

УДК 681.2

**В.В. Тарасов, И.Б. Власов**Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,  
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а**ЦИКЛОННЫЙ ВАКУУМНЫЙ ИСПАРИТЕЛЬ УСТАНОВКИ  
ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ МАСЕЛ, ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ  
И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПО УДАЛЕНИЮ  
ВОДОТОПЛИВНЫХ ФРАКЦИЙ**

*Представлена установка регенерации масел с оригинальной конструкцией циклонного вакуум-термического испарителя (ЦВТИ) для удаления водотопливных фракций (ВТФ) из отбракованного моторного масла (ОММ), а также результаты испытаний установки по удалению ВТФ.*

***Ключевые слова:** регенерация отработанных масел, установки по регенерации, способы регенерации, водотопливные фракции.*

**V.V. Tarasov, I.B. Vlasov****CYCLONE VACUUM EVAPORATOR RECYCLING PLANTS OILS FEATURES.  
TEST RESULTS FOR DISPOSAL WATER-FUEL FRACTIONS**

*Oil regeneration plant is presented with the original construction of cyclone vacuum thermal evaporator (TSVTI) to remove the water-fuel fractions (WTF) from discarded motor oil (GMM) and the results of testing the installation to remove the WTF.*

***Key words:** regeneration of waste oils, plant regeneration, methods of regeneration, water-fuel fractions.*

Считается, что при годовом объеме потребления масел более 10 т капитальные вложения в очистку и регенерацию ОММ на месте потребления полностью окупаются при наличии стационарной малогабаритной установки [1, 3]. Однако проведение очистки и регенерации в судовых условиях невозможно из-за отсутствия необходимых установок. Анализ эффективности существующих установок по регенерации ОММ показывает, что в диапазоне производительности от 0,3 до 3,0 т/ч отсутствуют малогабаритные установки по регенерации [2, 4]. При малотоннажной регенерации наиболее эффективными являются комбинированные методы с преобладанием физических способов регенерации [5].

На морском транспорте целесообразно использовать для судовых условий малогабаритные и мобильные установки, а для береговых предприятий – многофункциональные передвижные и стационарные регенерационные установки, реализующие единую концепцию сбора и переработки ОСМ.

Основной частью существующих установок является тонкопленочный испаритель (ТПИ) – это высокая колонна круглого сечения, в которую подается подогретое до 80-120 °С ОММ [1, 4]. В колонне создается вакуумным насосом разрежение 400-200 мм рт. ст. В центре колонны проходит ось с лопатками прямоугольной формы, которые при вращении размазывают ОММ по стенкам колонны, создавая тонкую масляную пленку. Стенки колонны подогреваются до температуры около 200 °С. Масляная пленка должна контактировать со стенками колонны очень кратковременно, чтобы не было крекинга, выгорания масла и уноса масляных фракций вместе с испаряющейся водой и легкими фракциями топлива. За счет вакуума и температуры из ОММ удаляются ВТФ [5].

В процессе эксплуатации механизмов, двигателей, транспортирования и хранения смазочных масел происходит их загрязнение топливом, водой и хладагентами. Для судовых условий эксплуатации в результате загрязнения смазочных масел жидкими загрязнителями бракуется от 50 до 70 % масел [3, 5].

Итак, в сложившейся ситуации для более эффективного маслоиспользования необходимо развивать как теоретическую, так и практическую базы по улучшению маслоиспользования [5]. Необходимо улучшать качество моторных масел, произвести их унификацию и внедрить новые более эффективные присадки. Произвести техническую модернизацию как дизелей для снижения расхода масла на угар, так и систем очистки масел. Разработать технические основы регенерации отработанных смазочных материалов непосредственно на судах для более экономного их применения.

Авторами разработана установка «РУМС-1» (регенерационная установка для масел судовая – 1) и способ регенерации ОММ для повышения интенсификации процесса дистилляции жидких загрязнителей (ВТФ) из ОММ и повышения экономичности ее работы за счет возможности использования при ее работе утилизации тепла судовой энергетической установки и вакуумирования ЦТВИ за счет работы судовых систем и механизмов. Результаты экспериментальных испытаний РУМС-1 показали, что установка обеспечивает стабильность процесса регенерации ОММ в условиях статических и динамических воздействий и линейных и угловых перемещений (наклонов) на нее при эксплуатации судна – крен, дифферент, качка.

