

УДК 62-713.1:621.436

А.А. Лунев; К.Ю. Федоровский, профессор, д-р техн. наук*Севастопольский национальный технический университет,**Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua***ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ В ПОГРУЖНОМ ПЛАСТИНЧАТОМ ТЕПЛООБМЕННИКЕ ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ**

Исследована теплоотдача при свободной конвекции пластинчатого теплообменника замкнутых систем охлаждения. Определено уравнение подобия данного процесса. Показана зависимость площади теплообменного аппарата от глубины его погружения в окружающую акваторию.

Система охлаждения является важнейшим элементом, определяющим работу энергетической установки судов и морских технических средств. Применяемые в настоящее время разомкнутые системы охлаждения предусматривают прием заборной охлаждающей воды из окружающей акватории, количество которой возрастает по мере увеличения энерговооруженности морского технического средства. Такие схемы успешно эксплуатируются для тех типов судов, которые длительное время находятся в сравнительно чистой акватории.

Суда технического флота, такие как различные типы морских буровых установок, плавкраны, землечерпалки, подводные аппараты и т.д., работающие на шельфе или в прибрежной зоне, могут находиться не только в загрязненной акватории, но и сами создавать её загрязнение. Для таких морских технических средств прием заборной загрязненной воды может привести не только к засорению элементов системы и выводу её из рабочего состояния, но и к резкому снижению надежности работы всей энергетической установки. Все это требует дополнительных затрат на обслуживание и ремонт системы.

Поступающая в разомкнутую систему заборная вода содержит рыбную молодь, икринки и другие биоорганизмы, в результате чего значительная их часть погибает, чем наносится существенный экологический ущерб. Это подтверждено международной экологической экспертизой [1].

Таким образом, при создании буровой платформы для эксплуатации в районе северо-восточного Каспия в техническом задании на её проектирование было дано указание на создание систем охлаждения, исключающих прием заборной воды, с целью обеспечения эффективной, надежной и экологически безопасной работы установки. Также, в предприятии «Черноморнефтегазпром», с целью создания замкнутой системы охлаждения морской стационарной буровой платформы на месторождении «Галицино», разработан погружной теплообменный аппарат (ПТОА) в виде одиночной пластины.

Становится очевидной необходимость создание замкнутых систем охлаждения энергоустановок, исключающих прием заборной охлаждающей воды при проектировании таких морских технических средств. Известны способы решения этой задачи для судов технического флота [2]. Буровые платформы конструктивно отличаются от судов. Они устанавливаются на фермовых основаниях либо на спускоподъемных опорах. Для них целесообразно может оказаться создание ПТОА, который отводил бы теплоту в заборную воду.

Целью нашего исследования являлось изучение процесса теплообмена при свободной конвекции в погружном пластинчатом теплообменном аппарате замкнутой системы охлаждения и обеспечение возможности внедрения в практику замкнутых систем охлаждения энергетических установок.

С точки зрения простоты изготовления и обслуживания одним из наиболее рациональных вариантов такого аппарата является набор параллельно расположенных плоских полых пластин с лабиринтными каналами внутри. По данным каналам движется охлаждаемая пресная вода (рисунок 1). Так, например, в условиях мелководья северо-восточного района Каспия имелись ограничения по высоте. Теплоотдача при движении охлаждаемой пресной воды в лабиринтном канале такого аппарата хорошо изучена [2]. Для расчета теплоотдачи заборной воде нельзя использовать хорошо известные зависимости для изотермических поверхностей, поскольку по данным [3] ошибка может достигать 50%.

Поскольку пластины располагаются в пакете с зазором между ними, создавая совершенно новые условия для теплоотдачи, то нельзя также использовать зависимости для теплоотдачи через судовую обшивку, полученные в [2,3]. Таким образом, отсутствуют аналитические зависимости и, как следствие, методики расчета таких аппаратов. Необходимы специальные исследования с целью определения необходимых расчетных зависимостей.

Для исследования процессов теплоотводов создана экспериментальная установка. Она состоит из двух параллельных пластин высотой 0,8 м и шириной 0,5 м с внутренним лабиринтным каналом каждая. С использованием специального устройства изменялось и фиксировалось 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.

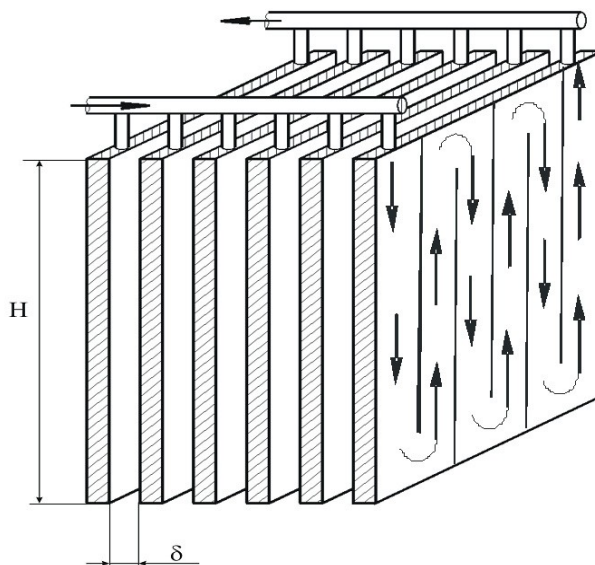


Рисунок 1 – Погружной пластинчатый теплообменный аппарат

Экспериментальная модель размещалась в емкости объемом 17 м^3 с неподвижной водой, имитируя условия теплоотдачи при свободной конвекции. Экспериментальная установка обеспечивала прокачивание горячей пресной воды с расходом до $0,001 \text{ м}^3/\text{с}$ и её прогрев до 90°C . Также контролировалась температура горячей воды на входе и выходе экспериментальной модели. Измерение расхода жидкости осуществлялось объёмным методом.

