

УДК 629.4.048

И. Г. Киселев, М. Ю. Кудрин, В. П. ПрийминПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**О ВЫБОРЕ ХЛАДАГЕНТА ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК
ПАССАЖИРСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Рассмотрены достоинства и недостатки используемых фреонов и возможности перевода климатических установок пассажирского подвижного состава на новые типы хладагентов. В отличие от используемых в настоящее время хладонов, перспективные вещества обладают лучшими экологическими показателями и позволяют в некоторых случаях улучшить производительность установки, а также расширить температурный диапазон применения режима «тепловой насос». Рассмотрены несколько семейств хладагентов, подходящих для применения на транспорте, а также основные тенденции мировой холодильной промышленности, главная из которых – стремление перейти на природные хладагенты.

пассажирский подвижной состав, железнодорожные транспортные климатические установки, система кондиционирования, хладагенты, потенциал глобального потепления, потенциал истощения озонового слоя.

Одной из систем, обеспечивающих комфортный микроклимат в пассажирских вагонах, является система кондиционирования воздуха. На сегодня в ОАО «Федеральная Пассажирская Компания» (ФПК) насчитывается около 22,8 тыс. вагонов, из них системой кондиционирования воздуха (СКВ) оборудованы более 12 тыс., т. е. немногим более половины (53%) парка [1]. Не стоит забывать, что совсем недавно система кондиционирования считалась самой неэффективной в плане энергосбережения и одной из наиболее дорогостоящих систем. В настоящее время с учетом текущей экологической обстановки, важным показателем климатических систем, на наш взгляд, помимо цены является их экологическая безопасность. Экологическая безопасность СКВ напрямую зависит от хладагента, которым заправлена установка. Показателями влияния хладагента на окружающую среду являются потенциал истощения озонового слоя и потенциал глобального потепления (ПГП). Потенциал истощения озонового слоя (или озоноразрушающий потенциал – ОРП) является сравнительной мерой и показывает, насколько опасным является вещество для озонового слоя атмосферы по сравнению с хлорфторуглеродом (за единицу

принят коэффициент хладагента R11). ПГП определяет степень влияния парниковых газов на процесс глобального потепления (за единицу принят коэффициент диоксида углерода).

До недавнего времени в парокомпрессионных установках кондиционирования воздуха повсеместно использовались хладагенты, которые были получены из углеводородов замещением атомов водорода атомами хлора и фтора (табл. 1).

Согласно положениям Монреальского протокола (1987 г.), использование хлорфторуглеродных хладонов было прекращено в большинстве стран. С 2013 г. в Российскую Федерацию запрещен ввоз озоноразрушающих веществ и содержащей их продукции. Характеристики хлорфторуглеродных хладагентов и их влияние на атмосферу приведены в табл. 1. На смену озоноразрушающим хладаконам пришли гидрофторуглеродные (ГФУ) хладагенты, наибольшее распространение из них получили хладоны R134a, R23, R32, R143a (табл. 2) и многочисленные смеси на их основе (табл. 3). Потенциал истощения озонового слоя у этого семейства хладагентов равен нулю, однако эти вещества имеют очень высокий потенциал глобального потепления и требуют использования

ТАБЛИЦА 1. Характеристики хлорфторуглеродных хладагентов

Хладагент	Молекулярная масса	Параметры критической точки		Температура кипения, °С	ОРП	ПГП
		t, °С	P, МПа			
R11	137,37	198,0	4,41	23,7	1	4600
R12	120,9	112,0	4,14	-29,8	0,82	10600
R22	86,47	96,2	4,99	-41,4	0,034	1700

ТАБЛИЦА 2. Свойства гидрофторуглеродных хладонов

Хладагент	Молекулярная масса	Параметры критической точки		Температура кипения, °С	ОРП	ПГП
		t, °С	P, МПа			
R134a	102,03	101,1	4,06	-26,1	0	1300
R143a	84,04	72,9	3,78	-47,2	0	4300

ТАБЛИЦА 3. Свойства гидрофторуглеродных хладоновых смесей

Хладоновая смесь	Состав	Отношение по массе	Параметры критической точки		Температура кипения, °С	Молекулярная масса	ОРП	ПГП
			t, °С	P, МПа				
R404A	R125/ R143a/ R134a	44:52:4	72,1	3,74	-46,6	97,60	0	3800
R407C	R32/ R125/ R134a	23:25:52	87,3	4,63	-43,8	86,2	0	1700
R410A	R32/ R125	50:50	72,5	4,95	-51,6	72,8	0	2000
R507	R125/ R143a	50:50	72,5	4,95	-50,98	98,86	0	3900

дорогостоящих и небезопасных для человека синтетических смазок, так как не смешиваются с минеральными маслами.

