Судовые энергетические установки

DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-3-12>
УДК 629.12

В.В. Тарасов, А.Н. Соболенко

ТАРАСОВ ВАЛЕРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ – профессор кафедры безопасности в нефтегазовом комплексе, e-mail: vtarasov@msun.ru
СОБОЛЕНКО АНАТОЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ – д.т.н., профессор кафедры судовых двигателей внутреннего сгорания, e-mail: sobolenko_a@mail.ru
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
Верхнепортовая ул. 50 а, Владивосток, Россия, 690003

Исследование эффективности регенерации отработанных моторных масел судовых дизелей в циклонном испарителе РУМС-1 на основе регрессионных моделей

Аннотация: Представлены разработанные авторами математические модели отдельного удаления воды и топлива, а также модели одновременного удаления воды и топлива из масла при его регенерации. При этом температура вспышки и вязкость регенерированного масла должны быть лучше браковочных значений, определенных регламентирующими документами, что позволяет использовать это масло повторно в двигателях внутреннего сгорания.

В исследовании изменялись следующие факторы (для циклонного вакуум-термического испарителя – ЦВТИ): количество регенерируемого масла в час, давление во время регенерации, температура регенерируемого масла во время регенерации.

После обработки результатов эксперимента и исключения незначимых коэффициентов были получены уравнения регрессии с доверительной вероятностью 0,95 для расчёта количества удаления воды и количества удаления топлива.

Полученные математические модели рекомендуется использовать для расчёта количества удаляемой воды и топлива из ОММ (отбракованного моторного масла), а также для разработки мер по усовершенствованию установки РУМС-1 для повышения количества удаляемой воды и топлива.

Определено, что модульная мобильная установка РУМС-1 позволяет восстанавливать в судовых условиях эксплуатационные показатели моторного масла до добраковочного уровня, эффективно удаляя воду и топливные фракции.

Установлено, что величина давления вакуума и температура ОММ являются основными факторами, влияющими на процесс регенерации ОММ в модульной мобильной установке РУМС-1.

Для расчета параметров процесса удаления водотопливных фракций из ОММ при его одновременном загрязнении указанными фракциями предложены соответствующие уравнения.

Ключевые слова: регенерация моторных масел, циклонный вакуум-термический испаритель, планирование эксперимента, уравнения регрессии, удаление воды, удаление топлива.

Введение

Для береговых предприятий используются многофункциональные передвижные и стационарные регенерационные установки, реализующие единую концепцию сбора и переработки отработанных моторных масел (ОММ). Но для судовых дизелей их использование

затруднительно, поэтому для судовых условий более целесообразно применять мобильные малогабаритные установки.

Анализ наличия существующих установок по регенерации ОММ показывает, что отсутствуют малогабаритные установки производительностью $0,3 \div 3,0$ т/ч [1, 2, 7]. Следует отметить, что при регенерации небольших количеств масел наиболее эффективными являются комбинированные методы с преобладанием физических методов регенерации [7, 8].

Известно, что в процессе эксплуатации механизмов и двигателей, а также при транспортировании и хранении смазочных масел происходит попадание в них воды, топлива и хладагентов. При эксплуатации масел на судах в результате загрязнения жидкими загрязнителями бракуется от 50 до 70% масел [3, 6].

Для восстановления эксплуатационных свойств моторных масел был разработан циклонный вакуум-термический испаритель (РУМС-1) [4, 7]. Но для расчётного определения количества воды и топлива, удаляемого в установке РУМС-1, необходимо разработать соответствующие модели.

Разработка модели расчёта количества воды и топлива, удаляемых из отработанного моторного масла в РУМС-1

Цель настоящей статьи – получение математических моделей, описывающих количество удаляемой воды и топлива в процентном отношении к первоначальному значению этих браковочных показателей в отработанном моторном масле. И на их основе оценка эффективности регенерации отработанных моторных масел в судовом циклонном испарителе РУМС-1.

