

АНАЛИЗ БЕЗНАСОСНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ

Е. А. Дорофеев, А. С. Тегжанов, В. Е. Щерба

Омский государственный технический университет,
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

В статье рассмотрены существующие способы охлаждения поршневых компрессоров, где особое внимание уделено жидкостным системам, в которых движение охлаждающей жидкости осуществляется не от внешнего насоса, а за счет колебаний давления газа или разрежения. Проведен анализ конструкций систем безнасосного охлаждения, выявлены преимущества и недостатки, определены направления для дальнейшего их совершенствования.

Ключевые слова: поршневой компрессор, охлаждение компрессора, безнасосное охлаждение, разрежение, колебания давления, гибридная энергетическая машина.

Введение

Поршневые компрессоры имеют широкую область применения в различных отраслях промышленности и занимают лидирующее положение среди компрессоров объемного действия по величине потребляемой энергии, в связи с чем совершенствование рабочих процессов поршневых компрессоров с целью повышения эффективности их работы является актуальной задачей.

В рабочем цикле поршневого компрессора, в процессе сжатия, происходит значительное увеличение температуры газа, которая с увеличением степени повышения давления может достигать диапазона 140–220 °С [1]. Вследствие теплообмена между сжимаемым газом и деталями цилиндропоршневой группы, последние испытывают температурное расширение, которое приводит к уменьшению зазоров между поверхностями трения, увеличению механических потерь и концентраций напряжений в деталях и узлах, а в компрессорах со смазкой возникает вероятность вспышки масляных паров.

Для обеспечения безопасной и надёжной работы поршневых компрессоров необходимо осуществлять их интенсивное охлаждение, что, с другой стороны, дополнительно позволяет повысить эффективность их работы за счёт приближения процесса сжатия к изотермическому.

В настоящее время в компрессорах применяют следующие способы охлаждения: воздушное, водяное, впрыск жидкости, гибридные системы.

Система воздушного охлаждения является наиболее простой с точки зрения её практической реализации, однако обладает низкой эффективностью, что, в первую очередь, связано невысоким коэффициентом теплоотдачи воздуха. Повысить эффективность воздушного охлаждения возможно за счёт увеличения площади поверхности отвода теплоты, однако это противоречит общей тенденции снижения массогабаритных показателей энергетических машин, поэтому воздушное охлаждение, как правило, используют в небольших компрессорах низкого давления [2–4].

Большинство поршневых компрессоров среднего и высокого давления оснащены системой водяного охлаждения, которая, сравнительно с воздушной,

обеспечивает в среднем на 20 % более эффективный отвод теплоты [2, 5, 6]. Практическая реализация такой системы требует применения внешнего насоса, теплоносителя и теплообменного аппарата, что увеличивает энергетические, эксплуатационные и материальные затраты на её обслуживание.

Система впрыска охлаждающей жидкости в рабочую полость компрессора является наиболее эффективным способом охлаждения, поскольку обладает наибольшей площадью поверхности теплообмена и в совокупности с отсутствием термического зазора между сжатым газом и теплоносителем позволяет максимально осуществлять отвод теплоты от сжимаемого газа [7, 8].

Практическая реализация впрыска жидкости в сравнении с водяной системой охлаждения требует больших материальных и эксплуатационных затрат, связанных с распылением жидкости и последующим её отделением от сжатого газа, что не позволяет системе впрыска получить широкое распространение в системах охлаждения поршневых компрессоров.

Проведенный анализ существующих способов охлаждения поршневых компрессоров позволил констатировать, что, несмотря на однозначные преимущества того или иного способа, каждый из них имеет свои недостатки, устранить которые весьма сложно, оставаясь в рамках классического мышления при решении научно-технических задач. В связи с этим, для повышения эффективности работы системы охлаждения с минимальными энергетическими и эксплуатационными затратами была предложена принципиально новая гибридная или безнасосная система охлаждения, которая послужила основой создания нового класса энергетических машин [9–11].

Поршень разделяет цилиндр на две рабочие полости — компрессорную и насосную (рис. 1в). В одной полости происходит сжатие и нагнетание газа, в другой — сжатие и нагнетание жидкости, причем в зависимости от конструктивной компоновки машины и формы поршня, обе рабочие полости могут располагаться над поршнем (рис. 1б), либо компрессорная полость над поршнем, а насосная полость под поршнем (рис. 1а). Перемещение одного рабочего органа-поршня в течение одного рабочего

