электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

УДК 697.94; УДК 62-784.22

Современные тенденции развития систем кондиционирования воздуха на транспорте (на примере железнодорожных вагонов)

 # 06, июнь 2012

Меньщиков И.Е.

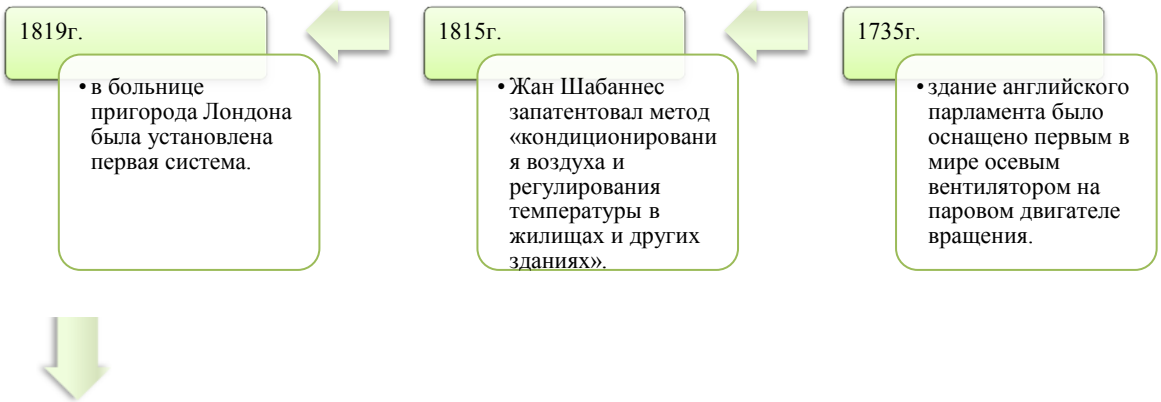
Студент,
кафедра «Холодильная, криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения»

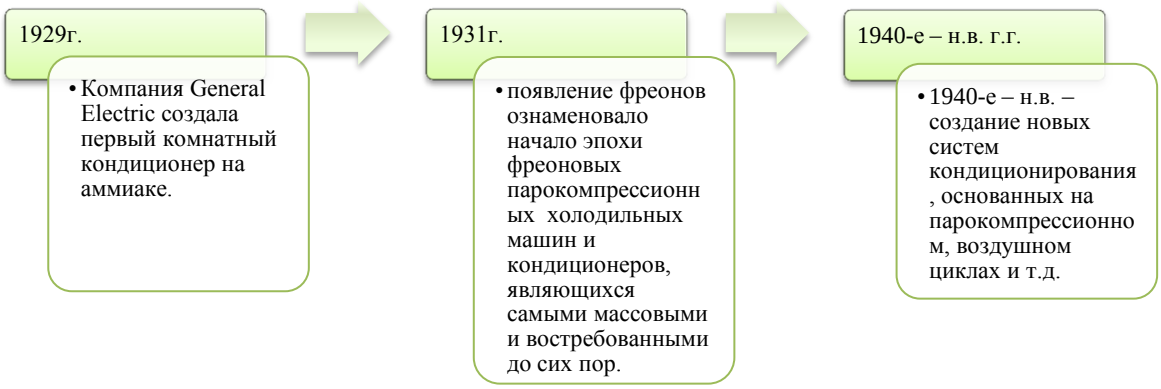
Научные руководители: Гаранов С.А.,
к. т. н., доцент кафедры «Холодильная, криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения»;
В.П. Леонов,
к. т. н. доцент кафедры «Холодильная, криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения»

МГТУ им. Н.Э. Баумана
bauman@bmstu.ru

В современном мире создание комфортного микроклимата является неотъемлемым процессом в любой сфере деятельности человека из-за изменения условий и уровня его жизни, освоения новых территорий, роста потребности в комфорте и прочих факторов. Не обошла такая тенденция и транспорт.

