

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СУДОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

OPERATION OF SHIP POWER EQUIPMENT

УДК 621.436.1

<https://doi.org/10.37890/jwt.vi69.220>

Диагностирование состояния судовых дизельных двигателей вероятностным методом распознавания неисправностей

А.В. Кулагин

ORCID: 0000-0003-0271-4771

*Научно-исследовательский институт (военно-системных исследований)
материально-технического обеспечения Вооружённых Сил Российской Федерации)
Военной академии материально-технического обеспечения; г. Санкт-Петербург,
Россия*

Аннотация: диагностирование судовых дизельных двигателей во время плавания судна позволяет предупредить развитие аварии, своевременно выполнить техническое обслуживание, исключить вероятность технических отказов. Износ деталей является одной из основных причин постановки дизеля в ремонт. Своевременное обнаружение возникновения износа по показаниям штатных приборов контроля позволяет предупредить негативные последствия износа, своевременно выполнить ремонт, исключить вероятность unplanned выхода судового дизельного двигателя из эксплуатации. При возникновении необходимости эксплуатировать судовой дизельный двигатель в условиях, отличающихся от установленных предприятием-изготовителем, диагностирование позволяет прогнозировать временные эксплуатационные характеристики.

Ключевые слова: судовой дизельный двигатель, техническое диагностирование, состояние, граф, декомпозиция, параметр.

Diagnosing the state of marine diesel engines by probabilistic fault recognition method

Andrey V. Kulagin

ORCID: 0000-0003-0271-4771

*Research Institute (Military-System Research of Material and Technical Support of Armed
Forces of the Russian Federation) of Military Academy of Material and Technical Support;
St. Petersburg, Russia*

Abstract: diagnostics of marine diesel engines, during the navigation of the vessel, allows to prevent the development of an accident, perform timely maintenance, eliminate the possibility of technical failures. The wear of parts is one of the main reasons for putting a diesel engine into repair. Early detection of wear according to the indications of standard monitoring devices, allows to prevent the negative consequences of wear, perform timely repairs, eliminate the possibility of an unplanned in-service failures of the marine diesel engine. If there is a need to operate a marine diesel engine in conditions different from those

established by the manufacturer, diagnostics allows to predict the temporary operational characteristics.

Keywords: marine diesel engine, technical diagnostics, condition, graph, decomposition, parameter.

Введение

Одной из актуальных проблем эксплуатации теплоходов является повышение надежности их энергетической установки [1]. Решение этой проблемы лежит как в области повышения качества машиностроения, так и повышения культуры эксплуатации судового оборудования.

Особое место в эксплуатации судового оборудования теплоходов занимают вопросы диагностирования дизельных двигателей с целью прогнозирования их надежности. Указанная задача актуальна как главных двигателей, так и дизель-генераторов. При этом основной критерий определения надежности оборудования будем рассматривать с позиций обеспечения безопасности плавания и обитаемости судна [2]. В настоящее время диагностирование дизельных двигателей решает три задачи:

1. определение технического состояния;
2. поиск места и причин отказа;
3. прогнозирование остаточного ресурса.

При эксплуатации судна диагностирование дизельных двигателей проводится обслуживающим персоналом – постоянно, ремонтными организациями – в период ремонтов, выполняемых этими организациями (как в начале ремонта, при планировании, так и по его завершении). В условиях плавания судна на обслуживающий персонал ложатся две задачи диагностирования дизельных двигателей: определения работоспособности дизельного двигателя и в случае, когда дизельный двигатель работоспособен, определение времени сохранения этим двигателем работоспособности, то есть остаточный ресурс.

При решении первой задачи основной вопрос заключается в определении критериев оценки работоспособности, а при решении второй задачи – в определении порога вероятности сохранения работоспособности при работе дизельного двигателя с теми или иными параметрами.

Целью данной статьи является: разработка методики прогнозирования надежности судового дизельного двигателя по результатам диагностирования его технического состояния.

Вербальная постановка задачи

При определении критериев работоспособности судам различного назначения должны быть присвоены различные критерии. Это утверждение обусловлено, прежде всего, различным назначением судов, водоизмещением, типом, различной общественной значимостью. Основа работоспособности любого судна – это прежде всего, работоспособность его энергетической установки. Принимая то или иное эксплуатационное решение, необходимо учитывать, что для различного типа судов при равных параметрах работы дизельных двигателей это решение может быть различным, например, в одном случае состояние судна может быть оценено как *предельное*, а в другом – принимая во внимание общественную значимость проводимых работ, например, по спасению человеческой жизни, как *работоспособное*. При последнем утверждении говорится об использовании судового

дизельного двигателя на неспецификационных режимах эксплуатации. Эти режимы допускаются как крайняя мера и регламентируются ведомственными документами².

Диагностирование судовых дизельных двигателей в условиях эксплуатации судна может проводиться различными методами. Применение того или иного метода обусловлено различными факторами: конструкцией дизельного двигателя, его назначением, местом установки, квалификацией обслуживающего персонала и рядом других. Проводя исследование изменений параметров, характеризующих работу судовых дизельных двигателей, опираясь на системный подход можно разработать оптимальные системные модели, алгоритмы и методики диагностирования [3].