Рекомендации по глубине очистки регенерированных моторных масел были приведены ранее в работах [3, 6, 9]. Но в нашей статье, в отличие от названных трудов, рассматриваются процессы как отдельного удаления воды и отдельно топливных фракций, так и одновременного удаления воды и топливных фракций.

В моделировании использованы следующие значения: Q – количество регенерируемого масла в час в циклонном вакуум-термическом испарителе (ЦВТИ); $p_{\text{вак}}$ – давление в ЦВТИ во время регенерации; $t_{\text{м}}$ – температура регенерируемого масла во время регенерации.

Модель для определения количества удаляемой воды из отработанного моторного масла в общем виде можно записать следующим образом:

$$\varphi_{\text{в}} = f(Q, p_{\text{вак}}, t), \quad (1)$$

а для топлива:

$$\varphi_{\text{т}} = f(Q, p_{\text{вак}}, t). \quad (2)$$

где количество: $\varphi_{\text{в}}$ – удаляемой воды в процентах к первоначальному значению, $\varphi_{\text{т}}$ – удаляемых топливных фракций в процентах к первоначальному значению, Q – восстановленного моторного масла в циклонном вакуум-термическом испарителе (ЦВТИ);

$p_{\text{вак}}$ – давление в ЦВТИ при регенерации;

$t_{\text{м}}$ – температура восстанавливаемого ОММ при его регенерации.

Применение методов планирования эксперимента с целью получения формул для расчета количества удаляемой воды из ОММ было рассмотрено ранее [3]. В теории рекомендуются исследования одновременного удаления воды и топлива проводить на основании некомпозиционного плана эксперимента второго порядка в виде полинома второй степени [5]. Ценность такого математического описания в том, что на основании экспериментальных данных получена информация о влиянии определенных факторов, что позволяет количественно определять значения функций отклика при заданных режимах ведения процесса и может служить основой для оптимизации эффективности удаления ВТФ (водотопливных фракций) из ОММ при использовании установки РУМС-1 на проток (однократный проход регенерируемого масла через циклонный вакуум-термический испаритель) [4].

В качестве параметров оптимизации приняли количество удаленной воды (y_v) и количество топливных фракций (y_t) из регенерируемого моторного масла. Выбранные уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице.

Уровни факторов и интервалы их изменения при проведении экспериментов

Факторы, установка РУМС-1	Обозначение	Уровни факторов			Интервал изменения
		нижний -1	основной 0	верхний +1	
Производительность	Q , л/ч	15	40	65	25
Давление вакуума	$p_{\text{вак}}$, МПа	0,015	0,045	0,075	0,030
Температура масла	t_m , °C	110	145	180	35

Для получения моделей расчёта количества удаляемых воды и лёгких топливных фракций из ОММ в виде полинома второй степени был применён некомпозиционный план второго порядка [8].

Результаты эксперимента обрабатывались по стандартной методике, изложенной в работе [5].

Расчёт регрессионной модели для удаления воды y_v

После обработки результатов эксперимента и исключения незначимых коэффициентов было получено следующее уравнение регрессии для расчета эффективности удаления воды:

$$\varphi_v = -287,898 + 2,085Q - 0,018Q^2 + 3346,229p_{\text{вак}} - 18306,66p_{\text{вак}}^2 + 2,8t_m - 0,007t_m^2 - 8,386p_{\text{вак}}t_m. \quad (3)$$

Оценка адекватности полученной модели проводилась по критерию Фишера. При этом было установлено, что полученная модель адекватна с доверительной вероятностью $P = 95\%$ [8].

Расчёт регрессионной модели для удаления топлива y_t

После обработки результатов эксперимента и исключения незначимых коэффициентов было получено следующее уравнение регрессии для расчета эффективности удаления топливных фракций:

$$\varphi_t = -149,52 - 0,38Q + 0,004Q^2 + 1027,38p_{\text{вак}} - 8472,2p_{\text{вак}}^2 + 1,98t_m - 0,005t_m^2 - 2,14p_{\text{вак}}t_m + 6,67p_{\text{вак}}Q - 0,003Q \cdot t_m. \quad (4)$$

Оценка адекватности полученной модели проводилась по критерию Фишера. При этом было установлено, что полученная модель адекватна с доверительной вероятностью $P = 95\%$ [8].