Альтернативным семейством хладагентов, обладающим требуемыми термодинамическими свойствами и не влияющим на озоновый слой, являются углеводороды, или HC-

хладагенты (табл. 4). Они безопасны для окружающей среды, смешиваются с большинством минеральных масел и синтетических смазок и могут быть использованы в качестве альтернативных без замены смазки в существующих установках, использующих хлорфторуглеродные хладоны. Однако углеводороды крайне

ТАБЛИЦА 4. Свойства некоторых HC-хладагентов

Хладоно- вая смесь	Состав	Отно- шение по массе	Параметры критической точки		Темпера- тура кипе- ния, °С	Молеку- лярная масса	ОРП	ПГП
			t, °С	P, МПа				
R170 (этан)	–	–	90	4,87	–88,9	30,07	0	20
R290 (пропан)	–	–	96,7	4,25	–42,2	44,1	0	20
R600a (изобутан)	–	–	134,7	3,64	–11,7	58,12	0	20
NRM	R134a/R290	45:55	98,68	4,16	–34,95	70,16	0	596
R430A	R152a/R600a	76:24	118,43	4,30	–21,04	64,14	0	104
R431A	R290/R152a	71:29	101,51	4,32	–43,1	50,46	0	43

легковоспламенимы, что лимитирует их использование в установках большой мощности [2].

Для устранения недостатков семейств HC- и ГФУ-хладагентов их смешивают друг с другом, благодаря чему улучшается смешиваемость с минеральными маслами и снижается воспламеняемость [3]. Примерами таких смесей являются R430A и R431A (табл. 4).

Экологические показатели, смешиваемость с минеральными маслами и улучшенные термодинамические характеристики заставляют обратить внимание на смеси ГФУ/HC-хладагенты как на хладоны переходного периода от синтезированных к естественным хладагентам. В них снижена (хотя до конца и не устраняется) воспламеняемость углеводо-

род-хладонов. Они представляются перспективными хладагентами для железнодорожного транспорта, если производители транспортных климатических установок решат пойти на риск использования огнеопасных веществ-хладоносителей.

Относительно недавно в группе хладагентов, выпускаемых в промышленном масштабе, появилось новое вещество – однокомпонентный хладагент R-1234yf, или гидрофторолефин (табл. 5).

По данным компании Honeywell, которая является ведущим в мире производителем R-1234yf, потенциал глобального потепления этого хладагента меньше единицы [5]. Благодаря схожим термодинамическим характеристикам нового хладагента с хладоном

ТАБЛИЦА 5. Сравнение хладагентов R-134a и R-1234yf

Хладагент	Срок стабильного существования в атмосфере	ОРП	ПГП
R-1234yf*	10,5 сут.	0	4
R-134a	13,4 лет	0	1300

Примечание. * Приведены данные из [4].

R-134a внесения существенных изменений в конструкцию климатических установок не потребуются. В атмосфере гидрофторолефин разлагается на трифторуксусную кислоту, которая слабо фитотоксична, как и другие органические кислоты. В настоящее время этот хладон используется в основном в автомобильных кондиционерах, по оценкам специалистов, широкое распространение R-1234yf в мире сравнимо с выводом из эксплуатации более 30 млн автомобилей [4]. Однако сравнительно недавняя проверка этого хладагента фирмой Daimler в условиях лобового столкновения автомобилей, при котором происходит разрыв хладопровода и попадание паров в горячий отсек двигателя автомобиля, показала, что R1234yf огнеопасен, и в случае возникновения пожара продукт разлагается с образованием высококоррозионных и токсичных веществ [6].

Вероятнее всего, учитывая воспламеняемость этого вещества, гидрофторолефин в ближайшее время не будет использован в климатических установках железнодорожного транспорта (даже с учетом его экологических характеристик), тем более что цена R-1234yf на сегодня в несколько раз превышает цену R134a.

В настоящее время большой интерес в качестве рабочих агентов для железнодорожных климатических установок представляют природные хладагенты, например, R744 (углекислый газ), R717 (аммиак) и R729 (воздух).

