

# СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И МАШИННО-ДВИЖИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

УДК 621.431.74

*Р. А. Варбанец, Ю. Н. Кучеренко, В. И. Кырнац, Е. И. Жолтиков*

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА И ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

В ходе исследований используется метод построения технологических карт, предложенный профессором И. И. Кринецким, позволяющий визуализировать структуру научных исследований. Разработаны технологические карты исследований в трех близких научных направлениях, связанных с задачей мониторинга рабочего процесса и параметрической диагностики судовых и железнодорожных дизелей. Предложено решение актуальной для судовых дизелей задачи определения эффективных параметров, что является требованием большинства сертификационных обществ. Предложено новое решение задачи синхронизации данных при параметрической диагностике рабочего процесса в цилиндре судового дизеля. Для маневровых дизелей предложено решение комплексной задачи параметрической диагностики, повышающее эффективность плановых ремонтных работ. Сформирована общая структура научных исследований, выделены главные и вспомогательные задачи, представлена общая оценка полученных научных результатов и сформированы научные положения. Обобщен результат исследований. Результаты исследований подтвердили, что построение технологической карты, т. е. графическая визуализация целей и задач научного исследования, является действенным средством представления структуры научной работы, обоснования ее актуальности, новизны и практической ценности.

**Ключевые слова:** технологическая карта научных исследований, дизели, параметрическая диагностика, газотурбонагнетатель, судовые дизельные установки, среднеоборотные дизели.

### **Введение**

Технология научных исследований – это совокупность знаний о процессах исследований и о методике их выполнения. Процесс исследований включает в себя выбор темы, информационный поиск, решение главных и вспомогательных задач и этап внедрения. Графическое изображение этого процесса называется технологической картой научных исследований [1]. Такое определение из книги И. И. Кринецкого отражает суть задачи построения технологической карты научных исследований в задачах мониторинга и параметрической диагностики судовых и железнодорожных дизелей.

Выдающийся ученый своего времени, член-корреспондент Академии наук СССР, доктор технических наук, профессор Иван Иванович Кринецкий был руководителем более 130 научных работников – докторов и кандидатов наук. В 90-е гг. XX в. Иван Иванович руководил кафедрой теории автоматического управления Одесского высшего инженерного морского училища. В одной из своих книг он описал методы организации научной деятельности своих учеников. Интересно, что как специалист в области теории автоматического управления И. И. Кринецкий спроектировал схему технологической карты научных исследований по аналогии с функциональной схемой системы автоматического регулирования, т. е. с отрицательной обратной связью. Завершающая научное исследование обратная связь подразумевает окончательное сопоставление результатов работы с целями главных задач.

Существует много как сторонников, так и критиков [2] такой формы представления общей структуры и задач научного исследования. Мы относим себя к сторонникам не только потому, что являемся учениками и последователями профессора И. И. Кринецкого, но и по ряду объективных причин.

Во-первых, логическое представление взаимосвязей исследовательского процесса при решении большой комплексной научной задачи помогает структурировать научную деятельность и упорядочить действия по решению поставленной задачи.

Во-вторых, четкое структурирование и логические взаимосвязи позволяют избежать ряда ошибок и повторений, неизбежно возникающих при решении комплексной задачи со многими неизвестными, состоящей из множества частных задач с заранее неизвестной глубиной вложения этих задач.

В-третьих, в настоящее время на самом современном уровне рассматривается концепция графического или виртуального представления научной и организационной деятельности. Примерами тому служат проекты крупнейших IT-компаний: Microsoft MindMap®, ConceptDraw MindMap®, Microsoft Project®, ConceptDraw Project® [3, 4] и др. В настоящее время существуют и успешно развиваются целые направления виртуального программирования, такие как Project management, Flow Chart drawing и многие другие, которые с помощью современных средств on-line программирования решают задачи, аналогичные поставленным в свое время профессором И. И. Кринецким.

Описанный выше метод получил развитие в работах аспирантов и соискателей кафедры судовых энергетических установок и технической эксплуатации Одесского национального морского университета (СЭУ и ТЭ ОНМУ). Сотрудники кафедры ведут разработки в области мониторинга и параметрической диагностики судовых и железнодорожных дизелей, представляя структуру научных исследований в виде технологических карт. Это позволяет организовать научную деятельность, планировать доклады на конференциях и конгрессах, а также существенно упростить отношения с заказчиками от производства, рецензентами, консультантами и оппонентами научных работ.

### **Технологическая карта исследований в задаче определения эффективных параметров судовой дизельной энергетической установки**

Определение эффективных параметров судовых дизелей является проблемой в связи с трудностью осуществления точной количественной оценки механических потерь.

Изначально при эксплуатации судовых дизельных установок (СДУ) сложилась противоречивая ситуация, связанная с представлением паспортных данных судовых дизелей и возможностями их контроля. В паспортах указаны значения эффективной мощности, момента, среднего эффективного давления и удельного эффективного расхода топлива. При этом на практике можно определить лишь среднее индикаторное давление и, соответственно, рассчитать индикаторную мощность, момент и удельный индикаторный расход топлива. То есть в распоряжении экипажа имеются средства контроля индикаторных параметров [5, 6], при этом отчетные формы необходимо вести в эффективных параметрах, приблизительно оценивая величину механического коэффициента полезного действия (КПД) на текущем нагрузочном режиме [7].

В качестве основного документа, предписывающего контроль в эффективных параметрах, можно указать Резолюцию ИМО МЕРС.214(63) (IMO Resolution MERC) по поводу определения коэффициента энергоэффективности судов [8] и письмо Главного управления Российского речного регистра от 16.10.2014 г., в котором судовладельцев обязывают проводить испытания судовых дизелей с обязательным измерением эффективных крутящих моментов на валу.

Такие измерения можно проводить с помощью электронных торсиометров (Siemens, Datum Elektronik, MARIDIS и др. [9–11]). Установка и калибровка таких устройств производятся исключительно силами внешних метрологических фирм и связаны с материальными и временными затратами.

В некоторых случаях управляющие компании прямо указывают судовым специалистам, какие значения механических потерь следует применять в расчетах. Например, в сервисных письмах MAN (MAN Diesel & Turbo) для главных дизелей типа MC указывается величина  $mechanical\ efficiency = 0,9-0,93$ , а для дизелей типа ME –  $mechanical\ efficiency = 0,95-0,98$  на номинальных режимах [12]. Эксплуатация СЭУ обычно происходит на экономичных режимах 40–80 % от номинальной мощности и ниже. Значение механического КПД на этих режимах существенно меньше, и его оценка, производимая без специальных средств и методов, осуществляется весьма приблизительно.

