

Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 70, № 4. С. 186–192.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2024. Vol. 70, no 4. P. 186–192.

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

Научная статья

УДК 629.12-8+629.12.012.9

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-70-19

EDN: WDTDBD

Исследование причин и анализ выхода из строя левого главного двигателя марки 8NVDS48A-3U на т/х «Иван Жданов» ОАО «Амурское пароходство»

Геннадий Бенцианович Горелик¹, Борис Иванович Руднев²

¹ Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского, Владивосток, Россия

² Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

¹ ggorelik@mail.ru

² povalichina@mail.ru

Аннотация. Рассмотрен случай аварийного выхода из строя левого главного двигателя сухогрузного теплохода «И. Жданов» и проведен анализ причин, приведших к подобному исходу. Исследование и анализ возможных причин аварийного выхода из строя левого главного двигателя (ЛГД) базировался на выписках из судовой документации, судового журнала, объяснительных записок судовых механиков и их опроса, перечня работ по дефектовке рамовых и шатунных подшипников на судоремонтном заводе. В результате анализа авторы пришли к заключению, что основным фактором исхода явились так называемые форс-мажорные обстоятельства: намотка рыбопромысловой сети на винт и последующей череды событий, приведших к тяжелому отказу двигателя. Показано, что при отсутствии средств безразборной диагностики не реально использование так называемой системы СТОФС, которую пытаются реализовать при технической эксплуатации соответствующие службы пароходств.

Ключевые слова: авария, главный двигатель, форс-мажорные обстоятельства, человеческий фактор

Для цитирования: Горелик Г. Б., Руднев Б. И. Исследование причин и анализ выхода из строя левого главного двигателя марки 8NVDS48A-3U на т/х «Иван Жданов» ОАО «Амурское пароходство» // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 70, № 4. С. 186–192.

Original article

SHIP'S POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)

Investigation of the causes and analysis of the failure of the left main engine of the 8NVDS48A-3U brand on the Ivan Zhdanov m/s of Amur Shipping Company

Gennadiy B. Gorelik¹, Boris I. Rudnev²

¹ Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy, Vladivostok, Russia

² Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

¹ ggorelik@mail.ru

² povalichina@mail.ru

Abstract. The article considers the case of an emergency failure of the left main engine of the dry cargo ship "I. Zhdanov" and an analysis of the reasons that led to such an outcome was carried out. The study and analysis of possible causes of the emergency failure of the left main engine (LGD) was based on extracts from the ship's documentation, the ship's log, explanatory notes of ship mechanics and their survey, and the completion of work on defective frame and connecting rod bearings at the ship repair plant. As a result of the analysis, the authors concluded that the main factor in the outcome was the so-called force majeure: the winding of the fishing net on the screw and the subsequent series of events that led to severe engine failure. It is shown that in the absence of means of non-selective diagnostics, it is not realistic to use the so-called STFS system, which the relevant shipping services are trying to implement during technical operation.

Keywords: accident, main engine, force majeure, human factor

For citation: Gorelik G. B., Rudnev B. I. Investigation of the causes and analysis of the failure of the left main engine of the 8NVDS48A-3U brand on the Ivan Zhdanov m/s of Amur Shipping Company. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2024; 70(4): 186–192. (In Russ.).

Объектом исследования является главный двигатель 8NVDS 48A-3U. Целью данной работы являлось определение причин выхода из строя левого главного двигателя теплохода «И. Жданов» и анализ причин, приведших к подобному исходу. Краткая справка по судну: сухогруз «И. Жданов» проекта 620 типа «Балтийский». Длина судна – 94,9 м, ширина – 13,2 м, осадка – 3,71 м, валовая вместимость – 2431 т, установлены два главных дизеля 6NVDS 48A-3U мощностью 640 кВт каждый при 400 об/мин, экипаж – 22 человека. Главные двигатели оборудованы системой автоматизации второй степени, обеспечены дистанционным управлением. Судовая электростанция в составе трех дизель-генераторов с дизелями 6 Ч 12/14 мощностью 100 кВт каждый при 1500 об/мин, имеется система автоматизации и дистанционное управление.

