

Судовые энергетические установки

Научная статья

УДК 629.5.035

<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-2/47-54>

А.В. Лобачев, А.Н. Соболенко

ЛОБАЧЕВ АЛЕКСАНДР ВИТАЛЬЕВИЧ – доцент, механик-наставник, sklav56@mail.ru

СОБОЛЕНКО АНАТОЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ – д.т.н., профессор, sobolenko_a@mail.ru✉

Кафедра судовых двигателей внутреннего сгорания

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского

Владивосток, Россия

Анализ причин возникновения дефектов коленвала и подшипников на главном дизеле 8NVDS48A-3U теплохода «Иван Жданов»

Аннотация. Цель настоящего исследования – анализ причин возникновения дефектов вкладышей рамовых и шатунных подшипников и шеек коленвала главного двигателя (ГД) 8NVDS48A-3U теплохода «Иван Жданов», возникших в процессе эксплуатации, а также оценка действий экипажа в аварийной ситуации. Тема аварий и аварийных ситуаций, происходивших на судах различного класса, освещалась во многих публикациях. Однако авторы рассматривали главным образом технические дефекты, ставшие причиной аварийных случаев, упуская роль и значение человеческого фактора. В данной статье наряду с рассмотрением возникших дефектов в главном двигателе теплохода «Иван Жданов» проведен тщательный анализ действий экипажа в аварийной ситуации. По его результатам сделаны выводы о своевременности и профессиональной адекватности мер, предпринятых экипажем теплохода. Предложены мероприятия по профилактике и недопущению на судах столь критических ситуаций.

Ключевые слова: дефекты, коленвал, подшипники, аварийная ситуация, человеческий фактор

Для цитирования: Лобачев А.В., Соболенко А.Н. Анализ причин возникновения дефектов коленвала и подшипников на главном дизеле 8NVDS48A-3U теплохода «Иван Жданов» // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2022. № 2(51). С. 47–54.

Введение

Случаи выявления дефектов деталей судовых дизелей, в частности подшипников и коленчатых валов, рассматриваются во многих публикациях [1, 4, 5, 7, 8, 11]. Можно сказать, что авторы этих публикаций, как правило, лишь констатируют факт выявления того или иного технического дефекта, ставшего причиной аварийной ситуации на судне. Но это лишь одна сторона проблемы, с которой связана безопасность судна. Другая сторона – это способность экипажа предусмотреть и предотвратить возможность возникновения аварийной ситуации. К сожалению, этой стороне уделяется немного внимания. Анализ действий экипажа с точки зрения требований нормативных документов и морской практики, его реакции на причины возникновения и развития аварийной ситуации в большинстве исследований отсутствует.

Характерные дефекты коленчатых валов среднеоборотных двигателей по итогам исследования 27 аварийных случаев приведены в работах [7, 8]. Были определены факторы, приводящие к их возникновению. К сожалению, оставлено без внимания влияние человеческого фактора в эксплуатации.

Постановка задачи

Анализ возникновения дефектов вкладышей рамовых и шатунных подшипников и шеек коленвала главного двигателя (ГД) 8NVDS48A-3U теплохода «Иван Жданов», возникших в процессе эксплуатации, показал наличие серьезной проблемы – отсутствие должного внимания к человеческому фактору, играющему важную роль при возникновении аварийной ситуации на судне. Лишь в некоторых работах обращено внимание на человека, члена экипажа, от которого зависит безопасность судна [6, 9]. Поэтому наряду с рассмотрением причин отказа двигателя нами поставлена задача оценить правильность действий персонала и на основании анализа информации по эксплуатации предложить меры по недопущению аварийной ситуации со стороны экипажа.

Выявленные дефекты коленвала и подшипников

На теплоходе «Иван Жданов», который прибыл на ремонт в порт Пусан, установлены два главных двигателя 8NVDS48A-3U мощностью по 920 кВт с прямой передачей через валопроводы на винты фиксированного шага. В связи с аварийным ремонтом на судне была выполнена ревизия главных двигателей с полной их разборкой. В ходе ревизии обнаружен ряд дефектов. Все вкладыши рамовых подшипников имеют наклеп на внешней стороне, а также износ антифрикционного слоя на внутренней стороне до бронзы и круговые риски (рис. 1).