Анализ характеристик систем торсиографирования [9–11] показал, что на практике погрешность определения эффективного крутящего момента находится в пределах 3 %. Согласно [13], оценка механического КПД тоже может быть произведена с аналогичной точностью при имеющихся значениях механического КПД на номинальном режиме и мощности текущего эксплуатационного режима. Согласно формуле профессора Г. А. Конакова, механический КПД на частичных режимах

$$\eta_m = 1 - \left(1 + 2 \frac{n}{n_H}\right) \frac{n}{3n_H} \frac{Ni_H}{Ni} (1 - \eta_{mH}), \quad (1)$$

где  $H$  – индекс номинального эксплуатационного режима MCR (maximum continuous rating);  $n$  – обороты эксплуатационного режима;  $Ni$  – индикаторная мощность эксплуатационного режима.

Мощность номинального режима и номинальный механический КПД указаны в паспортной документации. Мощность эксплуатационного режима может быть определена с помощью систем мониторинга [5, 6].

В [14] показана связь эффективной мощности дизеля (на примере малооборотного главного дизеля MAN) с частотными характеристиками газотурбоагнетателя (ГТН). Исходя из того, что для большинства судовых дизелей коэффициент корреляции между мощностью, давлением наддувочного воздуха и частотой вращения ГТН близок к единице, предлагается модифицировать формулу (1) таким образом, чтобы использовать точно контролируемую на практике величину частоты вращения ротора ГТН:

$$\eta_m = f\left(\frac{TURrpm_H}{TURrpm}\right).$$

Пример определения частоты вращения ГТН ( $TURrpm$ ) на эксплуатационном режиме с помощью методов спектрального анализа показан на рис. 1. Необходимо отметить, что для большинства ГТН лопаточная частота компрессора находится в пределах 3–7 кГц и может быть определена с погрешностью менее 10 Гц, что сводит погрешность определения  $TURrpm$  в среднем к величине менее 1 %.

$$TURrpm = \frac{2948 \text{ Гц (лопаточная частота компрессора ГТН)}}{20 \text{ (лопаток компрессора)}} \cdot 60 = 8844 \text{ мин}^{-1}.$$

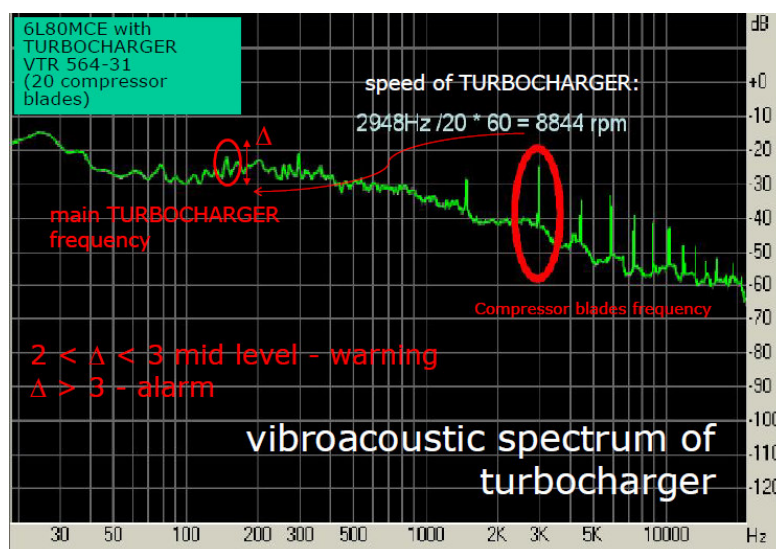


Рис. 1. Определение частоты вращения газотурбоагнетателя на эксплуатационном режиме с помощью спектрального анализа виброакустических сигналов компрессора

Технологическая карта решения задачи определения эффективных параметров судовых дизелей приведена на рис. 2. Основная идея состоит в оценке механического КПД по указанной методике, определении индикаторных показателей рабочего процесса с помощью систем мониторинга и последующего расчета эффективных параметров. В связи с высокой точностью определения  $TURrpm$  и индикаторных параметров рабочего процесса результирующая погрешность оценки эффективных параметров СДУ составляет менее 3 %.

**Запрос практики:** необходимость контроля эффективных параметров СДУ (требования ИМО), позволяющих нормировать нагрузку СДУ, определять допустимый уровень эмиссии вредных газов, диагностировать техническое состояние и контролировать выполнение нормативов расхода топлива и масла