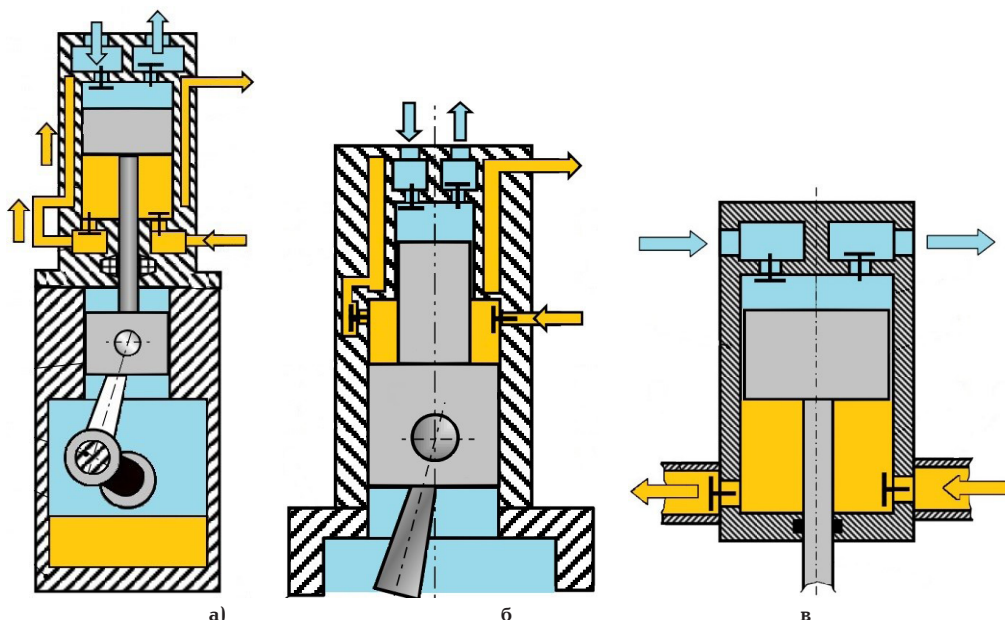


Рис. 1. Конструктивные компоновки ПГЭМОД:
 а — кресткопфная ПГЭМОД с дифференциальным поршнем и рубашкой охлаждения цилиндра;
 б — бескресткопфная ПГЭМОД с тронковым ступенчатым поршнем и рубашкой охлаждения цилиндра; в — кресткопфная ПГЭМОД с дифференциальным поршнем без рубашки охлаждения цилиндра

Fig. 1. Structural layouts of hybrid piston power machine HPPM:
 а — crosshead HPPM with differential piston and cylinder cooling jacket; б — non-crosshead HPPM with stepped piston and cylinder cooling jacket;
 в — crosshead HPPM with differential piston without cylinder cooling jacket

цикла, осуществляет попеременное сжатие и подачу потребителю газа и жидкости. Представленная машина объединяет в себе функции компрессора и насоса находящегося едином агрегате, за счёт чего получила название: поршневая гибридная энергетическая машина объёмного действия (ПГЭМОД).

В представленных компоновках гибридных машин реализована безнасосная система охлаждения, которая имеет два способа реализации. В первом отвод теплоты осуществляется за счёт непосредственного контакта рабочей жидкости с поверхностью днища поршня и стенками цилиндра (рис. 1в). Такой способ является достаточно эффективным с точки зрения отводимого количества теплоты, однако расположенная под поршнем насосная полость накладывает ограничение на число оборотов приводного вала гибридной машины, что противоречит тенденции увеличения числа оборотов энергетических машин. К тому же натекание жидкости из насосной полости в компрессорную через зазор щелевого уплотнения не обеспечивает на выходе получение чистого сжатого газа, однако подобные перетечки можно минимизировать за счёт применения профилированного щелевого уплотнения.

Второй способ реализации предполагает наличие традиционной рубашки охлаждения цилиндра, соединительных патрубков и теплообменника, однако отличительной его особенностью является отсутствие внешнего насоса (рис. 1б, в). Рабочая жидкость за счёт движения поршня выталкивается из насосной полости ПГЭМОД, прокачивается через рубашку охлаждения, осуществляя отвод теплоты, а затем подаётся потребителю. Такой способ имеет более высокую эффективность охлаждения и позволяет отказаться от применения специальных охлаждающих жидкостей.

В итоге безнасосные системы охлаждения позволяют существенно сократить энергетические,

материальные и эксплуатационные затраты на организацию охлаждения. Согласно теоретическим исследованиям, безнасосная система обеспечивает увеличение изотермического КПД компрессора на 3–5 % [11], поэтому изучение существующих конструкций безнасосных систем охлаждения, с целью определения дальнейших путей её совершенствования, является важной задачей, которая и является целью настоящей статьи.

Теория

По принципу работы системы безнасосного охлаждения, реализуемые в ПГЭМОД, делятся на две группы (рис. 2) [12]. В первой группе движение охлаждающей жидкости осуществляется за счёт колебаний давления газа в линии нагнетания компрессора [13, 14]. Подобное конструктивное решение защищено патентом на изобретение [15], а принцип его работы заключается в следующем (рис. 3). В процессе нагнетания газа, повышается давление в линии нагнетания 10, что приводит к увеличению давления в верхней части ресивера 4, которое оказывает воздействие на жидкость, расположенную в нижней части ресивера 4, и жидкость через клапан 3 по трубопроводу 2 начинает поступать в верхнюю часть рубашечного пространства 1. При этом из нижней части рубашечного пространства 1 жидкость по трубопроводу 5 начинает поступать в нижнюю часть ресивера 6, сжимая находящийся в верхней части ресивера 6 газ. В процессе всасывания поршневого компрессора давление в верхней части ресивера 4 уменьшается, и под действием избыточного перепада давления, образовавшегося между ресиверами 6 и 4, жидкость через клапан 7 по трубопроводу 8 поступает в ресивер 4, образуя, таким образом, циркуляцию жидкости в замкнутом контуре.

