

А. В. Костенко, канд. техн. наук, доц.
ФГБОУ ВПО «КамчатГТУ», г. Петропавловск-Камчатский, Россия
Тел. +7 (984) 163-74-36, e-mail: andr13kost@list.ru

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

В статье приведены особенности эксплуатационных нагрузок деталей судовых дизелей, указаны эксплуатационные особенности изделий. Рассмотрены особенности синтеза технологического процесса обеспечения эксплуатационных свойств цилиндровой втулки четырехтактного судового дизеля.

Ключевые слова: функционально-ориентированная технология, деталь, эксплуатационные свойства, технологическое воздействие, эксплуатационная функция, функциональный элемент.

A. Kostenko

THE FEATURES OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS SYNTHESIS OF THE DETAILS OF MARINE DIESEL

The article deals with the question of the technological process synthesis to ensure operational properties of marine diesel engines details. It is considered the peculiarities of operational loads of marine diesel engines parts, operational features of products are indicated. It is given the features of the technological process synthesis of the cylinder bush of marine four-stroke diesel.

Keywords: functional-oriented technology, detail, operating characteristics, technological impact, operational function, the functional element, cylinder bush.

Постановка проблемы. Повышение качества деталей судовых дизелей является актуальной задачей. Путей решения этой задачи несколько, например, повышение качества ремонта деталей, усовершенствование методов обработки деталей и другие способы, общим для которых является то, что они основаны на уже имеющихся и разработанных в той или иной степени технологиях. Однако, развитие машиностроения позволяет создавать новые классы технологий. Функционально-ориентированные технологии (ФОТ) позволяют очень эффективно решить задачу повышения качества деталей судовых дизелей [1].

Если говорить о качестве деталей как о совокупности свойств, обуславливающих пригодность детали выполнять свое функциональное назначение в заданном диапазоне изменения условий эксплуатации [2], то мы можем утверждать, что ФОТ обеспечивают качественно новую совокупность свойств и меру полезности деталей, что повышает технико-экономические показатели эксплуатации судовых дизелей [3].

Одной из ключевых задач при проектировании процессов изготовления деталей судовых дизелей на базе ФОТ является изучение служебного назначения деталей и их условий эксплуатации или, говоря иначе, эксплуатационных функций. Наличие связей [4] между эксплуатационными функциями, технологическими воздействиями и свойствами детали (рис. 1) позволяет сделать вывод о том, что для реализации посредством технологических воздействий соответствующих эксплуатационных свойств детали необходимо тщательное изучение эксплуатационных функций.

Цель статьи – анализ особенностей эксплуатации наиболее нагруженных деталей судовых дизелей, рассмотрение особенностей синтеза функционально-ориентированного технологического процесса деталей судовых дизелей.

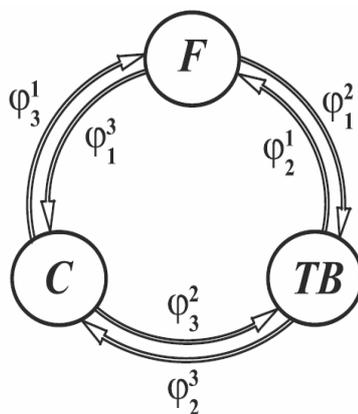


Рис. 1. Модель взаимосвязей φ_i^j объектов системы: эксплуатационные функции F , технологические воздействия TB и свойства C детали

Основная часть. Во время работы двигателя его узлы и детали испытывают механические нагрузки, вызываемые, главным образом, силами давления газов в цилиндрах, силами инерции поступательно движущихся и вращающихся масс (центробежных сил). Дополнительные нагрузки возникают при монтаже деталей, а также при деформациях фундаментной рамы, возникающих при ослаблении и нарушении её посадки на судовом фундаменте и, в ряде случаев, при деформациях корпуса судна при его неправильной загрузке и при сильном волнении моря [5].

В целом судовой дизельный ДВС можно разделить на следующие части: остов, механизм движения деталей, механизм газораспределения, агрегат наддува, топливная система, система охлаждения, система смазки, пуск и реверс. Каждая из составляющих двигателя состоит из своих деталей, которые в свою очередь выполняют свое функциональное назначение и подвергаются воздействию эксплуатационных нагрузок. Из перечисленных систем и механизмов наиболее нагруженными и работающими в наиболее неблагоприятных условиях являются детали остова, механизма движения деталей (кривошипно-шатунного механизма), механизма газораспределения, агрегата наддува.

