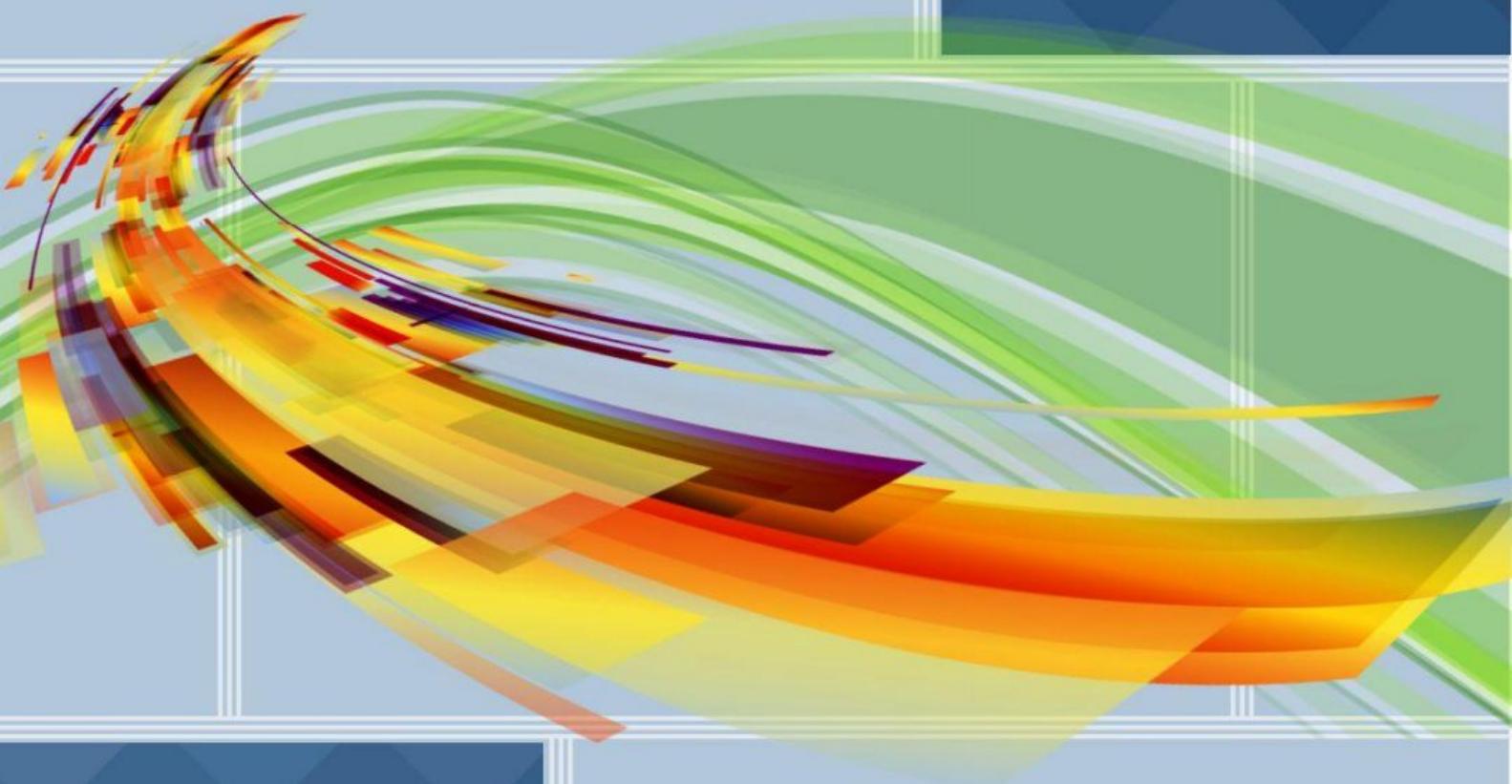




# XXIV Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартовского государственного университета



## Часть 2

Математика. Физика.  
Энергетика. Электротехника.  
Нефтегазовое дело

Нижневартовск, 5-6 апреля 2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Нижневартовский государственный университет»

