

УДК 621

<sup>1</sup>А. В. Костенко, канд. техн. наук, <sup>2</sup>С. А. Матвиенко, канд. техн. наук<sup>1</sup>Камчатский государственный технический университет, Россия, г. Петропавловск-Камчатский<sup>2</sup>Донецкий национальный технический университет, ДНР, г. Донецк

E-mail: andr13kost@list.ru, serge-matvienko@yandex.ru

## ОСОБЕННОСТИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ВЫПУСКНОГО КЛАПАНА СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ В ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

*Определены особенности представления выпускного клапана на основе функционально-ориентированного подхода. Проанализированы условия работы клапана, выявлены целевые и технические функции. Выполнен анализ эксплуатационных функций, определены неисправности клапана, возникающие вследствие действия эксплуатационных функций. Выпускной клапан представлен как множество функциональных элементов на разных уровнях глубины технологии. Представлены схемы деления клапана на функциональные элементы.*

**Ключевые слова:** дизель судовой, клапан выпускной, функционально-ориентированная технология, уровень технологии, структура, функциональный элемент.

A. V. Kostenko, S. A. Matvienko

## FEATURES OF THE REPRESENTATION OF THE OUTLET VALVE OF THE SHIP DIESEL IN FUNCTIONALLY-ORIENTED TECHNOLOGIES

*The features of the outlet valve presentation are determined on the basis of a function-oriented approach. The operating conditions of the valve are analyzed. The target and technical functions are identified. The analysis of operational functions is made. The valve malfunctions are identified. The exhaust valve is represented as a set of functional elements at different levels of technology depth. The scheme of dividing the valve into functional elements is presented.*

**Keywords:** ship diesel, exhaust valve, function-oriented technology, technology level, structure, functional element.

**Введение.** Дизельные двигатели внутреннего сгорания (ДВС) составляют основу энергетических установок на морских и речных судах. Надежность работы ДВС существенно влияет на общую надежность всего судна. Механизм газораспределения является одним из основных частей судовых дизелей, а выпускной клапан является важнейшей деталью дизеля и его состояние напрямую влияет на надёжность работы всего дизеля [1].

Функционально-ориентированные технологии (ФОТ) [2] позволяют эффективно решить задачу повышения качества деталей, работающих в сложных эксплуатационных условиях. Особенности ФОТ являются изучение служебного назначения деталей и условий эксплуатации (эксплуатационных функций) [3], что позволяет в дальнейшем представить деталь в виде множества функциональных элементов на разных уровнях глубины технологии, определить требуемые эксплуатационные свойства, назначить методы, выбрать или спроектировать средства технологического обеспечения.

**Целью статьи** является представление выпускного клапана судовых дизелей в виде изделия с функциональными элементами на базе функционально-ориентированного подхода.

### **Задачи исследования:**

– определить назначение, служебные и технические функции выпускного клапана;

- выполнить анализ эксплуатационных функций, определить неисправности клапана, возникающие вследствие действия эксплуатационных функций;
- представить выпускной клапан в виде множества функциональных элементов (ФЭ).

#### Основная часть.

Исследование условий эксплуатации деталей судовых агрегатов является первым этапом при проектировании функционально-ориентированных технологических процессов (ФОТП). Это, в дальнейшем, позволяет более полно реализовывать потенциал деталей. Поскольку, в первую очередь, ФОТ рассчитаны на детали, работающие в сложных эксплуатационных условиях, то проектирование операций функционально-ориентированной отделочно-упрочняющей обработки выпускного клапана в полной мере даст возможность реализовать эксплуатационные свойства клапана на новом качественном уровне. Рассмотрим условия работы и нагрузки, действующие на выпускной клапан.

Клапаны двигателей работают в напряженных условиях при значительных динамических нагрузках, действующих с большой частотой, при высоких температурах и при коррозионном и эрозионном воздействии горячих газов. [4-7]

Механические нагрузки вызываются силами давления газов на тарелку клапана, силами инерции движущихся частей, упругости клапанных пружин и усилием со стороны толкателя-штанги.

Высокие термические нагрузки клапанов обусловлены их соприкосновением с горячими газами. Температура тарелки выпускного клапана может достигать 550...800°C. Высокая температура ухудшает механические свойства материала, вызывают высокотемпературную коррозию, эрозию, коробление и неплотное прилегание клапана к седлу, увеличивают опасность заедания штока клапана в направляющей, а иногда приводят к прогоранию тарелки. Часто повторяющиеся смены температур от высоких до низких провоцируют возникновение в зонах перехода тарелки клапана в шток или в районе проточек под сухарики термоусталостных трещин.