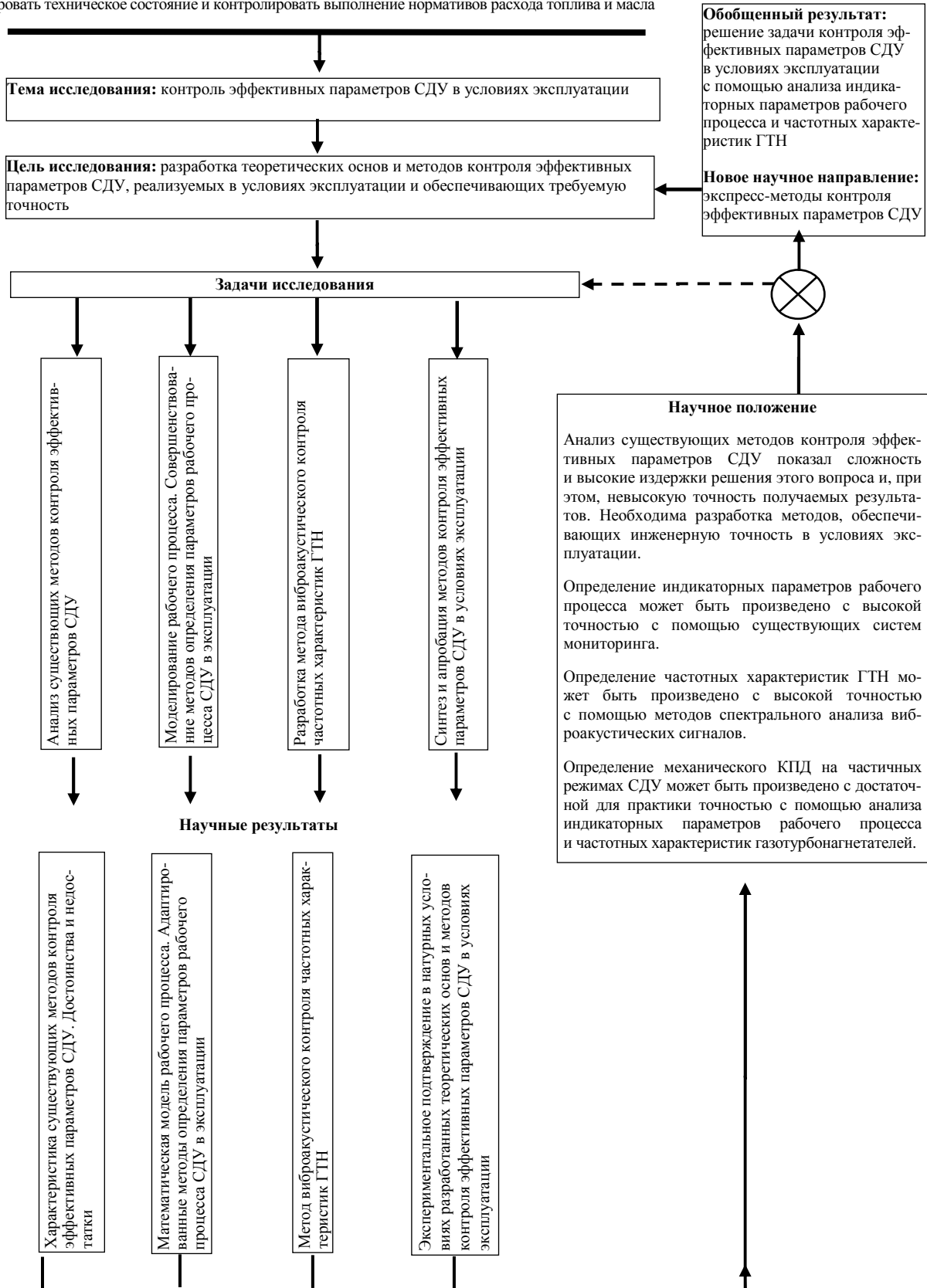


Рис. 2. Технологическая карта задачи определения эффективных параметров судовых дизельных установок

**Технологическая карта исследований в задаче комплексного диагностического контроля среднеоборотных дизелей применительно к условиям плановых ремонтов дизелей тепловозов**

Задача комплексной оперативной диагностики технического состояния цилиндропоршневой группы, топливной аппаратуры, механизма газораспределения и ГТН особенно актуальна для дизелей тепловозов при реостатных испытаниях. От информативности полученной диагностической информации зависит качество планируемого ремонта. От оперативности получения информации зависят расходы на проведение реостатных испытаний.

Моделирование рабочего процесса в программных симуляторах AVL BOOST™ и AVL FIRE™ [15] позволяет анализировать влияние различных эксплуатационных дефектов на параметры рабочего процесса, мощность двигателя и расход топлива (рис. 3, 4).

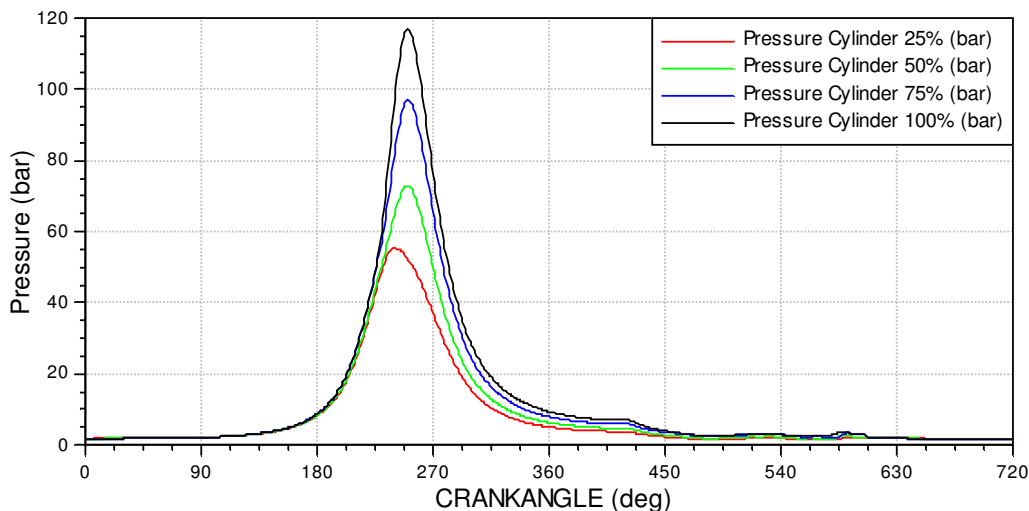


Рис. 3. Индикаторная диаграмма тепловозного среднеоборотного двигателя (СОД) на четырех эксплуатационных режимах, модель AVL BOOST™

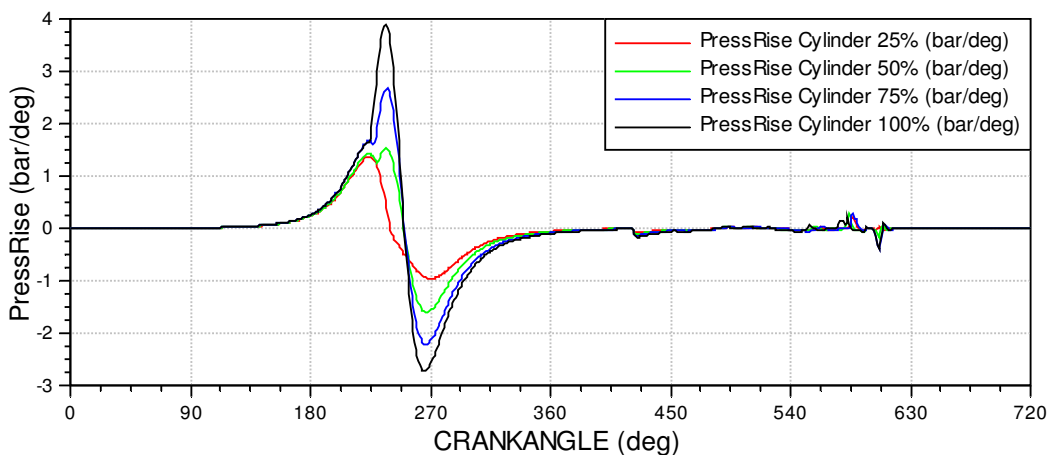


Рис. 4. Диаграммы скорости изменения давления газов в цилиндре тепловозного среднеоборотного двигателя на четырех эксплуатационных режимах, модель AVL BOOST™

Программные модели AVL BOOST™ и AVL FIRE™ позволяют прогнозировать влияние различных дефектов, но требуют значительных временных затрат на подготовку и настройку моделей, что несовместимо с оперативной работой в условиях реостатных испытаний дизелей тепловозов. Для оптимизации работы предлагается настройка модели рабочего процесса, записанная согласно 1-му закону термодинамики:

$$dQx = dU + pdV + dQw, \quad (2)$$

где  $dQx$  – теплота, выделенная при сгорании топлива;  $pdV$  – работа, совершенная цилиндром;  $dU$  – изменение внутренней энергии рабочего тела;  $dQw$  – теплота, переданная через стенки цилиндра.