В таблице 1 приведены служебные назначения, общие условия эксплуатации, характерные дефекты и повреждения наиболее нагруженных деталей судовых дизелей [5,6].

Таблица 1 - Служебные назначения, условия эксплуатации, характерные дефекты и повреждения деталей судовых дизелей

Деталь	Служебное назначение	Условия эксплуатации	Характерные дефекты и повреждения
1	2	3	4
Остов двигателя			
Фундаментная рама	Основание остова и опора рамовых подшипников коленчатого вала, емкость для сбора масла.	Нагружена массой двигателя, силами давления газов, силами инерции поступательно движущихся и вращающихся масс, сил, возникающих при деформации корпуса судна и тепловой деформации остова	Деформации, трещины в масляном поддоне, задиры постелей рамовых подшипников.

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
Рамовый подшипник	Опора для рамовых шеек коленчатого вала.	Под переменной нагрузкой, которая зависит от: величины и характера нагрузки, скорости скольжения шейки вала; масляного зазора; сорта масла, его температуры и расхода через подшипник, свойств материалов основы вкладыша и антифрикционного рабочего слоя.	Износ поверхности, образование трещин, выкрашивание отдельных участков, возникновение натяга.
Блок цилиндров	Цилиндры – для образования полостей, в которых осуществляется рабочий цикл двигателя.	Блок цилиндров - при отсутствии анкерных связей работает на разрыв от силы действия газов на поршень и крышку цилиндра, а при наличии связей — нагружены сжимающими усилиями от их затяга. Условия работы втулок: воздействием на них горячих газов, вызывающих большие и неравномерные механические и тепловые нагрузки; работой поршневых колец, приводящей к износу рабочей поверхности «зеркала»; коррозии и кавитационной эрозии со стороны охлаждающей воды.	Для втулок характерны: естественный или аварийный износ, деформации, задиры, трещины и обрыв опорного фланца втулки, разрушение поверхности охлаждения.
Цилиндры крышки	Для плотного закрытия цилиндра, образования камеры сгорания, размещения клапанов и форсунок.	Подвергаются воздействию больших механических (под давлением газов и силы затяга крепежных шпилек) и термических нагрузок.	Трещины, обгорание и коррозия, прогорание опорного бурта.
Механизм движения			
Поршень	Для передачи давления газов на шатун или поршневой шток, передачи нормальной силы на стенку цилиндра, образования камеры сгорания, управлением открытия и закрытия окон.	Большие механические и термические нагрузки. Сила давления газов вызывает циклически повторяющуюся деформацию днища и стенки поршня, а сила инерции стремится разорвать шпильки крепления головки или днища в составных поршнях.	Обгорание или прогорание, трещины, износ, прогары и деформации перемычек, задиры и трещины.
Поршневой палец	Для шарнирного соединения поршня с шатуном и передачи ему силы давления газов.	Механические нагрузки от движущей силы и термические нагрузки вследствие нагрева поршня и трения в подшипнике.	Повышенный износ, деформация, смятие или срез.

Окончание табл. 1

1	2	3	4
Шатун	Преобразует возвратно-поступательное движение поршня во вращательное движение коленчатого вала и передачи ему силы от действия газов.	Нижняя часть верхней головки и верхняя часть нижней – подвергаются сжатию движущей силой, стержень – сжатию и продольному изгибу. Верхняя часть верхней головки подвергается сжатию, разрыву, и изгибу, стержень – разрыву, нижняя часть головки – сжатию и изгибу.	Изгиб, повреждение или поломка нижней головки, поломка стержня.
Коленчатый вал	Передает крутящий момент потребителю энергии и воспринимает нагрузки, создаваемые силами давления газов и инерции поступательно движущихся и вращающихся масс.	Циклически действующие сжимающие и растягивающие нагрузки и переменные скручивающие и изгибающие моменты. Неуравновешенные силы инерции поступательно движущихся и вращающихся масс и их моменты. Крутильные и осевые колебания вала, создаваемые переменным крутящим моментом.	Поломки вала обычно носят усталостный характер; риски, царапины, задиры, трещины, деформации.
Механизм газораспределения			
Клапан	Для открытия и закрытия впускных и выпускных окон, для герметичности камеры сгорания.	Механические нагрузки вызываются силами давления газов на тарелку клапана, силами инерции движущихся частей упругости клапанных пружин и усилием со стороны толкателя-штанги, являющимся нормальной составляющей от силы давления кулака на толкатель. Высокие термические нагрузки.	Высокие температуры ухудшают 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.