Основной неисправностью, связанной с работой клапана, является потеря плотности клапанов, которая может быть по следующим причинам: эрозионное изнашивание посадочного конуса тарелки клапана; отложения кокса и золы на тарелке; деформация клапана; нарушение центровки оси клапана в направляющей; прогорание посадочной поверхности вследствие высокотемпературной коррозии, вызванной наличием в топливе ванадия и натрия. В табл. 1 приведены неисправности клапанов и их причины.

Таблица 1. – Неисправности клапанов и их причины

Возможные неисправности	Причины неисправностей
Трещины и риски на фаске клапана	Температурные напряжения; механические ударные воздействия
Коробление или местное нарушение герметичности тарелки	Образование на фаске свищей, т. е. частичное отставание наростов слоя продуктов сгорания (плакировка), что вызывает пропуск газов и неравномерность температуры тарелки; коррозионные разрушения, механические повреждения; местное выгорание
Выработка, наклеп на фаске	Естественное изнашивание
Увеличение зазора между клапаном и направляющей втулкой	Естественное изнашивание

В табл. 1 не включен ряд неисправностей, возникающих в результате несоблюдения технологии производства или применения некачественных (несоответствующих) материалов, неправильной эксплуатации, монтажа. Анализ неисправностей и их причин позволяет уже на стадии проектирования технологического процесса изучить и учесть эксплуатационные особенности деталей, которые должны быть заложены в деталь для реализации ее потенциала.

Исходя из вышеннаписанного, к материалу клапанов предъявляются следующие требования к свойствам: прочность при высоких температурах; достаточная вязкость; отсутствие склонности к короблению и образованию трещин при повторных нагревах; износостойкость; способностью сохранять при повторных нагревах первоначальные физические свойства; отсутствием закаливается на воздухе; антикоррозионность.

Материалом выпускных клапанов является высоколегированная сталь. Для повышения износостойкости и коррозионной стойкости фаску тарелки клапана покрывают стеллитом или изготавливают клапаны из нихрома, а шток клапана азотируют [4].

Для повышения прочности посадочных бортов рекомендуется наплавлять их коррозионно-, жаро- и износостойкими сплавами. Поверхность стержня клапана допускается подвергать упрочнению накаткой, хромированием, азотированием и закалкой. Торцовая поверхность стержня клапанов, работающих без наконечников, и выточки под сухари должны быть закалены или иметь износостойкую наплавку.

В настоящее время разработаны прогрессивные технологические процессы упрочнения поверхности деталей, что увеличивает срок их службы в несколько раз. Для клапанов применяют лазерное легирование и наплавки [6,8].

Для снижения теплонапряженности выпускных клапанов является перспективным использование теплоизолирующих покрытий с малым коэффициентом теплопроводности в осевом направлении и со значительно большим – в радиальном [9].

Таким образом, на поверхности клапана есть места с различными видами и величинами нагрузок, что свидетельствует о необходимости изменения подхода в улучшении эксплуатационных свойств для более полной реализации потенциала клапана. Комплексное решение проблемы обеспечения надежности, долговечности деталей судовых агрегатов можно достигнуть путем применения ФОТ.

Далее выполняется деление клапана на функциональные элементы по уровням глубины технологии: всего изделия в целом, частей изделия, составляющих частей изделия, зон, макрозон, микрозон, нанозон. Затем производится упорядочивание функциональных элементов изделия, которое может быть выполнено по различным параметрам для всего изделия в целом или (и) для отдельных функциональных элементов. Для каждого функционального элемента формируется соответствующий модуль технологических воздействий.

Рассмотрим деление клапана (рис. 1, а) на функциональные элементы по уровням деления. Первый уровень соответствует уровню всего клапана, второй уровень – уровень частей клапана, третий – составляющие, четвертый – зоны.

На рис. 1, б показан клапан, его части (шток и головка) и составляющие. На рис. 2 представлен граф функциональных элементов выпускного по уровням деления, в частности показано, что на 2-м уровне шток (01.01) делится на 5 составляющих (01.01.01, 01.01.02, 01.01.03, 01.01.04, 01.01.05), а головка (01.02) клапана делится на 4 составляющих: 01.02.01, 01.02.02, 01.02.03, 01.02.04.

