

BUXORO DAVLAT UNIVERSITETI ILMIY AXBOROTI

Научный вестник Бухарского государственного университета
Scientific reports of Bukhara State University

3/2025

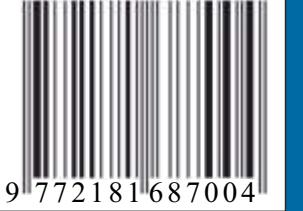


3/2025

<https://buxdu.uz>

E-ISSN 2181-1466

9 772181146004

ISSN 2181-6875

9 772181687004

FIZIKA *** PHYSICS *** ФИЗИКА		
Ergashev S.Sh., To‘rayev J.Sh.	Ekzosayyoralar haqida umumiy ma'lumotlar, ularning o'tmishi, hoziri va kelajagi	89
Abdinabiiev J.S., Rayimov A.O.	Bir jinsli balkaning so‘nuvchi erkin tebranma harakat tenglamasining sonli yechimi	96
Mavlonov G‘.H., Abdug‘aniyev Y.A.	Yevropiy kirishma atomlari bilan legirlangan kremniyning magnit xususiyatlari	100
Ochilov O.O., Qulmatova G.A., Malikov K.H., Abdulxafizova N.O.	Research and application of domain structures in bismuth-bearing yttrium iron garnet	105
Nurimov U.E.	Magnetit asosidagi magnit suyuqliklarni hosil qilish va uning ichki tuzilishini o‘rganish	110
Turg‘unboyev A.Y., Ro‘ziyev F.M., Tajibayev I.I., Zaxidov E.A., Quvondiqov V.O.	Spektroskopik usuldan foydalanib samarali P ₃ HT:PC ₇₁ BM asosli faol qatlam olish	114
Xalilov Sh.E.	Oltingugurt kolloidi biologik faolligini prolongatsiyalash imkoniyatlari	119
Xusanova D.X., Mexmonov K.K., Mirzayev S.Z., Xalilov U.B.	Perilen nukleatsiyaoldi jarayonlari kinetikasiga a-SiO ₂ katalizatorining ta'siri	124
Назаров М.Р., Назарова Н.М., Худойбердиев А.А., Ражабов Б.Х., Рахмонова М.А.	Гелиоқуригичларда конвектив иссиқлик-масса-алмасиниш жараёнларини тадқиқ этиш	129
Назаров М.Р., Назарова Н.М., Рамазонова Ф.Ё.	Тепловой насос и его применение	134

ТЕПЛОВОЙ НАСОС И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ**Назаров Мустаким Рашидович,**

доцент Бухарского государственного педагогического института

Назарова Наргиза Мустакимовна,

доцент Бухарского государственного университета

*nazarova_nargiza85@mail.ru***Рамазонова Фотима Ёрбоевна,**

докторант Бухарского государственного университета

Аннотация. В последнее время в нашей стране и за рубежом наблюдается значительный интерес к тепловым насосам (TH). Это связано, в первую очередь, с ростом цен на энергоносители и проблемами экологии. Этому способствует и зарубежный опыт. Также расширялись области применения тепловых насосов, поэтому исследования и пути повышения энергетической эффективности тепловых насосов являются актуальными.

В данной работе изучено устройство и принципы работы теплового насоса. Также проанализированы виды тепловых насосов и пути повышения их энергетической эффективности.

Ключевые слова: тепловой насос, теплоснабжение, компрессор, расширительный клапан, испаритель, конденсатор, хладагент.

ISSIQLIK NASOSI VA UNING QO'LLANILISHI

Annotatsiya. So'nggi paytlarda mamlakatimizda va chet ellarda issiqlik nasoslariga katta qiziqish kuzatilmoqda. Bu, bиринчи navbatda, energiya narxlarining oshishi va ekologik muammolar bilan bog'liq. Bunga xorijiy tajriba ham o'z hissasini qo'shamoqda. Issiqlik nasoslarini qo'llanish sohalari ham kengaydi, shuning uchun ushbu sohada tadqiqotlar o'tkazish va issiqlik nasoslarining energiya samaradorligini oshirish yo'llari dolzarbligicha qolmoqda. Ushbu ishda issiqlik nasosining qurilmasi va uning ishslash prinsipi o'rganiladi. Issiqlik nasoslarining turlari va ularning energiya samaradorligini oshirish yo'llari ham tahsil qilinadi.

Kalit so'zlar: issiqlik nasosi, issiqlik ta'minoti, kompressor, kengaytirish valfi, evaporator, kondensator, sovutgich.

