

УДК 62-713.1:621.436

А.А. Лунев, ассистент,

К.Ю. Федоровский, профессор, д-р техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ПОГРУЖНОМ ПЛАСТИНЧАТОМ ТЕПЛООБМЕННИКЕ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Представлены результаты визуальных исследований течения жидкости при свободной конвекции в зазоре между двумя плоскими вертикальными теплоотдающими поверхностями с различными температурными напорами.

Система охлаждения является одним из важнейших элементов, обеспечивающих надежность работы энергетических установок судов и морских технических средств. На данный момент в практике преобладают разомкнутые двухконтурные системы охлаждения. В первом контуре в качестве охлаждающей среды используют пресную воду из-за её значительно меньшей коррозионной активности. Во втором контуре используется забортная вода из окружающей акватории, потребление которой возрастает по мере увеличения энерговооруженности морского технического средства. Воздействие забортной воды на элементы системы приводит к интенсивной коррозии. В результате снижаются надежность эксплуатации судовой энергетической установки (СЭУ) и ресурс оборудования. Возникают дополнительные затраты на обслуживание и ремонт.

Суда технического флота (плавкраны, землечерпалки и др.), а также морские буровые платформы при работе на мелководье могут не только находиться в загрязненной акватории, но и сами создавать дополнительное загрязнение. Попадание в разомкнутую систему охлаждения загрязненной забортной воды приводит к засорению таких элементов системы, как кингстонные ящики, фильтры, теплообменники, насосы и др.

Кроме того, в разомкнутую систему охлаждения через кингстонные ящики засасываются вместе с забортной водой микроорганизмы (планктон, икринки, рыбная молодь). Проходя через оборудование системы, они в большинстве погибают. Это ведет к существенному экологическому ущербу и уничтожению промысловых сортов рыб [1].

Таким образом, на судах и морских технических средствах имеется требующая решения проблема, связанная с необходимостью повышения надежности, эффективности работы и экологической безопасности систем охлаждения энергетических установок.

Это может быть достигнуто отказом от приема забортной охлаждающей воды и создания замкнутых систем охлаждения (ЗСО) СЭУ. Циркулирующий в таких системах теплоноситель может отдавать теплоту забортной воде, например, в погружных теплообменных аппаратах (ТОА) [2].

Одним из предлагаемых вариантов исполнения такого ТОА может быть пластинчатый погружной теплообменный аппарат (ПТОА). Он состоит из пакета параллельных пластин, расположенных с зазором между собой. Внутри каждой пластины по лабиринтному каналу движется охлаждаемая пресная вода. Такая конструкция обеспечивает удобство изготовления, очистки и покраски ПТОА.

Известны результаты исследований [3], где показано, что в ПТОА при движении теплоносителя через лабиринтный канал создаются специфические условия теплообмена, соответственно существенно меняющие аналитические зависимости, описывающие процесс теплоотдачи. Также в работе [3] было показано, что, например, по сравнению с изотермическими поверхностями достигаемые результаты могут отличаться на 50 %.

Таким образом, проблема заключается в том, что внедрение таких систем сдерживается отсутствием научно-обоснованных методик, описывающих процесс тепло- и массообмена в ПТОА. Существующие зависимости не учитывают специфики конструкции и, как следствие, не позволяют получить достоверные результаты расчета.

Задачей исследований являлось изучение процессов тепло- и массообмена в таких ПТОА и на этом основании получение достоверных зависимостей для выполнения теплотехнического расчета.

Для понимания физики происходящих процессов важно выполнить визуальные исследования течения жидкости в таких аппаратах. С этой целью была сделана специальная установка (рисунк 1).