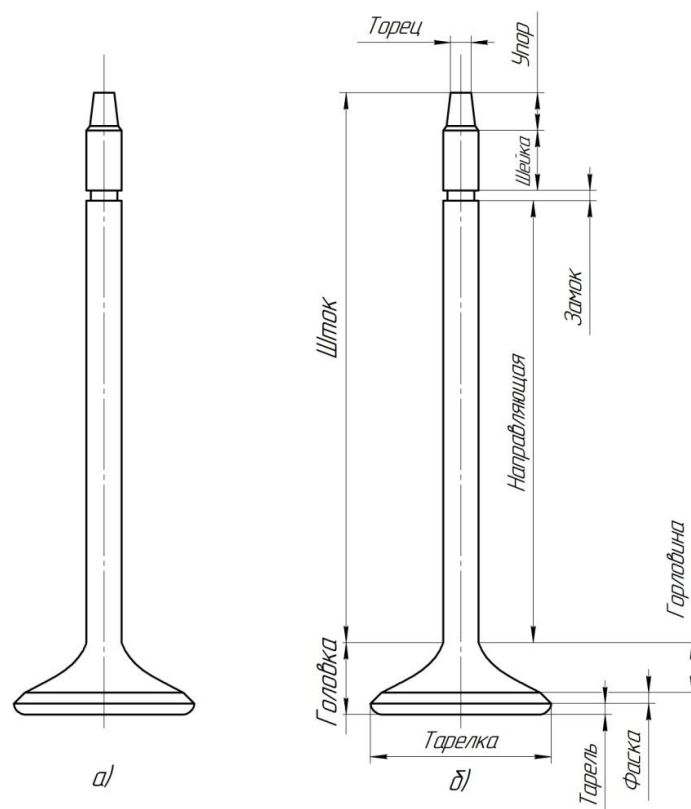


Рисунок 1. Выпускной клапан судового дизеля.

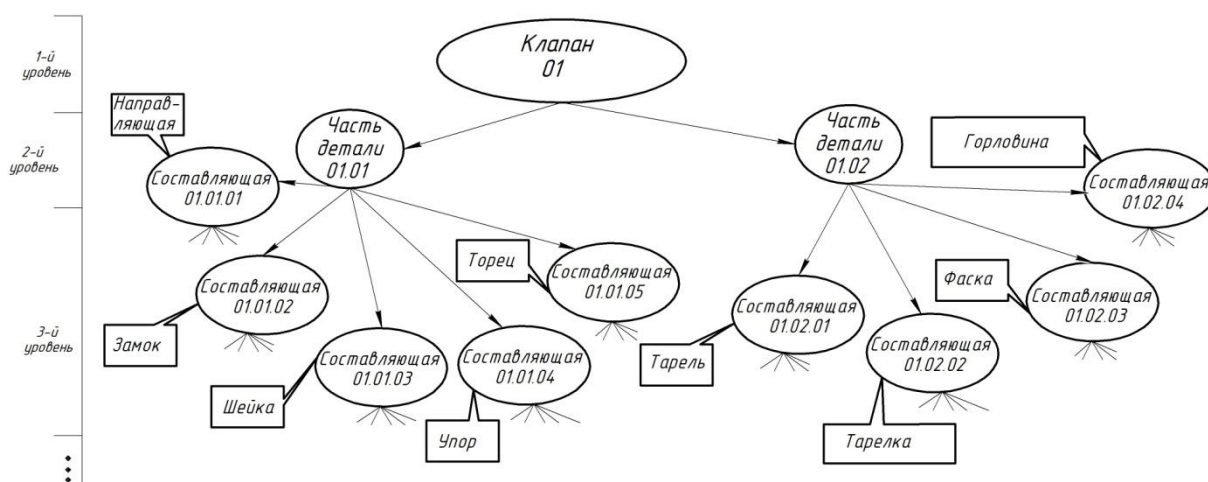


Рисунок 2. Схема деления выпускного клапана на функциональные элементы на 1-м, 2-м и 3-м уровнях

При дальнейшем выполнении процесса деления составляющие функциональные элементы делятся на зоны. На рис. 3 показано, что составляющий функциональный элемент 01.01.01 части 01.01 детали 01 делится на 3 зоны: 01.01.01.01, 01.01.01.02, 01.01.01.03. Эти зоны в описательном виде можно представить следующим образом: нижняя поверхность, рабочая поверхность, верхняя поверхность. Именно рабочая поверхность изнашивается при работе клапана и обеспечивает точность движения клапана во втулке, следовательно, при изготовлении именно эта поверхность требует особого внимания при определении метода отделочно-упрочняющей обработки.

