

УДК 621.892

## КОРРЕЛЯЦИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ВЯЗКОСТИ И СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В МОТОРНОМ МАСЛЕ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ

Игонин В.В., аспирант 2-го года обучения

Научный руководитель: Жуков В.А., д.т.н., доцент  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»  
г. Санкт-Петербург

### Введение

Отработанное моторное масло и его продукты старения являются косвенными источниками информации о техническом состоянии главных судовых дизелей и условиях их эксплуатации. По состоянию моторного масла можно отслеживать состояние некоторых отдельных деталей дизельного двигателя [1]. Необходимо установить зависимости изменения характеристик масла от его масла и определить оптимальные интервалы замены. В данной статье разберем корреляцию изменения кинематической вязкости с содержанием воды в моторном масле в зависимости от наработки дизеля.

### Характеристики исследования

В настоящей статье исследуются изменения в процессе наработки моторного масла Gazpromneft Ocean TPL 4040. Масла этой серии специально разработаны для применения в дизельных двигателях, которые работают на тяжелых видах топлива, с максимальным содержанием серы до 4,5%. В таблице 1 представлены основные характеристики моторного масла Gazpromneft Ocean TPL 4040.

Таблица 1 – Характеристики моторного масла Gazpromneft Ocean TPL 4040

Характеристика	Значение
Класс вязкости SAE	40
Вязкость кинематическая при 100 °C, мм <sup>2</sup> /с	14,5
Температура вспышки в открытом тигле, °C	238
Температура застывания, °C	-12
Щелочное число, мг КОН/г	41
Индекс вязкости	96
Зольность сульфатная, %	5,0
Плотность при 20 °C, г/см <sup>3</sup>	0,915

Данное моторное масло имеет одобрение для использования в двигателях Wartsila, на которых для данной статьи производились опытные измерения. Исследуемое моторное масло применяется в главных дизельных двигателях Wartsila 6L20 на т/х «Санкт-Петербург» проекта 19614, смешанного “река-море” плавания. Главные двигатели эксплуатируются на тяжелом топливе. Далее на рисунке 1 представим схему внутренней смазки главного двигателя, на котором проводится эксперимент.

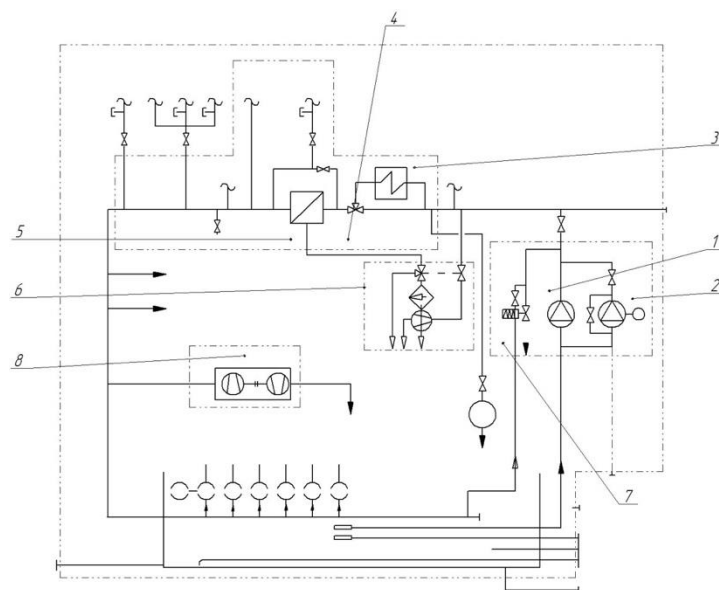


Рисунок 1 – Схема смазки двигателя Wartsila 6L20

1 – основной насос смазочного масла; 2 – предварительный насос смазочного масла;  
3 – масляный холодильник; 4 – терморегулирующий клапан; 5 – фильтр смазочного масла;  
6 – центробежный фильтр; 7 – клапан контроля давления; 8 – турбокомпрессор

Представленная схема внутренней смазки отвечает всем требованиям при работе на тяжелом топливе, обеспечивая тщательную очистку всех узлов трения дизеля.

### Методика измерения

Для проведения анализа на изменение вязкости моторного масла и содержания в нем воды, стояла задача отобрать ряд проб при разной наработке масла. Экипажем т/х «Санкт-Петербург» отобрано 17 проб, их перечень представлен в таблице 2. Отбор проб производился до фильтра тонкой очистки главного двигателя.

