

ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ГРАФОВОГО АНАЛИЗА

¹Мазур Екатерина Владимировна, соискатель;

²Великанов Николай Леонидович, д-р техн. наук, проф., завед. кафедрой

^{1,2}Калининградский государственный технический университет,
Институт морских технологий, энергетики и строительства, кафедра судостроения,
судоремонта и морской техники, Калининград, Россия,
e-mail: ¹ekaterina.mazur@gmail.com; ²nikolaj.velikanov@klgtu.ru

Рассматривая изменение технического состояния цилиндропоршневой группы (ЦПГ) судового двигателя от «полностью работоспособного состояния» до «выхода ЦПГ из строя», можно сформировать целый ряд сценариев, возникающих в процессе эксплуатации. Основной инженерной задачей при этом является оценка положения исследуемой системы в ходе эксплуатации и прогноз ее изменений. Наиболее обоснованным подходом (для проведения оценки положения системы ЦПГ в текущем моменте времени и прогноза ее последующего состояния) является использование различных сетевых моделей. В том числе таких, как диаграмма дерева отказов и диаграмма FTA-анализа. В целом все подобные диаграммы являются ориентированными графами. Предлагается к рассмотрению методика определения состояния ЦПГ при помощи сетей Петри. Представленная аналитическая модель имеет хорошо обоснованную теорию исследования процессов, происходящих в сложных технических системах. Полезность модели продемонстрирована на примере анализа цилиндропоршневой группы судового дизельного двигателя.

Введение

Обеспечение надежности состояния систем судовых двигателей является одним из ключевых вопросов, требующих привлечения сложного логического и программно-математического аппарата [1]. При этом основной сложностью при разработке способов обнаружения неисправности на стадии ее зарождения является комбинированная структура динамического взаимовлияния различных факторов и множественные связи подсистем друг с другом. Сами элементы системы могут подвергаться сбоям, факторы исчезать и появляться, переходить из состояния в состояние вызывая тем самым настоятельную потребность анализа поведения исследуемого объекта. Информация, получаемая с множественных устройств слежения за физическими параметрами (датчики температуры, давления и др.) системы ЦПГ, каждый из которых характеризует состояние узла или подсистемы, должна быть собрана и обработана таким способом, который сможет учесть, проанализировать и дать комплексную оценку текущего состояния исследуемой системы. В свою очередь накапливаемая таким образом информация (по характеристикам состояния системы) позволяет проводить и предиктивный анализ.

Концепция методики оценки технического состояния

Методика оценки технического состояния на основе графового анализа базируется на анализе взаимосвязей между воздействующими на систему факторами, параметрами системы и их отклонениями, возникающими дефектами и сигнализацией подсистемы контроля технического состояния (датчиками).

Для начала была собрана и проанализирована информация об основных видах износа деталей цилиндропоршневой группы, причинах, вызывающих данные виды износа, а также факторах, оказывающих влияние на причины. В результате была построена модель

ориентированного графа (рис. 1), где $x_1, x_2 \dots x_n$ – дефекты деталей ЦПГ, например: задиры, коррозия, трещины и т.д.; $p_1, p_2, p_3 \dots p_m$ – причины, влияющие на образование дефектов, например: отложение твердых частиц, нарушение теплового режима работы двигателя, ошибка монтажного зазора и т.д.; $\phi_1, \phi_2, \phi_3 \dots \phi_m$ – факторы, воздействующие на причины, например: брак деталей, низкое качество фильтрации масла, несоответствие нормам сорта топлива и т. д.; $a_1, a_2, a_3 \dots a_m$ – сигналы тревоги, характеризующие превышение/понижение контролируемой величины, например: понижение давления охлаждающей воды на входе в двигатель, повышение температуры охлаждающей воды на выходе из двигателя, повышение температуры наддувочного воздуха на входе в двигатель и т.д.

