

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕПЛОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ

Рассмотрены свойства двух групп теплоносителей, используемых для понижения рабочей температуры и для повышения рабочей температуры.

В первую группу теплоносителей включены: этиленгликоль, диэтиленгликоль, триэтиленгликоль, пропиленгликоль, глицерин. Вторую группу теплоносителей составляют: дифенильная смесь, масло АМТ-300, масло ТЛВ-330, мобилтерм-600, дикумилметан, дитоллилметан, тетрахлордифенил, тетракрезилсиликат, нафталин, тройная нафталиновая смесь, нитрит-нитратная смесь.

Приводятся физико-химические и пожароопасные свойства названных теплоносителей, а также перечень профилактических противопожарных мероприятий и средств пожаротушения.

Ключевые слова: *теплоносители низкотемпературные, теплоносители высокотемпературные, пожароопасные свойства, профилактика пожарная, средства пожаротушения*

Для передачи тепловой энергии от теплогенератора к потребителю служат жидкие или газообразные вещества, называемые теплоносителями. Самым распространенным теплоносителем является вода. Большинство котельных, служащих для отопления и горячего водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий для передачи тепловой энергии от котлов к потребителям, используют воду. Проектирование котельных разного типа (центральных, пристроенных, встроенных, крышных) осуществляется, согласно действующим нормативным документам, с применением в качестве теплоносителя только воды [1–2]. Теплогенераторы для индивидуального теплоснабжения и горячего теплоснабжения также проектируются с применением теплоносителя воды [3–6]. Использование других теплоносителей в упомянутых нормативных документах не предусмотрено.

Введение

Целью данной публикации является обзор применяемых неводных теплоносителей, анализ их пожароопасных свойств и мер пожарной безопасности при их применении, выбор средств и способов пожаротушения.

Вода как теплоноситель имеет ограниченный диапазон рабочих температур, поэтому воду приходится заменять на другие вещества.

Если существует угроза замерзания теплоносителя, вместо воды применяют низкотемпературные теплоносители (НТ), удовлетворяющие требованиям ГОСТ 33341-2015 [7]. Если же требуется повысить рабочую температуру – применяют высокотемпературные теплоносители (ВТ). В большинстве случаев в качестве высокотемпературных теплоносителей используют органические вещества, которые называют ВОТ. Часто низкотемпературные теплоносители одновременно являются и высококипящими.

1. Низкозамерзающие носители

Согласно ГОСТ [7] НТ содержат гликоли (этиленгликоль, диэтиленгликоль, триэтиленгликоль, пропиленгликоль), а также другие базовые функциональные компоненты. Свойства этих соединений следующие.

Этиленгликоль (ГОСТ 19710–2019) [8], 1,2-этанediол, гликоль, $C_2H_6O_2$: бесцветная жидкость; молекулярная масса 62,1 г/моль; плотность 1116 кг/м³ при температуре 20 °С; плотность пара по воздуху 2,14; температура кипения $t_{кип} = 197$ °С [8]; диэлектрическая постоянная 37,7 ф/м при температуре 25 °С; удельное объемное электрическое сопротивление $8,6 \cdot 10^{-7}$ Ом · м; теплота образования – 453,8 кДж/моль; теплота сгорания 1199,7 кДж/моль (19,32 кДж/кг [8]), 17,42 МДж/кг [9]; температура вспышки $t_b = 111$ °С. Давление насыщенного пара (кПа) можно определить по уравнению: $lg P_H = 7,133084 - 2031,3161 / (198,6933 + t)$. [10], где P_H – давление насыщенного пара, а t – температура насыщенного пара. При содержании в растворе 70 % (масс.) этиленгликоля температура начала кипения уменьшается до 120,3 °С, а t_b повышается до 120,3 °С. Температуры замерзания растворов этиленгликоля в воде показаны в табл. 1.

Таблица 1

Температура замерзания в водных растворах этиленгликоля [11]

Концентрация раствора этиленгликоля, % (масс.)	30	36	40	45	50	54	65
Температуры замерзания, °С	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-65

Этиленгликоль токсичен. ПДК этиленгликоля в воздухе рабочей зоны – 5 мг/м³.

