

УДК 66.045

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ В СИСТЕМЕ ДВУХКОНТУРНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

С.В. Иваняков, Ю.И. Игнатенков, Д.В. Коноваленко

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: mahp@inbox.ru

Рассмотрена работа систем водоснабжения с естественным охлаждением. Выявлены достоинства и недостатки одноконтурных и двухконтурных систем оборотного водоснабжения. Проведен анализ параметров работы пластинчатых теплообменников рассматриваемой системы, и на основании полученных результатов сделан вывод о значительном преобладании термического сопротивления со стороны открытого контура над сопротивлением закрытого, что позволило конкретизировать общие уравнения теплопереноса в пластинчатых теплообменниках и получить математическую модель скорости нарастания загрязнений в каналах открытого контура водоснабжения. Результаты моделирования показали достаточную точность, что позволило использовать полученную модель для оптимизации работы системы водоснабжения.

Ключевые слова: двухконтурная система водоснабжения, пластинчатый теплообменник, загрязнения.

В производствах, требующих большого количества воды для охлаждения, используют блоки с естественным охлаждением в градирнях, обладающих низкой себестоимостью охлаждения [1].

Обычно используются два вида систем с естественным охлаждением:

- одноконтурные, в которых охлаждение осуществляется водой, непосредственно проходящей через градирни;
- двухконтурные, в которых охлаждение осуществляется хладагентом закрытого цикла, охлажденным водой открытого цикла, проходящей через градирни.

Одноконтурные системы позволяют получить хладагент (воду) с температурой на 3–6 °С выше температуры по влажному термометру, но при этом из-за непосредственного контакта воды с воздухом в градирне вода загрязняется, а также происходит испарение в атмосферу продуктов, попавших в воду из технологических аппаратов.

Применение двухконтурных систем снижает загрязнение хладагента закрытого контура, но при этом температура охлаждения обеспечивается на уровне 2–3 °С выше температуры, которая может быть достигнута в системах открытого типа. Кроме этого, наличие двух контуров хладагентов приводит к увеличению

Сергей Викторович Иваняков (к.т.н.), доцент кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств».

Юрий Иосифович Игнатенков (к.т.н., доцент), доцент кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств».

Денис Владимирович Коноваленко, старший преподаватель кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств».

потребления электроэнергии на перекачку.

На рассматриваемом предприятии реализована двухконтурная система оборотного водоснабжения с передачей тепла в пяти пластинчатых теплообменниках общей площадью 7320 м².

Усредненные параметры работы теплообменников приведены в табл. 1.

Результаты замеров работы теплообменников показали, что гидравлическое сопротивление открытого водооборотного контура значительно выше, чем сопротивление закрытого. Это повышение давления вызвано образованием отложений (накипи) на стенках пластин.

Таблица 1

Усредненные параметры работы теплообменников

№ ТО	Водооборотный контур	Температура входа, °С	Температура выхода, °С	Расход, м³/ч	Перепад давления, кПа	Срок эксплуатации после очистки, месяцев
Март 2016 г.						
1	Открытый	—	—	—	—	на очистке
2		21,0	27,5	1962	132	2
3		21,0	28,0	1872	153	2
4		21,0	26,0	2520	142	1
5		21,0	26,0	1368	120	11
1	Закрытый	—	—	—	—	на очистке
2		35,0	24,0	1411	28	2
3		35,0	28,5	2304	138	2
4		35,0	22,5	1008	26	1
5		35,0	25,5	1153	48	11
Июнь 2016 г.						
1	Открытый	21,5	27,1	1892	181	3
2		21,4	27,5	1853	180	5
3		21,5	28,8	960	200	5
4		21,4	27,9	1456	178	4
5		21,4	25,4	2026	184	2
1	Закрытый	33,5	24,2	1053	38	3
2		33,6	24,9	1549	22	5
3		33,6	28,5	1621	30	5
4		33,5	24,7	1121	16	4
5		33,5	22,9	1007	8	2

Анализируя значения перепадов давления на теплообменниках по открытому и закрытому водооборотным контурам, можно сделать вывод, что толщина загрязнений в закрытом контуре значительно меньше толщины загрязнений в открытом (перепад давления в 5–8 раз меньше при соизмеримых расходах, см. табл. 1). Следовательно, можно предположить, что все термическое сопротивление процессу теплопередачи сосредоточено в загрязнениях открытого контура, а загрязнениями закрытого контура можно пренебречь.