Полученные математические модели рекомендуется использовать для расчёта количества одновременно удаляемых воды и легких топливных фракций из ОММ. Их также можно использовать для обоснования изменения параметров ведения процесса при модернизации установки РУМС-1[4].

Исследование эффективности ЦВТИ по удалению ВТФ из ОММ в зависимости от его производительности и параметров вакуум-термического процесса с использованием регрессионных моделей

Удаление ВТФ из ОММ при $Q = 40$ л/ч. Математическая модель для удаления воды при обрабатываемом количестве ОММ в единицу времени, взятом на нулевом уровне ($Q = 40$ л/ч), имеет вид:

$$\varphi_B = -233,298 + 3346,229p_{\text{вак}} - 18306,66p_{\text{вак}}^2 + 2,80t_M - 0,007t_M^2 - 8,386p_{\text{вак}}t_M. \quad (5)$$

Геометрическая интерпретация полученной регрессионной модели в трёхмерном пространстве при производительности, взятой на нулевом уровне ($Q = 40$ л/ч), приведена на рис. 1.

Рис. 1. Зависимость количества удалённой воды из ОММ от его температуры и давления в ЦВТИ при одновременном удалении с топливными фракциями и двумерное сечение этой зависимости с линиями постоянной эффективности (при $Q=40$ л/ч).

Математическая модель для удаления топлива при производительности установки, взятой на нулевом уровне ($Q = 40$ л/ч), имеет вид:

$$\varphi_T = -158,32 + 1294,18p_{\text{вак}} - 8472,2p_{\text{вак}}^2 + 1,86t_M - 0,005t_M^2 - 2,14p_{\text{вак}}t_M. \quad (6)$$

Трёхмерная геометрическая интерпретация полученной регрессионной модели при производительности установки, взятой на нулевом уровне ($Q = 40$ л/ч), приведена на рис. 2.

Рис. 2. Зависимость количества удалённых легких топливных фракций из ОММ от температуры и давления в ЦВТИ при одновременном удалении с водой и двумерное сечение этой зависимости с линиями постоянной эффективности (при $Q=40$ л/ч).

Поверхности отклика, характеризующие процесс одновременного удаления воды и топливной фракции из ОММ, представлены на рис. 3.

Рис. 3. Зависимость количества удаленной вместе с ВТФ из смеси ОММ (моторное масло + ВТФ) от температуры ОММ и давления в ЦВТИ:

1 – визуализация поверхности значений количества удаленной воды из ОММ вместе с легкими топливными фракциями; 2 – визуализация поверхности значений количества удаленных легких топливных фракций из ОММ вместе с водой при $Q=40$ л/ч.

Удаление ВТФ из ОММ при $Q = 65$ л/ч. Математическая модель при максимальной производительности ($Q = 65$ л/ч) для процесса удаления воды имеет вид:

$$\varphi_{\text{в}} = -228,423 + 3346,229P_{\text{вак}} - 18306,66p_{\text{вак}}^2 + 2,80t_{\text{м}} - 0,007t_{\text{м}}^2 - 8,386P_{\text{вак}}t_{\text{м}}. \quad (7)$$

Геометрическая интерпретация полученной регрессионной модели при максимальной производительности ($Q=65$ л/ч) приведена на рис. 4.

Рис. 4. Зависимость количества удаленной воды из ОММ от его температуры и давления в ЦВТИ при одновременном удалении с топливными фракциями и двумерное сечение этой зависимости с линиями постоянной эффективности (при $Q = 65$ л/ч).

