

44. Pereira, Newton Narciso. "A Diagnostic of Diesel-Electric Propulsion for Ships." *Ship Science & Technology* 1.2 (2007): 27–42.
45. Katielieva, Elena. "Measures for improvement of energy efficiency of ships." *Journal of Marine Technology & Environment* 1 (2012): 59–66.
46. Juurmaa, Kimmo, Tom Mattsson, Noriyuki Sasaki, and Göran Wilkman. "The development of the double acting tanker for ice operation." *Proceedings of the 17th International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice*. 2002: 24–28.
47. Bolvashenkov, Igor, Hans-Georg Herzog, Alexander Rubinraut, and Victor V. Romanovskiy. "Possible Ways to Improve the Efficiency and Competitiveness of Modern Ships with Electric Propulsion Systems." *2014 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*. IEEE, 2014: 1–9. DOI: 10.1109/VPPC.2014.7007120.
48. Baniela, Santiago Iglesias, Pablo López Varela, and Enrique Melón Rodríguez. "Concept and operation mode of the advanced electronic control system of the azimuth propellers in tugs." *Journal of Maritime Research* 2.3 (2005): 3–20.
49. Keinonen, Arno, and Paavo Lohi. "Azimuth and multi purpose icebreaker technology for arctic and non-arctic offshore." *The Tenth International Offshore and Polar Engineering Conference*. International Society of Offshore and Polar Engineers, 2000.
50. Dordea, Stefan, and Elena Zburlea. "Electric drives for azimuth propulsors." *Analele Universitatii Maritime Constanta* 11.14 (2011): 177–184.
51. Ye, Guo-quan, and Lin-tao Shen. "Application of Azipod Electrical Propulsion System [J]." *Shanghai Shipbuilding* 1 (2007): 19–21.
52. Yakovlev, A. Yu. "Method of analysis and investigation of propulsive devices with counter-rotating propellers." *Shipbuilding* 2 (2008): 32–35.
53. SCHOTTEL. Web. 20 June 2016 < <http://www.Schottel.de>>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Иванченко Александр Андреевич —
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
prof_ivanchenko@mail.ru, IvanchenkoAA@gumrf.ru
Шишкин Валерий Александрович —
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
valshish2007@gmail.com, kaf_seu@gumrf.ru
Окунев Василий Николаевич —
кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
okunew@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ivanchenko Alexander Andreevich —
Dr. of Technical Sciences, professor.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
prof_ivanchenko@mail.ru, IvanchenkoAA@gumrf.ru
Shishkin Valery Alexandrovich —
Dr. of Technical Sciences, professor.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
valshish2007@gmail.com, kaf_seu@gumrf.ru
Okunev Vasily Nikolaevich —
PhD, associate professor.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
okunew@mail.ru

Статья поступила в редакцию 24 июня 2016 г.

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-176-183
УДК 621.43:629.5

В. Н. Кучеров

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ЦИЛИНДРОВЫХ ВТУЛОК ДВУХТАКТНОГО СРЕДНЕОБОРОТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВРАЩАЮЩИМСЯ ПОРШНЕМ

По результатам эксплуатации дизелей ZH40/48 выявлены преобладающие скорости изнашивания цилиндровых втулок в районе продувочных окон, которые определяют их ресурс. Проведены термоме-

трические исследования втулки. Зафиксированы температуры, превышающие допустимые значения. Выполнены расчеты теплового состояния втулки в поясе окон. Предложены варианты модернизации цилиндровой втулки и схемы ее охлаждения. Произведен расчет напряжений в районе уменьшения толщины теплопередающих стенок. Получено одобрение Регистра СССР на модернизацию цилиндровых втулок и схемы охлаждения. Выполнена модернизация цилиндровых втулок в двух вариантах. Проведены термометрические испытания втулок в составе двигателя в рейсе. Достигнуто уменьшение температуры стенок, эквивалентное снижению нагрузки дизеля на 30 %. Полученный уровень температур позволит обеспечить поддержание стабильной масляной пленки на перемычках окон и запас работоспособности при эксплуатационном ухудшении технического состояния поршневой группы, турбокомпрессора и топливной аппаратуры.

Ключевые слова: судовой двигатель, цилиндровая втулка, продувочные окна, износ, исследование, тепловое состояние, механические напряжения, модернизация, испытания.

