

УДК 697.94; 628.84

## Гибридная испарительно-компрессионная установка кондиционирования воздуха

Канд. техн. наук А. Л. ЕМЕЛЬЯНОВ, К. М. ГОРБАТОВ

emelianovt@mail.ru

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО

Институт холода и биотехнологий

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Канд. техн. наук С. А. ГАРАНОВ

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта

107996, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., 10

**Рассматривается система кондиционирования воздуха (СКВ), с комбинированным компрессионным и испарительным методами охлаждения в условиях ограниченного энергопотребления. Компрессионный блок состоит из ПКХМ с использованием вспомогательного потока воздуха от испарительного агрегата (БИО) для охлаждения конденсатора, что позволяет снизить температуру конденсации и тем самым увеличить энергоэффективность холодильного цикла. БИО представляет собой теплообменник с приточным вентилятором и насосом. В теплообменнике реализуется косвенно-испарительный цикл со вспомогательным потоком. Оба блока работают параллельно и подают охлажденный воздух в объект кондиционирования воздуха, причем БИО работает на 100%-м свежем воздухе, а ПКХМ на 100% рециркуляции. В статье представлены принципиальная гидравлическая схема установки и результаты испытаний по производительности по холоду, расходу воздуха и потребляемой мощности.**

**Ключевые слова:** кондиционирование, испарительное охлаждение, комбинированная система кондиционирования, энергоэффективность.

### Hybrid evaporation-compression air conditioning system

Ph. D. A. L. EMELYANOV, K. M. GORBATOV

emelianovt@mail.ru

University ITMO

Institute of Refrigeration and Biotechnologies

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Ph. D. S. A. GARANOV

Railway Research Institute

Russia, Moscow, 107996, 3rd Mytischinskaya St., 10

**An air conditioning system (ACS) is discussed where combined compression and evaporative cooling techniques are employed under limited power consumption conditions. Its compressor consists of a vapour-compression refrigeration component (VCR) using an auxiliary airflow from the evaporative unit (EU) to cool the condenser, thus reducing the condensation temperature and thereby increasing energy efficiency of the refrigeration cycle. EU is a heat exchanger with a blower and a pump. The heat exchanger carries out the indirect evaporation cycle with an auxiliary flow. Both units operate concurrently feeding cooled air to the space to be conditioned, the EU functioning on 100% fresh air, and the VCR on 100% recirculation. The article presents a schematic hydraulic circuit diagram of the system and the results of performance tests in terms of its cooling effect, air flow rate and power consumption.**

**Keywords:** air conditioning, evaporative cooling, combined conditioning system, energy efficiency.

Для систем кондиционирования воздуха (СКВ) транспортных объектов зачастую ограничены возможности по величине допустимой к использованию мощности. Например, в парке пассажирских вагонов ФПК РЖД имеется около 13 тыс. (из общего числа 25 тыс.) устаревших вагонов [1], в которых подвагонный генератор имеет мощность 8 кВт и номинальное значение выходного напряжения 48 В постоянного тока. Модернизация таких вагонов проходит без замены электрооборудования, но с требованием по установке СКВ. С учетом прочих потребностей вагона на долю СКВ может быть выделено до 4 кВт мощности генератора.

При традиционном использовании ПКХМ с холодильным коэффициентом до 2–2,5, кондиционер позволит обеспечить производительность СКВ по холоду не более (8–10) кВт. В то же время, технические требования к СКВ модернизируемых вагонов [2] устанавливают для малых СКВ производительность по холоду не менее 12 кВт при потреблении энергии в 4 кВт, для средних — 18 кВт при потреблении 8 кВт. Такие системы могут быть созданы только с использованием испарительного способа охлаждения [3].

В ЗАО «Петроклима» (Санкт-Петербург) была разработана гибридная установка кондиционирования воздуха УВК ЖТ-14.0, совмещающая 2 способа охлаждения воздуха: компрессионный и испарительный (рис. 1). Каждый способ охлаждения имеет свои достоинства и недостатки. Охлаждение воздуха с ПКХМ отличается своей надежностью и высокой степенью изученности в плане термодинамических процессов и конструкторских решений, однако при этом требуется достаточно большой расход энергии. В то же время,



Рис. 1. Общий вид гибридной установки УВК ЖТ-14,0

испарительный метод охлаждения, как было показано в работе [4], экологичен, безопасен, использует 100% свежего воздуха, потребляет мало электроэнергии, при высокой температуре и низкой влажности отличается высоким холодильным коэффициентом. Главным недостатком испарительного способа, как уже отмечалось в работе [4], является резкое снижение эффективности в регионах с высокой влажностью: при температуре меньше 30–35 °С и влажности около 60–80%. Совмещение этих двух способов позволяет добиться значительного повышения холодопроизводительности при малом увеличении потребляемой мощности.