На современных судах широкое распространение получил метод диагностирования судовых дизельных двигателей по контролю внутрицилиндрового давления и построения индикаторных диаграмм по цилиндрам дизеля. В настоящее время в практику диагностирования внедряются на этих принципах алгоритмы, предложенные фирмами A.V.L. (Австрия), Kestler (Германия), Autronica (Норвегия), НПК «Гарант» (Россия) и др.

Однако, в настоящее время в эксплуатации находится большое количество судов, имеющие срок эксплуатации 40 лет и более. Следовательно, можно ввести термин *«возрастной судовой дизельный двигатель» («возрастной судовой дизель»)* под которым будем понимать дизельный двигатель (главный или вспомогательный), который эксплуатируется более 30 лет и замена которого нецелесообразна или невозможна, а эксплуатация данного дизеля спланирована на срок, определяемый состоянием корпуса судна. Несмотря на то, что технически установить системы диагностирования на возрастные дизельные двигатели технически возможно, судовладельцы неохотно принимают решение об установке штатных систем диагностирования из-за их дороговизны. Например, в НПК «Гарант», (г. Санкт-Петербург) разработаны различные модификации диагностического комплекса «Дизель-Адмирал», цена которых, в зависимости от степени защиты программного обеспечения и комплектации, варьируется от 6 до 9 мил. руб. По этой причине, как правило, установка продукции НПК «Гарант», как и его аналогов, производится практически лишь на новых теплоходах. Считается, что на возрастных энергоустановках (главных, и особенно вспомогательных), монтаж специализированных стационарных диагностических систем, принцип действия которых основан на контроле внутрицилиндрового давления, экономически не целесообразен. В этом случае диагностика осуществляется либо в порту, силами ремонтных организаций, либо на ходу по косвенным признакам.

Следовательно, существующая система диагностирования возрастных судовых дизелей нуждается в изучении, а организация ее эксплуатации – в совершенствовании, для увеличения эффективности ее использования. С точки зрения судового механика была бы полезна разработка методики диагностирования возрастного дизеля в процессе его использования по назначению, безразборными методами и без существенных капиталовложений, с целью решения 1 и 3 задач диагностирования. Эта задача может быть решена при анализе рабочих параметров судового дизельного двигателя, полученных от штатных приборов контроля с минимальным использованием датчиков и преобразователей сигналов, а также специализированного программного обеспечения.

² Например, на кораблях ВМФ в соответствии с решением №702/51/01819 от 26.08.91г. введена в действие «Инструкция по использованию оружия, вооружения и технических средств корабля на неспецификационных режимах».

При постановке задач диагностирования возрастных судовых дизельных двигателей необходимо обозначить ограничения, которые необходимо учитывать при исследовании:

- диагностирование проводится в условиях плавания судна, то есть должно быть безразборным, не выводящим дизельный двигатель из работы;
- диагностирование проводится обслуживающим персоналом, то есть судовой командой, не имеющей специальной квалификации;
- при разработке методик диагностирования, необходимо для каждого дизельного двигателя разрабатывать свою модель, следовательно, каждая диагностическая методика применима для диагностирования строго определенного дизельного двигателя.

Методы

При организации диагностирования судового дизельного двигателя необходимо учитывать, что дизельный двигатель представляет собой сложный технический объект, работа которого основана на множестве различных физических процессов. Каждый процесс, реализуемый при работе дизеля, характеризуется различными факторами или параметрами, регистрируя которые можно делать заключение о его техническом состоянии [4]. К наиболее важным показателям дизельного двигателя относятся мощность, крутящий момент и расход топлива. В процессе эксплуатации параметры настройки изменяются с течением времени и возникают возмущения, которые сопровождаются снижением производительности и увеличением расхода топлива. Это увеличивает эксплуатационные расходы. В большинстве случаев изменения характеристик дизеля вызваны неисправностями топливной аппаратуры [5]. Это обуславливает выбор метода диагностирования – параметрический.

В случае диагностирования состояния возрастных судовых дизельных двигателей необходимо учитывать тип дизеля, его назначение, конструктивные особенности компоновки. Анализируя работу указанного дизеля, следует опираться на данные, накопленные при эксплуатации и ремонте дизелей судовых дизельных двигателей [6].

При работе дизельного двигателя на контрольные приборы (датчики) оказывают влияние большое число внешних и внутренних факторов, основными из которых являются: износ, старение, механические повреждения, влияние внешней температуры, влажности и т.д. в результате чего при контроле параметров работы судовых дизельных двигателей возникают ошибки. При необходимости для повышения достоверности диагностирования и достаточной глубины поиска неисправности, кроме основных параметров можно использовать дополнительные. Выбор параметров производится в зависимости от условий, при которых будет проведена оценка технического состояния узла [7].

Результаты

В процессе эксплуатации, дизель может находиться в одном из определенных состояний, табл. №1 [8], обусловленных его техническим состоянием. Совокупность состояний дизеля образует «дерево состояний», представляющее собой оргграф, вершинами которого являются состояния дизеля (C1, C2, ..., C5), а дуги характеризуют процессы перехода (a_1, a_2, \dots, a_9), рис. 1.