Вводная часть

Среднеоборотные дизели (СОД) различных фирм со своими конструкционными особенностями получили широкое распространение на судах в качестве главных и вспомогательных двигателей. В настоящее время при высокой степени наддува СОД имеют преимущественно четырехтактное исполнение, которое обеспечивает более благоприятные условия для работы пар трения «втулка – поршневые кольца – канавки поршня» при сопоставимых энергетических показателях.

Двухтактные тронковые СОД моделей ZH были впервые разработаны фирмой «Зульцер» во второй половине 70-х гг. прошлого столетия, дизели имеют внутриканальное охлаждение верхней части втулки, четырехклапанную прямоточную систему продувки с принудительным вращением поршня вокруг вертикальной оси. В дальнейшем дизели с вращением поршня, разработанные для двухтактных ДВС, стали использоваться и на различных четырехтактных дизелях, разработанных фирмой «Зульцер». До настоящего времени фирма «Зульцер» успешно использует этот принцип на своих новых четырехтактных дизелях ZAS с увеличенным ходом поршня. Конструкционные особенности дизелей серии ZH, ZL, ZV, ZAS описаны в работах [1] – [5]. Показано тепловое состояние и механическое напряжение на поршнях по результатам исследований фирмы «Зульцер». По данным технической службы Дальневосточного пароходства, интенсивное изнашивание перемычек окон двигателей ZH наблюдалось в пароходствах Балтийского и Мурманского бассейнов. Исследования теплового состояния втулок в верхнем поясе и в районе продувочных окон не выполнялись.

В Дальневосточном бассейне наряду с четырёхтактными двигателями эксплуатируется большое количество двухтактных СОД типа ZH 40/48 и ZL 40/48 фирмы «Зульцер», которые установлены на ледоколах типа «Ермак» и «Капитан Хлебников». Серия л/к «Капитан Хлебников» эксплуатируется в Балтийском и Мурманском бассейнах. Только на судах типа «Ермак» установлено девять двигателей 12ZH 40/48 номинальной мощностью по 3383 кВт и $n = 380 \text{ мин}^{-1}$ с общим числом цилиндров — 109 единиц. На ледоколах типа «Капитан Хлебников» установлены шесть главных двигателей под маркой 9ZL40/48 с $p_e = 3050 \text{ кВт}$ при номинальной частоте вращения 430 мин^{-1} . Дизель модели ZL конструктивно аналогичен модели ZH, но имеет более высокую форсировку (на 20 %), в основном за счёт увеличения частоты вращения с 380 до 430 мин^{-1} соответственно.

Отмечено, что на всех двигателях л/к «Ермак» в первые 10 тыс. ч эксплуатации особых замечаний в работе цилиндропоршневой группы (ЦПГ) не наблюдалось, кроме периодической замены поршневых колец из-за их износа. После наработки 13,8 тыс. ч почти на всех дизелях стал выявляться износ цилиндрических втулок в районе продувочных окон, преимущественно со стороны газовыпуска (правый борт). При наработке, близкой к 17 тыс. ч, участились поломки колец в связи с большим износом канавок в головках поршней, а в последующем — сильные повреждения и изломы перемычек по тем же причинам. Тщательное обследование ряда втулок показало, что помимо изнашивания перемычек окон с одинаковой интенсивностью изнашивается и верхний пояс

цилиндровых втулок. Поскольку допускаемый износ втулки в верхнем поясе составляет 1,8 мм, а в районе окон только 0,6 мм, ресурс цилиндрической втулки определяет именно зона перемычек нижнего пояса. Износы ассиметричны и имеют большее значение в плоскости «борт – борт», что закономерно для тронкового дизеля.

Выполненный анализ характера изнашивания цилиндрических втулок на л/к «Адмирал Макаров» и «Капитан Хлебников» показали общность эпюр износа (рис. 1). После наработки 23 тыс. ч на л/к «Ермак» возникла потребность в замене 40 цилиндрических втулок, износ которых в районе окон значительно превышал допустимый и в ряде случаев приближался к 2 мм.