Для моделирования скорости тепловыделения в цилиндре используется формула Вибе [16]:

$$\frac{dx}{df} = 6,908 \frac{m+1}{\varphi_z} \left( \frac{\varphi - \varphi_{Pc'}}{\varphi_z} \right)^m \exp \left[ -6,908 \left( \frac{\varphi - \varphi_{Pc'}}{\varphi_z} \right)^{m+1} \right], \quad (3)$$

где  $m$ ,  $\varphi_z$  – показатель характера сгорания и условная продолжительность процесса тепловыделения.

Расчет тепловыделения с использованием формулы Вибе обеспечивает достоверность лишь при точной оценке  $m$  и  $\varphi_z$ . Их определение для конкретного нагрузочного режима удобно производить, имея запись этого процесса в координатах  $P(\varphi)$  с шагом дискретизации поворота коленчатого вала (ПКВ) не более  $\Delta\varphi = 0,5^\circ$  [6]. В этом случае минимизируется функционал

$$Z = \sum \left[ \frac{P_j - P(\varphi_j, m, \varphi_z)}{P_j} \right] \Rightarrow \min.$$

Используя устойчивый алгоритм минимизации, определяем значения  $m$  и  $\varphi_z$  так, чтобы добиться максимального совпадения расчетной и реальной диаграмм  $P(\varphi)$  согласно требованиям взвешенного метода наименьших квадратов.

Альтернатива методу Вибе – метод Семенова – Квятковского [17], который базируется на предположении о том, что наиболее общим видом кривой тепловыделения является кривая с тремя (в частных случаях с двумя или с одним) максимумами. Метод реализован с помощью нагрузочных критериев, которые непосредственно связаны с массами топлива, впрыснутого за период задержки самовоспламенения и за весь процесс впрыска топлива. Указанные выше параметры  $m$  и  $\varphi_z$  формулы Вибе (3) фактически включены в расчетные уравнения посредством этих критериев:

$$\frac{dx}{d\varphi} = \frac{A_1}{\varphi_1} k_1 e^{-0,5k_1^2} + \frac{A_2}{\varphi_2} k_2 e^{-0,5k_2^2} + \frac{A_3}{\varphi_3} k_3 e^{-0,5k_3^2},$$

где  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  – смещения максимумов скорости тепловыделения на каждой из трех фаз;  $A_1, A_2, A_3, k_1, k_2, k_3$  – эмпирические коэффициенты.

С помощью метода Семенова – Квятковского можно произвести более точное моделирование тепловыделения в рабочем цилиндре СОД. Использование трехфазной модели тепловыделения в цилиндре позволяет моделировать и многофазный впрыск топлива, реализованный в современных дизелях.

Учет газообмена и потерь тепла через стенку цилиндра сделан в соответствии с методикой профессора В. С. Семенова [17].

Приведенная выше модель настраивается с помощью комплексов AVL BOOST™ и AVL FIRE™. Она использует полученные на текущем нагрузочном режиме данные  $p(\varphi)$ , что позволяет оперативно моделировать рабочий процесс и получать достоверную диагностическую информацию.

План научного исследования по формированию методов настройки коэффициентов модели (2) и последующего комплексного диагностического контроля, применительно к условиям плановых ремонтов СОД тепловозов, показан на технологической карте (рис. 5).

Разработанные методы использованы в системе Одесской железной дороги [18].

