ISSN 1733-8670

ZESZYTY NAUKOWE NR 5(77)
AKADEMII MORSKIEJ
W SZCZECINIE

OBSŁUGIWANIE MASZYN I URZĄDZEŃ OKRĘTOWYCH
O M i U O 2 0 0 5

Валерий Канталинский

Предупреждение отказов систем воздухоснабжения судовых дизелей

Ключевые слова: система воздухоснабжения, газотурбонагнетатели, помпаж, причины отказов, предотвращение аварийных дизелей

Тенденции и направления развития систем воздухоснабжения и их основных элементов – турбокомпрессоров показаны на основе анализа условий эксплуатации и причин характерных отказов газотурбонагнетателей и систем наддува в целом. Проанализированы мероприятия техобслуживания по предупреждению аварийности.

Prevention of Ship Diesel-Air-Supply Systems Failures

Key words: systems of air supply, gas-turbo-superchargers, surging, causes of failures, prevention of auxiliary diesel engines failures

The development of the systems of air-supply and gas-turbo-superchargers is shown through an analysis done in field operation and failures caused by the gas-turbo-superchargers and supercharging systems. An analysis has been performed aiming at emergency prevention measures.

Введение

В последние годы наметилась тенденция к качественному обновлению систем и схем турбонаддува судовых дизелей. Широко известные зарубежные фирмы разрабатывают газотурбонагнетатели (ГТН) нового поколения. Их отличают высокая экономичность, повышенный уровень надежности, способность к регулированию в широком диапазоне нагрузок дизеля. Однако эти и другие эксплуатационные качества турбокомпрессоров и систем воздухоснабжения дизелей в целом остаются малоизвестными судовым механикам.

Накопленный опыт эксплуатации судовых дизелей с турбонаддувом показывает, что ознакомление с тенденциями и направлениями развития систем воздухоснабжения целесообразно вести на основе анализа условий эксплуатации и причин характерных отказов элементов и систем в целом.

Именно такой подход к изложению предложен в настоящем докладе, целью которого является привлечение внимания эксплуатационников и специалистов-ремонтников к предупреждению отказов и безаварийному обслуживанию.

1. Особенности условий эксплуатации оборудования и их влияние на аварийность

К системам воздухоснабжения относят системы газообмена и наддува дизелей. Обычно, повреждения этих систем приводят к ухудшению воздухоснабжения двигателя, уменьшению коэффициента избытка воздуха при сгорании (α), снижению экономичности индикаторного процесса и увеличению уровня теплонапряженности деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ).

Такого рода повреждения проявляются в виде постепенных отказов, выражающихся в медленном ухудшении параметров систем газообмена и наддува, или в виде внезапных отказов.

Постепенные отказы системы воздухоснабжения, и в частности, газотурбонагнетателя, связаны с загрязнением участков воздушного и газовыпускного трактов (воздушных фильтров ГТН, проточной части компрессора, воздушных холодильников, продувочного ресивера, продувочных и выпускных окон, предохранительных решеток турбины, соплового аппарата, лопаток турбинного колеса и т.д.) В результате увеличивается гидравлическое сопротивление тракта, возрастают потери давления продувочного воздуха, снижается эффективность ГТН. Это приводит не только к ухудшению индикаторного процесса и повышению

уровня тепловой напряженности дизеля, но и уменьшает запас ГТН по помпажу.

На причинах, вызывающих помпаж ГТН, как следствие загрязнений системы воздухоснабжения, целесообразно остановиться несколько подробнее, поскольку это наиболее характерные эксплуатационные причины. Чтобы уйти от помпажной зоны, приходится снижать мощность дизеля посредством уменьшения частоты вращения коленчатого вала или уменьшения цикловой подачи топлива. Опыт показывает, что для широкого круга главных двигателей с изменяемой частотой вращения снижение мощности от $N_{экспл}$, приводит к дальнейшему падению давления наддувочного воздуха Pk и к неизбежному попаданию в помпажную зону при долевых режимах нагрузки.

Аналогичное влияние имеет снижение нагрузки при загрязненной системе воздухоснабжения и для главных двигателей с неизменной частотой вращения (суда типа БАТМ, Атлантик -333 и др.).

Таким образом, снижение мощности двигателя следует рассматривать как вынужденную временную меру для предупреждения роста тепловой напряженности дизеля. Для предотвращения постепенных отказов, связанных с загрязнением газовоздушного тракта, достаточно поддерживать его чистоту промывкой проточной части компрессора турбины, воздухоохладителей.