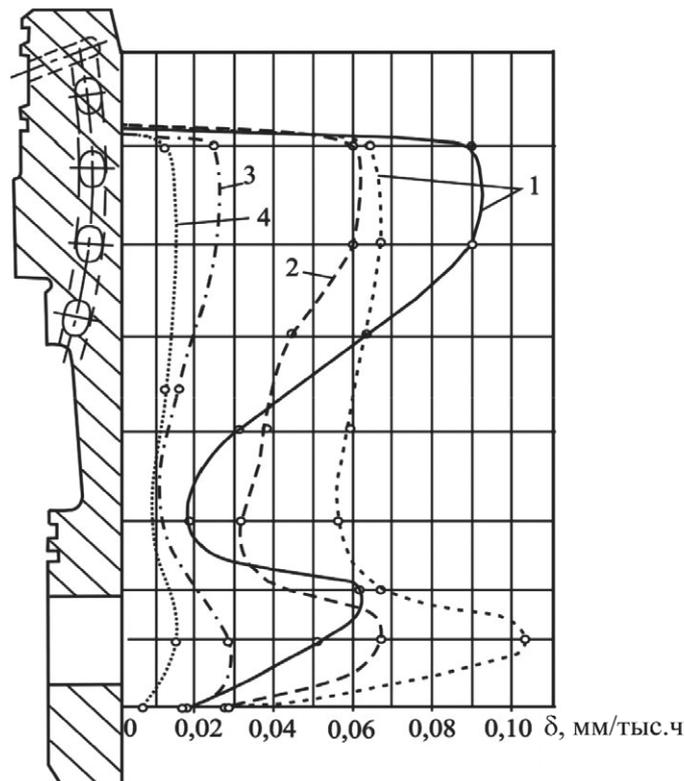


Рис. 1. Характер износа цилиндрических втулок по высоте в плоскости «борт — борт»:

- 1 — л/к «Ермак», $\tau = 21800$ ч; 2 — л/к Макаров;
3 — л/к «Капитан Хлебников», ГД2, $\tau = 14500$ ч; ГД6, $\tau = 13300$ ч;
4 — л/к «Капитан Хлебников», ГД3, ГД6, $\tau = 6000$ ч

Проведенные термометрические измерения и расчеты температурных полей на цилиндрической втулке л/к «Ермак» показали рабочие температуры на перемычках окон на уровне 135 °С (ГД2, цилиндр № 7), которые значительно превышают значения температур в этой зоне для судовых МОД с прямоточно-клапанной продувкой. Считается, что температура втулки в районе перемычек окон, согласно условиям стабильности масляной пленки и отсутствия интенсивного изнашивания, не должна превышать 120 °С [6]. Повышению температуры втулки у окон способствует большое термическое сопротивление теплопроводности массивного пояса у окон, односторонний подвод и отсутствие организованного циркуляционного контура охлаждающей жидкости. Старение двигателя, турбонагнетателя, износ втулок, канавок поршней, тронков и поршневых колец способствуют активизации процессов изнашивания в зоне окон, которые резко прогрессировали после наработки 12 – 14 тыс. ч.

Основная часть

Анализ особенностей конструкции втулки и зафиксированные при измерениях на л/к «Ермак» высокие значения температур в зоне окон, полученные моделированием температурных

полей [7], [8] на втулке в поясе интенсивных износов в районе окон, доказали истинность идеи о вероятной тепловой перегрузке втулки в районе перемычек продувочных окон, которая интенсифицируется по мере увеличения зазоров в цилиндре, канавках поршней и износах колец. Специфическое влияние на тепловое состояние втулки тронковых двухтактных ДВС у окон создает эффект зазора, который возрастает по мере изнашивания втулки и тронка (рис. 2). В момент открытия первым поршневым кольцом кромки продувочных окон нормальная сила N у правой модели прижимает поршень к левому борту втулки, увеличивая сечение зазора и рост теплового потока с правого борта, обусловленного прорывом газа. Сдувание масляной пленки, асимметричный рост температуры, деформация втулки и перемычек приводят к интенсификации износов втулок у окон с правого борта. Тепловое состояние втулки у окон определяется условиями как нагружения, так и охлаждения. Односторонний подвод жидкости турбулизирует поток также с правого борта. Далее поток направляется по диагональным траекториям к охлаждающим каналам левого борта, где могут появляться участки с различной, в том числе низкой, скоростью движения, которые провоцируют появление кавитационных разрушений на втулке с левого борта над верхним резиновым уплотнительным кольцом и в его канавке.

