

УДК 62-713.1:621.436

К.Ю. Федоровский, профессор, д-р техн. наук,**В.В. Ениватов, ассистент***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua***ГАЗОЖИДКОСТНАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛОТДАЧИ ОТ СУДОВОЙ ОБШИВКИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УГЛАХ ЕЕ НАКЛОНА**

Представлены результаты визуализированных исследований движения газовых пузырьков в жидкости вдоль наклонной поверхности, подаваемых с целью интенсификации теплоотвода в погружных пластинчатых теплообменных аппаратах замкнутых систем охлаждения СЭУ. В частности, выявлены зависимости скорости движения пузырька от угла наклона теплоотводящей поверхности и размера газового пузырька.

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, а в ряде случаев, в частности, работа судов технического флота на мелководье в загрязненных акваториях, резко снижает надежность эксплуатации СЭУ [1].

Повысить надежность, эффективность и экологическую безопасность таких систем позволяет переход на замкнутые схемы, исключающие прием заборной 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. Проведенные ранее исследования [2], позволили определить необходимые зависимости для расчета передачи теплоты через обшивку корпуса судна в случае нахождения судна в неподвижной заборной воде или во время его движения.

Для определения требуемой площади СОТОА используется наихудший режим работы, связанный со стоянкой судна, при котором теплоотдача к заборной 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 заборной 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 [3]. Однако судовой обшивочный теплообменный аппарат может быть размещен не только на вертикальной части корпуса, но и на других участках корпуса, которые могут быть наклонены относительно вертикали (рисунок 1, а).

Известно, что с увеличением угла наклона φ (рисунок 1, а) интенсивность теплоотдачи при свободной конвекции существенно уменьшается [4]. Соответствующая зависимость показана на рисунке 1, б. Так, например, при температурном напоре 45°C и угле наклона $\varphi = 0^\circ$ коэффициент теплоотдачи α равен $800 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{K}$, при угле наклона $\varphi = 60^\circ$, коэффициент теплоотдачи α уменьшается до $580 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{K}$. Таким образом необходимость интенсификации теплоотдачи в данных условиях усиливается.

В [3] выполнены исследования формирования газожидкостных струй у вертикальных поверхностей. К сожалению, в ней в полной мере не отражены особенности протекания процессов в случае использования подачи воздуха для интенсификации теплоотдачи на наклоненной поверхности.

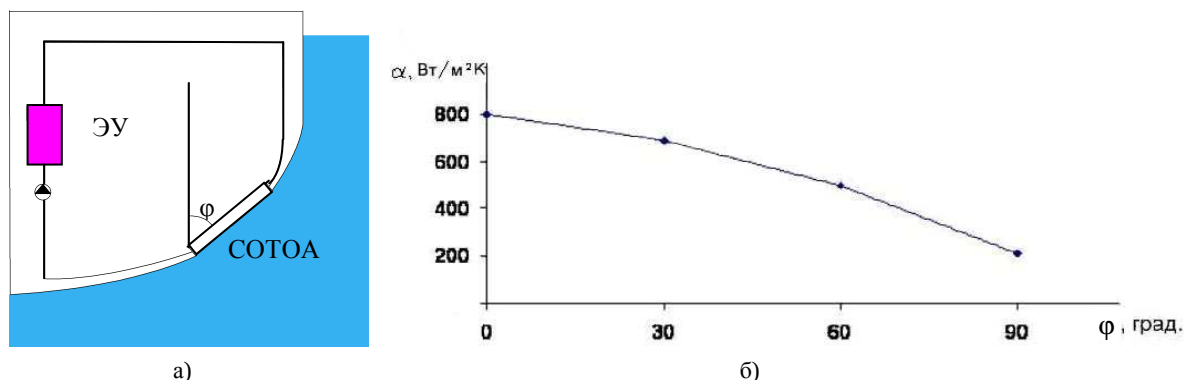


Рисунок 1 – Судовой обшивочный теплообменный аппарат: а) расположение СОТОА на корпусе судна; б) зависимость коэффициента теплоотдачи от угла наклона поверхности

Целью статьи является исследование особенностей формирования газовых пузырей и процесса течения газожидкостных струй в таких условиях. Для этого была создана специальная экспериментальная установка, с прозрачной стенкой высотой 1,0 м и шириной 0,5 м, обеспечивающая проведение визуальных исследований течения жидкости в теплообменных аппаратах.

Первоначально исследовалось формирование и движение одиночного пузыря в воде с использованием точечного источника газа. В частности, на рисунках 2, а и 2, б изображены газовые пузыри, сформированные при наклоне пластины на угол $\varphi = 45^\circ$ и различных давлениях воздуха на выходе из точечного источника газа. Наблюдения производились в направлении нормали к наклоненной поверхности. На рисунке 2, в пунктиром отмечено направление визуальных исследований.

