

Литаврин Игорь Вадимович
студент магистратуры
3 курс, факультет «заочный»
Липецкий Государственный Технический Университет
Россия, г. Липецк

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ
ЧАСТНОГО ЖИЛЬЯ. РЕКУПЕРАЦИЯ ТЕПЛА И ПОДОГРЕВ ВОЗДУХА
ПРИ ПОМОЩИ КАНАЛЬНЫХ РАДИАТОРОВ. ПАССИВНОЕ
ОХЛАЖДЕНИЕ ЗДАНИЯ ЭНЕРГИЕЙ ЗЕМЛИ.**

Аннотация. В статье рассмотрены тенденции роста стоимости жилищно-коммунальных услуг на отопление и электроэнергию и проблемы экологичности действующих на данный момент тепловых электростанций на территории Липецкой области. А также приведены пути их решения методом внедрения в обиход современных энергоэффективных технологий, способных снизить риски истощения мировых запасов ископаемых энергоносителей.

Ключевые слова. Экология, энергоэффективность, альтернативные источники тепловой энергии, геотермальное отопление, тепловые насосы, рекуперация тепла, станция пассивного охлаждения.

Annotation. The article deals with the trends of growth in the cost of housing and communal services for heating and electricity and the problems of environmental friendliness of currently operating thermal power plants in the Lipetsk region. The ways of their solution by the introduction of modern energy-efficient technologies that can reduce the risks of depletion of the world's fossil energy resources are also presented.

Keyword. Ecology, energy efficiency, alternative sources of thermal energy, geothermal heating, heat pumps, heat recovery, passive cooling station.

Актуальность темы. С июня 2010 года в Нашей стране запущена система ежегодного повышения тарифов на энергоносители. Таким образом, экономичный расход топливно-энергетических ресурсов является на сегодняшний день актуальной проблемой. Перспективным путём решения этой проблемы, стало использование энергосберегающих технологий, базирующихся на использовании альтернативных источников энергии. Выработка тепла и холода с помощью тепловых насосов получает всё большее распространение в мире и относится к области экологически чистых энергосберегающих технологий. Однако в России тепловые насосы не приобрели должного распространения в жизни граждан, в связи с высокой стоимостью и сроками окупаемости оборудования. Для средней полосы России единственным решением является применение бивалентной схемы отопления, при которой основную (базовую) нагрузку несёт тепловой насос, а пиковые нагрузки покрываются вспомогательным источником (газовый или электродкотёл). Ещё одним недостатком данной отопительной системы является расход больших площадей земельного участка для размещения коллекторов тепла. Вероятно, в недалеком будущем у нас появится возможность использования тепловых насосов комбинированно с существующими системами централизованного теплоснабжения. К потребителю может поставляться относительно холодная вода, тепла которой будет достаточно для преобразования тепловым насосом в тепло с потенциалом, необходимым для отопления. При этом теплотери на пути к потребителю будут незначительными, вследствие гораздо меньшей температуры теплоносителя, а износ труб центрального отопления сведётся к минимуму, так как холодная вода обладает меньшей коррозионной активностью.

Степень проблемы: Оценивая изменение стоимости энергоресурсов в периоде с 2000 по 2019 год, стоит констатировать увеличение в 5-8 раз. При оценке изменения стоимости продуктовой корзины, уровень инфляции в этой области составил увеличение в 2-3 раза. При все при этом в стране произошли реальные положительные изменения и уровень заработной платы населения вырос в 2,5-3,5 раза.

Существует статистика энергоснабжающих организаций, по задолженностям за коммунальные услуги. В период с 2000 по 2019 г. они увеличились в 2-3 раза. Повышение цен на энергоресурсы было обоснованным политическим решением государства, для того чтобы спровоцировать развитие и активное продвижение альтернативных систем энергоснабжения зданий.

Цель: Задействовать геотермальный насос в связке с газовым котлом для экономичного отопления здания в зимний период и станцию пассивного охлаждения для кондиционирования помещений летом.

Обогрев здания при помощи тепла окружающей среды.

Использование теплового насоса для обогрева и нагрева воды, благодаря энергии почвы, на сегодняшний день является актуальным методом получения альтернативной экологически чистой энергии.

Явным преимуществом теплового насоса, по сравнению с обычными отопительными устройствами является то, что они используют энергию окружающей среды.