Способ регенерации ОММ с использованием созданной установки РУМС-1 уникален тем, что для очистки ОММ от ВТФ после удаления механических примесей (нагрев и фильтрация) применяется термовакуумное испарение при последовательном двухэтапном процессе отгона ВТФ: сначала – капельно-пленочная дистилляция в объемном линейном цилиндрическом испарителе после форсунки – эжектора, а затем – в циклонном пленочном испарителе ЦТВИ соответственно, где за счет конструктивных особенностей реализуется применение эффекта ранка-хилша. На этапе капельного испарения из масла удаляется вся вода и большая часть легких топливных фракций, причем наличие в масле диспергированной воды увеличивает эффективность капельного испарения за счет вторичного распыла капель масла и местной турбулизации факела за счет кавитации от микровзрывов перегретых капель воды в насадке форсунки, стабилизация этапа капельного испарения обеспечивается формой цилиндрической камеры и высокой скоростью факела (обеспечивается конструкцией форсунки – эжектора). Одновременно с дистилляцией в камере капельного испарения из распыленного обезвоженного масла и паров воды и топлива формируется двухфазный узкий парожидкостный факел с высокой линейной скоростью, который непосредственно из цилиндрической камеры капельного испарения тангенциально подводится на внутреннюю неподвижную поверхность в верхней части циклонного термовакуумного испарителя (ЦТВИ). В данной установке имеется циклон с колбой оригинальной формы, которая состоит из двух частей: верхней цилиндрической и примыкающей к ней нижней части, которая имеет сужение к своей нижней части и отверстие выхода масла после удаления ВТФ.

*Форма и размерные характеристики циклона выбираются такими, чтобы обеспечить движение пленки масла на начальном этапе с высокой линейной и угловой скоростью по спирали сверху вниз и безотрывное течение пленки на всей поверхности циклона, исключить разбрызгивание пленки масла факелом, а движение паровой фазы в объеме циклона организовать с высокой угловой скоростью по двойной спирали: внешний вихрь сверху вниз спутно движению пленки масла и внутренний вихрь снизу вверх с противоположным вращением.*

Тангенциальный подвод распыленного масла в верхней части циклона, его высокая линейная скорость и форма циклона обеспечивают создание на его поверхности тонкой пленки масла, движущейся по внутренней поверхности циклона с высокой линейной и угловой скоростью. Высокая угловая скорость пленки на этапе пленочного испарения обеспечивают полное разделение паровой и жидкой фаз факела после этапа капельного испарения и эффективную стабилизацию пленки в поле центробежных сил при статических и динамических воздействиях, линейных и угловых перемещениях (наклонах) установки. Формирование пленки из обезвоженного на первом этапе масла, место подвода факела и вывод пленки масла из зоны воздействия факела за счет формы циклона исключают вторичное разбрызгивание масла в циклоне и капельный унос масла с паровой фазой.

Высокая линейная скорость движения тонкой пленки масла по неподвижной внутренней поверхности циклона и вязкость масла за счет взаимодействия инерционных сил, сил трения между поверхностью циклона и маслом, внутренних сил трения в масле и центробежных сил делают движение пленки масла волнообразным в виде последовательных перекатывающихся по поверхности циклона микровихрей в виде наклонных шнуров. А форма циклона и место подвода факела обеспечивают движение пленки масла по спирали сверху вниз. Такое движение пленки масла характеризуется **интенсивным теплом и массообменом**.

Тангенциальный подвод факела в циклон, форма циклона и высокая линейная скорость факела формируют движение паровой фазы в объеме циклона в виде двух вихрей: внешний паровой вихрь движется спутно движению пленки масла сверху вниз по внешней спирали, внутренний паровой вихрь – по обратной спирали снизу вверх. В соответствии с эффектом Ранка-Хилша температура внешнего вихря выше температуры внутреннего вихря.

Итенсивный тепло- и массообмен в пленке и воздействие горячей паровой фазы на поверхность пленки масла в условии вакуума обеспечивают высокую скорость и полноту испарения из пленки топливных и многократно превышают скорость испарения топливных фракций на этапе пленочного испарения по сравнению с ламинарным движением пленки в ТПИ.

На рисунке представлена общая схема установки регенерации масла.