Очевидным своими негативными последствиями является загрязнение приемных воздушных фильтров ГТН. Для предотвращения увеличения сопротивления фильтров необходимо промывать их и чистить не реже! раза в неделю (при запыленной, влажной и насыщенной масляными парами атмосфере периодичность промывок может быть увеличена). Для контроля за сопротивлением фильтра рекомендуется устанавливать на торцевой стенке фильтра-глушителя жидкостный дифференциальный манометр. Промывка загрязненной проточной части компрессора и направляющего аппарата водой или моющими средствами обычно не вызывает у обслуживающего персонала трудностей. Но начинать промывку (на ходу, без разборки ГТН) следует как можно раньше, пока отложения на лопатках колеса и диффузора еще не закоксовались.

Загрязнение воздухоохладителя приводит к повышению его воздушного сопротивления. Воздушный холодильник необходимо промывать приблизительно1 раз в полтора-два года эксплуатации.

Недооценка этого фактора нередко приводит к появлению помпажа даже при чистых прочных частях компрессора и турбины. Один из отказов по указанной причине будет рассмотрен ниже.

Здесь же ограничимся следующим напоминанием. При возникновении помпажа в результате загрязнения воздухоохладителя или всего

воздушного тракта часть воздуха выпускают из продувочного ресивера, уменьшая тем самым сопротивление в воздушном тракте.

Частота вращения двигателя может быть снижена и ГТН выйдет из зоны неустойчивой работы. Но выпуск воздуха из ресивера связан с уменьшением воздушного заряда в цилиндрах, и поэтому такой путь не может быть рекомендован в качестве постоянной меры для повышения устойчивости работы ГТН. Для предупреждения возникновения помпажа можно временно использовать перерегулировку топливных насосов высокого давления цилиндров, работающих на помпажный ГТН. Нагрузка на эти цилиндры должна быть несколько увеличена.

Помпаж, причиной которого является отложение нагара на лопатках или сопловом аппарате турбины.В этом случае занос проточной части турбины отложениями вызывается неисправностью форсунок и неправильным использованием топлив и цилиндрового масла. Последствия от неисправных форсунок, разрегулированных ТНВД, неправильного использования топлив весьма негативны.

Помпаж может быть вызван повреждениями элементов системы газовыпуска, износом и поломкой поршневых колец, экранов клапанов, пластин выпускных газовых заслонок. Редко, но отмечены случаи поломки защитных решеток турбины и попадание кусочков в проточную часть турбины. Последнее обстоятельство является причиной не только помпажа, но и поломки ГТН, что расценивается как внезапный отказ двигателя.

Чаще всего в анализируемых случаях отказов к помпажу приводила совокупность причин. Все они (а перечень этот далеко не полный) носят эксплуатационный характер и вызваны в той или иной мере нарушением Правил технической эксплуатации судовых технических средств.

Особое место в ряду отказов, приводящих к помпажу и повреждениям двигателей, занимают аварии, вызванные перегрузкой двигателей в целом или отдельных цилиндров. Эксплуатация двигателей с частыми пусками, экстренными реверсами, в зоне резонансных частот вращения, с нарушениями в системах смазки и охлаждения, с несоблюдением времени разгона и торможения двигателей на переходных режимах является, как показывают наблюдения, едва ли не основной причиной внезапных отказов систем воздухоснабжения и двигателя в целом.

При ближайшем рассмотрении причин постепенных отказов систем воздухоснабжения, в частности узлов ГТН, выяснилось, что в основе причин лежали все те же эксплуатационные факторы.

2. Характерные отказы систем воздухоснабжения

Причины отказов

Проточные части компрессоров и турбин. Отмечены загибы, вырывы кромок лопаток входного направляющего аппарата и рабочего колеса компрессора. Следствием указанных повреждений послужили прогибы вала, выход из строя подшипников. Следует правильно устанавливать базовый размер, задаваемый инструкциями по монтажу.

Появление микротрещин на рабочих лопатках турбин и выкрашивание выходных кромок – результат термической усталости металла и возникновения резонансных напряжений в лопатках при работе ГТН на неустойчивых режимах и при частых реверсах двигателя, когда разница в температурах выхлопных газов и пускового воздуха достигает 300-400°С.

Лабиринтные уплотнения. Причиной износа гребешков и увеличения зазора с компрессорной стороны, а также ухудшения условий укупорки воздухом является засорение канала, подводящего воздух на уплотнение.