THE HEAT PUMP AND ITS APPLICATION

Abstract. Recently, in our country and abroad, there has been significant interest in heat pumps (HP). This is primarily due to rising energy prices and environmental issues. Foreign experience also contributes to this. The areas of application of heat pumps have also expanded, so research and ways to improve the energy efficiency of heat pumps are relevant. This paper examines the device and its operating principle of a heat pump. It also analyzes the types of heat pumps and ways to improve their energy efficiency.

Keywords: heat pump, heating supply, compressor, expansion valve, evaporator, condenser, refrigerant.

Введение. Согласно прогнозам Мирового энергетического комитета (МИРЭК), к 2020 г. 75 % теплоснабжения (коммунального и производственного) в развитых странах будет осуществляться с помощью тепловых насосов [2].

В тепловых насосах, так же как и в холодильных машинах (ХМ), осуществляется перенос тепла от тел и сред с низкой температурой к телам и средам с более высокой температурой. Тепловые насосы успешно используются в быту и промышленности в Европе и США уже более 25 лет. Их особенность состоит в преобразовании так называемого низко потенциального тепла окружающей среды: земли, воды, воздуха. Во многих странах эта экологическая технология получила распространение сравнительно недавно.

Следует также отметить, что технология тепловых насосов имеет долгую историю развития, начиная с пятидесятых годов прошлого века. Эта технология достаточно хорошо освоена зарубежными специалистами и широко применяется в строительных проектах целого ряда стран Европы, а также в США и Японии. При этом подавляющее большинство проектов представляют

свой комплексную систему энергоснабжения здания, с учётом вентиляции, отопления, горячего водоснабжения и рекуперации тепла. Вне всякого сомнения, такие проекты обладают высокой эффективностью по сравнению с классическими способами теплоснабжения, но и осуществляются они в условиях активного стимулирования и поддержки со стороны государства.

Узбекистан располагает большим потенциалом солнечной энергии. Одним из первоочередных мероприятий по её использованию является преобразование её в низкопотенциальную тепловую энергию, в частности на нужды горячего водоснабжения, а также отопления. Однако в силу технико-экономических причин автономные солнечные системы теплоснабжения не получили на данный момент широкого распространения в республике. Прежде всего, это невозможность получать стablyно тепло от солнечных систем в течение всего года. Высокая доля ископаемых энергоносителей в нашем энергоснабжении становится проблематичной вследствие ограниченных запасов нефти и газа [8].

Устройству и принципу работы тепловых насосов посвящено множество научных и научно-популярных трудов [3,4,5,9].

Тепловой насос – это своеобразная холодильная машина, с помощью которой можно переносить тепло от менее нагретого тела к более нагретому, увеличивая температуру последнего. Тепловые насосы являются альтернативными источниками энергии, позволяющими получать дешевое тепло без вреда для окружающей среды.

Для того, что понять принцип работы теплового насоса, нам нужно разобраться в нескольких понятиях теплотехники, например, низко потенциальное тепло, теплоноситель, тепловая машина, цикл Карно, теплota, хладагент (фреон), компрессор и т.д.

Методы и материалы. Принцип работы теплового насоса основан на том факте, что любое тело с температурой выше абсолютного нуля обладает запасом тепловой энергии. Этот запас прямо пропорционален массе и удельной теплоёмкости вещества. Например, моря, океаны, земная атмосфера, подземные воды, обладают огромной массой, поэтому можно сделать вывод, что их грандиозные запасы тепловой энергии можно частично использовать с применением теплового насоса для отопления домов и других теплотехнических процессов без ущерба мировой экологической обстановке.

Для того чтобы представить принцип работы теплового насоса, его устройство можно разделить на 4 основных элемента:

- **Компрессор**, который сжимает хладагент для повышения его давления и температуры.

- **Расширительный клапан** — терморегулирующий вентиль, который резко понижает давление хладагента.

- **Испаритель** — представляет собой теплообменник, в котором хладагент с низкой температурой поглощает тепло от окружающей среды.

- **Конденсатор** — теплообменник, в котором уже горячий хладагент после сжатия передаёт тепло в рабочую среду отопительного контура (смотрите рисунок 1.)

Эти четыре компонента позволяют холодильным машинам производить холод, а тепловым насосам — тепло. Для того чтобы разобраться, как работает каждый компонент теплового насоса и для чего он нужен, предлагаем подробно описать каждый этап работы теплового насоса. Как уже говорилось ранее — в основе работы тепловых насосов лежит термодинамический цикл. Это значит, что работа теплового насоса состоит из нескольких этапов цикла, которые повторяются снова и снова в определённой последовательности.