Для обеспечения надёжной работы упорного и рамовых подшипников главных двигателей необходимо выполнять следующие эксплуатационные мероприятия: проверять натяг подшипников; обеспечивать надлежащую смазку подшипников; контролировать чистоту масляных фильтров; контролировать температуру смазочного масла; контролировать чистоту смазочного масла; проверять размеры постелей рамовых и шатунных подшипников. В большинстве опубликованных работ по выходу из строя подшипников дизелей рассматриваются только причины отказов, которые могут возникать как вторичные при некачественной эксплуатации. В статье рассмотрены повреждения вкладышей упорного и рамовых подшипников

двигателя 8NVDS 48A-3U, а также механический износ нижней головки шатуна № 3 при перекосе осей головок в 1,3 мм, а это превышает допустимый допуск на перекос, следует отметить относительную вытяжку шатунных болтов, превышающую норму, а натирки на буртах вкладышей свидетельствуют о нарушении положения к/вала, связанным с его значительным смещением из-за нарушения работы упорного подшипника [4].

Анализ возможных причин аварийного выхода из строя ЛГД базировался на выписках из судовой документации, судового журнала, объяснительных записок судовых механиков и их опроса, перечня работ по дефектовке рамовых и шатунных подшипников от 23.12.08 г. менеджера Ким С. Ч. (Корея Трейдинг энд Индастриез Ко), судовом техническом акте от 15.12/08, перечнях работ ОАО «Находкинский судоремонтный завод» от 21.12.08 и 22.12.08, актов дефектации № 20к, 07-Ду, № 652, выписок по результатам контроля магнитной дефектоскопии, технических актов ООО «Морской Корабельный Центр-НСРЗ» № 380, № 382–385, № 388, № 390, № 391, также использованы: Технические условия на ремонт (одобренные Классификационным обществом), инструкции завода-изготовителя, справочные материалы.

Несмотря на большую наработку ЛГД к моменту времени ЧП 03.12.08 г., техническое состояние двигателя с учетом большого опыта машинной команды во главе со старшим механиком А. А. Сахаровским, с которым один из авторов был знаком лично, скорее всего соответствовало нормальному техническому состоянию объекта, а случившееся могло быть вызвано какими-то форс-мажорными обстоятельствами [4, 5].

Случившееся могло быть связано с так называемым «человеческим фактором». Примеры свидетельствуют о том, что человеческий фактор часто является одной из основных причин аварий судовых энергетических установок. В этой связи весьма важно, чтобы судовой экипаж был подготовлен к правильным действиям при возникновении аварийной ситуации [1, 2, 3, 7]

Косвенно это подтверждается тем, что аварийная ситуация, имевшая место в период с 03.12.08 по 22.12.08 гг., развивалась относительно медленно и машинная команда, зафиксировав повышенную вибрацию остова ЛГД, по меньшей мере предприняла действия по снижению нагрузки на главные двигатели. Тем не менее на повышенную вибрацию ЛГД должны были обратить внимание еще в начальной стадии развития событий. Таким образом, «человеческий фактор» все-таки сыграл свою роль, и аварийная ситуация не была предотвращена.