Таблица 1

Характеристика состояний судового дизельного двигателя

Обозначение	Название	Характеристика
C1	Исправное состояние	Состояние объекта, в котором он соответствует всем требованиям, установленным в документации на него
C2	Работоспособное состояние	Состояние объекта, в котором он способен выполнять требуемые функции
C3	Предотказное состояние	Состояние объекта, характеризующее повышенным риском его отказа
C4	Предельное состояние	Состояние объекта, в котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно
C5	Нерабочее состояние	Состояние объекта, в котором он не выполняет ни одной из требуемых функций.

Предположим, система дискретна и дизельный двигатель может находиться только в одном состоянии, причем переход из одного состояния в другое может осуществляться только последовательно, то есть из C1 возможен переход только в C2 и так далее.

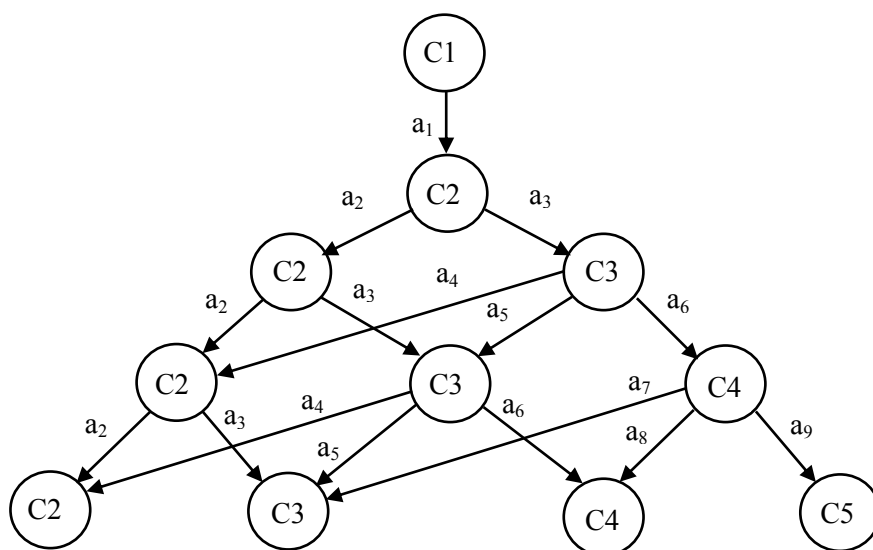


Рис. 1 Дерево состояний дизельного двигателя

Fig. 1 Tree of diesel engine states

Тогда, с точки зрения эксплуатации, можно сформулировать следующие задачи исследования:

- определение работоспособности как дизельного двигателя в целом, так и его составных узлов;
- выбор критериев определения предельных состояний как дизельного двигателя в целом, так и его составных узлов;

- определение риска развития предельных состояний как дизельного двигателя в целом, так и его составных узлов;
- прогнозирование работоспособности как дизельного двигателя в целом, так и его составных узлов;
- прогнозирование остаточного ресурса дизельного двигателя в целом на различных режимах эксплуатации.

Для изучения обозначенных вопросов преобразуем «дерево состояний» в «орграф переходов», рис.2. Состояние C5 является аварией, а состояние C4 является предаварийным состоянием. При этом переходы из C3 в C4 и далее в C5 являются рисками развития аварии, а время переходов будет характеризовать сценарии развития аварии по критерию времени как *внезапные* и *постепенные* [9].

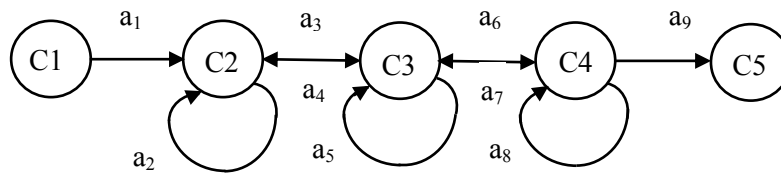


Рис. 2. Граф переходов состояний дизельного двигателя
Fig. 2. Graph of transitions of diesel engine states

Для идентификации состояний судового дизельного двигателя необходимо выбрать критерии, по которым и проводить идентификацию. Определим состояние C1 как состояние нового судового дизельного двигателя (или после капитального ремонта), имеющего заводские регулировки, табл.2. Состояние C2 будет соответствовать состоянию дизельного двигателя в процессе расчетной эксплуатации (спецификационной), то есть эксплуатации согласно указаниям предприятия-изготовителя. Состояние C3 будет соответствовать состоянию дизельного двигателя при срабатывании систем защиты, установленных предприятием-изготовителем. Состояние C4 будет соответствовать появлению необратимых (не устранимых силами обслуживающего персонала) процессами. Состояние C5 характеризуется как авария, то есть разрушение, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ [10]. Последовательный переход из состояния C1 в состояние C2 и далее в состояния C3, C4 и C5 обусловлен, главным образом, износом. А переходы из состояния C3 в C2, а из C4 в C3 будут обусловлены восстановлением технического состояния вследствие технического обслуживания.

Таблица 2

Оценка состояний судового дизельного двигателя по анализу его работоспособности

Обозначение	Характеристики
C1	Начальное состояние судового дизельного двигателя, соответствующее заводским регулировкам и настройкам
C2	Состояние судового дизельного двигателя, определяемое допусками предприятием-изготовителем
C3	Состояние судового дизельного двигателя, определяемое регулировками срабатывания защиты
C4	Состояние судового дизельного двигателя, определяемое необратимыми процессами в самом дизельном двигателе
C5	Состояние судового дизельного двигателя, определяемое как авария.