Диэтиленгликоль, 2,2'-оксидиэтанол, 2,2'-дигидроксидиэтиловый эфир, дигликоль, $C_4H_{10}O_3$: бесцветная вязкая гигроскопичная жидкость; молекулярная масса – 106,12 г/моль; плотность 1119 кг/м³ при температуре 15 °С; температура кипения (t_k) 244,8 °С; плотность пара по воздуху 3,66 [12].

t_b в закрытом тигле 124 °С, в открытом тигле 143 °С; температура самовоспламенения ($t_{св}$) 345 °С; температурные пределы распространения пламени: (НТПР) нижний 118 °С, верхний (ВТПР) 170 °С; концентрационные пределы распространения пламени: нижний (НКПР) 1,7; верхний (ВКПР) 10,6 % (об.) [9]. Давление насыщенного пара (кПа) определяется по уравнению: $lg P_H = 6,771689 - 1901,4521 / (161,3635 + t)$ [9]. Теплота сгорания 20,61 МДж/кг [10].

В воде растворяется неограниченно. Токсичен. Ориентировочный безопасный уровень воздействия (ОБУВ) паров в воздухе рабочей зоны 10 мг/м³ [5].

Пропиленгликоль, 1,2-пропандиол, 1,2-дигидроксипропан, $C_3H_8O_2$: молекулярная масса 76,11 г/моль; плотность 1040 кг/м³ при температуре 15 °С; плотность пара по воздуху 2,6; $t_{кип} = 189$ °С; теплота образования 499,9 кДж/моль; теплота сгорания 1821,6 кДж/моль (23,9 кДж/кг [13]), 22,26 МДж/кг [9]; неограниченно растворяется в воде. температура вспышки $t_{всп} = 96$ °С, температура воспламенения (t_b) 110 °С, $t_{св}$ 371 °С, НТПР = 94 °С, ВТПР = 143 °С.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе рабочей зоны 7 мг/м³. Пропиленгликоль допускается для производства пищевых продуктов в качестве пищевой добавки (Е1520), не оказывающей вредного воздействия на жизнь и здоровье человека. Температуры замерзания растворов показаны в табл. 2.

Таблица 2

Температура замерзания водных растворов пропиленгликоля [14]

Концентрация раствора пропиленгликоля, % (масс.)	31	37	42	47	52	56
Температуры замерзания, °С	-15	-20	-25	-30	-35	-40
Температура вспышки, °С		122,2				116,8

Триэтиленгликоль, 2,2'-этилендиоксиэтанол, $C_6H_{14}O_4$: молекулярная масса 150,18 г/моль; плотность 1119 кг/м³ при температуре 25 °С; температура плавления минус 5 °С, $t_{кип} = 291$ °С; растворим в воде. Пожароопасные свойства: горючая жидкость, $t_{всп} = 154$ °С (з. т.), 170 °С (о. т). $t_b = 170$ °С, $t_{cb} = 371$ °С, теплота сгорания 21,2 МДж/кг [9]. Давление насыщенного пара (кПа) можно определить по уравнению: $lg P_H = 8,471241 - 3463,8914 / (257,448 + t)$ [10]. КПРП 0,9–9,2 % по объему.

Обладает низкой упругостью паров, вследствие чего обычно его пары при высоких температурах не оказывают вредного воздействия на организм человека.

Глицерин, 1,2,3-тригидроксипропан, 1,2,3-пропантриол, представитель предельных трехатомных спиртов. Химическая формула глицерина – $C_3H_5(OH)_3$. Молярная масса 92,10 г/моль. Бесцветная очень вязкая жидкость сладкого вкуса, температура плавления глицерина минус 17,9 °С, температура кипения 290 °С (с разложением). Плотность глицерина 1260 кг/м³, $t_{cb} = 400$ °С. Растворяется в воде и органических растворителях. Температура вспышки 198 °С, концентрационные пределы распространения пламени 2,6–11,3 % (об.). Температурные пределы распространения пламени 182–217 °С. Теплота сгорания 16,5 МДж/кг [4]. Давление насыщенного пара можно определить по формуле $lg P_H = 9,93939 - 2201,2308 / (156,1648 + t)$ [10].

Температуры замерзания водных растворов глицерина [13] представлены в табл. 3.