Безусловно, помимо деталей, указанных в табл. 1 в двигателе имеется большое количество и других деталей, которые работают в сложных рабочих условиях при изменяющейся нагрузке и к которым применим функционально-ориентированный подход при проектировании технологии изготовления.

Деталь можно структурировать определенной совокупностью исполнительных зон и элементов, выполняющих при эксплуатации в двигателе различные технические функции для осуществления им необходимой целевой функции. При этом функциональная (исполнительная) зона это определенная часть изделия, выполняющая заданное множество совместных функций при его эксплуатации. Функциональный (исполнительный) элемент изделия - это простая часть функциональной зоны изделия, выполняющий элементарные функции. Для обеспечения заданных функциональных свойств

изделий при эксплуатации необходима реализация их свойств на уровне изготовления и совершенствования.

В процессе эксплуатации деталей судовых дизелей возникает множество различных особенностей работы их отдельных элементов и зон. К основным эксплуатационным особенностям изделий и их элементов можно отнести [7]:

1. Неравномерность распространения деформации растяжения, сжатия, сдвига (среза), кручения, изгиба, а также объемных и сложных комбинированных деформаций по конструкции изделия (детали) и его элементам.

2. Неравномерность и местное действие контактных деформаций на исполнительных элементах изделия. Наличие краевых эффектов, краевых контактов и деформаций смятия.

3. Наличие в изделии множества различных местных концентраторов напряжений.

4. Наличие возможности потери устойчивости сжатых или деформированных изделий, выполненных в виде стержней, оболочек и других конструкций.

5. Наличие повторно-переменных деформаций изделия и его элементов.

6. Наличие ударных нагрузок в изделии и его элементах.

7. Неравномерное изнашивание поверхностных слоев изделия и его элементов (в пространстве и во времени) в зонах износа в процессе эксплуатации изделия.

8. Возникающие коррозионные, механические, химические, физические, тепловые и комбинированные процессы.

9. В целом на изделие в процессе эксплуатации действует множество различных видов переменных нагрузок, деформаций и внешних воздействий, которые постоянно изменяются во времени.

10. Особенности, возникающие из-за решения вопросов эргономики, эстетики и других задач теории композиции в технике, а также решения вопросов конъюнктуры рынка.

Действие обычно переменного в пространстве по конструкции изделия и во времени. А также существует множество особых зон в изделии, в которых концентрируются напряжения. При этом на эти особые зоны изделия параллельно может накладываться несколько видов воздействий.

Таким образом, в процессе эксплуатации судовых дизелей из-за возникающих особенностей эксплуатации детали ряде случаев теряют свою работоспособность и выходят из строя. Приведем классификацию процессов, обуславливающих износ и поломку деталей машин по [8]:

1. Изменение состояния и свойств материала деталей под действием повторно-переменных напряжений при больших циклах перемен нагрузок, работающих в нормальных условиях.

2. Изменение состояния и свойств материала деталей под действием повторно-переменных напряжений при больших циклах перемен нагрузок, работающих в условиях коррозионных сред.

3. Изменение состояния и свойств материала деталей под действием высоких температур (прижги), химических и физических процессов.

4. Контактная усталость рабочих поверхностей деталей с образованием микротрещин, оспин, шелушения и других дефектов.

5. Механический (главным образом абразивный) износ, механическое выламывание частиц, пластическое деформирование.

6. Молекулярно-механические процессы, вызывающие схватывание металлов при трении, вырывание частиц металла с поверхности одной детали и наволакивание их на другую, что ведет к появлению на рабочих поверхностях рисок и задирав (заедание).

7. Коррозионные процессы, сопровождаемые механическими процессами (коррозионно-механический износ).

Рассмотрим особенности синтеза технологических процессов и обеспечения эксплуатационных свойств цилиндрической втулки четырехтактного судового дизеля, к которой, исходя из условий ее работы, выдвигаются такие требования:

- высокая прочность и жесткость;
- хорошее охлаждение (особенно верхнего пояса) при возможно меньших перепадах температур в стенке;
- наименьшая неравномерность радиальных и осевых деформаций;
- герметичность поверхностей, сопряженных с рубашкой и крышкой цилиндра.
- обеспечение свободного радиального и осевого расширения втулки;
- материал втулки должен быть жаростойким и жаропрочным, износостойким, иметь хорошие антифрикционные качества.