В установке использован блок испарительного охлаждения (БИО7) производства «Элсокс» (г. Пермь) [5, 6] и холодильная машина вентиляционно-климатической установки УВК ЖТ-8,0 производства ЗАО «Петроклима» [7]. Принципиальная схема УВК ЖТ-14.0 показана на рис. 2. В испарительном блоке БИО7 реализуется косвенно-испарительный способ охлаждения, который заключается в том, что прямой поток воздуха поступает в сухие каналы и охлаждается,

затем делится на два потока: основной и вспомогательный. Основной поток направляется в объект кондиционирования, а вспомогательный разворачивается и противотоком двигается по влажным каналам, повышает влагосодержание и охлаждает общий прямой поток воздуха. Расчеты показывают, что при такой схеме движения воздушных потоков возможно охлаждение воздуха до температуры точки росы, то есть для воздуха с параметрами на входе 40 °С и 20% влажности возможно охлаждение до 12,5 °С.

Совместная работа блока БИО7 и ПКХМ предусматривает, что испарительный блок подает в вагон 100% свежего воздуха, а компрессионный блок ПКХМ использует 100% рециркуляции. Часть охлажденного испарительным блоком воздушного потока направляется на конденсатор, что позволяет снизить температуру воздуха, подаваемого на конденсатор ПКХМ, с 40 °С до 31–36 °С.

Комплексные испытания гибридной установки проводились на испытательном стенде НТЦ «Завод «Ленинец» с использованием навесных элементов для имитации работы установки в составе вагона по нагрузке, влажности и температуре входящего воздуха.

Измеряемые параметры:

$t_{вх.п.}$  — температура воздуха, подаваемого на испаритель ПКХМ, °С;

$t_{кд.п.}$  — температура воздуха, подаваемого на охлаждение конденсатора ПКХМ, °С;

$t_{вх.и.}$  — температура воздуха, подаваемого в БИО7, °С;

$\varphi_{вх.и.}$  — относительная влажность воздуха, подаваемого в БИО7, %.

Испытания осуществлялись в двух режимах (таблица). Общее количество приточного воздуха, подаваемое УВК ЖТ-14.0, составило 3294 м<sup>3</sup>/ч, в том числе подаваемого испарительным аппаратом БИО7 наружного воздуха  $L_{пр.и} = 1168$  м<sup>3</sup>/ч и рециркуляционного воздуха от ПКХМ  $L_{пр.п} = 2126$  м<sup>3</sup>/ч. Количество поступающего

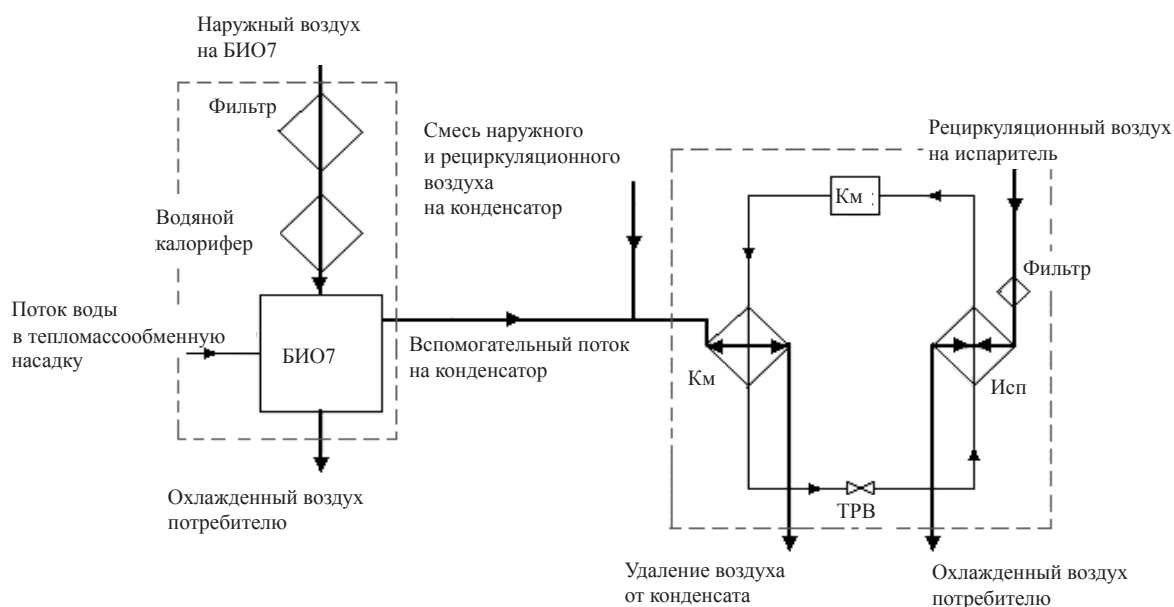


Рис. 2. Принципиальная схема гибридной установки УВК ЖТ-14.0: Км — компрессор; Кд — конденсатор; ТРВ — терморегулирующий вентиль; Исп — испаритель