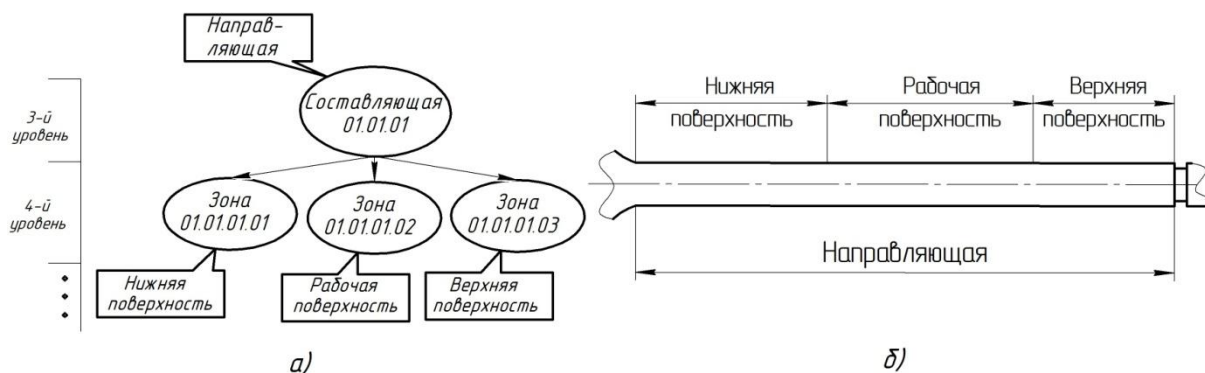


Рисунок 3. Граф функциональных элементов составляющей «Направляющая» по уровням деления (а) и схема расположения зон на составляющей (б).

Аналогично можно разделить на зоны тарелку клапана в соответствии с распределением температурного поля (рис. 4).

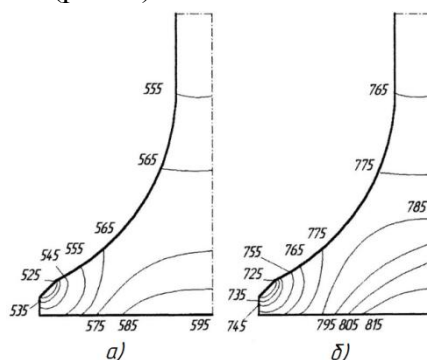


Рисунок 4. Температурное поле выпускного клапана, °С: а) режим с  $p_e = 1,73$  МПа; б) режим с  $p_e = 2,33$  МПа [10].

Далее рассмотрим в соответствии с объектно-ориентированным подходом декомпозицию выпускного клапана, основанную на объектах. Особенность объекта заключается в том, что он не только моделирует некоторый материальный объект реального мира, но и реализует свое собственное поведение – объект является материальной сущностью, обладающей определенным поведением [11,12]. Последнее в контексте ФОТ характеризует целевые и технические функции функциональных элементов на разных уровнях глубины технологии (или абстракции).

Таблица 2.

Абстракция	Клапан
Уровень технологии	Деталь в целом
Целевая функция	Открытие выпускного окна для выпуска отработавших газов
Технические функции	Герметичность камеры сгорания. Отвод тепла
Свойства (Требования к конструкции)	Прочность при высоких температурах. Отсутствие склонности к короблению и образованию трещин при повторных нагревах. Износостойкость. Способностью сохранять при повторных нагревах первоначальные физические свойства. Антикоррозионность.

В таблице 2 показана абстракция (уровень технологии на уровне детали) – клапан, приведены целевые и технические функции.

Для достижения целевой функции клапан выполняет несколько отличающихся технических функций, что порождает различные требования, которые должны быть реализованы совокупностью определенных наборов параметров качества. В связи с этим можно рассмотреть следующий уровень технологии, т.е. в качестве абстракции взять только головку клапана, что представлено в табл. 3.

Таблица 3.

Абстракция	Головка клапана
Уровень технологии	Функциональные части
Целевая функция	Герметичность камеры сгорания. Выпуск отработавших газов
Технические функции	Образование нижней границы камеры сгорания. Крепление компрессионных колец
Свойства (Требования к конструкции)	Наименьшая теплонапряженность. Меньшая масса при достаточной прочности и жесткости. Малый коэффициент линейного расширения.