Каждое состояние судового дизельного двигателя характеризуется рядом информационных параметров x_j . Совокупность информационных параметров образует признак Π_j . Соответственно, граф с пятью вершинами описывается пятью-разрядным признаком [11]:

$$\Pi_j = \begin{cases} \Pi_{j1} \text{ при } x_{j1} < x_{jn} \\ \Pi_{j2} \text{ при } x_{j2} \in [x_{jn}; x_{jp}) \\ \Pi_{j3} \text{ при } x_{j3} \in [x_{jp}; x_{jn}) \\ \Pi_{j4} \text{ при } x_{j4} \in [x_{jn}; x_{jb}) \\ \Pi_{j5} \text{ при } x_{j5} > x_{jb} \end{cases} \quad (1)$$

Рассмотрим информационные параметры x_j подробно. Изменение любого информационного параметра x_j обусловлено, прежде всего, износом узлов судового дизельного двигателя. Соответственно незначительное, рассчитанное предприятием-изготовителем, отклонение информационного параметра x_{j2} от начального x_{jn} не повлечет за собой существенных изменений в основном, характеризующим судовой дизельный двигатель, параметре (мощности на выходном фланце у главных двигателей, активной электрической мощности у дизель-генераторов). Параметры x_{jn} будут соответствовать состоянию нового дизеля, имеющего параметры, полученные при заводских испытаниях. Параметры x_{jp} будут соответствовать состоянию дизеля в процессе расчетных режимов эксплуатации, определенных предприятием-изготовителем в инструкции по эксплуатации. Информационные параметры x_{j3} и x_{j4} характеризуют значительные изменения в узлах судового дизельного двигателя, рис.3.

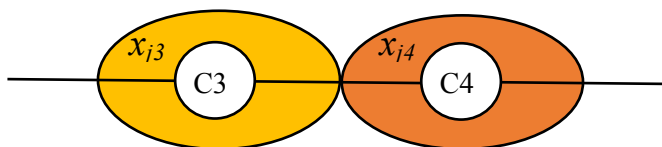


Рис. 3. Характеристика перехода дизельного двигателя из состояния C3 в состояние C4

Fig. 3 Characteristics of the transition of a diesel engine from the C3 state to the C4 state

Параметры x_{jn} будут соответствовать состоянию дизельного двигателя в процессе эксплуатации, когда один или несколько параметров отличаются от определенных предприятием-изготовителем, но не допускающих аварийную остановку дизеля по средством систем защиты. Параметры x_{j6} будут соответствовать состоянию дизеля в процессе эксплуатации, когда по одному или нескольким параметрам дизель останавливается по средством работы системы защиты по сигналу «авария».

Для перехода от «Дерева состояний дизельного двигателя» к диагностическим параметрам реального дизельного двигателя введем понятие «техническое состояние диагностируемого узла (системы)» W_i . Техническое состояние диагностируемого узла (системы) дизельного двигателя представляет собой совокупность признаков:

$$W_i \in [\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_j] \quad (2)$$

Соответственно, каждая вершина графа переходов состояний дизельного двигателя будет характеризоваться некими интервалами признаков $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_j$.

Тогда можно сформулировать определение технического состояния дизельного двигателя – это совокупность множества технических состояний диагностируемых узлов (систем), входящих в состав диагностируемого дизельного двигателя.

Отсюда вытекает решение первой задачи исследования. По выбранным, наиболее информативным диагностическим параметрам определить множество «технических состояний диагностируемых узлов (систем)» W_i , затем идентифицировать состояние дизельного двигателя, относя его к одному из состояний C_1, C_2, \dots, C_5 . В зависимости от важности решаемых судном задач, эксплуатация дизельных двигателей допускается в состоянии C_1 и C_2 , а при выполнении специальных задач спасательными и противопожарными судами, по специальному решению, эксплуатация дизельных двигателей допускается также в состоянии C_3 и C_4 .

Решение второй задачи заключается в анализе наиболее информативных, с конструктивной точки зрения, параметров:

1. температура охлаждающей воды;
2. давление и расход масла на угар;
3. давление газов в картере и на выходе из цилиндров;
4. нагрузка дизельного двигателя;
5. частота вращения коленчатого вала и ротора турбокомпрессора;
6. топливоподача по цилиндрам дизельного двигателя;
7. давление наддувочного воздуха.

Эти параметры тесно коррелируют с отказами в таких системах и механизмах двигателя, как: газораспределительный механизм, топливная система, система подачи воздуха, система смазки, система охлаждения, кривошип и др.

Решение третьей задачи заключается в определении вероятностей перехода между состояниями. Решение этой задачи может быть осуществлено путем декомпозиции дизельного двигателя и определений скорости перехода X_j из одного состояния в другое:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \left(\frac{\Delta x_{j1}}{\Delta t_1}; \frac{\Delta x_{j2}}{\Delta t_2}; \dots; \frac{\Delta x_{jn}}{\Delta t_n} \right) \quad (3)$$

где: Δt – время перехода.

