

УДК 621.181.2

А.Г. Данилян, О.Р. Парфёнова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ГЛАВНОГО ДВИГАТЕЛЯ MAN B&W 5L90MC  
НА ТРЕНАЖЕРЕ KONGSBERG NEPTUNE

*В статье рассматривается новое направление подготовки и переподготовки морских специалистов с использованием тренажера Engine Room MAN B&W – 5L90MC VLCC Version – MC90 – V Kongsberg, где моделируются нештатные ситуации в техэксплуатации главных двигателей, разрешение которых позволяет по новому понимать задачи безопасной эксплуатации силовой установки и судна в целом. В материалах статьи используется накопленный опыт эксплуатации и управления современных малооборотных крейцкопфных двигателей. Сделана попытка вскрыть недостатки в процессе обучения и переподготовки специалистов механической специальности.*

**Ключевые слова:** *техническая эксплуатация, нештатные ситуации, управление главным двигателем, контроль параметров, режимы работы двигателя.*

*У статті розглядається новий напрям підготовки та перепідготовки морських фахівців з використанням тренажера Engine Room MAN B & W – 5L90MC VLCC Version – MC90 – V Kongsberg, де моделюються нештатні ситуації в техексплуатації головних двигунів, вирішення яких дозволяє по новому розуміти завдання безпечної експлуатації силової установки і судна в цілому. У матеріалах статті використується накопичений досвід експлуатації і управління сучасних малооборотних крейцкопфних двигунів. Зроблено спробу розкрити недоліки в процесі навчання і перепідготовки фахівців механічної спеціальності.*

**Ключові слова:** *технічна експлуатація, позаштатні ситуації, керування головним двигуном, контроль параметрів, режими роботи двигуна.*

*The article deals with a new direction of training and retraining of naval specialists using the simulator Engine Room MAN B & W – 5L90MC VLCC Version – MC90 – V Kongsberg, where emergency situations of main engines technical operation are simulated. The solution of which provides a new understanding of the power plant and vessel safe operation. The materials of the article use the experience of operation and management of modern low-speed crosshead engines. An attempt is made to reveal deficiencies in training and retraining of engineering specialists.*

**Keywords:** *technical operation, emergency situations, the main engine controls, observance of parameters, types of technical operations of the engine.*

---

© Данилян А.Г., Парфёнова О.Р., 2016

**Введение.** Формирование знаний при изучении таких предметов, как: Судовые энергетические установки, Судовые двигатели внутреннего сгорания и их системы в последнее время изучаются во многих странах с применением современных многофункциональных тренажеров.

Ведущие компании: Kongsberg, Transas, Unitest предоставили на рынок морских высших школ, международных судоходных компаний подотчетных Международной морской организации ИМО в вопросах дипломирования и переподготовки морских специалистов высокоинтеллектуальные продукты – тренажеры. Которые способны с высокой степенью реальности эксплуатации механизмов и систем, воспроизвести их рабочие условия и различные параметры состояния.

**Постановка проблемы.** Аварийность Мирового морского флота растет из года в год, а причины, как правило, скрываются за расхожей формулировкой: «Человеческий фактор». Авторами статьи проведен анализ трудоустройства выпускников-бакалавров, специальности судовой механик. Под понятием трудоустройства нужно понимать комплекс проблем, возникающих при трудоустройстве курсанта-кадета на плавпрактику, и зачислении в штат дипломированного механика. Прохождение процедуры трудоустройства, предполагает обязательную проверку знаний на компетентность в судоходных компаниях, где выявляются серьезные пробелы профессиональной подготовки.

Здесь, как в кривом зеркале отображаются наши недостатки преподавания, где за академическим объемом основного предмета не преподаются в должной мере современные направления технической эксплуатации главных энергетических установок, судовых технических средств СТС. Отсутствие современного технического обеспечения в изучении профилирующих предметов, специальной подготовки курсанта в условиях отказов механизмов, решения ситуативных задач и др. может стать роковой причиной в разрешении любой нештатной ситуации в море.

**Цель статьи.** Данная работа, позволяет найти свое практическое применение в подготовке бакалавров по направлению 6.070104 – «Морской и речной транспорт», квалификации «бакалавр судовой энергетики», используя научный подход процессов моделирования работы судовых силовых установок на примере главного судового двигателя MAN B&W 5L90 MC тренажера Kongsberg Neptune.

