

кабели) и др. К вспомогательному относится оборудование, обеспечивающее выполнение основных технологических операций по ликвидации аварийного разлива нефти.

В состав основного оборудования входят:

- боновые заграждения;
- нефтесборные устройства;
- резервуары для сбора нефти;
- оперативные донные якоря.

В состав вспомогательного оборудования входят:

- маломерные суда (катера, лодки для обслуживания БЗ и т.п.);
- грузоподъемные средства;
- автотранспорт (самосвалы, вакуумные автоцистерны и т.п.);
- осветительные установки;
- электростанции;
- передвижные пропарочные установки;
- силовые установки к НСУ;
- насосы для перекачки нефти;
- распылители сорбента;
- оборудование для смыва нефти с берегов;
- переносное (ручное) нефтесборное оборудование;
- оборудование для создания водяных и воздушных завес и т.д. [3].

Боновые заграждения – трубы (секции), соединенные между собой, устанавливаемые на акватории водотока под углом к динамической оси (стрелю) потока, вдоль которого происходит распространение нефтяного пятна [4].

Внимания заслуживает и разработка документации, устанавливающей общие требования к размещению, обустройству и эксплуатации стационарных рубежей локализации и сбора нефти на водотоках, а также требования, направленные на обеспечение промышленной безопасности и охраны окружающей среды.

На кафедре трубопроводного транспорта, водоснабжения и гидравлики УО ПГУ ведутся научно-исследовательские работы по разработке такой документации. В ходе выполнения этих работ разработан стандарт организации, получивший название «Стационарные рубежи локализации и сбора нефти на водотоках. Правила размещения, обустройства и эксплуатации».

ЛИТЕРАТУРА

1. Магистральный нефтепроводный транспорт. Термины и определения: РД-01.120.00-КТН-228-06: утв. приказом ОАО «АК «Транснефть» от 3 июля 2006 г. № 67.
2. Липский, В.К. Система организационно-технических мероприятий по защите водных объектов при залповых сбросах нефти. Обзорная информация / В.К. Липский, Л.М. Спириденко, П.В. Коваленко. – Минск: БЕЛНИЦ Экология, 2002. – 40 с.
3. Рубежи задержания и сбора нефти на крупных судоходных реках / А.А. Груздев [и др.] // Трубопроводный транспорт нефти. – Прил. – 2001. – № 3. – С. 8.
4. Защита водных объектов при аварийных разливах нефти / Д.П. Комаровский [и др.]; под общ. ред. В.К. Липского. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – 60 с.

УДК 697.9

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ЛИСТА ОРЕБРЕНИЯ СИНУСОИДАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛОТДАЧИ В ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЯХ

О.А. ЕРОШОВА, Е.А. МЕНЖИНСКИЙ, М.М. МЕНЯШОВ
(Представлено: В.А. ЗАФАТАЕВ)

Количественно и качественно определена зависимость коэффициента теплоотдачи от геометрических параметров оребрения поверхности теплоотдачи рекуперативных воздухоподогревателей типа ВНВ с тремя и четырьмя поперечными воздушному потоку рядами трубок.

Эксергетический анализ инженерных систем создания микроклимата в зданиях показывает, что наибольшее падение потенциала работоспособности теплоносителя приходится на теплоиспользующие установки этих систем (в среднем по видам сетей до 40 %). При этом следует чётко разделять полезное для процесса необратимое падение работоспособности и величину анергии потока [1], т.е. части потен-

циала потока, которую в данной цепочке теплопреобразователей невозможно использовать исходя из ограничений, накладываемых на процесс законами термодинамики. Именно повышение полноты использования теплового потенциала, т.е. сокращение анергетической составляющей в теплоиспользующей схеме, а значит и повышение её КПД, считается перспективным направлением научного поиска в условиях недостатка в стране собственных источников энергоресурсов и роста цен на энергоносители.

Вместе с тем поиск термодинамически оптимального варианта организации тепловой схемы не должен идти в разрез с экономическими предпосылками, так как известно [2], что термодинамически эффективная система может быть весьма далёкой от экономического оптимума, а чаще всего – и вовсе нереализуемой. Эти обстоятельства приводят к необходимости разработки методик математического моделирования теплообменных процессов, учитывающих сложную взаимосвязь конструктивных, термодинамических и экономических критериев с минимально возможным количеством идеализированных допущений.

Упрощённую математическую модель воздухоподогревателя с теплоносителем «вода», движущимся в трубках (соответственно подогреваемый воздух движется в межтрубном пространстве), можно представить в виде двух основных функциональных блоков – блок расчёта геометрических характеристик и блок расчёта теплогидравлических характеристик. Чаще всего к такой схеме добавляется и третий блок – расчёт экономических параметров.