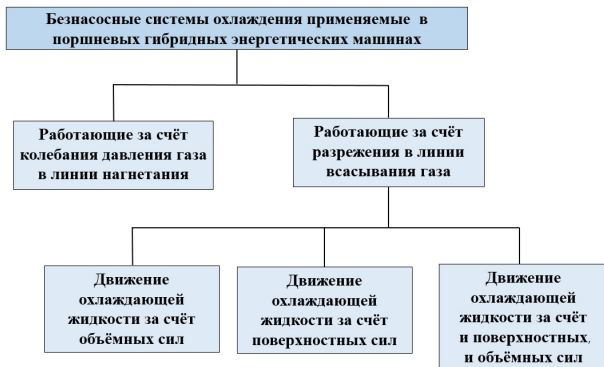


Рис. 2. Классификация безнасосных систем охлаждения
Fig. 2. Structure of pumpless cooling systems

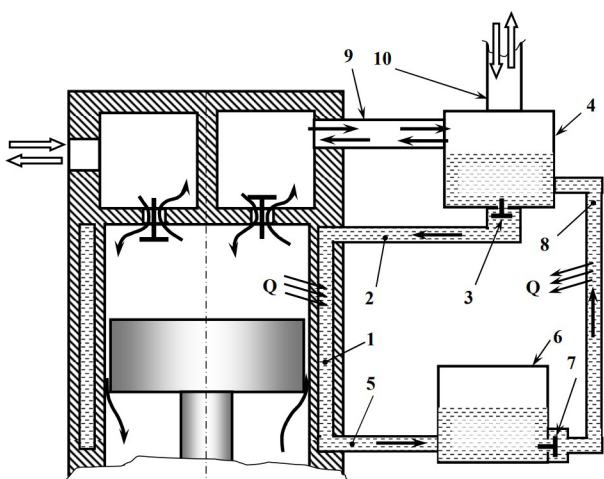


Рис. 3. Принципиальная схема ПГЭМОД с безнасосным жидкостным охлаждением на основе использования колебаний давления газа в линии нагнетания компрессора:
1 — рубашка охлаждения; 2, 5, 8 — жидкостный трубопровод; 3, 7 — обратный клапан; 4, 6 — ресивер; 9, 10 — газовый трубопровод

Fig. 3. Circuit diagram of HPPM with pumpless liquid cooling based on the gas pressure flow in the compressor discharge line:

1 — cooling jacket; 2, 5, 8 — liquid pipeline; 3, 7 — check valve; 4, 6 — receiver; 9, 10 — gas pipeline

Рассмотренная схема охлаждения не обладает высокой эффективностью отвода теплоты ввиду низкого расхода охлаждающей жидкости, однако её существенным преимуществом является наличие газожидкостного ресивера, который осуществляет значительное снижение колебаний давления газа в линии нагнетания компрессора, что способствует подавлению резонансных колебаний соединительных коммуникаций, увеличивая тем самым надёжность и долговечность работы всей компрессорной установки.

Во второй группе движение охлаждающей жидкости осуществляется за счёт разрежения в линии всасывания компрессора [16, 17]. В момент начала процесса всасывания газа в полости, расположенной перед всасывающим клапаном, давление падает ниже атмосферного и за счёт образующегося разрежения жидкость, находящаяся в рубашке охлаждения цилиндра, поднимается вверх, а перемещение жидкости вниз осуществляется за счёт собственных сил тяжести. Подобное конструктивное решение защищено патентом на изобретение [18], а принцип его работы заключается

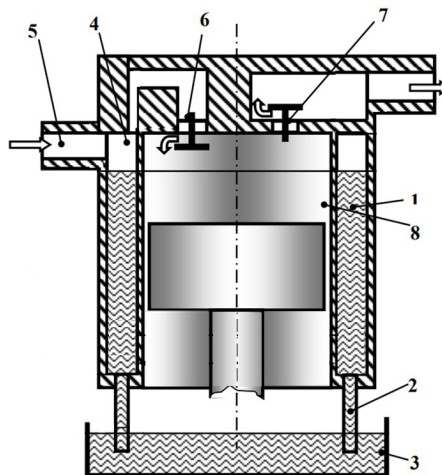


Рис. 4. Принципиальная схема ПГЭМОД с безнасосным жидкостным охлаждением на основе использования разрежения в линии всасывания:

1 — рубашка охлаждения;
2, 5 — трубопроводы;
3 — ёмкость с жидкостью;
4 — газовая полость рубашки;
6 — всасывающий клапан;
7 — нагнетательный клапан;
8 — рабочая полость

Fig. 4. Circuit diagram of HPPM with pumpless liquid cooling based on the use of vacuum in the suction line:

1 — cooling jacket; 2, 5 — pipelines;
3 — container with liquid;
4 — jacket gas cavity; 6 — suction valve;
7 — discharge valve; 8 — working cavity

в следующем (рис. 4). При движении поршня вниз в рабочей полости 8 возникает падение давления, вследствие чего газ из верхней части 4 рубашечного пространства 1 начинает поступать через всасывающий клапан 6 в рабочую полость 8. При этом в верхней части 4 рубашечного пространства 1 происходит разрежение, за счёт которого жидкость из ёмкости 3 по трубопроводу 2 начинает заполнять рубашечное пространство. Максимальная высота подъёма охлаждающей жидкости ограничена моментом, когда за счёт натекания газа по трубопроводу 5 и инерционного подъёма жидкости давление в верхней части 4 рубашечного пространства 1 станет равным атмосферному. Далее всасывающий клапан закрывается, и движение жидкости прекращается. При движении поршня вверх осуществляется сжатие и нагнетание газа, в этот момент жидкость в рубашечном пространстве 1 движется вниз в ёмкость 3 за счёт сил тяжести.