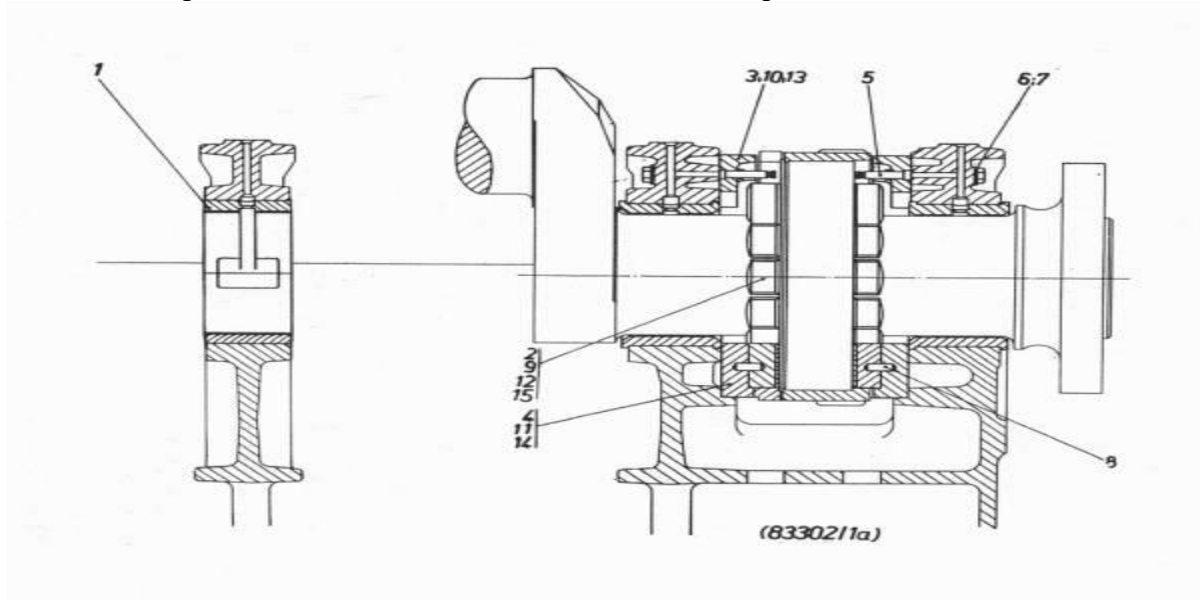
Похоже, что вахтенная команда в МКО и на ходовом мостике не обратили внимание на внешнее воздействие на судно, кратковременное изменение курса и на качество функционирования ЛГД. Возможно, что все произошло во время ночной вахты, когда внимание команды притуплено. Возможно, что при этом свою лепту внесла система автоматического регулирования дизелем, когда при намотке на винт ЛГД рыболовной сети резко возросла нагрузка на дизель левого борта и начавшееся резкое снижение частоты вращения к/вала двигателя было компенсировано резким увеличением подачи топлива вплоть до выхода рейки топливного насоса высокого давления на упор (это соответствует 110 % нагрузке). В течение нескольких десятков секунд был восстановлен скоростной режим движения судна, но перегрузка группы движения двигателя могла быть многократной.

Тщательно анализируя происшедшее, действия машинной команды и результаты обмеров деталей и узлов двигателя, акты дефектации ОАО «Находкинский судоремонтный завод», можно прийти к следующему:

1. При подъеме судна в док обнаружена намотка рыболовных сетей на винт левого двигателя. Данное обстоятельство могло стать первопричиной последующих событий, связанных с аварийным выходом из строя ЛГД. При намотке сети на винт произошло резкое превышение нагрузки по крутящему моменту, имело место появление больших поперечных сил по отношению к к/валу, критически изменилось силовое состояние коленчатого вала и самого валопровода. Скручивание вала привело к появлению значительных осевых его деформаций (речь

идет о так называемых связанных напряжениях: кручение, изгиб и осевые напряжения сжатия).

2. При этом опорный подшипник промежуточного вала проворачивался в корпусе, имеется выработка по всему диаметру на длине 90 мм; биение шейки под опорный подшипник 0,06 мм (допускаемое 0,06); торцевое биение 0,1 мм (допускаемое 0,03). Торцевое биение трехкратно превышало допускаемое, это и могло привести к выработке баббитовой заливки упорного подшипника и к нарушению условий нормальной работы к/вала; имела место механическая деформация упорного подшипника переднего и заднего хода самого двигателя (рисунок), обнаружен наклеп на направляющих сегментах именно переднего хода и износ баббитовой заливки. Осевой разбег к/вала не должен быть больше 0,4–0,6 мм, однако только существенным превышением осевого разбега к/вала можно объяснить ситуацию с шатуном 3-го цилиндра (см. п. 4). Несмотря на гарантированное обеспечение осевого усилия в 196 кН, упор винта при наматывании сети мог превысить допускаемую работоспособность по осевой нагрузке упорного подшипника в 1,5–2 раза. А если при этом уже имела выработка упорного подшипника, то аварийный отказ двигателя мог стать достоверным событием.



Конструкция опоры к/вала с упорным и тонкостенным рамовым подшипниками.
Составлено авторами

The design of the k/shaft support with thrust and thin-walled frame bearings. Compiled by the authors

3. Шатун № 3 имел механический износ нижней головки, перекося осей головок составлял 1,3 мм, что существенно превышает допустимую норму, относительная вытяжка шатунных болтов также превышает норму, имеют место натирки на буртах вкладышей при задевании щек. Это свидетельствует о недопустимом осевом смещении к/вала (зазор между шатунным вкладышем и шириной шейки для данного двигателя не должен превышать 1 мм).

