

УДК 62-713.1:621.436

К.Ю. Федоровский,

Д.О. Владецкий,

О.В. Владецкий

Севастопольский национальный технический университет,

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

ГАЗОЖИДКОСТНАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛОТДАЧИ В ПОГРУЖНОМ ПЛАСТИНЧАТОМ ТЕПЛООБМЕННОМ АППАРАТЕ

Приведены результаты теплотехнических исследований теплоотдачи газожидкостных струй при интенсификации теплоотдачи в погружных пластинчатых теплообменных аппаратах замкнутых систем охлаждения СЭУ.

Система охлаждения является одним из основных элементов судовой энергетической установки. Широко используемые на судах разомкнутые 2-х контурные системы охлаждения предусматривают прием коррозионно-активной и часто загрязненной забортной воды, что в целом ряде случаев (работа в загрязненной акватории, рейферные работы, плавание в мелководье, ледовой шуге и т.д.) не обеспечивает требуемой надежности эксплуатации. При этом происходит интенсивное засорение элементов контура системы охлаждения забортной воды (фильтров, теплообменников, насосов, кингстонных ящиков и др.), что зачастую приводит к внезапной остановке СЭУ из-за прекращения подачи охлаждающей воды.

Кроме того, разомкнутые системы охлаждения наносят существенный экологический ущерб биологическим запасам морей, поскольку значительное количество рыбной молоди и икринок, попадая в систему с забортной водой, погибает. Оценки Института биологии южных морей НАН Украины показывают, что одна морская плавучая буровая платформа типа «Шельф» с установленной суммарной мощностью энергоустановки 5000 кВт за год уничтожает 200 тонн рыб промысловых видов.

Переход на замкнутые системы охлаждения является перспективным направлением совершенствования энергетических установок судов технического флота и морских буровых платформ, значительную часть времени проводящих в условиях загрязненной акватории. Однако широкое внедрение таких систем охлаждения в практику сдерживается отсутствием устройств теплоотвода, эффективно работающих в неподвижной относительно судна забортной воде. Поэтому целью данной работы является разработка способа повышения эффективности теплоотвода ЗСО СЭУ в наихудших условиях работы погружного теплообменного аппарата (неподвижная забортная вода).

Циркулирующий в замкнутых системах охлаждения (ЗСО) теплоноситель может отдавать теплоту забортной воде в аппаратах различной конструкции. Для организации ЗСО СЭУ в качестве теплоотдающих в забортную воду поверхностей могут выступать различные элементы корпуса судна или буровой платформы, соприкасающиеся с забортной водой. В [1, 2] для этих целей используют полый киль, насадку винта, перо руля судна, а также выносные трубчатые и пластинчатые теплообменники и трубопроводы, размещенные снаружи прочного корпуса судна.

В судостроении наибольшее распространение получили несомещенные с корпусом погружные теплообменные аппараты (ПТОА), вынесенные за борт за пределы прочной обшивки корпуса судна, показанные на рисунке 1. Такие ПТОА располагаются ниже ватерлинии за пределами прочного корпуса судна в специальной внешней выгородке (рисунок 1, а), а также могут быть размещены в объеме кингстонного ящика судна (рисунок 1, б). Согласно [1] такие теплообменные аппараты хорошо омываются забортной водой, защищены от волнения и повреждений, отвечают требованиям, предъявляемым к судам ледового класса, соответствует стандарту ISO 9001, а также одобрены большинством морских классификационных обществ, таких как: Русский регистр судоходства, Веритас, Ллойд, Американское бюро судоходства и др.

Наиболее неблагоприятный режим работы таких ПТОА связан с теплоотдачей в неподвижную относительно судна забортную воду. Теплоотвод в этом случае осуществляется при свободной конвекции, а достигаемые значения коэффициентов теплоотдачи – минимальны, что обуславливает необходимость значительной площади соответствующих устройств теплоотвода.

Отсутствие способа повышения эффективности теплоотвода ЗСО СЭУ, в условиях неподвижности забортной воды относительно судна, сдерживает широкое внедрение в практику высокоэффективных, экологически безопасных замкнутых систем охлаждения СЭУ с погружными пластинчатыми теплообменными аппаратами.