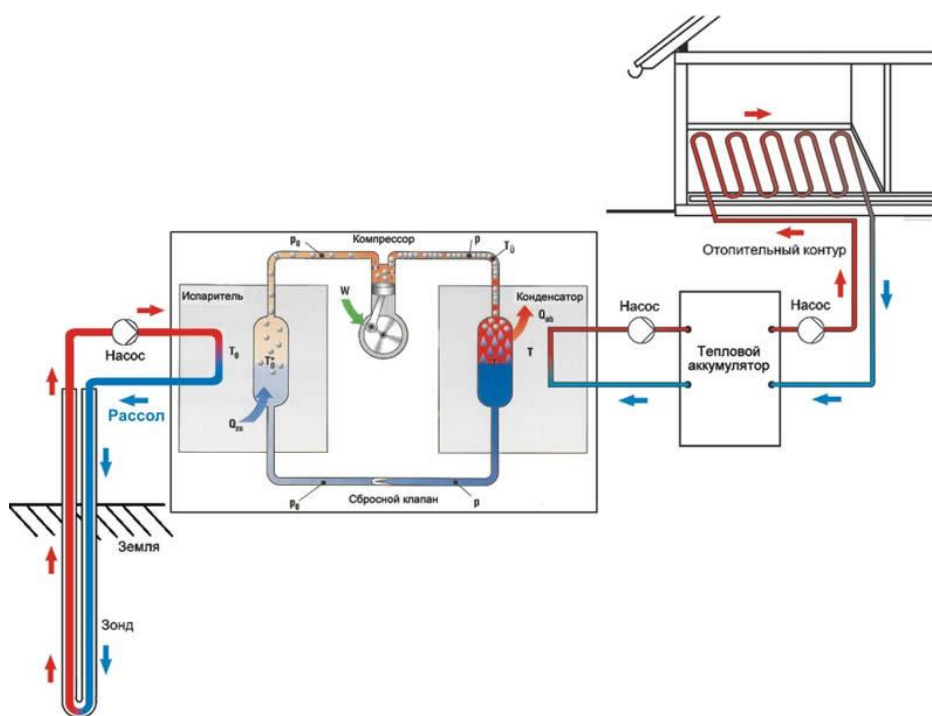


Рис.1 «Общая схема отопительной системы»

Работа инженерного оборудования основывается на испытанном и надёжном «принципе холодильника». Тепловой насос забирает тепло окружающей среды и передаёт его в отопительные приборы, также как

холодильник забирает тепло у продуктов и выделяет его через заднюю поверхность в помещение. Таким образом, тепловой насос использует естественное стремление тепловой энергии «из источника тепла к теплоотводу», то есть в холодное место внутри закрытого контура циркуляции хладагентов. При этом тепловой насос переводит тепло окружающей среды на более высокий температурный уровень, пригодный для обогрева.

Почву можно использовать, как два различных источника тепла: поверхностного и геотермального. Коллекторы поверхностного тепла располагаются горизонтально, ниже глубины промерзания грунта, и принимают тепло накопленное верхними слоями почвы, которое прогрело солнечная радиация. Геотермальные коллекторы используют тепло недр земли, стремящееся на поверхность. Располагаются они вертикально на глубину до 150 м. Так как температура у обоих источников выше нуля, а так же постоянная и равномерная в любой сезон года, тепловые насосы обладают высоким коэффициентом полезного действия и высоким годовым показателем эффективности.

Принцип работы теплового насоса.

В испаритель поступает хладагент (жидкость с очень низкой температурой кипения). Так как температура хладагента и его давление ниже чем у источника тепла, в нашем случае почвы, тепло из источника устремляется в хладагент, доводя его до состояния кипения, в результате чего вещество испаряется и попадает в компрессор. Далее газообразный хладагент сгущается, благодаря воздействию высокого давления, из за чего температура рабочего вещества становится ещё выше. Энергия, приводящая в действие компрессор, также превращается в дополнительное тепло. При достижении хладагентом необходимых показателей температуры и давления, требуемых для обогрева и нагрева воды, процесс переходит в конденсатор. Через конденсатор горячий газообразный хладагент передаёт тепло отопительным приборам, которые выполняют роль теплоотвода, после чего его температура опускается ниже точки конденсации, и уже сжиженный хладагент, но при этом находящийся под

высоким давлением устремляется к расширительному клапану (предназначен для снятия давления на выходе). Цикл повторяется.