Рис. 1. Вкладыш рамового (а) и вкладыш шатунного (б) подшипников с дефектами в виде износа до бронзы и круговыми рисками

Коленчатый вал имел следующие дефекты:

- на рамовой шейке № 4 трещины глубиной 20–30 мм, вырывы металла диаметром 8–10 мм и глубиной 1,2–1,5 мм (рис. 2);
- на всех рамовых шейках коленчатого вала круговые риски и задиры;
- на рамовых шейках № 4, 5 трещины;
- на рамовых шейках № 3, 4, 5, 6 наволакивание антифрикционного слоя;
- на всех шатунных шейках круговые риски и следы нагара;
- на шатунных шейках № 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 натяг антифрикционного слоя;
- на шатунных шейках № 2, 4, 8 трещины.



Рис. 2. Рамовая шейка коленчатого вала с дефектами

Постели рамовых подшипников показали износ выше допустимого. При норме 235+0,03 мм постель подшипника № 4 имела размер 235,28 мм, других подшипников – 235,05–235,06 мм; отмечены риски глубиной до 0,2 мм – следы от проворачивания вкладышей.

Обстоятельства, предшествующие появлению дефектов

В период предыдущего ремонта на Находкинском судоремонтном заводе (НСРЗ) при наработке двигателя 55 000 часов проверка постелей рамовых подшипников не проводилась. Проверка валопровода на биение показала, что величины деформации валопровода достигли предельных значений. Поэтому была произведена замена вкладышей рамовых подшипников, что позволило восстановить раскёпы. При техническом обслуживании в период подготовки к классификационному освидетельствованию и наработке 60 000 ч проверка постелей рамовых подшипников также не проводилась, а вот проверка зазоров в рамовых подшипниках показала, что они близки к предельным значениям.

14.03.2011 г. теплоход «Иван Жданов» следовал с грузом на борту из порта Шахтерск в порт Ванино. Главные двигатели правого и левого бортов работали с допустимыми параметрами. В 08:03 часов обороты правого главного двигателя уменьшились с 380 до 310 мин⁻¹, давление масла снизилось с 0,18 до 0,9 МПа, температура циркуляционного масла поднялась с 55 до 60 °С. В 08:05 часов правый главный двигатель был остановлен по команде старшего механика. Температура охлаждающей воды внутреннего контура правого главного дизеля на момент остановки составляла 66 °С. В 08:20 вскрыты лючки картера правого главного дизеля. Обнаружено, что температура рамового подшипника № 4 достигла 107 °С, шатунного подшипника № 2 – 102 °С (замеры производились при помощи лазерного индикатора). В 09:30 начали демонтаж вкладышей подшипников. Обнаружено, что вкладыши рамового подшипника № 4 провернулись, перекрыв маслоподающее отверстие, биметаллический слой подшипника был разрушен.

Замер раскёпов коленчатого вала, произведенный специалистами ООО БТО «Ялта», показал повышенное отклонение оси коленчатого вала от теоретической оси в районе цилиндров № 1, 2, 3.

Согласно заключению теплотехнической лаборатории, физико-химические показатели масла не достигли браковочных значений.

На основании анализа фактов, приведенных выше, вероятной причиной преждевременного износа деталей движения стало нарушение центровки валопровода с двигателем в процессе эксплуатации. Изменение значений раскёпов коленчатого вала цилиндров № 1, 2, 3 свидетельствовало об искривлении вала и возможном нарушении геометрии масляных каналов в районе рамовых подшипников № 3, 4, 5, срыве масляного клина с последующим разрушением подшипников.

Были установлены признаки нарушения центровки валопровода и главного двигателя правого борта, а также начала разрушения подшипников коленчатого вала:

- температура охлаждения кормового опорного подшипника валопровода правого борта на 12–16 °С выше температурных параметров валопровода левого борта;

- температура лючков картера правого главного дизеля (в данном случае) должна быть неравномерной и повышенной на протяжении нескольких вахт (это не проверялось в нарушение ПТЭ СТС и К, часть III, п. 2.4.1, 2.4.2) [10];

- вахтенный механик должен проверять на ощупь температуру лючков и при отклонении от нормы принять необходимые меры, чего он не сделал;

- после навала на причал 19.01.2011 г. в порту Канадзава (Япония) необходимо было проверить раскёп коленчатых валов главных двигателей правого и левого бортов (что в нарушение ПТЭ СТС и К, часть III, п. 7.1 не было сделано).