В настоящей работе ставилась задача определения влияния пошагового изменения геометрических параметров оребрения теплообменной поверхности на величину интенсивности теплоотдачи со стороны теплоносителя с меньшим тепловым эквивалентом (т.е. со стороны воздуха), и поэтому представлены результаты расчёта только по первым двум блокам.

Теплообменная поверхность рассматриваемого воздухоподогревателя представляет собой несколько ходов горизонтальных трубок, расположенных в шахматном порядке в пределах обечайки (корпуса) теплообменника, на которые плотно с постоянным шагом насажены алюминиевые листы синусоидального профиля. Вид профильного листа оребрения показан на рисунке 1.

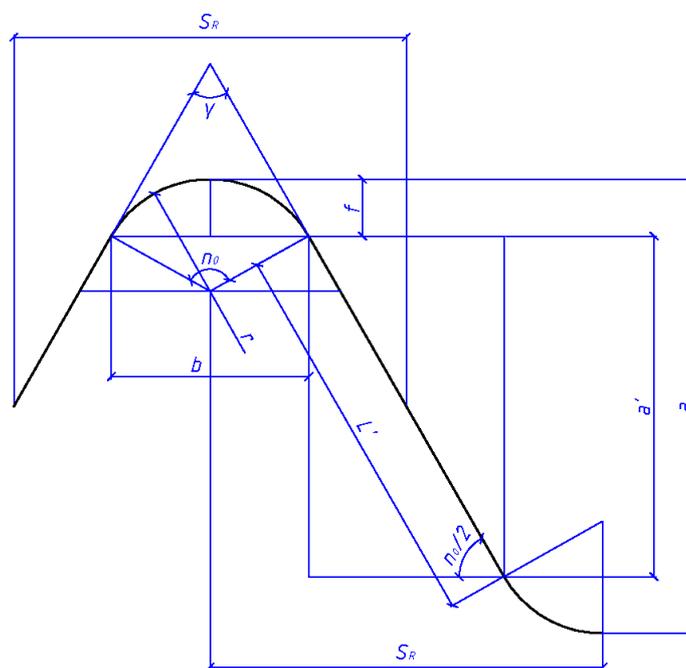


Рис. 1. Фрагмент синусоидальной гофры

Воздух движется в пространстве между этими листами и благодаря особенностям изгиба листов меняет своё направление и таким образом интенсивно перемешивается, что благоприятно сказывается на величине теплоотдачи к воздуху с поверхности.

Исходными данными в расчёте первого блока являются: материал трубок – медь; материал оребрения – алюминий; угол раскроя гофр γ ; основание сектора b ; поперечная разбежка гофр a ; размеры фронтального сечения теплообменника $A_{\text{фронт}}$, $B_{\text{фронт}}$, H ; наружный диаметр трубок d_0 ; толщина стенки труб δ_1 ; толщина пластин Δ ; шаг установки пластин S .

Остальные геометрические параметры рассчитываются по формулам:

- угол раскрыя

$$\gamma = 180 - n_0; \quad (1)$$

- высота сектора

$$f = 2r \sin^2 \frac{n_0}{4};$$

- радиус вписанной в гофру окружности

$$r = \frac{b}{2 \sin \frac{n_0}{2}}; \quad (2)$$

- угловая увеличения разбежки гофр

$$L' = \frac{a'}{\sin \frac{n_0}{2}} = \frac{a - 4r \sin^2 \frac{n_0}{4}}{\sin \frac{n_0}{2}}; \quad (3)$$

- шаг гофрировки

$$S_R = 2r \sin \frac{n_0}{2} + \frac{L'}{2} \cos \frac{n_0}{2} = 2r \sin \frac{n_0}{2} + \left(a - 4r \sin^2 \frac{n_0}{4} \right) \operatorname{ctg} \frac{n_0}{2}, \quad (\text{при } a \neq 2f). \quad (4)$$

Если $a = 2f$, то

$$S_R = 2r \sin \frac{n_0}{2}; \quad (5)$$

- количество поворотов воздушного потока

$$N_{\text{пов}} = \frac{H}{S_R}; \quad (6)$$

- приведенная длина пластины по ходу воздуха

$$L_{\text{зарм}} = \frac{H}{S_R} \left(\frac{a - 4r \sin^2 \frac{n_0}{4}}{\sin \frac{n_0}{2}} + 0,01745 n_0 \right), \quad (\text{при } a \neq 2f). \quad (7)$$