**XXIV Всероссийская студенческая  
научно-практическая конференция  
Нижневартовского  
государственного университета**

**Часть 2**

*Математика. Физика.  
Энергетика. Электротехника. Нефтегазовое дело*

*г. Нижневартовск,  
5-6 апреля 2022 г*

Нижневартовск  
НВГУ  
2022

ББК 72я43  
B85

16+

Печатается по решению Ученого совета  
ФГБОУ ВО «Нижневартовский государственный университет»  
(протокол № 1 от 18.01.2022 г.)  
Приказ № 043-О от 05.03.2022

В 85

**XXIV Всероссийская студенческая научно-практическая конференция  
Нижневартовского государственного университета (г. Нижневартовск, 5-6  
апреля 2022 г) / Под общей ред. Д.А. Погонышева. Ч. 2. Математика. Физика.  
Энергетика. Электротехника. Нефтегазовое дело. Нижневартовск: изд-во НВГУ, 2022.  
242 с.**

ISBN 978-5-00047-645-1

ББК 72я43



Тип лицензии СС, поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

ISBN 978-5-00047-645-1

© НВГУ, 2022



9 785000 476451 >



**XXIV Всероссийская студенческая научно-практическая конференция  
Нижневартовского государственного университета**

**Математика. Физика**

УДК 511.33

**Афанасьева Е.С., Белозерцева М.И.**  
Воронежский государственный педагогический университет,  
г. Воронеж, Россия

### **ЛОГАРИФМЫ**

Как только школьники доходят до темы логарифмы, у них возникает вопрос «Зачем? Зачем нужны логарифмы и кто их придумал?». Так давайте разберемся для чего же они были всё-таки созданы. История логарифмов начинается ещё с Античности. Ещё тогда знали, что при перемножении степеней с одинаковым основанием показатели степеней складываются. Это и послужило толчком к появлению логарифма. Большую роль в развитии математики сыграла Эйлер. Вспомните, что такое логарифм. Тогда для решения задачи, достаточно

**ББК 72я43  
B85**

**16+**

Печатается по решению Ученого совета  
ФГБОУ ВО «Нижневартовский государственный университет»  
(протокол № 1 от 18.01.2022 г.)  
Приказ № 043-О от 05.03.2022

**B 85            XXIV Всероссийская студенческая научно-практическая конференция  
Нижневартовского государственного университета (г. Нижневартовск, 5-6  
апреля 2022 г) / Под общей ред. Д.А. Погонышева. Ч. 2. Математика. Физика.  
Энергетика. Электротехника. Нефтегазовое дело. Нижневартовск: изд-во НВГУ, 2022.  
242 с.**

**ISBN 978-5-00047-645-1**

**ББК 72я43**



Тип лицензии СС, поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

ISBN 978-5-00047-645-1

© НВГУ, 2022



УДК 697.7

Даутов Р.Р.

Казанский государственный энергетический университет  
г. Казань, Россия

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

В настоящее время запасы традиционных источников тепловой энергии, а именно ископаемого органического топлива ограничены, их добыча становится всё более трудной и затратной, а использование наносит большой вред экологии. Именно поэтому сейчас большое внимание в сфере теплоснабжения уделяется применению нетрадиционных источников в качестве альтернативы. Так, следует выделить внедрение теплонасосных установок в индивидуальные системы отопления. Данные устройства широко распространены во всем мире благодаря их высокой эффективности, простоте и безопасности.

Тепловой насос - это устройство, представляющее собой генератор тепловой энергии, который берет низкопотенциальное тепло из окружающей среды и передает его теплоносителю, циркулирующему в системе отопления жилого здания. Конструктивно тепловой состоит из трех контуров: контура, где находится теплоноситель, который переносит энергию от источника тепловой энергии низкого потенциала; контура, где циркулирует холодильный агент, здесь имеются два теплообменника – испаритель и конденсатор, а также такие составные элементы, как дроссельный клапан и компрессор; контура, в котором находится теплоноситель системы отопления. Хладагент переходит из жидкой фазы в газообразную, вскипая в испарителе от тепла источников из окружающей среды, направляется в компрессор, в котором его температура и давление существенно повышаются. Высокопотенциальное тепло, полученное в результате сжатия, проходит через конденсатор, отдавая энергию теплоносителю [5, с. 115].

