

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-4-386-73-83

УДК 66.067.5.001.66

П.А. Тимофеев

ЦКБ «Балтсудопроект» ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТА ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА МОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА СЕПАРАЦИИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ВОД С ПОСЛЕДУЮЩИМ СЖИГАНИЕМ ОТХОДОВ

Объект и цель научной работы. Приведено описание концепции мобильного комплекса сепарации нефтесодержащих вод с последующим сжиганием отходов, предназначенного для разделения нефтесодержащих отходов на фракции с последующей очисткой водной фракции до установленных требований на сброс, сжигания твердых отходов с очисткой газовоздушных выбросов.

Материалы и методы. Используются материалы конструкторской документации концептуального проекта опытного образца мобильного комплекса сепарации, выполненного ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (КГНЦ) в рамках опытно-конструкторской работы «Разработка комплексной технологии, транспортно-технологической системы и опытных образцов технических средств для проведения работ по очистке прибрежных территорий арктических морей от загрязнений и утилизации образовавшихся отходов».

Основные результаты. Представленные технические решения позволили определить состав и технические характеристики опытного образца мобильного комплекса, разработать технологические процессы установок сепарации и сжигания. Разработанные схемы и чертежи основного технологического оборудования необходимы для дальнейших стадий проектирования по созданию опытного образца. Потенциальные потребители – российские предприятия, в том числе судостроительные и нефтегазовые компании, занимающиеся освоением Арктического побережья Российской Федерации.

Заключение. Разработки, выполненные в рамках составной части опытно-конструкторской работы «Разработка концептуального проекта опытного образца мобильного комплекса сепарации нефтесодержащих вод с последующим сжиганием отходов», предназначены для создания опытного образца данного мобильного комплекса и, в дальнейшем, для серийного изготовления подобных мобильных комплексов. Также они позволят достигнуть общей цели всей работы: охраны окружающей среды и экологической безопасности в обеспечении устойчивого социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации.

Ключевые слова: установка сепарации, установка сжигания, нефтеловушка, установка ультрафильтрации, инсинератор, циклонная камера сжигания, нефтесодержащие воды.

Автор заявляет об отсутствии возможных конфликтов интересов.

SHIP DESIGN AND STRUCTURE

DOI: 10.24937/2542-2324-2018-4-386-73-83

UDC 66.067.5.001.66

P. Timofeev

Baltsudoproekt Design Bureau, Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

Для цитирования: Тимофеев П.А. Разработка концептуального проекта опытного образца мобильного комплекса сепарации нефтесодержащих вод с последующим сжиганием отходов. Труды Крыловского государственного научного центра. 2018; 386(4): 73–83.

For citations: Timofeev P. Conceptual design of prototype mobile system for separation of oily waters with subsequent incineration of waste. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2018; 386(4): 73–83 (in Russian).

CONCEPTUAL DESIGN OF PROTOTYPE MOBILE SYSTEM FOR SEPARATION OF OILY WATERS WITH SUBSEQUENT INCINERATION OF WASTE

Object and purpose of research. This paper describes a concept for a prototype mobile oily water separation system with subsequent incineration of waste. This system is intended to separate oily waste into fractions, with subsequent purification of the water fraction so as to meet discharge water requirements, as well as to incinerate solid waste with purification of exhaust gases.

Materials and methods. This work is based on conceptual design documents for a prototype mobile system for oily water separation developed by KSRC under engineering project Development of integrated technology, logistical-technological system and prototype equipment intended to clean coastal areas of Arctic seas and dispose the waste.

Main results. Technical solutions adopted in this design made it possible to determine configuration and performance parameters of the prototype system at question, as well as to develop technological processes for separators and incinerators. Layouts and drawings of main equipment developed under this project will be necessary for further design activities. Potential customers for this system could be Russian enterprises, including those of shipbuilding and oil & gas industries, pursuing the projects on the Arctic coast of Russia.

Conclusion. The results of this engineering project are intended to develop a prototype of the mobile system at question and, in future, facilitate full-rate production of similar systems. Also, these developments will help in accomplishing the key task of this work: preservation of environment and ecological safety in order to ensure sustained social & economic development of the Russian Arctic.

Keywords: separator, incineration plant, oil trap, incinerator, cyclone combustion chamber, oily waters.

Author declares lack of the possible conflicts of interests.

Введение

Introduction

Интенсивное развитие Северного морского пути и близлежащих нефтегазовых месторождений вызывает серьезные опасения ученых и специалистов в области охраны окружающей среды и экологической безопасности Арктической зоны Российской Федерации. Проблемы загрязнения нефтью Арктики заслуживают самого пристального внимания, поскольку нефть, попавшая в воды арктических морей, может находиться там от двух до нескольких десятков лет ввиду ничтожной скорости ее химического и биологического разложения при низких температурах.