Основные этапы развития систем комфортного жизнеобеспечения:





Основной проблемой внедрения систем кондиционирования воздуха (СКВ) на транспорте, в том числе на поезда и самолеты начиная с середины 20-го века было высокое потребление электрической энергии.

Создание комфортных условий на поездах началось с появлением локомотивов на электрической и дизельной тяге в 50-х, 60-х годах. В это время в вагоны начинают оснащаться кондиционерами, работающими по парокомпрессионному циклу.

Основные требования, предъявляемые к современным системам кондиционирования для пассажирских поездов:

- Экологическая чистота;
- Экономичность;
- Получение высокой холодопроизводительности и значения холодильного коэффициента не менее 2.5;
- Надежность и бесперебойная работа в широком диапазоне температур, влажности и с воздухом любого качества (примеси, аэрозоли, пыль и т.д.);
- Компактность и малая масса СКВ (особенно в случае применения на высокоскоростных поездах).

Проблемы экологии и разрушения озонового слоя в настоящее время стоят наиболее остро и показывают необходимость отказаться от использования любого, экологически небезопасного хладагента в СКВ, так как полностью устранить его утечки в контурах кондиционирования невозможно вследствие несовершенства конструкции. Поэтому существует задача перехода на природные хладагенты, например воздух.

В настоящее время на основе множества исследований, связанных с энергопотреблением, конструкцией и холодопроизводительностью кондиционеров можно сделать заключение, что на современном этапе развития кондиционер прежде всего должен представлять из себя комбинированную систему, например, использовать детандер-эффект вкупе с водоиспарительным и другие. Причем работать устройство должно не как два отдельных агрегата, а как некий «симбиоз» устройств, то есть холодопроизводительность кондиционера должна быть выше суммарной, полученной сложением холодопроизводительностей его отдельных агрегатов.

Системы кондиционирования железнодорожных вагонов с воздушным циклом и косвенно-испарительной системой

Немецкая компания «Liebherr Verkehrstechnik», спроектировала и изготовила прототип такого «симбиоза»: экологически-чистый и удобный в обслуживании кондиционер, в котором в качестве хладагента используется воздух, схема показана рис.1.