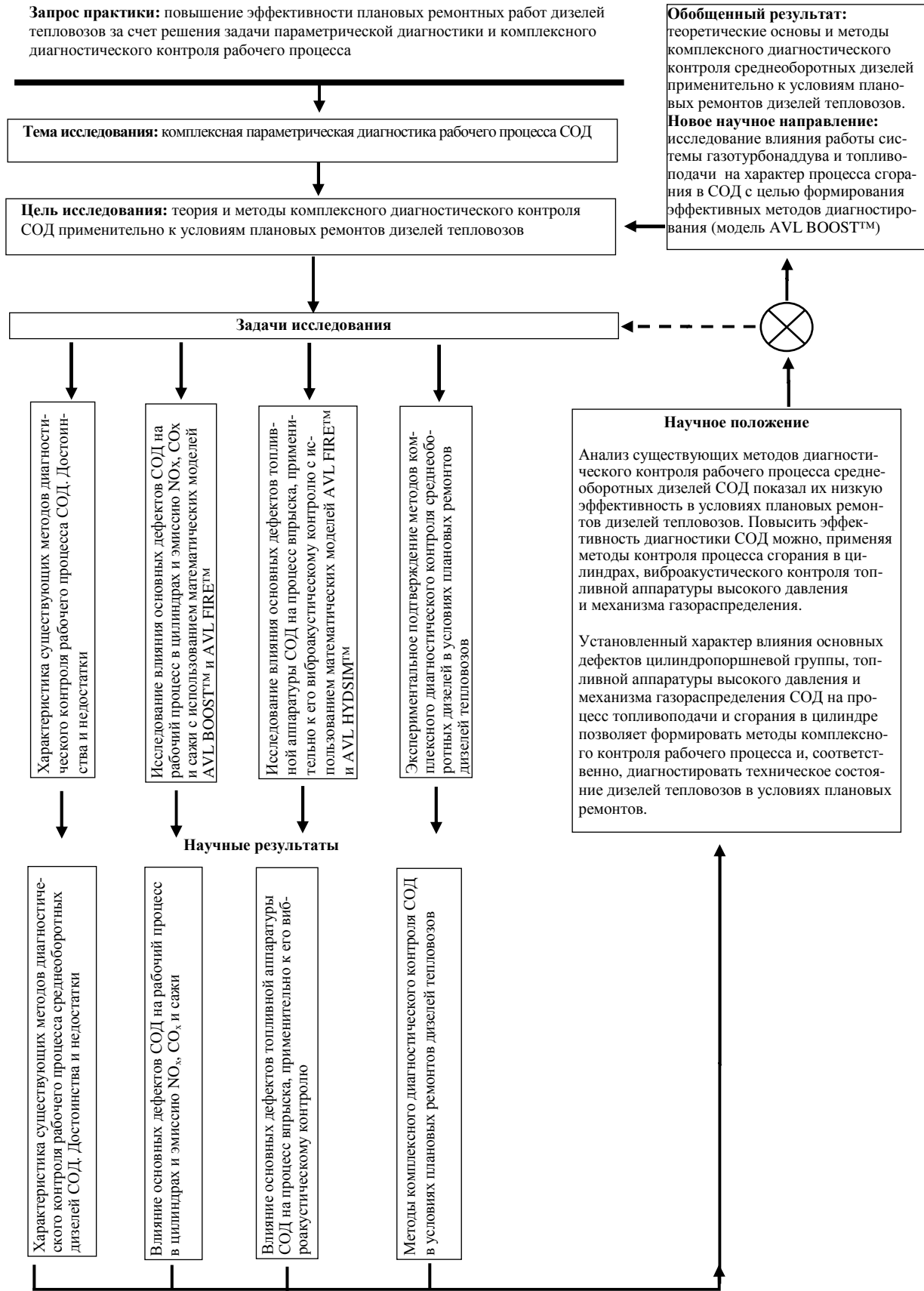


Рис. 5. Технологическая карта задачи комплексной параметрической диагностики рабочего процесса среднеоборотных дизелей

### Технологическая карта разработки метода синхронизации данных в задачах мониторинга и экспресс-диагностики рабочего процесса судовых дизелей

Синхронизацией данных рабочего процесса называется их перевод из функций времени в функции от угла ПКВ:

$$f(t) \Rightarrow f(\varphi^{\circ}_{ПКВ}).$$

Такой перевод необходимо осуществлять потому, что все последующие расчеты параметров рабочего процесса ведутся относительно углов ПКВ. Базирующаяся на этих расчетах настройка основных систем (топливной аппаратуры высокого давления и механизма газораспределения) и диагностика технического состояния основных узлов также производится относительно фаз ПКВ. Таким образом, решение этой задачи является первым базовым шагом, от точности которого в значительной степени зависит весь последующий расчет и корректность диагностических выводов. Известно, например, что расчетное значение среднего индикаторного давления и индикаторной мощности цилиндра может иметь до 9 % искажений при ошибке синхронизации всего на 1 ПКВ [18].

В большинстве систем мониторинга рабочего процесса задача синхронизации решается аппаратным путем (установкой фазовых датчиков положения маховика коленчатого вала). Такой метод синхронизации имеет ряд серьезных недостатков.

Во-первых, это трудоемкая и долговременная процедура, которая плохо сочетается с оперативной работой в условиях судоремонтного завода (СРЗ). Именно из-за трудоемкости осуществления аппаратной синхронизации параметрическая диагностика рассматривается как сложный и кропотливый процесс, которого, по возможности, избегают, зачастую применяя в качестве диагностических данных лишь пиковые значения давления сгорания в цилиндрах ( $P_z$ ).

Во-вторых, погрешность синхронизации непостоянна и зависит от нагрузочного режима двигателя, крутильных колебаний, длины канала индикаторного крана и ряда других факторов.

Метод алгоритмической синхронизации рабочего процесса базируется на том факте, что при отсутствии сгорания в цилиндре скорость изменения давления в верхней мертвой точке (ВМТ) равна нулю, за вычетом термодинамического смещения, связанного с передачей тепла в стенку цилиндра:

$$p'_{\varphi-\delta\varphi_T} = p'_\Theta = 0. \quad (4)$$

С учетом термодинамического фазового смещения в ВМТ (при  $\varphi = 0$ )

$$\Theta = -\delta\varphi_T.$$

Тогда выражение для скорости изменения давления на участке сжатия можно записать

$$\frac{dP_{comp}}{d\Theta} = -P_a V_a^{n_1} n_1 \frac{1}{V_\Theta^{n_1+1}} \frac{dV_\Theta}{d\Theta}, \quad (5)$$

где  $P_a$  – давление в начале сжатия;  $V_\Theta = V_{\varphi-\delta\varphi_T}$  – объем цилиндра:

$$V_\varphi = V_c + 0,5V_s \left[ 1 + \frac{1}{\lambda_{III}} - \cos\varphi - \frac{1}{\lambda_{III}} \sqrt{1 - (\lambda_{III} \sin\varphi)^2} \right]; \quad V_s = V_c(\varepsilon - 1) - \text{объем, описываемый}$$

полным ходом поршня;  $V_c$  – объем камеры сжатия;  $\lambda_{III} = R_{кр} / L_{III} = S/2L_{III}$  – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна.

Используя формулы (4), (5), при  $p'_\Theta = 0$ , получим координату ВМТ (рис. 6).



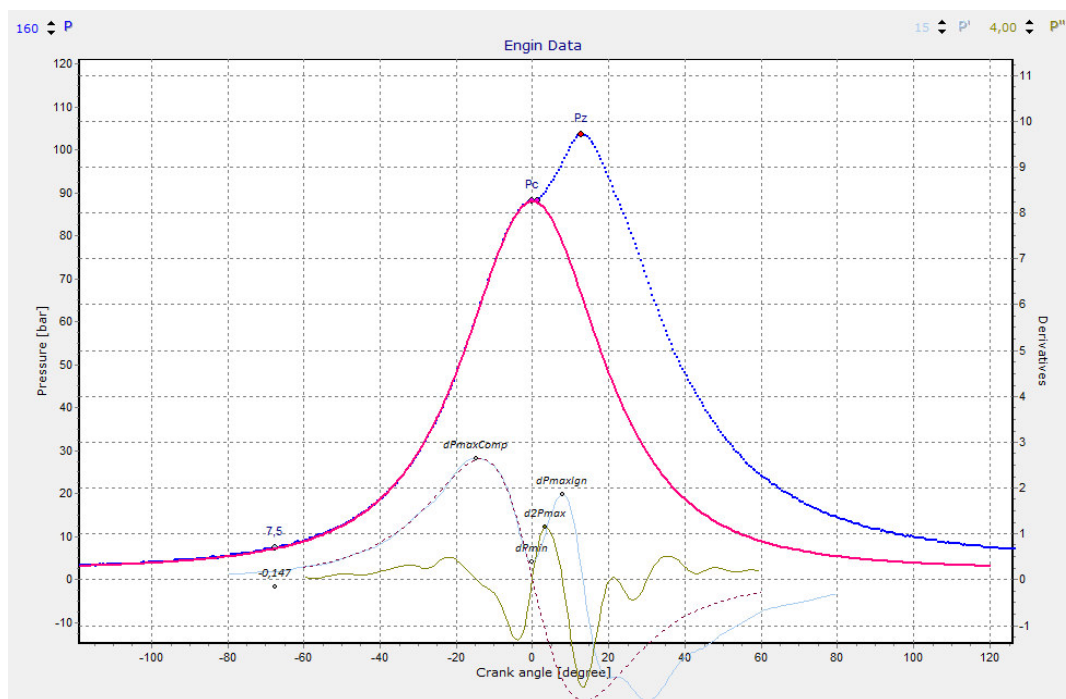


Рис. 6. Пример алгоритмической синхронизации индикаторной диаграммы DAIHATSU marine diesel generator 5DK-20e