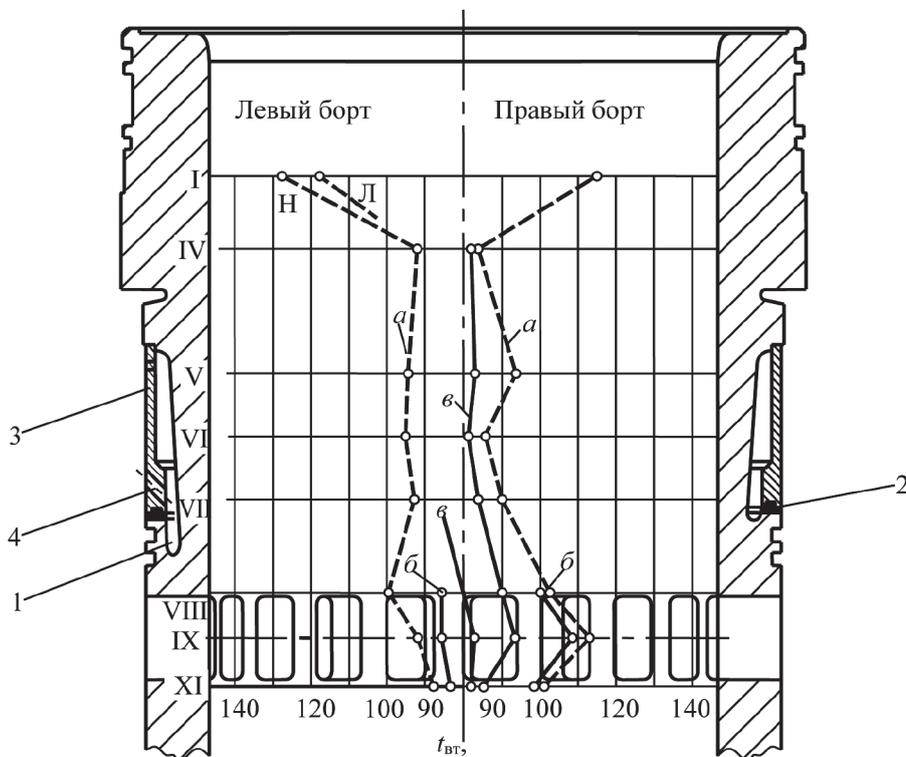


Рис. 2. Варианты модернизации втулок и температурные поля:

- 1 — полная модернизация; 2 — частичная модернизация; 3 — вставка; 4 — направляющие каналы;
- а — температурное поле штатной втулки цилиндра № 11;
- б — поле температур втулки цилиндра № 6 — частичная модернизация;
- в — полная модернизация втулки № 11;
- Л — значение температуры штатной втулки в районе остановки первого кольца в ВМТ (сечение «левый борт»); Н — сечение «нос»

Как показали измерения, значительная асимметрия температуры по правому борту не компенсируется большей турбулизацией потока охлаждающей жидкости в силу большого термического сопротивления стенки окон. Для уменьшения тепловой напряженности втулки были разработаны и выполнены два проекта модернизации втулок: *основной* с уменьшением толщины стенки над окнами на 32 мм и организацией направленного кругового движения жидкости над окнами (см. рис. 2, поз. 1, 3), втулка цилиндра № 11 [9] – [11] и *упрощенный*. Упрощенный вариант (ча-

стичная модернизация) выполнен на втулке цилиндра № 6 (см. рис. 2, поз. 2). В этом проекте нет проточки втулки над окнами, имеется только цилиндрическая вставка (см. рис. 2, поз. 3), создающая только эффект турбулизации и выравнивания скорости потока охлаждающей жидкости при ее круговом движении в полости над окнами, который должен предотвратить развитие кавитации со стороны левого борта. В результате в упрощенном варианте частичной модернизации получено уменьшение температуры на перемычках со стороны правого борта на 3 °С и левого — на 14 °С. В обоих вариантах модернизации вокруг пояса окон устанавливается разработанная автором цилиндрическая вставка (А. С. SU 1523699 А1) с равномерно расположенными по окружности наклонными каналами для закручивания и равномерной активизации потока в поясе над окнами.