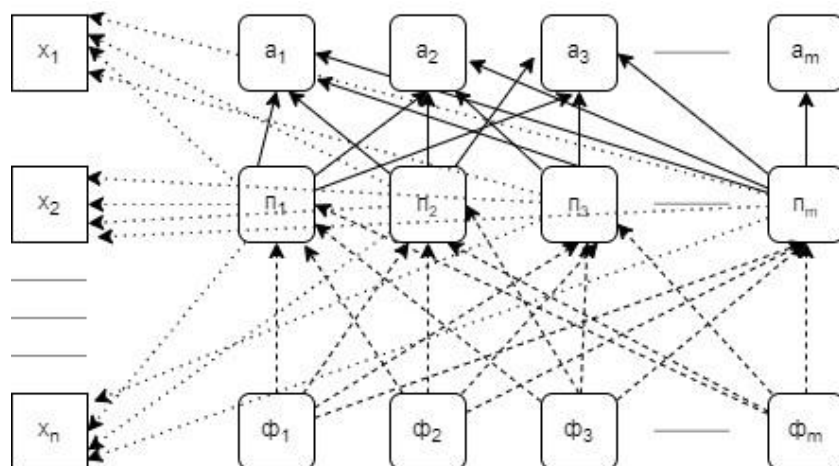


Рис. 1. Ориентированный граф связей причин и видов неисправностей ЦПГ

При построении графа, связи определялись на основе широкого перечня предшествующих исследований и разработок [2, 3], во внимание также были приняты и показания журнала системы сигнализации, установленной на судне. Данная система сигнализации и наблюдения включает в себя функцию сбора информации с цифровых и аналоговых датчиков, а также предоставление информации о месте активированного сигнала с последующей фиксацией случая в электронный журнал (рис. 2).

20 11:19:10.574	0005	OIL MIST DETECTOR FAILURE	XA	ALARM	ALARM
20 11:10:54.091	0002	ME STOPPING AIR PRES. TOO LOW	PAL	ALARM	ALARM
20 11:10:29.234	0001	ME STARTING AIR PRESSURE	PIAL	12.8 bar	LOW
20 11:17:50.012	0011	TC OUT EXH.GAS TEMPERATURE	TIAH	221.3 °C	OFFSC
20 11:17:52.055	0012	TC IN EXH.GAS TEMPERATURE	TIAN	232.8 °C	OFFSC
20 11:17:34.440	0205	ME HT C.W.M.B. PRES.TOO LOW	SHD	ALARM	ALARM
20 11:17:27.539	0002	ME HT C.W ST-BY PP.LOW PRESS.RUN	XA	ALARM	ALARM
20 10:50:09.004	1547A	M.G.O. TRIP LEVEL HIGH HIGH	LAI	NORMAL	OFFSC
20 10:25:23.002	2002	FIRE ALARM SYSTEM FAILURE	XA	NORMAL	OFFSC
20 10:11:57.797	0007	ME F.O.INLET VIST.HIGH/LOW	VAH	ALARM	OFFSC
20 10:04:27.940	1543A	M.G.O. TRIP LEVEL HIGH	LAI	ALARM	OFFSC
20 10:03:22.207	1322	DCCB AC220V UPS1 FAILURE	XA	ALARM	ALARM
20 10:01:14.940	0402	VOLTAGE FAIL.AT TERMINAL X1	XA	ALARM	ALARM
20 10:03:11.302	2007	CARGO HOLD FIRE SYS. FAILURE	XA	ALARM	ALARM
20 10:00:14.132	1620	FRESH WATER TK (P)LEVEL LOW	LAL	ALARM	ALARM
20 09:50:55.070	1003	BILGE DISCHARGE OIL CONTENT HIGH	BAH	NORMAL	OFFSC

Рис. 2. Пример отображения учета сигналов тревоги

Следующим шагом в обработке информации стало применение сетей Петри (по сути своей являющихся развитием ориентированного графа). Отметим, что при моделировании в прикладных областях тенденцией стало в дополнение к стохастической системе сетей Петри внесение в модель характеристик времени и вероятности [4, 5]. Одним из таких инструментов является нечеткая сеть Петри (НСП), хорошо моделирующая объекты с множеством взаимодействующих элементов и имеющих два вида информации – определенную и неопределенную, что подходит для анализа ЦПГ судового двигателя с большим количеством связей и тяжелыми эксплуатационными

условиями.

Так, например, прогары и отложения на головке поршня – сложное явление, обусловленное различными причинами (негерметичность форсунки, заклинивание иглы форсунки, низкое качество топлива, перегрузка двигателя и др.) и/или группой причин. Для полного понимания связей причин и факторов была выстроена сеть всех взаимодействий, учтен опыт случаев сбоев в системе сигнализации и определены веса ребер. Графическое изображение части сети Петри представлено на рисунке 3.

После построения сети появляется возможность анализа и построения прогноза поведения системы ЦПГ при различных сценариях отказов и повреждений. Расчет весов помогает выявить потенциальные факторы опасности, способствующие появлению износов элементов цилиндропоршневой группы. При дальнейшей математической обработке существует необходимость в определении таких параметров как вес ребра (w); ϕ – граничное значение (определяет может ли случиться переход (t) на основе текущего положения системы) и фактора обстоятельства (η).

