

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ МОРСКИХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

*Федоровский К.Ю., Ениватов В.В.,
Севастопольский национальный технический университет*

Введение. В современном судостроении необходимость повышения экологической безопасности и надежности судовых энергетических установок (СЭУ) требует совершенствования всех элементов, включая систему охлаждения. Как известно, широко используемые разомкнутые системы охлаждения оказывают существенный экологический ущерб морским организмам.

По данным исследований Института биологии южных морей НАН Украины, при прохождении морской воды через охладительные системы, под действием теплового и механического факторов гибнет 25 % планктона. Ежесуточное перекачивание только 10 тыс. тонн воды приводит к истреблению только за три летних месяца более 7 млн. икринок, что соответствует более чем 200 т. потенциальной рыбной массы [3]. Кроме того, известно, что нагретые воды по своему отрицательному воздействию на водные организмы занимают девятое место в ряду других вредных воздействий.

Повысить надежность, эффективность и экологическую безопасность систем охлаждения позволяет переход на замкнутые схемы, исключая прием забортной охлаждающей воды. В зависимости от конкретного типа судна, теплоотвод в замкнутых системах охлаждения (ЗСО) может осуществляться с помощью судовых обшивочных теплообменных аппаратов (СОТОА) или же посредством выносных тепловых аппаратов. СОТОА представляет собой лабиринтный канал, выполненный на внутренней стороне судовой обшивки (рис. 1.а). Теплообменный аппарат может быть размещен на различных частях обшивки корпуса судна, а это предусматривает не только вертикальное расположение, но и его наклон под различными углами (рис. 1.б).

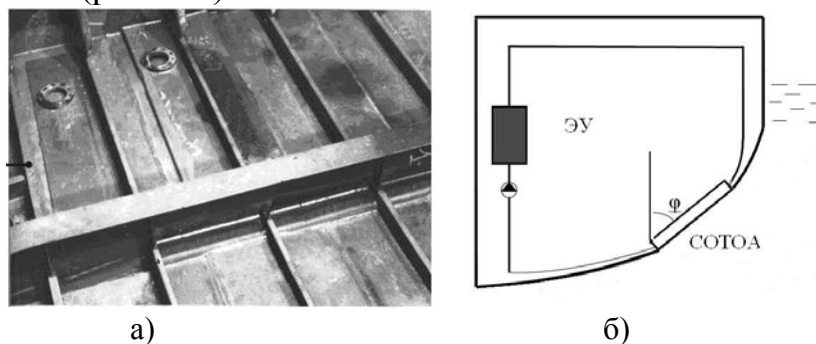


Рисунок 1. Судовой обшивочный теплообменный аппарат: а) установленные на борту судна СОТОА; б) расположение СОТОА на корпусе судна.

Постановка задачі. Проведенные ранее исследования [2], позволили определить необходимые зависимости для расчета передачи теплоты через обшивку корпуса судна в случае нахождения судна в неподвижной забортной воде или во время его движения. Для определения требуемой площади СОТОА используется наихудший режим работы, связанный со стоянкой судна, при котором теплоотдача к забортной воде осуществляется посредством свободной конвекции. При этом необходимые площади теплоотдачи оказываются значительными. В таких условиях возникает необходимость интенсификации теплоотдачи. Эта задача может быть решена путем подачи со стороны забортной воды воздуха, который формирует газожидкостную струю. Подобный метод интенсификации для вертикального борта судна позволил в 15-20 раз увеличить теплоотдачу, а, следовательно, существенно уменьшить площадь теплообменного аппарата [2].

Исследования [2] показали, что с увеличением угла наклона φ интенсивность теплоотдачи при свободной конвекции существенно уменьшается. Так, например, при температурном напоре $45\text{ }^\circ\text{C}$ и угле наклона φ равным 0° коэффициент теплоотдачи α равен $800\text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, при угле наклона φ равным 60° коэффициент теплоотдачи α уменьшается до $580\text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$. Таким образом, необходимость интенсификации теплоотдачи в случае наклона поверхности СОТОА увеличивается.

Цель работы – исследование особенностей процесса формирования газовых пузырей и процесса течения газожидкостных струй в случае наклона теплообменной поверхности СОТОА, а также оценка эффективности газожидкостной интенсификации теплоотдачи от судовой обшивки к забортной воде.

Изложение основного материала. Для проведения визуальных исследований течения жидкости в теплообменных аппаратах при таких условиях, была создана специальная экспериментальная установка, с прозрачной стенкой высотой 1 м и шириной 0,5 м.

Первоначально исследовался процесс формирования и движения одиночного пузыря в воде с использованием точечного источника газа. Наблюдения производились в направлении нормали к наклоненной поверхности. В частности, на рисунке 2.а и 2.б изображены газовые пузыри, сформированные при наклоне пластины на угол φ равный 45° и различных давлениях воздуха на выходе из точечного источника газа. В ходе исследования выявлено, что пузыри малого диаметра двигаются прямолинейно вдоль поверхности, касаясь ее, и тем самым, разрушая пристенный пограничный слой. У пузырей большего диаметра $d > 5\text{ мм}$ (рисунок 2.б) возникают поперечные пульсаций, которые приводят к более интенсивному разрушению пристенного пограничного слоя.