**Изложение основного материала.** Современные тренажеры, используемые в подготовке морских специалистов, – дорогостоящий интеллектуальный продукт. Неслучайно, одна из последних разработок Kongsberg Engine room дает право после прохождения тренинга, засчитывать плавательный ценз до шести месяцев судовому механику. Это говорит о совершенстве продукта тренинга и максимальной его приближенности к реальной эксплуатации главной энергетической установки и СТС. Этот тренажер позволяет создавать проблемные ситуации в работе механика, находить наиболее экономичные и безопасные режимы работы. Вместе с тем в основном все существующие программы тренинга мало

уделяют внимания моделированию процесса изменения режима работы, создания ситуационных событий в технической эксплуатации судовых двигателей внутреннего сгорания СДВС и СТС. Авторы данной статьи, считают этот вопрос самым актуальным в подготовке и переподготовке специалистов Морехозяйственного комплекса Украины и Мирового морского флота. С этой целью специально был выбран раздел тренажера, который способен контролировать все основные процессы работы двигателя и предупреждать обо всех неполадках.

Система Авточиф-4 обслуживает современные главные двигатели с программой дистанционного автоматизированного управления ДАУ, осуществляет полный контроль за главной энергетической установкой и своевременное оповещение обо всех заданных параметрах и их изменениях. Авточиф-4 способен информировать вахтенного механика обо всех отказах, показывая на мнемосхеме конкретную позицию фрагмента свершившегося события.

На рисунке показан дисплей Авточиф-4 системы контроля главного двигателя, который отображает следующие события и параметры:

- положение команды (на мостике или в машинном отделении);
- команда остановки;
- вперед, если направление выбирается на панели управления;
- назад, если направление выбирается на панели управления;
- старт блокируется, если одно или несколько из последующих действий активизируются.

Сигналы оповещения:

- старт не произошел после трех попыток запустить двигатель – продолжает быть без движения;
- давление воздуха слишком низкое (настройка по умолчанию 12 бар);
- давление воздуха управления слишком низкое (значение по умолчанию 2 бара);
- давление воздуха безопасности слишком низкое (значение по умолчанию 2,5 бара);
- реверс отказал;
- начальный период подачи воздуха слишком длительный;
- отказ реверса двигателя в момент команды торможения при её активации;
- распределительный механизм в положении занято (это приведет к блокированию реверса – кулачные шайбы распредвала не будут переведены в нужное положение вращения коленвала согласно с командой).

Очень важной позицией в системе Авточиф-4 является положение – *above reversing level* – возможный уровень реверса. Когда при работающем двигателе подается команда вперед или назад, то воздух торможения не будет подаваться до понижения оборотов двигателя уставки реверсивного уровня, который установлен на этом двигателе 26 об./мин.

Когда обороты двигателя находятся на отметке 29 об./мин., воздух для аварийной остановки будет перекрыт и аварийная остановка двигателя не произойдет. Это говорит о том, что малейшая разрегулировка механизма контроля оборотов, подаст ложный сигнал и контрвоздух не поступит. Лимит подачи воздуха для торможения двигателя составляет 8 сек. Если в течение этого времени двигатель не будет остановлен воздухом торможения, то на панели аварийной станции выйдет сигнал «Отказ тормозного воздуха», который будет активирован в случае неостановки двигателя.

Авторами данной статьи не случайно предлагается провести моделирование процесса аварийного торможения главного двигателя, этот сегмент знаний касается специалистов несущих ходовую вахту – штурмана и механика. В этой связи было бы целесообразно в каждом высшем морском учебном заведении подготовить программу по данной тематике, где совместные занятия проводились бы с использованием многофункционального тренажера с детальным рассмотрением всех фрагментов процесса аварийного торможения курсантами двух основных специальностей.

