

¹ А. В. Бучко^{1,2} А. О. Костиков, д-р техн. наук¹ Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков, e-mail: kostikov@ipmach.kharkov.ua² Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина**Ключові слова:** свердловинний теплообмінник, протиструмний теплообмінник, ексцентриситет, геотермальна енергетика.

УДК 536.24

ВЛИЯНИЕ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА НА ТЕПЛОПЕРЕДАЧУ В СКВАЖИННОМ ПРОТИВОТОЧНОМ ТЕПЛООБМЕННОМ АППАРАТЕ ТИПА «ТРУБА В ТРУБЕ»

Подано результати досліджень впливу ексцентриситету на тепловий потік через внутрішню трубу теплообмінного апарату типу «труба в трубі», який використовується в вертикальних свердловинних теплообмінниках. Наведено функціональну залежність теплового потоку від коефіцієнта зміщення. Показано, що збільшення ексцентриситету приводить до зниження теплопередачі через стінку протиструмного теплообмінника.

Введение

В настоящее время широко используются теплообменные аппараты типа «труба в трубе». Существует много справочной литературы и научных статей, посвященных вопросам теплопередачи в них, например [1, 2], но лишь при условии соосности труб. На практике из-за конструктивных особенностей каналов, неточности сборки либо объективных причин (например, в вертикальных грунтовых теплообменниках [3–5], где внутренняя труба просто опускается во внешнюю без центрирующих распорок) появляется эксцентриситет. В результате возникает неравномерность в тепловом потоке по сечению. При этом в поперечном сечении интегральная величина теплового потока через внутреннюю трубу становится отличной от аналогичной величины в случае соосных труб.

Целью настоящей статьи является определение влияния эксцентриситета на величину теплового потока через внутреннюю трубу противоточного теплообменного аппарата типа «труба в трубе».

Рассмотрим данную задачу на примере вертикального скважинного теплообменного аппарата. На сегодняшний день такие теплообменники обустраиваются в скважинах неглубокого залегания. Перспективным является применение скважинного теплообменного аппарата на основе отработанных нефтяных и газовых скважин для отбора тепла от глубоких горных пород.

Постановка задачи

Математическая модель теплофизических процессов, которые протекают в скважинном теплообменном аппарате, построена на базе системы уравнений, описывающих задачу сопряженного теплообмена, и включает в себя уравнения:

- неразрывности;
- движения вязкой жидкости Навье–Стокса, осредненное по Рейнольдсу;
- энергии;
- k – ε -модели турбулентности;
- теплопроводности в твердом теле – стенке трубы.

Для проведения настоящего исследования были выбраны следующие граничные условия (рис. 1): на поверхности Г1 осуществляется подвод тепла к внешней трубе теплообменного аппарата, на Г2 и Г4 задается давление на выходе, на Г3 и Г5 – массовый расход теплоносителя и его температура.

Результаты вычислительного эксперимента

Расчеты проведены для скважинного теплообменного аппарата, установленного в типовой газовой скважине. Внеш-