Таблица 2 – Перечень отобранных проб

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ пробы	363251	363256	363257	363252	363250	363249	363247	363246	363245
Срок эксплуатации масла, ч	100	200	300	400	500	600	700	800	900

№	10	11	12	13	14	15	16	17
№ пробы	363244	362911	362910	362209	362908	362907	362906	362905
Срок эксплуатации масла, ч	982	100	200	300	400	500	600	700

Одной из целей исследования является сравнение точности измерений существующих методов экспресс-анализа и полноценных лабораторных

условий. Таким образом, для выполнения первой задачи и получения данных экспресс-анализа выбрана лаборатория «СЛТМ», предназначенная для контроля физико-химических показателей топлив и моторных масел на судах. Комплект лаборатории представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Лаборатория «СЛТМ»

Вязкость в лаборатории «СЛТМ» определяют с применением капиллярного вискозиметра (методом ASTM D 445), в котором жидкость вытекает через отверстие определенного диаметра под действием силы тяжести.

Содержание воды в масле определяется методом, основанном на экзотермическом эффекте реакции взаимодействия гидрида кальция ( $\text{CaH}_2$ ) с водой, присутствующей в качестве примеси в исследуемом моторном масле. Количественной характеристикой содержания воды в масле служит величина подъема температуры (разность температур) в процессе реакции. Вода в масле определяется в растворенном и капельножидком виде.

В таблице 3 представлены результаты замеров времени истечения проб наблюдаемого моторного масла, на основе которых указана кинематическая вязкость.

Таблица 3 – Результаты измерения вязкости моторного масла

№	Наработка пробы	Время истечения, с	Кинематическая вязкость, Сст
1	100	90	14
2	200	95	14,5
3	300	100	14,9
4	400	92	14,2
5	500	92	14,2
6	600	100	14,9
7	700	103	15,2
8	800	99	14,5
9	900	101	15
10	1000	101	15
Замена моторного масла			
11	100	97	14,7
12	200	100	14,9
13	300	102	15,1
14	400	99	14,8
15	500	106	15,3
16	600	108	15,5
17	700	105	15,2

График изменения кинематической вязкости наблюдаемого масла представлен на рисунке 3.

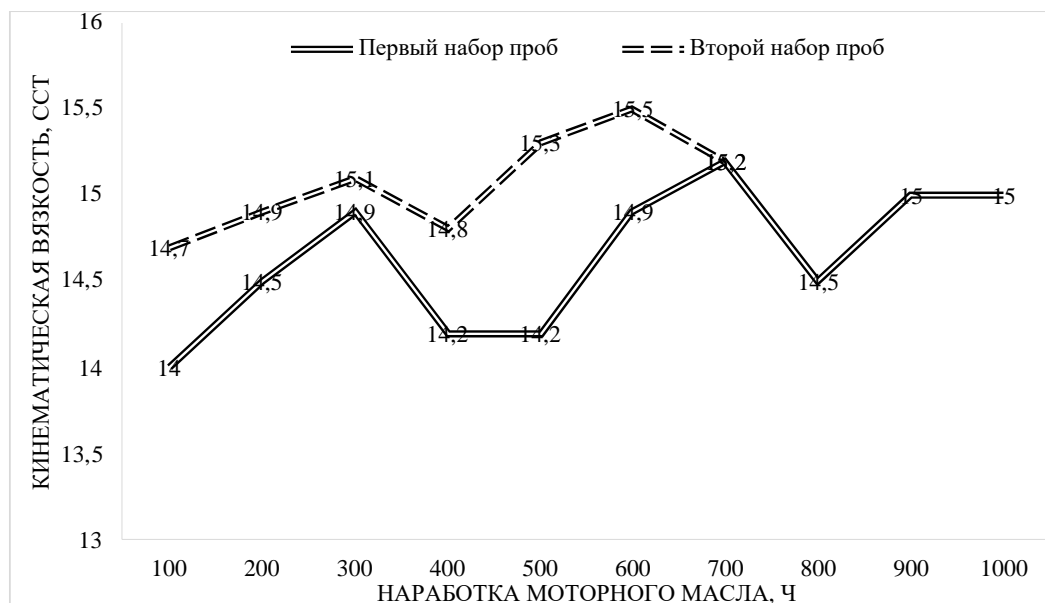


Рисунок 3 – График изменения вязкости

Вязкость при работе двигателя может как увеличиваться, так и уменьшаться, что подтверждает анализ проб и представленный график. Уменьшение вязкости может быть следствием множества причин – разжижения масла топливом, доливом менее вязкого масла, а в некоторых случаях механической, термической или термоокислительной деструкцией вязкостных полимерных присадок [2]. Разбавление топливом ухудшает смазывающие свойства масла, снижает допустимую нагрузку на подшипники, усиливает склонность масла к отложению на деталях двигателя лаков и нагаров, повышает взрывоопасность масляных паров. При изменении вязкости масла на 20-25%, по сравнению с вязкостью свежего масла, оно принадлежит замене.