Процесс синтеза функционально-ориентированного технологического процесса выполняется в три этапа: на первом этапе выполняется анализ эксплуатационных особенностей втулки; на втором – деление втулки на функциональные элементы по уровням глубины технологии, составляется структура функциональных элементов (ФЭ); на третьем определяются схемы технологического воздействия, разрабатываются операции, определяются группа особых принципов ориентации технологических воздействий [7]. В табл. 2 показаны сводные данные, предназначенные для определения схем технологического воздействия и формирования операции для ФЭ.

Таблица 2. Сводные данные для определения схем технологического воздействия на уровне всей детали (втулки).

Код ФЭ	1-й уровень	+	Уровень детали	01											
	2-й уровень	-													
	3-й уровень	-													
	4-й уровень	-													
	5-й уровень	-													
	6-й уровень	-													
	7-й уровень	-													
1-й этап					2-й этап			3-й этап							
<i>Анализ детали</i>					<i>Деление детали на ФЭ по уровням</i>			<i>Формирование обеспечений</i>							
По напряжениям растяжения и сжатия	По напряжениям изгиба	По напряжениям сдвига	По тепловой нагрузке	По коррозионным процессам	<i>Конструкторское</i>			<i>Технологическое</i>							
					Уровень всей детали			Выполнение изменений конструкции детали или ФЭ в соответствии с особенностями технологического обеспечения			Формирование структуры технологического процесса				
1	2	3	4	5							6	7	8		
+	+	+	+	-	+	+	-								

В табл. 2 показано, что на первом этапе выполняется анализ цилиндрической втулки на уровне всей детали по следующим параметрам:

- по напряжениям растяжения и сжатия, возникающих от сил давления газов, а также из-за разности температур горячих газов и «холодной» охлаждающей жидкости;
- по напряжениям изгиба – от нормальной силы бокового давления поршня;
- по напряжениям сдвига – от сил затяжки шпилек
- по тепловой нагрузке – от температуры горячих газов;
- по коррозионным процессам (коррозионно-кавитационным, кавитационно-эрозионным) – из-за взаимодействия с охлаждающей жидкостью.

Анализ нагрузки на втулку показал [5,6,9,10], что напряжения и температурные воздействия действуют неравномерно по длине втулки, также отличается температура внутренней и внешней поверхности.

На 2-м этапе проектирования выполняется деление детали по уровням глубины технологии. В данном случае рассматривается втулка на уровне всей детали.

На 3-м этапе проектирования ФОР формируется обеспечение, которое может быть конструкторским и технологическим. Если обеспечение конструкторское, то конструкция втулки должна быть изменена в соответствии с действием действующих напряжений. При формировании технологического обеспечения должны быть использованы особые принципы ориентации технологических воздействий [7]. В данном случае, используется группа, состоящая из 5-ти особых принципов (табл. 2).

На рис. 2 представлен граф функциональных элементов цилиндрической втулки по уровням деления, в частности показано, что на 2-м уровне втулка (деталь 01) делится на 7 частей: 01.01, 01.02, 01.03, 01.04, 01.05, 01.06, 01.07. В описательном виде их можно представить так: верхняя часть, бурт, верхний пояс, средняя часть, нижний пояс, нижняя часть, зеркало. На рис. 3 показаны части детали на чертеже втулки.