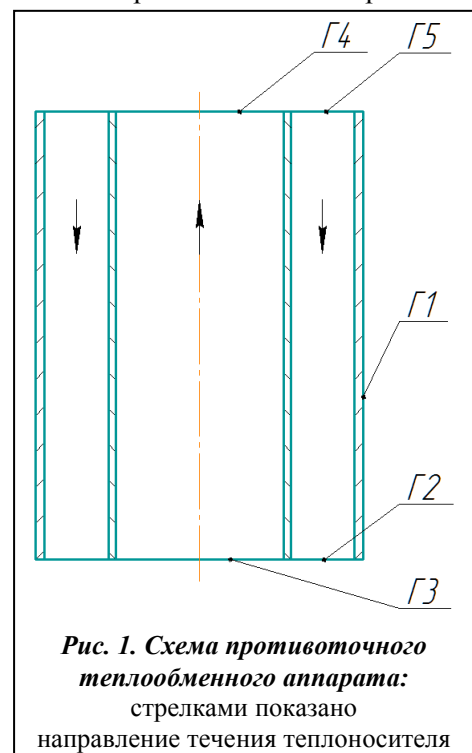
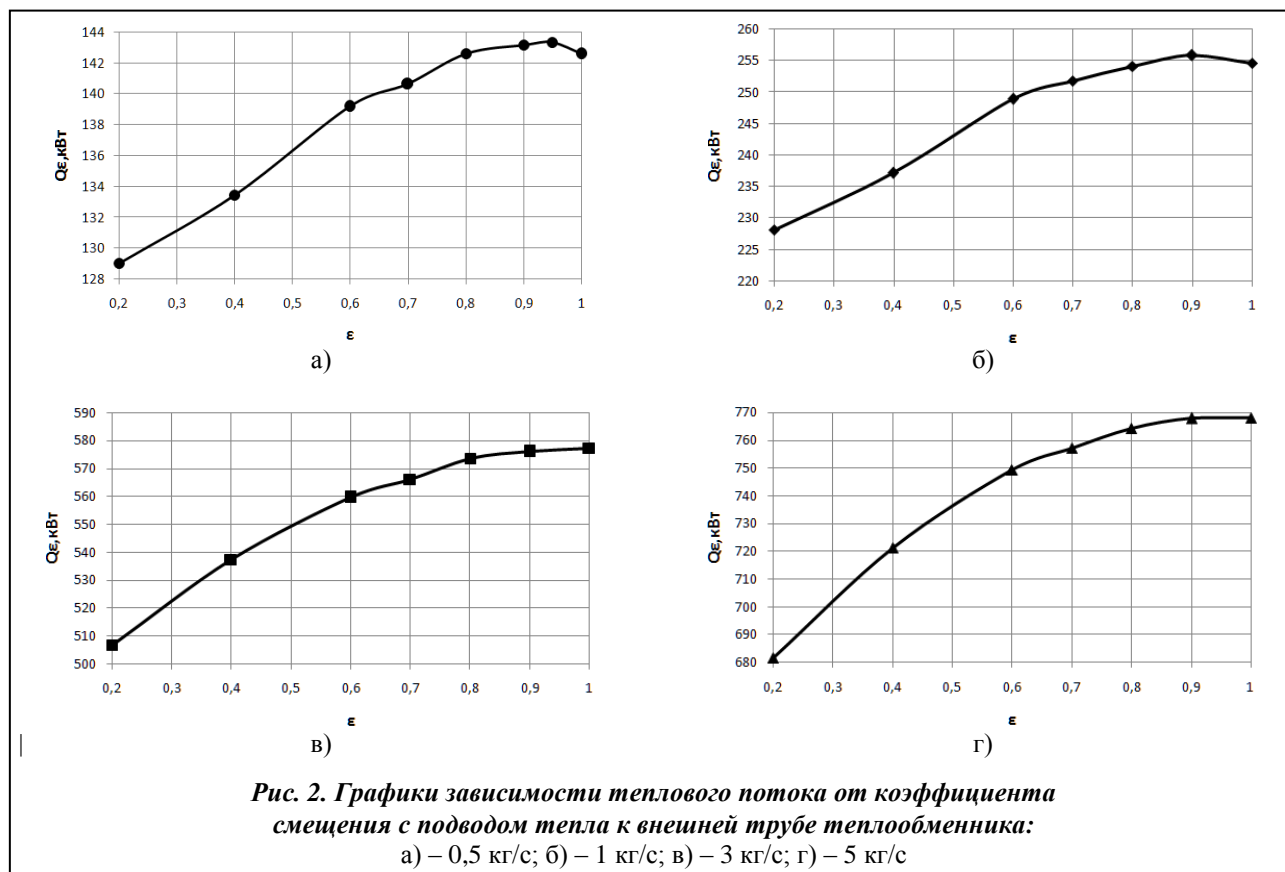