Она представляла собой прямоугольную емкость 5 со стеклянной передней стенкой. Высота емкости составляла 1,0 м, ширина – 0,6 м и глубина – 0,1 м. Полученный объем заполнялся водой, содержащей детергент, серебрин и тушь. Такая смесь позволяла визуализировать течения жидкости. В емкость помещались две пластины 4, через которые прокачивалась горячая вода. Они имитировали теплоотдающие пластины ПТОА. Имелась возможность изменять величину зазора δ между пластинами. Температура

теплоотдающих поверхностей определялась с помощью термопар 8, а температура жидкости в зазоре на входе и выходе – термопарами 9 и 10 соответственно.

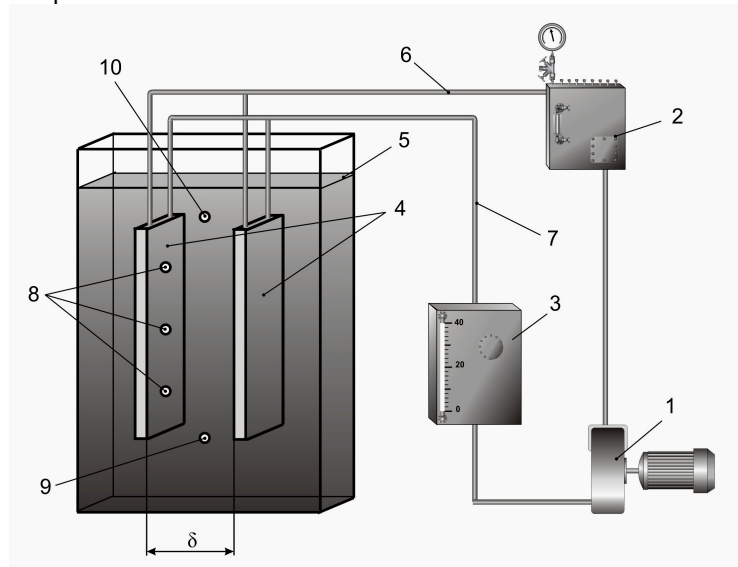


Рисунок 1 – Установка для проведения визуальных исследований течения жидкости в зазоре между теплоотдающими пластинами ПТОА: 1 – насос; 2 – электрический нагреватель; 3 – расходная емкость; 4 – теплоотдающие пластины; 5 – емкость со стеклянной стенкой; 6 – впускной коллектор; 7 – выпускной коллектор; 8 – термопары теплоотдающих поверхностей; 9 – термопара жидкости на входе в зазор; 10 – термопара жидкости на выходе из зазора

Горячая вода прокачивалась через пластины 4 с помощью насоса 1. Вода из расходной емкости 3 подавалась в электрический нагреватель 2, откуда поступала в пластины 4 и затем сбрасывалась обратно в расходную емкость 3.

В общем случае ПТОА – это набор параллельных теплоотдающих пластин. Внутренние пластины отдают тепло воде движущейся в зазоре между ними. Наружные поверхности крайних пластин отдают тепло в неограниченный объем окружающей акватории. Совершенно очевидно, что условия теплоотдачи внутренних и наружных поверхностей различны.

На рисунке 2 показаны результаты визуальных исследований течения жидкости вдоль наружной поверхности теплоотдающей пластины при разных температурных напорах Δt . Из рисунка следует, что увеличение температурного напора уменьшает протяженность участка ламинарного течения жидкости.