Обсуждение основных результатов исследования

Контрольная штатная втулка № 7 была оснащена в период докового ремонта и испытана до проведения большого текущего ремонта. Ввиду досрочного выхода л/к «Ермак» в Арктику, установить модернизированные втулки не удалось. После завершения арктической навигации на Владивостокском судоремонтном заводе был выполнен большой ремонт дизелей с заменой головок поршней и восстановлением зазоров в канавках, а также ревизией турбокомпрессоров и топливной аппаратуры, который существенно изменил температуры втулок у окон. В результате проведенного на Владивостокском судоремонтном заводе ремонта на контрольной втулке № 7 средняя температура в восьмом поясе уменьшилась на 17 °С с левого борта и на 19 °С со стороны зазора. В верхнем поясе втулки падение температуры после ремонта не превышало 3 °С в связи с сильным переохлаждением штатных втулок (рис. 3).

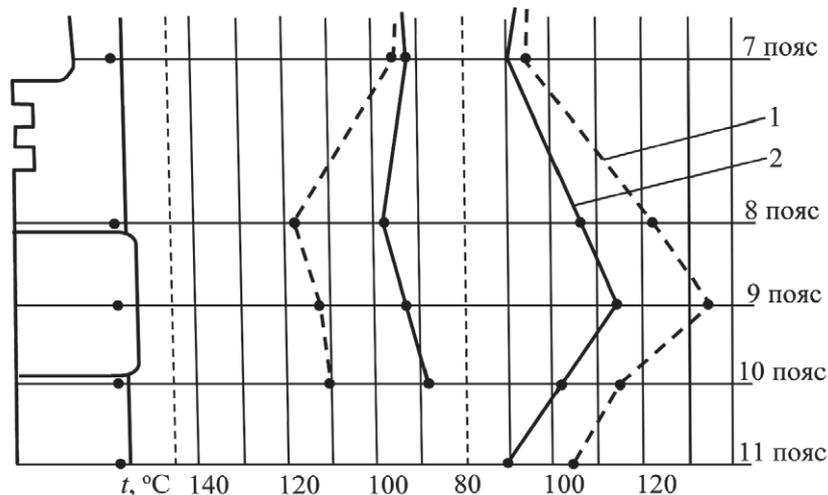


Рис. 3. Характер изменения температуры контрольной втулки цилиндра до ремонта и после ремонта:
7-й пояс — температуры цилиндрических втулок на уровне установки цилиндрической вставки;
8-й пояс — температуры цилиндрических втулок над продувочными окнами;
9-й пояс — то же центру перемычек продувочных окон; 10-й пояс — то же под продувочными окнами;
11-й пояс — то же в положении остановки первого поршневого кольца в НМТ

Основные термометрические и тензометрические (в зонах проточек) испытания проводились на л/к «Ермак» в зимнем рейсе в порт Анадырь после большого ремонта ЦПГ. В целом термометрические измерения выполнялись на пяти втулках ГД № 2 (правая модель) в девяти поясах по высоте втулки с общим числом установленных термопар около 90 шт., где пояс 1 — положение первого кольца в ВМТ, пояс 4 — четвертое кольцо в ВМТ и т. д. В зависимости от решаемой задачи устанавливались термопары по сокращенной или полной схеме (правый борт, левый борт, нос, корма).

Штатная втулка цилиндра № 7 (контрольная) отработала к этому времени 24,4 тыс. ч и имела износ в верхнем поясе «борт – борт» 1,1 мм, в плоскости «нос – корма» — 0,75 мм и в зоне окон — 1,0 мм, соответственно в плоскости «нос – корма» — 0,75, 0,22, 0,70 мм. Цилиндр № 11 — полная

модернизация втулки с проточкой 32 мм у окон — отработала 23,4 тыс. ч. Износ в верхнем поясе «по ходу» составил 2,15 мм, «по оси» — 1,25; в поясе окон «по ходу» — 1,15 – 1,45, «по оси» — 0,7 – 1,1 мм. Цилиндр № 6 (частичная модернизация) — втулка отработала до модернизации около 23,4 тыс. ч, износ в верхнем поясе «по ходу» составил 1,3 мм, «по оси» — 0,4 мм, в районе окон — 0,67 и 0,50 мм соответственно. Цилиндр № 10 2Д № 3 л/к «Адмирал Макаров» — левая модель дизеля. Цилиндр № 12 — импортная новая втулка с уменьшенным числом охлаждающих сверлений.