Одна из основных проблем решения (4), (5) состоит в том, что аналоговые и цифровые шумы в экспериментальных данных делают невозможным анализ первой  $p'$ , а тем более второй  $p''$  производных от кривой давления. В связи с этим необходимо применять корректно построенный цифровой фильтр, который будет убирать шумы, не искажая при этом основной сигнал. После анализа ряда фильтров нами был выбран Butterworth low-pass filter [19]. Два его параметра (порядок и частота среза) настраиваются один раз исходя из частотных свойств диаграмм рабочего процесса дизеля. Затем, перед решением (4), (5) данные мониторинга фильтруются, после чего можно анализировать  $p'$  и  $p''$  – определять фазы максимумов повышения давления при сжатии и при сгорании топлива, определять максимум ускорения изменения давления при сгорании и т. д. (рис. 6). Анализ кривых  $p'$  и  $p''$  дает возможность корректно разделить процессы сжатия и сгорания.

Участок кривой сжатия до начала сгорания используется для построения модели (4), которая пересекает ноль в координате ВМТ с учетом фазового смещения  $\delta\varphi_T$ , возникающего вследствие теплообмена со стенками цилиндра. Это фазовое смещение учитывается с помощью методики расчета теплообмена в цилиндре по формуле Вошни [17]. На практике это означает, что диаграмма чистого сжатия/расширения в цилиндре немного несимметрична относительно ВМТ и максимум сжатия находится левее. Величина такого термодинамического смещения колеблется от десятых долей градуса до единиц градусов, в зависимости от типа дизеля и условий его охлаждения.

Использование алгоритмического метода синхронизации (рис.7) решает следующие задачи:

- процесс диагностики становится оперативным и доступным для любого дизеля, находящегося под нагрузкой, без предварительной подготовки, что актуально для условий СРЗ;
- автоматически учитываются погрешности синхронизации, связанные с крутильными колебаниями и выборками люфтов в кривошипно-шатунном механизме;
- автоматически учитываются погрешности синхронизации, связанные со скручиванием коленчатого вала под нагрузкой, которое актуально для дальних от маховика цилиндров;
- автоматически учитывается влияние конечной скорости прохождения волны давления в канале индикаторного крана (от камеры сгорания до мембраны датчика давления), которая приводит к фазовому смещению до 10 ПКВ на высокооборотных дизелях и до 6 ПКВ на СОД [18].

Корректное решение задачи алгоритмической синхронизации повышает точность расчета параметров рабочего процесса и, как следствие, информативность диагностических данных. При этом решается главная задача – оперативность, что позволяет широко внедрять параметрическую диагностику в практику эксплуатации СРЗ.

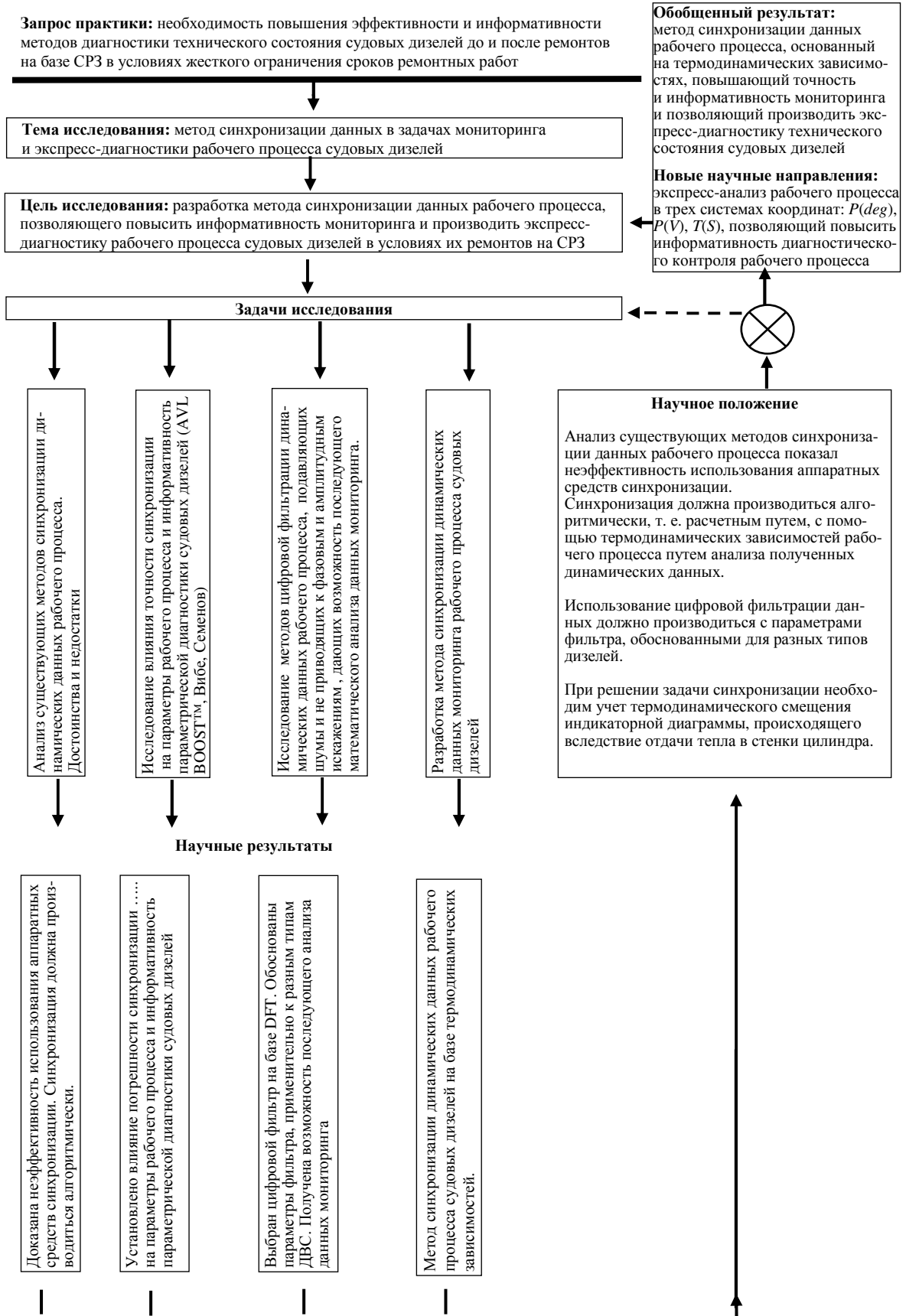


Рис. 7. Технологическая карта разработки метода синхронизации данных рабочего процесса