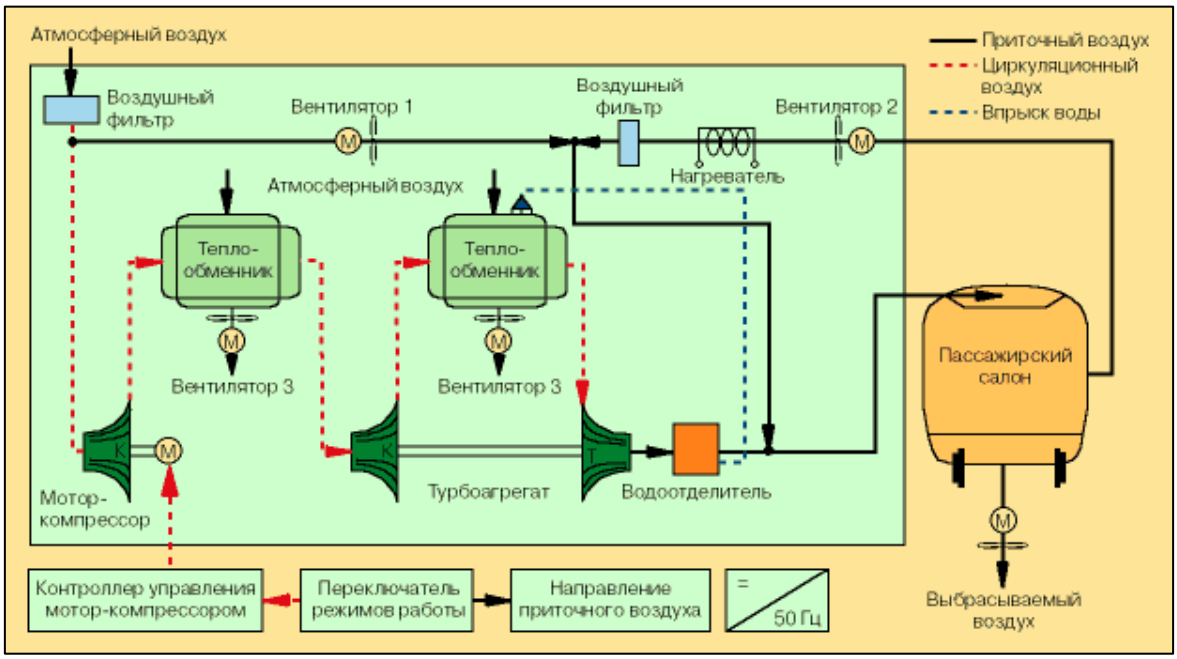


Рис. 1. Схема системы кондиционирования с открытым контуром при избыточном давлении

Прототипом схемы является хорошо зарекомендовавшая себя авиационная СКВ. В данной системе сжатие воздуха, то есть создание избыточного давления осуществляется компрессором, а не турбоагрегатом, как в самолете.

Конденсирующаяся в потоке приточного воздуха влага улавливается и используется повторно для повышения холодопроизводительности, направляясь и распыляясь в обратном потоке теплообменника.

Основными достоинствами данной схемы являются ее экологическая чистота, малая, по сравнению с парокомпрессионными кондиционерами, масса. Однако наряду с положительными качествами системы подобного типа имеют и существенные недостатки, такие как повышенное энергопотребление и большое число конструктивных элементов (особенно для систем с закрытым контуром) что негативно сказывается на надежности СКВ.

После ряда исследований, проведенных компанией «Liebherr Verkehrstechnik», была предложена система кондиционирования с разряжением (рис.2). Контур циркуляционного воздуха отделен теплообменником от контура приточного воздуха. В контуре охлаждения циркуляционный воздух сначала расширяется в турбине, и в зависимости от условий охлаждения его температура плавно понижается до значения ниже 0 °С. Конденсирующаяся в охлажденном приточном воздухе влага впрыскивается в контур разрежения и испаряется в теплообменнике.

Такая конструкция имеет следующие преимущества: 1) низкую массу кондиционера, 2) меньшее число компонентов, 3) гибкость при монтаже, 4) высокую

надежность компонентов и системы в целом, 5) пониженный уровень шума, 6) простое техническое обслуживание.