Цилиндровые втулки построечного комплекта в верхнем поясе имели 44 тангенциальных охлаждающих канала диаметром 12 мм с неоправданно малым шагом (около 35 мм). Значения температур в районе первого кольца в ВМТ (пояс 1) составили 115, 122, 128 °С. Минимальное значение – 105 °С, максимальное (единичное) — 130 °С в режиме номинальной нагрузки. Низкие температуры (около 100 °С) в режиме $0,9p_{ен}$ predisполагают втулки к кислотной коррозии и росту потерь на трение в связи с повышенной вязкостью масла в паре трения.

Новое поступление втулок при замене сорока единиц имели уже 36 каналов с увеличением шага сверлений в 1,22 раза при неизменной активной толщине стенок. На одной из таких втулок (цилиндр № 12) были установлены термодатчики в районе первого и четвертого кольца при положении поршня в ВМТ.

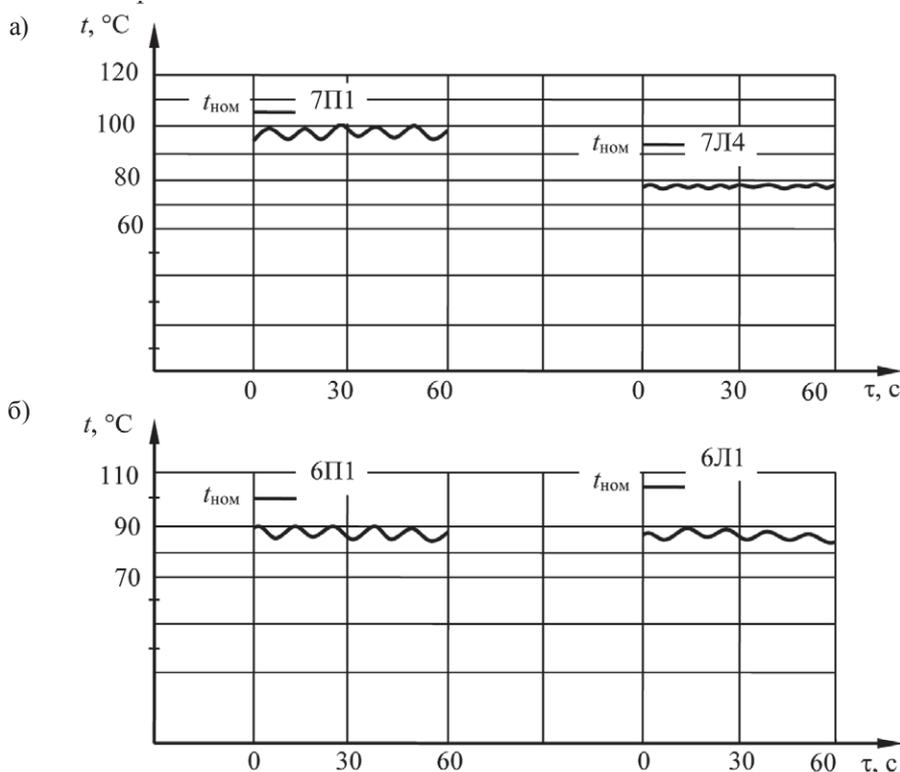


Рис. 4. Характер изменения температуры втулок цилиндров № 7 и 6
 а — в верхнем поясе (первое кольцо в ВМТ); б — 7Л4 в районе кольца № 4 в ВМТ

Как показали измерения, значения температуры в верхнем поясе не отличаются от соответствующих значений штатных втулок, шаг сверления остается малым. Сопутствующими факторами низких температур являются идеальная чистота охлаждающих сверлений с благоприятной для коэффициента теплоотдачи шероховатостью каналов и минимальные зазоры в паре «втулка – поршень». Вращающийся поршень совершает 6 – 11 об/мин вокруг вертикальной оси у различных дизелей. Технические решения о принудительном вращении поршня отразились на идеально ровном распределении температур, напряжений и деформаций по окружности зеркала без обычных «выбогов» температуры на втулке в районе замков кольца и при схождении замков на всех дизелях других типов (рис. 4).