В рассматриваемых замкнутых системах охлаждения СЭУ исследованы процессы теплопередачи и ее интенсификации применительно к судовым обшивочным ТОА. Для устройств теплоотвода,

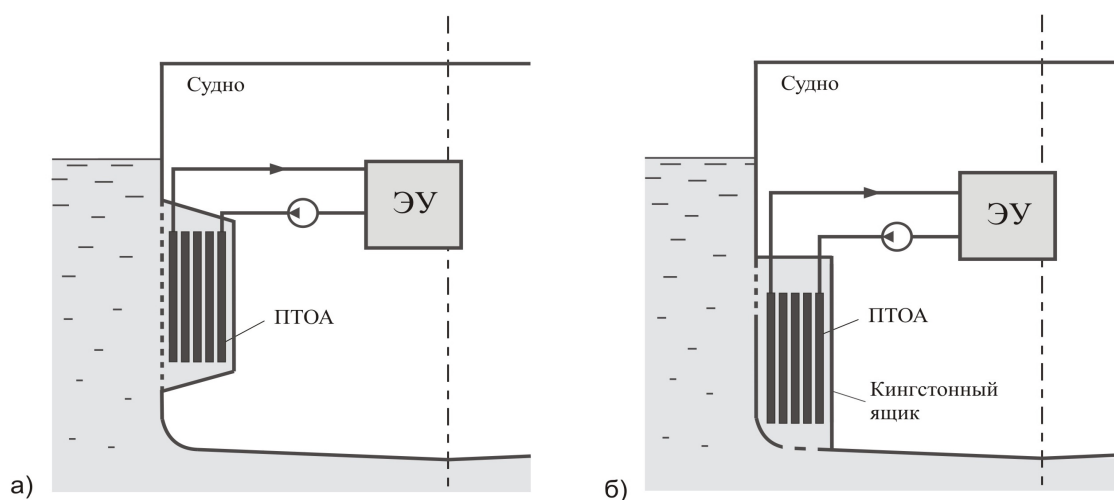


Рисунок 1 – Заборный погружной теплообменный аппарат замкнутой системы охлаждения СЭУ:

- а – расположение ПТОА во внешней выгородке корпуса судна;
б – расположение ПТОА в объеме кингстонного ящика судна

использующих в своей конструкции набор параллельных пластинчатых поверхностей, между которыми находится забортная вода, такие способы в должной степени не разработаны.

Среди возможных способов интенсификации теплоотдачи в пластинчатом ПТОА наиболее целесообразным является способ, связанный с созданием у теплоотдающих поверхностей газожидкостных струй. Выполненный анализ показывает, что при этом могут быть достигнуты высокие значения коэффициентов теплопередачи, что обеспечивает малые массогабаритные показатели устройств теплоотвода и системы охлаждения в целом.

Проведенные визуальные исследования выявили механизм предложенного способа интенсификации теплоотдачи. Определено, что всплывающие газовые пузырьки поднимаются на поверхность не строго вертикально, а по спиралеобразной траектории. Находясь рядом с теплоотдающей поверхностью, пузырьки соударяются с ней (рисунок 2), разрушают пристенный пограничный слой и, как следствие, интенсифицируют теплоотдачу забортной воде.

Кроме того, выявлено, что формирование газожидкостных струй приводит к подсосу жидкости из окружающего пространства и ее проталкиванию в зазоре между теплоотдающими поверхностями ПТОА. За счет всплывающих пузырьков газа в зазоре имеет место существенная турбулизация потока, что, как известно, положительно сказывается на коэффициенте теплоотдачи.

Проведенные теплотехнические исследования позволили получить частные зависимости по влиянию удельного расхода воздуха W_{TL} и расстояния между теплоотдающими поверхностями ПТОА δ на коэффициент теплоотдачи газожидкостной струе.

В частности, зависимость газожидкостной составляющей коэффициента теплоотдачи α_{Γ} от величины подаваемого на единицу длины газового коллектора удельного расхода воздуха W_{TL} показана на рисунке 3.

При увеличении подачи воздуха в зазор между теплоотдающими поверхностями коэффициент теплоотдачи α_{Γ} растет до определенной величины, а затем начинает уменьшаться. Это обуславливается тем, что при повышении расхода газа пузырьки воздуха замещают забортную воду в зазоре между теплоотдающими поверхностями, тем самым ухудшают теплоотдачу. Определено, что для каждой величины δ существует свое предельное значение удельного расхода воздуха W_{TL} , выше которого увеличение его значения неэффективно и ведет к

