

УДК 621.57

Способы регулирования производительности установок кондиционирования воздуха с режимом теплового насоса

К.В. Протопопов¹, И.П. Жиребный¹, С.А. Гаранов²

¹ ЗАО «ЛАНТЕП», 119146, Москва, Российская Федерация, Варшавское ш., д. 132.

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Efficiency control methods for air conditioning systems with heat pumps

K.V. Protopopov¹, I.P. Zhirebnyy¹, S.A. Garanov²

¹ CJSC «LANTEP», Varshavskoe highway, 132, 119146, Moscow, Russian Federation.

² Bauman Moscow State Technical University, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation.



e-mail: kuzma.polonsky@yandex.ru, xiopen@gmail.com, garanov-sergey@yandex.ru



Учитывая широкий диапазон изменений требуемой тепловой мощности систем кондиционирования воздуха с режимом теплового насоса в зависимости от температуры наружного воздуха, при проектировании данных систем одним из самых важных вопросов является выбор оптимального способа регулирования производительности. Рассмотрены различные способы регулирования производительности систем кондиционирования воздуха с теплонасосным отоплением. Проанализирована возможность применения «цифровых» спиральных компрессоров для регулирования холодо- и теплопроизводительности климатических установок. Описаны преимущества использования зеотропного хладагента в установках кондиционирования воздуха. Приведен перспективный метод изменения производительности установок на зеотропном хладагенте с помощью изменения состава смеси. По результатам исследования выявлены самые перспективные способы регулирования производительности климатических установок в условиях их применения на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: тепловой насос, зеотропный смесевой хладагент, теплопроизводительность, состав смеси.



The design of air conditioning systems with heat pumps requires optimal control of their heating efficiency taking into account the dependence of the required thermal capacity on the outside air temperature. Various efficiency control methods for air conditioning systems with heat pumps are considered. The possibility of using digital scroll compressors for regulating the cooling and heating efficiency of air conditioning systems is analyzed. The advantages of using zeotropic refrigerants in air conditioning units are described. A promising method for improving the efficiency of units with zeotropic refrigerants by changing the composition of the mixture is presented. The study revealed the most promising methods for the efficiency control of air conditioning systems under railway transport conditions.

Keywords: heat pump, zeotropic refrigerant, heating efficiency, composition of a mixture.

В настоящее время все новые электропоезда и пассажирские вагоны, в соответствии с требованиями Санитарных правил, оснащаются установками кондиционирования воздуха (УКВ). При этом, наряду с повышением комфорта проезда пассажиров, значительно увеличивается эксплуатационный расход электроэнергии, потребляемой УКВ по обеспечению требуемых параметров микроклимата.

Проектирование УКВ для эксплуатации в климатических условиях России должно предусматривать возможность их использования в режиме теплового насоса [1], так как среднегодовое количество электроэнергии, затрачиваемое на отопление пассажирских вагонов, в 8–10 раз больше, чем расходуемое в режиме охлаждения в летний период.

Основным типом систем кондиционирования воздуха (СКВ) с опцией теплового насоса следует рассматривать парокompрессионные установки, использующие наружный воздух в качестве источника низкопотенциальной теплоты, так как они наиболее технологически отработаны, имеют компактные размеры, доступные комплектующие, необходимые для изготовления, большой опыт эксплуатации на железнодорожном транспорте и не требуют серьезных доработок для внедрения теплонасосного отопления.

Цель работы — анализ различных способов регулирования тепло- и холодопроизводительности существующих и перспективных парокompрессионных СКВ с теплонасосным отоплением, которые уже используются или имеют перспективы применения.

Тепловой насос должен работать в широком диапазоне температур окружающей среды. Кроме того тепло- и холодопроизводительность УКВ с режимом теплового насоса должна соответствовать изменяющимся нагрузкам, которые зависят от температуры окружающей среды и заполненности вагона.