### **Заключение**

Приведены технологические карты и дано общее описание трех научно-исследовательских задач в области мониторинга и параметрической диагностики судовых и железнодорожных дизелей. Несмотря на то, что решение задач находится в развитии, а предложенные алгоритмы совершенствуются, все они внедрены в эксплуатацию [5, 6, 14, 18]. Первые методы алгоритмической синхронизации применялись только в системе DEPAS (системы «разделенного мониторинга» DEPAS 4.0 Handy), а в настоящее время почти все фирмы, производящие системы мониторинга рабочего процесса, используют их. Современный алгоритм синхронизации построен благодаря анализу данных мониторинга судовых дизелей разных типов, предоставляемых фирмой IMES GmbH (imes.de).

Комплексная пред- и постремонтная диагностика технического состояния дизелей тепловозов проводится сотрудниками кафедры СЭУ и ТЭ ОНМУ на станциях реостатных испытаний Одесской железной дороги с 2013 г. [18].

Предложено решение актуальной для судовых дизелей задачи определения эффективных параметров, которое внедрено в практику эксплуатации нескольких судоходных компаний, в частности УКРФЕРРИ (ukrferry.com).

Приведена схема и обобщен результат научных исследований, согласно методике профессора И. И. Кринецкого, которая помогает структурировать и организовывать научные исследования в выбранном направлении.

### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. *Кринецкий И. И.* Основы научных исследований: учеб. пособие / И. И. Кринецкий. Киев; Одесса: Вища шк., 1981. 207 с.
2. *Воробьев Ю. Л.* Гидродинамика судна в стесненном фарватере / Ю. Л. Воробьев. СПб.: Судостроение, 1992. 224 с.
3. *Microsoft Project* // URL: <http://www.microsoft.com>.
4. *ConceptDraw Project* // URL: <http://www.conceptdraw.com>.
5. *Diesel Engine Performance Analyzing System D4.0H*: depas.odessa.ua // URL: [http://depas.od.ua/pdf/DEPAS\\_Handy\\_brochure\\_rus\\_Print.pdf](http://depas.od.ua/pdf/DEPAS_Handy_brochure_rus_Print.pdf).
6. *Varbanets R.* Analyse of marine diesel engine performance / R. Varbanets, A. Karianskiy // Journal of Polish CIMAC. Energetic Aspects. Gdansk: Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology Gdansk University of Technology. 2012. Vol. 7, no. 1. P. 269–275.
7. *Российский морской регистр судоходства.* НД 2-020101-077: Правила классификации и постройки морских судов. 11: Системы мониторинга технического состояния механизмов. СПб., 2015. Т. 2. 716 с.
8. *Резолюция МЕРС.214 (63):* Руководство 2012 года по освидетельствованию и выдаче свидетельств в отношении конструктивного коэффициента энергоэффективности (ККЭЭ) // URL: [http://www.rise.odessa.ua/texts/MEPC214\\_63.php3](http://www.rise.odessa.ua/texts/MEPC214_63.php3).
9. *Torque measurement system & performance monitor* // URL: [www.maridis.de](http://www.maridis.de).
10. *SIROLL TorqueMon* // URL: [www.siemens-vai.com](http://www.siemens-vai.com).
11. *Torque and Shaft Power Measurement. Naval Torsionmeter System* // URL: [www.datum-electronics.co.uk](http://www.datum-electronics.co.uk).
12. *The MAN B&W Brand Low Speed Engines* // URL: <http://marine.man.eu/two-stroke/2-stroke-engines>.
13. *Конаков Г. А.* Механический КПД двигателей внутреннего сгорания на частичных режимах / Г. А. Конаков // Судовая энергетика. 1993. № 1. С. 25–26.
14. *Варбанец Р. А.* Мониторинг частотных параметров судового дизеля с турбонаддувом / Р. А. Варбанец, А. И. Головань, Ю. Н. Кучеренко // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2013. № 1. С. 103–110.
15. *Combustion and Emissions Simulation* // URL: <https://www.avl.com>.
16. *Вибе И. И.* Новое о рабочем цикле двигателей / И. И. Вибе. М.: МАШГИЗ, 1962. 271 с.
17. *Семенов В. С.* Современные проблемы теории судовых дизелей / В. С. Семенов. М.: В/О Морте-хинформреклама, 1991. 112 с.
18. *Руденко С. В.* Розроблення та впровадження методів параметричної діагностики дизелів тепловозів для зниження витрат на паливо та ремонт / С. В. Руденко, Р. А. Варбанець, В. Г. Івановський, О. І. Ваганов, А. І. Головань, Ю. М. Кучеренко, В. І. Кирнац, В. С. Губін // Звіт про науково-дослідну роботу. 2013–2015. 116 с.
19. *Butterworth filter* // URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Butterworth\\_filter](https://en.wikipedia.org/wiki/Butterworth_filter).

Статья поступила в редакцию 26.01.2016

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Варбанец Роман Анатольевич** – Украина, 65029, Одесса; Одесский национальный морской университет; г-р техн. наук, профессор; зав. кафедрой «Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация»; roman.varbanets@gmail.com.

**Кучеренко Юрий Николаевич** – Украина, 65029, Одесса; Одесский национальный морской университет; аспирант кафедры «Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация»; 100mat@bk.ru.

**Кырнац Владислав Иванович** – Украина, 65029, Одесса; Одесский национальный морской университет; аспирант кафедры «Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация»; vladislavus1313@rambler.ru.

**Жолтиков Евгений Иванович** – Украина, 65029, Одесса; Одесский национальный морской университет; аспирант кафедры «Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация»; jeltikov@ukr.net.