Рассмотренная схема охлаждения обладает хорошей эффективностью отвода теплоты от сжимаемого газа, что позволяет увеличить коэффициент подачи и индикаторный КПД компрессора на 5–10% [19]. Однако её недостатком являются существенные потери давления, затрачиваемые на подъём жидкости, составляющие порядка 30–40% от общих потерь давления на всасывании [19].

С целью увеличения интенсификации движения охлаждающей жидкости в рубашечном пространстве была предложена конструкция двухцилиндровой одноступенчатой ПГЭМОД, защищенной патентом на изобретение [20], в которой движение охлаждающей жидкости осуществляется исключительно за счёт поверхностных сил, при этом схема охлаждения работает следующим образом (рис. 5).

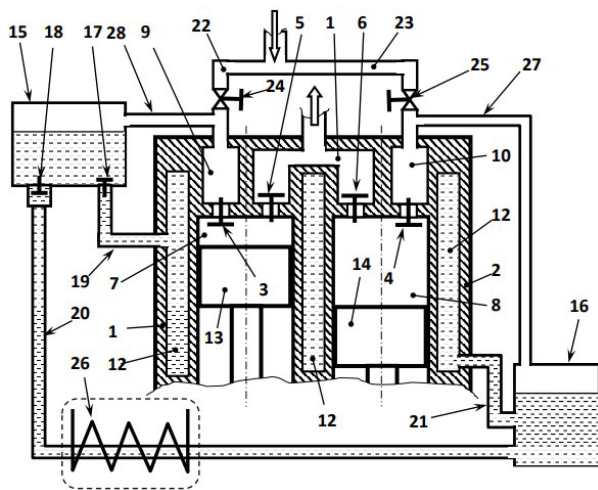


Рис. 5. Принципиальная схема двухцилиндровой ПГЭМОД с безнасосным жидкостным охлаждением на основе использования разрежения в линии всасывания каждого цилиндра

Fig. 5. Circuit diagram of a two-cylinder HPPM with pumpless liquid cooling based on the use of vacuum in the suction line of each cylinder

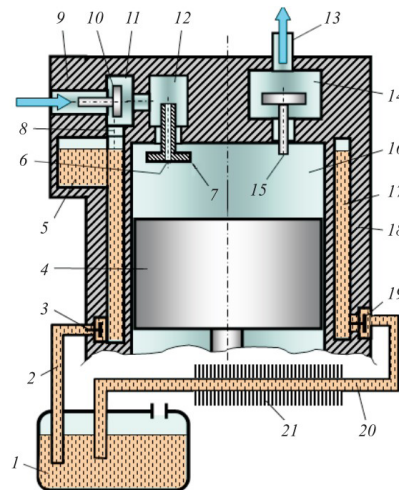


Рис. 6. Принципиальная схема ПГЭМОД с безнасосным жидкостным охлаждением на основе использования разрежения между двумя всасывающими клапанами

Fig. 6. Circuit diagram of HPPM with pumpless liquid cooling based on the use of vacuum between two suction valves

При движении поршня 13 вниз в левом цилиндре создаётся разрежение и дополнительно, за счёт гидравлического сопротивления вентиля 24, давление в полости 9 падает ниже давления всасывания, что приводит к снижению давления в верхней части емкости 15. При этом жидкость за счёт перепада давлений из ёмкости 16 поступает через рубашку охлаждения 12 в ёмкость 15, что происходит до тех пор, пока поршень 13 не достигнет НМТ. В следующий момент времени процесс всасывания будет осуществляться во втором цилиндре, что в совокупности с гидравлическим сопротивлением вентиля 25 понижает давление в полости 10 и верхней части емкости 16. Вследствие образовавшегося перепада давлений жидкость из ёмкости 15 через теплообменник 21 поступает в ёмкость 16, образуя замкнутый контур циркуляции жидкости через рубашку охлаждения.

Преимуществом предложенной схемы, является более интенсивное движение жидкости через рубашку охлаждения и, как следствие, увеличение количества отводимой теплоты. Экспериментальные исследования предложенной схемы показали, что максимальный расход охлаждающей жидкости достигает 900 мл/мин, однако при расходе 300–400 мл/мин наблюдается максимальное увеличение индикаторного изотермического КПД компрессора, которое составляет 7 % [21]. Недостатками схемы является увеличение массогабаритных показателей машины за счёт наличия второго цилиндра, а стремление увеличить интенсивность движения охлаждающей жидкости приводит к увеличению потерь работы на всасывании компрессора, так, например, при увеличении расхода охлаждающей жидкости от 200 до 500 мл/мин увеличение потерь работы на всасывании составляет около 40 % [21].

