodstva-i-potreblenija/> (03.12.2019).

[4] Water code of the Russian Federation №282-FZ of 21.10 2013 (Vodnyi kodeks Rossiiskoi Federatsii №282-FZ ot 10.21.2013) [E-resource]. Available on: <http://docs.cntd.ru/document/901982862> (03.12.2019).

[5] Shulga R.N., Putilova I.V. DC multi-agent systems using RES and hydrogen fuel cells (Mult'agentnyye sistemy postoyannogo toka s ispol'zovaniem VIE i vodorodnyh toplivnyh elementov). *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEE)*, 2019;1–3:65–82 (in Russ.).

[6] Shulga R. N., Putilova I. V. Arctic: ecology and hydrogen power engineering (Arktika: ekologiya i vodorodnaya elektroenergetika). *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEE)*, 2019;4–6: 43–61 (in Russ.).

[7] Rules of technical operation of thermal power plants, Order of the Ministry of energy of 08.22.2013 №469 (Pravila tehnikeskoj ekspluatatsii teplovyh energoustanovok Prikaz Minehnergo RF ot 08.22.2013 №469) [E-resource]. Available on: <http://docs.cntd.ru/document/901856779> (03.12.2019).

[8] International Convention for the prevention of pollution from ships", MARPOL 73/78 (Mezhdunarodnaya konventsiya po predotvrashcheniyu zagryazneniya s sudov) [E-resource]. Available on: <http://docs.cntd.ru/document/901764502> (03.12.2019).

[9] Shipboard incinerators (Sudovye insineratory) [E-resource]. Available on: <https://gyazo.com/83f8a2c12958ac008fc0926984be9876> (03.12.2019).



[10] The installation of thermal neutralization precipitation series E-50K (Ustanovka termicheskogo obezvezhivaniya osadkov serii E-50K) [E-resource]. Available on: <https://enviro.su/> Installation of thermal neutralization precipitation series E-50K (03.12.2019).

[11] Marine sewage treatment plant SWCM-50 (Sudovaya ustanovka dlya ochistki stokov SWCM-50) [E-resource]. Available on: <https://www.etwinternational.ru/5-2-marine-sewage-treatment-plant-29508.html>, Marine sewage treatment plant SWCM-50 (03.12.2019).

[12] Purification of landfill filtrate (Ochistka filtrata poligona TKO) [E-resource]. Available on: http://ntctbo.EN/catalog/ochistka_filtrata_poligona_tbo/ (03.12.2019).

[13] Reverse osmosis desalination plant PRO-0,25 (Obratnoosmoticheskaya opresnitel'naya ustanovka PRO-0,25) [E-resource]. Available on: <http://www.sudmash.EN/produce/sudmash/water-treatment/desalination-plants/pro025.html#prettyPhoto> (03.12.2019).

[14] Snow melting plants: types, device and principle of operation of the snow melting machine (Snegoplavil'nye ustanovki: vidy, ustroystvo i princip raboty mashiny-snegotayalki) [E-resource]. Available on: <https://rcycle.net/sneg-i-led/snegoplavil'naya-tehnika/ustanovki-vidy-ustrojstvo-i-princip-activity> (03.12.2019).

[15] Electrostatic filters for air purification (Elektrosticheskie fil'try dlya ochistki vozduha) [E-resource]. Available on: <http://podvi.ru/elektrobytovye-pribory/elektrosticheskiy-filtr.html> (03.12.2019).

[16] Water purification by TPU technology (Ochistka vody po tehnologii TPU) [E-resource]. Available on: <https://tpu.ru/research/fields/water> (03.12.2019).

[17] Stander for loading and unloading in sea and river vessels S-150 (Stender dlya sliva-naliva v morskije i rechnye suda S-150) [E-resource]. Available on: <http://zavod-neftemash.EN/stender-dlya-sliva-naliva-v-morskije-i-rechnye-suda-s-150/> (03.12.2019).

[18] Veziroglu T.N. Energy system based on nuclear fusion of hydrogen (Energeticheskaya sistema na osnove termoyadernogo sinteza vodoroda). *International Scientific*

Journal for Alternative Energy and Ecology" (IS-JAEE), 2017;16–18:16–29; Available on: <https://doi.org/10.15518/isjaee.2017.16-18.016-029> (03.12.2019.).

[19] Bokris J.O'M., Veziroglu T.N., Smith D. Solar-hydrogen energy. The power to save the world (Solnechno-vodorodnaya energiya: sila, sposobnaya spasti mir). Translator D.O. Dunikov. Moscow: Publishing house of MEI, 2002; 164 p.

[20] Solomin E., Kirpichnikova I., Amerkhanov R., Korobatov D., Lutovats M., Martyanov A. Wind-hydrogen standalone uninterrupted power supply plant for all-climate application. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2019;44(7):3433–3449; Available on: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.12.001> (03.12.2019.).

[21] Bredikhin S.I., Golodnitsky A. E., Drozhzhin O. A., Istomin S.Ya., Kovalevsky V.P., Filippov S.P. Stationary power plants with fuel cells: materials, technologies, markets (Statsionarnye energeticheskie ustanovki s toplivnymi elementami: materialy, tehnologii, rynki). Moscow: NTF "Energoprogress" Corporation "EEC", 2017; 392 p.

[22] SOFC general information (Obshchaya informatsiya TOTeh) [E-resource]. Available on: www.powergeneration.siemens.com (03.12.2019.).

[23] Zakharenkov E.A. Study and optimization of schemes and parameters of hybrid power plants based on fuel cells and gas turbines (Issledovanie i optimizatsiya shem i parametrov gibridnykh elektrostantsii na osnove toplivnykh elementov i gazoturbinnykh ustanovok). Thesis of candidate of technical Sciences, Moscow Power Engineering Institute, Moscow, 2009;120 p. (in Russ.).

[24] Shulga R.N. Autonomous power supply using heterogeneous generation (Avtonomnoye energosnabzheniye s ispol'zovaniyem raznorodnoy generatsii). *Electro*, 2015;3:7–11 (in Russ.).

[25] Shulga R.N. On the possibility of creating a hybrid power distribution network of Gers with the accumulation of electricity (K voprosu o vozmozhnosti sozdaniya gibridnoi energoraspredelitel'noi seti GEHRS s nakopleniem elektroenergii). *New in the Russian electric power industry*, 2015;12:29–44 (in Russ.).

Транслитерация по BSI