Существующие в России и за рубежом способы и технические средства для очистки и утилизации нефтезагрязненных вод и льда не позволяют в полной мере решить эту проблему в суровых климатических условиях. Например, на нефтедобывающих платформах для освоения месторождений арктических морей предусмотрены системы сбора, хранения и отгрузки нефтесодержащих отходов, а при проектировании платформ, как правило, используется принцип «нулевого сброса». В случае разлива нефти предусмотрен план мероприятий для скорейшей локализации участка с минимизацией ущерба, наносимого морской среде.

Для решения проблемы очистки существующих загрязнений Арктической зоны от разливов нефти необходимо разработать мобильный комплекс для

очистки и утилизации нефтезагрязненного льда, способный работать в суровых климатических условиях. Он должен обеспечивать высокую производительность, рентабельность и соблюдение экологических требований.

В работе представлены разработки технологических и конструкторских решений, обеспечивающих выполнение концептуальных требований по созданию мобильного комплекса сепарации нефтесодержащих вод с последующим сжиганием отходов. Данный комплекс предназначен для разделения нефтесодержащих отходов (нефтезагрязненного льда регионов Арктической зоны РФ) на фракции с последующей очисткой водной фракции до установленных требований на сброс, сжигания твердых отходов с очисткой газовоздушных выбросов. Работа выполнена в КГНЦ в рамках опытно-конструкторской работы (ОКР) «Чистая Арктика» [4] под руководством Шкатова М.Ю. Основанием для выполнения ОКР является Федеральная целевая программа «Развитие гражданской морской техники» на 2009–2016 годы, разработанная Министерством промышленности и торговли России.

Исходные данные

Input data

Мобильный комплекс (рис. 1) располагается в одном 40-футовом High Cube контейнере с наруж-

ными размерами (Д×Ш×В) 12,19×2,44×2,90 м. Установка состоит из двух основных частей, разделенных перегородкой: установки сепарации и установки сжигания.

С торцевых сторон контейнер оборудован воротами для монтажа оборудования. Для обслуживания установки предусмотрены 3 двери размером 900×1900 мм.

В состав установки сепарации входит следующее основное оборудование:

- приемный резервуар;
- нефтеловушка;
- приемная камера;
- установка ультраfiltrации;
- сорбционные фильтры;
- сборный резервуар нефтешлама и нефтепродуктов;
- насосное оборудование;
- контрольно-измерительные приборы (КИП) и приборы автоматики (А).

В состав установки сжигания входит следующее основное оборудование:

- циклонно-вихревая топка;
- камера дожигания;
- вентилятор наддува;
- горелки;
- приборы КИП и автоматики.

Все емкости и трубопроводы выполняются из нержавеющей стали AISI 304.

Перечень оборудования

List of equipment

В ходе дальнейшей проработки был определен перечень и технические характеристики технологического оборудования (табл. 1), входящего в состав мобильного комплекса. Схема размещения оборудования в контейнере показана на рис. 2.

Описание технологического процесса

Description of technological process

Технологическая схема очистки нефтесодержащих вод представлена на рис. 3.

Установка сепарации

Производительность опытного образца установки принята 1 м³/ч по исходным нефтесодержащим водам. Подача нефтесодержащих вод осуществляется

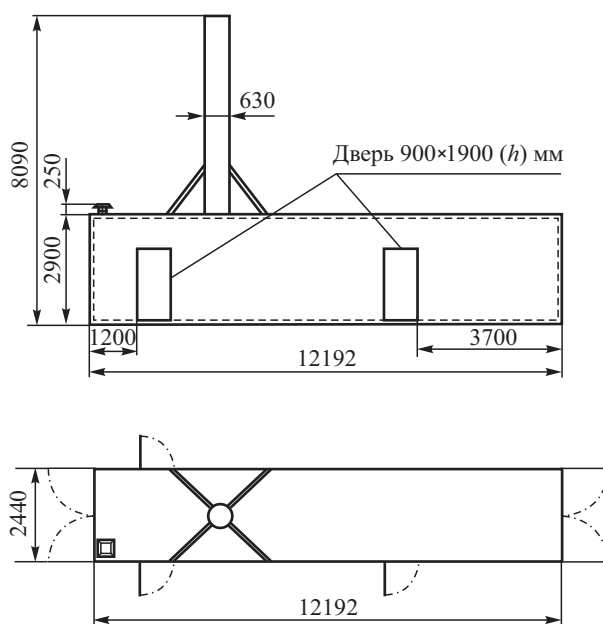


Рис. 1. Общий вид мобильного комплекса

Fig. 1. General view of the mobile system

по внешнему трубопроводу, не входящему в комплект поставки мобильного комплекса. Нефтедержателе воды поступают в приемный резервуар Т-1 рабочим объемом 1,44 м³.