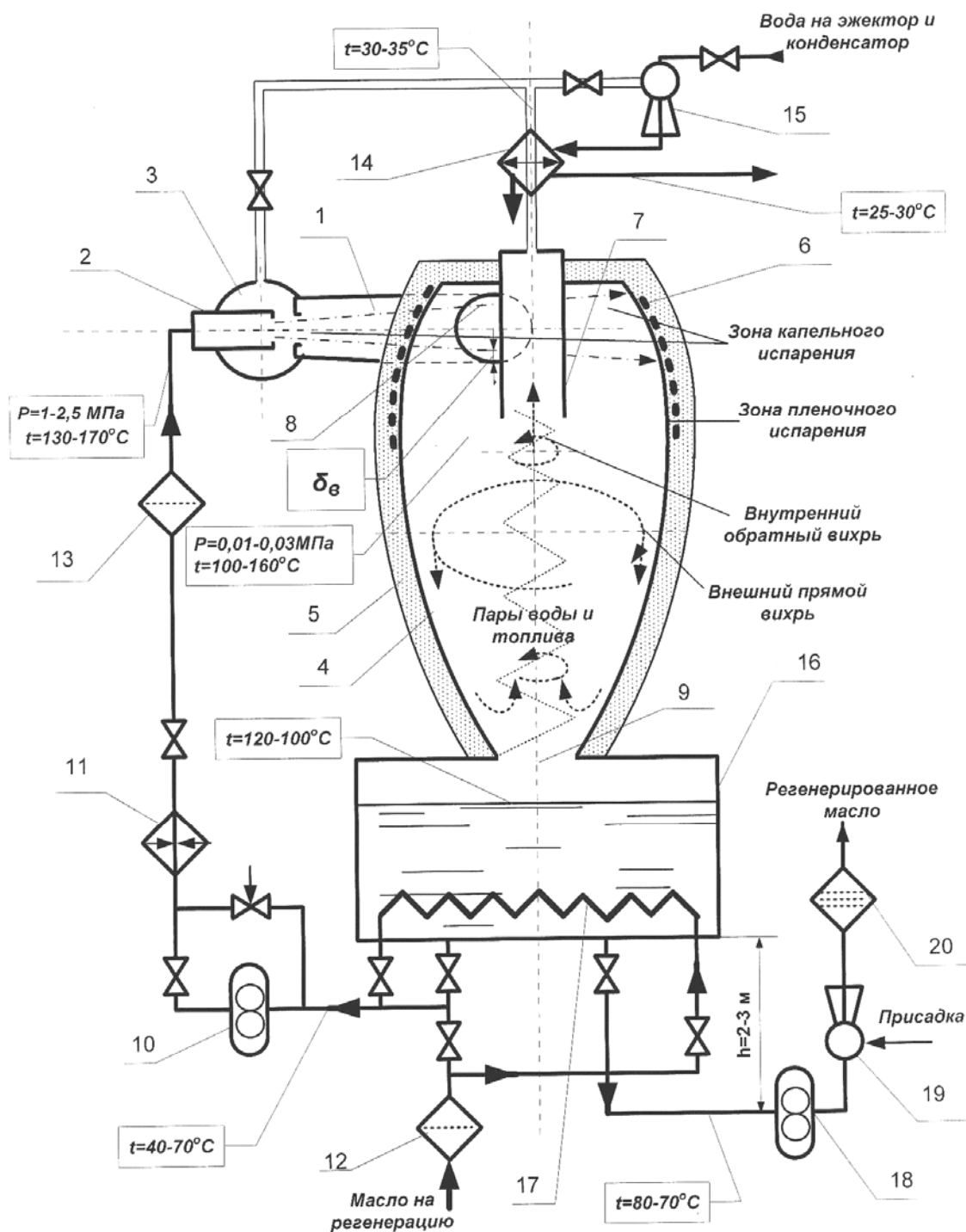
Установка работает следующим образом. Загрязненное масло через фильтр грубой очистки 12, теплообменник 17 насосом 10 подается на подогреватель масла 11. От подогревателя 11 через фильтр тонкой очистки 13 масло с параметрами давление  $p_m = 1-2,5$  МПа и температурой  $t_m = 130-170$  °С подается на форсунку 2. Из форсунки 2 линейный факел без крутки распыленного масла в виде узкого полого конуса через камеру всасывания 3 со скоростью  $V = 25-40$  м/с подается в камеру объемного капельного испарения 1.

Разрежение в камере всасывания 3 используется для формирования факела распыленного масла и вакуумирования конденсатора 14. Давление (абсолютное) в камере капельного испарения и циклоне 4 с теплоизоляцией стенки 5 поддерживается в диапазоне 0,01-0,03 МПа при температуре 100-160 °С.

В вакуумированной камере капельного испарения 1 перегретые капли диспергированной в масле воды мгновенно испаряются, «микровзрывы», разрывая частицы распыленного форсункой 2 масла на десятки более мелких частиц, в сотни раз увеличивают поверхность испарения масла, одновременно увеличивается внутренняя турбулизация и поперечное сечение факела. В камере капельного испарения 1 из масла испаряется вся вода и часть легких топливных фракций.

Камера капельного испарения 10 представляет собой ступенчатый цилиндр или конус, соосный с форсункой с небольшим углом конусности, например 5-10°, расширяющийся по движению факела. Поперечное сечение камеры капельного испарения 1 выбрано таким,

чтобы скорости движения паровой и жидкой фракций факела были примерно равными, а длина камеры и диаметр выходного отверстия такими, чтобы при заданных динамических линейных и угловых перемещениях установки перемещение оси факела на выходе за время движения масла от среза форсунки до выходного отверстия камеры 11 было меньше зазора  $\delta_e$  между внешним диаметром факела на входе в циклон 4 из камеры 1 и диаметром входного отверстия циклона 8 и выходного отверстия 9.



Устройство для регенерации масла  
Device for oil recovery

Непосредственно из камеры капельного испарения 1 парожидкостный факел распыленного масла тангенциально подается в верхнюю часть неподвижной внутренней поверхности циклона 12, движение факела из линейного переходит во вращательное по внутренней поверхности циклона. На стенке циклона 12 за счет центробежных сил, многократно превышающих силу тяжести, осуществляется разделение паровой и жидкой фаз факела распыленного масла и формируется пленка масла. Геометрические характеристики циклона при проектировании выбираются такими, чтобы обеспечивалось стабильное безотрывное течение пленки масла по спирали сверху вниз при статических наклонах циклона от вертикали  $\pm 40^\circ$  и  $\pm 30^\circ$  в условии качки с периодом качки 5 с и исключался вторичный распыл масла из пленки, например, воздействием факела. Например, форма циклона может быть составлена из двух тел вращения: верхняя половина циклона представлена усеченным сверху и снизу эллипсоидом с длинной вертикальной осью, а нижняя часть – сопряженным параболоидом.