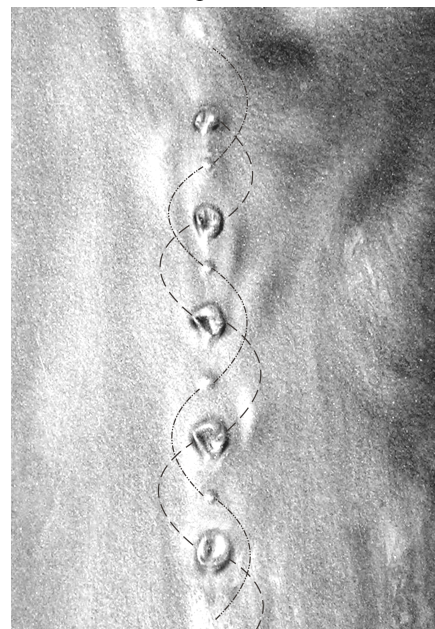


Рисунок 2 – Движение системы воздушных пузырей

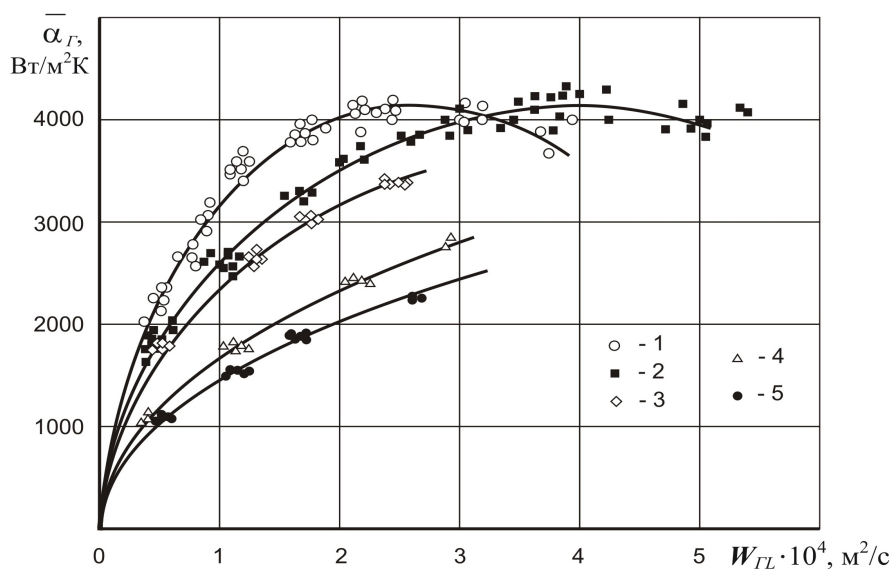


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента теплоотдачи от W_{GL} :
 1 – расстояние между теплоотдающими поверхностями $\delta = 20$ мм;
 2 – 30 мм; 3 – 40 мм; 4 – 100 мм; 5 – 160 мм

понижению $\bar{\alpha}_r$. Из рисунка 3 видно, что для $\delta = 20$ мм такое критическое значение расхода $W_{GL} = 2,6 \cdot 10^{-4}$ м²/с, а для $\delta = 30$ мм расход $W_{GL} = 3,9 \cdot 10^{-4}$ м²/с.

С учетом выводов, полученных при визуальных и теплотехнических исследованиях, определено, что не следует увеличивать расстояние между теплоотдающими пластинами ПТОА свыше 20...40 мм и удельный расход воздуха W_{GL} свыше $(2,5...5,0) \cdot 10^{-4}$ м²/с. Поэтому, наиболее целесообразно ограничить удельный расход воздуха W_{GL} и, для достижения максимального значения интенсификации теплоотдачи в процессе эксплуатации ПТОА, не превышать его критическое значение.

Формирование у наружной поверхности теплообмена ПТОА газожидкостных струй позволяет существенно увеличить теплоотдачу заборной воде (рисунок 4). Видно, что при малых температурных напорах $\bar{t}_C - \bar{t}_3 \leq 2$ °С величина $\bar{\alpha}$ может превосходить $\bar{\alpha}_K$ в 25...30 раз. Повышение температурного напора $\bar{t}_C - \bar{t}_3$ приводит к уменьшению степени интенсификации $\bar{\alpha} / \bar{\alpha}_K$ и примерной ее стабилизации при $\bar{t}_C - \bar{t}_3 > 10$ °С. Для $W_{GL} = 2,4 \cdot 10^{-4}$ м²/с эта стабилизация соответствует $\bar{\alpha} / \bar{\alpha}_K \approx 15$, а для $W_{GL} = 1,7 \cdot 10^{-4}$ м²/с 13...14 раз.

Полученные результаты позволили выполнить расчет требуемой площади погружного теплообменного аппарата. Теплоотдача в лабиринтных каналах ПТОА определяется по зависимости, полученной в [3]. Теплоотдача через стенки теплообменного аппарата также рассчитывается по известным зависимостям [4, 5]. В работе [3] определено влияние покраски и обрастания теплоотдающих поверхностей на теплопередачу. Это позволило разработать методику расчета и определить для конкретной энергетической установки необходимую площадь ПТОА, учитывая обрастание и покраску теплоотдающих поверхностей.