Резервуар оборудован соруолавливающей корзиной SCR-1 для задержания мусора и крупных отбросов. В осадочной пирамидальной части резервуара с внешней стороны подведен теплоноситель для нагрева поступающей жидкости до 30 °С и выполнена теплоизоляция толщиной 50 мм.

Из резервуара вода с помощью шнекового насоса Р-1 производительностью до 1 м³/ч подается на нефтеловушку Т-2. Производительность насоса регулируется с помощью частотного преобразователя и электромагнитного расходомера, установленного на напорном трубопроводе. Пуск и останов насоса производится по сигналу датчика гидростатического давления ЛТ-1. Нефтеловушка оборудована модулем из тонкослойных пластин. После нефтеловушки осветленная вода самотеком поступает в приемную камеру Т-3 установки ультраfiltrации UF-1, объем камеры – 1 м³. Из приемной камеры с помощью насоса Р-2 осветленная вода подается на мембранные керамические фильтры.

Фильтрат под остаточным давлением направляется на доочистку на картриджных сорбционных фильтрах F-1-1; F-1-2, а концентрат возвращается

Таблица 1. Перечень технологического оборудования

Table 1. List of technological equipment

№ поз.	Наименование Технические характеристики	Ед. изм.	Кол-во	Примечание
1	40-футовый High Cube контейнер 12,19×2,44×2,90 м, доработанный утепленный	шт.	1	
2	Установка сепарации	шт.	1	
2.1	Приемный резервуар 1,8×0,8×2,08 м, материал – сталь AISI 304	шт.	1	
2.1.1	Сороулавливающая корзина с прозорами 20 мм, материал – сталь AISI 304	шт.	1	
2.1.2	Скиммер. Производительность 15 л/ч, мощность 0,09 кВт	шт.	1	
2.1.3	Насос шнековый ОНВ01-1 с частотным преобразователем Производительность 0,9 м ³ /ч, напор 50 м, мощность 1,1 кВт	шт.	2	1 раб., 1 рез. на складе
2.2	Нефтеловушка 1,4×0,5×2,08 м			
2.2.1	Скиммер. Производительность 15 л/ч, мощность 0,09 кВт	шт.	1	
2.2.2	Насос шнековый ОНВ М-1 Производительность 0,55 м ³ /ч, напор 30 м, мощность 0,37 кВт	шт.	2	1 раб., 1 рез. на складе
2.3	Приемная камера 0,9×0,8×1,4 м, материал – сталь AISI 304	шт.	1	
2.4	Установка напорной ультрафильтрации с керамическими элементами	к-т	1	
2.4.1	Циркуляционный насос Производительность 6 м ³ /ч, напор 60 м, мощность 1,5 кВт	шт.	1	
2.4.2	Модуль напорной ультрафильтрации	шт.	1	
2.5	Картриджные сорбционные фильтры Производительность 25 л/мин	шт.	2	1 раб., 1 рез
2.6	Сборная емкость 1,2×0,4×2,08 м, материал – сталь AISI 304	шт.	1	
2.6.1	Насос шнековый ОНВ М-1 с частотным преобразователем Производительность 0,55 м ³ /ч, напор 30 м, мощность 0,37 кВт	шт.	1	
3	Установка сжигания	шт.	1	
3.1	Инсинератор, в т.ч. циклонная камера сжигания и камера дожигания	к-т	1	
3.2	Горелка дизельная	шт.	3	
3.3	Дымовая труба с эжектором	к-т	1	
3.4	Вентилятор надува и охлаждения	шт.	4	
3.5	Узел регулирования и подачи жидких отходов	к-т	1	
3.6	Система подачи дизельного топлива	шт.	2	
3.7	Узел подготовки теплоносителя для обогрева приемного резервуара	к-т	1	
4	Внутренние технологические трубопроводы и арматура, материал – сталь AISI 304	к-т	1	
5	Отопление, вентиляция, электроосвещение контейнера, система пожарно-охранной сигнализации	к-т	1	
6	КИП и А	к-т	1	
7	Запасные части, инструменты и принадлежности	к-т	1	