За счет суммарного взаимодействия в пленке сил инерции движущегося масла, сил трения между маслом и стенкой циклона, внутренних сил трения в масле и центробежных сил движение пленки масла по стенке циклона осуществляется волнообразно попеременными вихрями, перекачиваемыми по стенке циклона по спирали вниз, обеспечивая высокую интенсивность массо- и теплообмена в пленке и высокую интенсивность и полноту испарения топливных фракций из пленки. Пары воды и топлива, испарившиеся в камере капельного испарения 1 и отсепарированные в циклоне 4, за счет формы циклона и инерционных сил движутся в циклоне по двум вихрям: внешнему, движущемуся спутно движению пленки масла по спирали сверху вниз, и внутреннему, поднимающемуся снизу циклона вверх к выходному парубку циклона 7 по спирали с обратным вращением. За счет эффекта Ранка-Хилша температура внешнего вихря выше температуры внутреннего парового вихря, что способствует интенсификации процесса пленочного испарения.

Из выходного патрубка 7 пары воды и топлива транспортируются в конденсатор 14, где за счет охлаждения они конденсируются и далее удаляются на утилизацию. Дополнительно к всасывающей камере 3 для вакуумирования конденсатора 14, циклона 4 и камеры капельного испарения 1 используется водяной эжектор 15. Отработанная вода эжектора используется для охлаждения конденсатора 14.

Пленка масла в циклоне после испарения топливных фракций самотеком через выходное отверстие внизу циклона 4 стекает в маслосборник 16, установленный ниже циклона. В маслосборнике очищенное масло охлаждается маслом, поступающим на регенерацию через теплообменник 17, снижая тепловые затраты на работу установки. Из маслосборника охлажденное масло насосом 18 через диспергатор-дозатор присадки 19 и фильтр тонкой очистки 20 транспортируется в емкость чистого масла.

При отсутствии необходимости дозировать присадку насос чистого масла из схемы можно исключить, но в этом случае емкость чистого масла должна быть расположена ниже уровня маслосборника на высоту, большую высоты вакуума в циклоне, либо вакуумироваться вместе с циклоном.

Для компенсации охлаждения факела масла в камере капельного испарения 1 и масляной пленки в верхней части циклона 4 от интенсивного испарения, в верхней части циклона 4 установлен подогреватель 6.

Вышеописанный способ и установка были проверены в работе на специально изготовленной опытной мобильной установке.

Технические характеристики опытной установки:

- номинальная производительность установки  $Q_{\text{ном.}} - 0,12 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- объем циклона  $V - 1,5 \text{ дм}^3$ ;
- мощность электронагревателя, установленная  $N_{\text{н.}} - 1,5 \text{ кВт}$ ;
- вес установки – 30 кг.

Пример 1

Таблица 1

Полученные на опытной установке результаты

Table 1

The results obtained in the pilot plant

Но- мер п/п	Очищаемое масло, загрязнитель	Показатели масла	Значение		
			Стан- дартное масло	Масло до регене- рации	Масло после реге- нерации, за одно- кратный проход
1	M10-B2C, разбавленное 5 % дизельного топлива	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	906	902	905
		Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с	11,61	8,97	11,22
		Температура вспышки, °С	210	155	200
2	Castrol MLC-30, эмульгированная вода 3,1 %	Содержание воды, %	Отс.	3,1	следы
		Щелочное число, мг КОН/г	12	9,2	9,9

Пример 2

Стабильность работы установки при дистилляции масла, обводненного диспергированной водой более 2 % (наименее стабильный режим), обеспечивается при наклонах испарителя:

при статических наклонах установки в пределах  $\pm 40^\circ$ ;

при динамических наклонах с периодом качки  $10 \text{ с} \pm 30^\circ$ .

О стабильной работе установки также свидетельствуют результаты испытаний ЦВТИ по отгонке ВТФ:

### 1. Экспериментальные испытания ЦВТИ РУМС-1 в режиме отгонки из масла легких топливных фракций, результаты и выводы

Испытания предназначены для определения режима эффективного восстановления до рабочих значений температуры вспышки и вязкости моторного масла, разбавленного дизельным топливом, на разработанном испарителе.

Испытания выполнены на лабораторной установке в режиме циркуляции регенерируемого масла в системе установки.

В качестве испытуемого (регенерируемого) масла применялось моторное масло М-10-В<sub>2</sub>(с), разбавленное дизельным топливом. Для испытаний было приготовлено две смеси: смесь № 1 с содержанием дизельного топлива 5 % и смесь № 2 с содержанием дизельного топлива 2,5 %.

