

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

ТЕПЛООТДАЧА ПРИ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ В ПОГРУЖНОМ ТЕПЛООБМЕННИКЕ С РАЗЛИЧНЫМИ УГЛАМИ НАКЛОНА

Представлены результаты исследований теплопередачи в судовом погружном пластинчатом теплообменнике при свободной конвекции. Определено уравнение подобия.

Одним из основных элементов энергетической установки судов и морских технических средств является система охлаждения. В настоящее время в судовой энергетике широкое распространение получили разомкнутые двухконтурные системы охлаждения. Они предусматривают прием заборной охлаждающей воды из окружающей акватории, количество которой возрастает по мере увеличения энерговооруженности морского технического средства.

Одной из проблем, требующей решения, является повышение надежности и эффективности работы систем охлаждения энергетических установок на судах и морских технических средствах. Практика показывает, что применение морской воды усиливает коррозионные разрушения в 2...3 раза. В результате резко снижаются надежность эксплуатации судовой энергетической установки (СЭУ) и ресурс оборудования. Возникают дополнительные затраты на обслуживание и ремонт системы.

Суда технического флота (плавкраны, землечерпалки и др.), а так же морские буровые платформы часто работают на мелководье. Они могут находиться не только в загрязненной акватории, но и сами создавать её загрязнение. Попадание в разомкнутую систему охлаждения загрязненной заборной воды приводит к засорению элементов системы, таких как: кингстонные ящики, фильтры, теплообменники, насосы и др.

Также при эксплуатации морских технических средств с разомкнутой системой охлаждения энергоустановок на мелководье, где сосредоточены основные биоресурсы морей (планктон, икринки, рыбная молодь), происходит их уничтожение. Микроорганизмы засасываются вместе с заборной водой в систему охлаждения и, проходя через оборудование, в большинстве погибают [1]. Одна плавучая буровая установка типа «Шельф», с суммарной мощностью энергетической установки 5000 кВт, ежедневно перекачивая порядка десяти тысяч тонн воды, приводит к истреблению только за три летних месяца более семи миллионов икринок, что соответствует более чем 200 тонн потенциальной рыбной массы.

Цель данной статьи предоставить результаты изучения процесса теплообмена при свободной конвекции в погружном пластинчатом теплообменном аппарате замкнутой системы охлаждения.

Учитывая выше перечисленное, для повышения надежности и экологической безопасности работы судовых двигателей предлагается отказаться от приема заборной охлаждающей воды в системах охлаждения энергетической установки на судах и морских технических средствах.

Становится очевидной необходимость создания замкнутых систем охлаждения (ЗСО) при проектировании морских технических средств. Циркулирующий в таких системах теплоноситель может отдавать теплоту заборной воде. Например, в судовых обшивочных теплообменных аппаратах (ТОА) [2], в пластинчатых, трубчатых и других ТОА, выносимых за пределы обшивки корпуса судна.

Одним из предлагаемых вариантов исполнения такого ТОА может быть погружной теплообменный аппарат (ПТОА). Он состоит из пакета параллельных пластин, расположенных с зазором между собой. Во внутрь каждой пластины подается охлаждаемая пресная вода, где она проходит по лабиринтным каналам. Такая конструкция обеспечивает удобство изготовления, очистки и покраски ПТОА и может применяться в ЗСО энергетических установок судов технического флота, морских буровых платформ, плавучих АЭС и других морских объектов.

В качестве основного расчетного режима в таких аппаратах принимается наихудший вариант – режим теплоотдачи в неподвижную заборную воду. В этом случае теплоотдача осуществляется при свободной конвекции.

Расположенные параллельно пластины в теплообменнике образуют зазоры между ними, тем самым, создавая совершенно новые условия для теплоотдачи. Соответственно не следует использовать известные зависимости [2, 3]. Для расчета теплоотдачи заборной воде нельзя использовать хорошо известные зависимости для изотермических поверхностей, поскольку по данным [3] ошибка может достигать 50 %.

Таким образом, проблема состоит в том, что отсутствуют аналитические зависимости и, как следствие, обоснованные методики расчета таких аппаратов. Необходимы специальные исследования с целью определения необходимых расчетных зависимостей. При этом следует учесть, что в морских

условиях часто возникают ситуации с образованием крена морского технического средства (волнение моря, балластировка, аварийные ситуации, конструктивные особенности технического средства).