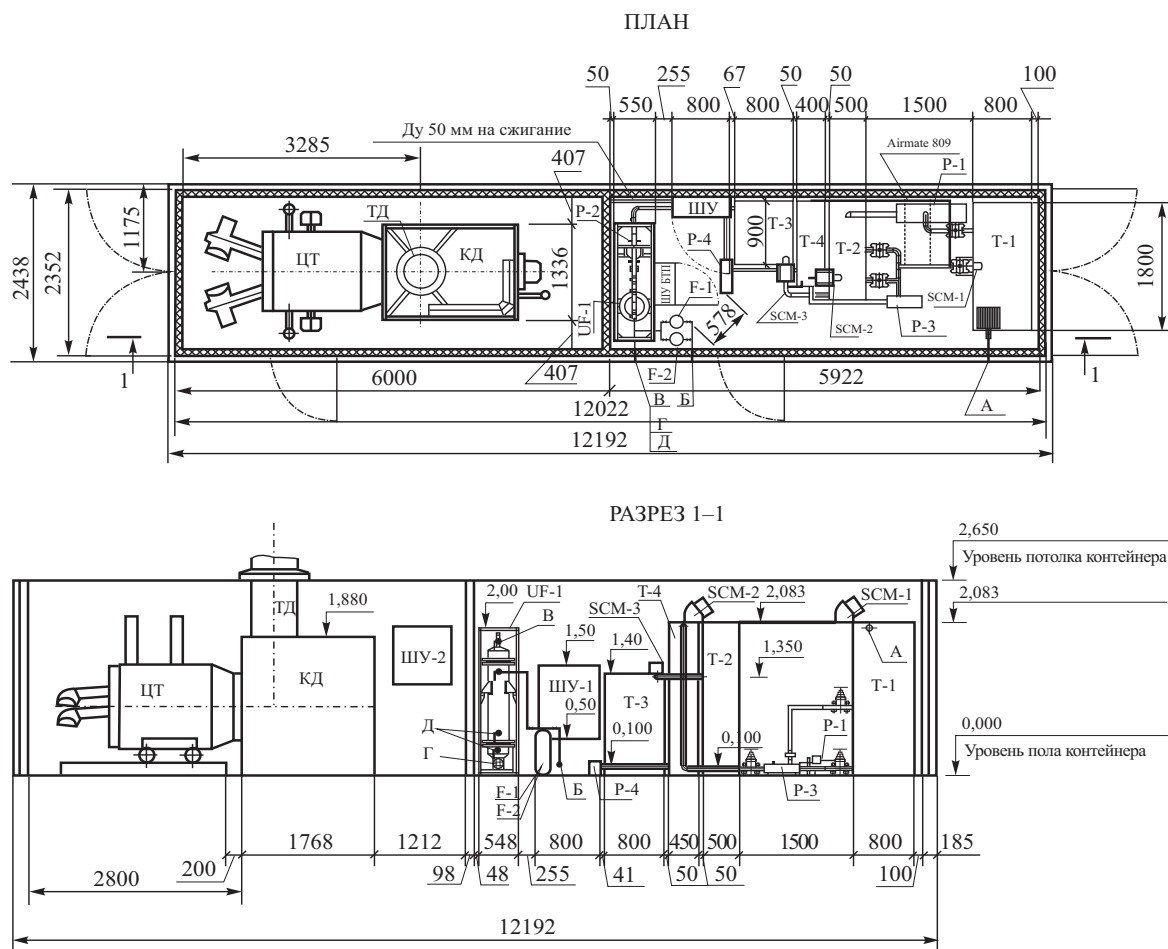


Рис. 2. Схема размещения оборудования
Fig. 2. Arrangement of equipment

в приемную камеру Т-3. Предусмотрен патрубок для возможности отвода концентрата за пределы установки. Регулирование подачи насоса Р-2 осуществляется с помощью частотного преобразователя и датчиков абсолютного давления до и после мембран. Пуск и останов насоса производятся по сигналу датчика гидростатического давления ЛТ-2. Для периодической очистки мембран используется пар с параметрами $t = 200\text{ }^\circ\text{C}$, $P = 2\text{ атм}$. Для подачи пара предусмотрено применение мобильного парогенератора.

После доочистки на сорбционных фильтрах (1 рабочий, 1 резервный) очищенные от нефтепродуктов и примесей сточные воды направляются за пределы установки.

Качество очищенных вод по механическим примесям и нефтепродуктам соответствует нормам предельно допустимой концентрации (ПДК) для водоемов рыбохозяйственного назначения:

- мехпримеси $\leq 2\text{ мг/л}$;
- нефтепродукты $\leq 0,05\text{ мг/л}$.

В приемном резервуаре Т-1, нефтеловушке Т-2 и приемной камере Т-3 установлены скиммеры SKM-1-1, -2, -3 для сбора плавающего нефтепродукта. Удаление нефтешлама из приемного резервуара и нефтеловушки производится с помощью шнекового насоса Р-3 в сборный резервуар Т-4. Из резервуара Т-4 насосом Р-4 нефтешлам и ловушенный нефтепродукт направляются на установку сжигания.

Основные технические данные установки сепарации приведены в табл. 2.

