

УДК 004.891.3:621.431.74: 371.693.4

## НЕИСПРАВНОСТИ, ВЫЯВЛЯЕМЫЕ СИСТЕМАМИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ, И ИХ ИМИТАЦИЯ В ТРЕНАЖЕРАХ

Троицкий Алексей Владимирович<sup>1</sup>, старший преподаватель  
e-mail: [a.troitsky@gmail.com](mailto:a.troitsky@gmail.com)

<sup>1</sup> Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

**Аннотация.** Приведен краткий обзор современных систем диагностирования технического состояния судовых дизелей. Рассмотрены регистрируемые ими параметры, используемые в качестве диагностических. Проанализирована функциональность данных систем в части диагностирования возможных неисправностей судовых двигателей внутреннего сгорания. Рассмотрены возможности современных тренажеров судовой энергетической установки в части имитации систем мониторинга рабочего процесса судовых дизелей.

**Ключевые слова:** судовой дизель, система диагностирования, мониторинг рабочего процесса, диагностирование неисправностей, контроль технического состояния, тренажер судовой энергетической установки, тренажер судового механика, имитационное моделирование.

## FAULTS DETECTED BY MARINE DIESEL DIAGNOSTIC SYSTEM AND THEIR MODELLING IN SIMULATORS

Troitsky Alexey Vladimirovich<sup>1</sup>, Department of Ship's propulsion power plant exploitation, Senior Lecturer  
e-mail: [a.troitsky@gmail.com](mailto:a.troitsky@gmail.com)

<sup>1</sup> Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

**Abstract.** A brief overview of modern systems for diagnosing the technical condition of marine diesel engines is given. The parameters recorded by them and used as diagnostic ones are considered. The functionality of these systems in terms of diagnosing possible malfunctions of marine internal combustion engines is analyzed. The capabilities of modern engine room simulators are considered in terms of simulating systems for monitoring the work process of marine diesel engines.

**Keywords:** marine diesel engine, diagnostic system, work process monitoring, fault diagnosis, technical condition monitoring, engine room simulator, simulation modelling.

Эксплуатационные, экономические и экологические показатели дизеля во многом определяются качеством протекающего в его цилиндрах рабочего процесса. Выявление недостатков в содержании и работе судовых двигателей, обследование их в действии,

анализ показателей, полученных при этом – далеко не полный перечень задач, решаемых посредством теплотехнического контроля, проводимого не только теплотехническими партиями судоходных компаний, но также и силами судовой команды.

Долгие годы на судах для контроля рабочего процесса в цилиндрах дизелей использовались максиметр, индикаторы с цилиндрической или стержневой пружинами, а также пиметр [1]. С помощью данных приборов для каждого из цилиндров возможно измерить давление конца сжатия  $p_c$  и максимальное давление сгорания  $p_z$ , а в случае пиметра – среднее по времени давление  $p_{cp}$ . Функционал индикатора типа «Maihak», с помощью которого можно записать «свернутую» индикаторную диаграмму и планиметрируя ее рассчитать среднее индикаторное давление  $p_{mi}$  может быть реализован лишь на двигателях, имеющих индикаторный привод, в настоящее время практически не встречающихся.

В наши дни теплотехнический контроль и диагностирование технического состояния судовых дизелей, как правило, проводится с помощью электронных систем мониторинга рабочего процесса [2, 3].

Аппаратная часть этих систем предполагает установку датчика давления газов на индикаторный кран. Синхронизация же регистрируемых данных по положению коленчатого вала может быть как аппаратной (датчик угла поворота кривошипа), так и программной (расчетное определение текущего положения коленчатого вала).

Программное обеспечение систем диагностирования обеспечивает построение «развернутых» или «свернутых» индикаторных диаграмм цикла –  $p(\varphi)$  и  $p(V)$ . Также рассчитывается угловая скорость изменения давления в цилиндре  $dp/d\varphi$ . Некоторые из рассматриваемых систем регистрируют процессы в системе топливоподачи и контролируют работу механизма газораспределения.

Большинство из выпускающихся в настоящее время систем диагностирования судовых дизелей путем обработки и анализа индикаторных диаграмм цикла способны выявлять следующие неисправности.