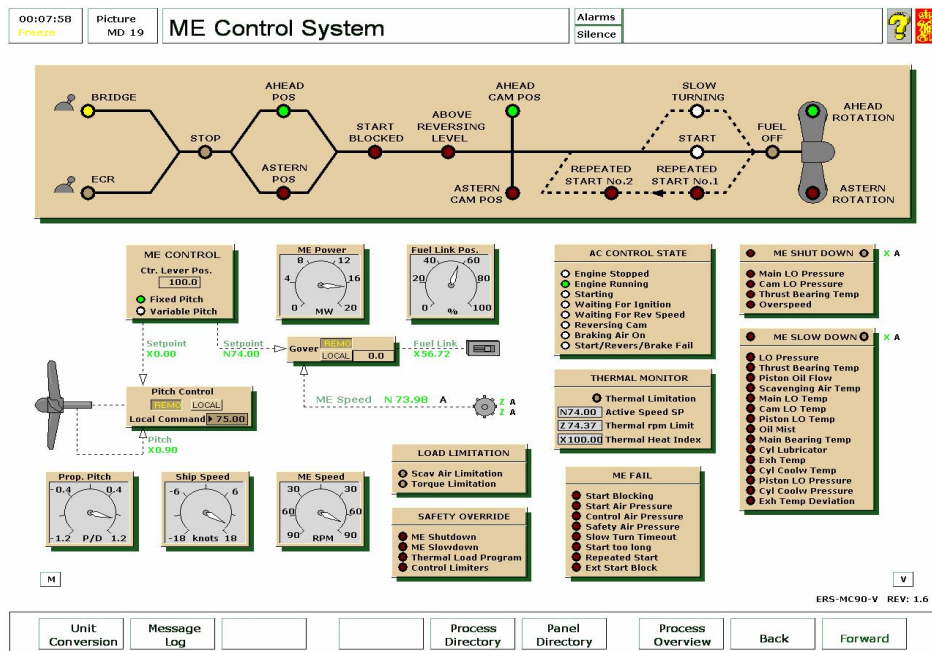


Рис. Авточиф-4 – система контроля главного двигателя

Совершенно недопустимо проводить такие занятия лекционно с присущим обычно академизмом, без глубокого знания существа вопроса. В проведении занятий должны участвовать высокопрофессиональные специалисты, имеющие опыт разрешения подобных ситуаций. Описанный выше порядок аварийного торможения в автоматизированном режи-

ме управления главным двигателем, на практике, как правило не используется в ситуации грозящей столкновением с судном, или навалом на береговые сооружения, препятствия. Используя накопленный опыт и хорошую морскую практику, штурман должен мгновенно перейти на ручное управление главным двигателем, нажав для этого аварийную кнопку (crash button), после чего ручка телеграфа переводится в положение «Стоп» с выдержкой времени 5-6 секунд, и с падением оборотов на 50 % ниже первоначальных. Далее в ручном режиме производится остановка коленвала воздухом торможения и запуск двигателя на полный ход назад. Вахтенный механик после экстренного реверса двигателя обязан обеспечить безаварийную работу главной энергетической установки и её систем. С этой целью усиливается контроль за главным двигателем и при необходимости обеспечивается дополнительное охлаждение и смазка двигателя. В момент изменения вращения при полной подаче топлива, двигатель испытывает перегрузки в районе 110 % своей мощности. Моделирование данного процесса с использованием системы Автоциф-4 позволяет нам отслеживать перегрузку двигателя по приборам: индикатора мощности главного двигателя (ME POWER), позиции подачи топлива в процентах (FUEL LINK POSITION), панели предела нагрузки двигателя (LOAD LIMITATION), где индицируются позиции: – предел наддувочного воздуха (Scavenge Air Limitation), предельный момент на валу (Torque Limitation). Обязательно необходимо постоянно снимать показания температуры выпускных газов каждого цилиндра, максимальное давление сгорания  $P_z$ , среднее индикаторное давление за цикл  $P_i$  с использованием электронного дистанционного привода РМІ, который является штатным прибором для данного двигателя, также может использоваться Autronica NK-5.

Из практики известны случаи, когда вахтенный помощник капитана пренебрегает предложенной нами процедурой аварийного реверса двигателя в ручном режиме. Это происходит по причине незнания самой процедуры, или же под воздействием страха возможной аварии будет не выполнена задержка времени для снижения оборотов до 50 % от существующих. Последствия таких действий могут оказаться фатальными, приведшие к аварии главного двигателя, или в лучшем случае экстренный реверс аварийным воздухом не будет выполнен. Известны примеры, когда в подобной ситуации нарушалось уплотнение цилиндрических крышек (происходил подрыв крышки двигателя за счет резкого импульсного повышения давления в цилиндре двигателя), были случаи разрыва соединений на пусковых клапанах. Вахтенный штурман обязан определить выбег судна после экстренного торможения, как правило, он может составить 5-8 корпусов – это зависит от массы судна, его скорости и обводов корпуса, вахтенный механик должен выполнить все предписания завода-строителя, регламентирующие перегрузку двигателя и правила технической эксплуатации ПТЭ судовладельца [1].