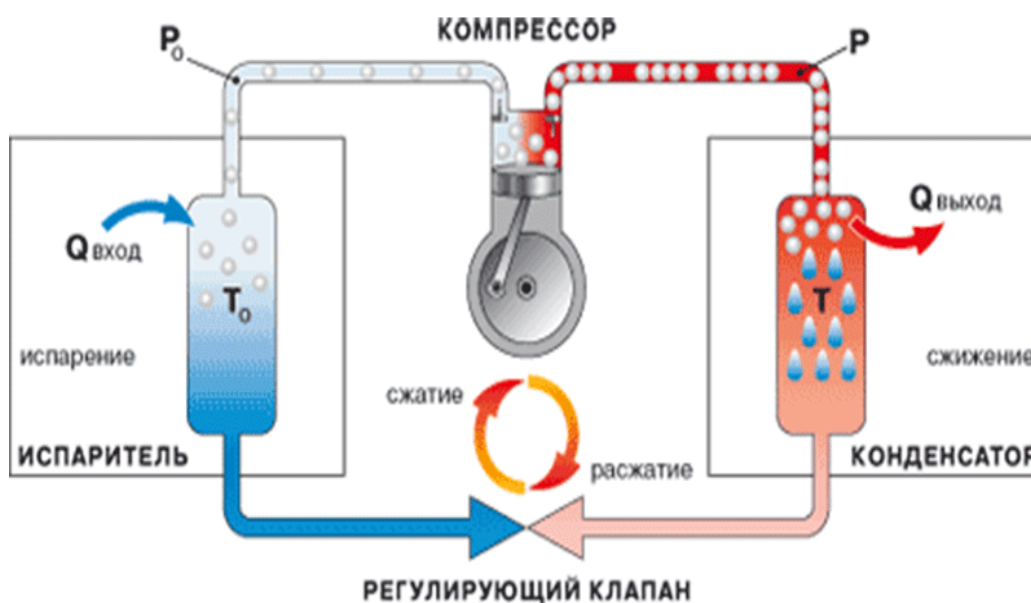


Рис.2 «Устройство теплового насоса»

Выбор отопительного оборудования и коэффициент мощности.

В зависимости от источника тепла для теплового насоса, а также от того, какое отопительное устройство планируется к монтажу в здании, или от того, какая отопительная техника уже есть в здании тепловые насосы могут работать в различных режимах.

Одновалентный режим:

Всю отопительную и водонагревательную нагрузку несёт тепловой насос. Лучшими источниками тепла для одновалентного режима являются почва и грунтовые воды, потому что они поставляют достаточное количество тепла независимо от наружной температуры, т.е. даже при низких температурах.

Многоэнергетический режим:

С целью учёта пика потребления установки с моноэнергетическим режимом работы оснащены дополнительным отопителем, который может

поддерживать процесс отопления, а по возможности и процесс нагревания воды. В этом случае дополнительный отопитель может взять на себя функцию временного нагревания воды для защиты от легионелл. Установка с тепловым насосом, оснащённая интегрированным электрическим дополнительным отопителем может иметь меньшие параметры и быть по этой причине более выгодной для приобретения. При этом важным является точное определение параметров для того, чтобы дополнительный отопитель потреблял как можно меньше электроэнергии. Экономия затрат на проходку скважины для меньшего теплового насоса, как правило, не сохраняется, т.к. годовое число часов эксплуатации при моноэнергетическом режиме работы повышается по сравнению с одновалентным режимом работы. Данный факт должен учитываться при выборе источника тепла.

Бивалентно-параллельный режим:

Установки, работающие в бивалентно-параллельном режиме, оборудованы как тепловым насосом, так и прочими производителями тепла. В одно-и двухквартирных домах наряду с воздушно-водяным насосом часто используется, например, котёл на жидком топливе. При этом в роли основного производителя тепла выступает тепловой насос. Если наружная температура опускается, ниже определенного предела, например, 0 °С, дополнительно включается второй производитель тепла.

