

УДК 536.24

Подбор оптимальной конструкции кожухотрубного теплообменного аппарата с высокотемпературным органическим теплоносителем

А.В. Филатова, студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Теплофизика»*

Научный руководитель: С.И. Каськов, ст. преподаватель

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Теплофизика»
khves@power.bmstu.ru*

В настоящее время очень актуальной является проблема создания конкурентоспособной отечественной гражданской морской техники. Для решения этой проблемы была разработана Федеральная целевая программа «Развитие гражданской морской техники» на 2009-2016 годы [1]. Согласно этой программе, необходимо преодолеть научно-техническое и технологическое отставание России от промышленно развитых стран мира, а также развивать производственный потенциал судостроительной промышленности.

Одним из многих направлений программы является разработка технологий создания систем теплоснабжения с использованием высокотемпературных органических теплоносителей (ВОТ) для судов ледового плавания, арктических ледоколов и морских платформ.

Цель работы – выбор оптимальной конструкции теплообменного аппарата для систем теплоснабжения с использованием высокотемпературных органических теплоносителей.

Высокотемпературные органические теплоносители – синтетические и минеральные масла, стойкие к высоким температурам. Состоят из высших диалкилбензолов. Применяются как в жидком, так и парообразном состояниях в интервале температур от – 60 °С (газойль) и до 400 °С. Эти теплоносители практически не корродируют конструкционные материалы. Все они горючи и взрывобезопасны (кроме минеральных масел). ВОТ бывают практически нетоксичными и весьма токсичными

веществами. При эксплуатации последних к нагревательным установкам должны предъявляться высокие требования в отношении их герметичности. Класс опасности применяемых ВОТ должен быть не ниже 3-4 класса (опасные и мало опасные вещества) в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования по безопасности».

Использование ВОТ в промышленности лимитируется их термической стойкостью, а в атомной энергетике, кроме того, и радиационной стойкостью.

Под термической стойкостью понимают способность теплоносителя сохранять свой состав и физические свойства при термическом воздействии. Мерой термической стойкости является температура, при которой начинается разложение теплоносителя с изменением его состава и физических свойств. Показателями относительной термической стойкости ВОТ служит скорость образования газообразных, низкокипящих (НК) и высококипящих (ВК) продуктов разложения теплоносителя.

Радиационным разложением, или радиолизом, называется процесс химических превращений исходного теплоносителя под действием ионизирующих излучений. Радиолиз определяется двумя факторами – радиационной стойкостью (способность исходного теплоносителя противостоять химическим превращениям, обусловленным действием радиации) и способностью образовавшихся активных частиц (ионов и радикалов) вступать в реакцию между собой, а также с молекулами исходного теплоносителя. Мерой относительной радиационной стойкости является радиационно-химический выход, равный числу образующихся или распадающихся молекул вещества на 100 эВ поглощённой энергии.

Высокотемпературные органические теплоносители делятся на однокомпонентные (однокомпонентные ВОТ) и многокомпонентные (многокомпонентные ВОТ). По форме молекул однокомпонентные ВОТ делятся на две подгруппы: с симметричными и с плоскими молекулами. Свойства некоторых ВОТ представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные физические свойства некоторых ВОТ

№ п/п	Название	Плотность, кг/м ³ при 20 °С	Вязкость		Теплоемкость, кДж/кг* град при 20 °С	Температура, °С		
			μ*10 ⁵ , Н*с/м ²	при температура, °С		плавления	кипения	начала термического разложения
Однокомпонентные ВОТ с симметричными молекулами								
1	Глицерин	1260	35,5	-	2,345	- 18	290	220

				10,8				
2	Этиленгликоль	1113	2548	0	2,349	- 15,6	197,3	500
Однокомпонентные ВОТ с плоскими молекулами								
3	Нафталин	1150	88,58	90	2,010*	80,2	218,0	300
4	Дифенил	1006	155,2	70	1,758	69,5	255,6	370
5	Дифениловый эфир	1080 ^{2*}	273,7	50	1,671	27	258,5	370
6	Моноизопропилдифе нил	979	1410	20	1,725	- 47	290	360
7	Дитолилметан	982,6	532,7	20	1,553	- 30	296	320
8	Изопропилтерфенил	1013	6259	50	1,158	7	346	370
Многокомпонентные ВОТ								
9	Дифенильная смесь	1060	435,6	20	1,591	12,3	258	380
10	ДДМ	1007	122,9	60	1,400	12,3	263	350
11	Терфенильная смесь 103к	1070	3102	20	1,616	- 12	286	350
12	Терфенильная смесь R	760 ^{3*}	32,0	316	2,512	60	371	420
13	Газойль	870	363	20	2,000	-60	215	250
14	Масло АТМ-300	969	15407	20	1,590	-30	360	180

* При 100 °С. ^{2*} При 60 °С. ^{3*} При 316 °С.