При угле наклона $\varphi = 0^\circ$ для пузырьков с эквивалентным диаметром равным 5 мм скорость движения вдоль поверхности пластины равна $0,34\text{ м/с}$, а при угле наклона $\varphi = 65^\circ$ скорость равна $0,28\text{ м/с}$. Это сравнительно высокая скорость, что позволяет ожидать достаточно высокую эффективность теплоотдачи.

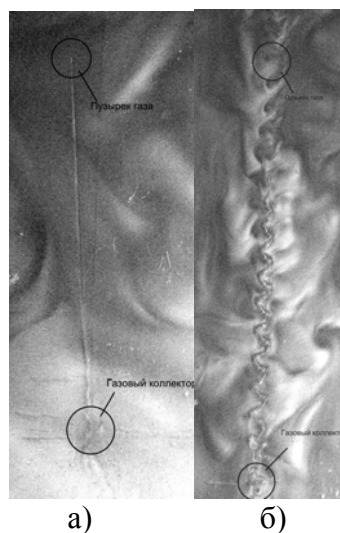


Рисунок 2. Характер движения одиночного пузырька вдоль наклонной поверхности при различных диаметрах: а) диаметр пузырька $d \approx 1$ мм; б) диаметр пузырька $d \approx 8$ мм

Проведенные исследования показали, что при газожидкостной интенсификации, в случае наклоненной теплоотводящей поверхности, подаваемый воздух приводит к мощной турбулизации жидкости и разрушению пристенного пограничного слоя. Также выявлено, что с увеличением угла наклона поверхности уменьшается угол раскрытия газовой струи. Пузыри воздуха в большей степени прижимаются к наклонной поверхности, оттесняя воду. Это может оказывать отрицательный эффект на теплоотдачу. На рисунке 3 представлены результаты визуальных исследований движения газожидкостной струи вдоль теплоотдающей поверхности, при различной ее ориентации относительно вертикального положения.

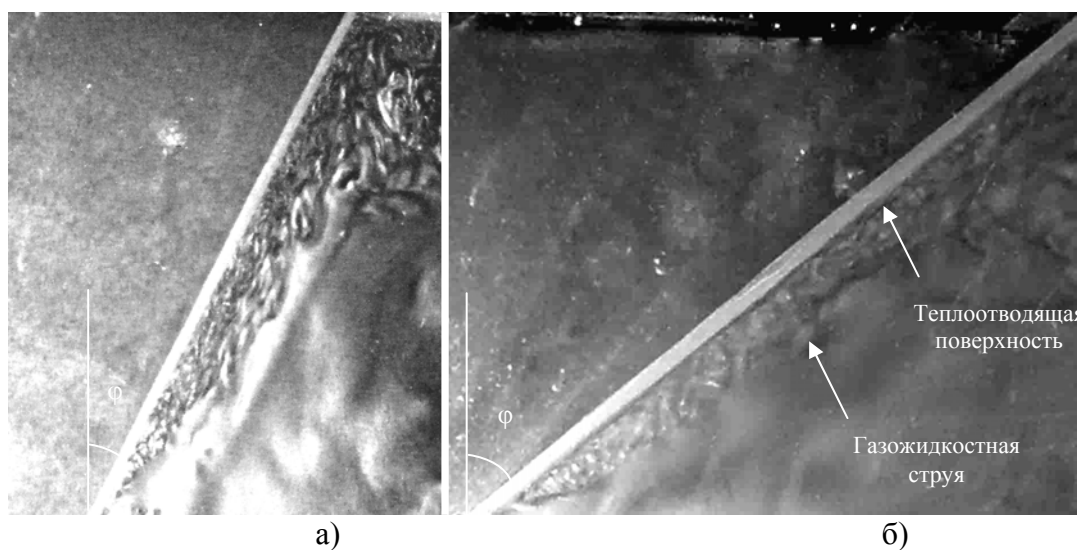


Рисунок 3. Визуальные исследования движения газовых пузырей: а) движение газовой струи угол наклона пластины $\varphi = 30^\circ$; б) угол наклона пластины $\varphi = 45^\circ$

На рисунке 4 линия 1 соответствует достигнутому улучшению теплоотдачи ($\alpha_2/\alpha_{ск}$) для вертикальной поверхности [1]. Так, при малых температурных напорах Δt , что соответствует эксплуатации судна в экваториальных широтах с высокой температурой заборной охлаждающей воды, газожидкостная интенсификация значительно увеличивает теплоотдачу. Необходимо оценить этот показатель для поверхности, наклоненной под углом $\varphi=65^\circ$. С этой целью воспользуемся представленной в работе [1] зависимостью, позволяющей описать число Нуссельта:

$$Nu^* = 0,19 \cdot Pr_{ж}^{0,33} \left(\frac{\mu_{ж}}{\mu_c} \right)^{0,14} \cdot V_{ж}^{0,73}, \quad (1)$$

где $V_{ж}$ – скорость движения жидкости, увлекаемой газовой струей, м/с.