### Результаты первичных измерений параметров воздуха

Точка измерения		Температура воздуха, °С		Влажность воздуха, %		Энтальпия, кДж/кг	
<i>В первом режиме</i>							
1	На входе БИО7	$t_{\text{вх. и}}$	41,1	$\varphi_{\text{вх. и}}$	19,6	$I_{\text{вх. и}}$	66,1
2	На выходе БИО7	$t_{\text{вых. и}}$	25,5	$\varphi_{\text{вых. и}}$	45,0	$I_{\text{вых. и}}$	50,0
4	На входе ПКХМ	$t_{\text{вх. п}}$	28,0	$\varphi_{\text{вх. п}}$	38,5	$I_{\text{вх. п}}$	52,5
5	На выходе ПКХМ	$t_{\text{вых. п}}$	16,5	$\varphi_{\text{вых. п}}$	85,2	$I_{\text{вых. п}}$	40,5
6	На конденсатор ПКХМ	$t_{\text{кл. п}}$	37,7	$\varphi_{\text{кл. п}}$	24,0	—	
<i>Во втором режиме</i>							
7	На входе БИО7	$t_{\text{вх. и}}$	32,4	$\varphi_{\text{вх. и}}$	59,0	$I_{\text{вх. и}}$	78,0
8	На выходе БИО7	$t_{\text{вых. и}}$	26,5	$\varphi_{\text{вых. и}}$	83,2	$I_{\text{вых. и}}$	72,0
9	На входе ПКХМ	$t_{\text{вх. п}}$	28,1	$\varphi_{\text{вх. п}}$	62,4	$I_{\text{вх. п}}$	66,2
10	На выходе ПКХМ	$t_{\text{вых. п}}$	22,9	$\varphi_{\text{вых. п}}$	71,0	$I_{\text{вых. п}}$	54,5
11	На конденсатор ПКХМ	$t_{\text{кл. п}}$	30,2	$\varphi_{\text{кл. п}}$	66,5	—	

на конденсатор ПКХМ воздуха составило 2160 м<sup>3</sup>/ч, в том числе от испарительного агрегата 520 м<sup>3</sup>/ч, наружного и рециркуляционного воздуха 1640 м<sup>3</sup>/ч.

Обработка результатов испытаний показала:

— в первом режиме холодопроизводительность БИО7  $Q_{\text{хол. и}} = 6,2$  кВт, ПКХМ —  $Q_{\text{хол. п}} = 8,5$  кВт, суммарная холодопроизводительность  $Q_{\Sigma} = 14,7$  кВт;

— во втором режиме холодопроизводительность БИО7  $Q_{\text{хол. и}} = 2,3$  кВт, производительность ПКХМ  $Q_{\text{хол. п}} = 8,3$  кВт, суммарная производительность  $Q_{\Sigma} = 10,6$  кВт.

Максимальная потребляемая мощность УВК ЖТ-14.0 составила в режиме «Охлаждение» — 4,18 кВт, в режиме «Вентиляция» — 1,07 кВт, потребление воды — 9 л/час.

Холодопроизводительность вентиляционно-климатической установки УВК ЖТ-14.0 и максимальная потребляемая ею мощность соответствуют требованиям для «малых» СКВ в соответствии с [2]. Система кондиционирования воздуха с этой установкой позволяет обеспечить параметры микроклимата в вагоне на уровне допустимых. Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности использования УВК ЖТ-14.0 в системах кондиционирования при существенном дефиците электроэнергии. Установка проходит дорожные испытания в составе пассажирского вагона.

Авторы благодарят инженеров Царя В. В., Марченко А. С. и Маркмана М. Д. за активную поддержку данной работы.

### Список литературы

1. Емельянов А. Д., Корнев Ю. В. Анализ существующего положения в вагонном парке и потребности отрасли в вагонах с кондиционированием. Сборник докладов научно-практического семинара «Системы вентиляции, кондиционирования и отопления в пассажирских вагонах». — СПб ГУНиПТ, 2001.
2. Единые технические требования на перспективную систему кондиционирования воздуха для модернизируемых пассажирских вагонов. ОАО «РЖД», Москва 2009, с. 13., утверждены М. П. Акуловым 25.12.2009 г.
3. Кокорин О. Я. Повышение эффективности многоступенчатого испарительного охлаждения воздуха. // Холодильная техника. 1996. №2.
4. Емельянов А. Л., Антипов А. С., Буравой С. Е. и др. Транспортная комбинированная испарительно-компрессионная система кондиционирования воздуха // Холодильная техника и кондиционирование. 2007. №1.
5. Пат. 2329436 РФ, МКИ<sup>6</sup> F 24 F 3/14. Устройство косвенно-испарительного охлаждения.
6. Маркман М. Д., Назарцев А. А. Особенности разработки и оснащения КСКВ (испарительные блоки + термоэлектрические доводчики, распределенные по купе) пассажирских вагонов повышенной комфортности. Сборник докладов научно-практического семинара «Системы вентиляции, кондиционирования и отопления в пассажирских вагонах». — СПб ГУНиПТ, 2001.
7. Сайт ЗАО «Петроклима». Режим доступа <http://petroclima.ru/01.07.2013>.
8. Емельянов А. Л., Платунов Е. С., Козин А. В. Испарительно-рекуперативные системы кондиционирования // Вестник Международной академии холода. 2010. №1. С. 5–8.