Традиционно на железнодорожном транспорте для регулирования производительности СКВ используются три основных метода:

- 1) циклический режим работы компрессора;
- 2) инверторное изменение частоты вращения компрессора;
- 3) изменение рабочего объема сжатия компрессора.

Циклический режим работы компрессора (включение-выключение) прост в реализации, но имеет существенный недостаток — плохое качество поддержание температуры и малую энергоэффективность, обусловленную высоким

потреблением электроэнергии при пуске компрессора.

Инверторное изменение частоты вращения компрессора широко распространено в отечественных железнодорожных СКВ и осуществляется за счет изменения частоты питающего напряжения по закону $U/f = \text{const}$ (U — фазное напряжение, В; f — частота напряжения, Гц). Инверторное управление позволяет плавно изменять производительность СКВ в диапазоне частот 40...90 Гц для спиральных компрессоров и 20...70 Гц для малых винтовых компрессоров. Для режима охлаждения воздуха спиральными компрессорами диапазон регулирования производительности должен составлять 25...100 %, что обуславливает (в целях расширения диапазона регулирования) дополнительное применение метода байпасирования горячих паров с нагнетанием хладагента на вход в испаритель. Преимуществами данного способа регулирования является хорошее поддержание параметров микроклимата внутри вагона, а также энергетическая эффективность [2] и отсутствие повышенных значений пусковых токов компрессора. Однако инверторное управление имеет также недостатки: более высокая стоимость (из-за необходимости установки дорогостоящего статического преобразователя), возникновение электромагнитных помех в случае интегрирования в корпус кондиционера системы регулирования частоты: в малых винтовых компрессорах [3] также наблюдается отклонение окружной скорости от оптимального значения, особенно при низких частотах, при этом из-за увеличения относительных протечек снижаются как объемные (коэффициент подачи), так и энергетические (индикаторный КПД) характеристики компрессора.

Изменение рабочего объема сжатия применяется в поршневых компрессорах путем парного разгрузки цилиндров через отжатие нагнетательных клапанов (это приводит к отсутствию процесса сжатия внутри полости цилиндра) [4] за счет чего уменьшается объемная производительность компрессора. Однако данный способ регулирования для поршневых компрессоров позволяет изменить производительность только ступенчато.

Один из вариантов изменения производительности компрессора применен в конструкции «цифровой» спирального компрессора. «Цифровой» спиральный компрессор [5] оснащен механизмом, который работает с помощью быстрого соединения и разъединения неподвижной и подвижной спирали (с периодически-

стью цикла меньше 30 с). Период цикла состоит из состояния «под нагрузкой» и состояния «без нагрузки».

Регулирование производительности «цифрового» спирального компрессора осуществляется путем разделения в осевом направлении двух спиралей. Данный способ, называемый осевым соответствием, позволяет поднять неподвижную спираль, что приводит к остановке сжатия и обнулению массового расхода на нагнетании. В действительности, при включении электромагнитного вентиля, имея обратное давление в полости, возможно создать разрежение в управляющей полости компрессора, которая находится под высоким давлением и соединена со всасывающим патрубком компрессора, находящимся под низким давлением. Это регулирует разницу давлений с обоих концов управляющего поршня (рис. 1), соединенного с подвижной спиралью, и дает возможность неподвижной спирали перемещаться в вертикальном направлении и отсоединяться от подвижной спирали от неподвижной.

В состоянии «без нагрузки» газ между двумя спиралью приводит в движение с помощью подвижной спирали, однако без какого-либо сжатия. При такой работе энергопотребление компрессора составляет примерно 10 % номинальной потребляемой мощности. Во время фазы сжатия (состояние «под нагрузкой») электромагнитный вентиль обесточен, из-за этого размыкается соединение между управляющей полостью и всасыванием компрессора. Перетекание пара под высоким давлением из полости нагнетания через отверстие для подачи пара 3 приводит к быстрому росту давления в управляющей полости (см. рис. 1). Таким образом управляющий поршень под воздействием сил возвращается в свое «естественное положение». Спиральи соединяются и, следовательно, систе-