Физико-химические характеристики свежего масла, дизельного топлива и испытуемых масел (смеси № 1 и № 2), полученные в результате лабораторных анализов, приведены в табл. 2. При испытаниях применялся распылитель с соплом  $\delta = 0,1 \text{ мм}$ , давление масла перед распылителем поддерживалось  $P_m = 1,0 \pm 0,05 \text{ МПа}$ , угол раскрытия факела был установлен  $\alpha = 5 \pm 1 \text{ град}$ .

Объем регенерируемого масла при проведении испытаний на всех режимах составлял  $V_m = 2,0 \text{ дм}^3$ .

Отгонка легких топливных фракций при проведении испытаний производилась при ступенчатом снижении давления (абсолютного) в камере испарения в три ступени:  $P_{н1} = 0,06 \text{ МПа}$ ;  $P_{н2} = 0,03 \text{ МПа}$ ;  $P_{н3} = 0,015 \text{ МПа}$ . Последнее  $P_{н3}$  – минимально допустимое давление. При проведении испытаний для каждого сочетания температуры масла в испарите-

ле и содержания топлива в масле (цикл испытаний) определялось начало отгонки топливных фракций по появлению первых капель конденсата в конденсатосборнике. После чего давление в камере испарения со скоростью  $\Delta P_n = 0,035 - 0,40$  МПа/мин последовательно снижалось до давления  $P_{n2}$  и  $P_{n3}$ .

Таблица 2

**Характеристики испытуемых нефтепродуктов**

Table 2

**Characteristics of the test oil**

Параметр	Свежее масло М-10-В <sub>2</sub> (с)	Дизельное топливо «Л»	Смесь № 1	Смесь № 2
Содержание топлива в масле, %	–	–	5	2,5
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	0,906	0,852	0,902	0,95
Вязкость кинематическая $\nu$ , мм <sup>2</sup> /с	11,61 при 100 °С	5,21 при 20 °С	8,97 при 100 °С	10,12 при 100 °С
Температура вспышки, °С	210	62	155	17
Содержание воды	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Содержание механических примесей, %	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Щелочное число, мг КОН/г	5,8	–	5,8	5,8
Водородный показатель pH	9.0	–	9.0	9.0

Работа испарителя на давлении  $P_{n1}$  осуществлялась до момента прекращения поступления конденсата в конденсатосборник. В период работы на  $P_n$  фиксировались параметры работы установки. Измерялись объемы конденсата, поступившего в тарированный конденсатосборник, и время работы испарителя на давлении  $P_{n1}$ . Затем осуществлялся перевод режима работы испарителя на следующую ступень давления  $P_{n2}$ , производились соответствующие измерения и т.д.

После завершения каждого цикла испытаний выполнялось определение физико-химических показателей испытуемого масла: температура вспышки, кинематическая вязкость, плотность, щелочное число и pH. На каждом «цикле» проведено по три испытания, средние результаты определений приведены в табл. 3.

Заключение по результатам определений режимов отгонки топливных фракций.

Испытания показали достаточную эффективность разработанного испарителя для удаления из масла легких топливных фракций.

При испытаниях (табл. 3) за двукратную циркуляцию из масла удалялось более 50 % разбавленного в нем дизельного топлива, преимущественно легких фракций. При этом достигнуто повышение температуры вспышки со 155 до 200 °С и повышение кинематической вязкости масла с 8,97 до 11,22 мм<sup>2</sup>/с при 100 °С. То есть моторное масло из разряда непригодного к использованию в дизелях после вакуумно-термической обработки в испарителе перешло в разряд пригодного к использованию.

В результате испытаний определен рабочий диапазон режима отгонки легких дизельных фракций:

- температура масла в камере испарения 140-170 °С причем при повышении температуры масла в камере испарения со 140 до 170 °С, скорость отгонки легких фракций возрастает примерно в два раза;

- давление в камере испарения абсолютное  $P_n = 0,03-0,015$  МПа.

Таблица 3

**Испытание отгонки из масла легких топливных фракций**

Table 3

**Test distillation of light fuel oil fractions**

Режим испытаний						Конденсация легких фракций то- плива		Характеристика масла								
Разбавление масла топливом, %	Температура масла в разбавителе, °С	Температура масла перед распылителем, °С	Давление в испарителе абсолютное, МПа	Температура конденсации, °С	Время на режиме, мин	Скорость конденсации, мл/мин	Объем конденсата, мл	Свежее			Испытуемое			Регенери- рованное		
								Температура вспышки, °С	Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Температура вспышки, °С	Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Температура вспышки, °С	Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
5	140	150	0,075	18	-	Начало конденсации		210	11,6	0,906	155	8,97	0,902	196	10,10	0,904
						5	10									
		150	0,030	22	3	10	30	210	11,6	0,906	155	8,97	0,902	200	11,22	0,905
	170	190	0,085	17	-	Начало конденсации		210	11,6	0,906	176	10,12	0,905	198	10,59	0,905
						10	10									
		180	0,060	21	1	17,5	35	210	11,6	0,906	176	10,12	0,905	198	10,59	0,905
2,5	140	160	0,070	20	-	Начало конденсации		210	11,6	0,906	176	10,12	0,905	205	11,30	0,905
						2,5	5									
		150	0,050	21	2	3,3	10	210	11,6	0,906	176	10,12	0,905	205	11,30	0,905
	170	185	0,080	22	-	Начало конденсации		210	11,6	0,906	176	10,12	0,905	205	11,30	0,905
						7	7									
		180	0,060	24	1	20	10	210	11,6	0,906	176	10,12	0,905	205	11,30	0,905
175	0,030	24	1	20	10	210	11,6	0,906	176	10,12	0,905	205	11,30	0,905		
															5	5