В настоящее время стоит задача создания российского синтетического ВОТ, превосходящего по своим техническим характеристикам лучшие зарубежные аналоги и имеющего существенно меньшую стоимость. Этот ВОТ должен иметь следующие характеристики: температура застывания теплоносителя не выше – 67 °С; вязкость при 50 °С не выше 30 сСт; плотность при 20 °С – 950 ± 30 кг/м³; температура вспышки не ниже 105 °С; предельно допустимая концентрация в воздухе не ниже 40 мг/м³ (группа 4, вещество малотоксичное).

Что касается применения ВОТ в судах ледового плавания и арктических ледоколах, то необходимо отметить ряд предъявляемых к ним требований: низкая температура плавления (ниже – 35 °С), термическая стойкость теплоносителя до + 200°С. Всем этим

требованиям удовлетворяют следующие теплоносители: газойль и этиленгликоль, смешанный с водой.

Газойль – это очищенная от серы газойлевая фракция перегонки нефтей нафтен-ароматического основания. Газойль является полностью термически стабильным до 250 °С. Температура начала радиационно-термического крекинга газойля лежит в интервале от 300 до 330 °С. Полученные результаты по исследованию радиационно-термической стойкости газойля в условиях его работы в циркуляционном контуре показали, что этот теплоноситель может работать в ядерном реакторе до 330 °С.

Были произведены предварительные проектные расчёты противоточного кожухотрубного теплообменного аппарата в рамках выполнения курсового проекта по предмету «Теплообменные аппараты».

Противоточная схема тока теплоносителей была выбрана по следующей причине [3]: в теплообменных аппаратах, работающих без изменения агрегатного состояния теплоносителей, наибольший тепловой поток при прочих равных условиях достигается в противоточной схеме, а наименьший в противоточной. Также эффективность аппарата при противотоке выше, чем при прямотоке.

Тепловой расчет теплообменных аппаратов, в которых одним из теплоносителей является ВОТ, не отличается от теплового расчёта теплообменных аппаратов с водой, применяемой в качестве теплоносителя, в том случае, если температура применения ВОТ меньше температуры начала его термического разложения.

Были произведены следующие расчеты теплообменных аппаратов со следующими теплоносителями:

1. Этиленгликоль и вода. Результаты расчетов приведены в таблице 2.
2. Газойль и вода. Результаты расчетов приведены в таблице 3.
3. Этиленгликоль и керосин. Результаты расчетов приведены в таблице 4.
4. Газойль и керосин. Результаты расчетов приведены в таблице 5.

Таблица 2

Полученные значения длины теплообменных аппаратов, теплоносителями в которых являются этиленгликоль и вода

№ п/п	$t_{\text{эт}}',$ °С	$t_{\text{эт}}'',$ °С	$t_{\text{в}}',$ °С	$t_{\text{в}}'',$ °С	$G_{\text{эт}}=G_{\text{в}},$ м ³ /ч	$c_{\text{рэт}},$ кДж/кг*град	$c_{\text{рв}},$ кДж/кг*град	$k*10^{-3},$ Вт/м ² *град	F, м ²	L, м
Вода обтекает пучок труб										
1	100	95,36	1	4	4	2,726	4,207	0,695	0,212	0,355
2	100	95,36	1	4	10	2,726	4,207	1,055	0,349	0,585

3	75	70,15	1	4	4	2,609	4,207	0,650	0,308	0,516
4	75	70,15	1	4	10	2,609	4,207	1,005	0,498	0,834
5	50	44,92	1	4	4	2,491	4,207	0,593	0,526	0,882
6	50	44,92	1	4	10	2,491	4,207	0,937	0,677	1,134
Этиленгликоль обтекает пучок труб										
7	100	95,36	1	4	4	2,726	4,207	0,590	0,250	0,418
8	100	95,36	1	4	10	2,726	4,207	0,934	0,394	0,660
9	75	70,15	1	4	4	2,609	4,207	0,523	0,383	0,641
10	75	70,15	1	4	10	2,609	4,207	0,851	0,588	0,985
11	50	44,92	1	4	4	2,491	4,207	0,445	0,700	1,173
12	50	44,92	1	4	10	2,491	4,207	0,749	1,040	1,743

Таблица 3

Полученные значения длины теплообменных аппаратов, теплоносителями в которых являются газойль и вода