Бивалентно-альтернативный режим:

Установки, работающие в бивалентно-альтернативном режиме, также оборудованы как тепловым насосом, так и вторым производителем тепла. Но в отличие от бивалентнопараллельного режима работы, в данном случае тепловой насос и второй производитель тепла никогда не работают одновременно. Вместо этого годовая потребность в энергии поделена на одинаковые части между тепловым насосом и обычным отопительным котлом.

Если наружная температура выше определённого предела, например, выше 3 °С, работает исключительно тепловой насос. При более низких

температурах для всего производства тепла используется только отопительный котёл.

В соответствии со СНиП 2.01.01-82 "Строительная климатология и геофизика" город Липецк относится ко второму климатическому району.

- Температура наружного воздуха: $t_{\min} -38\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- t холодных суток $-31\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- t холодной пятидневки $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- t ср.отопительного периода $-3,4\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- продолжительность отопительного периода $Z = 199$ суток.
- глубина промерзания $1,4$ м.
- грунт основания – суглинок.

Геотермальный насос в связке с газовым котлом для экономичного отопления здания в зимний период - оптимальное решение для нашего климатического района. Система рекуперации тепла поможет минимизировать теплопотери здания и обеспечить требуемый воздухообмен в помещениях. Станция пассивного охлаждения для кондиционирования помещений летом будет выгодным и экономичным решением для создания комфортной среды в летний период.

Чтобы сократить расходы на отопление и добиться максимальной производительности инженерного оборудования, рассмотрим гибридный вариант отопления, которое будет осуществляться при помощи теплого пола в помещениях, где человек проводит значительную часть времени и алюминиевых радиаторов в помещениях технического и коммуникационного назначения.

Температуру нагрева пола примем $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, радиаторов $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ при температуре источника тепла $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Коэффициент мощности ϵ , также называемый COP (англ. Coefficient Of Performance – коэффициент полезного действия) является измеренным, или вычисленным для определённых условий эксплуатации параметром тепловых насосов, схожим с нормированным потреблением топлива у автомобилей.

Расчёт КПД:

$$\varepsilon=0,5*(T/(T-T_0))=0,5*((T+T_0)/\Delta T)$$

T - Абсолютная температура теплоотвода в К,

T₀ - Абсолютная температура источника тепла в К.

Обогрев пола

$$T = 35^{\circ}\text{C} = (273 + 35) \text{ K} = 308 \text{ K}$$

$$T_0 = 0^{\circ}\text{C} = (273 + 0) \text{ K} = 273 \text{ K}$$

$$\Delta T = T - T_0 = (308 - 273) \text{ K} = 35 \text{ K}$$

$$\varepsilon=0,5*(308 \text{ K}/35 \text{ K})=4,4$$

Радиаторное отопление

$$T = 50^{\circ}\text{C} = (273 + 50) \text{ K} = 323 \text{ K}$$

$$T_0 = 0^{\circ}\text{C} = (273 + 0) \text{ K} = 273 \text{ K}$$

$$\Delta T = T - T_0 = (323 - 273) \text{ K} = 50 \text{ K}$$

$$\varepsilon=0,5*(323 \text{ K}/50 \text{ K})=3,2$$

Расчёт мощности теплового насоса.

Для теплового насоса был выбран бивалентно-параллельный режим с использованием коллекторов поверхностного тепла.

Отапливаемую площадь здания примем 140 м² и удельную отопительную нагрузку 50 Вт/м² в соответствии с постановлением об экономии энергии.

Число проживающих в доме людей примем 4 человека с потребностью в горячей воде 80 литров в день (200 ватт на человека).

Нагрузка на отопление рассчитывается по формуле:

$$Q_n = A * q_n, \text{ где}$$

Q_n – тепловая нагрузка в Вт,

A - отапливаемая площадь здания в м²,

q_n – удельная отопительная нагрузка в Вт/м²,

$$Q_n = 140 \text{ м}^2 * 50 \text{ Вт/м}^2 = 7000 \text{ Вт}, \text{ дополнительно нагрев воды } Q_{ww} = 4 * 200 \text{ Вт} = 800 \text{ Вт},$$

Сумма отопительных нагрузок:

$$Q_{hl}=7000+800=7800\text{w}$$

Будем использовать тепловой насос Logatherm WPS9 с режимом В0/W35 и мощностью 9,2 кВт.