**2. Экспериментальные испытания ЦВТИ РУМС-1 в режиме отгонки из обводненного масла фракций воды, результаты и выводы**

Испытания предназначены для определения режима эффективного удаления воды из обводненного моторного масла. Для испытаний выбран худший в эксплуатации вариант обводнения масла: вода в масле находится в виде мелкодисперсной стабильной эмульсии. Содержание воды в масле более 2 %. При данном обводнении существующие судовые средства очистки масла бессильны.

Испытания выполнялись на лабораторной установке. Для испытаний применялось нестандартное моторное масло Marine MLC-30 (Burman Castrol) с судна «СЛВ-315» Владивостокского рыбного порта. При хранении масло было обводнено, образовалась



стойкая эмульсия. В лабораторных условиях данная эмульсия не расслоилась в течение шести месяцев.

Физико-химические показатели чистого и обводненного масла MLC-30 (испытываемого масла) по результатам лабораторных исследований приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Физико-химические показатели испытываемого масла**

Table 4

**Physico-chemical properties of the test oil**

Параметр	Масло MLC-30 чистое	Масло MLC-30 обводненное
Вязкость кинематическая при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с	11,6	Не определяется эмульсия
Температура вспышки, °С	210	208 (обезвоженного)
Щелочное число, мг КОН/г	9,1	8,5
рН	7,7	7,7
Содержание механических примесей, %	0,006	Отсутствует
Содержание воды, %	Следы	3,1
Микрокопия	Чистое	Эмульсия с дисперсностью 5-10 мкм

По результатам наладочных испытаний на данном режиме определено, что на эмульгированном масле распылитель с соплом  $\delta = 0,1$  мм работает неудовлетворительно. Из-за очень высокой вязкости холодного эмульгированного масла невозможен запуск испарителя в холодном состоянии, а при высокой температуре нагрева масла  $t_m > 160$  °С происходит запыление сопла. Распылитель с соплом  $\delta = 0,2$  мм на эмульгированном масле работал достаточно надежно.

При испытаниях применялся распылитель с соплом  $\delta = 0,2$  мм, давление масла перед распылителем поддерживалось  $P_m = 1,0 \pm 0,1$  МПа, угол раскрытия факела был установлен  $\alpha = 4$  град.

На первом этапе испытания выполнялись в режиме циркуляции регенерируемого масла в испарителе. Из-за большого количества воды в масле (3,1 %) установленный на испаритель конденсатор без принудительного охлаждения перегревался и параметры испарителя не стабилизировались. Результаты испытаний невозможно было систематизировать.

Для выполнения заданного объема испытаний лабораторная установка регенерации была модернизирована. Был спроектирован и изготовлен конденсатор с водяным охлаждением типа труба в трубе. Для вакуумирования установки был установлен водяной эжектор, а отработанная вода эжектора использована в качестве охлаждающей конденсатора.

Второй этап испытаний выполнен в режиме работы испарителя на проток без циркуляции регенерируемого масла. На втором этапе испытания выполнялись в следующей последовательности.

Испытуемое масло (обводненное масло MLC-30) объемом 6 дм<sup>3</sup> нагревалось в емкости до температуры 60-80 °С.

Одновременно испаритель и масляная система установки разогревались циркуляцией чистого масла MLC-30, залитого в циркуляционную емкость в объеме 0,5-1 дм<sup>3</sup>, по системе при включенном маслоподогревателе.

После того как температура элементов установки поднималась на 5-10 °С выше, чем задано режимом испытаний, насос и маслоподогреватель выключались, а масло из циркуляционной емкости сливалось. Установка переключалась в режим работы на проток, при-

емный шланг насоса опускался в емкость разогретого испытуемого масла, сточный патрубок циркуляционной емкости соединялся с герметичной приемной емкостью. Эжектором давление в камере испарения быстро доводилось до заданного значения. После чего включался насос и подогретое испытуемое масло последовательно прокачивалось через маслоподогреватель (где оно нагревалось до заданного значения) в испаритель, где в камере испарения из масла при заданных давлении и температуре испарялась вода и затем из циркуляционной емкости установки оно самотеком стекало в герметичную сборную емкость.

После обработки всего масла установка выключалась, из сборной емкости отбиралась для лабораторного анализа проба регенерированного масла.

При необходимости регенерированное горячее масло сразу же подвергалось повторной регенерации по указанной выше схеме.