С целью устранения недостатков описанных выше схем безнасосного охлаждения была предложена конструкция ПГЭМОД с газовым колачком и двумя всасывающими клапанами [22, 23]. В данной конструкции движение охлаждающей жидкости осуществляется вверх под действием поверхностных сил, а при движении жидкости вниз —

под действием поверхностных и объёмных сил, при этом система жидкостного охлаждения работает следующим образом (рис. 6). При движении поршня вниз в рабочей полости цилиндра возникает разрежение, вследствие чего открывается первый всасывающий клапан 7, и газ из полости 12 начинает поступать в рабочую полость цилиндра. Ввиду того, что полость 12 соединена через канал с газовым колачком 8, находящимся в верхней части рубашечного пространства 5, то за счёт того же разрежения жидкость начинает подниматься вверх по рубашке охлаждения 5. Одновременно с этим газ через второй всасывающий клапан 10 из источника поступает в рабочую полость цилиндра. При последующем движении поршня вверх в рабочей полости цилиндра осуществляется процесс сжатия и нагнетания газа через клапан 15 к потребителю. Однако всасывающий клапан 7 имеет неплотность в виде отверстия в запорном органе, через которое небольшая часть сжимаемого газа в процессе нагнетания поступает в полость 12, затем через канал в верхнюю часть газового колачка 8, увеличивая там давление. Под действием избыточного давления в газовом колачке 8 жидкость начинает перемещаться вниз по рубашке охлаждения и далее через клапан 19 по трубопроводу 20 поступает в источник жидкости, образуя таким образом замкнутый контур системы охлаждения.

Преимуществом представленной схемы является независимость её работы от ориентации в пространстве цилиндра компрессора. При вертикальном расположении цилиндра действуют как поверхностные, так и объёмные силы, при горизонтальном — действуют только поверхностные силы, а объёмные проектируются в ноль на ось движения жидкости. Предложенная схема обладает наилучшей эффективностью отвода теплоты по сравнению с рассмотренными выше, а относительные потери энергии, затрачиваемой на сжатие, составляют 1–2 %. Недостатком описанной схемы является потеря производительности компрессора за счёт снижения коэффициента подачи, поскольку в процессе нагнетания часть газа не поступает потребителю.

Результаты

Безусловно, существующие конструкции безнасосных систем охлаждения обладают несомненными преимуществами по сравнению с традиционными способами охлаждения поршневых компрессоров. Отсутствие внешнего насоса для прокачки охлаждающей жидкости позволяет снизить энергопотребление и массогабаритные параметры компрессорной установки с одновременным снижением затрат на её эксплуатационное обслуживание.

Предложенная схема охлаждения за счёт использования колебаний давления газа в линии нагнетания компрессора является самой энергетически выгодной, поскольку на прокачку жидкости в системе охлаждения не затрачивается дополнительная работа. Дальнейшее совершенствование этой схемы возможно за счёт использования одного газового колпака, соединённого с подпоршневой полостью ПГЭМОД, что позволит сократить массогабаритные показатели и повысить эффективность отвода теплоты за счёт непосредственного контакта охлаждающей жидкости с днищем поршня и стенками цилиндра.

В предложенных схемах с разрежением на всасывании основных направлением их совершенствования является снижение потерь давления в линии всасывания. Для рассмотренной схемы с двумя всасывающими клапанами клапан, имеющий неплотность, целесообразно заменить отверстием в боковой поверхности цилиндра, за счёт чего лишь при совершении определённой части хода поршня сжатый газ будет выталкиваться в верхнюю часть газового колпака рубашки охлаждения, что позволит снизить потери производительности компрессора.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта МК-4256.2022.4.

Список источников

1. Пластинин П. И. Поршневые компрессоры. В 2 т. Т. 1. Теория и расчет. Москва: КолосС, 2006. 456 с. ISBN 5-9532-0428-0.
2. Берман Я. А., Маньковский О. Н., Марр Ю. Н. [и др.]. Системы охлаждения компрессорных установок. Ленинград: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1984. 288 с.
3. Сычков А. Е., Журавлев И. Н., Рудой В. Г. Блоки воздушного охлаждения на базе пластинчато-ребристых теплообменников для поршневых компрессорных агрегатов // Компрессорная техника и пневматика. 2009. № 6. С. 6.
4. Пластинин П. И. Поршневые компрессоры. В 2 т. Т. 2. Основы проектирования. Конструкций. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: КолосС, 2013. 711 с. ISBN 978-5-9532-0228-8.
5. Джураев Р. У., Шомуродов Б. Х., Хатамова Д. Н., Тагирова Ю. Ф. Модернизация системы охлаждения поршневых компрессорных установок // Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса: материалы IX Междунар. науч.-техн. конф. Навои, 2017. С. 176.
6. Сазоненко В. М., Алёшин В. И. Анализ способов охлаждения компрессоров // Материалы Всерос. науч.-техн. молодеж. конф., посвящ. 100-летию кафедры холодильных и компрессорных машин МГТУ им. Н. Э. Баумана. Москва, 2020. С. 129–136.
7. Пластинин П. И., Щерба В. Е. Рабочие процессы объемных компрессоров со впрыском жидкости // Итоги науки и

техники. Сер. Насосостроение и компрессоростроение. Холодильное машиностроение. 1996. № 5. С. 1–154.

8. Щерба В. Е. Рабочие процессы компрессоров объемного действия: моногр. Москва: Наука, 2008. 319 с.

9. Пат. 2538371 Российская Федерация, МПК F 04 В 19/06. Способ работы насос-компрессора и устройство для его осуществления / Болштынский А. П., Щерба В. Е., Кужбанов А. К., Павлюченко Е. А., Лысенко Е. А. № 2013138950/06; заявл. 20.08.13; опубл. 10.01.15, Бюл. № 1.

10. Щерба В. Е., Болштынский А. П., Шалай В. В., Ходорева А. В. Насос-компрессоры. Рабочие процессы и основы проектирования. Москва: Машиностроение, 2013. 388 с. ISBN 978-5-94275-670-3.