Математическая модель для удаления топливной фракции при максимальной производительности ($Q = 65$ л/ч) имеет вид

$$\varphi_{\text{т}} = -157,32 + 1460,93p_{\text{вак}} - 8472,20p_{\text{вак}}^2 + 1,785t_{\text{м}} - 0,005t_{\text{м}}^2 - 2,14p_{\text{вак}}t_{\text{м}}. \quad (8)$$

Геометрическая интерпретация полученной регрессионной модели при максимальной производительности ($Q = 65$ л/ч) приведена на рис. 5.

Поверхности отклика, характеризующие процесс совместного удаления воды и топливной фракции из ОММ, при максимальной производительности ($Q = 65$ л/ч), представлены на рис. 6.

Рис. 5. Зависимость количества удалённых легких топливных фракций из ОММ от его температуры и давления в ЦВТИ при одновременном удалении с водой из ОММ и двумерное сечение этой зависимости с линиями постоянной эффективности (при $Q = 65$ л/ч).

Рис. 6. Зависимость количества удалённых вместе с ВТФ из гетерогенной смеси ОММ (моторное масло + ВТФ) от температуры ОММ и давления в ЦВТИ: 1 – визуализация поверхности значений количества удалённой воды из ОММ одновременно с удалением легких топливных фракций; 2 – визуализация поверхности значений количества удалённых легких топливных фракций из ОММ вместе с водой ($Q = 65$ л/ч).

Удаление ВТФ из ОММ при $Q = 15$ л/ч. Математическая модель для процесса удаления воды при минимальной производительности ($Q = 15$ л/ч) имеет вид:

$$\varphi_{\text{в}} = -260,673 + 3346,229p_{\text{вак}} - 18306,66p_{\text{вак}}^2 + 2,80t_{\text{м}} - 0,007t_{\text{м}}^2 - 8,386p_{\text{вак}}t_{\text{м}}. \quad (9)$$

Геометрическая интерпретация полученной регрессионной модели при минимальной производительности ($Q = 15$ л/ч) приведена на рис. 7.

Математическая модель для процесса удаления топливной фракции при производительности, взятой на минимальном уровне – 1 ($Q = 15$ л/ч), имеет вид:

$$\varphi_{\text{т}} = -154,32 + 1127,43p_{\text{вак}} - 8472,2p_{\text{вак}}^2 + 1,935t_{\text{м}} - 0,005t_{\text{м}}^2 - 2,14p_{\text{вак}}t_{\text{м}}. \quad (10)$$

Рис. 7. Зависимость количества удалённой воды из ОММ от его температуры и давления в ЦВТИ при одновременном удалении с топливными фракциями и двухмерное сечение этой зависимости с линией постоянной эффективности (при $Q = 15$ л/ч).

Геометрическая интерпретация полученной регрессионной модели при производительности, взятой на минимальном уровне – 1 ($Q = 15$ л/ч), приведена на рис. 8.

Рис. 8. Зависимость количества удалённых легких топливных фракций при одновременном удалении с водой из ОММ от его температуры и давления в ЦВТИ и двумерное сечение этой зависимости с линиями постоянного значения эффективности процесса (при $Q = 15$ л/ч).

Поверхности отклика, характеризующие процесс одновременного удаления воды и топливной фракции из отработанных моторных масел при минимальной производительности ($Q = 15$ л/ч), представлены на рис. 9.

Таким образом, комплексная модель расчёта количества одновременно удаляемых воды и топлива из отработанного моторного масла представляет собой две регрессионные математические модели. С помощью первой модели рассчитывается количество удаляемой воды при наличии загрязнения отработанных моторных масел еще и топливом, в то время как вторая модель дает возможность рассчитать количество испаряемых легких топливных фракций, удаляемых из ОММ одновременно с водой.

Двумерное сечение поверхности отклика эффективности удаления воды (рис. 1) дает возможность установить рациональный режим создания в ЦВТИ давления вакуума и температуры при регенерации ОММ при $Q = 40$ л/ч. А двумерное сечение поверхности отклика эффективности удаления топлива (рис. 2) – возможность установить рациональный режим

создания в ЦВТИ давления вакуума и температуры при регенерации ОММ при $Q = 40$ л/ч. Наложение указанных двумерных сечений (рисунки 1 и 2), в свою очередь, позволяет скорректировать параметры давления и температуры в ЦВТИ при одновременном удалении водотопливных фракций при заданной производительности процесса регенерации отработанного моторного масла (рис. 3).