Закоксование уплотнений со стороны турбины приводит к уменьшению зазоров, задеванию ротора о статорные части, к увеличению нагрузки на подшипники. Закоксование уплотнений следует определять при пусках и остановках ГТН. В случае значительного закоксования ротор ГТН может не страгиваться при пуске, при вращении испытывает торможение и при остановке прекращает вращение раньше, чем при чистых уплотнениях.

После остановки дизеля следует контролировать вращение ротора ГТН визуально и путем прослушивания.

Подшипники. Являются наиболее часто повреждаемыми узлами ГТН. Отказы подшипников обнаруживаются вследствие нарушений в системе смазки, проникновения газов в подшипниковые камеры, повреждения гребешков уплотнений, вибрации ротора и деформации вала. Отмечены случаи засорения масла загрязненными выхлопными газами, а также обводнение масла в подшипниковых камерах. Последнее обстоятельство вызвано нарушением режима охлаждения подшипниковых камер в случаях высокой влажности воздуха. Обводнение масла конденсатом имело место и через трещины в полостях охлаждения ГТН.

Отмечалось преждевременное ухудшение эксплуатационных качеств масла, что наряду с указанным уже контактом с газами свидетельствует и о неправильном выборе смазочного масла.

Воздухоочиститель часто оказывается загрязненным. При очистке фильтров нарушается периодичность. Между тем, опыт очистки ГТН в условиях эксплуатации значителен и недооценка своевременной

и регулярной очистки элементов ГТН и воздушных фильтров, в частности, никак не оправдана.

Воздухоохладитель. На судах типа РТМ-С «Прометей» в системе воздухоснабжения главного двигателя довольно часто отмечались постепенные отказы вследствие загрязнения воздухоохладителя. Он является существенным элементом воздушного тракта, его аэродинамическое сопротивление значительно. Находясь между первой (турбокомпрессор) и второй (механический нагнетатель) ступенями наддува, воздухоохладитель призван снижать температуру воздуха после ГТН почти до исходного значения. Поэтому загрязнение воздухоохладителя особенно с воздушной стороны, где эффективность теплоотдачи ниже. чем с водяной, совершенно недопустимо. Между тем, в пракике нередки нарушения периодичности водопромывки и очистки воздухоохладителя в условиях эксплуатации и чистки его в период профилактики.

Неплотности в воздушных и газовых трубопроводах довольно редки, но тем не менее встречаются. Неплотности обнаруживаются сразу же при смене режимов работы дизеля. Попытки локализовать утечки полумерами к успеху не приводят.

Постепенные отказы дизеля, вызванные влиянием внешних и ксплуатационных условий.

Анализ изменения (чаще всего в худшую сторону) параметров наддувочного воздуха и выхлопных газов показывают значительное влияние на эти параметры внешних условий. К таковым, в первую очередь, относятся температура воздуха на входе в компрессор, атмосферное даление и влажность воздуха, температура забортной воды и сопротивление движению судна.

Снижение давления наддувочного воздуха $P_к$ отмечалось при возратании температуры входного воздуха $T_{вх}$. Следует помнить, что снижение $P_к$ сопряжено с уменьшением плотности воздуха, снижением коэффициента избытка воздуха α, что при постоянной цикловой подаче топлива приводит к снижению давления и расхода газа через турбину и, как следствие. к уменьшению частоты вращения турбонагнетателя $n_{тк}$. Сопровождается это возрастанием температуры выпускных газов $T_{вых.г.}$, что и было отмечено целым рядом наблюдений.

Опыт эксплуатации судов типа СТР в тропической зоне показывает, что повышение $T_{вх}$ связано со снижением $n_{тк}$. Это обстоятельство в еще большей мере уменьшает $P_к$, а следовательно, вынуждает уменьшать подачу топлива для обеспечения бесперегрузочного режима дизеля.

В связи с отсутствием заградительных характеристик по теплонапряженности дизелей на судах указанного типа следует считать оправданным пристальное внимание к сохранению постоянной $T_{вых.г.}$ при работе

в тропиках путем уменьшения цикловой подачи топлива, что способствует снижению теплонапряженности деталей ЦПГ. Правда, такая мера сопровождается снижением мощности дизеля, а значит и скорости судна.