В течение трёх календарных месяцев, предшествующих ремонту, этот двигатель работал при пониженном давлении смазочного масла. Давление после фильтрации было 0,12–1,6 МПа при норме 0,18–0,22 МПа, то есть снижение давления составило 27–30%. Кроме того, на момент осмотра масляных фильтров после аварии 26% сетчатых элементов были рваные (рис. 3). Эксплуатация двигателя с рванными масляными фильтрами запрещается правилами технической эксплуатации судовых дизелей.



Рис. 3. Повреждённые сетки элементов масляных фильтров

Нарушением правил технической эксплуатации является и то, что при подготовке главного двигателя к пуску он не проворачивался валоповоротным устройством.

Снижение давления смазочного масла в судовом двигателе приводит к интенсивному изнашиванию антифрикционного слоя вкладышей подшипника. При этом нарушаются нормальные условия смазывания шеек коленчатого вала. Элементы коленвала перегреваются и деформируются. Деформация коленчатого вала порождает задиры и трещины на шейках коленвала. Работа дизеля с пониженным давлением смазочного масла даже непродолжительное

время недопустима. При появлении такого фактора, как падение давления масла, необходимо было остановить дизель и выполнить ревизию деталей движения.

До момента постановки судна на ремонт в судоремонтный завод детали главного двигателя (крышки цилиндров, поршни, втулки, шатуны, блоки) и дейдвудное устройство не имели дефектов, опасных для эксплуатации, поскольку в процессе последующей диагностики всех этих узлов не было заменено ни одного базового элемента на главном дизеле. Восстановительный или профилактический ремонт дейдвудного устройства не осуществлялся.

Была выполнена дефектоскопия шеек коленчатого вала, в результате чего обнаружены трещины. По характеру и месту расположения трещин (на шатунной шейке № 2 и рамовой шейке № 4 – в районе галтелей и маслоподводящих отверстий, являющихся критическими зонами) установлено, что коленчатый вал ремонту не подлежит.

Таким образом, для полного восстановления работоспособности главного двигателя необходимо было заменить коленчатый вал, установить новые вкладыши рамовых и шатунных подшипников, обеспечивая тем самым плотную посадку их в постели с натягом, а также выполнить проверку расцепов коленвала.

Мероприятия по решению проблемы обеспечения надёжной работы рамовых и шатунных подшипников

В данном случае имели место серьёзные упущения при эксплуатации главного дизеля. Следует отметить, что использование своевременного сепарирования циркуляционного масла позволило бы уменьшить ряд повреждений, таких как риски, следы нагара на шейках коленвала и вкладышах. Но полностью восстановить эксплуатационные свойства масла можно посредством использования установки для регенерации моторного масла РУМС-1, разработанной В.В. Тарасовым [12]. Только технология восстановления эксплуатационных свойств моторных масел (регенерация) полностью обеспечивает контролируемое восстановление его эксплуатационных свойств. Заметим, что благодаря малым габаритам установки РУМС-1 регенерацию масла можно осуществлять в судовых условиях [13].

Другим решением этой проблемы является использование комбинированной очистки моторного масла в дизеле посредством сочетания полнопоточного тонкого фильтрования и байпасного центрифугирования, что будет способствовать повышению надёжности работы подшипников. На это указывают результаты исследований [2], проведенные в двигателе. При этом весьма эффективно использование на полном потоке саморегенерирующихся фильтров [3], что снижает эксплуатационные расходы на обслуживание системы смазки дизеля и повышает ее автономность.

Необходимо также обучать специалистов выполнению не только стандартных процедур, но и действию в аварийных ситуациях, используя для этого специальные тренажёры. Например, тренажёр TechSim 5000 фирмы Transas Marine, Ltd. позволяет имитировать износ шатунных подшипников главного дизеля, засорение масляных фильтров и т.д. Обучаемый может наблюдать изменение параметров двигателя в предаварийных ситуациях и тем самым приобретать навыки своевременного распознавания возникающей аварии.