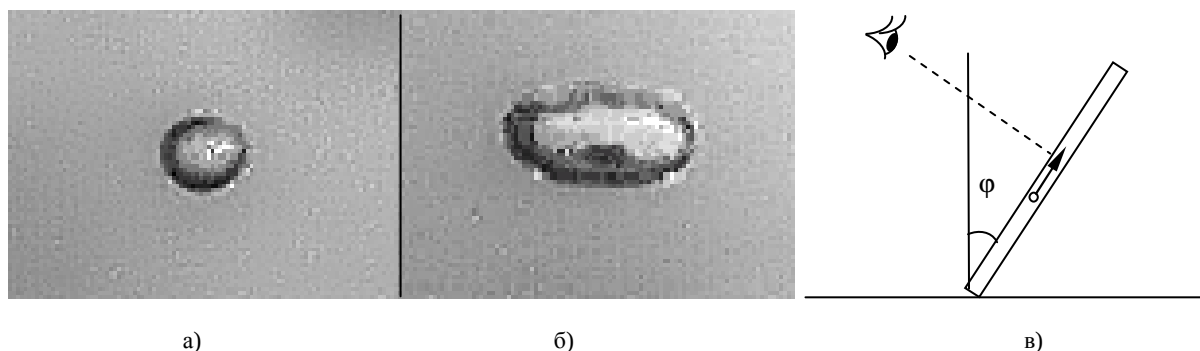


Рисунок 2 – Визуальные исследования формы газовых пузырей:
а) диаметр пузырька $d \approx 8$ мм; б) диаметр пузырька $d \approx 3$ мм; в) направление наблюдений

При небольших давлениях и, соответственно, расходах подаваемого воздуха, формировались одиночные сферические пузыри, которые отрывались от источника газа, достигая эквивалентного диаметра около трех миллиметров (рисунок 2, а). При увеличении давления подаваемого воздуха, на выходе из точечного источника образуется воздушная струя. Эта струя разрывается на расплюснутые пузыри воздуха с диаметром около 8-10 миллиметров, что соответствует зависимости, полученной ранее [4].

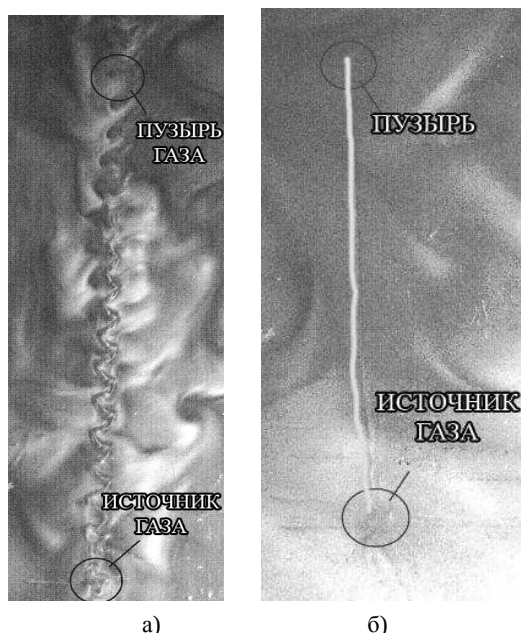


Рисунок 3 – Характер движения одиночного пузырька вдоль наклонной поверхности при различных диаметрах:
а) диаметр пузырька $d \approx 1$ мм; б) диаметр пузырька $d \approx 8$ мм

С целью исследования характера движения пузырька воздуха вдоль теплоотводящей поверхности были проведены исследования с использованием воды, содержащей детергент, серебрин и тушь. В результате выявлены поперечные пульсации, показанные на рисунке 3,б.

Как видно, пузыри малого диаметра двигаются прямолинейно вдоль поверхности, касаясь ее (рисунок 3,а), тем самым, разрушая пристенный пограничный слой. У пузырей большего диаметра $d \approx 5$ мм (рисунок 3,б) возникают поперечные пульсации, которые приводят к более интенсивному разрушению пристенного пограничного слоя.

Исследовалась также зависимость скорости движения пузыря от угла наклона поверхности и размера пузырька. Соответствующие зависимости показаны на рисунке 4.

Из анализа данных, показанных на рисунке 4, следует, что даже при увеличении угла наклона до 60° скорость всплытия пузырька остается достаточно высокой. При угле наклона $\varphi = 0^\circ$ для пузырьков с эквивалентным диаметром, равным 5 мм, скорость движения вдоль поверхности пластины составляет 0,34 м/с, а при угле наклона $\varphi = 65^\circ$ скорость составляет 0,28 м/с. Это достаточно высокая скорость, и следует ожидать, что, даже при таких углах наклона, применение метода газожидкостной интенсификации в СОТОА достаточно эффективно с точки зрения обеспечения теплоотдачи.