Таблица 3

Температуры замерзания водных растворов глицерина

Содержание глицерина % (масс.)	Температура замерзания, °С	Содержание глицерина % (масс.)	Температура замерзания, °С	Содержание глицерина % (масс.)	Температура замерзания, °С
5	-0,6	40	-15,4	68	-44,0
10	-1,6	45	-18,8	70	-38,9
15	-3,1	50	-23,0	75	-29,8
20	-4,8	55	-28,0	80	-20,3
25	-7,0	60	-34,7	85	-10,9
30	-9,5	65	-43,0	90	-1,6
35	-12,2	66,7	-46,5	100	+17,0

Из табл. 3 видно, что наименьшая температура замерзания (-46,5 °С) соответствует смеси 66,7 % глицерина и 33,3 % воды.

Около 30 % от общего объема теплоносителей на основе водных растворов занимают теплоносители на основе этиленгликоля, 25 % используют в качестве основного вещества пропиленгликоль, 15 % – водные растворы на основе глицерина, а примерно 5 % – это специальные безводные охлаждающие жидкости.

В состав теплоносителя входит основной компонент (пропиленгликоль, эти-

ленгликоль, глицерин или другие вещества), вода и специальные целевые добавки. Для снижения коррозионных свойств теплоносителей применяются специальные ингибиторы коррозии. С помощью ингибиторов замедляются химические процессы окисления, коррозии и полимеризации. Кроме этого, в теплоноситель добавляются ингибиторы набухания и растворения резиновых уплотнителей, накипобразования, пенообразования и другие.

2. Высокотемпературные теплоносители

В зависимости от требуемой температуры применяются следующие виды ВТ [15].

Для рабочих температур ниже 280 °С могут применяться масла, глицерин, нафталин и нафталиновые смеси. Из этой группы при прочих равных условиях и отсутствии каких-либо специальных требований (например, естественная циркуляция) следует отдавать предпочтение маслам как наименее дефицитным, наиболее дешевым и нетоксичным. В случае полной противопоказанности горючих теплоносителей могут быть применены расплавленные соли. Для рабочих температур 280–340 °С могут быть рекомендованы нафталин, нафталиновые смеси, дифенил, дифениловый эфир и дифениловая смесь. Причем для более низких из указанных пределов температур следует рекомендовать нафталин и нафталиновые смеси как наиболее дешевые. Так же, как и в предыдущем пункте, в случае противопоказанности горючих теплоносителей могут быть применены расплавленные соли. Для рабочих температур от 340 до 380 °С могут применяться в первую очередь дифениловая смесь при естественной циркуляции и расплавленные соли при принудительной циркуляции, а затем дифениловый эфир и дифенил. Для рабочих температур от 380 до 550 °С могут быть рекомендованы неорганические расплавленные соли. Для рабочих температур до 800 °С применяются жидкие металлы: натрий и натрий-калиевая эвтектика. Для весьма высоких рабочих температур применяются зернистые теплоносители. В качестве зернистых теплоносителей применяют жаростойкие твердые неорганические материалы (кварц, алюмосиликаты, диабаз, алунд, шамот и др.) с частицами размером 0,05...8 мм. Такие зернистые материалы имеют большую удельную поверхность – 500...100 000 м²/м³ в зависимости от размеров частиц. Эти материалы негорючие.

Все ВОТ можно разделить на синтетические и минеральные. Синтетические теплоносители производятся на основе специально полученных с помощью химического синтеза термостойких веществ. Минеральные теплоносители – продукт вакуум-дистилляции нефтяных масел. Поэтому в минеральных теплоносителях в значительных количествах присутствуют вещества с низкой термической устойчивостью, что приводит при эксплуатации к более быстрому, чем в случае синтетических ВОТ, ухудшению эксплуатационных свойств. Главным недостатком минеральных масел является то, что при термодеструкции они разлагаются преимущественно с образованием смолообразных веществ, что приводит к увеличению вязкости, ухудшению теплообменных свойств и закоксуыванию поверхностей теплообменников.

Повышенное давление в системах обогрева ВОТ может возникать в результате образования кристаллогидратных отложений и пробок. Это характерно для тех систем, в которых обращаются теплоносители с достаточно высокой температурой кристаллизации. Так, дифенильная смесь кристаллизуется уже при температуре +12 °С. Это значит, что при остановке системы жидкость, находящаяся в наружных трубопроводах, а также в трубопроводах, проходящих через неотапливаемые помещения, при низкой температуре окружающей среды застынет. При последующем пуске установки это приведет к отсутствию циркуляции ВОТ,

перегреву жидкости в котле, ее разложению и повышению давления.