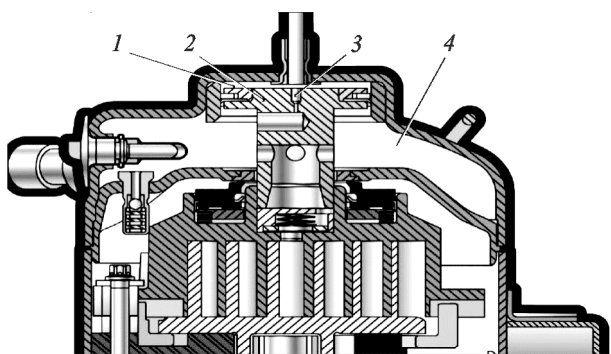


Рис. 1. Устройство «цифрового» компрессора:
1 — управляющая полость; 2 — управляющий поршень;
3 — отверстие для подачи пара; 4 — полость нагнетания

ма обеспечивает максимальную тепловую производительность.

По сравнению с системами с инверторным управлением «цифровые» компрессора имеют следующие преимущества:

1) широкий диапазон регулирования производительности — 10...100 % номинальной производительности;

2) отсутствие проблемы с возвратом масла в компрессор [6], поскольку ему не нужен маслоотделитель или алгоритмический цикл возврата масла, так как, во-первых, масло покидает компрессор только во время нагруженного цикла, но при низкой производительности очень малое количество масла уходит из компрессора; во-вторых, скорость газа в нагруженном цикле достаточна для возврата масла в компрессор;

3) отсутствие электромагнитных помех. «Цифровой» компрессор генерирует пренебрежительно малое количество электромагнитных помех, поскольку нагрузка и разгрузка спиралей является механической операцией;

4) высокая надежность. Однако электроника систем с инверторным управлением имеет сложную конструкцию, поэтому неточная установка и экстремальные погодные условия могут отрицательно повлиять на ее надежность.

Еще одним способом регулирования теплопроизводительности УКВ с режимом теплового насоса является изменение состава хладагента. Основное преимущество применения зеотропных смесей — во время процесса их кипения наблюдается температурный глайд (разница температур между насыщенной жидкостью и насыщенным паром при постоянном давлении). При использовании противоточных испарителей температурный глайд позволяет работать при более высоком давлении кипения без ущерба температурному напору между воздухом и хладагентом. Повышение давления кипения увеличивает теплопроизводительность системы, ее энергоэффективность [7] и позволяет использовать компрессора с более малым типоразмером.

Изменяя состав смеси путем полного или частичного удаления одного или нескольких компонентов из состава циркулирующего хладагента, можно регулировать давление на всасывании компрессора [8]. При увеличении/ уменьшении давления на всасывании компрессора растет/падает массовый расход хладагента, а теплопроизводительность УКВ пропорциональна массовому расходу хладагента, следовательно, регулируя состав смеси [9], можно изменять

теплопроизводительность УКВ. Использование метода изменения состава смеси для регулирования мощности лучше всего подходит только для ограниченного диапазона регулирования от 50 до 100 %. Поскольку скорость компрессора остается неизменной, мощность, необходимая только для работы компрессора (трение, масляный насос и другие), является постоянной величиной. Таким образом, при низкой производительности доля потерь работы увеличивается по отношению к работе сжатия хладагента и уменьшается общая эффективность системы. Ниже приведены некоторые варианты циклов с изменяемым составом смеси.

Одноаккумуляторный цикл. T.L. Etherington разработал цикл с изменяемой производительностью, использующий аккумулятор со специальным молекулярным ситом, которое селективно реагирует на определенный хладагент. По сравнению с обычными холодильным циклом с четырьмя основными компонентами (испаритель, конденсатор, компрессор и расширительное устройство) одноаккумуляторный цикл имеет дополнительный аккумулятор (рис. 2).