Программа работы двигателя в автоматизированном режиме в диапазоне оборотов 40-42 об./мин. произведет резкое их изменение во избежание разрушительной вибрации – это участок критических оборотов данного двигателя. Умышленное удерживание двигателя в данной позиции оборотов может привести к оповещению об опасной вибрации на дисплее аварийной станции с последующим сбросом оборотов в положение «ME Slowdown». Гораздо хуже, когда мы сталкиваемся с нарастающей вибрацией на любом режиме работы двигателя, такая ситуация требует достаточного опыта и тщательного исследования главного двигателя. Попробуем создать ситуацию на нашем тренажере, похожую на обозначенную выше. Последовательность поиска причины заключается в следующем:

- производятся пуски-реверсы двигателя на предмет определения характерных стуков;

- после остановки двигателя проверяется набор фундаментной рамы на предмет отрыва набора, его сварных швов;

- методом обстукивания проверяется каждый болт крепления фундаментной рамы двигателя;

- проверяется в картере двигателя крепление противовесов коленвала, мотылевых подшипников;

- проверяются в подпоршневом пространстве крепления штока поршня с крейцкопфом. Очень частым явлением нарастающей вибрации, является поломка демпфера главного двигателя, который обследуется на предмет утечки силикона из его корпуса. Отдельно, необходимо прослушать демпфер на работающем двигателе, имея перед этим его сигнал на аварийной станции – повышенной вибрации [2].

Рассматриваемый нами вопрос повышенной вибрации является чрезвычайно важным в технической эксплуатации СДВС и неслучайно в новых моделях двигателей – Sulzer RT-Flex Engines – установлена одна из последних версий системы контроля двигателя – CONGSBERG Auto Chief C20, способная конкретно указывать место аварийного сигнала, поломки механизма.

Современные мощные крейцкопфные двигатели оборудованы статическими системами демпфирования вредной разрушающей вибрации в виде горизонтальных колонн с азотным наполнением, которые жестко закреплены к набору фундамента и гасящие распространяющуюся вибрацию. Несмотря на современные методы борьбы с вибрацией, авторы статьи обладают достоверными данными, поступающими с судов, где на высоконагруженных крейцкопфных двигателях последних моделей происходят очень часто разрывы в виде трещин в районе крепления фундаментной рамы двигателя. Эти трещины появляются между bracketами фундаментной рамы в сторону отверстий крепления фундамента двигателя к набору судна.

Рассматривая далее панель ME SLOW DOWN (Автоциф-4), нам необходимо более детально остановиться на всех позициях аварийного снижения оборотов главного двигателя, так как весь перечень снижения оборотов программы контроля работы главного двигателя наиболее типичен в его технической эксплуатации и может быть полезен для изучения тренинга [2].

Oil Mist – высокая концентрация взрывоопасных газов в картере двигателя, которая регистрируется детектором масляного тумана, двигатель в это время сбрасывает обороты – ME SLOW DOWN. Согласно ПТЭ нормативных документов завода-строителя двигателя, сигнал квитируется и выясняются причины срабатывания устройства. В случае повторения сигнала, двигатель останавливается и проводится контроль чувствительных элементов детектора масляного тумана, при необходимости проверяются детали кривошипно-шатунного механизма КШМ, через подпоршневое пространство проверяется уплотнение штока поршня на предмет прорыва выпускных газов, твердых отложений продуктов сгорания. Явной причиной концентрации взрывоопасных газов может послужить пожар в подпоршневом пространстве – возгорание отработанного цилиндрического масла, которое периодически убирается вручную при осмотрах.

Были случаи, когда взрыв газов в картере, приводил к нарушениям работы двигателя – подрывал фундаментные болты крепления, нарушал центровку главного двигателя и др. Для предотвращения последствий взрыва в картере на ряде картерных лючков (40 % от всего количества), установлены предохранительные клапана обеспечивающие выход газов из картера двигателя наружу. В период предъявления двигателя надзорным органам, не реже 1 раза в пять лет, производят регулировку клапанов картерных лючков на подрыв, давлением 0,02-0,04 мПа.

