

ЭНЕРГЕТИКА

УДК 62-713.1

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

Д.О. Владецкий

Севастопольский национальный технический университет,

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

ВИЗУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ ЗАТОПЛЕННЫХ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СТРУЙ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПЛОСКОМ КАНАЛЕ

Представлены результаты визуальных исследований течения затопленных газожидкостных струй, формирующихся в зазоре между двумя плоскими вертикальными теплоотдающими поверхностями. Определен характер взаимодействия газожидкостной струи с указанными поверхностями теплообмена, а также определено оптимальное положение газового коллектора относительно пластин.

Одним из основных элементов судна является его энергетическая установка (ЭУ) и, в частности, её система охлаждения. Широко применяемые в настоящее время двухконтурные разомкнутые схемы не позволяют в ряде случаев в полной мере решить поставленные задачи из-за приёма коррозийно-активной и часто загрязнённой забортной воды. Кроме того, при эксплуатации буровых платформ по экологическим и техническим причинам [1] целесообразно отказаться от приема забортной охлаждающей воды.

Выход может быть найден в организации замкнутой системы охлаждения ЭУ с использованием теплообменных аппаратов, в которых в качестве теплообменных поверхностей выступают различные конструктивные элементы буровой платформы.

Кроме того, при необходимости дополнительные теплообменные поверхности могут выполняться в виде пакета расположенных с зазором параллельных пластин, погруженных в забортную воду, т.е. в виде погружного пластинчатого теплообменного аппарата.

При размещении буровой платформы в экваториальных широтах, из-за малого температурного напора между теплоотдающей поверхностью и забортной водой, коэффициент теплопередачи таких аппаратов довольно низкий, что определяет значительные требуемые площади теплообменника. Возникает необходимость разработать метод интенсификации теплоотдачи в указанных условиях.

Известно, что теплоотдача забортной воде в пластинчатых погружных теплообменных аппаратах осуществляется при свободной конвекции. Это наиболее неблагоприятный для таких теплопередающих устройств режим работы. Обреждение наружной поверхности теплообменного аппарата (ТОА)

существенно ухудшает его массогабаритные показатели и приводит к резкому увеличению стоимости и сложности очистки от обрастателей и загрязнения.

Известны исследования по улучшению теплоотдачи за счет подачи воздуха в вертикальные цилиндрические каналы, вертикальные колонки и в каналы различной формы, используемые в химической промышленности [2].

Значительная часть исследований касается движения в жидкости плавучих пузырей и соответствующему влиянию на теплообмен. Изучение теплоотдачи в неподвижной жидкости при подаче через нее газа выполнено в [3]. В соответствии с приведенными данными имеет место автомодельность процесса.

Исходя из выше сказанного, представляет интерес рассмотреть возможность интенсификации теплоотдачи путем подачи воздуха в зазор между теплоотдающими поверхностями, аналогично методам, используемым в химической промышленности.

Интенсификация теплоотдачи от одиночной вертикальной теплоотдающей поверхности, с формированием у наружной поверхности теплообмена затопленной газожидкостной струи, рассмотрена в [4].

Согласно данным, приведенным в [4], теплоотдача, при температурных напорах между теплоотдающей стенкой и заборной водой $(\bar{t}_C - t_3) \leq 2^\circ\text{C}$, может быть увеличена в 20...30 раз. При температурном напоре $\bar{t}_C - t_3 > 16...18^\circ\text{C}$ интенсификация теплоотдачи, по сравнению со случаем свободной конвекции, достигает 5...8 раз, т.е. чем меньше температурный напор, тем выше эффект интенсификации теплоотдачи. Для одиночной пластины получены уравнения подобия.

Однако указанные выше данные не могут быть применены к расчету теплоотдачи в рассматриваемом пластинчатом ТОА, так как они существенно отличаются по граничным условиям. Необходимо проведение исследований указанной системы с учетом всех ее особенностей.