11. Shcherba V. E., Pavlyuchenko E. A., Kuzhbanov A. K. Mathematical modeling of processes of suction and discharge in a displacement pump with gas damper // Chemical and Petroleum Engineering. 2013. Vol. 49, № 7–8. P. 460–466. DOI: 10.1007/s10556-013-9774-9.

12. Щерба В. Е., Болштынский А. П., Рыбак А. Т., Носов Е. Ю., Тегжанов А. С. Конструктивные компоновки гибридных машин объемного действия // Омский научный вестник. 2018. № 1 (157). С. 10–18. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-157-10-18.

13. Лобов И. Э. Разработка и экспериментальное исследование поршневой гибридной энергетической машины объемного действия на основе использования колебаний давления газа в линии нагнетания // Гидравлика. 2016. № 1 (1). С. 143–151.

14. Shcherba V. E., Blinov V. N., Paramonov A. M., Grigoriev A. V., Lobov I. E. Analysis of the influence of the length and diameter of a connecting gas pipeline on the working processes of a hybrid piston power machine based on application of fluctuations in gas pressure in the injection lines // Chemical and Petroleum Engineering. 2018. Vol. 54 (3). P. 247–252. DOI: 10.1007/s10556-018-0470-7.

15. Пат. 2640899 Российская Федерация, МПК F04В 39/06. Поршневой компрессор с автономным жидкостным охлаждением / Болштынский А. П., Щерба В. Е., Кужбанов А. К., Лобов И. Э., Григорьев А. В., Труханова Д. А. № 2016134558; заявл. 23.08.2016; опубл. 12.01.2018.

16. Shcherba V. E., Nosov E. Y., Pavlyuchenko E. A., Kuzeeva D. A., Lobov I. E. Analysis of the motion dynamics of liquid in a hybrid energy-converting piston machine with gas plenum in the intake // Chemical and Petroleum Engineering. 2016. Vol. 52 (3). P. 244–250.

17. Щерба В. Е., Носов Е. Ю., Павлюченко А. Е., Кузеева Д. А., Лобов И. Э. Анализ динамики движения жидкости в поршневой гибридной энергетической машине с газовым объемом на всасывании // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2016. № 4. С. 15–19.

18. Пат. 2578776 Российская Федерация, МПК F 04 В 39/06. Способ работы машины объемного действия и устройство для его осуществления / Щерба В. Е., Болштынский А. П., Кузеева Д. А., Носов Е. Ю., Кайгородов С. Ю. № 2015112262/06; заявл. 03.04.15; опубл. 27.03.16, Бюл. № 9.

19. Труханова Д. А. Разработка и исследование поршневой гибридной энергетической машины объемного действия с газовым объемом на всасывании: дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2016. 200 с.

20. Пат. 2755967 Российская Федерация, МПК F04В 39/06, F04В 39/064. Поршневой двухцилиндровый компрессор с автономным жидкостным охлаждением / Щерба В. Е., Овсянников А. Ю., Болштынский А. П., Носов Е. Ю., Тегжанов А. С. № 2020138070; заявл. 20.11.2020; опубл. 23.09.2021.

21. Овсянников А. Ю., Щерба В. Е., Ведрученко В. Р., Щербаков В. И., Суриков А. Ю. Повышение эффективности работы поршневой энергетической машины объемного действия с газовым объемом на всасывании путем использования колебания давления в нижней полости насосной секции // Омский научный вестник. 2017. № 6 (156). С. 8–12.

22. Щерба В. Е., Тегжанов А. С., Орех Д. В. Анализ процесса обратного расширения в поршневой гибридной энергетической машине с двумя всасывающими клапанами // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2021. № 9. С. 77–85. DOI: 10.18698/0536-1044-2021-9-77-85.

23. Щерба В. Е., Тегжанов А. С. Математическая модель рабочих процессов поршневой гибридной энергетической машины объемного действия с газовым колпаком и двумя всасывающими клапанами // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2022. № 5. С. 22–26.

ДОРОФЕЕВ Егор Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидромеханика и транспортные машины» Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск.

SPIN-код: 8323-4198

AuthorID (РИНЦ): 1147663

AuthorID (SCOPUS): 57208906779

ResearcherID: V-9114-2018

Адрес для переписки: shevdm@mail.ru

ТЕГЖАНОВ Аблай Хан Савитович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидромеханика и транспортные машины» ОмГТУ, г. Омск.

ЩЕРБА Виктор Евгеньевич, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Гидромеханика и транспортные машины» ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 6637-4059

AuthorID (РИНЦ): 518325

AuthorID (SCOPUS): 57191240901

ResearcherID: D-5093-2014

Для цитирования

Дорофеев Е. А., Тегжанов А. С., Щерба В. Е. Анализ безнасосных систем охлаждения поршневых компрессоров // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2023. Т. 7, № 1. С. 32–39. DOI: 10.25206/2588-0373-2023-7-1-32-39.

Статья поступила в редакцию 16.01.2023 г.

© Е. А. Дорофеев, А. С. Тегжанов, В. Е. Щерба

THE ANALYSIS OF PUMPLESS COOLING SYSTEMS RECIPROCATING COMPRESSORS

E. A. Dorofeev, A. S. Tegzhanov, V. E. Shcherba

Omsk State Technical University,
Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

The article discusses the existing methods of cooling reciprocating compressors, where special attention is paid to liquid systems in which the motion of the coolant is carried out not from an external pump, but due to fluctuations in gas pressure or rarefaction. An analysis of the designs of pumpless cooling systems is carried out, advantages and disadvantages are identified, directions for their further improvement are identified.