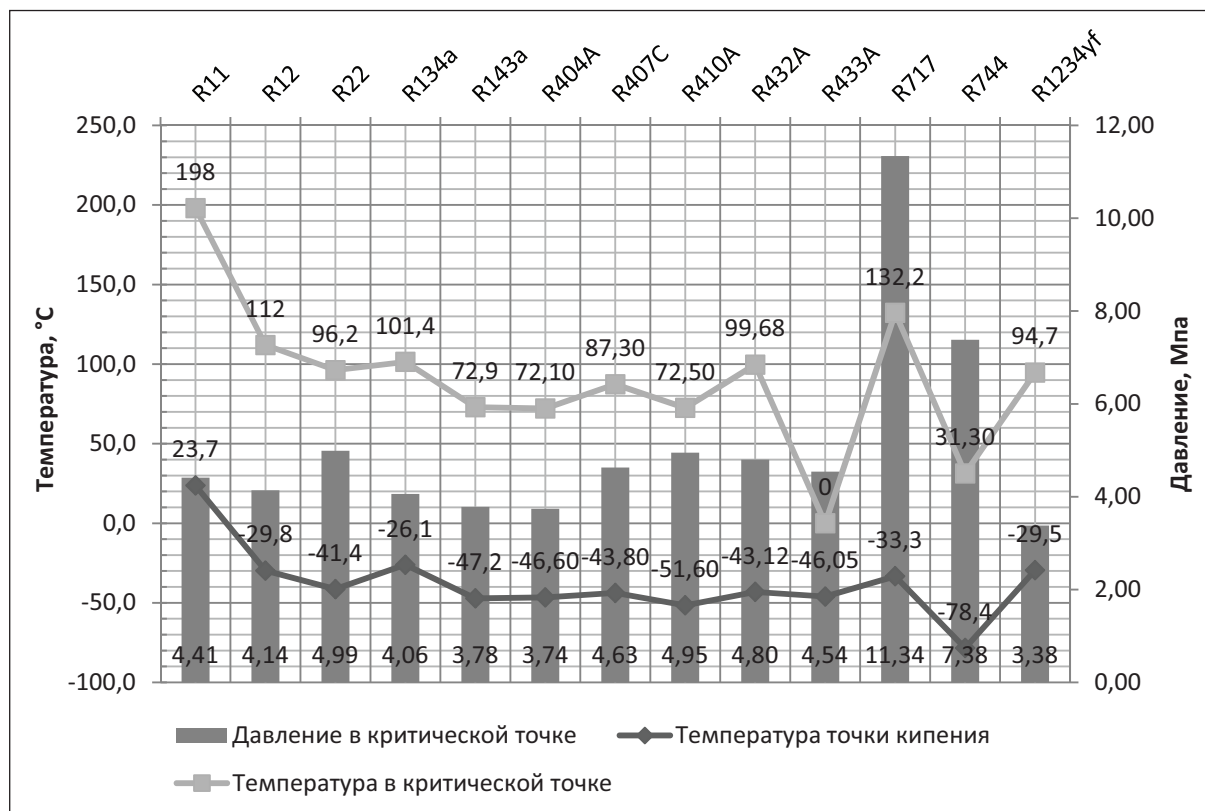
Из них, на наш взгляд, только R744 обладает некоторыми преимуществами: не горюч, не токсичен (в отличие от R717), имеет хорошие термодинамические характеристики (в отличие от R729), низкую стоимость и оказывает минимальное влияние на окружающую среду. Важной особенностью системы кондиционирования, работающей на углекислом газе, является возможность работы установки в режиме теплового насоса, кроме того, использование R744 позволяет создавать установки с очень компактными размерами [7]. Недостатком установок на углекислом газе является большое рабочее давление хладагента – более 80 атмосфер.

Для преодоления этого недостатка R744 смешивают с другими хладагентами, создавая таким образом приемлемые характеристики смеси (табл. 6).

Использование режима «тепловой насос» является одним из самых популярных и эффективных путей энергосбережения в системах кондиционирования. Большинство установок кондиционирования воздуха для подвижного состава, выпускаемых отечественными производителями (ЗАО «Петроклима», «Лантеп» и др.), могут работать в этом режиме в достаточно узком диапазоне температур наружного воздуха от +16 до –8 °С, т. е. во время переходных периодов года. Годовая экономия электроэнергии на один вагон при этом составляет 21600 кВт·ч [7]. Добиться еще большей экономии позво-

ТАБЛИЦА 6. Свойства смесевых хладагентов, включающих в свой состав R744

Хладоновая смесь	Состав	Отношение по массе	Параметры критической точки		Температура кипения, °С	Молекулярная масса
			t , °С	P , МПа		
NRM	R744/R32/R134a	7:31:62	89,1	4,83	–36,69	82,46
NRM	R744/R600	50:50	91,5	5,59	–39,45	51,06
NRM	R744/R600a	50:50	82,9	5,51	–45,05	51,06
NRM	R744/R134A	30:70	80,1	5,056	–41,79	84,62
NRM	R744/R290	30:70	77,02	5,189	–53,06	44,07



Основные параметры рассматриваемых хладагентов

лило бы расширение диапазона температур, при которых возможно использование режима «тепловой насос». Для этого необходимо подбирать вещества с возможно более низкой температурой кипения. Из семейства ГФУ-хладагентов наиболее подходящими для этой задачи окажутся смесевые хладоны R404a, R407c и R410a (см. табл. 3).