Свойства наиболее распространенных ВОТ представлены в табл. 4.

Таблица 4

Свойства наиболее распространенных ВОТ

№ п/п	Наименование ВОТ	Теплота сгорания, МДж/кг	Плотность, кг/м ³	Температурные показатели, °С						
				$t_{пл}$	$t_{кип}$	$t_{раб}$	$t_{всп}$	$t_{св}$	$t_{НТПР}$	$t_{ВТПР}$
1	Дифенильная смесь (даутерм)	36,05	1010	12	258	370	115	695	115	130
2	Масло АМТ-300	42,3	960	-30	начало 345	300	176	330	170	229
3	Минеральное масло – теплоноситель ТЛВ-330	40	860–880	-40	346–350	340	195 о.т.	400		
4	М о б и л ь - терм-600	40 [9]	960	-30	начало 350	300	173–176	340	165	225
5	Дикумилметан	40,4 [10]	950	-22	336	300	151	425	126	193
6	Дитолилметан	40,5 [10]	980	-30	293	300	136	500	107	138
7	Тетрахлордифенил	17,1	1440	7	340	300	223	704	–	–
8	Тетракрезилсиликат	30,4	1120	-36	440					
9	Нафталин	38,1	1140	80,26	217,7		79–87	525		
10	Тройная нафталиновая смесь	36,1		142,3		320				
11	Н и т р и т - н и т р а т н а я смесь	нг		142,3		150–540				

Ниже приводятся комментарии к табл. 5 свойств ВОТ.

1. Дифенильная смесь (известная также под названием ДФС, даутерм, динил) состоит из дифенила $C_6H_5-C_6H_5$ и дифенилового эфира $C_6H_5-O-C_6H_5$. Это эвтектическая и азеотропная смесь, содержащая: 26,5 % (масс.) дифенила и 73,5 % (масс.) дифенилового эфира. Замерзание смеси сопровождается уменьшением объема смеси. Давление насыщенного пара дифенильной смеси при 200 °С равно 24,5 кПа, а при 350 °С – 519,8 кПа. Вязкость жидкой дифенильной смеси снижается с температурой от $444 \cdot 10^6$ кг · с/м² (при 20°) до $18,6 \cdot 10^1$ кг · с/м² (при 350 °С); Смесь может применяться в условиях длительной эксплуатации для рабочих температур до 380° и по термической стойкости превосходит другие органические теплоносители. Температура 257–380 °С достижима лишь при обогреве дифенильной смесью, находящейся под давлением; в этом случае в систему обогрева включается предохранительный клапан, снабженный трубой для отвода паров теплоносителя наружу.

Дифенильная смесь горюча, практически невзрывоопасна. $t_{\text{в}}$ жидкой дифенильной смеси 115 °С, однако без подвода тепла извне горение при этой температуре не продолжается. Дифенильная смесь горит медленно, с образованием большого количества копоти. В случае просачивания паров в топочное пространство происходит их воспламенение, но пары горят слабо, образуя шлак, который иногда уплотняет образовавшуюся щель. Практически при температурах, превышающих 400 °С, и наличии более 10 % CO_2 в окружающей среде дифенильная смесь взрывобезопасна и может только воспламениться.

2. АМТ-300 – масло-теплоноситель. Название АМТ-300 расшифровывается как «ароматическое масло-теплоноситель». Число 300 указывает при этом на предельно допустимый температурный максимум при длительном использовании. Давление насыщенного пара масла АМТ-300 можно определить по соотношению [17] $\lg P_{\text{н}} = 6,12439 - 2240,001/(167,85 + t)$. Оно используется в качестве теплоносителя для закрытых систем, исключающих контакт горячего масла-теплоносителя с воздухом, с интенсивной принудительной циркуляцией. При использовании масла АМТ-300 необходимо соблюдать основные меры пожарной безопасности. Все аппараты и системы высокотемпературного обогрева, а также помещения, в которых они располагаются, должны соответствовать нормам Правил устройства электроустановок (ПУЭ). Не допускается работа установки с ВОТ без азотной подушки.

3. Высокотемпературный, синтетический, низкотемпературный теплоноситель ТЛВ-330 (полиалкилбензол) – прозрачная жидкость от светло-желтого до светло-коричневого цвета, кинематическая вязкость при 100 °С – 6,5 мм²/с.