Для работы теплового насоса необходимо, чтобы к потребителю была подведено достаточное количество электроэнергии, нужное для привода компрессора. Дополнительная электрическая мощность при необходимости берется из сети. К примеру, для отопления жилого индивидуального здания с помощью теплового насоса площадью около 100 квадратных метров, как правило, достаточно электрической мощности от 3 до 4 кВт. Если работа ТН осуществляется в ночное время, то отсутствует потребность в дополнительной присоединенной мощности. Также можно применять различные аккумуляторы тепла, для того, чтобы обеспечить выравнивание графика теплоснабжения в течение суток. Наличие подходящего источника тепла низких потенциалов в соответствующем регионе является обязательным условием эффективного использования теплового насоса. В странах с умеренным климатом в качестве природного источника теплоты часто используется наружный воздух. Для России данный вид низкопотенциального источника невыгоден в связи с очень низкими температурами в зимнее время. Лучшим вариантом для тепловых насосов является наличие вблизи источника сбросного тепла от промышленного предприятия [8, с. 8].

Итак, тепловые насосы, применяющиеся для отопления жилых зданий, классифицируются по виду источника низкопотенциальной тепловой энергии: использующие тепло земли - геотермальные, водоёмов – водяные и атмосферного воздуха – воздушные тепловые насосы. Также может использоваться тепловая энергия вторичных энергоресурсов – канализационные стоки, сбросы тепловых электростанций, вентиляционные выбросы и др. По типу конструкции тепловые насосы делятся на абсорбционные, парокомпрессионные и термоэлектрические. Также их делят по виду холодильного агента: различные виды фреона, аммиак, природные хладагенты.

Оптимальным низкопотенциальным источником тепловой энергии является вода в водоемах, реках и родниках. С данной системой теплового насоса можно обеспечить максимальный теплообмен между контурами. Для теплоснабжения жилого здания водяным тепловым насосом существуют две системы отбора тепловой энергии: открытая и закрытая системы. В первом случае вода подается из водяного источника непосредственно в контур теплового насоса. Из достоинств такой системы можно выделить низкую стоимость. Однако обслуживание в этом случае достаточно трудоемко. Возможность замерзания воды во время её транспортирования к тепловому насосу является существенным недостатком данной системы. Для регионов северной и центральной частей России такая система неприемлема ввиду холодного климата. Закрытая же система отбора тепла состоит из замкнутого контура, который представляет собой группу из трубопроводов, опущенных на дно водоема [1, с. 72].

Наименее эффективным типом теплового насоса, как упоминалось ранее, исходя из климатических условий России, является воздушный тепловой насос. Он представляет собой устройство, которое предназначено для извлечения тепловой энергии из окружающего воздуха и его дальнейшего использования в системе ГВС (горячего водоснабжения) и отопления жилого здания. Конструкция данного агрегата обычно представляет собой либо моноблок, либо сплит-систему. Тепловые насосы данного типа просты, легко устанавливаются и не требуют дополнительных работ - прокладки труб и бурения скважин. Однако из-за прямой зависимости эффективности воздушного теплового насоса от погодных условий и температуры окружающей среды делает его невыгодным способом для отопления здания.

Наиболее эффективным для отопления здания является геотермальный парокомпрессионный тепловой насос. Температура грунта и грунтовых вод на глубине нескольких метров практически не зависит от сезонных колебаний. В случае использования горизонтального коллектора трубы укладываются в землю на глубине ниже уровня промерзания земли. Вертикальные же теплообменники представляют собой геотермальные зонды, трубы которых располагаются в вертикальном положении и погружены в грунт на глубину от ста до двухсот метров [2, с. 161].

Главное преимущество системы теплоснабжения с тепловым насосом типа «грунт-вода» состоит в том, что температура источника тепловой энергии не зависит от изменения внешних климатических условий. Это обеспечивает высокую эффективность агрегата. Работа такой системы надежна и устойчива. Кроме этого, данный вид теплового насоса может обеспечить жилое здание не только отоплением, но и ГВС.

Использование грунта в качестве низкопотенциального источника оправдано тем, что он способен накапливать теплоту от солнечной энергии и сохранять относительно постоянную температуру в течение всего холодного периода года. При устройстве такой теплонасосной системы сбор тепла осуществляется как его отбор из источника и далее - отвод к отапливаемому зданию. Потребленная тепловая энергия компенсируется теплопоступлениями из окружающего грунтового массива, тем самым позволяя продолжительное время использовать землю в качестве источника низкопотенциальной теплоты для испарителей системы теплоснабжения жилого здания с тепловым насосом.