Аккумулятор установлен между стороной высокого и низкого давления и связан с каждой стороной: со стороны высокого давления — перед расширительным устройством, со стороны низкого давления — на всасывании компрессора после выхода из испарителя. По обе стороны аккумулятор можно отключить с помощью клапанов 5 и 7. Etherington предложил использовать молекулярное сито, которое поглощает только хладагент R22 в аккумуляторе, когда цикл заправляется бинарной смесью, состоящей из двух компонентов — R12 (высоко-

кипящий компонент) и R22 (низкокипящий компонент). Нормальные температуры кипения низкокипящего и высококипящего компонентов составляют $-40,8$ и $-29,8$ °С соответственно. При этом низкокипящий компонент имеет большую скрытую теплоту парообразования, чем высококипящий. Скрытая теплота парообразования низкокипящего и высококипящего компонентов соответственно равна 148 и 196 кДж/(кг·К), при температуре насыщения 10 °С. Таким образом, смесь, насыщенная низкокипящим компонентом, работает при более высоких рабочих давлениях и обеспечивает большую производительность. Когда производительность системы выше, чем нагрузка, существует потребность в снижении мощности, тогда клапан 5 открывается, а клапан 7 закрывается. Низкокипящий компонент селективно поглощается молекулярным ситом. В этом случае массовая доля низкокипящего компонента в циркулирующей смеси становится ниже, чем массовая доля в первоначальной заправке и мощность системы уменьшается вследствие увеличения содержания высококипящего компонента. Когда производительность системы меньше чем нагрузка, необходимо восстановить производительность системы. Для этого клапан 5 закрывается и клапан 7 открывается. Электрический нагреватель помогает освободить низкокипящий компонент, поглощенный молекулярным ситом. В этом случае массовая доля низкокипящего компонента в циркулирующей смеси становится такой же, как в первоначальной заправке и восстанавливается производительность системы.

Аналогичный эффект может быть достигнут с одним аккумулятором, расположенным только на выходе из испарителя. Каждый раз, когда двухфазная смесь выходит из испарителя, жидкая фаза остается в аккумуляторе, в то время как пар продолжает циркулировать через систему. Эта жидкая фаза насыщена высококипящим компонентом А и в составе циркулирующей смеси увеличивается содержание низкокипящего компонента В за счет чего производительность системы повышается. В кондиционеры, которые могут работать как тепловые насосы, обычно устанавливается аккумулятор на всасывании компрессора для хранения избыточной заправки в теплонасосном режиме. Этот аккумулятор обеспечивает изменение состава циркулирующей смеси.

Двухаккумуляторный цикл. В одноаккумуляторном цикле для управления составом смеси используется избирательное молекулярное

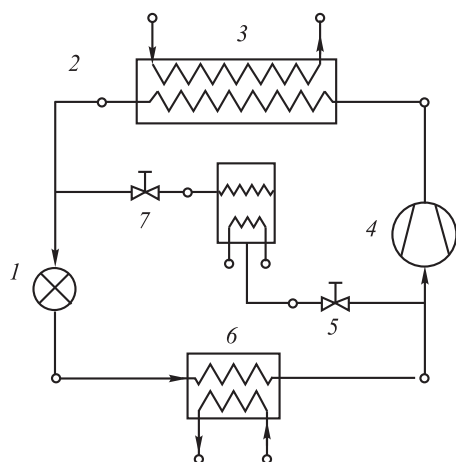


Рис. 2. Схема одноаккумуляторного цикла:
1 — расширительный клапан; 2 — ресивер;
3 — конденсатор; 4 — компрессор; 5 — клапан D;
6 — испаритель; 7 — клапан C

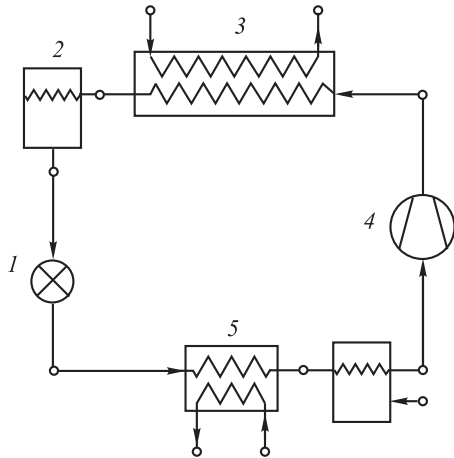


Рис. 3. Схема двухаккумуляторного цикла:
1 — расширительный клапан; 2 — ресивер;
3 — конденсатор; 4 — компрессор; 5 — испаритель