Далее рассмотрим зависимость изменения содержания воды в масле от его наработки. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты измерения содержания воды

№	Нароботка пробы	Начальная температура, °C	Конечная температура, °C	Разница температур	Содержание воды, %
1	100	24	24,5	0,5	0
2	200	24,4	25,2	0,8	0,05
3	300	25	26	1	0,05
4	400	25,5	26,5	1	0,05
5	500	25,5	27,5	2	0,05
6	600	25,5	27	1,5	0,1
7	700	26	27	1	0,05
8	800	26	27	1	0,05
9	900	26	27	1	0,05
10	1000	25,5	27	1,5	0,1

Продолжение таблицы 4

Замена моторного масла					
11	100	26	26,5	0,5	0
12	200	26	26,5	0,5	0
13	300	25,5	26,5	1	0,05
14	400	26	27	1	0,05
15	500	25,5	27	1,5	0,1
16	600	25,5	27	1,5	0,1
17	700	26	27,5	1,5	0,1

Для наглядности представим график изменения содержания воды в моторном масле на рисунке 4.

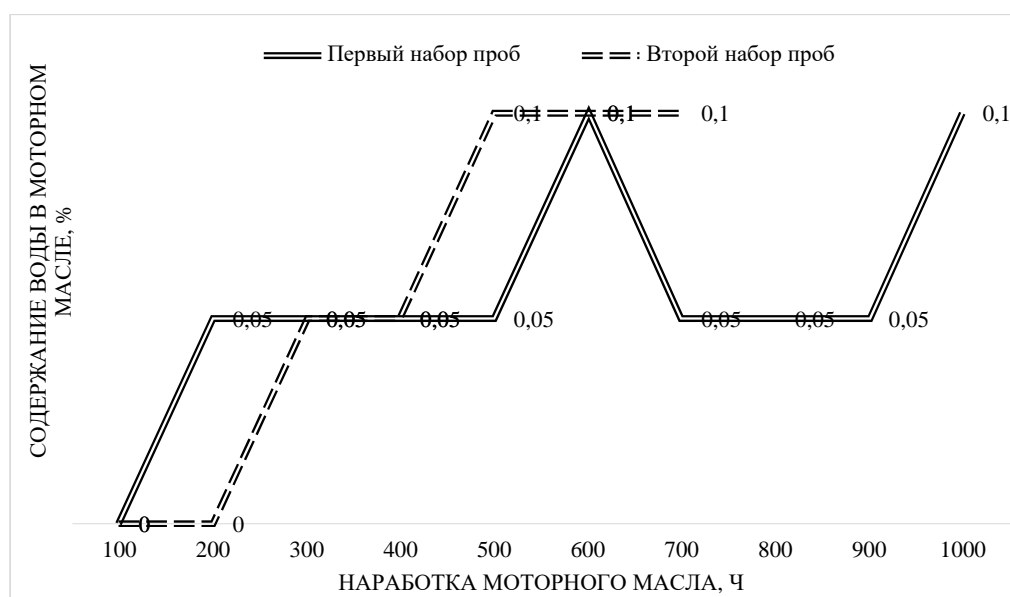


Рисунок 4 – График изменения содержания воды

Вода в работающем моторном масле присутствует вследствие конденсации её паров из воздуха и из газов (при сгорании 1 кг топлива образуется 1,4 кг воды), прорывающихся в картер при температуре ниже точки росы. Как правило, в моторном масле вода содержится в виде мелкодиспергированных глобул, которые трудно отделить при отстое. Содержание воды в исправном двигателе составляет от 0,05 до 0,1% [3]. Причины более высокого содержания воды в масле необходимо искать в неисправностях двигателя – недостаточной плотности водо-масляных теплообменников, трубопроводов. На графике мы видим некоторое снижение содержания воды в масле после наработки в 500 часов, что вероятно свидетельствует об интенсивном испарении воды, попавшей в двигатель.

На основе полученных данных определим корреляцию изменения кинематической вязкости моторного масла с содержанием воды. Графики корреляции для первого и второго набора проб представим на рисунках 5 и 6 соответственно. Коэффициент корреляции в первом случае составил 0,595, коэффициент корреляции для второго набора проб – 0,857.

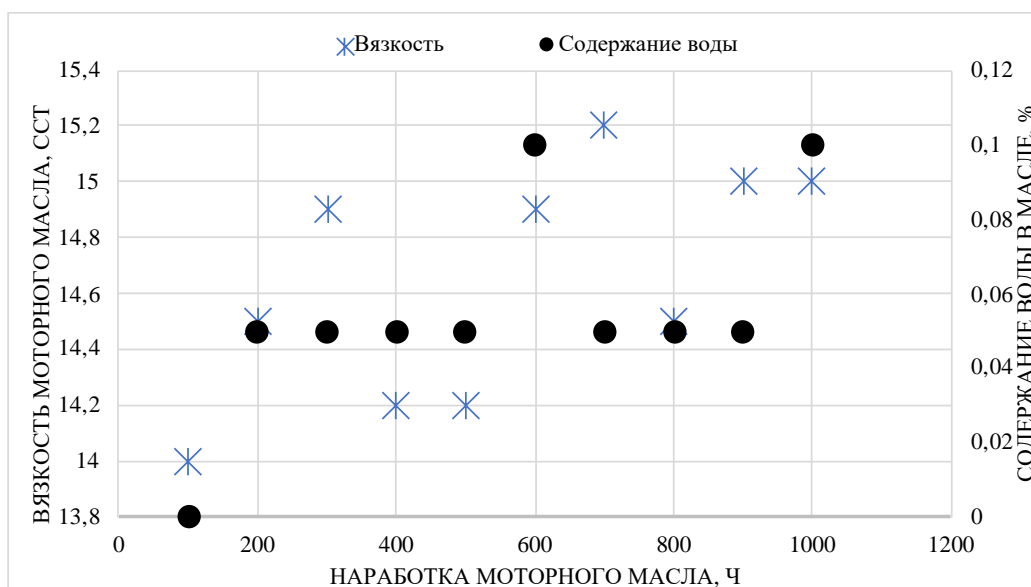


Рисунок 5 – Корреляция показателей в первом наборе проб (№1-10)

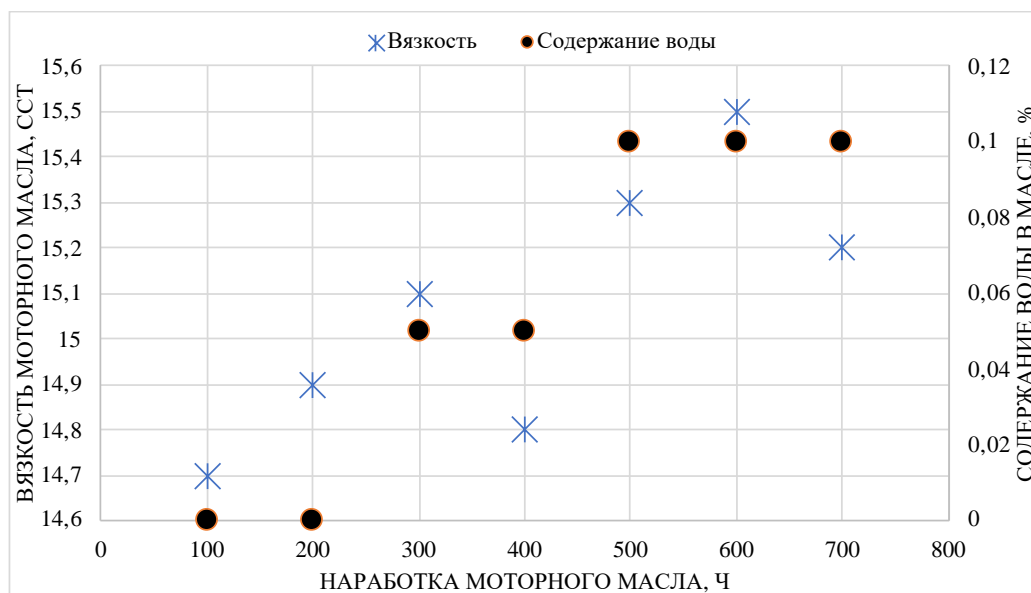


Рисунок 6 – Корреляция во втором наборе проб (№11-17)

Анализ графиков свидетельствует, что оценка содержания воды в моторном масле не всегда может быть осуществлена по показателю кинематической вязкости, поскольку корреляционная связь присутствует не во всех пробах.

### Заключение

В данной статье рассмотрена зависимость от наработки моторного масла таких показателей, как кинематическая вязкость и содержание воды. Кроме того, установлена некоторая корреляционная зависимость этих показателей, что может быть одним из этапов построения системы прогнозных зависимостей изменения состояния работающих моторных масел. Повышение надежности прогнозных зависимостей показателей моторного масла будет способствовать развитию системы оперативной оценки судовых дизелей на химмоттологической основе.

### Список литературы

1. Боровикова И. А. Оценка технического уровня качества судового двигателя // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2015. – №. 4 (32). – С. 138-146.
2. Верещагин В.И. Методы контроля и результаты исследования состояния трансмиссионных и моторных масел при их окислении и триботехнических испытаниях: монография / В. И. Верещагин, В. С. Янович, Б. И. Ковальский [и др.]. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. – 208 с.
3. Тарасов В. В., Соболенко А. Н. Влияние эксплуатационных свойств регенерированного моторного масла на изнашивание судового дизеля при его работе на разных сортах топлива // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. №4. С. 71–81. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-4-71-81.