№ п/п	t_r' , °C	t_r'' , °C	t_b' , °C	t_b'' , °C	$G_r=G_b$, м ³ /ч	$c_{рг}$, кДж/кг*град	$c_{рв}$, кДж/кг*град	$k \cdot 10^{-3}$, Вт/м ² *град	F, м ²	L, м
Вода обтекает пучок труб										
1	100	94,22	1	4	4	2,189	4,207	0,565	0,262	0,440
2	100	94,22	1	4	10	2,189	4,207	0,904	0,410	0,687
3	80	74,02	1	4	4	2,114	4,207	0,539	0,349	0,585
4	80	74,02	1	4	10	2,114	4,207	0,871	0,540	0,905
5	60	53,76	1	4	4	2,021	4,207	0,502	0,514	0,861
6	60	53,76	1	4	10	2,021	4,207	0,824	0,782	1,311
Газойль обтекает пучок труб										
7	100	94,22	1	4	4	2,189	4,207	0,435	0,341	0,571
8	100	94,22	1	4	10	2,189	4,207	0,774	0,479	0,802
9	80	74,02	1	4	4	2,114	4,207	0,402	0,468	0,785
10	80	74,02	1	4	10	2,114	4,207	0,722	0,651	1,091
11	60	53,76	1	4	4	2,021	4,207	0,358	0,720	1,206
12	60	53,76	1	4	10	2,021	4,207	0,654	0,986	1,652

Таблица 4

Полученные значения длины теплообменных аппаратов, теплоносителями в которых являются этиленгликоль и керосин

№ п/п	$t_{\text{г}}',$ °C	$t_{\text{г}}'',$ °C	$t_{\text{к}}',$ °C	$t_{\text{к}}'',$ °C	$G_{\text{г}}=G_{\text{к}},$ м³/ч	$c_{\text{рг}},$ кДж/кг*град	$c_{\text{рк}},$ кДж/кг*град	$k*10^{-3},$ Вт/м²*град	F, м²	L, м
Керосин обтекает пучок труб										
1	140	125,61	20	40	4	2,879	2,045	0,392	0,917	1,54
2	140	125,61	20	40	40	2,879	2,045	1,411	2,550	4,72
Этиленгликоль обтекает пучок труб										
7	140	125,61	20	40	4	2,879	2,045	0,509	0,707	1,18
8	140	125,61	20	40	40	2,879	2,045	1,622	2,218	3,72

Таблица5

Полученные значения длины теплообменных аппаратов, теплоносителями в которых являются газойль и керосин

№ п/п	$t_{\text{г}}',$ °C	$t_{\text{г}}'',$ °C	$t_{\text{к}}',$ °C	$t_{\text{к}}'',$ °C	$G_{\text{г}}=G_{\text{к}},$ м³/ч	$c_{\text{рг}},$ кДж/кг*град	$c_{\text{рк}},$ кДж/кг*град	$k*10^{-3},$ Вт/м²*град	F, м²	L, м
Керосин обтекает пучок труб										
1	180	163,27	20	40	4	2,466	2,045	0,356	0,734	1,23
2	180	163,27	20	40	40	2,466	2,045	1,332	1,960	3,28
Газойль обтекает пучок труб										
7	180	163,27	20	40	4	2,466	2,045	0,392	0,661	1,11
8	180	163,27	20	40	40	2,466	2,045	1,410	2,552	4,28

Выбор оптимальной конструкции теплообменного аппарата зависит от требований, предъявляемых к конструкции. Основным требованием будет являться минимизация размеров теплообменного аппарата.

Материалы данной работы будут использованы в подготовке статьи на конференцию ASME (American Society of Mechanical Engineers) International Mechanical Engineering Congress and Exposition, которая будет проходить с 15 по 23 ноября 2013.

Список литературы

1. Паспорт Федеральной целевой программы «Развитие гражданской морской техники» на 2009-2016 годы, утв. постановление Правительства РФ от 21 февраля 2008 г. № 103.

2. Чечеткин А.В. Высокотемпературные теплоносители. М.: Энергия, 1971. 496 с.
3. Бажан П.И., Каневец Г.Е., Селиверстов В.М. Справочник по теплообменным аппаратам. М.: Машиностроение, 1989. 198 с.
4. Вукалович М.П., Бабилов Ю.М., Рассказов Д.С. Теплофизические свойства органических теплоносителей. М.: Атомиздат, 1970. 239 с.
5. Андреев П.А., Гремилов Д.И., Федорович Е.Д. Теплообменные аппараты ядерных энергетических установок. Л.: Судостроение, 1969. 350 с.