сито. Приведенный цикл основан на разнице между точками температуры кипения компонентов смеси. По сравнению с одноаккумуляторным циклом двухаккумуляторный цикл, предложенный Н.В. Vakil и J.W. Flock, имеет дополнительный аккумулятор (рис. 3). Один аккумулятор установлен на стороне высокого давления после конденсатора, а другой — на стороне низкого давления после испарителя. Предположим, что бинарная эотропная смесь из низкокипящего компонента *A* и высококипящего компонента *B* с массовой долей *x* направлена в цикл.

Если аккумулятор высокого давления (ресивер) заполнен жидкой смесью, а аккумулятор низкого давления пуст, то массовая доля жидкости в аккумуляторе высокого давления такая же, как в первоначальной заправке. Если аккумулятор высокого давления пуст, аккумулятор низкого давления заполнен жидкой смесью и хранит смесь, обогащенную компонентом *B*, поскольку большая часть компонента *A* уже выкипела в испарителе. Таким образом аккумуля-

лятор низкого давления подает смесь, насыщенную компонентом *A* в компрессор, что уменьшает степень перегрева. Зависимости плотности насыщенного пара и скрытой теплоты конденсации для бинарной смеси R22 (низкокипящего компонента) и R114 (высококипящего компонента) от температуры показаны на рис. 4 и 5.

Температура кипения низкокипящего и высококипящего компонентов соответственно равны $-40,8$ и $3,8$ °С.

Цикл с ректификатором. Для повышения возможности изменения состава смеси Н.О.H. Schwind предложил цикл с ректификатором, схема которого представлена на рис. 6. В этом цикле ректификатор установлен между конденсатором и расширительным устройством. Выход из конденсатора соединен с промежуточным сосудом, который соединяем с субконденсатором 2, ректификатором 1 и теплообменником ректификатора. Трехходовой клапан устанавливается до расширительного устройства и соединяется напрямую с ректификатором и теплообменником ректификатора 1. При нормальной работе трехходовой клапан соединен с выходом теплообменника ректификатора и со входом расширительного клапана. В этом случае промежуточный сосуд 7 подает жидкий хладагент из конденсатора в ректификатор. Жидкий хладагент из ректификатора поступает в расширительное устройство.

В течение этого процесса состав смеси в ректификаторе и циркулирующей по контуру одинаков. Если необходима большая производительность системы, меняется направление трехходового клапана и включается электронагреватель. Хладагент из промежуточного сосуда 7 поступает на вход расширительного клапана. Низкокипящий хладагент переходит в пар и подается в субконденсатор, где он конденсируется. Сконденсированный низкокипящий

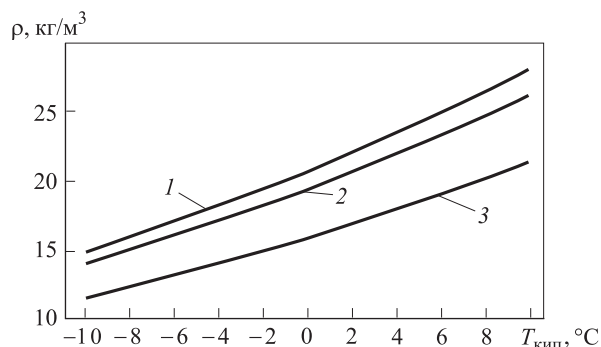


Рис. 4. Плотность насыщенного пара для бинарной смеси R22/ R114:
1 — 80/20 %; 2 — 50/50 %; 3 — 20/80 %