Рис. 9. Зависимость количества удалённых вместе с ВТФ из смеси ОММ (моторное масло + ВТФ) от его температуры и давления в ЦВТИ:
1 – визуализация поверхности значений количества удалённой воды из ОММ вместе с легкими топливными фракциями; 2 – визуализация поверхности значений количества удалённых легких топливных фракций из ОММ вместе с водой при $Q = 15$ л/ч.

Двумерное сечение поверхности отклика эффективности удаления воды (рис. 4) дает возможность установить рациональный режим создания в ЦВТИ давления вакуума и температуры при регенерации ОММ при $Q = 65$ л/ч. А двумерное сечение поверхности отклика эффективности удаления топлива (рис. 5) – возможность установить рациональный режим создания в ЦВТИ давления и температуры при регенерации ОММ при $Q = 65$ л/ч. В свою очередь, наложение указанных двумерных сечений (рисунки 4 и 5) позволяет скорректировать параметры давления и температуры в ЦВТИ при одновременном удалении ВТФ при данной производительности процесса регенерации ОММ (рис. 6).

Двумерное сечение поверхности отклика эффективности удаления воды (рис. 7) дает возможность установить рациональный режим создания в ЦВТИ давления и температуры при регенерации ОММ при $Q = 15$ л/ч. А двумерное сечение поверхности отклика эффективности удаления топлива (рис. 8) позволяет установить рациональный режим создания в ЦВТИ давления и температуры при регенерации ОММ при $Q = 15$ л/ч. Наконец, наложение указанных двумерных сечений (рисунки 7 и 8) дает возможность скорректировать параметры давления и температуры в ЦВТИ при одновременном удалении ВТФ при заданной производительности процесса регенерации ОММ (рис. 9).

Исследование динамики процессов удаления воды из ОММ при граничных уровнях производительности $Q = 15, 40$ и 65 л/ч

Гиперповерхности функций отклика для удаления воды при различной производительности. Поверхности отклика, характеризующие процесс удаления воды из ОММ при производительности $Q = 15, 40$ и 65 л/ч, представлены на рис. 10.

Наложение указанных двумерных сечений равных значений функций отклика (рисунки 1, 4, 7) дает возможность скорректировать параметры давления и температуры в ЦВТИ при удалении воды для граничных уровней производительности ЦВТИ $Q = 15; 40$ и 65 л/ч процесса регенерации ОММ (рис. 10) для оптимальной производительности с учетом работы установки РУМС-1 на циркуляцию или на одноразовый проток.

Рис. 10. Зависимость количества удалённой воды из ОММ (моторное масло + вода) от его температуры и давления в ЦВТИ при его разной производительности (Q); визуализация поверхности значений количества удалённой воды из ОММ:
1 – при $Q = 15 \text{ л/ч}$; 2 – при $Q = 40 \text{ л/ч}$; 3 – при $Q = 65 \text{ л/ч}$.

Исследование процессов удаления топливной фракции из ОММ при граничных уровнях производительности $Q = 15; 40$ и 65 л/ч

Поверхности отклика, характеризующие процесс удаления топлива из ОММ при факторе производительности на всех уровнях – 1; 0 и +1, т.е. при $Q = 15, 40$ и 65 л/ч , представлены на рис. 11.

Рис. 11. Зависимость количества удалённого топлива из ОММ (моторное масло + топливо) от его температуры и давления в ЦВТИ при его разной производительности. Визуализация поверхности значений количества удалённых топливных фракций из ОММ при производительности:
1 – $Q = 15 \text{ л/ч}$; 2 – $Q = 40 \text{ л/ч}$; 3 – $Q = 65 \text{ л/ч}$.