Решение четвертой и пятой задач будет заключаться в определении наименее надежного узла (системы) дизельного двигателя. Известно, что двигатель надежен настолько, насколько надежен узел (система), имеющие самую высокую вероятность отказа. Этот узел (система) наиболее ценны в диагностике. В рассматриваемом примере диагностический признак - пятиразрядный. Диагностическая ценность пятиразрядного признака определяется выражением:

$$diz \left(\frac{\Pi_j}{Di} \right) = \sum P \left(\frac{\Pi_{js}}{Di} \right) \log_2 \frac{P \left(\frac{\Pi_{js}}{Di} \right)}{P(\Pi_{js})} \quad (4)$$

где: Di – технический диагноз дизельного двигателя.

При решении четвертой и пятой задач решающим фактором выступает конструкция дизельного двигателя. Учет специфики состояния конкретного дизельного двигателя создает гибкую универсальную технологию, которая отражает

все возможное многообразие ситуаций и учитывает каждый результат предшествующей операции проверки [12].

Однако в общем случае указанные задачи могут быть решены по следующей методике. Любой судовой дизельный двигатель можно методом декомпозиции, представить в виде взаимосвязанных между собой узлов и систем, рис. 4.

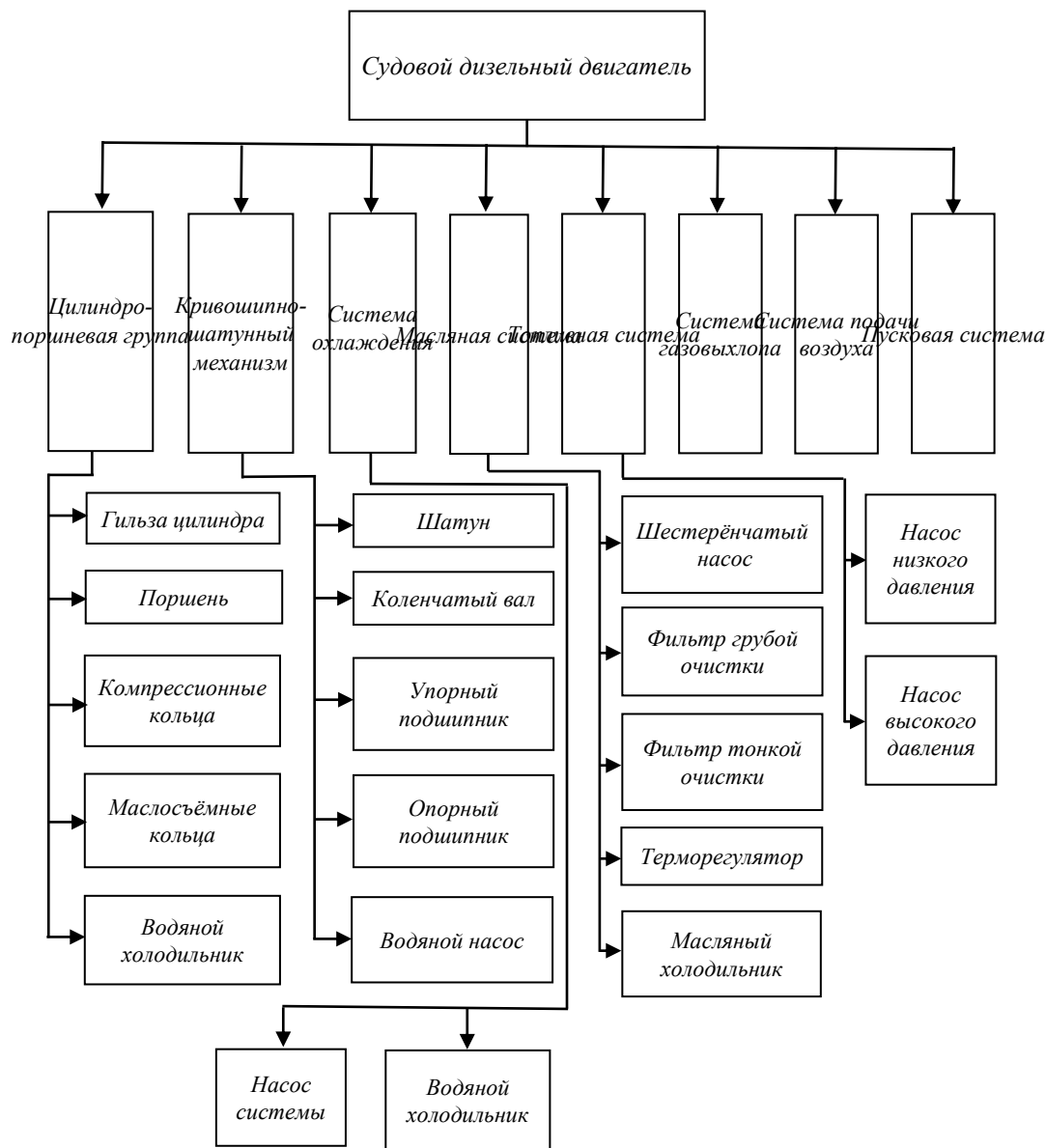


Рис. 4. Пример декомпозиции судового дизельного двигателя как тепловой машины

Fig. 4. An example of decomposition of a marine diesel engine as a heat engine

Каждая система дизеля (дизель-генератора) характеризуется состоянием входящих в ее состав узлов и деталей. Представим судовой дизельный двигатель

рис.4, в виде структурного графа, рис.5. При этом на 1 уровне декомпозиции будет собственно *судовой дизельный двигатель*, на 2 уровне декомпозиции будут находиться входящие в состав *судового дизельного двигателя системы*, на 2 уровне декомпозиции будут находиться входящие в состав систем *узлы и агрегаты*.