Фактор обстоятельства показывает влияние параметра на систему и принимается в диапазоне от 1 до 9, где единица – это неопределенность, а девять – уверенность. Граничное значение определяет может ли переход на следующую позицию (P_n) сработать. Эффект перехода тесно связан с таким обстоятельством, как повышение или понижение до критических отметок параметров, контролируемых разнообразными датчиками.

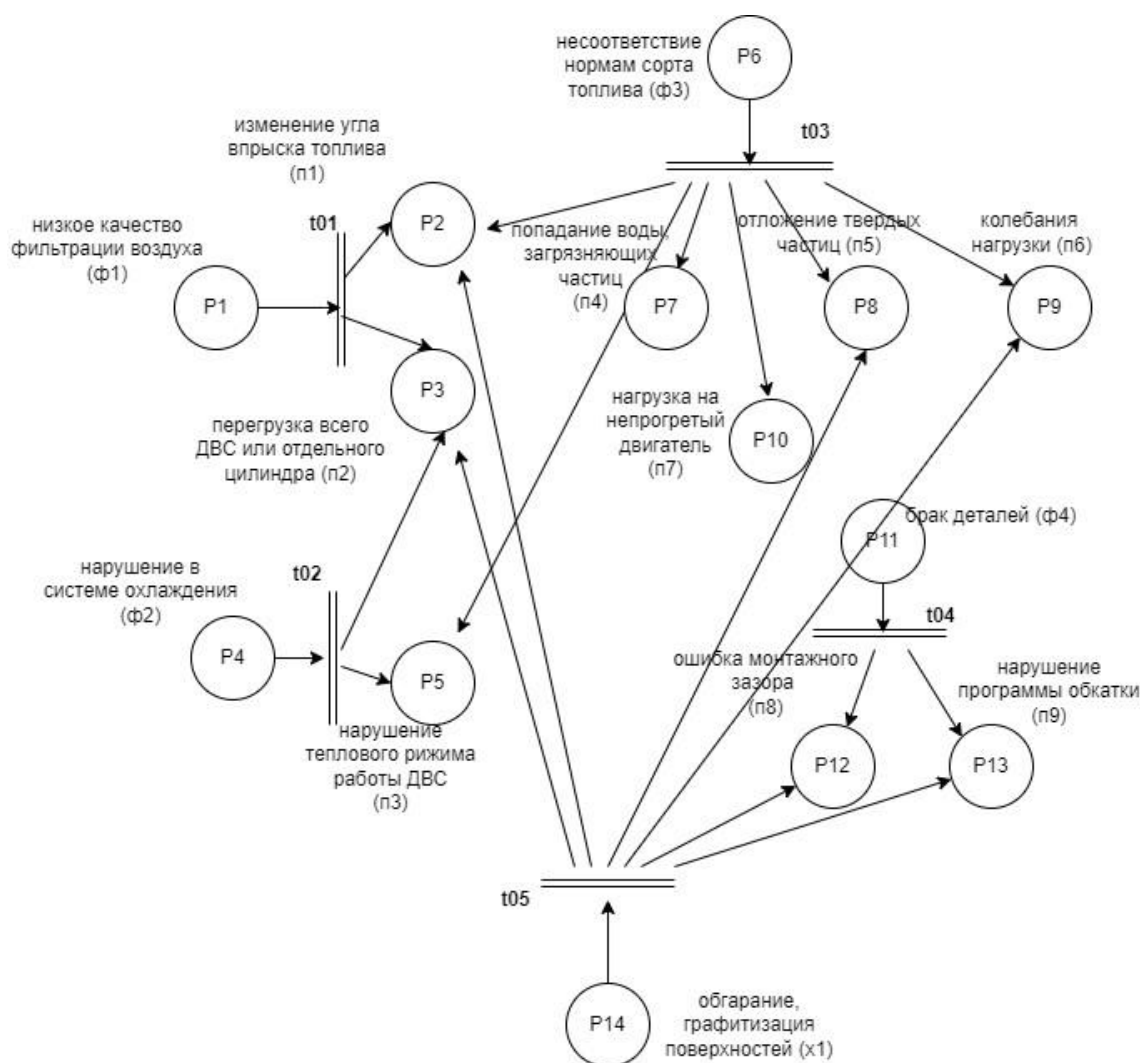


Рис. 3. Часть графического представления сети Петри для сценария «прогар и отложения на головке цилиндра»

Оценка влияния всех составляющих на сценарий «прогар и отложение на головке цилиндра» было проведено при помощи анализа, состоящего из 152 взаимовлияний факторов, вес каждого из которых оценивался по приоритетному числу риска (ПЧР) [6]. В последующем возможность перехода рассматривалась с применением граничного значения в трех диапазонах: 0,0-3,0 – возможность перехода близка к нулю; 3,1-6,0 – возможность перехода умеренно осуществимо и 6,1-9,0 – возможность перехода точно состоится. Представленный подход может имитировать поведение системы при различных сценариях, оценить возможность перехода или не перехода из состояния в состояние.