Влияние $T_{вх}$ на работу ГТН и дизеля особенно заметно в установках, где отсутствует воздухоохладитель в системе воздухоснабжения, что имеет место на СТР пр. 503. Здесь повышение $T_{вх}$ на 15-20°С может приводить к значительному снижению (на 14 – 15%) мощности дизеля.

С указанными обстоятельствами нужно считаться при выборе рациональных режимов работы судна на промысле.

Известно, что суда типа СТР пр. 503 эксплуатируются в тропической зоне довольно активно. Важнейшим фактором, ухудшающим экономические характеристики СЭУ и судна в целом, является интенсивное обрастание корпуса и «утяжеление» винтовой характеристики. При этом крутящий момент на винте увеличивается. И, если сохранять неизменной подведенную мощность, частота вращения винта и дизеля уменьшится. Для поддержания необходимой скорости требуется увеличение мощности, подводимой к винту, что неизбежно влечет за собой тепловую перегрузку двигателя и, как следствие, постепенные и далее – внезапные отказы.

На работе ГТН указанный фактор отражается следующим образом. При сохранении неизменной цикловой подачи топлива с уменьшением α возрастает $T_{вых.г.}$ перед турбиной и повышается частота вращения ГТН. Характеристика ГТН перемещается в область повышения $P_к$ и снижения расхода воздуха G_k и приближается к границе неустойчивой работы компрессора. Ухудшение качества рабочего процесса ГТН и дизеля очевидно.

Таким образом, при работе на «утяжеленной» винтовой характеристике для устранения перегрузки двигателя частоту вращения вала необходимо снижать, уменьшая подачу топлива. Соответственно ГТН будет работать с нормальными для данной нагрузки дизеля параметрами.

3. Мероприятия по предупреждению и предотвращению аварийности

В настоящем разделе система воздухоснабжения дизеля и ГТН, в частности, рассматривается как часть целого комплекса. Поэтому и рекомендации относятся ко всему комплексу дизель+ГТН.

В разделе, описывающем характер отказов и их причины, показаны и пути снижения аварийности систем воздухоснабжения. Тем не менее меры технологического, эксплуатационного, профилактического характера, несмотря на их очевидность, целесообразно привести вновь и среди них выделить следующие:

1) Соблюдение инструкций заводов-изготовителей по монтажу и демонтажу узлов ГТН. Это прежде всего относится к проверке и установке радиальных зазоров в подшипниках и осевого разбега ротора.
2) Сепарация масла перед подшипниковыми камерами. Это мероприятие может быть выполнимо при наполнении расходных масляных баков, при профилактике масляной системы.
3) Поворачивание ротора ГТН при его бездействии. Эта операция должна сопровождаться смазыванием подшипников, причем ротор всякий раз должен занимать новое положение.
4) Оборудование ГТН и газовоздушного тракта необходимыми контрольно-измерительными приборами для надежного контроля. Приборов должно быть достаточно для контроля за режимами охлаждения и смазки и за сопротивлением воздушного и газового трактов.
5) Своевременная и регулярная очистка ГТН и участков газовоздушного тракта способами безразборной очистки, в том числе и с помощью водопромывки.
6) Постоянный контроль за эксплуатационными режимами и согласованием нагрузки двигателя и ГТН. После длительной работы на долевых режимах целесообразны выход судна на полный ход и работа главных двигателей на режимах, близких к номинальной мощности, в течение нескольких часов
7) Обязательное наличие на судне характеристик ГТН и расходных характеристик дизеля, что является необходимым условием правильного технического использования дизеля.

Заключение

На основе опыта эксплуатации ГТН и систем воздухоснабжения судовых дизелей в целом рассмотрены характерные отказы и причины их возникновения. Представляется целесообразным для предупреждения и предотвращения аварийности эксплуатацию и техническое обслуживание ГТН и воздухоснабжающих элементов рассматривать в единой системе технического обслуживания судовых дизелей.

Литература

1. Сравнение систем наддува дизелей с помощью новых показателей. Реф. 1 № 181. В сб. Поршневые и газотурбинные двигатели. Экспресс-информация. М. ВИНИТИ, 1994, с. 3-16.

Wpłynęło do redakcji w lutym 2005 r.

Recenzenci

Prof. Dr.-Ing. habil. Dieter Troppens
dr hab. inż. Jerzy Listewnik, prof. AM

Adres Autora

doc. dr inż. Valery Kantalinsky
Kaliningradzki Państwowy Uniwersytet Techniczny (KGTU)
Sovetsky pr., 1, 236000 Kaliningrad, Rosja