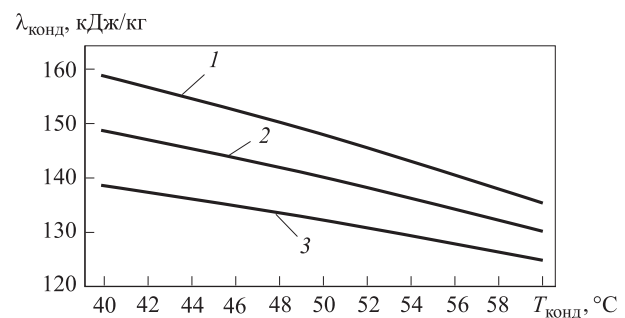


Рис. 5. Скрытая теплота конденсации для бинарной смеси R22/ R114:
1 — 80/20 %; 2 — 50/50 %; 3 — 20/80 %

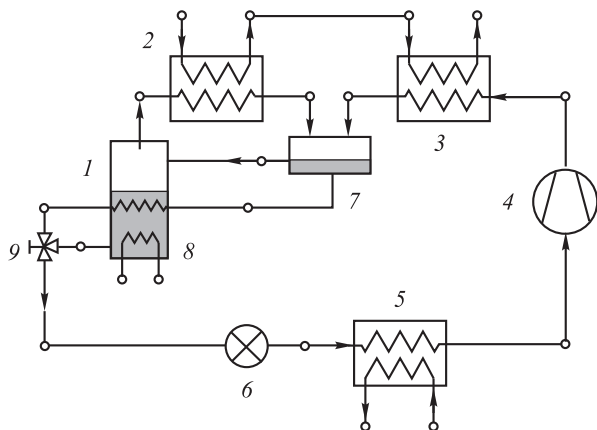


Рис. 6. Схема цикла с ректификатором:

- 1 — ректификатор; 2 — субконденсатор; 3 — конденсатор;
 4 — компрессор; 5 — испаритель; 6 — расширительный
 клапан; 7 — промежуточный сосуд; 8 — нагреватель;
 9 — трехходовой клапан

хладагент попадает в промежуточный сосуд и смешивается с циркулирующим хладагентом. Благодаря этому процессу массовая доля низкипящего хладагента в циркулирующей смеси растет за счет чего повышается производительность системы. R. Jakobs и H. Kruse проверяли возможности этого цикла с бинарной смесью R12/R114 (60/40 %). Изменяя циркулирующую массовую долю R12 с 50 до 90%, они достигали 30%-ной тепловой мощности.

В связи с ратификацией Россией Монреальского протокола о прекращении потребления

веществ, разрушающих озоновый слой (1987) и Киотского протокола к «Рамочной конвенции ООН об изменении климата» (1992) новые зеотропные смеси, которые будут использоваться в СКВ с теплонасосным отоплением, должны состоять только из озонобезопасных хладагентов с нулевым ODP и малым числом GWP [10].

Выводы

1. Такие перспективные способы регулирования производительности систем вентиляции и кондиционирования воздуха с теплонасосным отоплением, как изменение состава зеотропного смесового хладагента и применение «цифрового» спирального компрессора в ближайшем будущем могут найти широкое применение в СКВ для железнодорожного транспорта.

2. Одним из главных преимуществ рассмотренных способов регулирования производительности является удешевление всей СКВ за счет отказа от дорогостоящего статического преобразователя.

3. Одними из основных критериев подбора компонентов для новых зеотропных смесей, состав которых будет изменяться для регулирования производительности СКВ, помимо глубины регулирования и термодинамической эффективности, должны стать полная озонобезопасность (ODP = 0) и малое число GWP.