Результаты испытаний приведены в табл. 5.

Таблица 5

**Испытание отгонки из эмульгированного масла воды**

Table 5

**Test distillation of emulsified oil water**

Режим работы установки	Режим испытаний							Характеристика масла								
	Температура масла, °С		Давление, кПа		Температура конденсации, °С	Объемы регенерируемого масла, дм <sup>3</sup>	Время регенерации, с	Кратность циркуляции, производительность, м <sup>3</sup> /ч	До регенерации				После регенерации			
									Содержание воды, %	Температура вспышки, °С	Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с при 100 °С	Щелочное число, мг КОН/г	Содержание воды, %	Температура вспышки, °С	Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с при 100 °С	Щелочное число, мг КОН/г
1-й этап циркуляции	100	110÷160	1,0	0,03÷0,08	18-начало 60-конец	2	360	Четырехкратная	3,1	208	11,6*	9,2*	Отсутствует	208	10,64	9,7
	140	160÷210	1,0	0,03÷0,08	18-начало 70-конец	2	240	Трехкратная	3,1	208	11,6*	9,2*	Отсутствует	210	10,83	10,6
2-й этап на проток	100	165÷180	1,0	0,04÷0,05	16-18	6	318	0,068	3,1	208	11,6*	9,2*	0,06	208	10,94	9,4
	100 повторно	115÷140	1,0	0,02÷0,03	16-18	5	190	0,094	0,6	208	10,94	9,4	Отсутствует	208	10,94	9,7
	100	165÷180	1,0	0,015÷0,03	16-18	6	335	0,065	3,1	208	11,6*	9,2*	0,12	208	10,70	9,6
	140	200÷215	1,0	0,015÷0,03	16-18	6	395	0,054	3,1	208	11,6*	9,2*	Следы	208	10,75	9,9

Испытания показали эффективность испарителя при отгонке воды из обводненного масла.

Даже эмульгированная вода, при начальном содержании 3,1 %, полностью удаляется при двукратной обработке при температуре в камере испарения  $t_n = 100$  °С. Однократная обработка масла при температуре в камере испарения  $t_n = 100$  °С и давлении в камере испарения  $P_n = 0,02-0,03$  МПа позволяет снизить содержание воды в масле до 0,12 %.

Однократная обработка масла при температуре в камере испарения  $t_n = 100$  °С и давлении в камере испарения  $P_n = 0,02-0,03$  МПа позволяет удалить воду из эмульгированного масла практически полностью.

При удалении воды в вакуумно-термическом испарителе одновременно со снижением содержания воды в масле повышается его щелочное число, что говорит о возврате растворенной в воде части присадки масла.

Для поддержания заданной температуры в камере испарения требуется более высокий нагрев масла перед распылителем, на 30-50 °С выше, чем при отгонке фракций дизельного топлива.

Расход обводненного эмульгированного масла через сопло при одинаковых условиях на 30-60 % ниже «сухого» масла. Это объясняется запирающим действием части выходного сечения сопла парами вскипаемой воды.

Расчетный рабочий режим отгонки воды из обводненного масла по результатам испытаний составляет:

- температура в камере испарения  $t_n = 100-140$  °С;
- давление в камере испарения абсолютное  $P_n = 0,05-0,015$  МПа.

### **3. Экспериментальные испытания ЦВТИ в режиме совместной отгонки воды и легких топливных фракций из моторного масла**

Испытания по определению режимов отдельной отгонки легких дизельных фракций из разбавленного дизельным топливом моторного масла и воды из обводненного эмульгированного масла показали невозможность эффективной одновременной отгонки воды и топливных фракций из масла с высоким содержанием воды в испарителе конструктивного исполнения, примененного в лабораторной установке.

При регенерации масла с высоким содержанием воды ( $> 2$  %), при максимально допустимом нагреве масла в маслоподогревателе (табл. 6) из-за высокой теплоты испарения воды температура в камере испарения снижается до значения меньших диапазонов эффективной отгонки топливных фракций. И кроме этого, при высоком нагреве обводненного масла происходит заклинивание сопла распылителя.

Наладочные испытания на режиме показали возможность удовлетворительной одновременной отгонки воды и топливных фракций при содержании эмульгированной воды до 0,5 %.

Настоящие испытания выполнены для масла с содержанием воды 0,5 % и топлива 5 %.

Испытания выполнены на лабораторной установке в режиме циркуляции.

Для испытаний используется распылитель с  $\delta = 0,2$  мм. Давление масла перед распылителем поддерживалось  $P_m = 2,0 \pm 1$  МПа. Угол раскрытия факела был установлен  $\alpha = 4 \pm 1$  град. В качестве испытуемого использовалось масло М-10-В<sub>2</sub>(с), разбавленное на 5 % дизельным топливом Л-0,2-62 (ГОСТ 305-2010) и обводненное на 0,5 %, с использованием гомогенизатора.

Для испытаний приняты режимы:

- оптимальный режим по отгонке топливных фракций из масла.
- оптимальный режим по отгонке воды из обводненного масла.