Если $a = 2f$, то

$$L_{\text{зарм}} = \frac{0,01745 n_0 H}{2 \sin \frac{n_0}{2}}; \quad (8)$$

- приведенная теплопередающая поверхность пластины оребрения

$$F_{\text{зарм}} = 2B_{\text{фронт}} L_{\text{зарм}} - Z_{\text{тр}} \frac{\pi d_0^2}{4}, \quad (9)$$

где $Z_{\text{тр}}$ – количество трубок в пучке;

- количество трубок в ряду

$$z_{\text{тр},p} = \frac{B_{\text{фронт}}}{2S_1}; \quad (10)$$

- количество пластин в компоновке

$$Z_{пл} = \frac{A_{фронт} - a}{S} + 1; \quad (11)$$

- поверхность теплопередачи

$$F_{ор} = F_{пл} + F_{тр} = \left(\frac{A_{фронт} - a}{S} + 1 \right) \left(2B_{фронт} L_{сарм} - Z_{тр} \frac{\pi d_0^2}{4} \right) + (Z_{тр} A_{фронт} \pi d_0 - \pi d_0 Z_{пл} Z_{тр} \Delta); \quad (12)$$

- полное сечение для прохода воздуха

$$F_{прох} = (A_{фронт} - a) B_{фронт} - d_0 S (z_{тр.чёр} + z_{тр.леч}). \quad (13)$$

Результаты исследования получены с помощью разработанного алгоритма [3] поверочного теплового расчёта установок рекуперативных теплообменников, применяемых в системах вентиляции, кондиционирования воздуха, представленного в виде математической макромодели конвективного теплообмена и реализованного на базе СУБД в виде программы ЭВМ.

Температурные условия работы воздухоподогревателя принимались для холодного периода года соответствующими требованиям СНБ 4.02.01-03 для наружного воздуха Витебской области и ТКП 45-2.04-43-2006 для воздуха в вентилируемом помещении.

Исследованию подлежали воздухоподогреватели со следующими геометрическими параметрами [4]: размеры обечайки $A_{фронт} = 905$ мм, $B_{фронт} = 503$ мм, $H = 80$ мм (три поперечных ряда трубок), $H = 100$ мм (четыре поперечных ряда трубок), – для модели № 9 из типового ряда (ГОСТ 26548); поперечный шаг трубок $S_1 = 50$ мм, продольный шаг $S_2 = 25$ мм, наружный диаметр медных трубок $d_0 = 12$ мм, толщина стенки трубки $\delta_1 = 0,4$ мм, толщина листа оребрения $\Delta = 0,2$ мм, поперечная разбежка гофр 4 мм, угол раскрытия гофр $\gamma = 90^\circ$, число ходов по воде $z_{ход} = 6$, шаг оребрения 1,8, 2,5 и 4,5 мм. Технологически рекомендуемая скорость воды $w_{воды} = 0,8 \dots 1,5$ м/с.

Результаты расчёта представлены на рисунке 2.

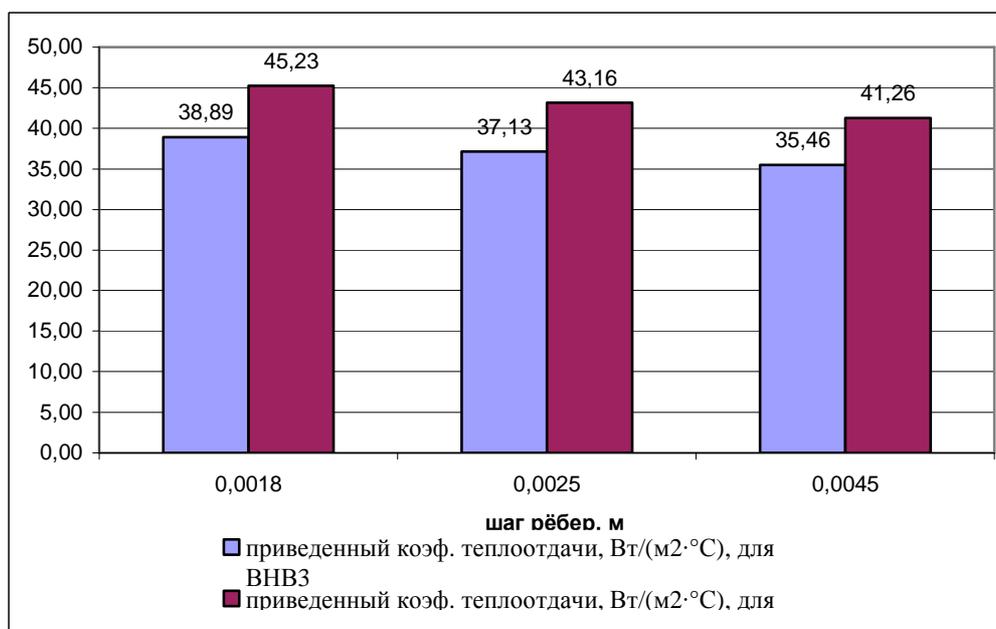


Рис. 2. Величина приведенного коэффициента теплоотдачи, Вт/(м²·°C), в зависимости от шага рёбер

Далее исследовались 3-х и 4-хрядные воздухоподогреватели с поперечной разбежкой гофр 4 мм, шагом оребрения 4,5 мм, числом ходов по воде $z_{\text{ход}} = 6$. Увеличивался угол раскроя гофр γ . Результаты расчёта представлены на рисунке 3.