**Потеря герметичности всасывающего клапана, износ плунжерной пары топливного насоса** (рисунок 1А). Начало самовоспламенения топлива регистрируется с запаздыванием, зачастую этот момент смещается на диаграмме вправо – за верхнюю мертвую точку. Максимальное давление сгорания  $p_z$ , достигаемое в цилиндре, снижается. Возможно увеличение температуры газов на выходе из цилиндра. Давление на линии расширения ( $36^\circ$  п.к.в. после ВМТ)  $p_{exp}$  существенно возрастает.

**Ранняя подача топлива** (рисунок 1Б). Начало самовоспламенения топлива смещается на индикаторной диаграмме влево – в сторону опережения. Максимальное давление сгорания  $p_z$  увеличивается при уменьшающейся температуре газов, выходящих из цилиндра. Давление на линии расширения  $p_{exp}$  несколько снижается.

**Заклинивание иглы форсунки в нижнем положении** (рисунок 1В). Максимальное давления сгорания  $p_z$  снижается, при этом происходит значительное уменьшение температуры газов на выходе из цилиндра. Рассчитываемые системой индикаторная мощность цилиндра  $P_i$  и среднее индикаторное давление  $p_{mi}$  снижаются. Давление на линии расширения  $p_{exp}$  также снижается.

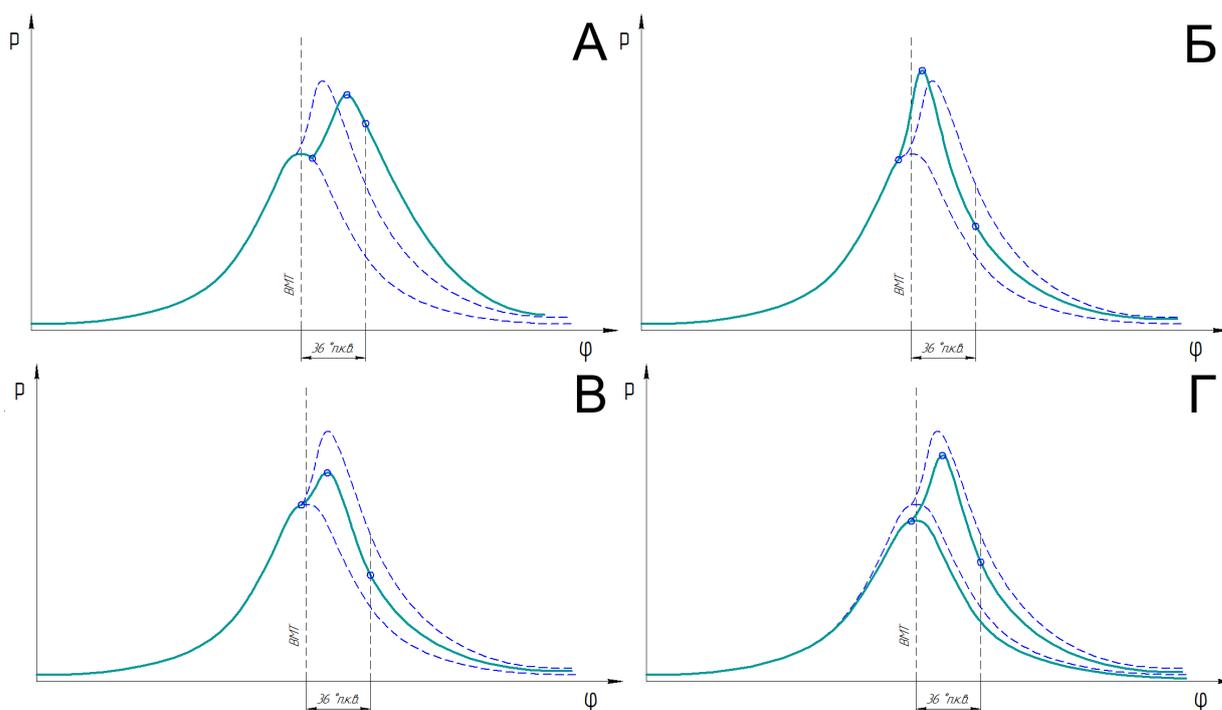


Рисунок 1 – Диаграммы рабочего процесса в цилиндре неисправного дизеля

**Потеря компрессии** (рисунок 1Г). Рассчитываемые системой среднее индикаторное давление  $p_{mi}$  и индикаторная мощность цилиндра  $P_i$ , снижаются. Наблюдается дымный выхлоп. Экономичность двигателя ухудшается.