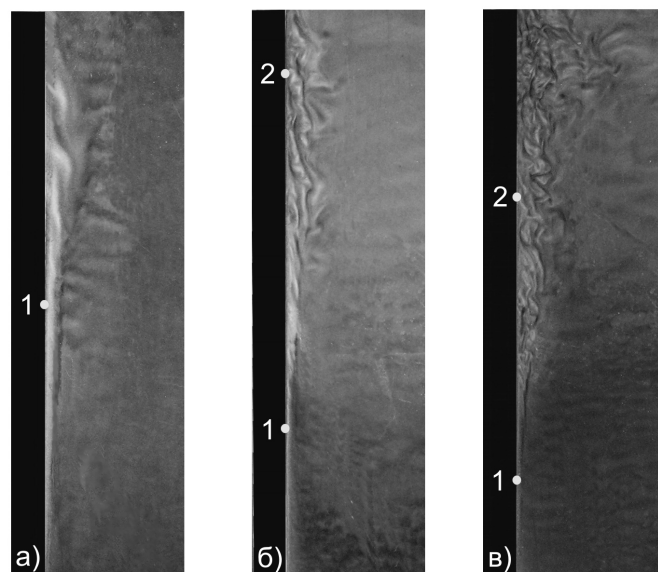


Рисунок 2 – Течение жидкости вдоль вертикальной теплоотдающей пластины при различных температурных напорах Δt : а) при $\Delta t = 3\text{ }^{\circ}\text{C}$; б) при $15\text{ }^{\circ}\text{C}$; в) при $28\text{ }^{\circ}\text{C}$

Представляет интерес сопоставление полученных результатов с известными данными по протяженности участка перехода из ламинарного режима течения жидкости в турбулентный. В [4] отмечается, что переход из ламинарного режима течения в турбулентный для изотермической поверхности имеет место примерно при $10^9 < \text{Pr} \cdot \text{Gr} < 6 \cdot 10^{10}$.

При анализе результатов исследований на рисунке 2 цифрами обозначены точки соответствующие значениям $(\text{Pr} \cdot \text{Gr})$: 1 – $(\text{Pr} \cdot \text{Gr}) = 10^9$ и 2 – $(\text{Pr} \cdot \text{Gr}) = 6 \cdot 10^{10}$. На рисунке 2 а) верхняя граница переходной области при $(\text{Pr} \cdot \text{Gr}) = 6 \cdot 10^{10}$ выходит за пределы экспериментальной модели. Как видно, полученные результаты по смене режима течения хорошо согласуются с известными данными для изотермических поверхностей.

Результаты исследований течения жидкости в зазоре между внутренними теплоотдающими поверхностями при различных температурных напорах Δt изображены на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что характер течения в зазоре при вертикально ориентированных теплоотдающих пластинах отличается от течения жидкости вдоль наружной поверхности вертикальной теплоотдающей пластины с теми же температурными напорами. В нижней части пластин наблюдается подсос жидкости из внешнего объема. Это провоцирует срыв течения жидкости на нижней кромке пластины и дополнительную турбулизацию. Затем начинается затухание этого турбулентного вихря.

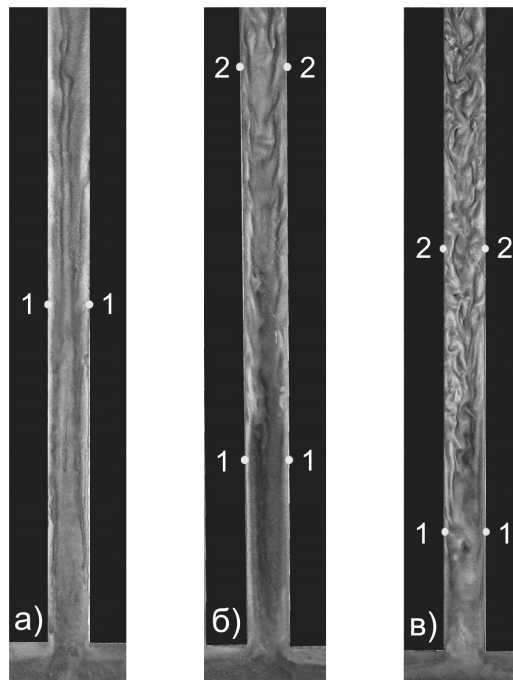


Рисунок 3 – Течение жидкости, ограниченной двумя вертикальными теплоотдающими пластинами, расположенных с зазором $\delta = 40$ мм при различных температурных напорах Δt : а) при $\Delta t = 3^\circ \text{C}$; б) при 15°C ; в) при 28°C

Течение приобретает ламинарный характер. По мере течения жидкости вверх происходит срыв ламинарного режима и переход его в турбулентный.