Литература

- [1] Жариков В.А. *Климатические системы пассажирских вагонов*. Москва, ТРАНСИНФО, 2006. 135 с.
- [2] Mauro Bonfanti, Камзолов С.М. Инверторная технология – технология будущего для холодильной техники. *Холодильная техника*, 2013, № 3, с. 40–48.
- [3] Ануфриев А.В., Пекарев В.И. Влияние способа регулирования производительности и внешних условий на эффективность винтового компрессора. *Научный журнал НИУ ИТМО. Сер. Холодильная техника и кондиционирование*, 2008, № 1. URL: http://refrigeration.ihbt.ifmo.ru/ru/article/7702/vliyanie_sposoba_regulirovaniya_proizvoditelnosti_i_vneshnih_usloviy_na_effektivnost_vintovogo_kompressora.htm (дата обращения 23 июня 2014).
- [4] Корнивец Д.В. CRII – Новая ступень развития механического регулирования производительности поршневых компрессоров Битцер. *Холодильная техника*, 2014, № 1, с. 10–17.
- [5] *Digital Scroll. Konstruktsiia i primenenie. Emerson Climate Technologies (2010)*. URL: <http://www.c-o-k.ru/images/library/23587.pdf> (дата обращения 23 июня 2014).
- [6] Gabriele Corti, Stefano Marelli. *Experimental analysis of an air-to-air heat pump equipped with digital scroll compressor and evaluation of the pulsing flow influence on the refrigerant/air side and on the overall performances*. Master of Science in Energy Engineering, 2012. 158 p.
- [7] Мезенцева Н.Н. Смесевые незеотропные хладагенты в парокompрессионных тепловых насосах. *XVII Междунар. науч.-практ. конф. Современная техника и технологии, секция 10: Теплоэнергетика*, 2011, с. 225–226.

- [8] Reinhard Radermacher, Yunho Hwang. *Vapor Compression Heat Pumps with refrigerant mixtures*. Taylor and Francis Group, LLC, 2005. 328 p.
- [9] Zhang L. Research on capacity modulation mechanisms of variable composition heat pump. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1030–1032, pp. 579–582. URL: <http://www.scientific.net/AMR.1030-1032.579>, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1030-1032.579 (дата обращения 15 августа 2014).
- [10] Калнинь И.М., Пустовалов С.Б., Савицкий А.И. Основные результаты научно-исследовательских работ и опытно-конструкторских работ по созданию тепловых насосов на R744. *Известия Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий*, 2008, № 1, с. 37–40.

References

- [1] Zharikov V.A. *Klimaticheskie sistemy passazhirskikh vagonov* [Climate systems of passenger cars]. Moscow, TRANSINFO publ., 2006. 135 p.
- [2] Mauro Bonfanti, Kamzolov S.M. Invertornaia tekhnologiya – tekhnologiya budushchego dlia kholodil'noi tekhniki [Inverter technology, technology of the future for refrigeration equipment]. *Kholodil'naia tekhnika* [Refrigeration]. 2013, no. 3, pp. 40–48.
- [3] Anufriev A.V., Pekarev V.I. Vliianie sposoba regulirovaniia proizvoditel'nosti i vneshnikh uslovii na effektivnost' vintovogo kompressora [Influence of a method for controlling the performance of external conditions and the efficiency of the screw compressor]. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO, Seriya «Kholodil'naia tekhnika i konditsionirovanie»* [Scientific journal NRU ITMO, Series «Refrigeration and Air Conditioning», 2008, no. 1. Available at: http://refrigeration.ihbt.ifmo.ru/ru/article/7702/vliianie_sposoba_regulirovaniya_proizvoditel'nosti_i_vneshnih_usloviy_na_effektivnost_vintovogo_kompressora.htm (accessed 23 June 2014).
- [4] Kornivets D.V. CRII – Novaia stupen' razvitiia mekhanicheskogo regulirovaniia proizvoditel'nosti porshnevnykh kompressorov Bittser [CRII – A new stage in the development of mechanical capacity control of reciprocating compressors Bitzer]. *Kholodil'naia tekhnika* [Refrigeration]. 2014, no. 1, pp. 10–17.
- [5] *Digital Scroll. Konstruktsiia i primenenie. Emerson Climate Technologies* (2010). Available at: <http://www.c-o-k.ru/images/library/23587.pdf> (accessed 23 June 2014).
- [6] Gabriele Corti, Stefano Marelli. *Experimental analysis of an air-to-air heat pump equipped with digital scroll compressor and evaluation of the pulsing flow influence on the refrigerant/air side and on the overall performances*. Master of Science in Energy Engineering, 2012. 158 p.
- [7] Mezentseva N.N. Smesevye neazeotropnye khladagenty v parokompressionnykh teplovykh nasosakh [Non-azeotropic mixed refrigerants in the vapor compression heat pumps]. *17 Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaya konferentsiia «SOVREMENNYE TEKHNIKA I TEKHNologii», seksiia 10: Teploenergetika* [17th International Scientific and Practical Conference «Modern Technology», Section 10: Thermal Engineering]. 2011, с. 225–226.
- [8] Reinhard Radermacher, Yunho Hwang. *Vapor Compression Heat Pumps with refrigerant mixtures*. Taylor and Francis Group, LLC, 2005. 328 p.
- [9] Zhang L. Research on capacity modulation mechanisms of variable composition heat pump. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1030–1032, pp. 579–582. Available at: <http://www.scientific.net/AMR.1030-1032.579> (accessed 15 August 2014). Doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.1030-1032.579.
- [10] Kalnin' I.M., Pustovalov S.B., Savitskii A.I. Osnovnye rezul'taty nauchno-issledovatel'skikh rabot i opytно-konstruktor'skikh rabot po sozdaniiu teplovykh nasosov na R744 [The main results of scientific research and development work on the creation of heat pumps for R744]. *Izvestiia Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta nizkotemperaturnykh i pishchevykh tekhnologii* [Proceedings of the St. Petersburg State University of Refrigeration and Food Technology]. 2008, no. 1, pp. 37–40.