Keywords: piston compressor, compressor cooling, pumpless cooling, underpressure, pressure fluctuations, hybrid power machine.

Acknowledgements

The study is supported by grant MK-4256.2022.4.

References

1. Plastinin P. I. Porshnevyye kompressory. V 2 t. T. 1. Teoriya i raschet [Piston compressors. In 2 vols. Vol. 1. Theory and calculation. Moscow, 2006. 456 p. ISBN 5-9532-0428-0. (In Russ.).
2. Berman Ya. A., Mankovsky O. N., Marr Yu. N. [et al.] Sistemy okhlazhdeniya kompressornykh ustanovok [Cooling systems for compressor units]. Leningrad, 1984. 288 p. (In Russ.).
3. Sychkov A. E., Zhuravlev I. N., Rudoy V. G. Bloki vozdušnogo okhlazhdeniya na baze plastinchato-rebristyykh teploobmennikov dlya porshnevyykh kompressornykh agregatov [Air cooling units based on plate-fin heat exchangers for reciprocating compressor units // *Kompressornaya tekhnika i Pnevmatika*. 2009. No. 6. P. 6. (In Russ.).
4. Plastinin P. I. Porshnevyye kompressory. V 2 t. T. 2. Osnovy proyektirovaniya. Konstruktsiy [Piston compressors. In 2 vols. Vol. 2. Fundamentals of design. Designs]. 3rd ed., revised. and additional. Moscow, 2013. 711 p. ISBN 978-5-9532-0228-8. (In Russ.).
5. Juraev R. U., Shomurodov B. K., Khatamova D. N., Tagirova Yu. F. Modernizatsiya sistemy okhlazhdeniya porshnevyykh kompressornykh ustanovok [Modernization of the cooling system for reciprocating compressor units] // *Dostizheniya, problemy i sovremennyye tendentsii razvitiya gorno-metallurgicheskogo kompleksa. Achievements, Problems and Further Development of the Mining and Metallurgical Complex*. Navoi, 2017. P. 176. (In Russ.).
6. Sazonenko V. M., Alyoshin V. I. Analiz sposobov okhlazhdeniya kompressorov [Analysis of compressor cooling methods] // *Materialy vseros. nauch.-tekhn. molodezh. konf. Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Youth Conference*. Moscow, 2020. P. 129–136. (In Russ.).
7. Plastinin P. I., Shcherba V. E. Rabochiye protsessy ob"yemnykh kompressorov so vpryskom zhidkosti [Working processes of volumetric compressors with liquid injection] // *Itogi nauki i tekhniki. Ser. Nasostroyeniye i kompressorostroyeniye. Kholodil'noye mashinostroyeniye. The Results of Science and Technology. Ser. Pump Building and Compressor Building. Refrigeration Engineering*. 1996. No. 5. P. 1–154. (In Russ.).
8. Shcherba V. E. Rabochiye protsessy kompressorov ob"yemnogo deystviya [Working processes of volumetric compressors]. Moscow, 2008. 319 p. (In Russ.).
9. Patent No. 2538371 Russian Federation, IPC F 04 B 19/06. Sposob raboty nasos-kompressora i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya [Operation of pump-compressor and device to this end] / Bolshtyansky A. P., Shcherba V. E., Kuzhbanov A. K., Pavlyuchenko E. A., Lysenko E. A. No. 2013138950/06. (In Russ.).
10. Shcherba V. E., Bolshtyansky A. P., Shalay V. V., Khodoreva A. V. Nasos-kompressory. Rabochiye protsessy i osnovy proyektirovaniya [Pump-compressors. Workflows and design basics]. Moscow, 2013. 388 p. ISBN 978-5-94275-670-3. (In Russ.).
11. Shcherba V. E., Pavlyuchenko E. A., Kuzhbanov A. K. Mathematical modeling of processes of suction and discharge in a displacement pump with gas damper // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2013. Vol. 49, no. 7–8. P. 460–466. DOI: 10.1007/s10556-013-9774-9. (In Engl.).
12. Scherba V. E., Bolshtyansky A. P., Rybak A. T., Nosov E. Yu., Tegzhanov A. S. Konstruktivnyye komponovki gibridnykh mashin ob"yemnogo deystviya [Constructive schemes of hybrid machines of volumetric action] // *Omskiy nauchnyy vestnik. Omsk Scientific Bulletin*. 2018. No. 1 (157). P. 10–18. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-157-10-18. (In Russ.).
13. Lobov I. E. Razrabotka i eksperimental'noye issledovaniye porshnevoy gibridnoy energeticheskoy mashiny ob"yemnogo deystviya na osnove ispol'zovaniya kolebaniy davleniya gaza v linii nagnetanii [Design and experimental study of a hybrid power piston machines surround action through the use of pressure fluctuations in the gas discharge line] // *Gidravlika. Hydraulics*. 2016. No. 1 (1). P. 143–151. (In Russ.).
14. Shcherba V. E., Blinov V. N., Paramonov A. M., Grigor'ev A. V., Lobov I. E. Analysis of the influence of the length and diameter of a connecting gas pipeline on the working processes of a hybrid piston power machine based on application of fluctuations in gas pressure in the injection lines // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2018. Vol. 54 (3). P. 247–252. DOI: 10.1007/s10556-018-0470-7. (In Engl.).
15. Patent No. 2640899 Russian Federation, IPC F 04 B 39/06. Porshnevoy kompressor s avtonomnym zhidkostnym okhlazhdeniyem [Piston compressor with autonomous liquid cooling] / Bolshtyansky A. P., Shcherba V. E., Kuzhbanov A. K., Lobov I. E., Grigoriev A. V., Trukhanova D. A. No. 2016134558. (In Russ.).
16. Shcherba V. E., Nosov E. Y., Pavlyuchenko E. A., Kuzeeva D. A., Lobov I. E. Analysis of the motion dynamics of liquid in a hybrid energy-converting piston machine with gas plenum in the intake // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2016. Vol. 52 (3). P. 244–250. (In Engl.).