LO Pressure (limit 1,2 бар.) – давление циркуляционной смазки главного двигателя, снижение которого на рабочих режимах двигателя может привести к его аварии (заклиниванию деталей ЦПГ и КШМ). Основные причины снижения давления в системе циркуляционной смазки – это попадание воды в масло, что приводит к резкому загрязнению масляных фильтров и увеличению перепада давления до и после фильтра. Заклинивание редукционного клапана на масляном насосе сразу же снизит давление в системе. Нарушение герметичности масляной системы в виде обрыва трубопровода до двигателя, так и в самом двигателе (подача масла к рамовым подшипникам, к охлаждению донышек поршней и др.). Обрыв масляного трубопровода возможно определить визуально под давлением на неработающем двигателе, осмотрев подвод масла от масляного насоса до входа трубопровода в двигатель. Такой же осмотр делается в картере главного двигателя и в подпоршневом пространстве каждого цилиндра на предмет утечки масла.

Trust Bearing Temp (limit -75 ° C) – температура верхнего предела упорного подшипника. Увеличение температуры в упорном подшипнике может привести к плавлению антифрикционного слоя на сегментах упор-

ных скоб, которые на этом двигателе залиты баббитом Б-88. В практике авария упорного подшипника явление довольно таки редкое, хотя известны случаи, когда в экстремальных условиях работы судна на режиме аварийного хода был превышен предел аварийной нагрузки на двигатель, что привело к плавлению баббита на сегментах. Старший механик и капитан в ситуации, когда в условиях жесткого шторма, судно нужно удержать против волны (30<sup>0</sup> от ДП), а время форсирования превышает один час, они должны принять единственно правильное согласованное решение, чтобы сохранить судно, его экипаж и главный двигатель. Здесь чрезвычайно важно в условиях тренинга провести моделирование ситуации совместно с курсантами судоводительской специальности на двух тренажерах (управления судном и Engine Room), где можно перейти в дрейф с удержанием судна против волны и снижением нагрузки на двигатель, что обеспечит его безопасную работу.

Позиция Piston Cooling Oil Flow характеризует поток проходящего масла для охлаждения доньшка поршней, снижение которого может произойти как от понижения давления охлаждающего масла, так и по причине нарушения проходного сечения штока поршня, которое может произойти при появлении глобул (плотных сгустков), причиной появления глобул может стать попадание влаги в масло, его перегрев, что нарушит теплосъем с поверхности доньшка поршня, который приведет в дальнейшем к его прогоранию.

Scavenging air Temp. – температура наддувочного воздуха определена для этого двигателя пределом в 75<sup>0</sup> С, но такая предельная температура снижает качество воздушного заряда и приводит к снижению мощности двигателя и повышению термонагрузки на ЦПГ. В практике эксплуатации двигателя, мы стараемся удержать температуру в пределах нормы, используя количество подаваемой воды на воздухоохладители. Надо признать, что оптимальный режим не всегда удается удержать, охлаждаемый контур (LT – низкотемпературный) воздушных кулеров, зависит от температуры забортной воды. В Красном море, Персидском заливе вода за бортом достигает до 40<sup>0</sup> С. В нашей практике были случаи, когда охлаждение воздуха в воздушных холодильниках переводилось на забортную воду ради удержания температурного режима двигателя в пределах нормы. Последствия такой работы, приводят к большим отложениям в теплообменном аппарате углекислых солей кальция и магния: CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, солей NaCl, сульфатных и силикатных отложений: CaSO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>. Удаление этих отложений необходимо произвести при первой же возможности с использованием реагентов и химпрепаратов, рекомендованных судовладельцем и заводом-строителем.

Main LO Temp (limit 60<sup>0</sup> С) – температура циркуляционного масла двигателя для этого типа главных энергетических установок устанавливается ниже, чем у некоторых четырехтактных двигателей. Это обуславливается необходимостью использовать циркуляционное масло для охлаждения доньшек поршней. Повышение температуры выше 70<sup>0</sup> С для



минеральных масел приводит к лакообразованию на поверхности деталей двигателя, которое может привести к заклиниванию отдельных узлов и сопрягающихся элементов.

Cam LO Temp, Piston LO Temp – температура масла распредвала, температура масла охлаждения поршней, лимитирована  $70^{\circ}\text{C}$ , как было сказано выше, во избежание лакообразования, ухудшения техсостояния уплотнений и увеличения температуры доньшка поршней.