ТЛВ-330 даже при высокой температуре абсолютно инертен по отношению к любым металлам и сплавам, не имеет запаха, нетоксичен, по степени воздействия на организм, относится к 4-му классу опасности по ГОСТ 12.1.007.

Теплоноситель оказывает слабое раздражающее действие на кожные покровы. Предельно допустимая концентрация – ПДК 30 мг/м³. Пролитый продукт убирают, перемешивая его с песком.

ТЛВ-330 полностью совмещается с другими органическими теплоносителями, такими как дифенил/дифенилоксид (даутерм), термолан, алотерм, жилотерм, сантотерм, синтрел, АМТ-300, АМТ-300У и другими, неограниченно растворяет их и растворяется в них. В процессе его эксплуатации не образует коксовые отложения на теплообменной аппаратуре.

4. Мобильтерм-600. Горючая жидкость. В присутствии меди и медных сплавов увеличивается пожарная опасность: понижается температура самовоспламенения и расширяется область температурных пределов распространения пламени. Длительный нагрев вызывает термическое разложение продукта, аналогично разложению масла АМТ-300. При длительной эксплуатации Мобильтерма-600 при 300 ± 5 °С пожарная опасность резко возрастает: $t_{\text{всп}} = 34$ °С (з. т.), $t_{\text{всп}} = 149$ °С (о. т.); $t_{\text{в}} = 200$ °С; $t_{\text{св}} = 270$ °С. Пределы выкипания: 5 % до 350 °С, 50 % до 382 °С, 95 % до 480 °С.

Масла-теплоносители типа мобильтерм не следует смешивать с другими маслами, поскольку это может ухудшить термическую стабильность и устойчивость к окислению, что вызывает изменение других свойств. Также смешивание может осложнить анализы, выполняемые для мониторинга состояния эксплуатируемого масла и достижения его максимального срока службы. Эти масла применяются при температуре, превышающей рекомендованные максимальные значения, может возникнуть паровой затвор, только система не рассчитана на эксплуатацию при более высокой температуре под давлением инертного газа,

такого как азот. При более высоких температурах срок службы теплоносителя уменьшается из-за значительного повышения скорости термической деструкции. В спроектированных системах температура масляной пленки, окружающей нагревательный элемент, не должна быть выше объемной температуры масла более чем на 15–30 °С. При более высокой температуре может уменьшиться срок службы масла, и могут образоваться шлам и коксовые отложения, что отрицательно скажется на условиях теплопередачи. Как и другие минеральные масла, масла-теплоносители типа мобилтерм должны применяться только в системах с принудительной циркуляцией. Условия, характерные для конвективного теплообмена, не обеспечивают достаточно высокую скорость потока жидкости для предотвращения локального перегрева и быстрого разложения масла. Более того, данные масла не рекомендованы для использования в открытых системах, в которых горячее масло контактирует непосредственно с воздухом. В случае распыления или утечки горячего масла типа мобилтерм возможно самопроизвольное возгорание.

Масла АМТ 300 и мобилтерм-600 представляют собой сложную взаиморастворимую смесь большого количества углеводородов с различным молекулярным весом. Такие смеси не имеют постоянной точки кипения, так как состав жидкой фазы при испарении все время меняется в сторону обогащения тяжелыми углеводородами.

Практика эксплуатации установок с АМТ 300 и мобилтерм 600 показала, что длительный нагрев теплоносителей до температуры выше 180 °С приводит к их термическому разложению, при котором выделяется значительное количество газов (метан, этан, пропан, этилен, пропилен, водород и др.), паров (бензол, толуол, фенол и др.), а также смолистых продуктов и кокса. Следствием этого является существенное снижение температуры вспышки и температуры самовоспламенения. При длительной эксплуатации без удаления продуктов разложения t_B масла АМТ 300 и мобилтерма 600 может снизиться до 40 °С, а t_{CB} до 230 °С. Таким образом, вещества из разряда горючей жидкости (ГЖ) переходят в разряд легковоспламеняющейся жидкости (ЛВЖ), а их t_{CB} становится ниже рабочей температуры системы. В случае возникновения в установках повреждений вещества будут выходить наружу, смешиваться с воздухом и самовоспламеняться.