Функциональная часть «Головка» выполняет свои целевые функции за счет технических – образование границы камеры сгорания, меньшее сопротивление выпуску отработавших газов и отвод тепла, которые требуют различного подхода к реализации, что позволяет выделить такой элемент как фаска (таблица 4), обеспечивающий герметичность камеры сгорания в условиях нагара, высоких температур и трения.

Таблица 4.

Абстракция	Фаска
Уровень технологии	Составляющие
Целевая функция	Герметичность камеры сгорания
Технические функции	Плотное прилегание к седлу. Отвод тепла. Коррозионная стойкость. Теплостойкость
Свойства (Требования к конструкции)	Прочность при высоких температурах. Антикоррозионность. Отсутствие склонности к короблению и образованию трещин при повторных нагревах.
Эксплуатационные функции	Напряжения и деформации
	Нагрев, изменение свойств материала, термические напряжения

На этом уровне проявляются эксплуатационные функции, дающие возможность определить характер и величину воздействия. Что позволяет определять параметры качества фаски и проектировать ТП реализации этих свойств.

Аналогичным образом рассматриваются и другие ФЭ клапана, выделяются эксплуатационные функции, назначаются параметры качества.

**Заключение.** Функционально-ориентированные технологии за счет более детального рассмотрения условий работы как всей детали в целом, так и ее функциональных элементов, позволяют существенно повысить качество изготовления деталей. По-

сле деления детали на функциональные элементы и составления структуры этих элементов разрабатываются виды и схемы технологического воздействия.

В дальнейших исследованиях планируется в соответствии с представленной структурой клапана выявить методы функционально-ориентированной отделочно-упрочняющей обработки функциональных элементов выпускного клапана.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ворохобин, С. В. Восстановление клапанов судовых дизелей / С.В. Ворохобин // Вестник МГУ им. адм. Г.И. Невельского. – 2016. – №74. – С. 24-28.
2. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / А. Н. Михайлов. – Донецк : ДонНТУ, 2009. – 346 с.
3. Костенко, А. В. Синтез структуры функционально-ориентированного процесса изготовления цилиндрических втулок на основе анализа работы судовых дизелей / А. В. Костенко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2017. – Т. 9. – № 1. – С. 176-186.
4. Возницкий, И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания : В 2 т. Т. 1. / И. В. Возницкий. – М. : Моркнига, 2008. – 282 с.
5. Exhaust valve spindles for marine diesel engines manufactured by hot isostatic pressing / A. Lapina, H. A. Hoeg, J. Knudsen, T. Berglund, R. Møller & J. H. Hattel // Technical // Hot Isostatic Pressing: HIP'17. – 2019. – Т. 10. – P. 98-106.
6. Технология производства судовых энергетических установок / П. А. Дорошенко, А. Г. Рохлин, В. П. Булатов, В. С. Кравченко [и др.]. – Л. : Судостроение, 1988. – 440 с.
7. Возницкий, И. В. Повреждения и поломки дизелей. Примеры и анализ причин / И. В. Возницкий. – 2-е изд. перераб. – СПб.: Моркнига, 2006. – 116 с.
8. Крылов, Е. И. Ремонт дизелей морских судов: справочник / Е. И. Крылов. – М.: Транспорт, 1987. – 302 с.
9. Ширяев, В. М. Повышение долговечности выпускных клапанов форсированных дизелей : дис. ... канд. техн. наук : 05.04.02, 01.02.06 / В. М. Ширяев. – Коломна, 1983. – 196 с.
10. Тринёв, А. В. Анализ теплонапряженного состояния выпускного клапана форсированного тепловозного дизеля / А. В. Тринёв, А. Н. Авраменко, А. Амброзик // Двигатели внутреннего сгорания. – 2004. – №1. – С. 58-60.
11. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений : [пер. с англ.] / Г. Буч, Р. А. Максимчук, М. У. Энгл, Б. Дж. Янг, Д. Коналлен, К. А. Хьюстон. – 3-е изд. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2008. – 720 с.
12. Костенко А.В. Особенности классификации и представления деталей в функционально-ориентированной технологии машиностроения/ А. В. Костенко, А. Н. Михайлов, А. Н. Полетайкин // Механики XXI века. – 2019. – №18. – С. 179-186.

Поступила в редколлегию 04.05.2019 г.