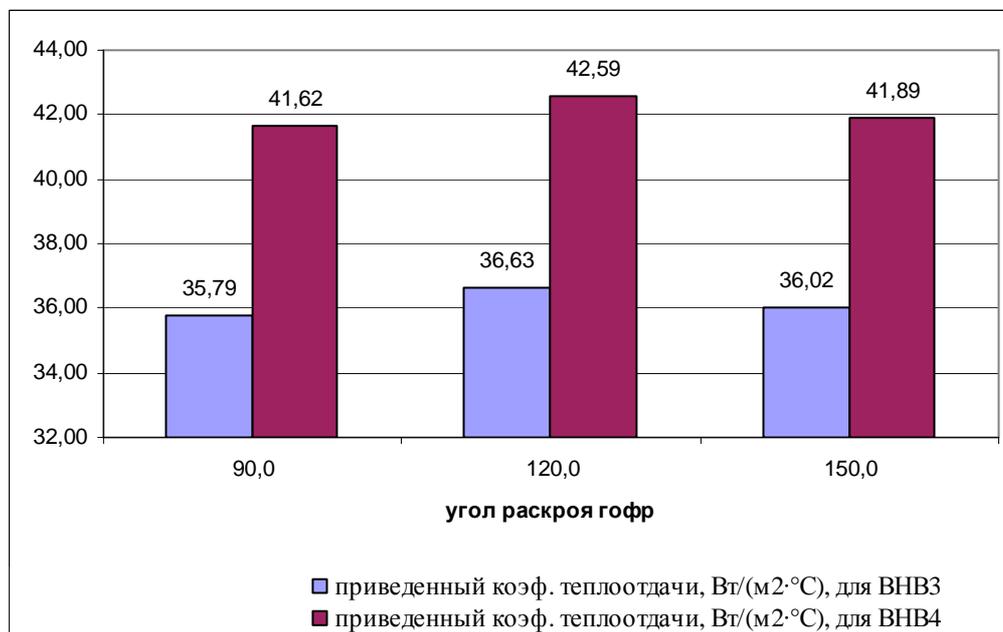


Рис. 3. Величина приведенного коэффициента теплоотдачи, Вт/(м²·°C), в зависимости от угла раскроя гофр

По рисунку 2 видно, что при увеличении шага оребрения S в 1,4...1,8 раза приведенный коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{пр}}$ к воздуху уменьшается в среднем на 4,5 %.

Угол раскроя гофр $\gamma = 120^\circ$ позволяет достичь наибольших значений $\alpha_{\text{пр}}$ по воздуху (см. рис. 3).

Таким образом, благодаря численному решению задачи конвективного теплообмена на оребренной поверхности можно определить термодинамически выгодную совокупность конструктивных характеристик теплообменной поверхности. При этом решение строится в несколько этапов и позволяет сначала изучить влияние на величину целевого определяемого параметра шага изменения тех геометрических параметров, на которые тот наиболее сильно реагирует, зафиксировав при этом остальные параметры оребрения, и наоборот. Такой подход становится возможным, когда дискретно изменяющиеся определяющие параметры задачи определены, их изменение заранее известно, а предел этих изменений достаточно узкий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бродянский, В.М. Эксергетический метод и его приложения / В.М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 250 с.
2. Зафатаев, В.А. Термодинамический анализ энергоэффективности устройств для подогрева воздуха в системах воздушного отопления и вентиляции: дис. ... магистра техн. наук / В.А. Зафатаев. – Новополоцк, 2010. – 55 с.
3. Оценка термодинамической и термозкономической эффективности теплообменных установок: отчет о НИР (заключ.) / Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»; рук. темы Т.И. Королёва, отв. исп. В.А. Зафатаев. – Новополоцк, 2013. – 114 с. – № ГР 20130524.
4. Бялый, Б.И. Тепломассообменное оборудование воздухообрабатывающих установок ООО «ВЕЗА» / Б.И. Бялый. – М.: ООО «Инфорт», 2005. – 280 с.