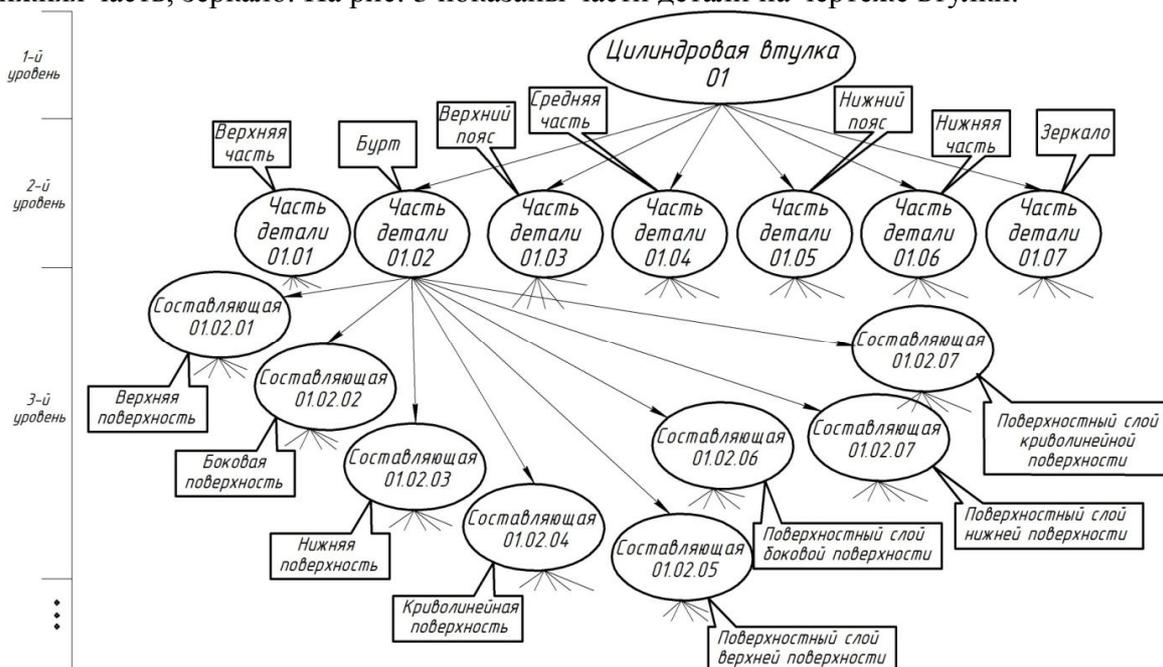


Рис. 2. Граф функциональных элементов цилиндрической втулки четырехтактного судового дизеля

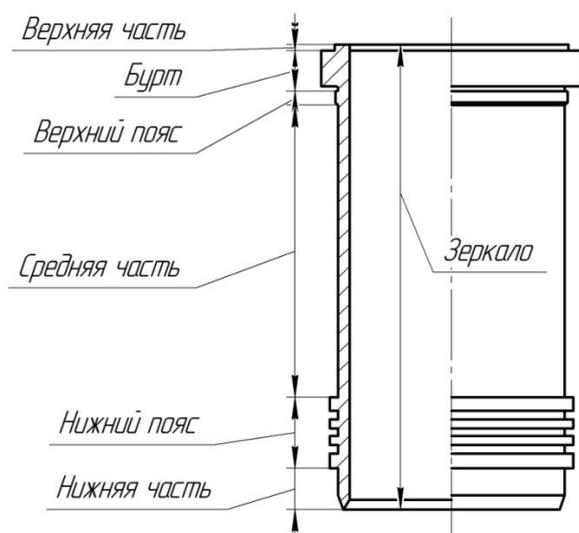


Рис. 3. Цилиндровая втулка судового дизеля

На 3-м уровне деления каждая часть детали делится на составляющие функциональные элементы. В частности, часть детали 01.02 «Бурт», делится на 7 составляющих элементов: 01.02.01, 01.02.02, 01.02.03, 01.02.04, 01.02.05, 01.02.06, 01.02.07. В описательном виде их можно представить следующим образом: верхняя поверхность, боковая поверхность, нижняя поверхность, криволинейная поверхность, поверхностный слой верхней поверхности, поверхностный слой боковой поверхности, поверхностный слой нижней поверхности, поверхностный слой криволинейной поверхности. Количество функциональных элементов на этом уровне определяется функциональными особенностями эксплуатации бурта, числом действия элементарных функций и технологическими особенностями изготовления данного бурта.

При дальнейшем выполнении процесса деления, составляющие функциональные элементы делятся на зоны. На рис. 3 показано, что составляющий функциональный элемент 01.02.03 части 01.02 детали 01 делится на 3 зоны: 01.02.03.01, 01.02.03.02. Эти зоны в описательном виде можно представить следующим образом: край поверхности (полоска поверхности), зона поверхности.