4. По коленвалу – механический износ рамовых шеек №/№ 1–5. Вырывы металла, цвета побежалости, наволакивание металла вкладышей на шейки, трещины на рамовой шейке № 2 и шатунной № 3 свидетельствуют о неправильной работе к/вала из-за чрезмерного осевого смещения, вызванного кратковременным внешним возмущением, а именно намоткой рыболовной сети, приведшим к временной перегрузке дизеля (эффект «тяжелого винта», когда понижение частоты вращения привело к возрастанию силового воздействия на винт в осевом направлении, повышению крутящего момента, наверняка и к температурным перегрузкам

кривошипно-шатунного механизма, в том числе и из-за нарушения маслоснабжения при проворачивании вкладышей);

5. Механический (ступенчатый) износ постелей рамовых подшипников №/№ 1–5 составил 0,5 мм, и, несмотря на временное восстановление раскёпов судовой командой при замене вкладышей, весьма быстро происходило повторное разрушение рамовых подшипников с последующим их проворачиванием, нарушением условий смазки, в том числе и шатунных подшипников.

6. Наклеп металла на торцевой поверхности присоединительного фланца маховик-к/вал хотя и косвенно, но подтверждает вышеизложенное. При нормальной эксплуатации двигателя раскрытие стыка практически невозможно. При этом радиальное биение маховика составляет 0,23 мм, торцевое – 1,7 мм. Кратковременность произошедших событий, переход на пониженные обороты (300 об/мин) для снижения нагрузки, нарастающий темп событий, неоднократные попытки устранить отказы, видимо, не позволили машинной команде обратить внимание на изменение внешних признаков начинающегося тяжелого отказа, например, усиление вибраций двигателя на фундаменте, появление шума низкого тона в зоне рамовых подшипников, возрастание температуры в районе рамовых подшипников, увеличенные радиальные и торцевые биения маховика и т.п.

7. Отмеченное попадание воды в масло из-под уплотнения водяной рубашки цилиндра № 3 было судовой командой устранено, а обводненное масло просепарировано в режиме пурификации (по опросу машинной команды). Безусловно, масляная эмульсия также отразилась на темпе и без того ускоренного износа подшипников.

Ко всему вышеизложенному следует добавить следующее:

1. Как показывает международный опыт, переход от планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта к системе обслуживания и ремонта по фактическому состоянию (СТОФС) является целесообразным, однако это требует использования современных средств безразборной диагностики.

2. Двигатели т/х «И. Жданов» не соответствуют современным требованиям СТОФС, они не оборудованы системой диагностики, именно это и не позволило своевременно принять надлежащие решения по предотвращению тяжелого отказа. Практика эксплуатации показывает, что на сегодняшний день наработка подобных дизелей фирмы SKL до капитального ремонта при использовании СТОФС составляет величину, приближающуюся к 100 тыс. моточасов, хотя завод-изготовитель указывает весьма скромные ресурсные показатели (ресурс до среднего ремонта – 36 тыс. ч, ресурс до капитального ремонта 56 тыс. ч \pm 4 тыс. ч). Для машин данного класса R_k составляет 60–70 тыс. ч. Есть все-таки резон считать, что ЛГД находился в предельном состоянии на завершающем этапе наработки до капитального ремонта, и принятие решения о продолжении эксплуатации определялось его относительно удовлетворительным техническим состоянием, тем более, что очередное освидетельствование судна было назначено на 16.03.10 г.

3. Темп нарастания тяжести совместных отказов группы движения двигателя свидетельствует об имевших место, на наш взгляд, форс-мажорных обстоятельствах, связанных с силовым воздействием на валовую линию двигателя при намотке рыболовной сети на винт. До 03.12.08 г. теплотехническое состояние двигателя не вызывало нареканий, несмотря на имеющуюся изношенность вкладышей и деталей КШМ. Но существенное осевое смещение валопровода при намотке сети инициировало усиление выработки и износа опорного подшипника вала и упорного подшипника двигателя, что и привело к увеличению осевого разбега к/вала, ускорило проворачивание рамовых подшипников, произошло быстрое ступенчатое изнашивание постелей под рамовые подшипники, привело к нарушению линии к/вала, выходу из строя шатунного подшипника цилиндра № 3 и нарушению уплотнения цилиндровой втулки с по-

ступлением воды в картер и пр. Проведенные работы по замене вкладышей 1-го рамового подшипника и деталей КШМ цилиндра № 3 практически уже не могли дать положительный эффект, и, несмотря на то, что раскёпы были восстановлены до нормального уровня, последующая работа ГЛД под нагрузкой быстро привела к ускоренному нарушению линии к/вала и повторному проворачиванию уже следующих по порядку рамовых вкладышей. Без серьезного заводского ремонта дальнейшая работа оказалась практически невозможной.