Информация об авторах

ПРОТОПОПОВ Кузьма Валерьевич (Москва) — инженер-разработчик ЗАО «ЛАНТЕП» (119146, Москва, Российская Федерация, Варшавское ш., д. 132, e-mail: kuzma.polonsky@yandex.ru).

ЖИРЕБНЫЙ Иван Павлович (Москва) — инженер-разработчик ЗАО «ЛАНТЕП» (119146, Москва, Российская Федерация, Варшавское ш., д. 132, e-mail: xiopen@gmail.com).

ГАРАНОВ Сергей Александрович (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: garanov-sergey@yandex.ru).

Information about the authors

PROTOPOPOV Kuz'ma Valer'evich (Moscow) — Development Engineer of CJSC «LANTEP» (Varshavskoe highway, 132, 119146, Moscow, Russian Federation, e-mail: kuzma.polonsky@yandex.ru).

ZHIREBNYY Ivan Pavlovich (Moscow) — Development Engineer of CJSC «LANTEP» (Varshavskoe highway, 132, 119146, Moscow, Russian Federation, e-mail: xiopen@gmail.com).

GARANOV Sergey Aleksandrovich (Moscow) — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of «Refrigeration, Cryogenics, Air Conditioning and Life Support Systems» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: garanov-sergey@yandex.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышло в свет учебное пособие

А.Ф. Третьякова, Л.В. Тарасенко

«Материаловедение и технология обработки материалов»

Изложены физико-механические основы материаловедения, закономерности формирования строения материалов в процессе кристаллизации, пластической деформации, термической обработки. Особое внимание уделено фазовым превращениям в твердом состоянии, механизмам упрочнения. Приведены технологические способы управления строением и свойствами сплавов, основные свойства конструкционных и инструментальных материалов.

Рассмотрены процессы, протекающие при изготовлении изделий в парогазовой, жидкой, твердо-жидкой и твердой фазах. Даны рекомендации по обеспечению технологичности заготовок и деталей машин при их проектировании. Уделено внимание основам технологий получения заготовок сваркой и механической обработкой резанием. Приведены примеры конструирования и изготовления деталей с учетом механических и технологических свойств используемых сплавов и типа производства.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;

press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru