

УДК 629.426

Бондарь С.А.
ОНМА

ХАРАКТЕРИСТИКА И ПОСЛЕДСТВИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ НАГРУЗКИ ПО ЦИЛИНДРАМ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

К началу 90-х годов на отечественном флоте в основе организации технического обслуживания доминировала система непрерывного технического обслуживания (ТО) и ремонта судовых технических средств, а именно метод «Превентивное техническое обслуживание» (Preventive maintenance) или обслуживание по плану ремонта судовых технических средств. Основным руководящим документом в этой системе являлся сводный график ТО и ремонта на весь нормативный срок службы, состоящий из нескольких эксплуатационно-ремонтных периодов и ремонтных циклов для силовых установок их систем и приводов, который определял ежемесячные, ежегодные и ежедневные ТО (ТО № 1, 2, 3, 4 и т. д.), основанные на действиях план-графика.

Для главных судовых дизельных установок (СДУ) за период (периодичность) ТО или ремонта принимался интервал времени между двумя последовательными видами технического обслуживания или ремонта любого элемента СДУ. На основании отчетов по ТО в пароходах проводился систематический сбор данных по отказам элементов СДУ, которые доводились до сведения изготовителей с целью улучшения изделий и корректировки системы ТО на судах.

Но уже с середины 90-х годов значительная часть флота небольших компаний начала переходить на систему технической эксплуатации (ТЭ), в основу которой была положена концепция «Управление техническим состоянием судового оборудования исключительно по фактическому состоянию» (Predictive maintenance).

Не исключая определенную прогрессивность этого направления следует отметить, что из-за стремления судовладельцев сократить издержки в условиях жесткой конкуренции и их ограниченных финансовых возможностей и для поддержания флота в должном техническом состоянии объем проводимых профилактических работ часто сводился к минимуму.

С целью исключения этих последствий и надежного внедрения системы для обеспечения безопасности судна рекомендуется / 3 / применить метод (инструмент) формальной оценки безопасности, утвержденный в 2002 г. Комитетом по безопасности на море (MSC) и комитетом по защите окружающей среды (MERC). [3]

Инструмент ФОБ (FSA) основан на заблаговременных действиях и представляет собой структурированный метод, позволяющий определить потенциально опасные ситуации заранее, до возникновения аварии с тем, чтобы после этого оценить величину риска, провести оценку затрат и выгод, связанных с применением возможных вариантов управления рисками и, на основании систематизированного анализа, принять обоснованные решения по снижению величины риска. Исходной базой к применению ФОБ является анализ комплекса параметров надежности работы механизма за определенный период эксплуатации и прогноза на планируемый период с учетом уже выработанного (остаточного) его ресурса .

Одним из основных параметров, характеризующих надежность судового энергетического оборудования в целом и двигателя внутреннего сгорания (ДВС) в частности, является параметр потока отказов $\omega(t)$, характеризующий среднее число отказов в малом интервале наработки [1]:

$$\omega(t) = \frac{d\Omega(t)}{dt} = \frac{M[r(t + \Delta t)] - M[r(t)]}{\Delta t}$$

где $d\Omega(t)$ – математическое ожидание числа отказов за наработку;

$$d\Omega(t) = M[r(t)],$$

$r(t)$ – число отказов за наработку t .

Анализ данных о результатах отказов судовых ДВС в пределах объявленных фирмами – изготовителями ресурсов свидетельствуют, что их причины распределяются следующим образом: физический (усталостный) износ – 45%, а остальные в той или иной мере связаны с их эксплуатацией. При этом, если для отказов по физическим износам имеются определенные зависимости, построенные на основе статистики или ускоренных ресурсных испытаний, то установить аналогичное по качеству технического обслуживания, является очень сложной задачей. Наиболее приближенным к истине может служить анализ потока отказов значительного числа двигателей судов одной

серии в интервалах 2000ч – 2,500 ч, естественно эксплуатирующихся в идентичных условиях (районов с идентичным ветро-волновым режимом) и с четко установленной системой ТО на судах.

Например, в табл. 1 приведены статистические данные по отказам и неисправностям главных двигателей судов типа «Измаил» ЧАО Украинское Дунайское пароходство, эксплуатируемых начиная с 1992 г. на линиях Мариуполь – Кастальен (Испания) с системой ТО по план-графикам.

Таблица 1. Количество и проценты основных отказов и неисправностей элементов ДВС фирмы Wartsila 6R32BC за пятилетний период эксплуатации (25000 моточ.)

Наименование неисправностей и отказов	Количество отказов	Процент отказов	Параметр потока отказов, %
Топливная аппаратура			
1. Закоксование, засорение и износ отверстий сопел форсунок	46	35,9	16,3
2. Зависание игл и трещины в соплах форсунок	12	9,4	4,3
3. Износ плунжерных пар и нарушение положения плунжера относительно втулки ТНВД	7	5,5	2,6
Общее количество	65	50,8	23,0
Детали цилиндра-поршневой группы			
4. Поломка поршневых колец	14	10,9	5,0
5. Повышенный износ втулки цилиндра	7	5,5	2,5
6. Прогарание выпускных клапанов	7	5,5	2,5
7. Пригорание поршневых колец	6	4,7	2,1
8. Трещины в днище крышки цилиндра	3	2,3	1,1
9. Трещины в головках поршней	2	1,6	0,71
10. Трещины в анкерных связях	2	1,6	0,7
Общее количество	41	32,0	14,5
Система наддува			
11. Критическое загрязнение воздушного фильтра и рабочих поверхностей	12	9,4	4,3
12. Обрыв лопаток турбины	2	1,6	0,7

Общее количество	14	10,9	5,0
Подшипники коленчатого вала			
13. Повышенный износ вкладышей подшипника	5	3,9	1,8
14. Выплавление антифрикционного сплава	3	2,3	1,1
Общее количество	8	6,3	2,8
Сумма всех отказов	128		

На основании табл. 1 была рассчитана и приведена рис. 1 гистограмма потока отказов.

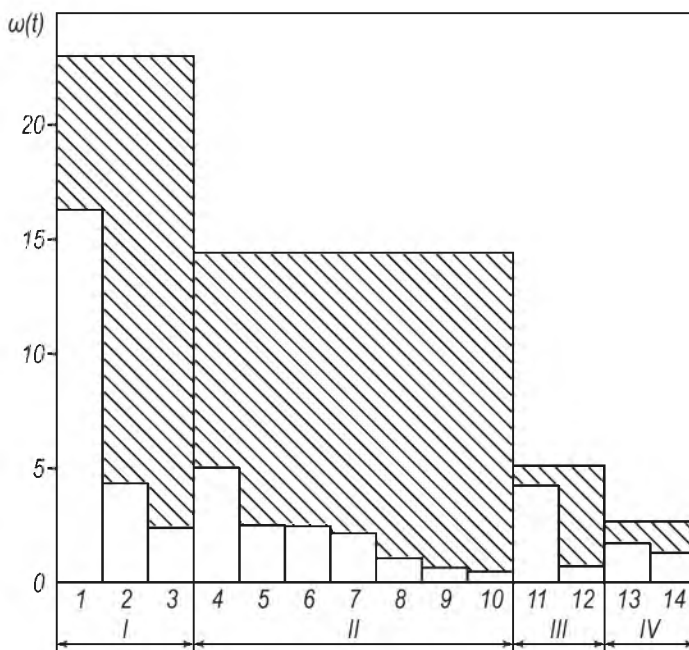


Рис.1. Гистограмма потока отказов судового дизеля 6R32BC фирмы Wartsila (позиции 1...14 соответствуют наименованиям в таблице 2):

I – отказы подшипников коленчатого вала;

II – отказы системы наддува;

III – отказы деталей цилиндропоршневой группы;

IV – отказы топливной аппаратуры

Из гистограммы отказов и табл. 2 видно, что основными отказами и неисправностями являются неисправности топливной аппаратуры, в частности форсунок, а так же отказы в элементах цилиндри-

поршневой группы. Основной причиной, которая вызывала неисправности такого рода, видимо было поставляемое низкокачественное топливо IFO 380 , а также некачественное проведение операций по топливоподготовке . Остальные неисправности, возникающие при работе дизеля, были в основном вызваны причинами естественного характера, к которым относятся отказы от перегрузки двигателей, а также несоблюдение других элементов правил технической эксплуатации .

Соответственно основное внимание в это период машинной командой уделялось квалифицированной организации процесса топливоподдачи.

Анализ процесса топливоподдачи показывает, что для полного знания вопроса необходим : тщательный контроль и дальнейшая обработка целого ряда параметров таких, как угол опережения подачи топлива, продолжительность впрыскивания, максимальное давления впрыска, и др. Этот контроль обеспечивался с использованием на судне системы диагностирования индикаторных диаграмм главного двигателя НК-5.

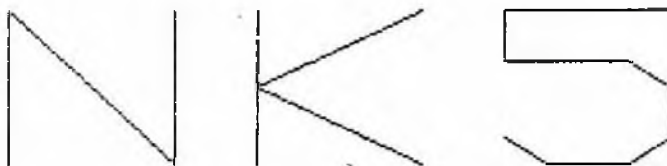
В таблице 2 представлены реальные результаты индицирования главного двигателя на ходовых испытаниях теплохода «Рени» , одного из серии судов типа «Измаил», которые были произведены системой диагностирования Ауτροника НК-5 при 100% нагрузке и благоприятных погодных условиях. Далее они были приняты как эталонные. Ниже графически они представлены индикаторной диаграммой на рис.2

Таблица 2. Engine total state eng 01

	01	02	03	04	05	06 cp		
MIP	16,76	15,42	15,84	15,84	16,37	16,63	15,33	16,05
RPM	716,6	716,0	717,5	717,5	716,7	717,5	716,5	716,8
Pmax	124,5	128,8	125,7	126,3	128,6	122,2	126,0	
Pcomp	84,22	96,55	87,98	87,46	91,54	97,18	90,8	
Pexp	68,13	64,34	65,57	66,08	65,05	62,08	65,2	
aPmax	15,87	15,06	16,0	16,12	14,93	14,81	15,46	
LoadKW	281,7	259,0	266,6	275,2	279,9	257,7	270,0	

Sum Load KW- 1620 Scav.-1.69 Temp. Speed Draft F/A (m) Wind

AUTRONICA



ENGINE MIP CALCULATOR



date 94-08-25 наработка ГД-10980 ч.

ENGINE TOTAL STATE ENG 01

01 02 03 04 05 06 Σср.

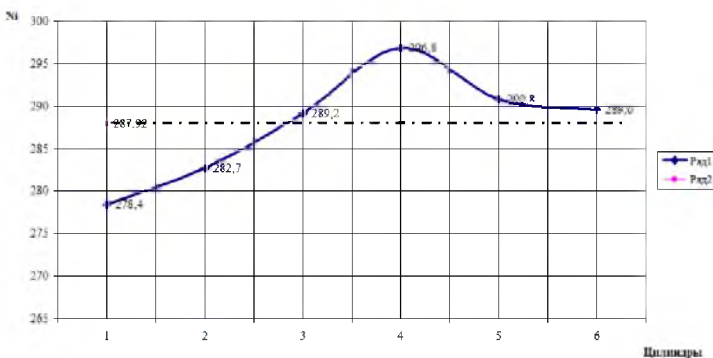
MIP	16.6	16.92	17.3	17.78	17.41	17.35	17.24
RPM	712.3	712.3	711.6	711.2	712.0	711.6	711.95
Pmax	108.4	107.3	111.3	111.4	109.0	111.2	109.76
Pcomp	74.82	75.24	77.95	75.24	73.57	73.25	75.01
aPmax	14.87	12.0	16.0	16.5	17.0	13.12	14.9
LoadKW	278.4	282.7	289.2	296.8	290.8	289.6	287.9
Ex.temp.	398.0	370.0	402.0	405.0	396.0	394.0	394.0

Sum Load KW Scav. Temp. Speed Draft F/A (m) Wind Sea

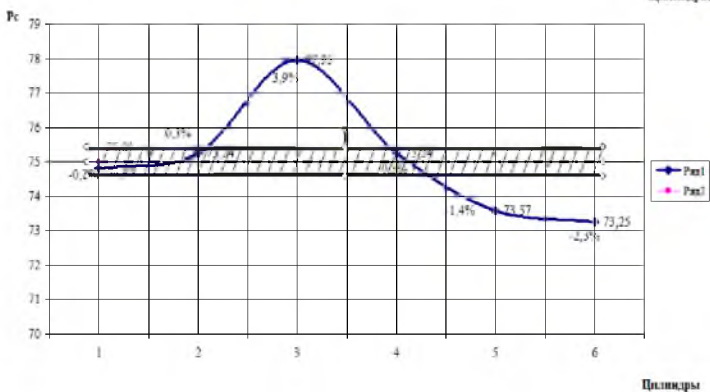
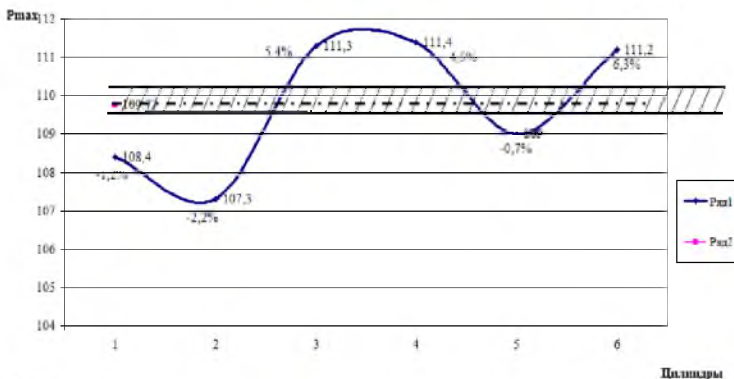
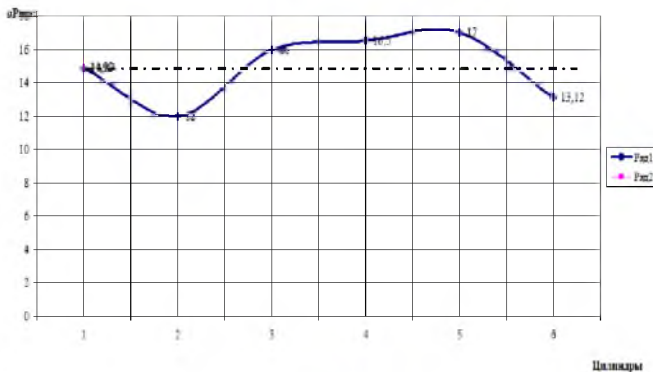
1727 KW 49

11.6 4.55/5.75 шт.

шт.



Циклы



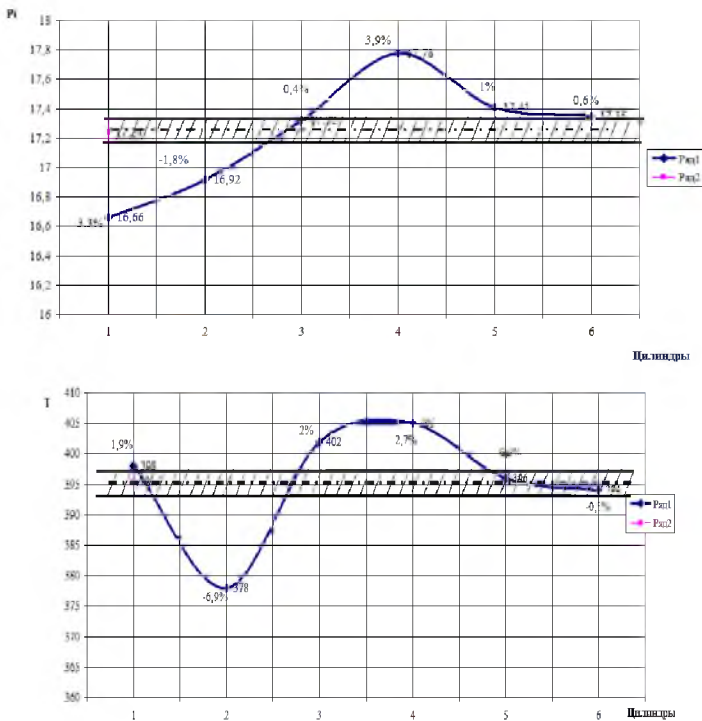


Рис 3. Неравномерность распределения нагрузки по цилиндрам перед окончанием ресурса форсунок двигателя (11 тыс. час.)

AUTRONICA

NKS

ENGINE MIP CALCULATOR



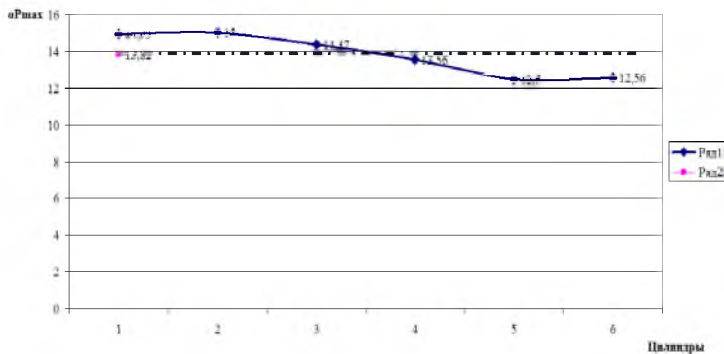
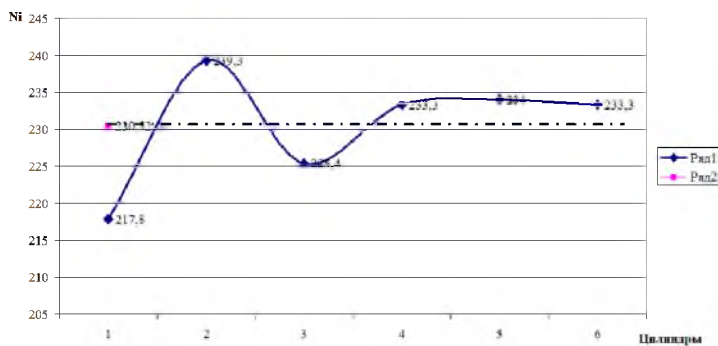
date 25-10-00 наработка ГД-39975ч.

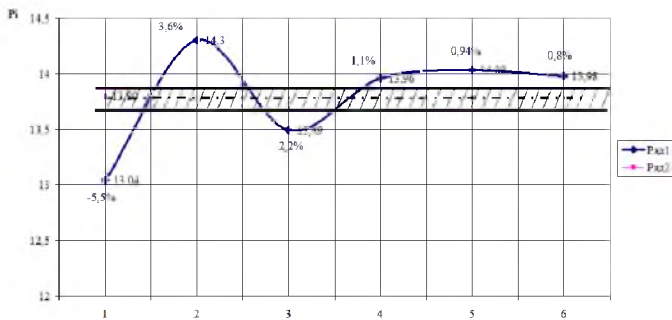
ENGINE TOTAL STATE ENG 01

01 02 03 04 05 06 Σср.

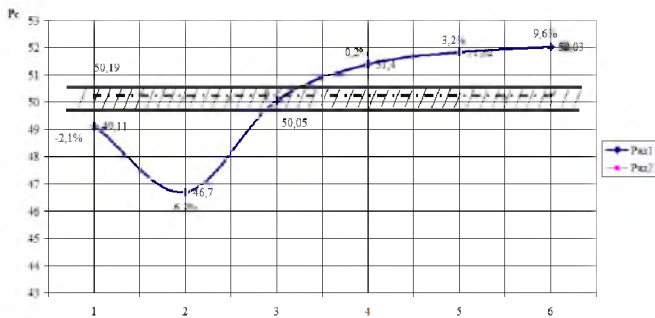
MIP	13.04	14.30	13.49	13.96	14.03	13.98	13.80
RPM	712.0	713.5	712.4	712.5	711.1	711.5	712.1
Pmax	78.57	80.94	79.19	83.49	87.70	87.80	82.93
Pcomp	49.11	46.70	50.05	51.40	51.82	52.03	50.18
aPmax	14.93	15.0	14.37	13.56	12.50	12.56	13.8
LoadKW	217.8	239.3	225.4	233.3	234.0	233.3	230.5
Ex.temp.	384	404	407	418	418	425	409

Sum Load KW Scav. Temp. Speed Draft F/A (m) Wind Sea
 1383 KW 30 10.6 4.2/4.5 3бал 2бал

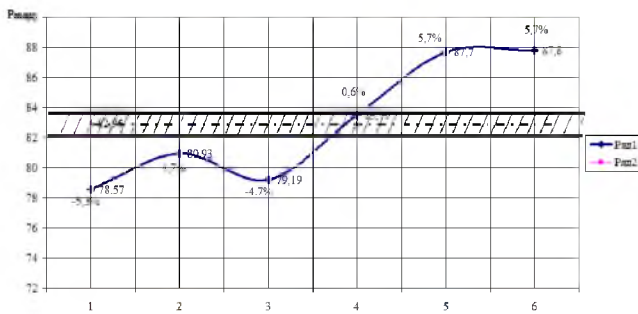




Пальмеры



Циклы



Циклы

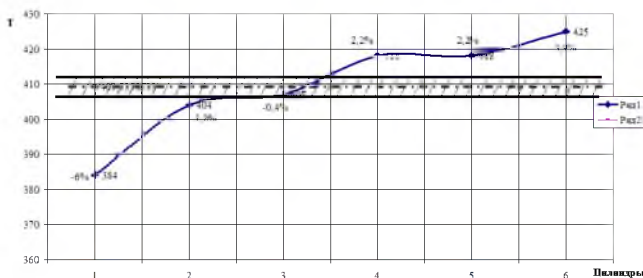


Рис. 4. Неравномерность нагрузки двигателей при выработке половинного ресурса замененных форсунок и при замене поршневых колец (20 тыс. часов)



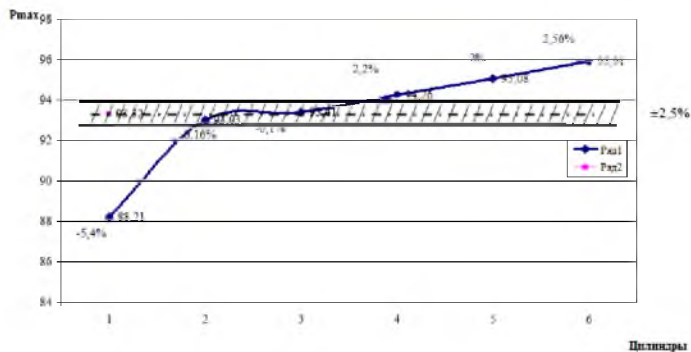
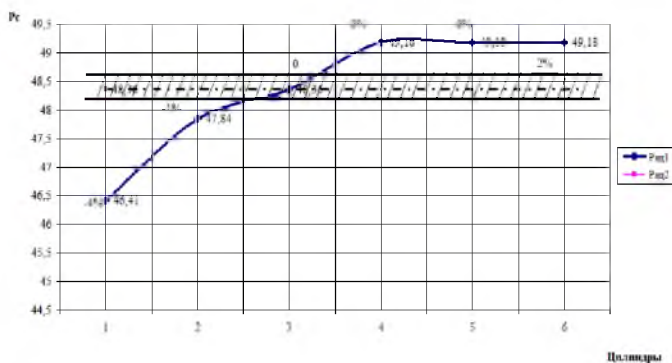
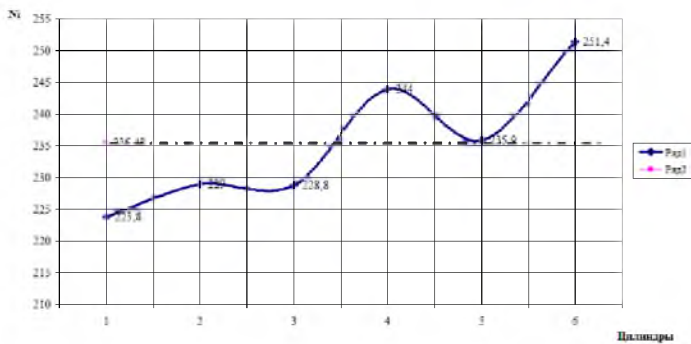
date 04-04-04 наработка ГД-60365 ч.

ENGINE TOTAL STATE ENG 01

01 02 03 04 05 06 Σср.

MIP	13.32	13.78	13.72	14.66	14.17	13.06	14.13
RPM	710.9	710.8	710.8	709.7	709.7	711.6	710.6
Pmax	88.21	93.03	92.41	94.26	95.08	95.30	93.4
Pcomp	55.58	54.85	55.79	55.17	57.68	57.68	56.1
aPmax	13.93	13.25	13.37	11.5	12.5	13.0	12.75
LoadKW	223.8	229.8	228.8	244.0	235.9	251.4	235.6
Ex.temp.	425.0	430.0	430.0	402.0	402.0	410.0	414.8

Sum Load KW Scav. Temp. Speed Draft F/A (m) Wind Sea
 1413 KW 36 9.6 5.5/5.6 36. 26.