Расчет хладопроизводительности:

$$Q_0 = Q_{wp} - P_{el}, \text{ где:}$$

Q_0 – хладопроизводительность,

Q_{wp} – теплопроизводительность установки с тепловым насосом в кВт,

P_{el} – Электрическая потребляемая мощность теплового насоса в кВт.

$$Q_0 = 9,2\text{kWt} - 1,99\text{kWt}(\text{потребление}) = 7,21\text{kWt}$$

Площадь теплообменника:

$$A = Q_0 / q, \text{ где:}$$

A – рабочая поверхность коллектора в m^2 ,

Q_0 – хладопроизводительность,

q – удельная мощность извлечения из почвы кВт/ m^2 .

Удельная мощность извлечения для грунта (суглинок) 20 кВт/ m^2 согласно ДИН 4640

$$A = 7,21\text{kWt} / 0,02\text{kWt}/\text{m}^2 = 360,5\text{m}^2 \text{ с шагом } 0,8\text{м.}$$

Длина трубы: $360,5 / 0,8 = 450$ п.м 5 контуров пластиковой трубы 32x3, глубина размещения 1,5м.

Потери давления в ней составят 45 Па/м.п.; сопротивление одного контура – примерно 7 кПа; скорость протока теплоносителя – 0,3 м/с.

Общая заправка этиленгликолевого раствора:

Теплоёмкость раствора при температуре 0°C составляет 3,7 кДж/(кг·К),
Плотность раствора 1,05 г/ cm^3

t – разность температур между подающей и возвратной линиями, которую часто принимают равной 3 °К.

$$V_s = 7,21\text{kWt} \cdot 3600 / (1,05 \cdot 3,7 \cdot 3) = 2,227 \text{ м}^3, \text{ в одном контуре равен } 0,45 \text{ м}^3.$$

$$\text{Принимаем: } S_{\text{покрытия}} = 360 \text{ м}^2$$

длина труб: 450 П.М. (6 контуров по 75 м).

Для предотвращения образования конденсата применена паронепроницаемая изоляция для всех трубопроводов рассола, проходящих в доме и через стену дома.

Расчёт котла.

Поскольку для водоподогревания необходимы высокие температуры, большинство установок с газовыми котлами осуществляют подачу с температурой от 70 °С до 75 °С, которая регулируется термостатом котла. Перегрев здания предотвращается с помощью подсоединенных систем регулирования, например, таких как смесительные клапаны и клапаны термостата.

Определяем требуемую мощность по площади: $140 \text{ кв.м} / 10 \text{ м}^2 = 14 \text{ кВт}$.

Поправочный коэффициент - $1,2 = 16,8 \text{ кВт}$.

Вносим поправку на регион: $16,6 \text{ кВт} * 1,2 = 20,16 \text{ кВт}$.

Котёл будет греть воду, потому добавляем 25% $20,16 \text{ кВт} * 1,25 = 25,2 \text{ кВт}$.

Добавляем 10 % на холода: $25,2 \text{ кВт} * 1,1 = 27,72 \text{ кВт}$.

Буфер.

Буфер – это большой резервуар для воды в системе отопления, используемый как накопитель тепловой энергии. Предназначен для отделения друг от друга производителя тепла и его потребителей, осуществляя тем самым выравнивание теплового баланса. Важно использовать буфер с хорошей теплоизоляцией, что позволяет минимизировать потери тепла и эффективнее использовать хранилище.

Система вентиляции с рекуперацией тепла.

С помощью вытяжного коллектора поддерживается воздухообмен в помещениях и одновременно повышается эффективность теплового насоса.

Вытяжной коллектор выводит отработанный воздух из помещений с высокой степенью потребности в вентиляции (кухня, ванная комната, уборная).

Свежий воздух поступает в помещения через клапаны на наружной стене в рекуператор, который предварительно его подогревает. Теплый отработанный воздух проходит в вытяжном коллекторе через теплообменник и

подогревается рассолом теплового насоса. Благодаря этому тепловой насос должен преодолеть только минимальную разность температур.

Станция пассивного охлаждения.

Так как рассол обычно имеет сравнительно низкую температуру, он может быть использован летом для охлаждения здания. Для этого рассол проводится через теплообменник, где он забирает тепло из воздуха помещения. Во время этого «пассивного охлаждения» компрессор теплового насоса остается выключенным. Тепловой коллектор сам обеспечивает необходимые низкие температуры.