Предлагается интенсификацию теплоотдачи от рабочей поверхности пластинчатого погружного ТОА заборной воде осуществлять посредством формирования у поверхности теплообмена затопленных газожидкостных струй [4].

На рисунке 1 изображена схема такого теплообменного аппарата. Горячая пресная вода от энергетической установки проходя через впускной коллектор 2 подается внутрь каждой теплообменной пластины 1. Двигаясь внутри ее по лабиринтному каналу, пресная вода отдает теплоту заборной воде и поступает в выпускной коллектор 3. Для формирования затопленной газожидкостной струи 5 в нижней части теплообменных пластин устанавливается газовый коллектор 4 с выполненными по длине отверстиями, через которые осуществляется подвод воздуха.

Эффект интенсификации теплоотдачи основан на том, что поднимающиеся пузырьки воздуха турбулизируют жидкость и проталкивают ее вдоль поверхности теплообмена, одновременно подсасывая холодную жидкость из окружающего пространства. Поднимаясь на поверхность, пузырьки воздуха двигаются по спирали, за счет этого они внедряются в пристенный пограничный слой, разрушая его, и тем самым резко способствуя увеличению теплоотдачи.

Для выявления характера взаимодействия газожидкостной струи, с теплоотдающими поверхностями, нами были проведены визуальные исследования на прозрачной модели. Она представляла собой прямоугольную прозрачную емкость высотой 1,0 м и шириной 0,5 м. Емкость заполнялась водой, со специальными добавками, позволяющими визуализировать течение. Воздух подавался через трубку с выполненными по длине отверстиями. Имелась возможность изменять величину зазора между пластинами, а также положение газового коллектора относительно них. Наблюдаемые течения представлены на фотографиях (рисунки 2,3).

На рисунке 2 представлен материал в виде сборки фотографий для фиксированного расхода газа при различной величине зазора H .

Видно, что газожидкостная струя сначала формируется как неограниченная осесимметричная, а затем, по мере развития, зажимается с двух сторон теплообменными поверхностями. Угол раскрытия такой струи примерно постоянный и равный $\gamma = 22...26^\circ$, что в два раза больше чем у полуограниченной струи.

Когда расстояние между пластинами $H = 37$ мм и источник газа размещен на равном удалении от пластин, происходит сильная турбулизация потока, что показано на рисунке 2, а. За счет малого расстояния между пластинами теплообменные поверхности омываются сердцевинной газожидкостной струи, т.е. частью струи с максимальной турбулизацией потока. Наблюдаются интенсивные поперечные пульсациидвигающихся пузырьков воздуха, глубокое их проникновение в пристенный пограничный слой

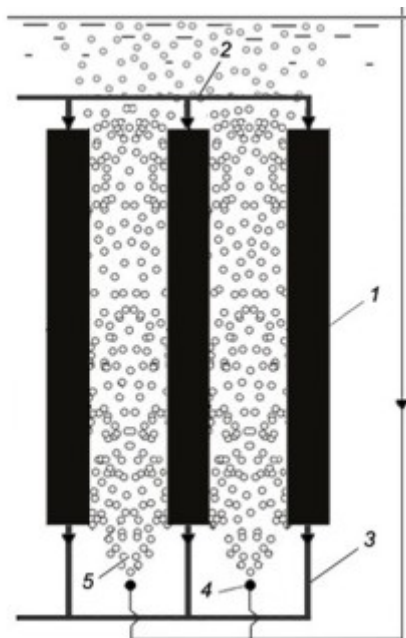


Рисунок 1 – Погружной пластинчатый теплообменный аппарат

вплоть до теплоотдающих поверхностей и, как следствие, его разрушение.



Рисунок 2 – Течения плоской газожидкостной струи, ограниченной двумя вертикальными поверхностями теплообмена при различных расстояниях между ними

За счет действия газожидкостной струи снизу происходит подсос жидкости из окружающего пространства и ее проталкивание вверх между пластинами.