Работа современных систем мониторинга рабочего процесса судовых дизелей имитируется и в тренажерах судовых энергетических установок. Использование тренажеров в образовательном процессе позволяет отказаться от постановки натуральных экспериментов, заменив их взаимодействием с математической моделью, являющейся ядром тренажера [4, 5]. Достоинство такого подхода очевидно, поскольку проведение обучения на реальных объектах не всегда представляется возможным ввиду сложности оборудования или его недоступности по тем или иным причинам, а имитационные программы, изготовленные с применением мультимедийных технологий, по наглядности подачи информации реальным объектам почти не уступают. Вместе с тем, использование данных программ, дает возможность более тщательной отработки производственных задач, исключая вероятность получения травмы или выхода из строя оборудования в случае ошибочных действий оператора.

Основными участниками рынка тренажеров судовых энергетических установок являются компании Kongsberg, Transas и Rheinmetall. В эксплуатации комплекса судовых тренажеров ФГБОУ ВО «ВГУВТ» находится тренажер Transas Technological Simulator 5000. Одна из моделей, использующихся этим тренажером (MAN BW 6S60MC-C Tanker LCC) обладает в числе прочего функционалом имитатора системы диагностирования судовых дизелей.

Отдельные мнемосхемы тренажера соответствуют интерфейсу большинства систем диагностирования судовых дизелей. В частности, мнемосхема «Diag → Analysing» (рисунок 2А) представляет собой имитатор прибора диагностирования рабочего процесса. Предусматривается возможность записи рабочего процесса для каждого цилиндра не только главного, но и вспомогательных двигателей. После регистрации данные можно сохранить в памяти прибора для дальнейшего анализа.