Испытания проводились при постоянном, предварительно установленном давлении в камере испарения. Температура в камере испарения была установлена также предварительно с применением чистого масла М-10-В<sub>2</sub>(с).

Результаты испытаний и физико-химические показатели свежего и испытываемого масел приведены в табл. 4. Результаты испытаний возможности совместной и одновременной отгонки из масла воды и топливных фракций показатели ее принципиальную возможность (табл. 6).

Таблица 6

**Испытание совместной отгонки воды и топливных фракций**

Table 6

**Test the joint distillation water and fuel fractions**

Параметр		Режим испытаний	
Температура в камере испарения, °С		140	170
Давление в камере испарения абсолютное, МПа		0,02-0,03	0,02-0,03
Температура масла перед распылителем, °С		175-190	205-220
Давление масла перед распылителем, МПа		2,0	2,0
Температура конденсации, °С		17	17
Объем регулируемого масла, дм <sup>3</sup>		2,0	2,0
Время регенерации, с		180	180
Характеристики испытываемого масла 5 % воды, 5 % дизельного топлива	Плотность, кг/м <sup>3</sup> при 20 °С	902	902
	Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с при 100 °С	9,54	9,54
	Температура вспышки, °С	162	162
	Содержание механических примесей, %	Отсутствует	Отсутствует
	Содержание воды, %	0,5 эмульсия	0,5 эмульсия
	Содержание дизельного топлива, %	5	5
	Щелочное число, мг КОН/г	0,0	0,0
	рН	9,0	9,0
Характеристики испытываемого масла после регенерации	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	903	904
	Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с при 100 °С	9,65	10,1
	Температура вспышки, °С	170	165
	Содержание механических примесей, %	Отсутствует	Отсутствует
	Содержание воды, %	0,05	Отсутствует
	Щелочное число, мг КОН/г	6,0	6,0
	рН	9,0	9,0

**Заключение и выводы по результатам лабораторных испытаний установки регенерации моторных масел**

Настоящие испытания выполнены на специально разработанной и изготовленной лабораторной установке в соответствии с программой и методикой испытаний. Методы и режимы испытаний по определению режимов отгонки воды из эмульгированного масла в процессе проведения испытаний были скорректированы.

Лабораторная установка была модернизирована с целью обеспечения возможности работы в длительном режиме на проток из емкости в емкость:

- для вакуумирования испарителя был установлен водяной эжектор, обеспечивающий при работе от водопровода давление в камере испарения (абсолютное)  $P_{и} = 0,005$  МПа;

- спроектирован, изготовлен и установлен конденсатор с водяным охлаждением взамен конденсатора с воздушным охлаждением. Причем для охлаждения конденсатора используется обратная вода эжектора;

- на масляную систему установлен дополнительный приемный патрубок с запорным клапаном.

Проведенные лабораторные испытания подтвердили достаточную эффективность разработанных методов и конструкции испарителя, реализующего метод по очистке моторных масел от эмульгированной воды и легких топливных фракций.

Даже без оптимизации конструктивных и геометрических характеристик элементов испарителя на лабораторной установке в нормальных режимах работы осуществляется практически полное восстановление показателей масла до эксплуатационных, в отличие от браковочных, обусловленных наличием воды и топлива в моторном масле. Температура вспышки масла при двукратной циркуляции повышена со 155 до 200 °С, а кинематическая вязкость при 100 °С – с 8,97 до 11,22 мм<sup>2</sup>/с. Содержание воды в эмульгированном масле за однократный проход через испаритель понижено с 3,1 % до следов воды. Причем современные средства очистки моторных масел, установленные на судах, бессильны при данных загрязнениях масла.

В результате испытаний определены расчетные режимы работы испарителя и обслуживающих узлов и систем и конструктивные характеристики для проектирования с использованием САПР, опытно-промышленной установки регенерации моторных масел в судовых условиях с возможностью работы ЦВТИ в условиях качки и крена судна.

### Список литературы

1. Фукс И.Г., Евдокимов А.Ю., Лашхи В.Л., Самойхмедов Ш.М. Экологические проблемы рационального использования смазочных материалов. – М.: Изд-во «Нефть и газ», 1993. – 164 с.

2. Сурин С.А. Отработанные масла: вторая жизнь // Мир нефтепродуктов. – 2000. – № 2. – С. 22-24.

3. Пиковская Е.В., Сурин С.А. Регенерация отработанных масел в США // Мир нефтепродуктов. – 2000. – № 4. – С. 23-25.

4. Юзефович В.И. Организация сбора отработанных смазочных масел // Мир нефтепродуктов. – 2001. – № 3. – С. 28-30.

5. Остриков В.В. Повышение эффективности использования смазочных масел путем разработки и совершенствования методов, технологий и технических средств: автореф. дис. ... доктора техн. наук. – Саратов, 2000. – 49 с.

**Сведения об авторах:** Тарасов Валерий Васильевич, профессор;  
Власов Игорь Борисович, доцент.