

**ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СУДОВЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ  
И ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ТЕПЛООБМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
АППАРАТОВ, УСТАНОВЛЕННЫХ НА МОРСКИХ СУДАХ**

Затраты на эксплуатацию СЭУ достигают 60–70 % общих затрат по судну, стоимость расходуемого топлива составляет 50 % и более стоимости морских перевозок. Однако общая оценка СЭУ, в том числе и экономическая, определяется не только топливной экономичностью. В число важнейших показателей входят надежность, простота и экономичность ТО (технического обслуживания) и другие. Задачи повышения надежности как СЭУ, так и других элементов, систем и агрегатов судна обусловлены общей проблемой повышения эффективности флота, которая на современном этапе, в условиях постоянного роста цен на жидкое топливо и высокую конкуренцию, имеет непреходящее значение и актуальность.

В процессе эксплуатации судна проявляются такие факторы, как условия внешней среды, задание, характер рейса и район плавания, квалификация персонала, срок службы судна, уровень оплаты труда и другие. Однако общие закономерности и взаимосвязи между элементами судового оборудования и СЭУ для судна, как сложной технической системы типа «силовая установка – подвижная платформа» представляется достаточно универсальным.

Повсеместный переход на дизели как основные двигатели СЭУ привел к высокой степени унификации типов и схем судовых энергетических установок. При этом процесс углубления унификации систем продолжается, что пока является резервом дальнейшего повышения эксплуатационных качеств судна в целом.

Одним из наиболее распространенных типов оборудования на всех судах являются теплообменники. Это холодильники главного и вспомогательных двигателей, воздухо- и маслоохладители, испарители, конденсаторы, воздухоочистители, калориферы холодильников, рефрижераторных систем и систем вентиляции и кондиционирования воздуха, теплообменники теплоутилизационных контуров.

В ряде публикаций [1,2,3] отмечается часто массовый характер отказов водо-, масло-, воздухоохладителей судовых дизелей, причем некоторые из отказов теплообменников приводят к вынужденным остановкам судна в море. Анализ данных [1] показывает, что наибольшее число отказов воздухоохладителей дизелей 6ЧН 18/22, MAN K8Z 70/120E, 16 ZV 40/48. Ремонт устанавливаемых ранее кожухотрубчатых теплообменников требует больших трудозатрат, а главное времени. Практика эксплуатации кожухотрубчатых ТА показала большое количество отказов, причем наибольшее число из них приходится на охладители циркуляционного масла, воды, охладителя масла турбокомпрессора и подогревателя тяжелого топлива главных двигателей. Во многих случаях теплообменники приходилось заменять новыми после 2–3-х лет эксплуатации, причем отличаются отдельные случаи выхода из строя после 1–5 тыс. часов работы теплообменника. Поэтому в последние 10–15 лет как на новых судах, так и при капитальном ремонте ранее спущенных судов, устанавливают пластинчатые теплообменники, преимуществами которых являются:

- высокая компактность (по сравнению с кожухотрубными в 4–6 раз меньше);
- ремонтпригодность;
- технологичность при обслуживании.

Однако, практически во всех доступных источниках отмечается в качестве характерной неисправности, приводящей фактически к отказу – ухудшение теплопередачи в результате отложений на теплообменной поверхности [1,3].

С учетом этого профилактическое обслуживание, когда в соответствии с условиями функционирования планируются вскрытия ПТА, очистка поверхности, диагностика состояния пластин и прокладок с возможной предупредительной частичной заменой, представляющее собой нетрудоёмкий восстановительный ремонт, позволяет повысить надежность как теплообменного оборудования, так и судна в целом, и практически исключить остановку судна в море по причине отказа теплообменного оборудования СЭУ. Здесь уместно отметить, что основные убытки при эксплуатации судов (более 60 % общих финансовых потерь) вызваны простоем судов [1].

Кроме этого, до настоящего времени не уделяется достаточного внимания решению задач по рациональному выбору эксплуатационных режимов и соответствующих им систем технического обслуживания. Вместе с тем, представляется понятным, что рациональное использование технических и эксплуатационных резервов наряду со своевременным проведением профилактических мероприятий в совокупности обеспечивают снижение затрат и повышение эффективности эксплуатации судна. При этом значительные и ещё не в полной мере используемые резервы скрыты в полной утилизации теплоты газов и охлаждающей воды.