Из основных недостатков геотермальных тепловых насосов стоит выделить большие капитальные затраты на оборудование, эксплуатацию и необходимость в сложных земляных работах по созданию теплообменных контуров [9, с. 40].

Кроме вида используемого теплового насоса, существенно на энергоэффективность влияет выбранный тип холодильного агента. При выборе хладагента обязательно должны учитываться различные факторы, такие как критическая температура холодильного агента, показатели его эффективности - холодопроизводительность, холодильный коэффициент, а также горючесть, токсичность потенциалы глобального потепления и разрушения озонового слоя Земли. В настоящее время, современные тепловые насосы способны достигать температуры конденсации в пределах от 60 до 70 градусов. Чтобы соответствовать требованиям потребителей тепловой энергии разрабатываются парокомпрессионные тепловые насосы, работающие на фреоновых, а также природных хладагентах с температурой конденсации до 130 градусов. Такие тепловые насосы используют помимо тепла низкого потенциала различные виды вторичных источников теплоты. Из хладагентов, использующихся для высокотемпературных тепловых насосов можно выделить воду, углекислый газ (R744), а также аммиак (R123), R134a, R123, R236fa и другие. Так, например, с точки зрения производительности, тепловые насосы на основе диоксида углерода R744 отличаются своей возможностью производить гораздо более высокие температуры на выходе. Это объясняется тем, что данный вид хладагента не полностью меняет фазу, как традиционные рабочие жидкости. Очень высокая температура газа после компрессора в цикле на углекислом газе не связана напрямую с давлением, как в случае с парокомпрессионными тепловыми насосами. Значительное изменение температуры при охлаждении газа - диоксида углерода в надкритической области дает возможность нагревать теплоноситель на большую разность температур и с минимальными потерями тепловой энергии [7, с. 107].

Отличительной чертой тепловых насосов на диоксиде углерода является использование транскритического цикла и отсутствие в конструкции конденсатора. Это объясняется тем, что отвод тепла от холодильного агента в транскритическом цикле происходит при температуре, превышающей критическую точку, соответственно конденсации не происходит. Вместо второго теплообменника в контуре насоса используется газоохладитель. При прохождении газообразного диоксида углерода через него температура снижается, а тепло, отводимое на высокотемпературной стороне, используется для обогрева здания или системы ГВС. Преимущество тепловых насосов на углекислом газе также состоит в высоком КПД

(коэффициента полезного действия) компрессора. Несмотря на недостаточную эффективность и малоизученность теоретического транскритического цикла, цикл сверхкритического охлаждения диоксида углерода может конкурировать с циклом сжатия пара с использованием других хладагентов, т.е., в цикле парокомпрессии [4, с. 192].

Эффективность работы теплового насоса определяет такой показатель как коэффициент трансформации COP (coefficient of performance). Иначе его называют коэффициентом преобразования теплоты и коэффициентом оценки эффективности. Для расчета коэффициента COP берут отношение между тепловой производительностью и потребляемой электрической мощностью. Следовательно, чем выше значение COP, тем меньше электрической энергии требуется тепловому насосу для работы в качестве источника тепловой энергии в системе отопления. Коэффициент преобразования теплонасосной установки зависит также от разности температур испарения хладагента в первом теплообменнике – испарителе, и его конденсации во втором теплообменнике - конденсаторе. Чем меньше данная разность, тем выше коэффициент трансформации теплового насоса.

Наибольшим коэффициентом преобразования теплового насоса будет система с грунтовой водой, так как разность температур источника и приемника тепла в этом случае минимальны. Температура подземных артезианских вод круглогодично неизменна и постоянна и находится в пределах 8-12 градусов. Поэтому коэффициент преобразования теплового насоса COP в течение всего года имеет хороший показатель. Итак, главными мероприятиями по увеличению коэффициента COP является хорошая тепловая изоляция помещений, использование современных приборов учета электрической энергии, а также применение систем рекуперации.