Обозначим элементы декомпозиции символом Y , при этом каждому символу присвоим индекс, где первая цифра характеризует уровень декомпозиции, вторая – порядковый номер системы, а третья – порядковый номер узла в системе.

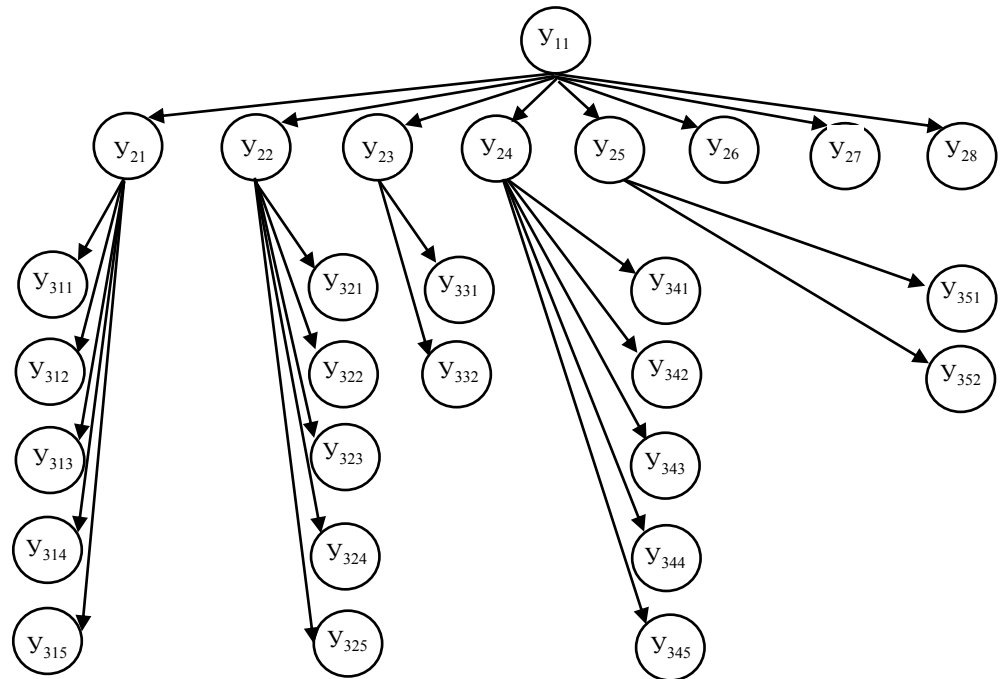


Рис. 5. Структурный граф судового дизельного двигателя

Fig. 5. Structural graph of a marine diesel engine

Каждая вершина *структурного графа судового дизельного двигателя* характеризуется вероятностью его выхода из строя. При этом вероятность наступления отказа при износе, как основной причине выхода деталей и узлов дизельного двигателя из строя в процессе времени, определяется отношением:

$$F(t) = \frac{n(t)}{N} \tag{5}$$

где: $n(t)$ – число деталей и узлов дизельного двигателя, отказавших на момент времени (t) ;

N – число деталей и узлов дизельного двигателя, работающих в начальный момент времени.

Тогда *средняя наработка до отказа* судового дизельного двигателя будет определяться как математическое ожидание наработки до первого отказа:

$$T_o = \int_0^{\infty} P(t)dt = \frac{\sum_{i=1}^n toi}{N} \quad (6)$$

где: $P(t)$ – вероятность безотказной работы, величина, обратная вероятности наступления отказа;

toi – наработка до отказа i – го объекта, час;

N – число деталей и узлов дизельного двигателя, работающих в начальный момент времени.

Из выражения (6) видно, что отказ судового дизельного двигателя определяется отказом наименее надежной детали (узла). Вместе с тем судовладелец в критических ситуациях может эксплуатировать судовые дизельные двигатели на неспецификационных режимах. Тогда *отказ* может определяться как полное нарушение работоспособного состояния судового дизельного двигателя, без снятия мощности с выходного фланца коленчатого вала.

С точки зрения прогнозирования работоспособности судового дизельного двигателя необходимо определить наступление предельного состояния С4 или неработоспособного состояния С5 (рис.1,2). Эта задача решается поиском *структурного параметра*, характеризующего то или иное состояние дизельного двигателя [13].

Структурный параметр — это физическая величина, непосредственно отражающая техническое состояние узла или детали (например, геометрическая форма и размеры, взаимное расположение поверхностей деталей).

Структурные параметры жестко связаны с *диагностическими параметрами*.

Диагностический параметр — это физическая величина, контролируемая средствами диагностирования и косвенно характеризующая работоспособность дизельного двигателя, его узлов и систем (например, шум, вибрация, стук, снижение мощности двигателя, давления масла или воздуха).

Взаимосвязь *структурных* и *диагностических параметров* для каждого конкретного дизельного двигателя устанавливается индивидуально. Как правило, эти взаимосвязи устанавливаются либо предприятием-изготовителем, на основе заводских испытаний, либо на основании информации, полученной при различных ремонтах дизельного двигателя. Прежде всего ищется взаимосвязь таких показателей как наработка и износ. Но, эта взаимосвязь не учитывает условий эксплуатации: например, района плавания судна, характеризующегося температурами воздуха в системе воздухоподдачи (а также его запыленности), забортной воды в системе охлаждения и рядом других. Когда взаимосвязи установлены, строится *диагностическая карта* для контроля состояния судового дизельного двигателя.