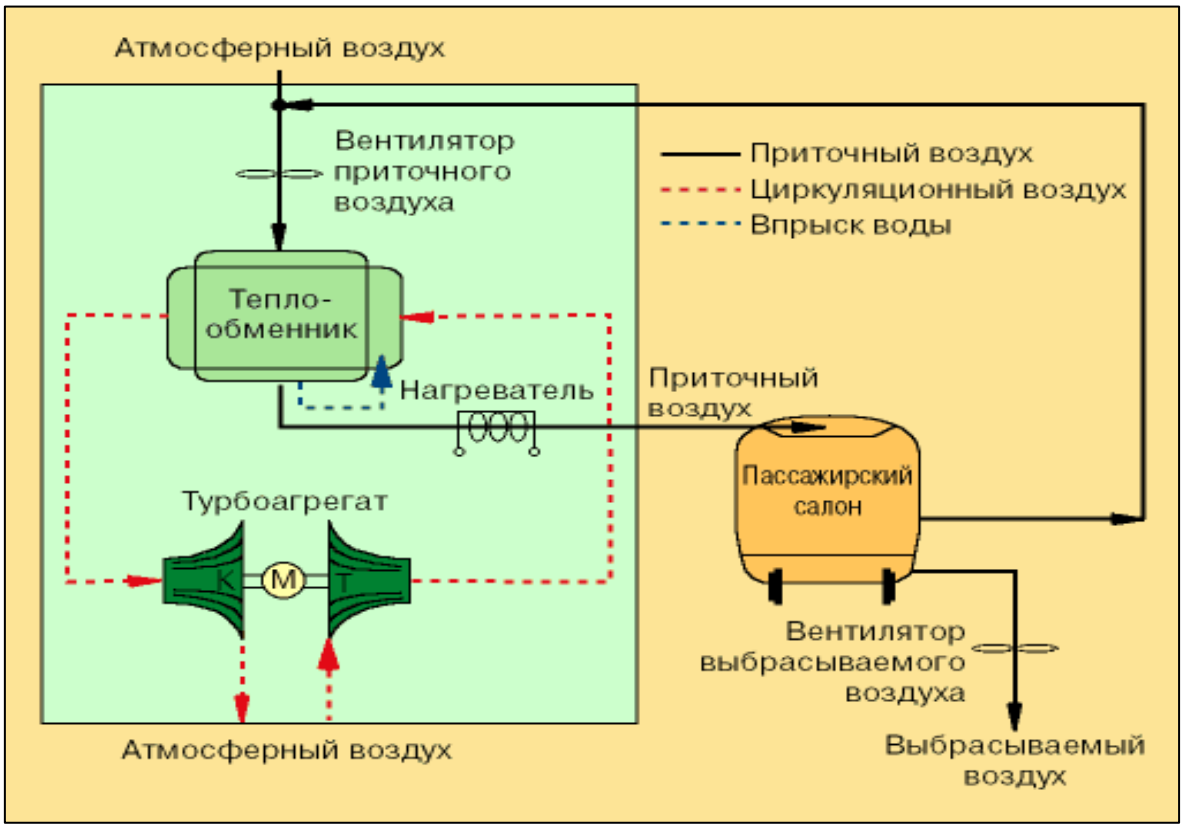


Рис. 2. Схема кондиционирования с открытым контуром при разрежении

Сравнение эксплуатационных характеристик кондиционеров на воздухе и хладоне приведено в табл. 1.

Таблица 1. Эксплуатационные характеристики кондиционеров на парокомпрессионном и воздушном циклах

Показатель	Значение показателя для разных хладагентов и типов исполнения		
	R 134 a	Холодный воздух, избыточное давление	Холодный воздух, пониженное давление
Холодопроизводительность, кВт	30	32	32
Холодильный коэффициент	2-2,2	0,8-1	1-1,3
Электрическая мощность присоединений, кВ*А			
• контура охлаждения	1 x 20	1 x 35	1 x 30
• контура приточного воздуха	1 x 2	2 x 1	2 x 1
• конденсатора/мотор-вентилятора	2 x 1,7	1 x 0,5	1 x 0,5

Годовой расход энергии*,%	100	120	<100
Монтажный объем, мм	2700 x 1400 x 485		
Масса, кг	620	550	500

«*»-для среднеевропейской климатической зоны.

Существует и российский аналог подобной СКВ, разработанной предприятием ОАО «НПО «Наука». В отечественной разработке применяется усовершенствованная система удаления конденсата влаги, позволяющая организовать охлаждение воздуха в турбодетандере при отрицательных температурах и утилизировать отрицательное тепло, затраченное на охлаждение содержащегося в воздухе пара, и снизить температуру атмосферного воздуха, охлаждающего теплообменник. Охлаждение кондиционируемого воздуха до отрицательных температур позволяет снизить его подачу до необходимого количества, что повышает экономичность СКВ на максимальных режимах.

Масса российской установки составляет менее 400кг, что на 100-150кг ниже, чем у немецких аналогов и на 300кг, чем у парокомпрессионных машин. Однако уровень энергопотребления оставляет желать лучшего: разница между системами на воздухе и системами хладагенте составляет 7600кВт/ч в год, в пользу последней.

Основной проблемой использования систем с водным испарением является ее ограниченность использования, данное устройство будет эффективно работать при условии подачи в контур воздуха с высокой влажностью, что не всегда осуществимо, например, в местностях с жарким сухим климатом.