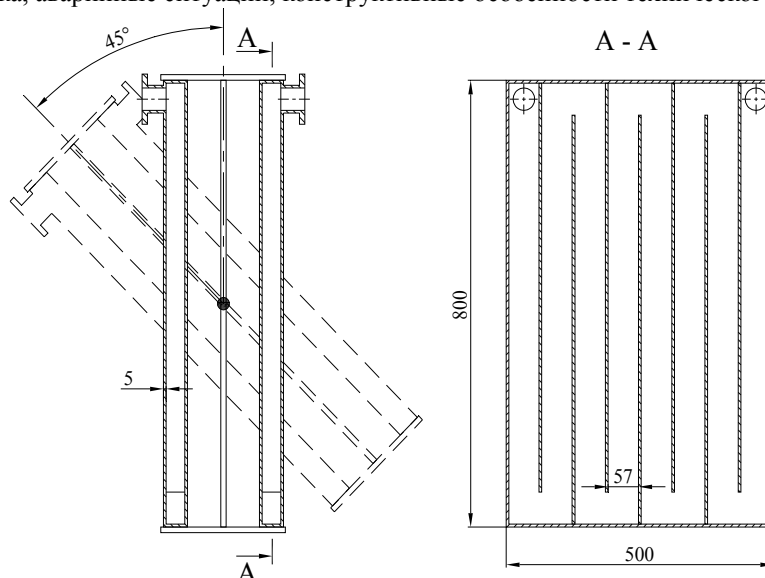


Рисунок 1 – Экспериментальная модель погружного пластинчатого теплообменника

Для исследования процессов теплоотдачи к заборной воде создана экспериментальная модель (рисунок 1). Она состоит из двух параллельных пластин высотой 0,8 м и шириной 0,5 м с внутренним лабиринтным каналом каждая. В ходе работ изменялось расстояние между этими пластинами в диапазоне от 20 до 240 мм. Температура теплоотдающей поверхности пластин измерялась с помощью термопар. Для предотвращения теплопотерь от остальных поверхностей экспериментальной модели они были тщательно теплоизолированы.

Экспериментальная модель размещалась в емкости объемом 17 м³ с неподвижной водой, имитируя условия теплоотдачи при свободной конвекции. Экспериментальная установка обеспечивала прокачивание горячей пресной воды с расходом до 0,001 м³/с и её прогрев до 90 °С. Также измерялась температура горячей воды на входе и выходе экспериментальной модели. Измерение расхода жидкости осуществлялось объемным методом.

На рисунке 2 показаны экспериментальные данные, которые позволили установить зависимость коэффициента теплоотдачи α от температурного напора Δt при различных зазорах δ между вертикально расположенными пластинами. Определено, что увеличение температурного напора Δt и зазора δ увеличивает теплоотдачу α . Например, при постоянном зазоре между пластинами $\delta = 80$ мм, температурном напоре $\Delta t = 5$ °С, коэффициент теплоотдачи $\alpha = 295$ Вт/(м²·К), а при температурном напоре $\Delta t = 40$ °С, коэффициент теплоотдачи $\alpha = 650$ Вт/(м²·К). При температурном напоре равном 25 °С увеличение зазора с 20 мм до 240 мм увеличивает теплоотдачу на 50 %.

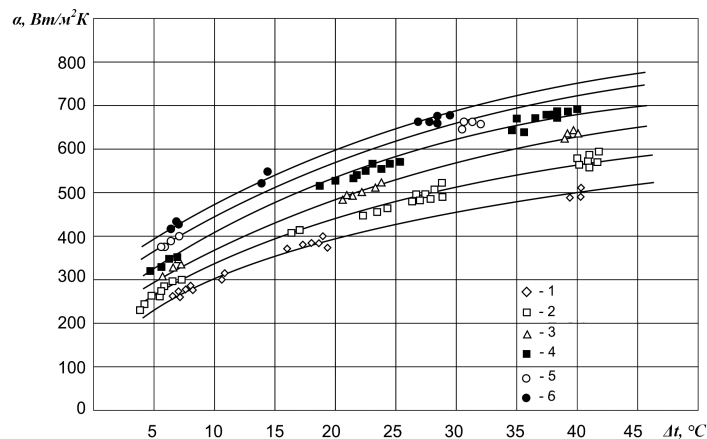


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента теплоотдачи α от температурного напора Δt при различных зазорах δ между вертикально расположенными пластинами:
1 – зазор $\delta = 20$ мм; 2 – 40 мм; 3 – 80 мм; 4 – 100 мм; 5 – 180 мм; 6 – 240 мм

В ходе проведения эксперимента определялось влияние угла наклона φ теплоотдающих поверхностей модели ПТОА на процесс теплоотдачи. При этом угол наклона изменялся от -45° до $+45^\circ$.