«Судовой механик, имеющий соответствующие знания и профессиональные навыки, должен действовать эффективно в любой кризисной ситуации на судне в море. Кризисная ситуация – это быстро развивающаяся последовательность событий, при которых риски, связанные с системой, быстро достигают опасного состояния» [14, с. 146-168]. Развитие аварийной ситуации может быть представлено графически (рис. 4).

Эволюцию кризисной ситуации в нашем случае можно представить следующим образом. *Ситуация, управляемая безопасно*: на уровне восприятия выявлены предельные износы рамовых и шатунных подшипников и должна быть сделана соответствующая этому оценка начала развития кризиса. Правильная оценка не была сделана. Соответствующие действия не были предприняты. На втором этапе, когда давление масла упало ниже нормы, развитие кризиса перешло на этап *ситуации, управляемой с трудом*. В этом случае опять не было правильной оценки и принятия адекватных действий. Единственно верное решение – немедленный

останов двигателя с последующей переборкой его рамовых и шатунных подшипников. Это было сделано не сразу, а лишь тогда, когда ситуация подошла к аварийному состоянию.

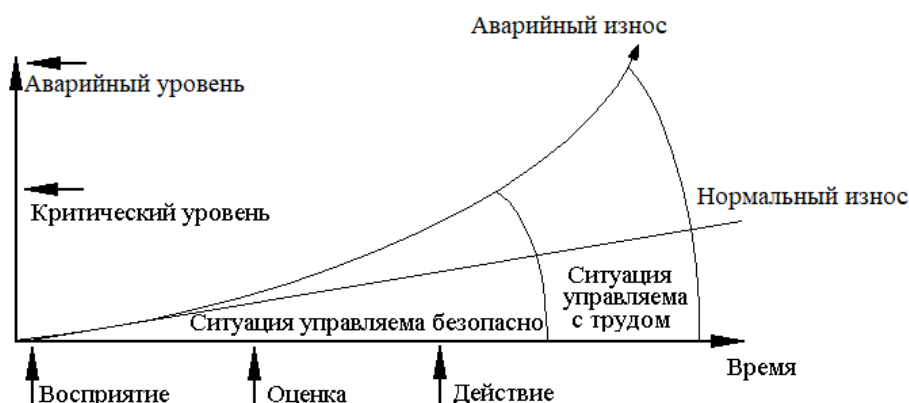


Рис. 4. Кривая развития кризиса

Появление аварийных дефектов главного дизеля в данном случае – результат явных человеческих ошибок. Запуск главного дизеля неоднократно осуществлялся без соответствующего проворачивания – ошибка из-за упущенного действия. Запуск главного дизеля выполнялся без обеспечения соответствующей смазки рамовых и шатунных подшипников. Не были выполнены замеры размеров постелей подшипников – ошибка из-за упущенного действия. Нарушение нормативов – работа двигателя при пониженном давлении смазочного масла. Ошибка из-за неправильного анализа: не выполнили ревизию маслоподводящей системы смазки, в частности сетки масляных фильтров.

Заключение

Повышение качества технической эксплуатации судовых дизелей требует оснащения масляных систем инновационными средствами маслоочистки: внедрение комбинированной очистки моторного масла и его регенерация в специальных регенерационных установках. Это обеспечит высокое качество масла на всем межремонтном периоде эксплуатации дизеля и снизит риск перехода трения от гидродинамической смазки к трению при смешанной и граничной смазке, приводящей к повышенному износу вкладышей дизелей.

Человеческий фактор – главное условие предотвращения аварий судовых дизелей в период эксплуатации, поскольку большую роль при этом играют такие обстоятельства, как отношение к делу персонала, теоретические знания, грамотность, умение анализировать полученную информацию, навыки в работе. Добиться совершенствования этих факторов можно специальной тренажёрной подготовкой. Благодаря сочетанию технических и организационных мероприятий можно обеспечить безотказную работу дизеля.

Несмотря на то что в приведённом примере удалось избежать выхода ситуации на аварийный уровень, когда бы развалился коленчатый вал и остановился правый ГД в море, следует признать необходимым повсеместное внедрение технических и организационных мероприятий по обеспечению безотказной работы судовых дизелей.