Рис. 1. Схема противоточного теплообменного аппарата:
стрелками показано направление течения теплоносителя



няя труба теплообменника (эксплуатационная колонна) имеет размеры $\varnothing 90 \times 5$ мм, а внутренняя $\varnothing 50 \times 4$ мм. Расчеты были проведены для участка длиной 100 м. В качестве теплоносителя рассматривалась техническая вода. Исходя из результатов предыдущих исследований [6] были выбраны следующие граничные данные. В кольцевой канал теплоноситель поступает с температурой 5°C , во внутреннюю трубу – 95°C противотоком вверх. Подвод тепла к внешней трубе теплообменника на рассматриваемом участке составляет 4,5 кВт.

Расчеты проводились для четырех вариантов расхода: 0,5, 1, 3, 5 кг/с.

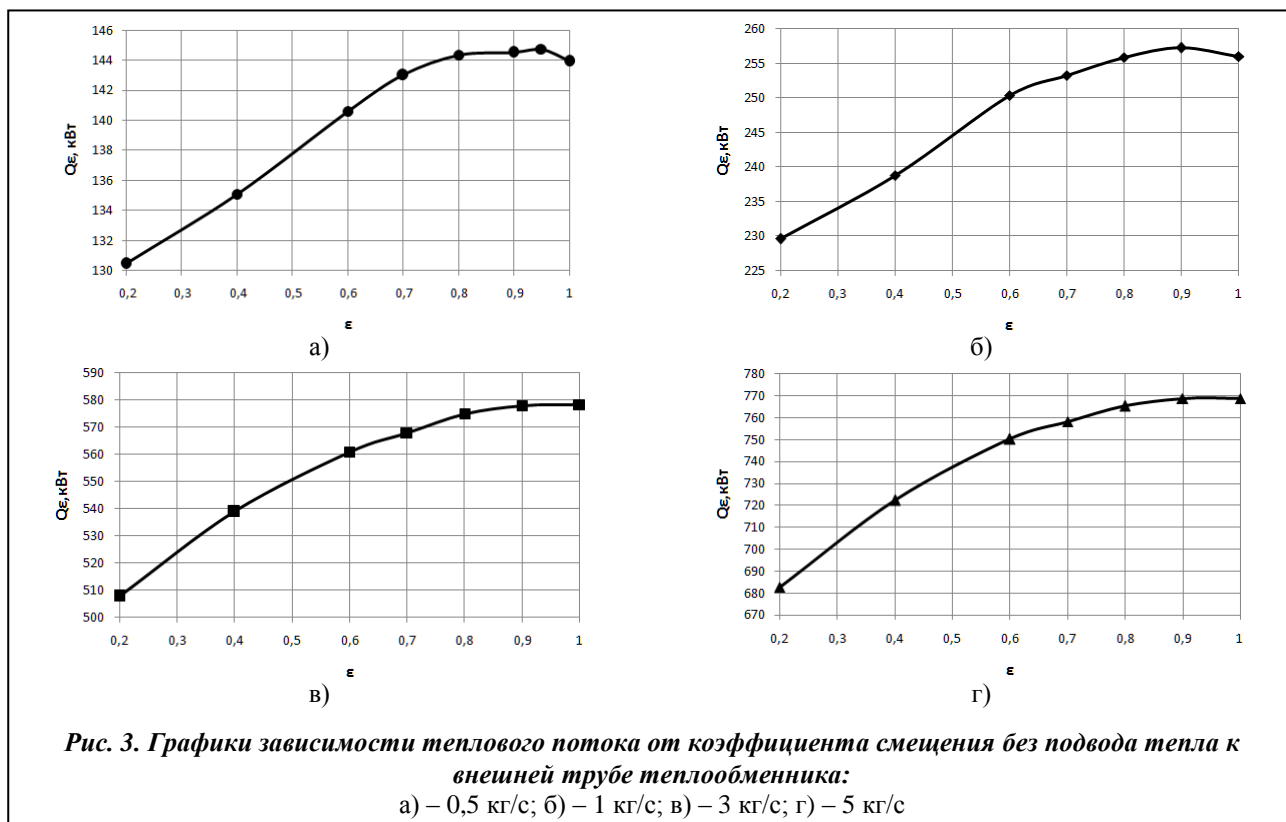
В результате вычислительного эксперимента получена зависимость теплового потока Q через внутреннюю трубу вертикального скважинного теплообменника от коэффициента смещения ϵ , который равен отношению δ/δ_1 , где δ_1 и δ – наименьшее расстояние между наружной стенкой внутренней трубы и внутренней стенкой наружной, для варианта соосных труб и труб с эксцентриситетом соответственно. Результаты представлены на рис. 2.