Пластинчатые теплообменные аппараты, устанавливаемые на морских судах – холодильники главных и вспомогательных двигателей, масло- и воздухоохладители, испарители и конденсаторы – конструктивно и по типу устанавливаемых пластин не отличаются от таковых, применяемых в энергетике, технологических процессах, коммунальном хозяйстве в системах отопления и горячего водоснабжения. Более того, теплогидравлические режимы работы этих теплообменников для соответствующих типов из унифицированного ряда сходны, что позволяет использовать для определения термического сопротивления отложений выявленную зависимость [5] от скорости воды и времени работы теплообменника

$$R_3(\tau, W) = (3,74 - 3,075W) \cdot 10^{-6} \sqrt{\tau} . \quad (1)$$

Однако, следует отметить, что несмотря на указанную общность существует ряд особенностей для ПТА работающих на морских судах.

Всю совокупность морских судов можно разделить на две группы:

1. С пластинчатыми теплообменниками и;
2. С кожухотрубными и другими типами.

Пластинчатые теплообменники устанавливаются предпочтительно фирмы Альфа-Лаваль (по данным Альфа-Лаваль около 67 % судов оборудуются ПТА этой фирмы) последние 15 лет на новых судах. Суда более ранней постройки в процессе проведения ремонтных работ постепенно переоснащаются [1].

В 1997 году в результате общей аварии на т/х «Володимир Савельев», ущерб 600000 USD, заменили кожухотрубные холодильники главных двигателей SKL, на пластинчатые теплообменные холодильники фирмы АЛЬФА-Лаваль. И затем на всей серии судов 5 корпусов типа «ДЕСНА», постройки судостроительной верфи NAVOL с 1997 по 2002 г.г.

В 1999г в результате износа кожухотрубных холодильников вспомогательных двигателей VALMET, сложности ремонта, заменили на ПТА Альфа-Лаваль.

В тоже время все эти суда являются собственностью различных судоходных компаний и государств и поэтому организация опроса технически затруднительна. С другой стороны, не на всех морских судах обслуживание ПТА выполняется экипажами, в обязанности которого, причем, не входит оценка состояния поверхности теплообменника если она не повреждена (течь, негерметичность) и уж подавно оформление опросной карты.

Сервисная служба фирмы Альфа-Лаваль неохотно делится с данными, имеющимися у них поскольку увеличение межсервисных сроков сокращает число обслуживаний в ходе жизненного цикла, что снижает доход компании и уменьшает занятость персонала.

Тем не менее, отдельные данные по ПТА, установленным на морских судах были получены. Это суда типа «ДЕСНА» построенные на судовой верфи NAVOL г.Олтеница, Румыния, поднадзорны Germanischer Lloyd. Серия из 5 корпусов с 1997 по 2002. На которых ПТА Альфа-Лаваль установлены в качестве двух холодильников для главных двигателей SKL, и три холодильника для вспомогательных двигателей VALMET.

При этом основной задачей являлось определение влияния солёности воды на изменение интенсивности роста термического сопротивления отложений.

Методически эта задача решалась следующим образом. Считали, что вновь установленный теплообменник соответствует показателям по температурам воды на входе и выходе как для морской, так и для циркуляционной воды, площадь теплопередающей поверхности ПТА  $F_{то}$  и соответствующие коэффициенты теплоотдачи ( $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ ) известны. Тогда, через  $\tau$  часов работы температуры на выходе из ПТА изменятся и будут составлять  $t_{1\tau}$  и  $t_{2\tau}$ , что приведет к изменению среднелогарифмического температурного напора  $\Delta t_{cp}$ . При этом появятся термические сопротивления отложений как со стороны циркуляционной воды  $R_{31}$ , так и морской  $R_{32}$ . Величина  $R_{31}$  определялась по установленному соотношению (1) по времени работы ПТА  $\tau$  и скорости циркуляционной воды  $W_1$ , тогда в коэффициенте теплопередачи неизвестной величиной является  $R_{32}$ .

$$k(\tau) = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{31}(\tau)}{\lambda_{31}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{32}(\tau)}{\lambda_{32}}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} + R_{31}(\tau) + R_{32}(\tau)} . \quad (2)$$