Таким образом, можно сделать вывод, что наложение указанных двумерных сечений равных значений функций отклика (рисунки 1, 4 и 7) дает возможность скорректировать параметры давления и температуры в ЦВТИ при удалении воды для граничных уровней производительности ЦВТИ $Q = 15; 40$ и 65 л/ч процесса регенерации ОММ для установления оптимальной производительности с учетом работы установки РУМС-1 на циркуляцию или на одноразовый проток.

Заключение

1. Модульная мобильная установка РУМС-1 дает возможность эффективно восстанавливать эксплуатационные показатели отработанного моторного масла по таким показателям, как содержание воды и топливных фракций до добраковочных значений.

3. Разработаны регрессионные уравнения для расчёта количества удаляемых ВТФ из ОММ при их загрязнении водой и топливом.

2. Разработанные нами формулы делают очевидным вывод о том, что значение температуры регенерируемого отработанного масла и величина давления вакуума в ЦВТИ являются основными значащими факторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Замальдинов М.М. Очистка отработанных минеральных моторных масел центрифугированием // Вестник Ульяновской ГСХА. 2011. № 1. С. 93–98.
2. Замальдинов М.М., Глущенко А.А., Кубеев Е.И. Модульная линия очистки отработанных минеральных моторных масел от загрязнений // Известия Санкт-Петербургского ГАУ. 2010. № 20. С. 306–311.
3. Кича Г.П., Кича П.П., Семенюк Л.А. Возможность увеличения срока службы моторного масла в судовых дизелях типа ЧН18/22 // Научн. проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2017. № 1–2. С. 112–116.
4. Колосов В.В., Тарасов В.В., Кулямов П.В. Установка для регенерации отработанных моторных масел в судовых условиях // Сб. науч. тр. SWorld. Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании-2011». Вып. 4, т. 2. Одесса: Черноморье, 2011. С. 72–75.
5. Лунев В.А. Математическое моделирование и планирование эксперимента. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. 153 с.
6. Маркелов А.В., Осадчий Ю.П., Яги Абдалмути Камаль. Локальные технологии для разделения водомасляных эмульсий // Информационная среда вуза. Материалы XXI Междунар. науч.-техн. конф. / Ивановский гос. политехн. ун-т. Иваново, 2014. С. 344–346.
7. Надёжкин А.В., Голенищев А.В., Старченко М.Е. Моделирование влияния эксплуатационных факторов на режимы трения и изнашивания в подшипниках скольжения судовых дизелей // Материалы и доклады Междунар. науч.-техн. конф. «Фундаментальные исследования океанотехники и морской инфраструктуры: Теория. Эксперимент. Практика». Комсомольск-на-Амуре, 2015. С. 169–171.
8. Осадчий Ю.П., Масленников В.А., Маркелов А.В. и др. Поверхностные явления на межфазной границе масло–вода // Ауэзовские чтения-10: 20-летний рубеж: инновационные направления развития науки, образования и культуры: Тр. Междунар. науч.-практ. конф. Т. 7 / Южно-Казахстанский гос. ун-т. Шымкент, Казахстан, 2011. С. 92–93.
9. Тарасов В.В., Соболенко А.Н. Рекомендации по глубине очистки от механических примесей регенерированных моторных масел разных эксплуатационных групп // Морские интеллектуальные технологии. 2018. Т. 5, № 4(42). С. 110–113.

DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-3-12>

Tarasov V., Sobolenko A.

VALERY TARASOV, Professor, e-mail: vtarasov@msun.ru,

Department of Safety in Oil and Gas Industry

ANATOLY SOBOLENKO, Doctor of Engineering Sciences, Professor,

e-mail: sobolenko_a@mail.ru

Department of Ship Internal Combustion Engines

Marine State University named after Admiral G.I. Nevelskoy

50-a Verhneportovaya St., Vladivostok, Russia, 690003

The study of the effectiveness of regeneration of waste engine oils of marine diesel engines in a RUMS-1 cyclone evaporator based on regression models

Abstract: The research goal is to develop experimental and statistical modeling of the efficiency of distilling water-fuel fractions (WFF) from the waste engine oil (WEO). The authors created a comprehensive mathematical model of the process of both separate and joint water and light fuel fractions removal from the waste engine oil of the marine diesel engines. At the same time, parameters of the flash point and viscosity of the regenerated oil should be better than the rejection values determined by regulatory documents, which makes it possible to reuse this oil in internal combustion engines.