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Возницкий И.В. Повреждения и поломки дизелей. Примеры и анализ причин. Москва: Моркнига, 2006. 166 с.
2. Кича Г.П., Воробьёв Б.Н., Семенюк Л.А. Комбинирование фильтрования и центрифугирования – эффективный метод полнопоточной тонкой очистки масла в двухконтурных системах смазки судовых дизелей // Морские интеллектуальные технологии. 2018. Т. 5, № 4 (42). С. 59–65.

3. Кича Г.П., Семенюк Л.А., Тарасов М.И. Стохастическая ячеистая модель очистки моторного масла от механических примесей объёмным фильтрованием // Морские интеллектуальные технологии. 2020. Т. 2, № 1(47). С. 105–112.
4. Корнейчук Ю.А. Исследование предельного состояния коленчатого вала судового среднеоборотного дизеля. Вестник АГТУ. Сер. Морская техника и технология. 2017. № 3. С. 53–61.
5. Корнилов Э.В., Бойко Е.Н., Тарасов Е.Н. Аварии и аварийные повреждения судовых дизелей. Одесса: Экспресс, 2010. 272 с.
6. Кучеров В.Н., Соболенко А.Н. Анализ развития аварийной ситуации с главным дизелем 8NVD48A2-U на траулере «Советское» // Вестник Инженерной школы Дальневост. федерал. ун-та. 2018. № 2. С. 49–55. URL: <https://www.dvfu.ru/vestnikis/archive-editions/2-35/1/> (дата обращения: 22.06.2018).
7. Леонтьев Л.Б., Леонтьев А.Л., Макаров В.Н. Анализ видов, причин и последствий отказов подшипников коленчатых валов судовых среднеоборотных дизелей // Фундаментальные исследования. 2015. Ч. 2, № 12. С. 283–287.
8. Леонтьев Л.Б., Леонтьев А.Л., Макаров В.Н. Влияние эксплуатационных факторов на отказы подшипников скольжения коленчатых валов судовых среднеоборотных дизелей и пути повышения их надёжности // Вестник ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова. 2016. № 1(35). С. 129–138.
9. Маницын В.В., Соболенко А.Н. Анализ повреждений рамовых подшипников двигателей 8NVD48A-2U на промысловых судах // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2016. Вып. 6(40). С. 150–155.
10. Правила технической эксплуатации судовых дизелей. Санкт-Петербург. М.: Гипрорыбфлот: Сервис-SPSL: «Русская панорама», 1999. 168 с.
11. Соболенко А.Н. Исследование причин повреждения рамовых подшипников при вибрации и деформации упругих систем фундаментных рам ВДГ // Научные труды Дальрыбвтуза. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2015. Т. 35. С. 97–103.
12. Тарасов В.В. Регенерация отработанных моторных масел на судах в целях уменьшения антропогенного воздействия на окружающую среду // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2018. № 1. С. 131–139.
13. Тарасов В.В., Соболенко А.Н. Исследование регрессионных моделей эффективности регенерации отработанных моторных масел судовых дизелей в циклонном испарителе «РУМС-1» // Вестник Инженерной школы Дальневост. федерал. ун-та. 2019. № 3(40). С. 49–55. URL: <https://www.dvfu.ru/vestnikis/archive-editions/2-35/1/> (дата обращения: 20.09.2019).
14. Amit R. Simulator-aided training and assessment in reducing human error. The 5th International Conference on Engine Room Simulators: Proceeding. Singapore Polytechnic, Singapore, 25–26 June, 2001.

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2022. N 2/51

Ship power plants

www.dvfu.ru/en/vestnikis

Original article

<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-2/47-54>

Lobachev A., Sobolenko A.