Эта величина определялась путем совместного решения уравнений теплового баланса и теплопередачи в виде:

$$k(\tau)F\Delta t_{cp} = G_1 c_{p1}(t_{1\tau}'' - t_1') \quad (3)$$

Откуда

$$R_{32} = \frac{1}{\frac{F\Delta t_{cp}}{G_1 c_p (t_{1\tau}'' - t_1')} - \left[ \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{(3.74 - 3.075W)10^{-6}\sqrt{\tau}} \right]}. \quad (4)$$

Сравнение полученных результатов термического сопротивления отложений из морской воды с зависимостью (1) показало, что для соответственных периодов наработки ПТА ( $\tau$ ), термическое сопротивление отложений для морской воды на (5–7...11 %) выше, чем для не морской воды. Можно предположить, что это связано с наличием в морской воде солей и биоорганизмов. Так при средней концентрации солей 35г на 1кг воды, солёность воды колеблется в широких пределах от 6–8 ‰ в Балтийском море и до 26 ‰ (Белое море) и даже 40 ‰ (Красное море). Кроме того, солёность морской воды меняется и с сезоном, что учитывается на грузовой марке судна [4].

Состав солей также неоднороден, так хлориды составляют ~ 88,7 %, сульфаты – 10,8 %, карбонаты – до 0,3 %, остальные ~ 0,2 %. Изменение солёности отражается на плотности морской воды, так, например при содержании солей 27 % плотность воды составляет 1,180 кг/м<sup>3</sup>(Каспий). Сопоставление данных об изменении термического сопротивления от времени работы ПТА и скорости теплоносителя с анализом данных об условиях использования судна привели к выводу о том, что изменение термического сопротивления пропорционально отношению  $\frac{\rho_{м.в.}}{\rho_0}$ , где  $\rho_{м.в.}$  и  $\rho_0$  – плотности морской (солёной) и «чистой» воды соответственно.

С учетом этого в выражение (1) был введен поправочный коэффициент для морской (солёной) воды и это выражение уже как для морской, так и для обычной воды записывается в виде:

$$R_3(W; \tau) = \frac{\rho_{м.в.}}{\rho_0} (3,74 - 3,075W) \cdot 10^{-6} \sqrt{\tau}. \quad (5)$$

Как видно из (5) при использовании обычной воды  $\rho_{м.в.} = \rho_0$  и тогда выражение (5) преобразуется в выражение (1). Таким образом выражение (5) носит универсальный характер и может применяться для оценки термического сопротивления слоя отложений в зависимости от скорости теплоносителя ( $W$ ) и времени работы ПТА ( $\tau$ ) как для морской, так и для пресной воды.

#### Литература

1. Овсянников М.К., Петухов В.А. Судовые дизельные установки: Справочник – Л.: Судостроение, 1986.424 с., ил.
2. Справочник по теплообменникам: В 2т. Пер. с англ. Под ред. Б.С. Петухова, В.К. Шикова. – М Энергоатомиздат, 1987.
3. Ермилов В.Г. Теплообменные аппараты и конденсационные установки: – Л.: Судостроение, 1974.
4. Новиков А.И., Зиньковский-Горбатенко В.Г., Кот В.П. Грузовая марка морских судов / А.И. Новиков, В.Г. Зиньковский-Горбатенко, В.П. Кот: Учебное пособие, – Севастополь: Издатель Кручинин Л.Ю., 2006 – 160 е.; ил.
5. Nipko O., Gogenko A., Arsenyeva O., Kapystenko P. Accountin for fouling in plate heat exchanger design \ Chemical engineering transactions. Vol.12, 2007. pp. 207–212. ISBN 88-901915-4-6.

УДК 621.165

Савченко В.А.

#### **ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ СУДНОВИХ ТЕПЛОБМІННИКІВ І ОСОБЛИВОСТІ МОНІТОРІНГУ СТАНУ ТЕПЛОБМІННОЇ ПОВЕРХНІ АПАРАТІВ, ЩО УСТАНОВЛЕНО НА МОРСЬКИХ СУДАХ**

У роботі розглянуто питання, що пов'язано з вибором того чи іншого типу ТА і наведено переваги установки на морські суда саме пластинчастих ТА фірми «Альфа-Лаваль». Також проаналізовано основні фактори, що впливають на утворення відкладень у ТА.