Принцип построения диагностической карты заключается в контроле состояния дизельного двигателя по показаниям штатных приборов контроля (либо приборов, входящих в состав диагностических систем). Состояние каждого элемента декомпозиции $У$ (рис.5) характеризуется определенным прибором контроля (либо несколькими приборами). Например, элемент $У_{313}$ характеризуется индикаторной диаграммой, полученной при помощи *максиметра*, элементы $У_{342}$, $У_{343}$ характеризуется по показаниям соответствующих манометров.

Разумеется, глубина диагностирования по предложенной методике будет неглубокой, а точность определения состояния судового дизельного двигателя будет низкой. Однако в краткосрочном прогнозировании состояния судового дизельного двигателя применение методики допустимо. С целью адаптации предлагаемой модели можно провести сглаживание тенденций изменения параметров по методу

прогнозирования Брауна. Для решения этой задачи удобно использовать среднюю арифметическую [14].

К достоинствам методики можно отнести простоту, дешевизну, распространенность. Последнее утверждение актуально для опытных механиков, которые «чувствуют» дизельный двигатель. Подводя методику под научное обоснование, а также автоматизируя процесс контроля состояния судового дизельного двигателя, можно выделить наименее надежные узлы и системы, более эффективно планировать ремонт судового дизельного двигателя, а также эксплуатацию судна в целом.

Заключение

Техническая диагностика – наука о методах определения технического состояния узлов, систем, агрегатов машин. Основной целью технического диагностирования судовых дизельных двигателей является выявление места и причин образования дефектов, а также методов обоснования мероприятий технического обслуживания, наиболее экономичного и наиболее безопасного использования их эксплуатационного ресурса [15].

Процесс диагностирования можно рассматривать как специфический процесс управления. Эффективная организация процессов диагноза технического состояния судового дизельного двигателя на всех этапах его жизненного цикла требует постоянного контроля его технического состояния.

В процессе эксплуатации судового дизельного двигателя для диагностирования применяются системы функционального и тестового диагностирования. Однако при нахождении судна в море на сегодняшний день используются системы функционального диагностирования. Наилучшими показателями по критерию живучести обладают системы, принцип работы которых основан на анализе параметров работы дизеля, полученных от штатных приборов с минимальным количеством дополнительно установленных датчиков. На основе полученных показателей строится диагностическая модель, устанавливающая связь между состояниями дизельного двигателя и их отображениями в пространстве диагностических сигналов. Распознавание состояния дизельного двигателя позволяет отнести его состояние к одному из возможных классов (диагнозов).

Список литературы

1. Sokolov S., Deyneka I., Malich A., Yashonkov A., Yakovlev O. Agricultural machinery used in the process of denaturation of minced fish proteine. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 918 (2020) 012145. DOI: 10.1088/1757-899X/918/1/012145.
2. Рудницкий, А.В. Моделирование функционирования судового оборудования с позиций надёжности (безотказности) // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Морская техника и технология. – Астрахань: АГТУ, 2011. – С. 63–66.
3. Викулов С.С. Методы построения алгоритмов диагностирования элементов судовых дизелей на основе системного подхода: Дис.доктора технических наук: 05.08.05 / Викулов Станислав Викторович; «Новосибирская государственная академия водного транспорта».- Новосибирск, 2014.- 312 с.
4. Колесов Л.Н., Оленчук В.И. Разработка модели технического состояния двигателя по данным эксплуатационных наблюдений / Л. Н. Колесов, В. И. Оленчук / Двигателестроение – 1990. – No1. – С. 42 – 45.
5. Методы технического диагностирования дизелей / А. А. Савочкин, И. С. Костин, Д. О. Панин [и др.]. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2020. — № 14 (304). — С. 88-90. — URL: <https://moluch.ru/archive/304/68490/> (дата обращения: 29.07.2021).
6. Равин А.А. Диагностическое обеспечение судового энергетического оборудования: проблемы и решения : Дис. доктора технических наук: 05.08.05 / Равин Александр

- Александрович; «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет». - Санкт-Петербург, 2015 - 403 с.
7. Минаков В.А. Совершенствование технологии диагностирования тепловозного дизеля по результатам контроля содержания продуктов износа в моторном масле : Дис. канд. технических наук: 05.22.07 / Минаков Виталий Анатольевич; ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения». - Омск, 2018 - 136 с.
8. ГОСТ Р 27.002–2015 Межгосударственный стандарт надежность в технике. Термины и определения. Введ. 2017-03-01. – М.: Стандартиформ, 2016. – 28 с.
9. Махутов Н.А., Гаденин М.М., Юдина О.Н. Научный анализ рисков в жизнеобеспечении человека, общества и государства. Проблемы анализа риска. 2019;16(2):70-86. <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2019-16-2-70-86>
10. Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 11.06.2021) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»
11. Никитин Е.А. и др. Диагностирование дизелей / Е.А. Никитин, Л.В. Станиславский, Э.А. Улановский, О.П. Дзедина, В.Г. Алексеев, В.Г. Щетинин, С.Н. Самойлов / М : Машиностроение, 1987, 224 С.
12. Чичилов И.И. Совершенствование методики и средств диагностирования дизельных двигателей : Дис. канд. технических наук: 05.20.03 / Чичилов Илья Иванович; Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрный университет». - Зеленоград, 2016 - 148 с.
13. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева – 2-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2008
14. Brown. W., Rutan. W. Method for diagnosing an engine using computer based models. Patent USA, 5377112, 1994
15. Дунаев А.В. Разработка методов контроля и управления техническим состоянием самоходных машин в агропромышленном комплексе : Дис. канд. технических наук: 05.20.03 / Дунаев Анатолий Васильевич; ФГБОУ ВО «Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка». - Москва, 2016 - 258 с.