Расчеты показали, что использование данного способа интенсификации теплоотдачи неподвижной заборной воде позволяет уменьшить площадь теплообменной поверхности погружного теплообменника в 6 раз по сравнению с теплоотдачей при свободной конвекции. Например, для энергетической установки мощностью $N_e = 2000$ кВт площадь теплоотдающей поверхности ПТОА будет равна $F = 36$ м². При расстоянии между теплоотдающими пластинами 0,03 м габариты такого аппарата не превысят 1,5×1,0×0,6 м, расход воздуха через газовый коллектор составляет 16 м³/ч.

Таким образом, использование данного способа интенсификации теплоотдачи в погружных теплообменных аппаратах замкнутых систем охлаждения СЭУ является достаточно перспективным с точки зрения снижения эксплуатационных затрат и улучшения массогабаритных и энергетических характеристик теплообменного оборудования. Кроме того, данный способ характеризуется сравнительно малыми энергозатратами на формирование газожидкостных струй, которые в 2...3 раза ниже, чем при организации вынужденного течения жидкости вдоль наружной теплоотдающей поверхности (вынужденная конвекция).

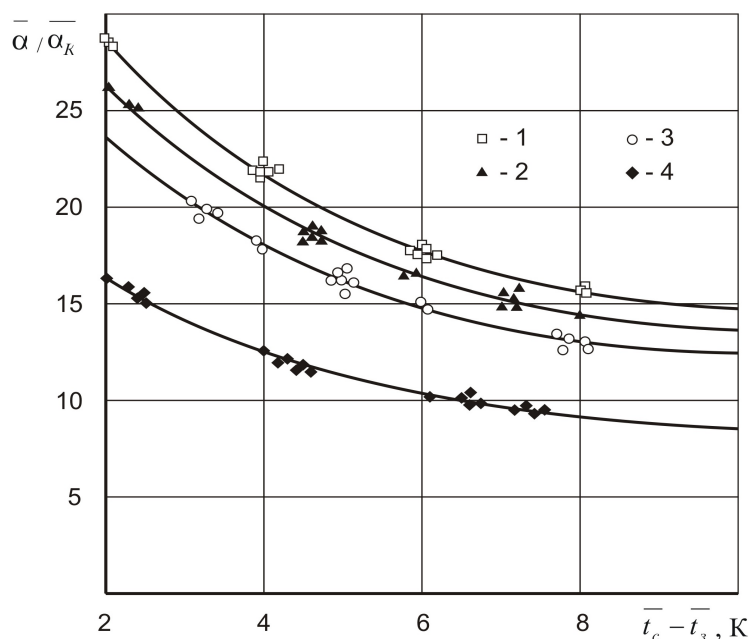


Рисунок 4 – Тепловая эффективность газожидкостной интенсификации теплоотдачи при $\delta = 20$ мм:

1 – удельный расход газа $W_{г\lambda} = 2,4 \cdot 10^{-4}$ м³/с; 2 – $1,7 \cdot 10^{-4}$ м³/с; 3 – $1,1 \cdot 10^{-4}$ м³/с; 4 – $0,5 \cdot 10^{-4}$ м³/с

Перспективы дальнейших исследований в данном направлении не ограничиваются только интенсификацией теплоотдачи в энергетических установках морского базирования. Данный способ повышения эффективности теплоотвода может быть так же использован в атомной энергетике в системах аварийного расхолаживания АЭС.

При обеспечении в ПТОА оптимального расхода воздуха, использование данного способа интенсификации теплоотдачи является достаточно перспективным с точки зрения улучшения массогабаритных и энергетических характеристик теплообменного оборудования, что способствует более широкому практическому внедрению замкнутых систем охлаждения энергоустановок.

Библиографический список

1. Scania Marine Engines [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные (0,9 Mbytes). — Sodertalje: Scania industrial and marine engines, 2006. — Режим доступа: http://www.scania.com/Images/Scania_MarineEngines_tcm10-112714.pdf Суббота, 3 Июня 2006 14:30:15.
2. Weka [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные (10000 bytes). — Krimpen: Weka boxcooler company, 2006. — Режим доступа: <http://www.weka.biz> Понедельник, 5 Июня 2006 16:44:39.
3. Федоровский К.Ю. Замкнутая система охлаждения судовой энергетической установки / К.Ю. Федоровский // Рыбное хозяйство. — 1987. — № 2. — С. 46–47.
4. Григорьев В.А. Тепло- и массообмен, теплотехнический эксперимент: справочное пособие / В.А. Григорьев, В.М. Зорин. — М.: Энергоатомиздат, 1982. — 510 с.
5. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе. — М.: Атомиздат, 1979. — 415 с.

Поступила в редакцию 13.11.2007 г.