При увеличении расстояния между пластинами турбулентная сердцевина отдалается от теплообменных поверхностей, что приводит к затиханию процесса турбулизации. На рисунке 2, б, при ширине зазора $H=50$ мм, газожидкостная струя все еще проникает в пристенный пограничный слой, но за счет удаления теплоотдающих поверхностей от оси газожидкостной струи пристенный

пограничный слой разрушается не полностью.

Когда зазор между пластинами $H=120$ мм (рисунок 2, в), струя начинает формироваться как неограниченная. Из-за большого расстояния между теплообменными поверхностями турбулизирующий эффект газожидкостной струи снижается, происходит интенсивное образование застойных зон, ухудшающих теплоотдачу.

Подводя итог, видно, что расширение зазора между вертикальными, параллельными теплообменными пластинами во взаимосвязи с газожидкостной струей имеет свои ограничения.

Данную проблему можно решить размещением двух источников воздуха непосредственно на каждой теплообменной поверхности (рисунок 3, а). Это один из возможных вариантов, однако, расход воздуха увеличивается в два раза. Целесообразность этого требует дополнительного исследования. Следует найти предельное, оптимальное расстояние, когда используется одна газожидкостная струя.

Исследования показывают (рисунок 3, б), что не имеет никакого смысла поднимать источник воздуха вверх. Имеет место подсос жидкости в зазор снизу, однако, разрушения и турбулизации пристенного пограничного слоя на нижнем участке не происходит.

Для того чтобы полностью задействовать для всей теплоотдающей поверхности предложенный процесс интенсификации теплоотдачи, газовый

коллектор должен быть установлен на некотором расстоянии ниже теплообменных пластин. Тогда газожидкостная струя, развиваясь, омывает теплообменные поверхности сразу по всей площади, как показано на рисунке 3, в. В этом случае коллектор должен располагаться чуть ниже пластин на величину $Z = (H/2)/\text{tg}(\gamma/2)$. С учетом того, что угол раскрытия газожидкостных струй $\gamma = 22...26^\circ$, то $Z \approx 2H$.

Таким образом, визуальные исследования течения газожидкостных струй в зазоре между двумя вертикальными теплоотдающими поверхностями, показывают на подобие процессов, имеющих место на одиночных вертикальных пластинах. Это дает основание ожидать существенной интенсификации теплоотдачи в погружном пластинчатом ТОА.

Для проведения теплотехнических исследований создана экспериментальная установка, представляющая собой две вертикальные параллельные пластины с шириной теплоотдающей поверхности 0,5 м и высотой 0,8 м каждая. Экспериментальная установка позволяет изменять расстояние между пластинами, положение воздушного коллектора, расход воздуха и ряд других параметров. Первоначальные оценочные результаты на этой модели подтверждают правильность высказанных выше подходов.

Перспективы дальнейших исследований в данном направлении не ограничиваются только интенсификацией теплоотдачи газожидкостными струями в ПТОА, применительно к буровым платформам. Данный метод может быть так же использован в системах аварийного расхолаживания АЭС. Для применения указанного метода необходимо получение критериевых уравнений подобия, описывающих происходящие процессы.

Библиографический список

1. Цыпин В.М. Возможности снижения вредного влияния работы энергетических установок буровых платформ на окружающую среду / В.М. Цыпин, Л.Н. Пше-



Рисунок 3 – Различные варианты течения плоской газожидкостной струи, ограниченной двумя вертикальными поверхностями теплообмена

нин // Основы проектирования плавучих буровых установок: Материалы всесоюзной науч. техн. конф., г. Москва, сент. 1980 г. — М., 1980. — С. 278–283.

2. Kutaladze S.S. Liquid repulsion effect in gas bubbling through porous surface/ S.S. Kutaladze, I.G. Malenkov // Lett. Heat Mass Transfer. — 1977. — V. 4. — P. 209–215.

3. Konsetov V.V. Heat transfer during bubbling of gas through liquid/ V.V. Konsetov // Int. J. Heat Mass Transfer. — 1966. — V. 9. — P. 1103–1108.

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

Поступила в редакцию 14.12.2004 г.