Следует иметь в виду, что при повреждении систем, работающих на масле АМТ 300 и мобилтерм-600, существует возможность образования «масляного тумана» (мелкодисперсного масляного аэрозоля) при смешивании паров этих жидкостей с воздухом. Аэрозоль образуется за счет распыления масла находящимися в нем газообразными продуктами термического разложения в момент резкого снижения давления при выходе вещества наружу. НКПР для масляного тумана составляет 40 г/м³. Для сравнения отметим, что паровоздушная смесь масла АМТ 300 имеет НКПР 140 г/м³.

5. Дикумилметан (ДКМ) (C₁₉H₂₄) горючая жидкость.

6. Дитолилметан C₁₅H₁₆, вязкая бесцветная или слегка желтоватая жидкость.

Дитолилметан (ДТМ) представляет собой техническую смесь орто-, параи-зомеров (7:3), образующихся при конденсации толуола с формальдегидом.

Исследование термической стойкости дитолилметана показало, что он может быть использован в качестве теплоносителя как в жидком, так и в парообразном состоянии до 320 °С, при условии его контакта только с инертными газами (например, азотом). На воздухе дитолилметан довольно быстро окисляется, в нем увеличивается смолосодержание и, как следствие этого, увеличивается

вязкость. Давление насыщенного пара (кПа) дитоллилметана можно определить по соотношению $\lg P_{\text{н}} = 6,442539 - 1920,8346(142,9302 + t)$.

Так как дитоллилметан синтезируется из недефицитных и недорогих продуктов, стоимость его примерно в 1,3 раза меньше стоимости дифенильной смеси.

7. Тетрахлордифенил ($\text{C}_{12}\text{H}_6\text{Cl}_4$) [15] (арахлор 1428) – бесцветная жидкость. Тетрахлордифенил термически стоек до 340°C , однако практически предельной температурой применения следует считать 300°C .

8. Кремнийорганические высокотемпературные теплоносители (КВТ). К КВТ относят силиконы, например, тетракрезилорексисилан, тетракселилорексисилан, арил- и алкилполисилорексаны.

Тетракрезилорексисилан ($\text{C}_8\text{H}_{20}\text{O}_4\text{Si}$, тетраэтилсиликат) – эфир кремниевой кислоты и крезол – жидкость светло-коричневого цвета.

Тетракрезилорексисилан горит сильно коптящим пламенем, взрывобезопасен.

9. Нафталин (C_{10}H_8) – твердое горючее кристаллическое вещество. Жидкий нафталин кипит при 218°C . Пары вспыхивают при $79\text{--}87^\circ\text{C}$ и концентрации 8 г/м^3 . Давление насыщенного пара можно вычислить по соотношению $\lg P_{\text{н}} = 5,690505 - 1410,1408 / (164,6925 + t)$.

10. Тройная нитрит-нитратная смесь – эвтектика, состоящая из азотисторексисилового натрия (40 % по массе), азотнокислового натрия (7 %) и азотнокислового калия (53 %) с температурой плавления $142,3^\circ\text{C}$. Эта смесь применяется для нагрева при атмосферном давлении до температур $500\text{--}540^\circ\text{C}$. Смесь практически не вызывает коррозии углеродистых сталей при температурах не выше приблизительно 450°C . Для изготовления аппаратуры и трубопроводов, работающих при более высоких температурах, используют хромистые и хромоникелевые стали. Кроме того, трубопроводы снабжают паровым обогревом (с помощью паровых труб, проложенных рядом с солевой линией и заключенных с ней в общий короб тепловой изоляции). Смесь применяют практически только при обогреве с принудительной циркуляцией, которая осуществляется посредством специальных насосов пропеллерного типа (вертикальных) или бессальниковых центробежных насосов.

11. Нитрит-нитратная смесь является сильным окисляющим агентом. Поэтому по соображениям взрывобезопасности недопустим ее контакт при высоких температурах с веществами органического происхождения [17], а также со стружкой и опилками черных и некоторых цветных металлов (алюминий, магний).

Применяются и другие расплавы солей: расплавы неорганических солей и их эвтектические смеси: четыреххлористый и четырехбромистый титан, хлористый и бромистый алюминий и их эвтектическая смесь, эвтектика треххлористой и трехбромистой сурьмы. Поскольку эти соединения не обладают пожаровзрывоопасными свойствами, рассматривать их в данной статье нет оснований.