На наш взгляд, в произошедшей аварии ЛГД т/х «И. Жданов» вина и ответственность лежит в значительно меньшей степени на действиях судовой команды и надзорной роли технической службы пароходства, нежели на вышеприведенных форс-мажорных обстоятельствах, приведших ЛГД к аварийному отказу. Безусловно, что степень изношенности двигателя имела место. ЛГД работал в конце основного периода эксплуатации (наработка более 59 тыс. ч), когда решение о капитальном ремонте определяется предельным состоянием двигателя. Текущий же теплотехнический контроль и состояние дизеля не вызывали серьезных опасений. Не было и косвенных признаков приближающегося отказа, а очередное освидетельствование судна было назначено на 16.03.10 г.

Главная причина – это намотка рыбопромысловой сети на винт. Чаще всего это не приводит к серьезным последствиям, но возможен и более тяжелый случай, когда осевые усилия превышают возможности по нагрузке опорного и упорного подшипников (тем более с учетом их текущей изношенности). Временная силовая и тепловая перегрузка двигателя при снижении частоты вращения к/вала, прогрессивное изнашивание рамовых, а далее и мотылевых подшипников, их проворачивание, ступенчатая выработка постелей в фундаментной раме, нарушение смазки, увеличение раскёпа и нарушение линии к/вала ускоренно привели к аварийному выходу из строя дизеля, т.е. к тяжелому отказу.

Следует отметить, что человеческий фактор чаще всего является одной из основных причин аварий судовых энергетических установок. Поэтому важно, чтобы судовой экипаж был подготовлен к правильным действиям при возникновении предаварийной и аварийной ситуации в машинно-котельном отделении судна (МКО). Такая подготовка становится возможной с появлением тренажёров МКО [6], [7]. Современные тренажеры МКО позволяют подготовить специалистов как к выполнению стандартных процедур, так и к действиям в нештатных ситуациях.

Выводы

1. Основной причиной аварийной ситуации в МКО судна, как правило, является человек из-за упущенных или неправильных действий (особенно при возникновении форс-мажорных ситуаций).
2. Следует наладить выпуск информационных листов по аварийным случаям в каждом пароходстве с указанием причин и необходимых мер по их предупреждению.

Список источников

1. Леонтьев Л. Б., Леонтьев А. Л., Макаров В. Н. Анализ видов, причин и последствий отказов подшипников коленчатых валов судовых среднеоборотных дизелей // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 12–2. С. 283–287.
2. 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 Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. 2016. № 1(35). С. 129–138.

3. Соболенко А. Н. Исследование причин повреждений рамовых подшипников при вибрации и деформации упругих систем фундаментных рам ВДГ // Научные труды Дальрыбвтуза. 2015. Т. 35. С. 97–102.

4. Худяков С. А. Последствия отказа шатунного подшипника главного дизеля т/х «Проф. Барабанов» // Вестник МГУ. Серия: Судостроение и судоремонт. 2008. Вып. 25. С. 52–54.

5. Комплексная система технического обслуживания и ремонта судов. Основное руководство. РД 31.20.50 – 87. М. : В/О «Мортехинформреклама», 1988. 220 с.

6. Соболенко А. Н., Глазюк Д. К. Повышение эффективности и безаварийности работы СЭУ посредством тренажёрной подготовки её операторов // Рыбное хозяйство. 2014. № 1. С. 12–14.

7. Соболенко А. Н., Корнейчук Ю. А., Глазюк Д. К. Обобщение опыта эксплуатации тренажёров машинного отделения морского судна // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2016. № 2. С. 59–69.

Сведения об авторах

Г. Б. Горелик – доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник научного департамента.

Б. И. Руднев – доктор технических наук, профессор кафедры «Холодильная техника, кондиционирование и теплотехника».

Information about the authors

G. B. Gorelik – Dr. Sci. (Eng), Professor, Senior Researcher of the Scientific Department.

B. I. Rudnev – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Refrigeration, Air Conditioning and Heat Engineering.

Статья поступила в редакцию 12.11.2024; одобрена после рецензирования 21.11.2024; принята к публикации 26.11.2024.

The article was submitted 12.11.2024; approved after reviewing 21.11.2024; accepted for publication 26.11.2024.