Для решения этого вопроса сотрудники кафедры холодильной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана предложили усовершенствовать схему, включив в нее расходный бак с водой, который компенсирует низкую относительную влажность воздуха. Схема установки представлена на рис. 3. В настоящее время инженерами кафедры ведутся работы в лаборатории над созданием испытательного стенда комбинированного кондиционера, использующего парокомпрессионный цикл и косвенно-испарительное охлаждение, который должен вступить в работу в ближайшее время.

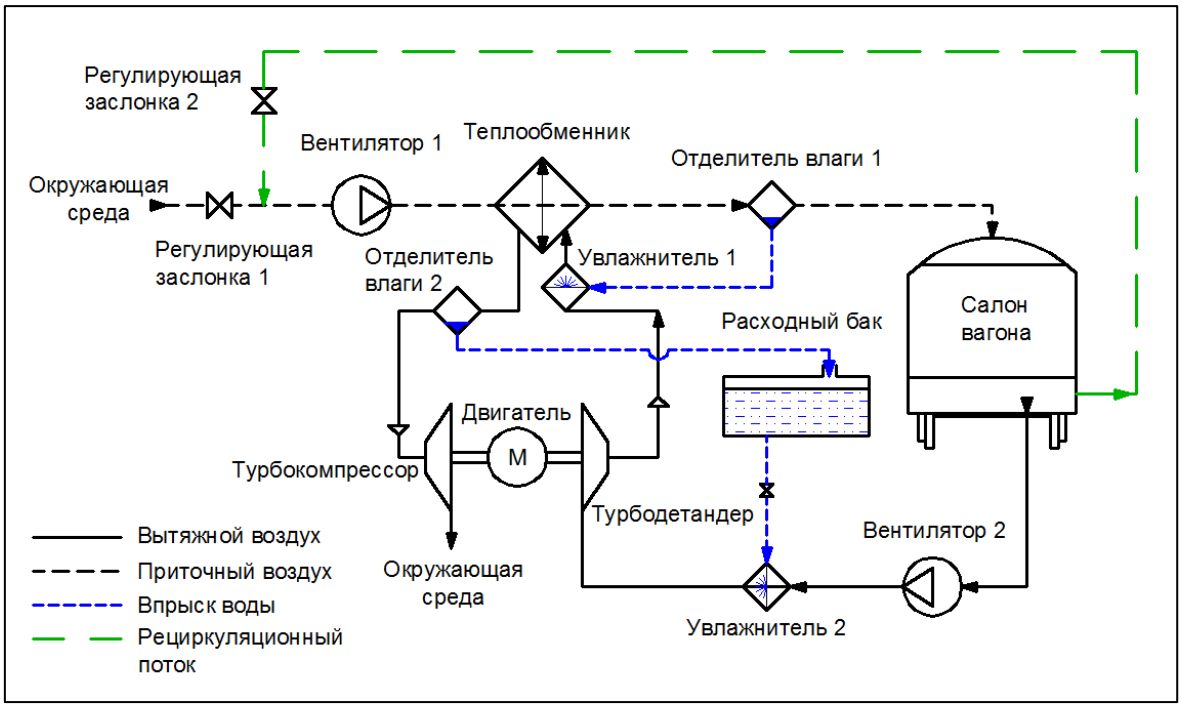


Рис. 3. Комбинированная схема системы кондиционирования воздуха, предложенная сотрудниками МГТУ им. Н.Э. Баумана

Комбинированная испарительно-компрессионная система кондиционирования воздуха в железнодорожных вагонах

Еще одним видом «симбиоза» в транспортных системах кондиционирования является система, в которой наряду с парокомпрессионной холодильной машиной (ПХМ) используется косвенно-испарительная система (КИС).