Установка сжигания

Нефтешлам и ловушенный нефтепродукт подаются в циклонную камеру сжигания – циклонновихревую

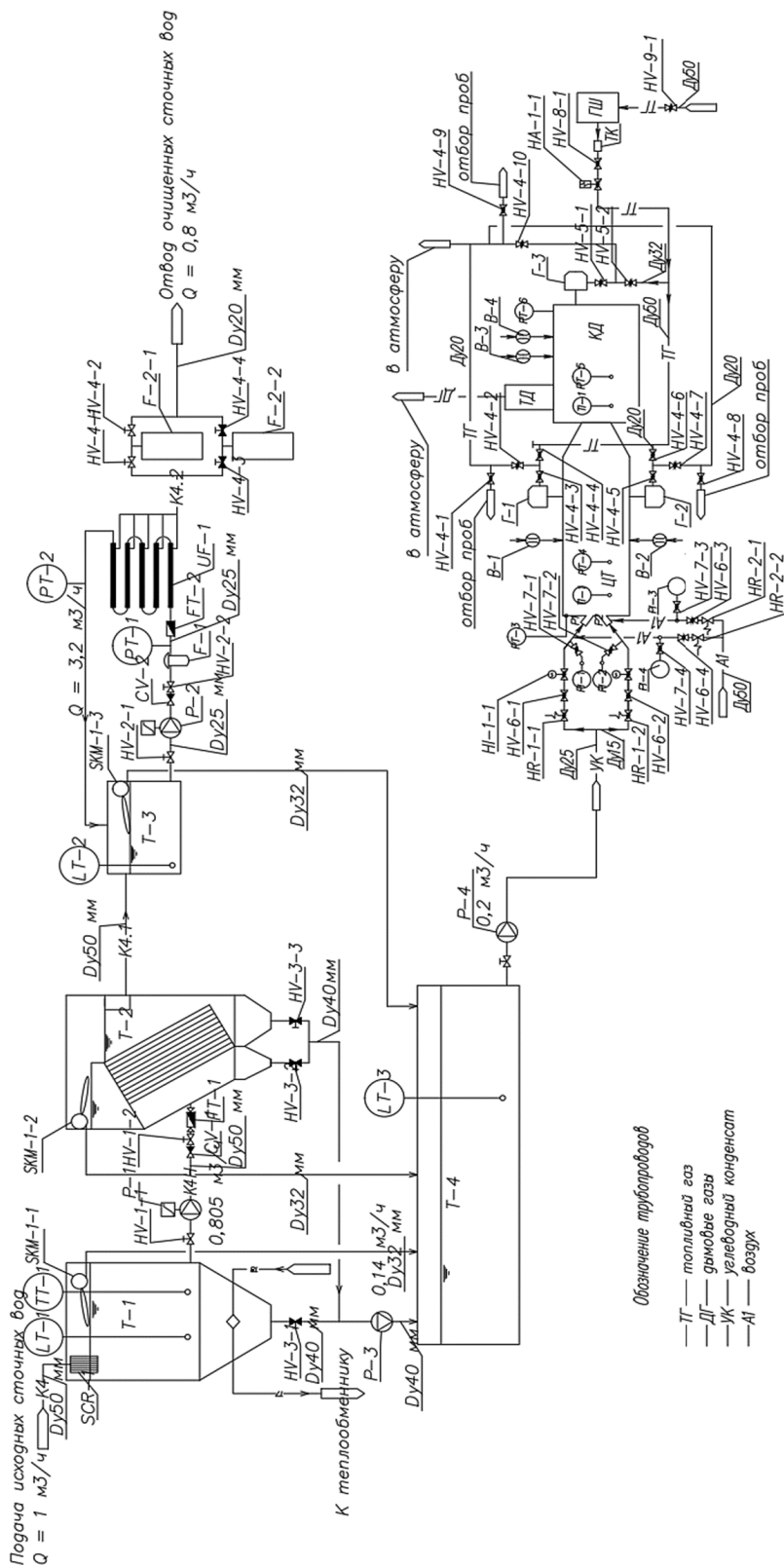


Рис. 3. Технологическая схема очистки нефтесодержащих вод
Fig. 3. Flow chart of oily water treatment

топку (ЦТ) через форсунки P1 и P2 на торцевой стенке. Вихревая топка имеет цилиндрическую форму. Изнутри топка футерована термостойким бетоном. Корпус топки охлаждается воздухом, пропускаемым между футеровкой и наружным корпусом топки.

Воздух на охлаждение подается двумя вентиляторами В-1 и В-2, установленными непосредственно на ЦТ. По бокам ЦТ расположены две дизельные горелки Г-1 и Г-2. Горелки используются для поддержания в топке необходимого температурного режима утилизации отходов (800–900 °С).