## References

1. Emel'janov A. D., Kornev Ju. V. Sbornik dokladov nauchno-prakticheskogo seminaru «Sistemy ventiljacji, kondicionirovanija i otoplenija v passazhirskih vagonah». — Spb GUNiPT, 2001.
2. Edinye tehnicheckie trebovanija na perspektivnuju sistemu kondicionirovanija vozduha dlja moderniziruemyh passazhirskih vagonov. OAO «RZhD», Moskva 2009.
3. Kokorin O. Ja. *Holodil'naja tehnika*. 1996. №2.
4. Emel'janov A. L., Antipov A. S., Buravoj S. E. i dr. *Holodil'naja tehnika i kondicionirovanie*. 2007. №1.
5. Pat. 2329436 RF, MKI6 F 24 F 3/14. Ustrojstvo kosvenno-isparitel'nogo ohlazhdenija.
6. Markman M. D., Nazarcev A. A. Sbornik dokladov nauchno-prakticheskogo seminaru «Sistemy ventiljacji, kondicionirovanija i otoplenija v passazhirskih vagonah». — Spb GUNiPT, 2001.
7. ZAO «Petroklima». <http://petroclima.ru/01.07.2013>.
8. Emel'janov A. L., Platunov E. S., Kozin A. V. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. 2010. No 1. pp. 5–8.

## Памяти Бориса Николаевича Семенова



4 ноября 2013 г. не стало доктора технических наук, профессора Калининградского государственного технического университета Бориса Николаевича Семенова — создателя уникальной научной школы по криогенной технологии гидробионтов, достижения которой известны в нашей стране и за рубежом.

После окончания в 1960 г. Ленинградского технологического института холодильной промышленности Б. Н. Семенов поступил в Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО), прошел путь от младшего научного сотрудника до заведующего лабораторией холодильной обработки рыбы, которую возглавлял в течение 22 лет. В этот период, совместно с сотрудниками лаборатории, им разработаны пионерские технологии замораживания тунца с применением жидкого азота, что в 3–4 раза увеличило сроки хранения этих важных объектов океанического промысла.

При активном участии Бориса Николаевича, совместно с Харьковским институтом криобиологии и криомедицины и Ленинградским заводом «Арсенал», были разработаны проекты переоборудования судов под криогенный морозильный комплекс. Борис Николаевич внес существенный вклад в теорию сублимированной сушки рыбных

продуктов с эффектом криозахвата и получения биологически активных веществ из отходов от промышленной переработки рыб и головоногих моллюсков.

После защиты докторской диссертации Б. Н. Семенов перешел на преподавательскую работу по кафедре технологии продуктов питания в Калининградском государственном техническом университете (КГТУ). За время работы в университете им осуществлялась подготовка высококвалифицированных специалистов для рыбной и пищевой промышленности Северо-Западного региона России и сопредельных стран. Борис Николаевич был руководителем магистерской программы «Холодильная технология пищевых продуктов», участвовал в разработке всех ее лекционных курсов. Под руководством Б. Н. Семенова успешно защищены 7 кандидатских и одна докторская диссертации.

Мировому научному сообществу известны многочисленные научные труды и учебные издания профессора Б. Н. Семенова: более 200 статей в российских и зарубежных журналах, 12 монографий, 25 авторских свидетельств и патентов.

С 1995 г. Б. Н. Семенов — академик, затем почетный академик Международной академии холода (МАХ). Широко известна его кипучая и многогранная деятельность по созданию Калининградского отделения МАХ, которое он возглавлял более 9 лет.

За заслуги по развитию рыбной отрасли профессор Б. Н. Семенов награжден нагрудным знаком «Почетный работник рыбного хозяйства России», удостоен звания «Заслуженный работник рыбного хозяйства РФ».

Безграничная преданность избранной профессии, высокий профессионализм, незаурядные способности организатора — отличительные черты профессора Б. Н. Семенова, которые навсегда останутся в памяти его коллег и учеников.

*Президиум Международной академии холода,  
редколлегия журнала «Вестник Международной академии холода»*