Выводы

1. Измерения, проведенные на модернизированных втулках, показали уменьшение температуры стенки на перемычках в среднем на 15 °С, что эквивалентно уменьшению нагрузки дизеля на 30 %. Это позволяет компенсировать возрастающий тепловой поток из-за ухудшения состояния деталей ЦПГ по мере их изнашивания и снижения тепловой напряженности в условиях резкого нагружения дизелей при работе ледокола в тяжелых льдах.

2. Вращающийся поршень проводит во вращательное движение поршневые кольца. В результате локальный перегрев втулки, обусловленный прорывом газов через замок кольца, и связанные с этим температурные напряжения и деформации цилиндрической втулки исключаются.

3. Вращение колец снижает также тепловую нагрузку колец в районе замка, увеличивая рабочие характеристики материала колец, повышает стабильность масляной пленки в паре трения и уменьшает скорость изнашивания втулки и колец.

4. Выравнивание скорости движения жидкости в круговой полости под цилиндрической вставкой втулки должно устранить причины кавитационных разрушений втулки с левого борта (на противоположной стороне подвода охлаждающей жидкости) и в районе уплотнительных каналов под резиновыми кольцами.

5. Для повышения качества рабочего процесса и уменьшения опасности сернокислотной коррозии на режимах холостого хода и долевых нагрузках следует повышать до максимальных значений температуру продувочного воздуха и охлаждающей воды.

6. Повышение температуры охлаждающей жидкости с 50 до 60 °С увеличивает температуру в поясе 1 на 10 – 12 °С, а по перемычкам окон в поясе 9 — на 4 °С у штатных втулок.

7. Повышение температуры продувочного воздуха с 20 до 52 °С увеличивает температуру втулок в поясе 1 и поясе 9 по центру перемычки на 10 – 12 °С.

8. Как показали исследования и расчеты, безопасную в отношении кислотной коррозии температуру около 160 °С в верхнем поясе можно получить при применении 28 простых наклонных каналов диаметром 12 мм, вместо 44 сложных тангенциальных. Этот проект был одобрен Регистром СССР, а Находкинский судоремонтный завод начал подготовку к производству втулок, но все работы закончились с наступлением «перестройки».

9. По результатам исследований получено авторское свидетельство на модернизацию цилиндрической втулки и схему ее охлаждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конкс Г. А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта: учебн. пособие / Г. А. Конкс, В. А. Лашко. — М.: Машиностроение, 2005. — 512 с.
2. Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания / И. В. Возницкий. — СПб.: Моркнига, 2007. — 285 с.
3. Конкс Г. А. Поршневые ДВС. Современные принципы конструирования: учеб. пособие / Г. А. Конкс, В. А. Лашко. — Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2006. — 560 с.
4. Возницкий И. В. Современные судовые среднеоборотные двигатели: учеб. пособие / И. В. Возницкий. — СПб., 2003. — 138 с.
5. Чайнов Н. Д. Конструирование двигателей внутреннего сгорания: учебник / Н. Д. Чайнов, Н. А. Иващенко, А. Н. Краснокутский, Л. Л. Мягков. — М.: Машиностроение, 2011. — 496 с.
6. Камкин С. В. О влиянии температур зеркала цилиндра на интенсивность износа втулок судовых дизелей с турбонаддувом / С. В. Камкин // Судовые силовые установки. — 1968. — № 7. — С. 54–56.
7. Чайнов Н. Д. Численное моделирование движения жидкости в полости охлаждения крышки цилиндра среднеоборотного дизеля / Н. Д. Чайнов, Л. Л. Мягков, Н. С. Маластовский // Грузовик. — 2015. — № 5. — С. 4–8.
8. Руссинковский С. Ю. 3-D моделирование граничных условий теплообмена при расчете теплового состояния деталей цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания // С. Ю. Руссинковский, Н. Д. Чайнов // Двигателестроение. — 2013. — № 4. — С. 3–8.

9. Кучеров В. Н. Тепловая напряжённость цилиндровой втулки дизеля ZH40/48 в поясе продувочных окон / В. Н. Кучеров, М. В. Флорианская // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2011. — № 1. — С. 176–180.