Горелки установлены в специальных патрубках в защитных нишах и представляют собой автоматизированные агрегаты, состоящие из системы подачи топлива, вентиляторов, электронной системы управления и защиты.

Сопла горелок и трубопровод подачи отходов направлены так, чтобы обеспечить создание вихревого потока.

Отходящие газы, образующиеся в ЦТ при сжигании жидких и газообразных отходов, направляются в камеру дожигания (КД), в которой окончательно дожигаются с помощью горелки при температуре 1000–1100 °С.

Система управления процессом горения состоит из блока управления и датчиков температуры и давления. Система управления обеспечивает автоматическое регулирование температуры горения отходов с заданным законом управления. При этих температурах происходит полное разложение всех токсичных элементов. На торцевой стенке КД имеется одна горелка Г-3.

КД имеет технологический люк для очистки ее от минеральной золы.

Дымовые газы, попавшие в камеру, сразу же попадают под факел горелки, где смешиваются с воздухом и нагреваются до 1100 °С. Время пребывания дымовых газов в КД составляет не менее 2 с. Далее дымовые газы поступают на охлаждение.

Система охлаждения дымовых газов состоит из смесительного устройства эжекционного типа, в котором происходит охлаждение газов до температур 250–350 °С. Подаваемый вентиляторами воздух, охладивший ЦТ и КД, подается в смесительное устройство. В нем за счет различия скоростей и давлений воздуха и газов происходит эжектирование газов воздухом с интенсивным их охлаждением.

Далее очищенные и охлажденные дымовые газы направляются в атмосферу через дымовую трубу.

Концентрации вторичных загрязняющих веществ на выходе из трубы рассеивания соответ-

Таблица 2. Технические данные установки сепарации

Table 2. Technical data about the separator

1	Производительность установки по исходным нефтесодержащим водам, м ³ /час	1
2	Количество нефтепродуктов на входе не более, г/л	50
3	Количество механических примесей на входе не более, г/л	10
4	Количество нефтепродуктов на выходе не более, мг/л	0,05
5	Количество механических примесей на выходе не более, мг/л	2
6	Количество уловленного нефтепродукта и нефтешлама, м ³ /час	0,2
7	Установленная электрическая мощность, не более, кВт	2,8
8	Потребляемая электрическая мощность, не более, кВт	2,3
9	Род тока, напряжение	переменный, однофазный/трехфазный, 220/380В+N, 50 Гц
10	Масса установки, не более, кг	10000
11	Климатическое исполнение по ГОСТ 15150-89	ХЛ11
12	Срок службы установки (при соблюдении руководства по эксплуатации (РЭ)), лет	15

ствуют требованиям РФ и ЕС 2000/76/ЕС. Установка имеет все необходимые разрешительные документы. Выбросы в атмосферу: количество дымовых газов – 100 нм³/ч.

Содержание загрязняющих веществ в дымовых газах на срезе дымовой трубы:

- взвешенные вещества ≤ 30 мг/м³;
- SO₂ ≤ 10,0 мг/м³;
- CO ≤ 50,0 мг/м³;
- NO_x ≤ 50 мг/м³.

ПДК на границе санитарно-защитной зоны обеспечивается за счет рассеивания с помощью дымовой трубы высотой 8,09 м от поверхности земли.

Разработанные технические решения не представляют экологической опасности. Основные технические данные установки сжигания приведены в табл. 3.

Таблица 3. Технические данные установки сжигания

Table 3. Technical data about the incinerator

1	Производительность установки, не более, кг/час	250
2	Род топлива для поддержания температуры в топке	дизельное
3	Удельный расход топлива, не более, кг/кг отходов	0,17
4	Температура сжигания/дожигания, не менее, °С	800÷900/1100
5	Температура дымовых газов на выходе из дымовой трубы, не более, °С	350
6	Кол-во дымовых газов, нм ³ /час	100
7	Установленная электрическая мощность, не более, кВт	16
8	Потребляемая электрическая мощность, не более, кВт	11,2
9	Род тока, напряжение	переменный, трехфазный, 380В+N, 50 Гц
10	Масса установки, не более, кг	10000
11	Климатическое исполнение по ГОСТ 15150-89	ХЛ1
12	Срок службы установки (при соблюдении РЭ), лет	15