Main Bearing Temp (limit  $80^{\circ}\text{C}$ ) – предельная температура рамового подшипника. В этой серии двигателей значение верхнего предела температуры масла значительно повышено за счет применения гальваноподшипников, тем не менее работа на повышенных температурах масла, снижает вязкость и ухудшает работу масляного клина, повышая износ антифрикционного слоя.

Cyl Lubricator (low flow) – низкая подача масла лубрикатором в цилиндр. Гидростанция лубрикаторного масла создает давление на этих двигателях 45 бар., но количество масла определяется программой 0,8-1,2 г/кВт\*ч. Снижение количества подачи масла в цилиндр может привести к интенсивному износу поршневых колец и цилиндровой втулки. В худшем случае могут произойти задиры на зеркале втулки, вплоть до заклинивания поршня в цилиндре двигателя.

Exhaust Temp (limit  $460^{\circ}\text{C}$ ) – предельная температура выпускных газов. Данный показатель является основным косвенным показателем работы двигателя, по нему можно судить о его нагрузке. Работа на предельных температурах длительное время приведет к снижению моторесурса двигателя, опасному термонапряжению деталей ЦПГ и КШМ. Cyl Coolw Temp (limit  $96^{\circ}\text{C}$ ) – предельная температура внутреннего контура охлаждения цилиндров двигателя. Предыдущие модели этих двигателей этот показатель имели не выше  $90^{\circ}\text{C}$ . Увеличение температуры сверх установленного предела внутреннего контура может привести к аварийной ситуации, вплоть до заклинивания ЦПГ.

Piston LO Pressure (limit 0,5 бар.), Cyl Coolw Pressure (limit 0,5 бар.) – нижний предел давления циркуляционного масла для охлаждения доньшка поршней и минимальное давление внутреннего контура охлаждения цилиндрических втулок. В первом и во втором случае снижение давления приведет к повышению температуры охлаждающих сред, что отрицательно скажется на техническом состоянии двигателя и может привести к серьезной его аварии.

Exhaust Temp Deviation (limit  $45^{\circ}\text{C}$ ) – разница по цилиндрам температуры выпускных газов. При плохой регулировке цикловой подачи топлива, нарушении угла опережения подачи топлива, ухудшении техсостояния топливной аппаратуры – все это приводит к большому разбросу температуры. Последствия такого явления выражаются в неустойчивой работе двигателя, увеличивается вибрация, газовая турбина наддува ГТН входит в режим помпажа [3].

**Выводы.** Рассматриваемые вопросы в разрезе данной статьи, впервые открывают возможности подготовки курсантов и переподготовки специалистов машинной команды на базе накопленного опыта технической эксплуатации, моделирования нештатных ситуаций, способных привести к аварии главной установки на штатном тренажере. Пути выхода из аварийных ситуаций даны на основе хорошей практики эксплуатации главного двигателя и систем его управления. Статья вскрывает имеющиеся недостатки в подготовке морских специалистов, как в системе высших учебных заведений, так и при переподготовке действующих кадров. Вместе с тем, объем данной статьи не позволяет осветить весь необходимый материал для полной подготовки специалистов. Здесь напрашивается вопрос создания цельной программы для морских высших учебных заведений и центров переподготовки.

Авторами статьи сделана попытка научного подхода в методологии совместного обучения штурманов и механиков на конкретных действиях локализации нештатных ситуаций, способных привести к фатальным последствиям. Статья раскрывает конкретику разрушающей вибрации на последних моделях крейцкопфных двигателей, что даст возможность в дальнейшем рассмотреть эту проблему в последующих статьях на базе накопленного опыта. Она дает возможность по-новому взглянуть на отдельные аспекты технической эксплуатации главного двигателя.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Publisher Private Person. Marine Engineering Knowledge for Marine Engineers. Production Seatracker, 2009. – P.1054*
2. *Engine Room Simulator ERS – L11 MAN B&W – 5L90MC VLCC Version MC90 – V Machinery and Operation Part 2. Kongsberg 2009. – P.32.*
3. *Данилян А.Г., Чимшир В.И. Совершенствование системы технического диагностирования малооборотных судовых дизелей // Молодой ученый. – № 2 (82). – Казань. – 2015. – С.138-142.*

*Стаття надійшла до редакції 25.10.2016*

#### **Рецензенты:**

академік Академії наук суднобудування України, доктор технічних наук, професор кафедри Суднових енергетичних установок і систем Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія» **П.С. Суворов**

кандидат технічних наук, директор Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія» **В.І. Чимшир**