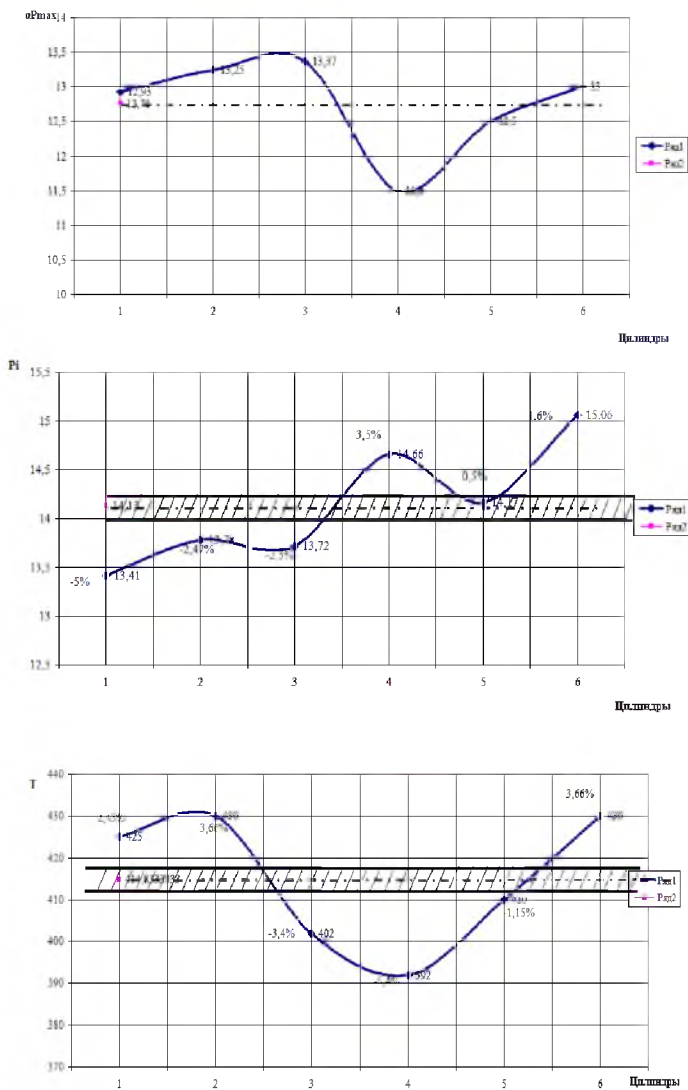


Рис. 5. Неравномерность распределения нагрузки по цилиндрам при подходе к предельному ресурсу

Выводы. Анализируя представленные графики, можно утверждать, что при переходе к системе ТО «по состоянию» надо учитывать, что будет нарушена последовательность контроля техническо-

го состояния двигателя и системы контроля отказов. При применении ФОБ, подтверждается тезис о том, что изменение системы ТО взамен плановой, для двигателей с такими величинами остаточного ресурса, абсолютно недопустимы.

В целях сохранения дальнейшей эксплуатационной надежности главного двигателя, в пределах установленного срока эксплуатации, система ТО, согласно план - графиков должна быть не только сохранена, но и скорректирована в сторону ужесточения, по тем агрегатам и системам, отказ которых приводит к отказу пропульсивной установки или к опасному ущербу, выраженному в последующих существенных затратах на проведение непланового ТО или ремонта. Как следует из данной статьи, основная неравномерность нагрузок цилиндров двигателя связана с некачественной работой его топливной аппаратуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев Б.В., Ханин С.М. Надежность судовых дизелей. – М. : Транспорт, 1989. – 184 с.
2. Медведев В.В., Семионичев Д.С. Практика создания дерева событий для СЭУ современного судна при разработке и реализации ее формализованной модели безопасности. – Морской вестник, № 1 (37), 2011. – С. 56-58.
3. Бондарь С.А. Обеспечение надежности работы судовых дизелей путем корректирования остаточного ресурса работы. Автоматизация судовых технических средств : Одесса, 2013.-Вып.19.С.18-22