Таблица 4. Сравнительная таблица технико-экономических показателей

Table 4. Comparative table of performance and cost parameters

№	Наименование	Ед. изм.	Установка сепарации нефтесодержащих вод с последующим сжиганием отходов	Установка сжигания жидких отходов (инсинератор) «Турмалин»
1	Часовая производительность по исходному продукту	м ³ /ч	1	1
2	Производительность в сутки	м ³ /сут.	20	24
3	Количество дней работы установки в год	сут.	365	365
4	Производительность в год	тыс. м ³ /год	7,3	8,8
5	Габаритные размеры	мм	12,19×2,44×2,90(н)	12,19×2,44×2,90(н)
6	Масса, не более	т	16	10
7	Потребляемая мощность	кВт/ч	17	30
8	Годовой расход электроэнергии	тыс. кВт час/год	124	263
9	Расход дизтоплива на 1 кг отходов	кг/кг	0,008	0,4
10	Удельное количество отходов, направляемых на сжигание	кг/м ³	250	1000
11	Количество сжигаемых отходов в сутки	кг/сут.	5000	24000
12	Количество сжигаемых отходов в год	т/год	1825	8760
13	Расход дизтоплива на сжигание	м ³ /год	18	4380
14	Количество нормативно-очищенных сточных вод	м ³ /сут.	16	–
15	Возможность эксплуатации при экстремально низких температурах		есть	есть
16	Стоимость установки	тыс. руб.	13500	20000
17	Эксплуатационные затраты на 1 м ³ исходного продукта	руб./м ³	449	31859

Таблица 5. Расчет себестоимости очистки нефтесодержащих вод на установке сепарации с последующим сжиганием отходов

Table 5. Net cost calculation of oily water treatment using the system of separation with subsequent waste incineration

№ п.п.	Наименование расходов	Ед. изм.	Количество в год	Стоимость, тыс. руб.	
				Единицы	Всего
1	Производительность установки в сутки	м ³ /сут.	20		
2	Производительность установки в год	тыс. м ³ /год	7,3		
3	Годовой фонд оплаты труда	чел.-день	273,75	3,3	903,375
3.1	Страховые взносы	%	30,00		271,013
4	Годовой расход ресурсов:				
4.1	Электроэнергия	тыс. кВт·час	124	6	744,600
4.2	Топливо дизельное	м ³	18	60	1 067,250
5	Текущий ремонт оборудования	тыс. руб.	13500	1%	135,000
6	Прочие расходы (от пп. 1, 2, 3)	%	5,00		156,062
7	Всего эксплуатационные затраты	тыс. руб.			3 277,299
8	Эксплуатационные затраты на 1 м ³ сточных вод	руб./м ³	449		

Примечание. Установка эксплуатируется оператором на 0,25 ставки в 3 смены

Таблица 6. Расчет себестоимости утилизации нефтесодержащих вод на установке сжигания

Table 6. Net cost calculation of oily water disposal at the incinerator

№ п.п.	Наименование расходов	Ед. изм.	Количество в год	Стоимость, тыс. руб.	
				Единицы	Всего
1	Производительность установки в сутки	м ³ /сут	24		
2	Производительность установки в год	тыс. м ³ /год	8,8		
3	Годовой фонд оплаты труда	чел.-день	274	3,3	903,375
3.1	Страховые взносы	%	30		271,013
4	Годовой расход ресурсов:				
4.1	Электроэнергия	тыс. кВт	263	6	1 576,800
4.2	Топливо дизельное	м ³	4380	60	262 800,000
5	Текущий ремонт оборудования	тыс. руб.	24000	1%	240,000
6	Прочие расходы (от пп. 1, 2, 3)	%	5		13 289,559
7	Всего эксплуатационные затраты	тыс. руб.			279 080,747
8	Эксплуатационные затраты на 1 м ³ сточных вод	руб./м ³	31859		

Примечание. Установка эксплуатируется оператором на 0,25 ставки в 3 смены

Технико-экономические показатели

Performance and cost parameters

Оценочная стоимость опытного образца мобильного комплекса сепарации нефтесодержащих вод с последующим сжиганием отходов производительностью 1 м³/ч по исходным нефтесодержащим водам составляет 13 500 тыс. руб. Для сравнения:

принята установка сжигания нефтесодержащих отходов (инсинератор) на базе циклонно-вихревой топки производства ЗАО «Гурмалин» аналогичной производительности стоимостью 20 000 тыс. руб.

Работа установок осуществляется в автоматическом режиме, постоянного присутствия обслуживающего персонала не требуется. Установки эксплуатируются оператором на 0,25 ставки в три смены по 8 часов.

В качестве топлива принято дизельное топливо. Инсинератор ЗАО «Турмалин» работает постоянно 24 ч./сут., расход дизельного топлива на сжигание (испарение) 1 т исходного продукта составляет 400 л. На испарение подается весь исходный продукт без разделения.