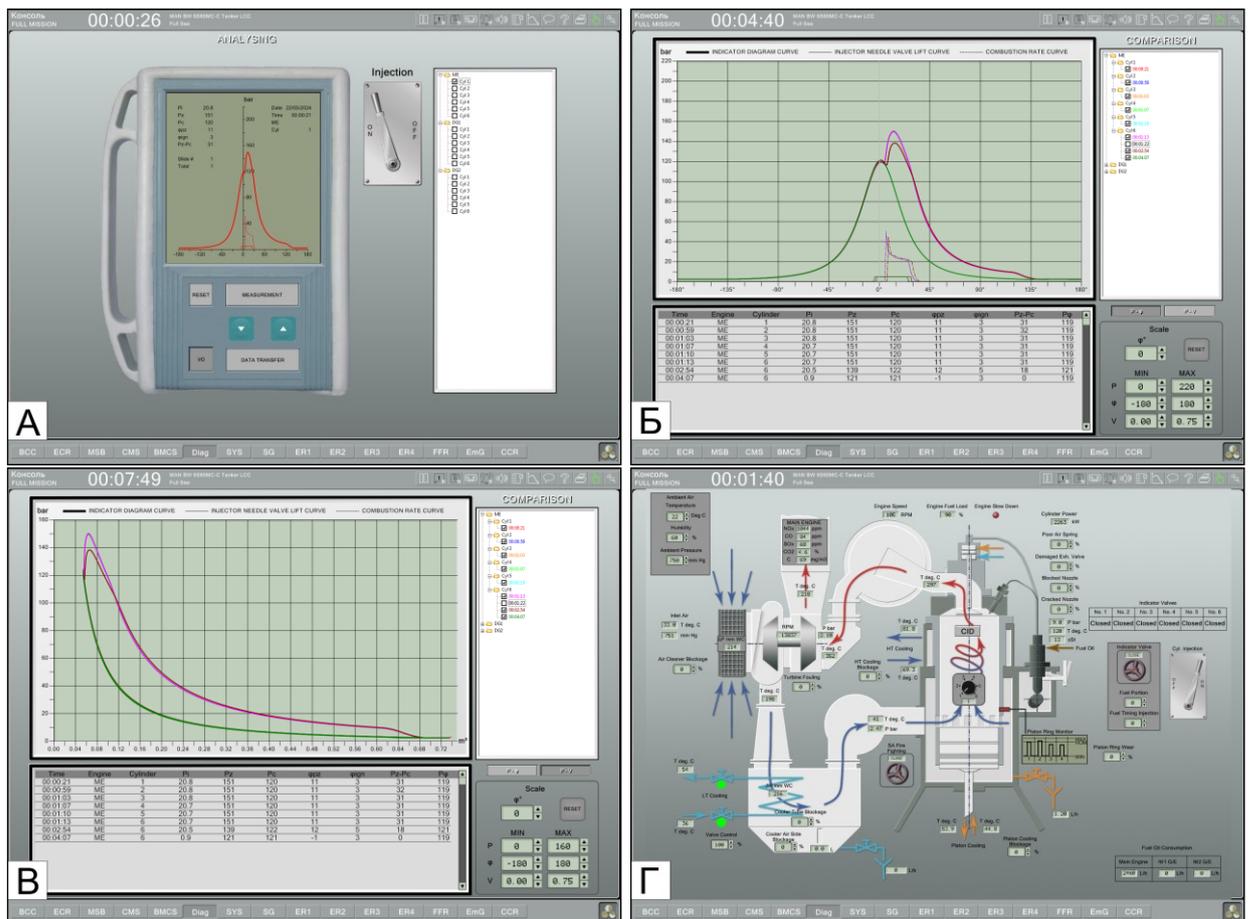


Рисунок 2 – Мнемосхемы тренажера Transas Technological Simulator 5000 (модель MAN BW 6S60MC-C Tanker LCC): А – имитатор прибора диагностирования рабочего процесса; Б, В – «развернутая» и «свернутая» индикаторные диаграммы цикла; Г – рабочий цилиндр двигателя и органы управления рабочим процессом

Мнемосхема «Diag → Comparison» (рисунки 2Б и 2В) имитирует программную оболочку системы диагностирования. На ней отображаются «развернутые» и «свернутые» индикаторные диаграммы. Также она отображает зависимость перемещения иглы форсунки и скорости сгорания в функции угла поворота кривошипа коленчатого вала. Кроме этого, на экран выводятся численные значения индикаторной мощности  $P_i$ ; максимальное давление сгорания  $p_z$  и давление конца сжатия  $p_c$ , а также разница этих величин; угол  $\varphi_{Pz}$ , соответствующий моменту достижения максимального давления в цилиндре; угол, соответствующий моменту самовоспламенения топлива  $\varphi_{ign}$ .

Мнемосхема “Diag → Cylinder Combustion Process” (рисунок 2Г) схематично отображает элементы систем топливоподачи и газотурбинного наддува, относящиеся к конкретному цилиндру. Мнемосхема в подробностях обеспечена приборами, регистрирующими параметры сред в характерных точках систем, а также органами управления, используемыми для регулировки качества протекания рабочего процесса в цилиндре.

Анализируя индикаторные диаграммы, отображаемые на мнемосхеме “Diag → Comparison” (рисунки 2Б и 2В), сравнивая их между собой или с диаграммами, являющимися отображением характерных неисправностей (рисунок 1), сравнивая значения измеряемых величин с их паспортными значениями, возможно сделать выводы о текущем техническом состоянии двигателя и выработать решения по регулировке его рабочего процесса.

Аналогичным функционалом обладает и тренажер Kongsberg Neptune ERS. Одна из моделей тренажера (ERS-L11 MAN B&W 5L90MC VLCC-L11-V), имитирует программную часть системы диагностирования главного двигателя судна (рисунок 3) [6].