Воздушный тепловой насос для системы отопления будет иметь крайне низкий COP в холодное время года, так как его эффективность напрямую зависит от температуры атмосферного воздуха. В сильные морозы, когда температура составит ниже минус 25 градусов, такой тип ТН не обеспечит нужды потребителя в обогреве жилого здания. Хоть и установка такого типа устройства обойдется дешевле, он всё же данная система будет потреблять много электрической энергии.

Говоря про коэффициент трансформации COP водяных тепловых насосов, следует обратить внимание на то, что они также теряют свою эффективность в сильные холодные месяцы. Внешней низкопотенциальной тепловой энергии будет недостаточно для испарения хладагента, потребуется дополнительный источник тепловой энергии [6, с. 261].

Для того чтобы использование парокомпрессионного теплового насоса для отопления было максимально эффективным, необходимо соблюдать несколько рекомендаций. Во-первых, тепловые потери отапливаемого помещения не должны составлять не более 100 Вт на один квадратный метр. Во-вторых, нужно учесть, что наиболее эффективное использование теплового насоса будет достигаться в низкотемпературных системах отопления. Бивалентная система теплоснабжения, т.е., комплект теплового насоса с другими дополнительными теплогенераторами также даст возможность максимально использовать тепловую мощность насоса. Так, например, совместно с теплонасосной установкой можно использовать

традиционно газовый, твердотопливный или электрический котел, солнечные коллекторы и батареи [3, с. 40].

Преимуществами альтернативного отопления с тепловым насосом являются возобновляемая и практически неиссякаемая тепловая энергия из природных источников для нужд отопления и ГВС, безопасность и экологичность, отсутствие риска возгорания, бесшумность работы, отсутствие нужды в топливе, высокая эффективность и производительность, а также способность автоматического регулирования и дистанционное управление системой.

Таким образом, применение тепловых насосов в отоплении индивидуальных жилых зданий с эксплуатационной точки зрения является экономичным и энергоэффективным, однако это требует существенных капитальных затрат на стадии проектирования, а также на стадии установки оборудования.

### Литература

1. Гатауллина И.М. Использование тепловых насосов в системах теплоснабжения зданий // Научному прогрессу – творчество молодых. 2018. №2. С. 71-74.
2. Гатауллина И.М. Построение системы теплоснабжения на основе теплового насоса // Тинчуринские чтения: Сборник статей XIII молодежной научной конференции (г. Казань, 24–27 апреля 2018). Казань, 2018. С. 160-162.
3. Гатауллина И.М. Технология устройства снегоплавильных станций на основе применения тепловых насосов // Инженерные кадры - будущее инновационной экономики России: Сборник статей международной научно-практической конференции (г. Йошкар-Ола, 5-8 ноября, 2019). Йошкар-Ола, 2019. С. 38-41. 2019. С. 38-41.
4. Даутов Р.Р. Диоксид углерода как хладагент тепловых насосов, применяемых в системах теплоснабжения // Туполовские чтения: Сборник статей XXV международной молодежной научной конференции (г. Казань, 10-11 ноября 2021). Казань, 2021. С. 191-195.
5. Даутов Р.Р. Модернизация системы теплоснабжения с применением теплового насоса // Тинчуринские чтения: Сборник статей молодежной научной конференции (г. Казань, 28–30 апреля 2021). Казань, 2021. С. 114-116.
6. Даутов Р.Р. Особенности систем теплоснабжения с применением теплового насоса // Актуальные вопросы прикладной физики и энергетики: Сборник статей II международной научной конференции (г. Сумгаит, 12-13 ноября 2020). Сумгаит, 2020. С. 259-263.
7. Даутов Р.Р. Перспективы применения тепловых насосов // Инженерные кадры - будущее инновационной экономики России: Сборник статей международной научно-практической конференции (г. Йошкар-Ола, 10-13 ноября, 2020). Йошкар-Ола, 2020. С. 107-108.
8. Кобылкин М.В. Повышение эффективности использования тепловых насосных установок в системах «ТЭЦ-потребитель»: Автореф. дис. ... канд. тех. наук. Иркутск, 2018. 22 с.
9. Тимофеев Д.В. Разработка метода расчета теплоносочных систем с грунтовым теплообменником для определения их энергетического ресурса: Дис. ... канд. тех. наук. Москва, 2021. 120 с.