Рабочий цикл теплового насоса можно разделить на четыре следующих этапа.

1. Поглощение тепла из окружающей среды (кипение хладагента). В испаритель (теплообменник) поступает хладагент, который находится в жидким состоянии и имеет низкое давление. При низкой температуре хладагент способен закипать и испаряться. Процесс испарения необходим для того, чтобы вещество поглотило тепло. Именно на этом этапе работы теплового насоса (например, в грунтовом тепловом насосе, грунте-воде) хладагент с низкой температурой, проходя по теплообменнику, отбирает тепло от теплоносителя (рассола), который ранее поднялся из скважин, где отобразил низкопотенциальное тепло грунта.

Дело в том, что температура грунта в Средней Азии под землёй в любое время года составляет $+15 \dots +2^{\circ}\text{C}$. При использовании геотермального теплового насоса типа грунтовода устанавливаются вертикальные зонды, по которым циркулирует рассол (теплоноситель). Задача теплоносителя — нагреться до максимально возможной температуры во время циркуляции по глубинным зондам.

Когда теплоноситель отобрал тепло из грунта, он поступает в теплообменник теплового насоса (испаритель), где «встречается» с хладагентом, который имеет более низкую температуру. И согласно второму закону термодинамики происходит теплообмен: тепло от более нагретого рассола передаётся менее нагретому хладагенту.

Здесь очень важный момент: поглощение тепла возможно во время испарения вещества и, наоборот, отдача теплоты происходит при конденсации. Во время нагрева хладагента от теплоносителя он меняет своё фазовое состояние: хладагент переходит из жидкого состояния в газообразное (происходит процесс закипания хладагента, он испаряется). Пройдя через испаритель, хладагент находится в газообразной фазе. Это уже не жидкость, но газ, который отобрал тепло у теплоносителя (рассола).

2. Сжатие хладагента компрессором. На следующем этапе хладагент в газообразном состоянии попадает в компрессор. Здесь компрессор сжимает фреон, который за счёт резкого увеличения давления нагревается до определённой температуры. Аналогичным образом работает и компрессор обычного бытового холодильника. Единственное существенное отличие компрессора холодильника от компрессора теплового насоса — значительно меньшая производительность.

3. Передача тепла в систему отопления (конденсация). После сжатия в компрессоре хладагент, который имеет высокую температуру, поступает в конденсатор. В данном случае конденсатор — это тоже теплообменник, в котором во время конденсации происходит отдача теплоты от хладагента к рабочей среде отопительного контура (например, воде в системе тёплых полов, или радиаторов отопления).

В конденсаторе хладагент из газовой фазы снова переходит в жидкую фазу. Этот процесс сопровождается выделением тепла, которое используется для системы отопления в доме и горячего водоснабжения (ГВС).

4. Понижение давления хладагента (расширение). Теперь жидкий хладагент нужно подготовить к повторению рабочего цикла. Для этого хладагент проходит через узкое отверстие терморегулирующего вентиля (расширительного клапана). После «продавливания» через узкое отверстие дросселя хладагент расширяется, вследствие чего падает его температура и давление. Этот процесс сравним с распылением аэрозоля из баллончика. После распыления баллончик на короткое время становится холоднее. То есть произошло резкое падение давления аэрозоля вследствие продавливания наружу, температура, соответственно, тоже падает. Хладагент снова находится под таким давлением, при котором он способен закипеть и испаряться, что необходимо нам для поглощения тепла от теплоносителя. В быту все сталкиваются с теплонасосной установкой (ТНУ) и не замечают его — это обычный бытовой холодильник. Он забирает тепловую энергию изнутри холодильной камеры от продуктов и воздуха в нём и передает его воздуху помещения через горячую панель, которая, как правило, находится на задней стенке холодильника, т.е. отапливает помещение, в котором находится.



Рисунок 1. Устройство и принцип работы теплового насоса

Все тепловые машины (двигатели внутреннего сгорания, холодильные, паровые др.) работают циклически. Термин «цикл» («циклический процесс») указывает на непрерывное изменение

состояния системы (рабочего тела), в результате которого она возвращается в первоначальное состояние, из которого эти изменения начались.

Графически циклический процесс (цикл) изображается в виде замкнутой линии. В термодинамике рассматривают циклы, состоящие из строго определённой последовательности некоторых простейших изопроцессов, в результате протекания которых рабочее тело возвращается в исходное состояние [5].