Также была проведена серия расчетов без подвода тепла к внешней трубе теплообменного аппарата, чтобы определить, влияет ли он на общую картину протекания процесса. Результаты представлены на рис. 3.

Каждое значение теплового потока Q_ϵ было отнесено к тепловому потоку для соосных труб Q_1 . Результаты приведены в таблице, из которой видно, что значения отнесенного теплового потока практически не отличаются для вариантов с подводом тепла к внешней трубе и без него. При расходах 0,5 и 1 кг/с и небольших коэффициентах смещения (0,9 и 0,95) наблюдается незначительное увеличение теплового потока.

В связи с тем что при небольших расходах и коэффициентах смещения наблюдается рост теплового потока, проведена дополнительная серия расчетов, результаты которых представлены на рис. 4.

Из полученных результатов видно, что величина безразмерного теплового потока для одного варианта смещения практически не зависит от расхода. Поэтому была проведена единая аппроксима-



ция всех расчетных данных и получена функциональная зависимость безразмерного теплового потока Q_e/Q_1 от величины смещения ϵ

$$Q_e/Q_1 = 0,84883 + 0,19966 \cdot \epsilon + 0,09794 \cdot \epsilon^2 - 0,14566 \cdot \epsilon^3.$$

На рис. 5 приведены результаты вычислительного эксперимента (жирные точки) и аппроксимирующая кривая. Максимальная погрешность аппроксимации при этом составляет 1,5% при коэффициенте смещения $\epsilon = 0,2$.

Безразмерный тепловой поток

ϵ	Q_e/Q_1							
	$G = 0,5 \text{ кг/с}$		$G = 1 \text{ кг/с}$		$G = 3 \text{ кг/с}$		$G = 5 \text{ кг/с}$	
	без подвода тепла	с подводом тепла	без подвода тепла	с подводом тепла	без подвода тепла	с подводом тепла	без подвода тепла	с подводом тепла
0,2	0,906	0,904	0,896	0,895	0,877	0,877	0,888	0,887
0,4	0,938	0,935	0,932	0,931	0,931	0,931	0,939	0,939
0,6	0,976	0,976	0,977	0,977	0,969	0,969	0,975	0,975
0,7	0,993	0,986	0,989	0,985	0,981	0,980	0,986	0,985
0,8	1,003	1,000	0,999	0,997	0,993	0,993	0,995	0,995
0,9	1,004	1,003	1,004	1,004	0,999	0,997	0,999	0,999
0,95	1,005	1,005	1,005	1,005	–	–	–	–
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