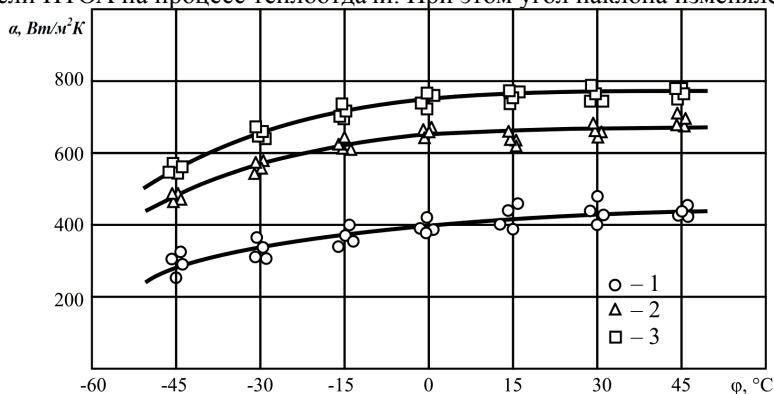


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента теплоотдачи α от угла наклона φ экспериментальной модели при различных температурных напорах Δt , при зазоре между пластинами $\delta=240$ мм:
1 – температурный напор $\Delta t = 8^\circ\text{C}$; 2 – 27°C ; 3 – 35°C

Окончательная обработка экспериментальных материалов, выполненная с использованием чисел подобия, показана на рисунке 4.

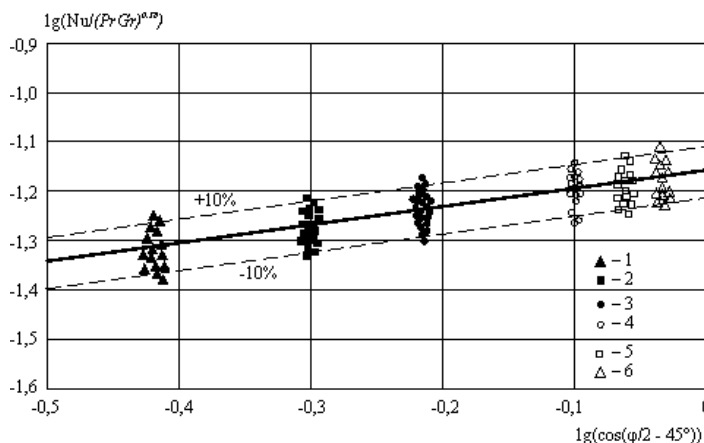


Рисунок 4 – Зависимость $\lg(\text{Nu}/(\text{PrGr})^{0.38})$ от $\lg(\cos[(\varphi/2) - 45^\circ])$:
1 – угол наклона экспериментальной модели $\varphi = -45^\circ$;
2 – -30° ; 3 – -15° ; 4 – 15° ; 5 – 30° ; 6 – 45°

В окончательном виде уравнение подобия записывается следующим образом:

$$\text{Nu} = 0,07 \cdot (\text{PrGr})^{0,38} \cdot (\cos[(\varphi/2) - 45^\circ])^{0,36}.$$

Данное уравнение справедливо в диапазоне изменения $(\text{PrGr}) = 6,3 \cdot 10^5 \dots 4,9 \cdot 10^9$.

Найденное уравнение подобия положено в основу расчета теплоотдачи в ПТОА. На этой основе разработана методика расчета необходимой площади теплообмена данного типа ТОА замкнутой системы охлаждения СЭУ. При этом учитывается изменение угла наклона, например, вследствие изменения крена судна. С использованием данных работы [4] может быть легко учтено влияние покраски и обрастание теплоотдающих поверхностей на теплопередачу.

В дальнейшем проведенные исследования дают возможность внедрения данного типа ТОА и, как следствие, в целом ЗСО СЭУ, отличающихся высокой надежностью и экологической безопасностью.

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. — Киев, 1980. — 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. Федоровский К.Ю. Замкнутая система охлаждения судовой энергетической установки / К.Ю. Федоровский // Рыбное хозяйство. — 1987. — № 2. — С. 46 – 47.

Поступила в редакцию 13.11.2007 г.