Проведенные Х. Кобусом [4] расчеты и экспериментальные исследования показали, что разность между скоростью всплывающих пузырей и увлекаемой жидкостью составляет 0,2...0,3 м/с. Это позволяет нам использовать полученные результаты скорости движения пузырей для оценки числа Нуссельта применительно к наклоненной поверхности. Приняв все остальные показатели в (1) одинаковыми, в конечном счете, определим искомое соотношение коэффициента теплоотдачи $\alpha_2/\alpha_{ск}$ в зависимости от температурного напора Δt . Результаты соответствующих расчетов представлены на рисунке 4 (линия 2).

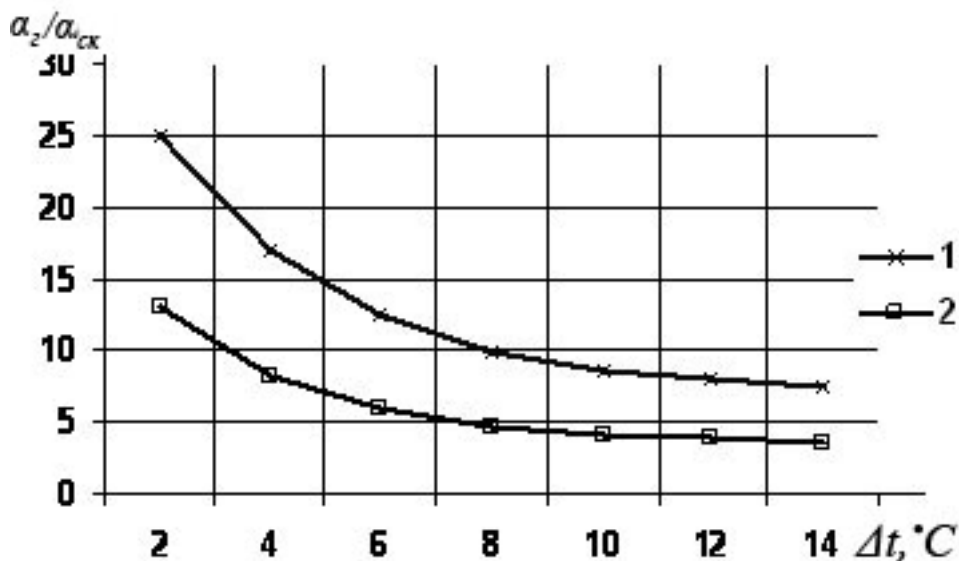


Рисунок 4. Зависимость $\alpha_2/\alpha_{ск}$ от температурного напора Δt при удельном расходе газа $W_r = 3,16 \cdot 10^{-4}, \text{ м}^2/\text{с}$ (α_2 – коэффициент теплоотдачи при газожидкостной интенсификации, $\alpha_{ск}$ – коэффициент теплоотдачи при свободной конвекции): 1 – угол наклона $\varphi=0^\circ$; 2 – угол наклона $\varphi=65^\circ$

Из рисунка 4 следует, что эффективность метода применительно к наклоненной поверхности снизилась по сравнению с вертикальной

поверхностью, но осталась достаточно высокой и составляет 5-10 даже при малых температурных напорах.

Вывод. Таким образом, имеет место существенная интенсификация теплоотдачи. Это позволяет сделать вывод о перспективности данного метода интенсификации теплоотдачи для наклоненной поверхности и необходимости проведения соответствующих развернутых теплотехнических исследований с целью уточнения зависимости, описывающей теплоотдачу газожидкостных струй.

Характеристики замкнутой системы охлаждения СЭУ во многом определяются используемыми ТОА, составом охлаждаемого оборудования и принципами построения самой системы. Поэтому, создание надежной ЗСО невозможно без внедрения эффективных устройств теплоотвода в забортную воду. Разработка эффективного способа интенсификации теплоотдачи наклоненных СОТОА забортной воде в значительной степени определяет возможности широкого внедрения экологически безопасных ЗСО СЭУ в практику судостроения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоровский К.Ю. Интенсификация теплоотдачи в погружных пластинчатых теплообменниках / К.Ю. Федоровский, Д.О. Владецкий : материалы международной научно-технической конференции ["Живучесть корабля и безопасность на море"]. – Севастополь : СВМИ им. Нахимова, 2005. – С. 132–136.
2. Федоровский К.Ю. Свободно-конвективный теплообмен плоской неизотермической поверхности при различной ее ориентации / К.Ю. Федоровский // Инженерно-физический журнал. – 1988. – Т. 55, № 2. – С. 186–190.
3. Цыпин В.М. Возможности снижения вредного влияния работы энергетических установок буровых платформ на окружающую среду / В.М. Цыпин, Л.Н. Пшенин : материалы Всесоюзной научно-технической конференции ["Основы проектирования плавучих буровых установок"]. – 1980. – С. 278–283.
4. Kobus H. Bemessungsgrundlagen und Anwendungen für Luftschleier im Wasserbau. / H. Kobus – Bielefeld: E. Schmidt Verlag, 1973. – 403 p.