ПХМ обладают высокими эксплуатационными качествами, универсальны, и получили массовое распространение в СКВ самого различного назначения. Однако действительный холодильный коэффициент (с учетом мощности вентиляторных установок) составляет ~ 1,4 ÷ 1,5, тогда как у идеальных ПХМ в соответствующем температурном диапазоне он может достигать 10. Основными источниками необратимых потерь являются теплообменники, усовершенствование которых затруднено, поэтому конструкторам необходимо использовать другие способы уменьшения энергетических потерь, одним из которых является увлажнение.

Возможны различные комбинации ПХМ с косвенно-испарительной системой, на рис. 4 представлена одна из наиболее перспективных.

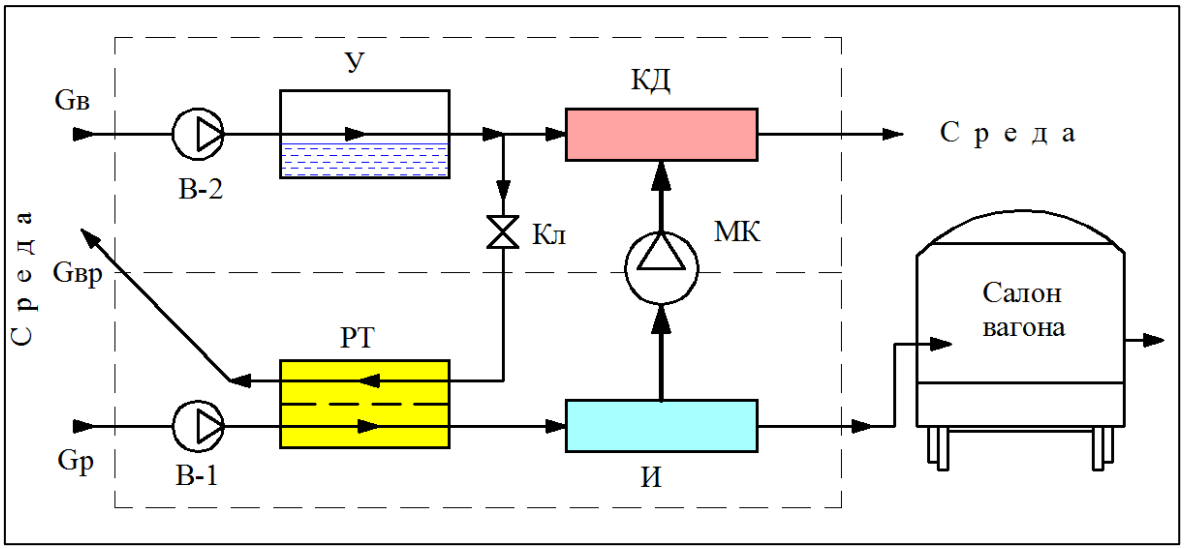


Рис. 4. Комбинированная СКВ с ПХМ и водоиспарительной системой: В-1, В-2– вентиляторы; У – увлажнитель; РТ – рекуперативный ТОА; МК – поршневой мотор-компрессор; И – испаритель; КД – конденсатор; Кл – регулировочный клапан; Gв, Gр, Gвр – соответственно вспомогательный, рабочий и выбрасываемый воздушные потоки

Блок испарительного охлаждения помогает существенно снизить суммарное энергопотребление СКВ, особенно в жаркие дни, так как вырабатывает значительную часть суммарно производимого кондиционером СКВ "холода". Более того, при определенных условиях в рассмотренном варианте появляется возможность создавать комфортный тепло-влажностный режим вагона, полностью отключая компрессионный блок СКВ. Таким образом, снижается нагрузка на компрессор и впоследствии его энергопотребление. К недостатку комбинированной СКВ, можно отнести появление в ней нескольких дополнительных узлов. Снижение затрат на работу и прирост холодопроизводительности показаны на рис.5