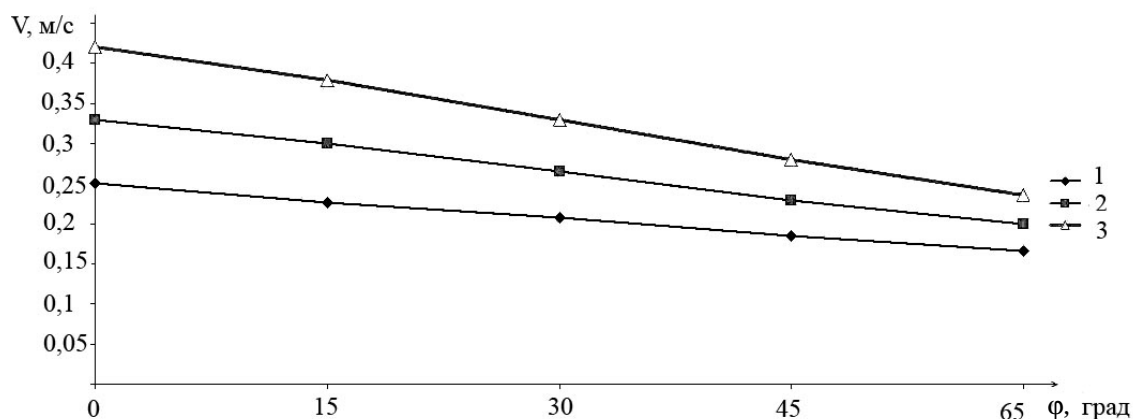


Рисунок 4 – Зависимости скорости движения газовых пузырьков различного диаметра от угла наклона пластины: 1 – диаметр пузырька $d \approx 2$ мм; 2 – $d \approx 5$ мм; 3 – $d \approx 8$ мм

На рисунке 5 показано движение газовой струи из точечного источника вдоль поверхности теплообмена. Известно, что воздух является плохим проводником теплоты и следует ожидать снижения эффективности интенсификации теплообмена при значительном увеличении подаваемого воздуха. При газожидкостной интенсификации в случае наклоненной теплоотводящей поверхности видно, что подаваемый воздух приводит к мощной турбулизации жидкости и пристенного потока пограничного слоя. Прослеживается также подсос жидкости из окружающего пространства. Выявлено, что с увеличением угла наклона поверхности уменьшается угол раскрытия газовой струи и, соответственно, пузыри воздуха в большей степени прижимаются к поверхности теплоотвода, из чего следует ожидать снижения эффективности теплоотдачи.

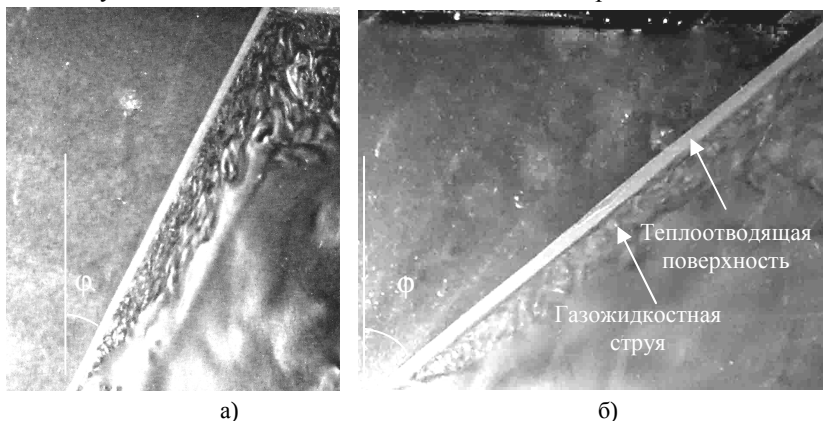


Рисунок 5 – Изменение угла раскрытия газовой струи в зависимости от угла наклона пластины: а) угол наклона $\varphi=30^\circ$; б) угол наклона $\varphi=45^\circ$

Таким образом, представленный характер течения газожидкостной струи позволяет однозначно говорить, что данный метод интенсификации действенен не только при вертикальной ориентации поверхности, но и при наклоненных поверхностях, соответствующих различным углам наклона. Однако требуются дальнейшие теплотехнические исследования процессов теплоотдачи с использованием воздуха для интенсификации теплоотдачи. При этом возникает вопрос оптимального количества подаваемого воздуха.

Библиографический список

1. Федоровский К.Ю. Особенности теплообмена в судовых замкнутых системах охлаждения / К.Ю. Федоровский // Повышение надежности энергетического обеспечения морских буровых работ: сб. науч. тр. — К., 1980. — С. 12–16.
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. Федоровский К.Ю. Интенсификация теплоотдачи в погружных пластинчатых теплообменниках / К.Ю. Федоровский, Д.О. Владецкий // Живучесть корабля и безопасность на море: матер. Междунар. науч.-техн. конф., Севастополь, 12–16 сент. 2005. — Севастополь, 2005. — С. 132–136.
4. Гегузин Я.Е. Пузыри / Я.Е. Гегузин. — М.: Наука, 1985. — 176 с.

Поступила в редакцию 20.10.2008 г.