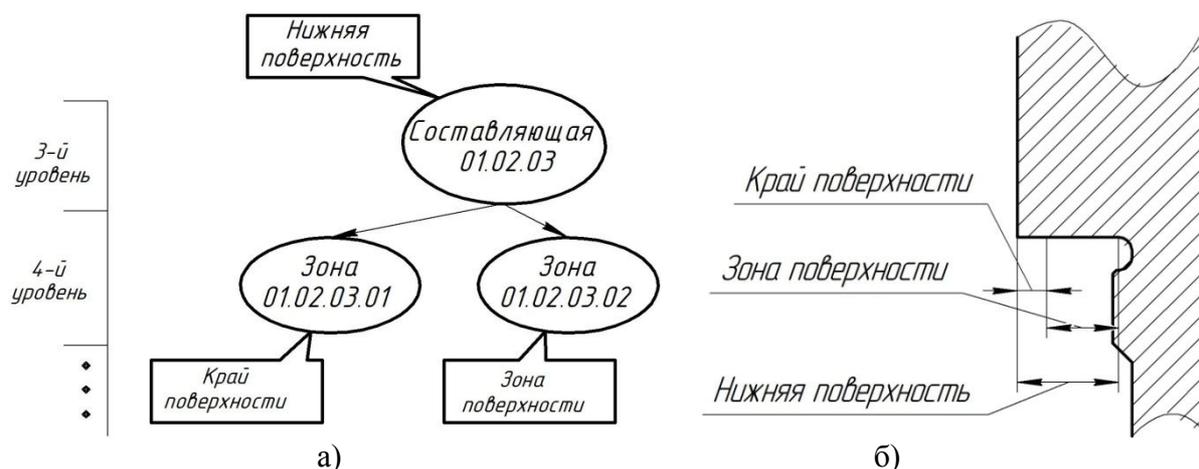


Рис. 3. Граф функциональных элементов нижней поверхности бурта по уровням деления (а) и схема расположения зон на составляющей 01.02.03 (б)

После деления детали на функциональные элементы и составления структуры этих элементов разрабатываются необходимые схемы технологического воздействия, технологические операции и формируется структура всего функционально-ориентированного технологического процесса с использованием группы особых принципов ориентации технологических воздействий и свойств детали.

Заключение. Подробное изучение действия эксплуатационных функций, действующих на детали перед синтезом функционально-ориентированных технологических процессов изготовления деталей судовых дизелей позволяет вывести качество изготавливаемых деталей на новый уровень, хотя, следует заметить, что новый класс технологий может усложнить процесс изготовления изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов А. Н. Применение функционально-ориентированных технологий при производстве судовых двигателей внутреннего сгорания / А. Н. Михайлов, А. В. Костенко, А. В. Лукичев // Вестник КамчатГТУ. 2015. – №33. – С. 11–14.
2. Суслов А. Г. Технология машиностроения / А. Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2004. – 400 с.
3. Михайлов А. Н. Обеспечение надежности деталей судовых агрегатов при формировании параметров качества функционально-ориентированными технологиями / А. Н. Михайлов, А. В. Костенко, А. В. Лукичев // Машиностроение и техносфера XXI века: Сборник трудов XXII междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе 14 - 19 сентября 2015 г. В 2-х томах – Донецк: МСМ, 2015. – Т.2. – С. 20–23.
4. Функционально-ориентированные покрытия для повышения эксплуатационных свойств деталей машин / А. Н. Михайлов, Д. А. Михайлов, Р. М. Грубка, М. Г. Петров // Машиностроение и техносфера XXI века: Сборник трудов XXII междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе 14 - 19 сентября 2015 г. В 2-х томах – Донецк: МСМ, 2015. – Т.2. – С. 24–38.
5. Возницкий, И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания [Текст] : В 2 т. – Т. 1. / И. В. Возницкий. – М.: Моркнига, 2008. – 282 с.
6. Кондратьев Н. Н. Отказы и дефекты судовых дизелей. – М.: Транспорт, 1985.- 152 с.
7. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / А. Н. Михайлов. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.
8. Елизаветин М. А., Сатель Э. А. Технологические способы повышения долговечности машин. – М.: Машинстроение, 1969. – 400 с.
9. Маренков Н. А. Обнаружение и устранение дефектов судовых дизелей. – М.: Транспорт, 1975. – 224 с.
10. Судновий механік : Довідник / Авт. кол.: За ред. А. А. Фока, д.т.н., суд.ст.механика. – У 3-х т. – Т.1. – Одеса: Фенікс, 2008. – 1036 с. (рос. мовою).

Поступила в редколлегию 10.12.2015 г.