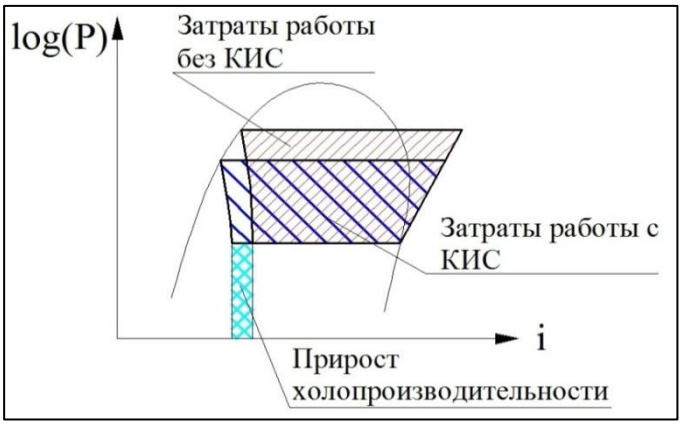


Рис. 5. Условная log(p)-i диаграмма хладагента

Частично источником воды может служить ПХМ, так как в ней всегда образуется конденсат, выделяющийся из охлаждаемого воздуха. Поэтому дополнительный расход воды может оказаться незначительным. Особенно это важно при поступлении испаренной воды вместе с потоком воздуха в теплообменник, так как в ней практически отсутствуют грязь и примеси, что приведет к более долговечной работе теплообменного аппарата.

Кроме того данная СКВ не нуждается в рециркуляционном воздухе, а это значит, что при обслуживании вагонов расход можно снизить до 800куб.м/час при tвх.=12ºС, что допустимо при грамотной подаче через воздухораспределители с быстрым снижением градиента температуры.

К минусу системы можно отнести необходимость в содержании обслуживающего персонала для работы с фреоновым контуром.

Характеристики системы и параметры вагонного воздуха при параметрах наружного воздуха: tн=40ºС, φн=30%, dн=13,7г/кг с.в. представлен в табл. 2.

Таблица 2.Характеристики комбинированной СКВ с ПХМ и КИС и параметры вагонного воздуха

Показатель	Значение
Необходимая холодопроизводительность	21,2 кВт
Холодопроизводительность ПХМ	15,4 кВт
Холодопроизводительность КИС	5,8 кВт
Параметры вагонного воздуха: температура, относительная влажность, влагосодержание	t=26ºС; φ=63%; d=13,7 г/кг
Предполагаемый холодильный коэффициент	~3
Потребляемая мощность	До 7 кВт

Выводы

1. На современном этапе развития СКВ предпочтение должно быть отдано комбинированным кондиционерам, так как они отличаются высоким значением холодильного коэффициента и относительно низким энергопотреблением.
2. Наряду с усовершенствованием СКВ, необходимо добиться незначительного увеличения числа их компонентов, в целях надежности, простоты эксплуатации и ремонта.
3. Необходимо рассматривать перспективу перехода на экологически-чистые природные хладагенты.
4. Наряду с повышением надежности систем, следует решать проблему работы СКВ в более широких диапазонах температур, влажности и экстремальных условиях.

Список литературы

1. Жариков В.А. Климатические системы пассажирских вагонов. М: ТРАНСИНФО, 2006. 135с.
2. Емельянов А.Л., Антипов А.С., Буравой С.Е., Платунов Е.С. Трансортная комбинированная испарительно-компрессионная система кондиционирования воздуха // Электронный научный журнал «Холодильная техника и кондиционирование» / Системные требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://refrigeration.open-mechanics.com/articles/69.pdf (дата обращения: 20.01.2012).

3. Электронный архив журнала «Железные дороги мира», № 09-2004 / URL: http://www.css-rzd.ru/zdm/09-2004/02005-1.htm. (дата обращения: 28.01.2012).
4. Лазутин В. А., Рубан В.Л., Щербаков А.В. Установка охлаждения система обеспечения климата для пассажирского вагона / журнал «Полет». М.: МАШИНОСТРОЕНИЕ, 2001. С.62—64.
5. Жаров А.А. Разработка испарительной водо-воздушной системы кондиционирования для железнодорожного транспорта, автореферат. М: МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА, 2006. 16с.