Станция пассивного охлаждения предназначена для подключения к тепловым насосам с 6 кВт – 17 кВт. Она состоит из теплообменника, циркуляционного насоса, смесителя, а также платы для регулирования режима охлаждения. В режиме охлаждения система поддерживает температуру помещения постоянной, несмотря на повышение температуры окружающей среды и создаёт, таким образом, оптимальный микроклимат помещения.

Во время пассивного охлаждения компрессор в тепловом насосе не используется. Вместо этого охлаждение регулируется посредством потока рассола. Для охлаждения может быть использована имеющаяся отопительная система теплые полы.

Совместная работа оборудования:

Предварительно рассчитав общие теплопотери здания в нашем случае в условиях самых холодных суток, получаем: 18,36 кВт.

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с} = 3\,600\,000 \text{ Дж} = 3,6 \text{ МДж}$$

$$1 \text{ МДж} = 1/3,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 0,278 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Удельная теплота сгорания (низшая) газа G20 (природный газ) — 34,02 МДж/куб.м,

Т.е. 1 куб.м G20 при сгорании выделит 34,02 МДж или 9,45 кВт*ч

Расчёт потребления газа на отопление производится по формуле:

$$V = Q / (q \times \text{КПД} / 100), \text{ где:}$$

q — калорийность горючего принимается 9,45 кВт/м³;

V — искомый расход магистрального газа, м³/ч;

КПД — эффективность сжигания топлива источником тепла, в %;

Q — нагрузка на отопление частного дома, кВт.

$18,36/(9,45*90/100)=2,16$ м³ - затраты газа на компенсацию теплопотерь здания в экстремальных условиях холодной пятидневки (максимальный расход газа оборудованием 4,5м³).

При КПД газового котла в 90 % сжигание 1м³ газа выделяет 8,5 кВт

За сутки: 51,84 м³

При КПД газового котла в 90 % сжигание 1м³ газа выделяет 8,5 кВт тепла, стоимость 1м³ газа = 5,66 руб.

При работе геотермального насоса, чтобы получить 8,5 кВт тепла, необходимо затратить 1,88 кВт электроэнергии, что в денежном эквиваленте составляет 6,47 руб. (из условий COP=4,5, стоимость 1 кВт=3,43 руб.)

Вывод: тепловой насос проигрывает газовому котлу в денежных затратах на энергоносители с разницей в 0,81 руб.

Оптимальный расход газа для котла 2,25 м³/ч, стоимость 12,73 руб/ч. и компенсирует 19,13 кВт теплопотерь, что покрывает общие теплопотери здания.

WPS 9

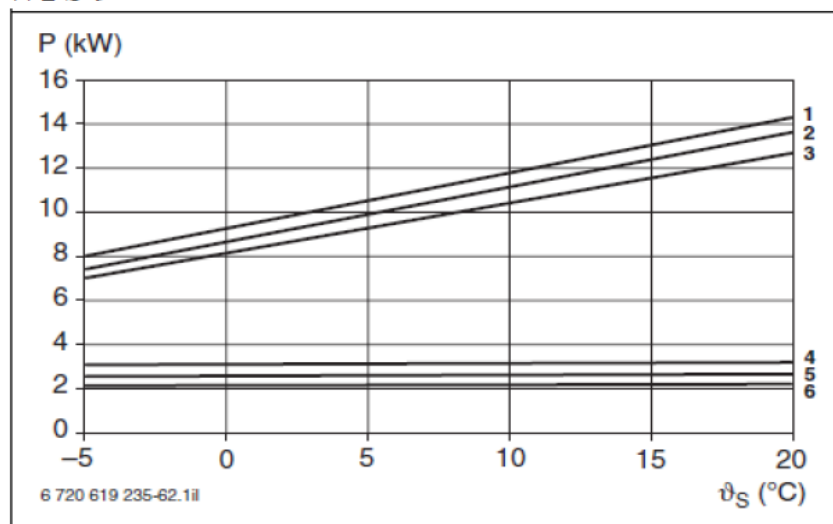


Рис3. «Диаграмма мощности для теплового насоса WPS 9»

Пояснение к диаграмме мощности:

1 - Теплопроизводительность при температуре подачи 35 °C

2 - Теплопроизводительность при температуре подачи 45 °C

3 - Теплопроизводительность при температуре подачи 55 °С

4 - Потребляемая мощность при температуре подачи 55 °С

5 - Потребляемая мощность при температуре подачи 45 °С

6 - Потребляемая мощность при температуре подачи 35 °С

P - Мощность

ts - Температура окружающей среды

Исходя из данных диаграммы мощности для теплового насоса WPS 9, мощность теплового насоса напрямую зависит от температуры окружающей среды и идёт на спад при её понижении. Нас интересует перепад температур в диапазоне от +1, до -3 °С. В этих условиях тепловой насос будет работать на пике заявленных характеристик.

Климат Липецка (период осреднения 1961—1990 гг.)													
Показатель	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.	Год
Средний максимум, °С	-6,5	-5,5	0,4	11,9	20,2	23,5	24,8	23,7	17,6	9,4	1,6	-3,3	9,8
Средний минимум, °С	-12,9	-12,6	-6,3	2,6	8,8	12,4	14,2	12,7	7,7	2,0	-3,5	-8,9	1,4
Норма осадков, мм	38	30	31	37	49	62	71	54	51	43	51	50	567

Источник: Гидрометцентр России

Рис4. «Показатель максимальной и минимальной температуры для г. Липецка по месяцам, а так же норма осадков из источника: Гидрометцентр России».

Таким образом задействовать газовый котёл экономически целесообразно с середины ноября до середины марта, при температуре наружного воздуха ниже -3,5 °С. Теплотери здания на этот период времени составляют 9,18 кВт. Тепловой насос при этом будет работать в режиме энергосбережения. Данное решение позволит сократить отопительный период (справедливо для газового отопления) со 199 до 90 суток.

Заключение: Использование тепловых насосов взамен сжигания традиционных видов топлива позволяет существенно снизить выбросы углекислого газа, угарного газа и окислов азота в окружающую среду.

Тепловые насосы являются единственным способом получения естественной природной тепловой энергии, которая имеет как экономические, так и экологические преимущества. Учитывая, ежегодный рост тарифов на теплоносители на 10-15 %, срок окупаемости геотермальной установки будет снижаться. Если использовать тепловой насос в комбинации с газовым котлом и рекуператором, можно значительно снизить затраты на отопление в зимний сезон и на охлаждение помещений в летний.

Приняв во внимание темпы малоэтажного строительства, а также прогнозы Минэкономразвития РФ о росте тарифов на электроэнергию, газ и темп инфляции, можно сделать вывод, что внедрение тепловых насосов для теплоснабжения жилых зданий в ближайшем будущем будет пользоваться большим спросом.

Список информационных источников:

1. Проектная документация Logatherm WPS 6-11 К, WPS 6-60 - 2009.
2. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной энергии поверхностных слоёв Земли. — Издательский дом «Граница», 2003.
3. Богуславский Л.Д., Ливчак В.И., Титов В.П. и др. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: Справочное пособие. — М.: Стройиздат, 1990.
4. Альтернативные источники энергии. Тепловой насос. [Электронный ресурс]. URL:<https://superbotanik.net/referati/referaty.../referat-alternativnye-istochniki-energii-tepl.11> (дата обращения: 23.11.2019).
5. Тепловой насос — Википедия. [Электронный ресурс]. URL:https://ru.wikipedia.org/wiki/Тепловой_насос (дата обращения: 23.11.2019).
6. Принцип действия тепловых насосов. [Электронный ресурс]. URL: <http://plusteplo.ru> (дата обращения: 23.11.2019).

7. Альтернативное теплоснабжение. Области применения тепловых насосов. [Электронный ресурс]. URL: <http://izbapremium.ru> (дата обращения: 23.11.2019).

8. Геотермальные системы отопления. [Электронный ресурс]. URL: <https://realproducts.ru/geotermalnoe-otoplenie/> (дата обращения: 23.11.2019).

9. Дома. Отопление. Современные системы отопления: [Электронный ресурс]. URL: <http://otoplenie-doma.org/geotermalnoe-otoplenie.html#i-3> (дата обращения: 23.11.2019).

10. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология (с изменением №1).- М.: ГУП ЦПП, 2003.