References

1. Sokolov S., Deyneka I., Malich A., Yashonkov A., Yakovlev O. Agricultural machinery used in the process of denaturation of minced fish proteine. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 918 (2020) 012145. DOI: 10.1088/1757-899X/918/1/012145.
2. Rudnitsky, A.V. Modeling the functioning of ship equipment from the standpoint of reliability (reliability) // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Ser. Marine engineering and technology. - Astrakhan: AGTU, 2011. - pp. 63-66.
3. Vikulov S.S. Methods of constructing algorithms for diagnosing elements of marine diesel engines based on a systematic approach: Dis. Doctor of Technical Sciences: 05.08.05 / Vikulov Stanislav Viktorovich; "Novosibirsk State Academy of Water Transport".- Novosibirsk, 2014.- 312 p.
4. Kolesov L.N., Olenchuk V.I. Development of a model of the technical condition of the engine according to operational observations / L. N. Kolesov, V. I. Olenchuk / Engine building - 1990. - No1. - pp. 42-45.
5. Methods of technical diagnostics of diesel engines / A. A. Savochkin, I. S. Kostin, D. O. Panin [et al.]. - Text: direct // Young scientist. — 2020. — № 14 (304). — Pp. 88-90. - URL: <https://moluch.ru/archive/304/68490/> (accessed: 07/29/2021).
6. Ravin A.A. Diagnostic support of ship power equipment: problems and solutions : Dis. Doctor of Technical Sciences: 05.08.05 / Ravin Alexander Alexandrovich; "St. Petersburg State Maritime Technical University". - St. Petersburg, 2015 - 403 p.
7. Minakov V.A. Improving the technology of diesel locomotive diagnostics based on the results of monitoring the content of wear products in engine oil : Dis. Candidate of Technical Sciences: 05.22.07 / Minakov Vitaly Anatolyevich; Omsk State University of Railway Engineering. - Omsk, 2018 - 136 p.
8. GOST R 27.002-2015 Interstate standard reliability in engineering. Terms and definitions. Introduction. 2017-03-01. - Moscow: Standartinform, 2016. - 28 p.

9. Makhutov N.A., Gadenin M.M., Yudina O.N. Scientific analysis of risks in the life support of a person, society and the state. Problems of risk analysis. 2019;16(2):70-86. <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2019-16-2-70-86>
10. Federal Law No. 116-FZ of 21.07.1997 (as amended on 11.06.2021) "On Industrial Safety of Hazardous production facilities"
11. Nikitin E.A. and D.R. Diagnosing diesels / E.A. Nikitin, L.V. Stanislavsky, E.A. Ulanovsky, O.P. Dzetsina, V.G. Alekseev, V.G. Shchetinin, S.N. Samoilov / M : Mashinostroenie, 1987, 224 p.
12. Chichilanov I.I. Improvement of methods and means of diagnostics of diesel engines : Dis. Candidate of Technical Sciences: 05.20.03 / Chichilanov Ilya Ivanovich; Azov-Black Sea Engineering Institute - branch of the Don State Agrarian University. - Zelenograd, 2016 - 148 p.
13. Non-destructive testing: Reference book: In 8 t. / Under the general editorship of V.V. Klyuev - 2nd ed., ispr. - M.: Mechanical Engineering, 2008
14. Brown. W., Rutan. W. Method for diagnosing an engine using computer based models. Patent USA, 5377112, 1994
15. Dunaev A.V. Development of methods for monitoring and controlling the technical condition of self-propelled machines in the agro-industrial complex : Dis. Candidate of Technical Sciences: 05.20.03 / Dunaev Anatoly Vasilyevich; All-Russian Scientific Research Technological Institute for Repair and Operation of Machine and Tractor Park. - Moscow, 2016 - 258 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кулагин Андрей Владимирович, научный сотрудник; Научно-исследовательский институт (военно-системных исследований материально-технического обеспечения Вооружённых Сил Российской Федерации) Военной академии материально-технического обеспечения; Российская Федерация, 191123, г. Санкт-Петербург, Вознесенская набережная, 10 а, ku199121@mail.ru

Andrey V. Kulagin, Researcher; Research Institute (Military-System Research of Material and Technical Support of Armed Forces of the Russian Federation) of Military Academy of Material and Technical Support; Russian Federation, 191123, St. Petersburg, Voznesenskaya embankment, 10 a

Статья поступила в редакцию 03.11.2021; опубликована онлайн 20.12.2021.
Received 03.11.2021; published online 20.12.2021.