In the study, the following factors were taken as variables: Q – performance of a cyclone vacuum-thermal evaporator (CVTE) on the prepared model mixtures of the investigated composition of WFF; p_{vak} – vacuum in CVTE during the regeneration process; t_m – temperature in CVTE during the regeneration process.

Regression equations for water and fuel distillations were obtained after processing the results of the experiment and the elimination of insignificant coefficients.

The obtained mathematical models are recommended to be used to calculate the efficiency of the process of joint removal of water and light fuel fractions from WFF at a confidence probability of 0.95, as well as to justify changes in the performance of the regeneration plant and other parameters of the process during the modernization of the RUMS-1 plant.

It was determined that the joint removal of WFF from WEO is possible in shipboard conditions with the use of a modular mobile installation RUMS-1, allowing restoring the performance characteristics of engine oil to acceptable quality level.

It was found that, in the experimental and statistical modeling of the process of joint removal of WFF from WEO, that the determining factors are the temperature of the WEO and the vacuum value in the CVTE.

The authors proposed equations for numerical calculation of the parameters of the process of WFF removal from WEO at its simultaneous contamination with these fractions.

Keywords: regeneration of motor oils, cyclone vacuum-thermal evaporator, experiment planning, regression equations, water distillate, fuel distillate.

REFERENCES

1. Zamaldinov M.M. Purification of spent mineral resources motor oil by centrifugation. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2011;1:93–98.

2. Zamaldinov M.M., Glushchenko A.A., Kubeev E.I. Modular waste treatment line mineral motor oils from pollution. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo GAU*. 2010;20:306–311.
3. Kicha G.P., Kicha P.P., Semenyuk L.A. The possibility of increasing the service life of engine oil in marine diesel engines type ЧН18/22. *Scientific. problems of transport Siberia and Far East*. 2017;1–2:112–116.
4. Kolosov V.V., Tarasov V.V., Kulyamov P.V. Installation for regeneration of waste motor oils in ship conditions. *Collection of scientific papers SWorld. Materials of the intern. conf. Modern problems and their solutions in science, transport, production and education*, 2011. Odessa, Black Sea Coast, 2011, vol. 2, N 4, p. 72–75.
5. Lunev V.A. Mathematical modeling and planning an experiment. St. Petersburg Publishing House of the Polytechnic Univ., 2012, 153 p.
6. Markelov A.V., Osadchiy Y.P., Yagi Abdelmuti Kamal. Local technology for the separation of water-oil emulsions. *Information environment of the University: Materials of the XXI Intern. science.-tech. conf. Ivanovo State Polytechnic Univ. Ivanovo*, 2014, p. 344–346.
7. Nadezkin A.V., Golenishchev A.V., Starchenko M.E. Simulation of the influence of operational factors on the modes of friction and wear in the bearings of marine diesel engines. *Materials and reports of the Intern. scientific and technical conf. Fundamental studies of ocean engineering and marine infrastructure: Theory. Experiment. Practice. Komsomolsk-on-Amur*, 2015, p. 169–171.
8. Osadchiy Y.P., Maslennikov A.V., Markelov A.V. at al. Surface phenomena on the oil-water interface. *Auezov Readings-10. Proceedings of the intern. science. conf. South.-Kazakhstan State Univ. Shymkent, Kazakhstan*, 2011. Vol. 7, p. 92–93.
9. Tarasov V.V., Sobolenko A.N. Recommendations on the purification depth from mechanical impurities of regenerated motor oils of different operating groups. *Marine Intelligent Technologies*. 2018(5);4:110–113.