Для наглядности на рисунке графически представлены наиболее важные характеристики рассмотренных хладонов.

Заключение

Для климатических установок пассажирского подвижного состава в целях расширения диапазона температур применения режима «тепловой насос» наиболее подходящим хладагентом на текущий момент является R407c. Несмотря на некоторые сложности, связанные с использованием синтетического масла, в целом переход на данный хладагент позво-

лит добиться еще большей экономии энерго-ресурсов при минимальном вмешательстве в конструкцию имеющихся агрегатов. Однако нельзя не учитывать имеющиеся в мировой холодильной промышленности тенденции, главная из которых – стремление перейти на природные хладагенты, оказывающие минимальное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Учитывая, что в развитых странах ведутся активные разработки транспортных систем кондиционирования воздуха на углекислом газе (концернами BMW и Daimler, например), этот хладагент (R744) представляется одним из самых перспективных для использования в железнодорожных климатических установках пассажирского подвижного состава.

Библиографический список

1. 266 новых пассажирских вагонов приобретено ОАО «ФПК» за 9 месяцев 2012 года [Электронный ресурс]. – URL : <http://ozd.rzd.ru/>

news/public/ru?STRUCTURE_ID=2&layer_id=4069&id=150202 (дата обращения 12.05.2014).

2. **Palm, B.** Hydrocarbons as refrigerants in small heat pump and refrigeration systems – a review // *Int. J. Refrigeration*. – 2008. – N 31. – P. 552–563.

3. **Mohanraj, M.,** Muraleedharan, C., Jayaraj, S. A review on recent developments in new refrigerant mixtures for vapour compression-based refrigeration, air conditioning & heat pumps units / M. Mohanraj // *Int. J. Energy Res.* – 2011. – N 35. – P. 647–669.

4. «**Honeywell**» инвестирует в расширение производства ГФО-1234yf в США [Электронный ресурс]. – URL : [http://www.ozoneprogram.](http://www.ozoneprogram.ru/novosti/honivell_investiruet_gfo_1234yf)

[ru/novosti/honivell_investiruet_gfo_1234yf](http://www.ozoneprogram.ru/novosti/honivell_investiruet_gfo_1234yf) (дата обращения 10.02.2014).

5. **Environmental** impact of Solstice yf refrigerant / Fact sheet. 2014 [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.1234facts.com/solstice-yf-refrigerant/#environmental-impact> (дата обращения 10.02.2014).

6. **Хладагенты** и окружающая среда / О.Б. Цветков // *Холодильная техника*. – 2013. – № 1. – С. 20.

7. **Способы** повышения эффективности режима «тепловой насос» в пассажирских вагонах железнодорожного транспорта : дис. ... канд. техн. наук / А.В. Михайлов. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2013. – 129 с.

УДК 629.4.023

Х. Р. Косимов

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РАМЫ ТЕПЛОВОЗА UZTE16M

Безопасная эксплуатация транспортного средства определяется остаточной прочностью деталей, узлов и конструкций. Статья посвящена моделированию и анализу напряженно-деформированного состояния рамы тепловоза. Определены наибольшие напряжения в сечениях рамы тепловоза типа UzTE16M.

подвижной состав, рама тепловоза, срок службы, несущие конструкции, прочность.

Введение

В связи с увеличением скоростей движения на железнодорожном транспорте, а также массы поездов (грузонапряженности) возрастают нагрузки на элементы экипажной части локомотивов, в том числе на рамы тепловозов. Структура элементов металлоконструкции механической части железнодорожного подвижного состава сложна. Эти элементы представляют собой ряд пространственных

конструкций с большим количеством разнообразных по конфигурации соединений и концентраторов напряжений, воспринимающих широкий спектр эксплуатационных нагрузок. Их размеры и форма определяются усилиями, деформациями и напряжениями в них, а также другими характеристиками состояния, которые формируются под действием нагрузок различного вида и характера, определяемых параметрами, назначением и условиями