В 1824 году инженер С. Карно впервые использовал термодинамический цикл для описания и анализа работы идеальной тепловой машины. По сути дела, КПД цикла Карно определяет теоретический предел возможных значений КПД тепловой машины для данного температурного интервала.

Этот цикл остаётся фундаментальной основой для сравнения с ним и оценки эффективности ТН, поскольку тепловой насос можно рассматривать как обращённую тепловую машину.

В прямых циклах (также их называют циклами двигателей, или энергетическими) мы получаем полезную работу, в обратных (их называют холодильные) для протекания процесса нужно подводить энергию, поскольку второе начало термодинамики задаёт направленность самопроизвольных термодинамических процессов, согласно ему невозможна самопроизвольная передача теплоты от холодного тела к тёплому.

В статьях, популяризирующих тепловые насосы, часто можно встретить фразу, что «тепловой насос – это холодильник наоборот». Важно понимать, что и холодильник, и тепловой насос работают по одному и тому же термодинамическому циклу – обратному.

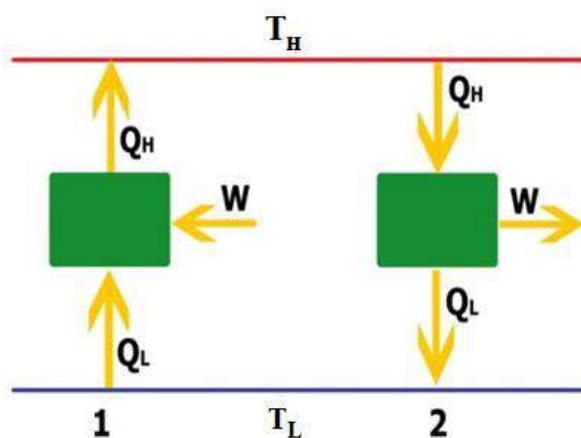


Рисунок 2. Термодинамическая схема теплового насоса (1) и теплового двигателя (2)

Просто в первом случае целью является создание пониженной температуры внутри холодильной камеры, и с помощью дополнительно затраченной энергии теплота из холодильника отводится в окружающую среду. А во втором целью является создание повышенной температуры внутри помещения, и с помощью дополнительно затраченной энергии теплота из окружающей среды отводится в помещение, т.е. окружающая среда охлаждается.

Тепловая машина (рисунок 2) получает тепло Q_H от нагревателя (высокотемпературного источника), совершают работу A и часть теплоты Q_L отдаёт в охладитель при низкой температуре T_L . Тепловой насос требует затраты работы A для получения тепла Q_L при низкой температуре T_L и отдачи его при более высокой T_H . Можно показать, что если обе эти машины обратимы (т. е. термодинамические процессы не содержат потерь тепла или работы), то существует конечный предел эффективности каждой из них, и в обоих случаях это есть отношение Q_H/A [5].

Принципиальная схема и принцип работы наиболее распространённой парокомпрессионной ТНУ может быть описана следующим образом (рисунок 3):

1. Во внешнем теплообменнике (испарителе) тепловая энергия из окружающей среды за пределами здания или из другого доступного источника тепла передаётся рабочему телу ТНУ - хладагенту (как правило, фреону), циркулирующему по внутреннему контуру.

2. Фреон нагревается, испаряется и направляется в сторону компрессора. Компрессор сжимает фреон, при этом температура фреона возрастает.



Рисунок 3. Принципиальная схема теплового насоса

3. Далее сжатый фреон проходит через внутренний теплообменник (конденсатор), где конденсируется и отдаёт тепло в систему потребителя (прямой нагрев воздуха или теплоносителя системы отопления или технологического объекта, или приготовление горячей воды для потребителей).

4. Далее фреон проходит через дросселирующий клапан, понижающий давление, что сопровождается снижением температуры.

Хладагент под высоким давлением через капиллярное отверстие попадает в испаритель, где за счёт резкого уменьшения давления и подвода тепла происходит процесс испарения. При этом хладагент отбирает тепло у внутренних стенок испарителя, а испаритель, в свою очередь, отнимает тепло у земляного или водяного контура, за счёт чего он постоянно охлаждается. Компрессор вбирает хладагент из испарителя, сжимает его, за счёт чего температура хладагента резко повышается, и выталкивает в конденсатор. Кроме этого, в конденсаторе нагретый в результате сжатия хладагент отдаёт тепло (температура порядка 85-125°C) отопительному контуру и переходит в жидкое состояние. Процесс повторяется постоянно.