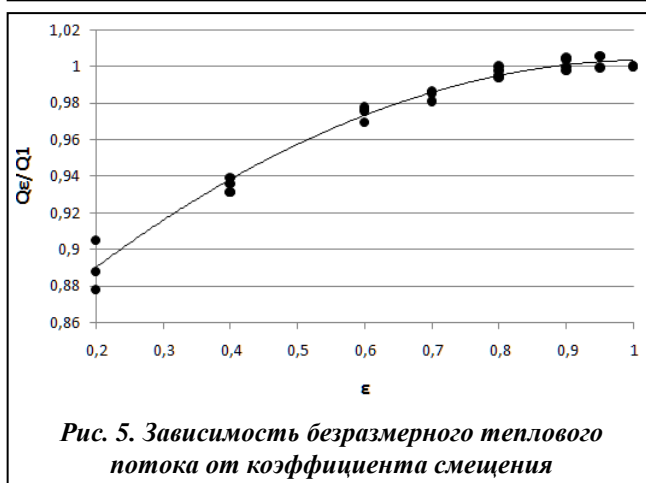
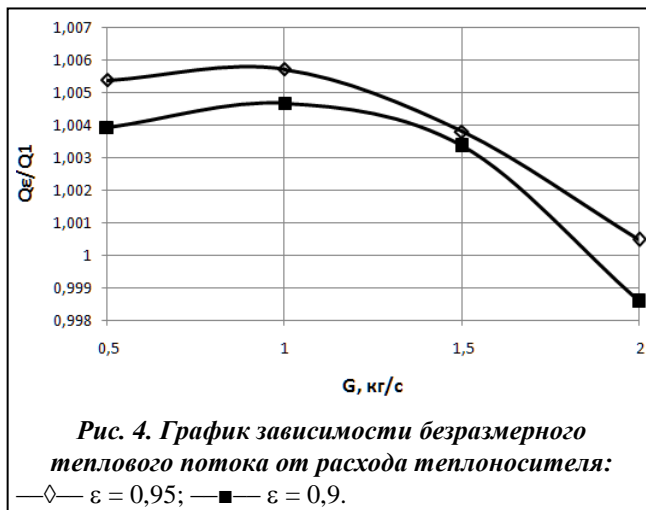
Выводы

Проведенные исследования показали, что увеличение эксцентриситета ведет к уменьшению теплового потока через внутреннюю трубу скважинного противоточного теплообменного аппарата типа «труба в трубе» вертикального типа. В случае игнорирования смещения при проведении тепло-

вого расчета погрешность может составить до 12%. Полученные результаты могут быть использованы для проведения тепловых расчетов в кольцевых каналах с эксцентриситетом скваженных теплообменников и других технических устройств.

Литература

1. Теплообмен в энергетических установках космических аппаратов / Б. М. Галицейский, Ю. И. Данилов, Г. А. Дрейцер, В.Н. Кошкин. – М: Машиностроение, 1975. – 272 с.
2. Старовойтенко, Е. И. Теплообмен и сопротивление в каналах при ламинарном течении жидкости / Е. И. Старовойтенко, Б. П. Минаев // Тепло- и массоперенос. – 1972. – Т. 1, ч. 1. – С. 245–249.
3. Системы извлечения тепла земной коры и методы их расчета / А. Н. Щербань, А. С. Цирульников, Э. М. Мерзляков, И. А. Рыженко. – Киев: Наук. Думка, 1986. – 240 с.
4. A study of geothermal heat pump and standing column well performance / S. J Rees, J. Spitler, Z. Deng et al. // ASHRAE Transactions. – 2004. – № 110 (1). – P. 3 13
5. Kujawa, T. Shallow and Deep Vertical Geothermal Heat Exchangers as Low Temperature Sources for Heat Pumps / T. Kujawa, W. Nowak // Proc. World Geothermal Congress 2000. – Kyushu–Tohoku, Japan, May 28 – June 10, 2000. – Japan, 2000. – P. 3477–3479.
6. Ценципер, А. І. Одержання теплової енергії з ліквідованих нафтогазових свердловин / А. І. Ценципер, А. О. Костіков, В. М. Голощاپов // Нафт. і газова пром-ть. – 2009. – № 3. – С. 41–43.



Поступила в редакцию 11.12.15