Проектируемый мобильный комплекс сепарации нефтесодержащих вод с последующим сжиганием отходов работает 20 ч./сут., установка сжигания работает непрерывно. Удельный расход дизельного топлива на период пуска установки сжигания (ориентировочно 2,5 сут.) составляет 0,17 кг/кг отходов, в дальнейшем подача топлива не требуется. Количество жидких отходов, подаваемых на сжигание, составляет 250 кг с 1 м³ исходных вод. На время, когда подача отходов на сжигание не осуществляется (ориентировочно 4 ч./сут.), для работы печи необходимо подавать дизельное топливо для работы горелки – 10 л/ч.

Сравнение технико-экономических показателей рассматриваемых установок приведено в табл. 4.

Расчет себестоимости для каждой установки приведен в табл. 5 и табл. 6.

Из приведенного сравнения следует, что предлагаемый мобильный комплекс сепарации нефтесодержащих вод с последующим сжиганием отходов показывает достаточно высокую рентабельность по сравнению с выпускаемыми установками сжигания жидких отходов при работе в Арктике, в связи с высокой стоимостью дизельного топлива и его доставки.

Заключение

Conclusion

1. Представленный проект мобильного комплекса, все технологическое оборудование которого располагается внутри в 40-футовом контейнере, соответствует концептуальным требованиям, изложенным в вводной части. Данное техническое решение обеспечивает мобильность комплекса, высокую производительность, соблюдение экологических норм и возможность транспортировки в арктические регионы России. Мобильный комплекс допускается хранить на открытой площадке при температуре воздуха не ниже –50 °С.
2. Определен состав оборудования установок сепарации и сжигания, а также разработана схема технологического процесса мобильного комплекса, необходимые для дальнейшей стадии проектирования в части разработки де-

тальных рабочих чертежей оборудования и проведения инженерных расчетов, в том числе материального баланса установки сжигания.

3. В рамках работы решена основная задача разработки мобильного комплекса – разделение нефтесодержащих отходов (нефтезагрязненного льда арктических регионов РФ) на фракции с последующей очисткой водной фракции до установленных требований на сброс и сжигание твердых отходов с очисткой газовоздушных выбросов. Представленный комплекс показывает достаточно высокую рентабельность по сравнению с выпускаемыми установками сжигания жидких отходов.

Библиографический список

1. *Зубрилов С.П., Ицук Ю.Г., Косовский В.И.* Охрана окружающей среды при эксплуатации судов. Л.: Судостроение, 1989.
2. *Белусов В.Н., Смородин С.Н., Смирнова О.С.* Топливо и теория горения. Ч. 2. СПб.: СПбГТУРП, 2011.
3. Конструкторская документация опытного образца мобильного комплекса сепарации нефтесодержащих вод с последующим сжиганием отходов (концептуальный проект) К/100037-0509/15/2-КП-001.000.000-КД. Т. 1. Технический архив ФГУП «Крыловский государственный научный центр». 2015.
4. ОКР «Чистая Арктика». Основные полученные практические результаты [электрон. ресурс] / Сайт ФЦП «Развитие гражданской морской техники» на 2009–2016 годы. URL: http://rgmt.spb.ru/catalog/upload/files/Chistaya_Arktika.pdf (дата обращения: 11.06.2018).

References

1. *Zubrilov S., Ishuk Yu., Kosovsky V.* Environmental protection in ship operation. Leningrad: Sudostroyeniye, 1989 (*in Russian*).
2. *Belousov V., Smorodin S., Smirnova O.* Fuel and combustion theory. Part 2. St. Petersburg: Higher School of Technology and Energetics, 2011 (*in Russian*).
3. Design documentation on prototype mobile system of oily water separation with subsequent waste incineration (conceptual design). K/100037-0509/15/2-KP-001.000.000-KD. Technical archive of KSRC, 2015 (*in Russian*).
4. Engineering project Clean Arctic. Main practical results. Web-site of Federal Target Program Development of Civil Marine Technology // URL: http://rgmt.spb.ru/catalog/upload/files/Chistaya_Arkti ka.pdf (*in Russian*).

Сведения об авторе

Тимофеев Павел Анатольевич, аспирант кафедры экологии промышленных зон и акваторий ФГБОУ ВО СПбГМТУ, ведущий инженер-конструктор сектора главных конструкторов проектов ЦКБ «Балтсудопроект» ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44. Тел.: 8 (812) 415-48-24.
E-mail: timofeevpavel@inbox.ru.

About the author

Pavel A. Timofeev, post-graduate at Department of ecology of industrial zones and water areas, St. Petersburg State Marine Technical University; Lead Engineer – Designer, Sector of Chief Designers, Baltsudoproekt Design Bureau, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: 8 (812) 415-48-24.
E-mail: timofeevpavel@inbox.ru.

Поступила / Received: 19.07.18
Принята в печать / Accepted: 12.11.18
© Тимофеев П.А., 2018