Следует упомянуть и о расплавах металлов (литий, натрий, калий, ртуть, свинец и др.), которые применяют для нагрева до температуры 800°C и выше.

3. Меры по обеспечению пожарной безопасности при обращении ВОТ

Все ВОТ являются горючими жидкостями. В условиях эксплуатации они нагреваются значительно выше температуры вспышки, но ниже температуры самовоспламенения.

При нормальном режиме эксплуатации взрывоопасные концентрации ВОТ внутри аппаратов образоваться не могут, так как системы герметичны и полностью заполнены жидкостью или ее паром, а рабочее давление выше атмосферного. Однако пожарная опасность может возникнуть в случае появления неисправностей и повреждений, приводящих к выходу ВОТ из системы. Интенсивность ис-

парения при проливе горячего ВОТ следует определять по соотношению:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \sqrt{M \cdot Pn_{cp}} [16],$$

где Pn_{cp} – давление насыщенного пара жидкости, определяемое при температуре $t = (t_{ж} + t_{п})/2$;

$t_{ж}$ – температура ВОТ в системе; $t_{п}$ – расчетная температура в данной местности.

Меры пожарной профилактики при использовании ВОТ заключаются в следующем.

Нагревание ВОТ в теплоагрегатах (теплогенераторах) ведут в «мягких» условиях: теплоноситель подают в зону наименьшей температуры, в конвекционную часть змеевика, а затем уже в радиантные трубы. За температурой ВОТ и продуктов сгорания в топке ведется контроль, осуществляется автоматическое регулирование.

Продукты термического разложения ВОТ систематически выводятся из системы через расширительный бак, который находится под защитой азота, чтобы теплоноситель не соприкасался с воздухом. Контакт с воздухом способствует разложению ВОТ.

Ведется систематический контроль пожаровзрывоопасных свойств теплоносителя (температуры вспышки, температуры самовоспламенения). Для улавливания твердых продуктов разложения устанавливаются фильтры; трубы котлов регулярно очищают от отложений. При остановке системы жидкость спускают во избежание образования пробок. Трубопроводы защищают теплоизоляцией. Котлоагрегаты защищают предохранительными клапанами. Обеспечивают герметичность соединений путем сварки, использованием термостойких и плотных прокладок, уплотнений, сальников.

Котлоагрегаты (теплогенераторы) размещают в изолированных помещениях – котельных. Выносят в обособленное помещение расширительные баки, емкости, насосы, оборудование для подпитки котлов свежими ВОТ. Защищают их системами пенного или порошкового тушения. В топочное пространство котлоагрегатов и к дымовой трубе подводят водяной пар.

Установку оборудуют системой аварийного слива теплоносителя. Схема аварийного слива показана на рисунке.

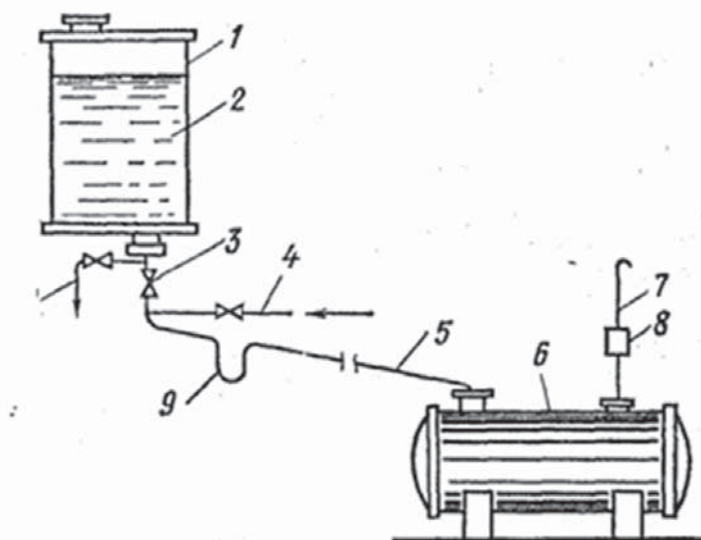


Схема аварийного слива огнеопасной жидкости самотеком:

- 1 – опорожняемый аппарат; 2 – сливаемая жидкость; 3 – аварийная задвижка;
4 – линия подачи инертной среды; 5 – сливной трубопровод;
6 – аварийная емкость; 7 – дыхательная линия; 8 – огнепреградитель;
9 – гидрозатвор; 10 – расходная линия

Аварийные емкости располагают за пределами здания на уровне земли или под землей. При подземном расположении емкость может размещаться на расстоянии не менее 1 м от глухой стены здания и не менее 4–5 м от стены с проемами. При наземном расположении емкости она должна располагаться на расстоянии 15 м от здания. Время слива не должно превышать 30 мин.