17. Shcherba V. E., Nosov E. Yu., Pavlyuchenko A. E., Kuzeeva D. A., Lobov I. E. Analiz dinamiki dvizheniya zhidkosti v porshnevoy gibridnoy energeticheskoy mashine s gazovym ob'yemom na vsasyvanii [Analysis of the dynamics of fluid movement in a piston hybrid power machine with a gas volume in suction] // *Khimicheskoye i neftegazovoye mashinostroyeniye. Chemical and Oil and Gas Engineering*. 2016. No. 4. P. 15–19. (In Russ.).

18. Patent No. 2578776 Russian Federation, IPC F 04 B 39/06. Sposob raboty mashiny ob'yemnogo deystviya i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya [Method of operating volumetric action machine and device therefor] / Shcherba V. E., Bolshtyansky A. P., Kuzeeva D. A., Nosov E. Yu., Kaygorodov S. Yu. No. 2015112262/06. (In Russ.).

19. Trukhanova D. A. Razrabotka i issledovaniye porshnevoy gibridnoy energeticheskoy mashiny ob'yemnogo deystviya s gazovym ob'yemom na vsasyvanii [Development and research of a piston hybrid power machine of volumetric action with a gas volume on suction]. Omsk, 2016. 200 p. (In Russ.).

20. Patent No. 2755967 Russian Federation, IPC F 04 B 39/06, F 04 B 39/064. Porshnevoy dvukhtsilindrovyy kompressor s avtonomnym zhidkostnym okhlazhdeniyem [Two-cylinder reciprocating compressor with autonomous liquid cooling] / Shcherba V. E., Ovsyannikov A. Yu., Bolshtyansky A. P., Nosov E. Yu., Tegzhanov A. S. No. 2020138070. (In Russ.).

21. Ovsyannikov A. Yu., Scherba V. E., Vedruchenko V. R., Shcherbakov V. I., Surikov A. Yu. Povysheniye effektivnosti raboty porshnevoy energeticheskoy mashiny ob'yemnogo deystviya s gazovym ob'yemom na vsasyvanii putem ispol'zovaniya kolebaniya davleniya v nizhney polosti nasosnoy [Increasing the efficiency of volumetric piston power machine with gas volume for suction by using a pressure fluctuation in lower cavity of pump section] // *Omskiy nauchnyy vestnik. Omsk Scientific Bulletin*. 2017. No. 6 (156). P. 8–12. (In Russ.).

22. Shcherba V. E., Tegzhanov A. S., Orekh D. V. Analiz protsessa obratnogo rasshireniya v porshnevoy gibridnoy energeticheskoy mashine s dvumya vsasyvayushchimi klapanami [Analysis of the process of reverse expansion in a piston hybrid power machine with two suction valves] // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye. Izvestia of Higher Educational Institutions. Engineering*. 2021. No. 9. P. 77–85. DOI: 10.18698/0536-1044-2021-9-77-85. (In Russ.).

23. Shcherba V. E., Tegzhanov A. S. Matematicheskaya model' rabochikh protsessov porshnevoy gibridnoy energeticheskoy mashiny ob'yemnogo deystviya s gazovym kolpakom i dvumya vsasyvayushchimi klapanami [Mathematical model of working processes of a positive displacement hybrid power machine with a gas cap and two suction valves] // *Khimicheskoye i neftegazovoye mashinostroyeniye. Chemical and Oil and Gas Engineering*. 2022. No. 5. P. 22–26. (In Russ.).

DOROFEEV Egor Alekseevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Hydromechanics and Transport Machines Department, Omsk State Technical University (OmSTU), Omsk.

SPIN-code: 8323-4198

AuthorID (RSCI): 1147663

AuthorID (SCOPUS): 57208906779

ResearcherID: V-9114-2018

Correspondence address: shevdm@mail.ru

TEGZHANOV Ablaj Han Savitovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Hydromechanics and Transport Machines Department, OmSTU, Omsk.

SHCHERBA Viktor Evgenyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Hydromechanics and Transport Machines Department, OmSTU, Omsk.

SPIN-code: 6637-4059

AuthorID (RSCI): 518325

AuthorID (SCOPUS): 57191240901

ResearcherID: D-5093-2014

For citations

Dorofeev E. A., Tegzhanov A. S., Shcherba V. E. The analysis of pumpless cooling systems reciprocating compressors // *Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering*. 2023. Vol. 7, no. 1. P. 32–39. DOI: 10.25206/2588-0373-2023-7-1-32-39.

Received January 16, 2023.

© E. A. Dorofeev, A. S. Tegzhanov, V. E. Shcherba