В технической термодинамике для характеристики холодильной машины используется так называемый холодильный коэффициент ε , определяемый как отношение количества теплоты Q_2 , взятого от охлаждаемых тел, к работе внешних сил A :

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A} \leq \frac{1}{T_1/T_2 - 1} \quad (1)$$

В отличие от коэффициента полезного действия (КПД) теплового двигателя (1) холодильный коэффициент ε может принимать значения больше единицы. Если речь идёт об энергетической эффективности теплового насоса, то он как холодильная машина характеризуется весьма высокой эффективностью, что иногда воспринимается и трактуется как парадоксальное явление.

Как выше сказано, что КПД теплового насоса больше 1, иногда (в идеальном случае) доходит до 5, если считать тепловой насос «чёрным ящиком», то действительно, устройство потребляет энергии меньше, чем производит тепла, что принципиально важно. В действительности никаких принципиальных трудностей в этом вопросе нет, и можно дать простое количественное объяснение возникающему парадоксу [5,9]. Доступность материала обеспечивается тем, что он базируется на использовании известной формулы С. Карно для максимального значения КПД теплового двигателя.

Всякий естественно идущий необратимый процесс (например, переход теплоты к телу с более низкой температурой) ведёт к «обесцениванию» внутренней энергии, к снижению её качества.

В обратимых процессах снижения качества энергии не происходит, поскольку все энергетические превращения могут идти в обратном направлении. Например, при обычном способе отопления вся теплота, выделяемая при сжигании топлива в печи, при нагревании спирали электрическим током и т. п., поступает в помещение в виде такого же количества теплоты, но

поскольку температура помещения ниже, чем в печи, у нагретой спирали и т. п., то происходит качественное обесценивание внутренней энергии.

Тепловой насос или система динамического отопления устраниет непосредственный необратимый теплообмен между телами с разными температурами [5].

При работе теплового насоса или системы динамического отопления происходит повышение качества внутренней энергии, передаваемой отапливаемому помещению из окружающей среды. При малой разности температур, когда качество этой энергии существенно не увеличивается, его количество становится больше, чем и объясняется высокая эффективность насоса и системы динамического отопления в целом [9].

Заключение. На основе проведённых исследований по тепловым насосам, можно сделать следующие выводы:

1. Было изучено устройство и принцип работы тепловых насосов с точки зрения термодинамических позиций и были показаны их преимущества по сравнению с другими тепловыми машинами.
2. Применение тепловых насосов в системе кондиционирования воздуха, обогрева помещений и других целей значительно снижает расход электроэнергии (топлива и других энергоресурсов), что является энергетически выгодным.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Попов, А. В. Анализ эффективности различных типов тепловых насосов / А. В. Попов // Проблемы энергосбережения. – 2005. – № 1. – С. 27–31.
2. Калнинь, И. М. Энергосберегающие теплонасосные технологии / И. М. Калнинь // Эколог. системы. – 2003. – № 6. – С. 14–17.
3. Инишева, Ю. В. Тепловые насосы в Беларуси. Интервью с С. В. Коневым, заведующим лабораторией терморегулирования Института тепло - и массообмена им. А. В. Лыкова / Ю. В. Инишева [Электронный ресурс]. –2010.
4. Проценко, В. П. Коэффициент преобразования парокомпрессионных тепловых насосов / В. П. Проценко, В. А. Радченко // Теплоэнергетика. – 1998. – № 8. – С. 32–42.
- 5.. Бутиков Е. И, А.А. Быков. Холодильная машина и тепловой насос. / Научно-методический журнал Физика в школе. 1990. – №5. – С. 74–76.
6. Кириллин В.А. и др. Техническая термодинамика. - М.: Наука, 1979.- С. 427.
7. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов / Е. Я. Соколов. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.
8. <https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/29384/1/TPU215411.pdf>
9. Nazarov M.R., Daminov M.I., Nazarova N.M., Kuchkarov J. Convective Heat Pump Dryers and Evaluation of Their Efficiency. RA JOURNAL OF APPLIED RESEARCH. ISSN: 2394-6709. DOI:10.47191/rajar/v7i12.09. Volume: 07 Issue: 12 December-2021
10. Nazarov Mustaqim Rashidovich, Nuriddinov Xurram, Nazarova Nargiza. The heat pump and its energy efficiency European Scholar Journal (ESJ) Available Online at: <https://www.scholarzest.com>. Vol. 2 No. 5, MAY 2021, ISSN: 2660-5562
11. Везиришвили О.Ш. Тепловые насосы и экономия топливно-энергетических ресурсов / // Известия вузов. Энергетика. – 1984. – № 7. – С. 61-65.