Получены экспериментальные данные, которые позволили установить зависимость коэффициента теплоотдачи α от температурного напора Δt при различных зазорах δ между пластинами. Определено, что увеличение температурного напора Δt и зазора δ увеличивает теплоотдачу α . Так, например, при постоянном зазоре между пластинами $\delta = 80 \text{ мм}$, температурном напоре $\Delta t = 5^\circ\text{C}$, коэффициент теплоотдачи $\alpha = 295 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$, а при температурном напоре $\Delta t = 40^\circ\text{C}$, коэффициент теплоотдачи $\alpha = 650 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$. При температурном напоре равном 20°C увеличение зазора с 20 мм до 240 мм увеличивает теплоотдачу на 50 %.

Окончательная обработка экспериментальных материалов, выполненная с использованием чисел подобия, показана на рисунке 2. Коэффициент корреляции при этом равен $r = 0,98$.

В окончательном виде уравнение подобия записывается следующим образом:

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

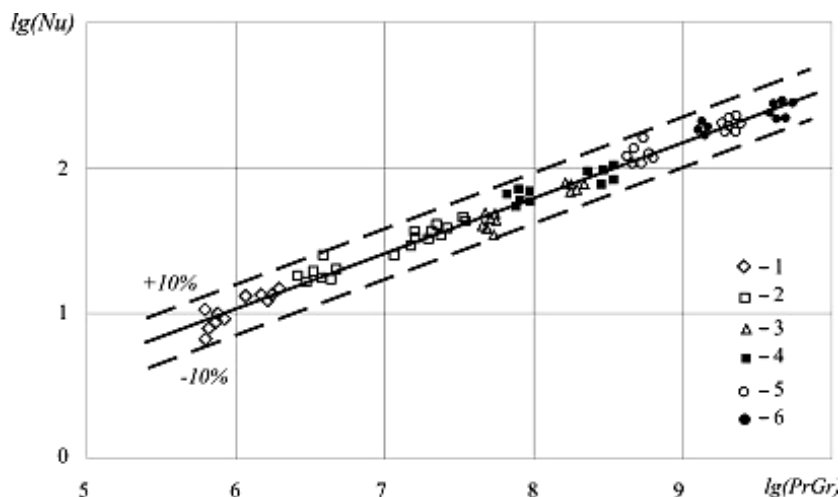


Рисунок 2 – Зависимость $\lg(Nu)$ от $\lg(PrGr)$: 1 – зазор $\delta = 20 \text{ мм}$; 2 – 40 мм; 3 – 80 мм; 4 – 100 мм; 5 – 180 мм; 6 – 240 мм

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

Найденное уравнение подобия положено в основу расчета теплоотдачи в ПТОА. Разработана методика расчета необходимой площади теплообмена для данного типа теплообменника замкнутой системы охлаждения. Теплоотдача в лабиринтных каналах и через стенки ПТОА рассчитывается по известным зависимостям, полученным в [4]. В [4] учитывается также влияние покраски и обрастание теплоотдающих поверхностей на теплоотдачу.

Была определена необходимая площадь ПТОА замкнутой системы охлаждения применительно к энергетической установке мощностью $N_e=2000$ кВт при погружении аппарата на глубину от 5 до 50 метров.

На рисунке 3 показана зависимость площади теплообмена от глубины погружения ПТОА в акватории, в которой находится морское техническое средство.

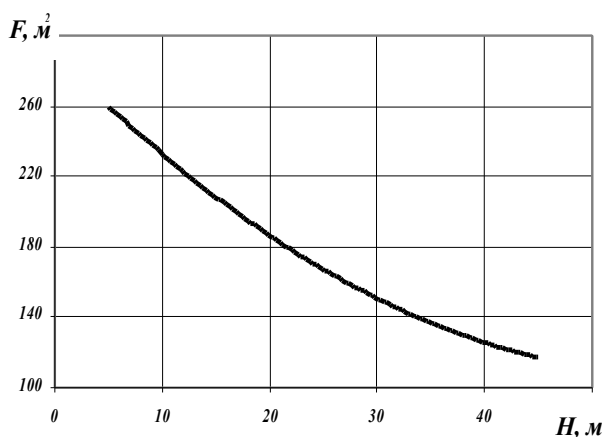


Рисунок 3 – Зависимость площади теплообмена F от глубины H погружения ПТОА

Из зависимости видно, что чем глубже расположен ПТОА, тем ниже температура забортной воды. При этом температурный напор Δt увеличивается, что ведет к повышению коэффициента теплоотдачи α , и, как следствие, к уменьшению необходимой площади теплообмена ПТОА замкнутой системы охлаждения морских технических средств.

Таким образом, исследования показали, что создание предложенных конструкций погружных пластинчатых теплообменных аппаратов является достаточно перспективным с точки зрения конструктивного упрощения и снижения эксплуатационных затрат систем охлаждения энергетических установок.

Дальнейшие исследования теплообмена в погружном пластинчатом теплообменном аппарате при различных углах его наклона позволят выявить влияние на процесс теплоотдачи при свободной конвекции.

Библиографический список

1. Oertzen J.A. Beflussung durch Abwärme / J.A. Oertzen // Abh. Akad., Wiss. DDR. — 1974. — Р. 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. — 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. Исаченко В.П. Теплопередача: Учебник для вузов / В.П. Исаченко. — М.: Энергия, 1975. — 488 с.

Поступила в редакцию 3.11.2006 г.