10. Шабров Н. Н. Метод конечных элементов в расчётах деталей тепловых двигателей / Н. Н. Шабров. — Л.: Машиностроение, 1983. — 212 с.

11. Чайнов Н. Д. Конечно-элементная модель анализа напряженно-деформированного состояния деталей, образующих газовый стык среднеоборотного дизеля, от монтажных нагрузок / Н. Д. Чайнов, А. Н. Краснокутский, А. В. Капшуков // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н. Э. Баумана. — 2015. — № 11. — С. 72–91. DOI: 10.7463/1115.0825549.

INVESTIGATION HEAT LOAD AND MODERNIZATION CYLINDER LINER TWO STROKE MEDIUM SPEED DIESEL ENGINE WITH ROTATING PISTON

According service data excessive wearing rate was reviled on cylinder liners scavenging port's ZH40/48 diesels. Thermo investigation showed excessive temperature on scavenging ports area. Calculations of heat condition and mechanical stresses were worked out to make modernization cylinder liner and cooling system around scavenging ports. Measurement of temperature condition modified cylinder liners showed reduce thermal load complied 30 % drop of engine power.

Keywords: diesel engine, cylinder liners, scavenging ports, wearing, investigation, heat condition, mechanical stress, thermal measurement, modernization, thermal loads.

REFERENCES

1. Konks, G. A., and V. A. Lashko. *Mirovye sudovye dizelestroenie. Konceptii konstruirovaniya, analiz mezhdunarodnogo opyta. Uchebnoe posobie*. M.: Mashinostroenie, 2005.

2. Voznicij, I. V. *Sudovye dvigateli vnutrennego sgoraniya*. SPb.: Morkniga, 2007.

3. Konks, G. A., and V. A. Lashko. *Porshnevye DVS. Sovremennye principy konstruirovaniya: uchebnoe posobie*. Habarovsk: izd-vo Tihookean. gos. un-ta, 2006.

4. Voznickij, I. V. *Sovremennye sudovye sredneoborotnye dvigateli: uchebn. posobie*. SPb., 2003.

5. Chajnov, N. D., N. A. Ivashhenko, A. N. Krasnokutskij, and L. L. Mjagkov. *Konstruirovaniye dvigatelej vnutrennego sgoraniya. Uchebnyk*. M.: Mashinostroenie, 2011.

6. Kamkin, S. V. "O vlijanii temperatur zerkala cilindra na intensivnost iznosa vtulok sudovyh dizelej s turbonadduvom." *Sudovye silovye ustanovki* 7 (1968): 54–56.

7. Chajnov, N. D., L. L. Myagkov, and N. S. Malastovsky. "Numerical modeling of the movement of liquid in a cavity of cooling of a cover of the cylinder of the sredneoborotny diesel." *Gruzovik* 5 (2015): 4–8.

8. Russinkovsky, S. Yu., and N. D. Chainov. "3-D Simulation of Heat Exchange Boundary Conditions as a Means of Piston Block Parts' Thermal Analysis." *Dvigatolestroyeniye* 4 (2013): 3–8.

9. Kucherov, V. N., and M. V. Florianskaya. "Heat condition zone of scavenging ports cylinder liner ZH40/48 diesel." *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dalnego Vostoka* 1 (2011): 176–180.

10. Shabrov, N. N. *Metod konechnykh jelementov v raschjotah detalej teplovyh dvigatelej*. L.: Mashinostroenie, 1983.

11. Chainov, N. D., A. N. Krasnokutskii, and A. V. Kapshukov. "Finite Element Model to Analyze an Installation Load-based Stress-Strain State of the Parts Forming Gas Joint of a Medium-Speed Diesel Engine." *Science and Education of Bauman MSTU* 11 (2015): 72–91. DOI: 10.7463/1115.0825549.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Кучеров Владимир Никанорович —
 кандидат технических наук, профессор.
 ФГБОУ ВО «Морской государственный
 университет им. адм. Г.И. Невельского»
 Nadezkin@msun.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kucherov Vladimir Nikanorovich —
 PhD, professor.
 Maritime state university named after
 adm. G. A. Nevelskoy
 Nadezkin@msun.ru