Заключение

Основной задачей исследований износа является полное понимание происходящих процессов в сложных технических системах. Проблема решения данной задачи состоит в трудности сбора и учета необходимой информации для построения модели, учитывающей все детали процессов, происходящих в цилиндропоршневой группе. Масштаб вычислительных затрат на моделирование динамики такой системы колоссален, в связи с этим создаваемая методика должна включать в себя мощный аппарат. Он в своей основе базируется на построении ориентированного графа (построение ведется на основе логики подкрепленной статистической и экспериментальной информацией), далее ориентированный граф преобразуется в сеть Петри, по которой ведется детальное изучение ребер взаимосвязей, переходов системы из одного состояния в другое. В итоге может быть произведена оценка текущего состояния системы ЦПГ и проведен определенный предиктивный ее анализ. Данный подход обеспечивает более глубокое представление о реакциях структуры ЦПГ и позволяет в дальнейшем разработать математическую модель поведения системы. Таким образом проводится сценарное моделирование. Важно отметить, что элемент анализа видов и последствий отказов – определение приоритетного числа риска, позволяет более гибко и комплексно оценить степень влияния факторов на систему. В представленном исследовании были учтены такие источники информации, как учетный журнал оповещений сигналов тревоги с данными об изменениях физических параметров в режиме эксплуатации ЦПГ, а также вероятные ситуации возникновения неисправностей, полученные из экспериментальных [7] и литературных [8] источников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марпол К. 73/78. Приложение VI. URL: <https://mirmarine.net/morskoe-pravo/marpol-73-78/1198-marpol-6> (дата обращения: 25.03.2024).
2. Дайнего, Ю. Г. Анализ причин повреждений судовых технических средств. – 2019.
3. МIRONENKO, И. Г., ТОКАРЕВ, А. О. Анализ причин повреждения судовых технических средств //Издательство ФГБОУ ВО «СГУВТ». – 2017.
4. Capra L., Köhler-Bußmeier M. Modular rewritable Petri nets: An efficient model for dynamic distributed systems // Theoretical Computer Science. – 2024. – Т. 990. – С. 114397.
5. da Rocha G. S., Rodrigues J. P. C., da Silva Gazzana D. Electrical fire risk indexing using fuzzy Petri nets //Fire safety journal. – 2023. – Т. 139. – С. 103817.
6. ГОСТ Р 51901.12–2007. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов.
7. Engine Operating Instructions Type M32C, Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG, 2008, p. 2083.
8. Правила технической эксплуатации судовых технических средств и конструкций РД 31.21.30-97. – М. : ИНФРА-М, 2022. – 327 с.

POSSIBILITY OF CREATING A METHODOLOGY FOR ASSESSING THE TECHNICAL OF THE CILINDER-PISTON GROUP OF A MARINE ENGINE BASED ON GRAPH ANALYSIS

¹Mazur Ekaterina Vladimirovna, PhD applicant,

²Velikanov Nikolai Leonidovich – Doctor of Engineering Science, Professor,
Head of the department

^{1, 2}Kaliningrad State Technical University, Institute of marine technologies, power engineering and construction. Department of Shipbuilding,
Ship Repair and Marine Engineering, Kaliningrad, Russia
e-mail: ¹ekaterina.mazur@gmail.com, ²nikolaj.velikanov@klgtu.ru

Considering the change in the technical condition of the cylinder-piston group (CPG) of a marine engine from “fully operational state” to “failure of the CPG”, it is possible to formulate a number of scenarios that arise during operation. The main engineering task is to assess the position of the system under study during operation and predict its changes. The most reasonable approach (for assessing the position of the CPG system at the current point in time and forecasting its subsequent state) is the use of various network models. Including such as: fault tree diagram, FTA analysis diagram. In general, all such diagrams are directed graphs. The paper proposes for consideration a technique for determining the state of the CPG using Petri nets. The presented analytical model has a well-founded theory for studying processes occurring in complex technical systems. The usefulness of the model is demonstrated by the example of the analysis of the cylinder-piston group of a marine diesel engine.