Для определения скорости нарастания загрязнений в каналах открытого контура была использована математическая модель работы пластинчатых теплообменников, основанная на следующих уравнениях:

– критериальное уравнение теплоотдачи в каналах пластинчатых теплооб-

менников [2, 3, 4]:

$$Nu = A Re^n Pr^{0.43} \left(\frac{Pr}{Pr_{cn}} \right)^{0.25}, \quad (1)$$

где Nu – критерий Нуссельта;
 Re – критерий Рейнольдса;
 Pr – критерий Прандтля;
 Pr_{cn} – критерий Прандтля при температуре стенки;
 A, n – эмпирические коэффициенты;

– уравнение гидравлического сопротивления пластинчатого теплообменника, рассчитывается по выражению [2, 3, 5]

$$\Delta P = \left(\frac{B}{Re^{0.25}} + \sum \xi \right) \frac{w^2 \rho}{2}, \quad (2)$$

где $\sum \xi$ – сумма местных сопротивлений;
 w – скорость движения среды в канале, м/с;
 ρ – плотность среды, кг/м³;
 B – эмпирический коэффициент.

Таблица 2

Сравнение экспериментальных и расчетных параметров работы теплообменников

№ ТО	Цикл	Экспериментальные данные		Расчетные параметры	
		Температура выхода, °С	Перепад давле- ния, кПа	Температура выхода, °С	Перепад давле- ния, кПа
1	Открытый	27,1	181,8	26,9	181,5
2		27,5	180,0	27,7	178,5
3		28,8	200,0	29,3	208,0
4		28,0	178,3	28,7	174,0
5		25,4	183,8	25,0	183,1
1	Закрытый	24,2	38,2	23,8	9,0
2		24,9	22,0	25,1	19,5
3		28,5	29,5	28,7	20,5
4		24,8	15,5	25,1	10,1
5		22,9	8,4	22,9	8,3

Варьируемыми параметрами математической модели пластинчатых теплообменников являются эмпирические коэффициенты A, B, n . Обработка замеров работы пластинчатых теплообменников позволила определить значения варьируемых параметров: $A = 0,135$; $B = 15$; $n = 0,73$. В этом случае скорость нарастания загрязнений в каналах открытого контура может быть описана уравнением

$$\delta = \frac{0.065t}{26t + 73}, \quad (3)$$

где t – срок эксплуатации после очистки, месяцев.

Сравнение экспериментальных данных и расчетных параметров по полученной математической модели с учетом скорости нарастания загрязнений приведено в табл. 2.

Из результатов сравнения видно, что полученная математическая модель обладает достаточной точностью. Это позволило использовать ее при проведении работ по оптимизации технологических параметров системы двухконтурного водоснабжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Градири промышленных и энергетических предприятий: Справ. пособие / Под общ. ред. В.С. Пономаренко. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 376 с.
2. Барановский Н.В., Коваленко Л.М., Ястребенецкий А.Р. Пластинчатые и спиральные теплообменники. – М.: Машиностроение, 1973. – 288 с.
3. Пластинчатые теплообменники. Каталог. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1974. – 61 с.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учеб. пособие для вузов / Под ред. П.Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
5. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

Статья поступила в редакцию 4 февраля 2017 г.

MODELING OF THE PLATE HEAT EXCHANGERS IN THE DOUBLE-CIRCUIT WATER-SUPPLY SYSTEM

S.V. Ivanyakov, Y.I. Ignatenkov, D.V. Konovalenko

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

This paper considers the water-supply systems with a natural cooling. The advantages and disadvantages of the single- and double-circuit water-supply systems are revealed. The analysis of the plate heat exchangers revealed that thermal pollutions in open circuit is much higher than pollutions a closed circuit. It allowed to set up heat transfer equations for the plate heat exchangers and a mathematical model of the heat pollutions increase in open circuit water-supply systems. An accuracy of a modeling allowed to use this model for water-supply system optimization.

Keywords: double-circuit water-supply system, plate heat exchangers, thermal pollutions.