R. A. Varbanets, Yu. N. Kucherenko, V. I. Kyrnats, E. I. Zholtikov

### FLOW CHARTS OF SCIENTIFIC RESEARCHES IN THE PROBLEMS OF MONITORING AND PARAMETRICAL DIAGNOSTICS OF MARINE DIESELS

**Abstract.** The article deals with the method of the flow charts making proposed by Professor I. I. Krynetskiy, which allows us to visualize the structure of the scientific researches. The flow charts of the researches in three close scientific directions related to the working process monitoring and parametric diagnostics of marine and railway diesels have been developed. The solution of the relevant for marine diesel engines problem of identifying the effective indicators that is a requirement of the most certified societies, has been suggested. The new solution of the data synchronization during parametric diagnostics of the working process in the marine diesel cylinder has been proposed. The solution of the complex parametric diagnostics problem increasing the effectiveness of the planned repair work has been proposed for the maneuvering diesels. The general structure of the scientific researches has been formed; the main and auxiliary targets have been highlighted; the overall evaluation of the scientific results has been presented and the scientific bases have been elaborated. The result of the research has been summarized. The results of the studies has confirmed that the flow charts making, i.e. the graphical visualization of the scientific research targets and tasks, is an effective method of presenting the structure of the scientific work, the justification of its validity, the novelty and practical value.

**Key words:** flow charts of the scientific researches, diesels, parametric diagnostics, gas turboblower, marine diesel installations, medium-speed disels.

### REFERENCES

1. Krinetskiy I. I. *Osnovy nauchnykh issledovaniy: uchebnoe posobie* [The foundations of the scientific researches: manual]. Kiev; Odessa, Vishcha shkola Publ., 1981. 207 p.
2. Vorob'ev Iu. L. *Gidrodinamika sudna v stesennom farvatere* [Hydrodynamics of the vessel in the narrow pass]. Saint-Petersburg, Sudostroenie Publ, 1992. 224 p.
3. *Microsoft Project*. Available at: <http://www.microsoft.com>.
4. *ConceptDraw Project*. Available at: <http://www.conceptdraw.com>.
5. *Diesel Engine Performance Analyzing System D4.0H: depas.odessa.ua*. Available at: [http://depas.od.ua/pdf/DEPAS\\_Handy\\_brochure\\_rus\\_Print.pdf](http://depas.od.ua/pdf/DEPAS_Handy_brochure_rus_Print.pdf).
6. Varbanets R., Karianskiy A. Analyse of marine diesel engine performance. *Journal of Polish CIMAC. Energetic Aspects*. Gdansk: Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology Gdansk University of Technology, 2012, vol. 7, no. 1, pp. 269–275.

7. Rossiiskii morskoi registr sudokhodstva. ND 2-020101-077: *Pravila klassifikatsii i postroiki moskikh sudov. 11 Sistemy monitoringa tekhnicheskogo sostoiianiia mekhanizmov* [Russian Marine Register of Navigation. ND 2-020101-077 Rules of classification and designing the marine vessels]. 2015, vol. 2, 716 p.
8. *Rezoliutsiia MEPC.214 (63): Rukovodstvo 2012 goda po osvivetel'stvovaniiu i vydache svidetel'stv v otnozhnii konstruktivnogo koeffitsienta energoeffektivnosti (KKEE)* [RESOLUTION MERS.214 (63): "Guideleines 2012 on certification and licencing with relation to constructive factor of energy efficiency"]. Available at: [http://www.rise.odessa.ua/texts/MEPC214\\_63.php3](http://www.rise.odessa.ua/texts/MEPC214_63.php3).
9. *Torque measurement system & performance monitor*. Available at: [www.maridis.de](http://www.maridis.de).
10. *SIROLL TorqueMon*. Available at: [www.siemens-vai.com](http://www.siemens-vai.com).
11. *Torque and Shaft Power Measurement. Naval Torsionmeter System*. Available at: [www.datum-electronics.co.uk](http://www.datum-electronics.co.uk).
12. *The MAN B&W Brand Low Speed Engines*. Available at: <http://marine.man.eu/two-stroke/2-stroke-engines>.
13. Konakov G. A. Mekhanicheskii KPD dvigatelei vnutrennego sgoraniia na chastichnykh rezhimakh [Mechanical efficiency factor of internal combustion engines at partial modes]. *Sudovaia energetika*, 1993, no. 1, pp. 25–26.
14. Varbanets R. A., Golovan' A. I., Kucherenko Iu. N. Monitoring chastotnykh parametrov sudovogo dizelia s turbonadduvom [Monitoring the frequent parameters of marine diesel with turboblowing]. *Vesnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaia tekhnika i tekhnologiya*, 2013, no. 1, pp. 103–110.
15. *Combustion and Emissions Simulation*. Available at: <https://www.avl.com>.
16. Vibe I. I. *Novoe o rabochem tsikle dvigatelei* [News about operating cycle of engines]. Moscow, MASHGIZ Publ., 1962. 271 p.
17. Semenov V. S. *Sovremennnye problemy teorii sudovykh dizelei* [Present problems of the theory of marine diesels]. Moscow, V/O Mortechnikinformreklama Publ., 1991. 112 p.
18. Rudenko S. V., Varbanets' R. A., Ivanovs'kii V. G., Vaganov O. I., Golovan' A. I., Kucherenko Iu. M., Kirmats V. I., Gubin V. S. *Rozroblennia ta vprovadzhennia metodiv parametrichnoi diagnostiki dizeliv teplovoziv dlia znizhennia vitrat na palivo ta remont. Zvit pro naukovu-doslidnu robotu*. 2013–2015. 116 p.
19. *Butterworth filter*. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Butterworth\\_filter](https://en.wikipedia.org/wiki/Butterworth_filter).

The article submitted to the editors 26.01.2016

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Varbanets Roman Anatolievich** – Ukraine, 65029, Odessa; Odessa National Maritime University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department "Marine Power Plants and Technical Operation"; [roman.varbanets@gmail.com](mailto:roman.varbanets@gmail.com).

**Kucherenko Yuriy Nikolaevich** – Ukraine, 65029, Odessa; Odessa National Maritime University; Postgraduate of the Department "Marine Power Plants and Technical Operation"; [100mat@bk.ru](mailto:100mat@bk.ru).

**Kyrnats Vladislav Ivanovich** – Ukraine, 65029, Odessa; Odessa National Maritime University; Postgraduate of the Department "Marine Power Plants and Technical Operation"; [vladislavus1313@rambler.ru](mailto:vladislavus1313@rambler.ru).

**Zholtikov Evgeniy Ivanovich** – Ukraine, 65029, Odessa; Odessa National Maritime University; Postgraduate of the Department "Marine Power Plants and Technical Operation"; [jeltikov@ukr.net](mailto:jeltikov@ukr.net).