Цифрами 1 и 2 соответственно обозначены точки со значениями $(\text{Pr} \cdot \text{Gr}) = 10^9$ и $(\text{Pr} \cdot \text{Gr}) = 6 \cdot 10^{10}$. При определении этих точек для расчетов принималась средняя температура по каналу. На рисунке 3, а) верхняя граница переходной области при $(\text{Pr} \cdot \text{Gr}) = 6 \cdot 10^{10}$ также выходит за пределы экспериментальной модели.

Таким образом, проведенные визуальные эксперименты позволили исследовать характер течения жидкости в зазоре ПТОА. В результате определено, что процессы тепло- и массообмена происходящие в зазоре отличаются от процессов, имеющих место на наружной поверхности крайних теплоотдающих пластин.

Выполненные теплотехнические исследования для таких систем позволили определить соответствующие зависимости для расположенных с зазором вертикальных поверхностей теплообмена. Окончательная обработка экспериментальных данных теплотехнических исследований, выполненная с использованием чисел подобия, показана на рисунке 4. Коэффициент корреляции при этом равен $r = 0,98$.

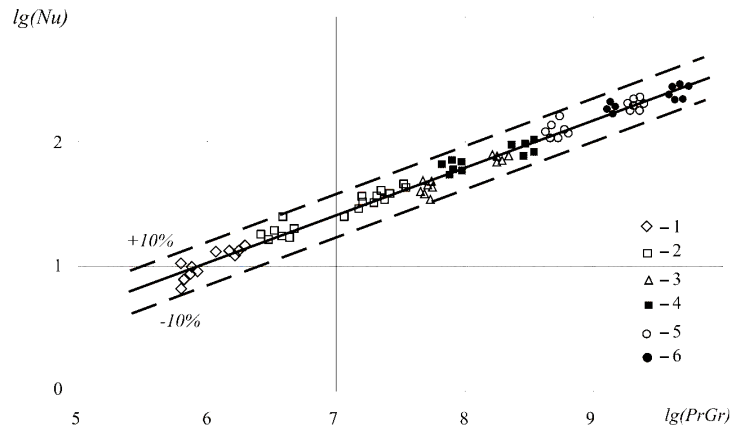


Рисунок 4 – Зависимость $\lg(Nu)$ от $\lg(Pr \cdot Gr)$:

1 – зазор $\delta = 20$ мм; 2 – 40 мм;

3 – 80 мм; 4 – 100 мм; 5 – 180 мм; 6 – 240 мм

В окончательном виде уравнение подобия для вертикально ориентированных теплоотдающих пластин ПТОА записывается в следующем виде:

$$Nu = 0,057 \cdot (Pr \cdot Gr)^{0,38}.$$

Расчет теплоотдачи наружных поверхностей крайних пластин может осуществляться по известным зависимостям [3].

Указанные ТОА могут использоваться не только на морских объектах, но и в других отраслях промышленности, например, в химической, пищевой и т.д. При этом могут изменяться различные параметры, например, наклон ПТОА. Поэтому дальнейшие перспективы исследований связаны с необходимостью изучения специфичных для конкретных условий факторов.

Библиографический список

1. Oertzen J.A. Beciflussung durch Abwärme / J.A. Oertzen // Abh. Akad., Wiss. DDR. — 1974. — P. 147 – 155.
2. 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. — Вып. 4. — С. 12 – 16.
3. Федоровский К.Ю. Свободно-конвективный теплообмен плоской неизотермической поверхности при различной её ориентации / К.Ю. Федоровский // Инженерно-физический журнал. — 1988. — Т. 55. — № 2. — С. 186 – 190.
4. Теплопередача: учеб. для вузов. / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. — М.: Энергия, 1975. — 488 с.

Поступила в редакцию 21.01.2008 г.