ALEXANDER V. LOBACHEV, Associate Professor of the Instructor-engineer, sklav56@mail.ru

ANATOLY N. SOBOLENKO, Doctor of Technical Sciences, sobolenko_a@mail.ru

Department of Ship Internal Combustion Engines

Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy

Vladivostok, Russia

The causes of defects with crankshaft and main bearings of the main diesel engine 8NAVS48A3-u on the motor ship "Ivan Zhdanov"

Abstract. The purpose of this study is to analyze the causes of defects in the shells of frame and connecting rod bearings and the crankshaft of the main engine (ME) 8NVD48A-3U of the motor ship "Ivan Zhdanov", as well as to assess the actions of the crew in an emergency. The topic of accidents and emergencies was covered in many publications. However, the authors mainly considered technical defects that caused accidents

and did not discuss the role and importance of the human factor. In this article, along with consideration of the defects that have arisen in the main engine of the motor ship "Ivan Zhdanov", a thorough analysis of the crew's actions in an emergency is carried out. Based on its results, conclusions were drawn about the timeliness and professional adequacy of the measures taken by the ship's crew. Some measures for the prevention of such critical situations on ships are proposed.

Keywords: defects, crankshaft, bearings, emergency situation, human factor

For citation: Lobachev A., Sobolenko A. The causes of defects with crankshaft and main bearings of the main diesel engine 8NAVS48A3-u on the motor ship "Ivan Zhdanov". FEFU: School of Engineering Bulletin. 2022;(2):47-54. (In Russ.).

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

REFERENCES

1. Voznitsky I.V. Damage and breakdown of diesel engines. Examples and analysis of causes. Moscow, Morkniga. 2006. 166 p.
2. Kicha G.P., Vorobyev B.N., Semenyuk L.A. The combination of filtration and centrifugation is an effective method of full-flow fine oil purification in two-circuit lubrication systems of marine diesel engines. *Marine intelligent technologies*. 2018;5(4):59–65.
3. Kicha G.P., Semenyuk L.A., Tarasov M.I. Stochastic cellular model of engine oil purification from mechanical impurities by volumetric filtration. *Marine intelligent technologies*. 2020;2(1):105–112.
4. Korneichuk Y.A. Study of the limiting state of the crankshaft of a medium-speed diesel engine. *Bulletin of ASTU. Ser. Marine technique and technology*. 2017;(3):53–61.
5. Kornilov E.V., Boyko, E.N. Tanasov E.N. Accidents and emergency damage to marine diesel engines. Odessa, Express, 2010. 272 p.
6. Kuchеров V.N., Sobolenko A.N. Analysis of the development of an emergency situation with the main diesel engine 8NVD48A2-U on the trawler "Sovetskoe". *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2018;(2): 49–55. URL: <https://www.dvfu.ru/vestnikis/archive-editions/2-35/1/>– 22.06. 2018.
7. Leontyev L.B., Leontyev A.L., Makarov V.N. Analysis of the types, causes and consequences of crankshaft bearings failures of marine medium-speed diesels. *Fundamental research*. 2015;2(12): 283–287.
8. Leontyev L.B., Leontyev A.L., Makarov V.N. Influence of operational factors on the failures of crankshaft slip bearings of medium-speed diesel engines and ways to improve their reliability. *Bulletin of the State University of Marine and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov*. 2016;(1):129–138.
9. Tarasov V.V. Regeneration of used motor oils on ships in order to reduce anthropogenic impact on the environment. *Scientific problems of transport in Siberia and the Far East*. 2018;(1): 131–139.
10. Tarasov V.V., Sobolenko A.N. Research of regression models of efficiency of ship diesel engine oil regeneration in cyclone evaporator "RUMS-1". *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2019;(3):49–55. URL: <https://www.dvfu.ru/vestnikis/archive-editions/2-35/1/>– 20.09.2019.
11. Sobolenko A.N. The investigation of reasons of bedplate bearing damage when vibration and deformation are acting on elastic system of auxiliary engine bedplates. *Scientific works of Dalrybvtuz*, 2015;35:97–103.
12. Manitsyn V.V., Sobolenko F.N. Analysis of bedplate bearings damage of 8NVD48A-2U fishing vessels. *Bulletin GUMRF named after Adm. S.O. Makarov*. 2016;(6):150–155.
13. Rules of technical operation of marine diesel engines. St. Petersburg, Moscow, Gipro-fishfloat - Service – SPSL – "Russian panorama", 1999. 168 p.
14. Amit Ray. Simulator-aided training and assessment in reducing human error. *The 5-th International Conference on Engine Room Simulators: Proceeding*. Singapore Polytechnic, Singapore, 25–26 June, 2001.