В качестве средств тушения теплоносителей ВОТ рекомендовано применение воздушно-механической пены, порошков [18].

Список литературы

1. СП 89.13330. Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76.
2. СП 4.13130.2013. Ограничение распространения пожара на объектах защиты Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям.
3. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
4. СП 373.1325800.2018. Свод правил источники теплоснабжения автономные правила проектирования.
5. СП 281.1325800.2016. Установки теплогенераторные мощностью до 360 кВт, интегрированные в здания. Правила проектирования и устройства.
6. СП 282.1325800.2016. Поквартирные системы теплоснабжения на базе индивидуальных газовых теплогенераторов Правила проектирования и устройства.
7. ГОСТ 33341–2015. Составы низкотемпературные всепогодные и жидкости, охлаждающие для теплообменных систем. Технические условия.
8. ГОСТ 19710–2019. Этиленгликоль. Технические условия.
9. Земский Г.Т. Огнеопасные свойства неорганических и органических материалов: справ. М.: ВНИИПО, 2016. 971 с.
10. Земский Г.Т. Физико-химические и огнеопасные свойства органических химических соединений: справ. в 2-х кн. М.: ВНИИПО, 2009. Кн.1. 502 с. Кн. 2. 458 с.
11. Гольтыев О.М. Применение антифризов в системах отопления // АВОК. 2012. № 6. С. 46–55.
12. ГОСТ 10136-2019. Диэтиленгликоль. Технические условия (с поправкой).
13. Кнунянц И.Л. Химическая энциклопедия в 5 т. // Советская энциклопедия, 1988.
14. Дымент О.Н., Казанский К.С., Мирошников А.М. Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена / под общей ред. О.Н. Дымента. М.: Химия, 1976. 376 с.
15. Каган С.З., Чечеткин А.В. Органические высокотемпературные теплоносители и их применение в промышленности. М.-Л. 1951.
16. Пособие по применению СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
17. Земский Г.Т., Зуйков В.А. Несовместимые вещества // Пожарная безопасность 2010. № 1. С. 66–84.
18. Корольченко А.Я. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средств их тушения. Справочник. В 2-х ч. М.: Ассоциация «Пожнаука», 2000.

Материал поступил в редакцию 29.07.2021 г.

Земский Геннадий Тимофеевич – ведущий научный сотрудник, кандидат химических наук; **Вогман Леонид Петрович** – главный научный сотрудник, доктор технических наук; **Кондратюк Наталья Валентиновна** – старший научный сотрудник.

Всероссийский ордена “Знак Почета” научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ФГБУ ВНИИПО МЧС России), г. Балашиха, Московская область, Россия.

G. T. Zemsky, L. P. Vogman, N. V. Kondratyuk

FIRE SAFETY OF HEAT-TRANSFER AGENTS FOR HEAT GENERATORS

There are considered the properties of two groups of heat-transfer agents used to reduce the operating temperature and to increase the operating temperature.

The following substances are included in the first group of heat-transfer agents: ethylene glycol, diethylene glycol, triethylene glycol, propylene glycol, glycerin. The following substances are included in the second group of heat-transfer agents: diphenyl mixture, AMT-300 oil, TLV-330 oil, mobileterm-600, dicumylmethane, ditolylmethane, tetrachlorodiphenyl, tetracresyl silicate, naphthalene, triple naphthalene mixture, nitrite-nitrate mixture.

There are cited the physicochemical and fire hazardous properties of the mentioned heat-transfer agents, as well as the list of preventive fire-fighting measures and fire-extinguishing facilities.

Keywords: *low-freezing heat-transfer agents, high-temperature heat-transfer agents, fire-hazardous properties, fire prevention, fire extinguishing facilities*

Gennady T. Zemsky – Leading Researcher, Candidate of Chemical Sciences; **Leonid P. Vogman** – Main Researcher, Doctor of Technical Sciences; **Natalia V. Kondratyuk** – Senior Researcher.

All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIPO), the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia), Balashikha, Moscow region, Russia.