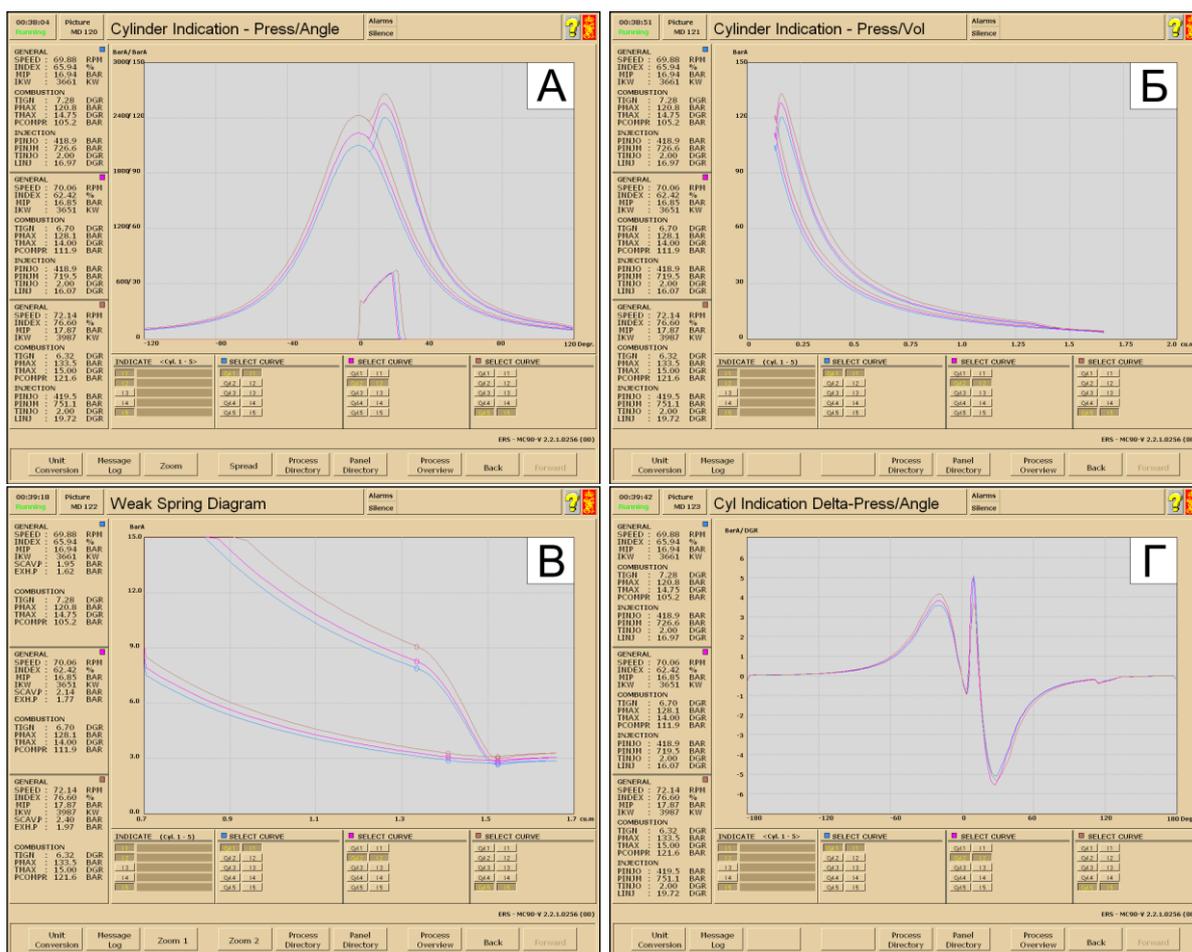


Рисунок 3 – Мнемосхемы тренажера Kongsberg Neptune ERS (модель MAN B&W 5L90MC VLCC-L11-V): А, Б – развернутая и свернутая индикаторные диаграммы цикла; В – диаграмма продувки цилиндра; Г – диаграмма скорости изменения давления в цилиндре

Имитация систем мониторинга рабочего процесса в цилиндрах судовых дизелей тренажерами судовых энергетических установок дает возможность качественно улучшить уровень подготовленности судовых механиков к их использованию. Это является залогом содержания судовых двигателей в надлежащем техническом состоянии и сохранении их эксплуатационных, экономических и экологических показателей в рамках установленных норм.

### Список литературы:

1. Руководство по теплотехническому контролю серийных теплоходов. – Минречфлот. – М.: Транспорт, 1980. – 424 с.
2. Судовой механик. Справочник : в 3 т. / под ред. А. А. Фока. – Одесса : Феникс, 2008. – Т. 1. – 1036 с.
3. Соловьев, А. В. Системы мониторинга судовых дизелей в эксплуатации / А. В. Соловьев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия:

Морская техника и технология. – 2018. – № 1. – С. 87-92. – DOI 10.24143/2073-1574-2018-1-87-92. – EDN YOQFCW.

4. Троицкий, А. В. Применение тренажера судового механика Kongsberg Neptune ERS при изучении курса «Судовые двигатели внутреннего сгорания» / А. В. Троицкий // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2012. – № 33. – С. 203-205. – EDN RBSCKL.

5. Нажимов, А. В. Современные методы организации лабораторного практикума на базе имитационного моделирования и физического эксперимента / А. В. Нажимов, Н. А. Нажимова // Заметки ученого. – 2022. – № 10. – С. 159-162. – EDN BIQJYG.

6. Троицкий, А. В. Возможности тренажера Kongsberg Neptune ERS в части имитации системы диагностирования судового дизеля / А. В. Троицкий // Морские технологии: проблемы и решения - 2023 : Сборник трудов по материалам научно-практических конференций преподавателей, аспирантов и сотрудников ФГБОУ ВО «КГМТУ», Керчь, 24–28 апреля 2023 года. – Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2023. – С. 69 – 72. – EDN GHHRCG.

