

Осадчий Г.Б.

Условия эффективного использования тепловых насосов в России

ЧАСТЬ 2

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕПЛОТЫ ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ

Переход в России к малоэтажному строительству сопровождается трудностями организации гарантированного теплоснабжения. И, как следствие этого, начинается использование тепловых насосов (ТН), которые имеют свои особенности в части достижения эффективности теплоснабжения. Для ТН очень важен коэффициент трансформации теплоты, зависящий в основном от **температурных параметров** аккумулятора теплоты — грунта, воды, а также и воздуха. В общем виде тепловой режим грунта формируется под действием трех основных факторов — падающей на поверхность солнечной радиации, температуры воздуха и потока тепла из земных недр, который как правило, составляет не более 0,05 – 0,12 Вт/м².

При эксплуатации грунтового массива, находящегося в пределах зоны теплосбора/теплоотдачи, вследствие сезонного изменения параметров наружного климата, а также под воздействием эксплуатационных нагрузок на грунт он может подвергаться многократному замораживанию и оттаиванию. Агрегатное состояние влаги, заключенной в порах грунта, изменяется. В общем случае она находится в жидкой, твердой и газообразной фазах одновременно. В капиллярно-пористых образованиях, которыми является грунтовой массив системы теплосбора/теплоотдачи, наличие влаги в поровом пространстве оказывает заметное влияние на процесс распространения тепла. При наличии в толще грунтового массива температурного градиента молекулы водяного пара перемещаются к местам, имеющим пониженный температурный потенциал. Одновременно под действием гравитационных сил возникает противоположно направленный поток влаги в жидкой фазе. Кроме этого, на температурный режим верхних слоев грунта оказывает влияние влага атмосферных осадков и грунтовых вод.

Связанная в грунте вода не замерзает при 0 °С, т.к. является «твердым» телом; прочносвязанная вода замерзает при температуре минус 78 – 186 °С. Вода макрокапилляров ($r > 10^{-7}$ м), если не содержит растворенных солей, должна замерзнуть при 0 °С; микрокапиллярная вода

замерзает в температурном диапазоне от 0 до минус 50 °С; капиллярно-поглощенная вода замерзает при минус 4 °С; 5 – 6 мономолекулярных слоев вообще не могут кристаллизоваться, а переходят в стеклообразное состояние; при очень низких температурах замерзает монослой [9].

В таблицах 2–5 приведены данные о среднемесячных температурах грунта на различных глубинах для некоторых городов России [10].

Таблица 2. Средние естественные температуры грунта (°С) по месяцам на глубине 1,6 м для некоторых городов России

Города	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Астрахань	7,5	6,1	5,9	7,3	11	14,6	17,4	19,1	19,1	17	13,6	10,2
Барнаул	2,6	1,7	1,2	1,4	4,3	8,2	11	12,4	11,6	9,2	6,2	3,9
Братск	0,4	-0,2	-0,6	-0,5	-0,3	0,0	3	6,8	7,2	5,4	2,9	1,4
Иркутск	-0,8	-2,8	-2,7	-1,1	-0,5	-0,2	1,7	5,0	6,7	5,6	3,2	1,2
Магадан	-6,5	-8,0	-8,8	-8,7	-3,9	-2,6	-0,8	0,1	0,4	0,1	-0,2	-2,0
Москва	3,8	3,2	2,7	3,0	6,2	9,2	12,1	13,4	12,5	10	7,3	5,0
Новосибирск	2,1	1,2	0,6	0,5	1,3	5,0	9,1	11,3	10,9	8,8	5,8	3,6
Оренбург	4,1	2,6	1,9	2,2	4,9	8,0	10,7	12,4	12,6	11	8,6	6,0
Пермь	2,9	2,3	1,9	1,6	3,4	7,2	10,5	12,1	11,5	9,0	6,0	4,0
Сочи	11,2	9,8	9,6	11	13,4	16,2	18,9	20,8	21	19	16,8	13,5
Ставрополь	5,0	4,0	3,8	5,3	5,3	8,8	12,2	15,7	15,1	13	9,7	6,8
Хабаровск	0,3	-1,8	-2,3	-1,1	-0,4	2,5	9,5	13,3	13,5	11	6,7	3,0
Ярославль	2,8	2,2	1,9	1,7	3,9	7,8	10,7	12,4	11,5	9,5	6,3	3,9

Таблица 3. Температура грунта (°С) в Ставрополе (почва — чернозем)

Глубина, м	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,4	1,2	1,3	2,7	7,7	13,8	17,9	20,3	19,6	15,4	11,4	6,0	2,8
0,8	3,0	1,9	2,5	6,0	11,5	15,4	17,6	17,6	15,3	12,2	7,8	4,6
1,6	5,0	4,0	3,8	5,3	8,8	12,2	14,4	15,7	15,1	12,7	9,7	6,8
3,2	8,9	8,0	7,4	7,4	8,4	9,9	11,3	12,6	13,2	12,7	11,6	10,1

Таблица 4. Температура грунта (°С) во Владивостоке (почва бурая каменистая, насыпная)

Глубина, м	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,4	-3,7	-3,8	-1,1	1,0	7,3	12,7	16,7	19,5	17,5	12,3	5,2	0,2
0,8	-0,1	-1,4	-0,6	0,0	4,4	10,4	14,2	17,3	17,0	13,5	7,8	2,9
1,6	3,6	2,0	1,3	1,1	2,9	7,7	11,0	14,2	15,4	13,8	10,2	6,4
3,2	8,0	6,4	5,2	4,4	4,2	5,5	7,5	9,4	11,3	12,4	11,7	10,0

Таблица 5. Температура грунта (°С) в Якутске (почва илисто-песчанная с примесью перегноя, ниже — песок)

Глубина м	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,4	-16,8	-17,4	-15	-8,4	2,5	11,0	15	13,8	6,7	-1,9	-8,0	-13
0,8	-12,4	-14,1	-13	-8,4	-1,4	5,0	9,4	9,6	5,3	0,0	-3,4	-8,1
1,6	-5,6	-7,4	-7,9	-7,0	-4,1	-1,8	0,3	1,5	1,1	0,1	-0,1	-2,4
3,2	-1,7	-2,6	-3,8	-4,4	-4,2	-3,4	-2,8	-2,3	-1,9	-1,8	-1,6	-1,5

Как видно из данных таблиц 2–5, характерной особенностью **естественного** температурного режима грунта является запаздывание минимальных температур грунта относительно времени наступления минимальных температур наружного воздуха (к моменту наступления этих температур в грунте нагрузка на системы теплоснабжения снижается).

Исследования, проведенные в ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ», показали, что потребление тепловой энергии из грунтового массива к концу отопительного сезона вызывает вблизи регистра труб системы теплосбора понижение температуры грунта. Температура грунта в почвенно-климатических условиях большей части территории РФ не успевает восстановиться в летний период года, и к началу следующего отопительного сезона **грунт выходит с пониженным температурным потенциалом**. Потребление тепловой энергии из грунта в течение следующей зимы вызывает дальнейшее снижение его температуры, и к началу третьего отопительного сезона температурный потенциал грунта ещё больше отличается от естественного, и т.д.

Огибающие графиков теплового влияния многолетней эксплуатации системы теплосбора на естественный температурный режим грунта имеют ярко выраженный экспоненциальный характер, и только **к пятому году** эксплуатации колебания температуры грунта выходят на новый режим, близкий к периодическому. Начиная **с пятого года эксплуатации**, многолетнее потребление теплоты из грунтового массива систем теплосбора сопровождается периодическими изменениями его температуры.

Учитывая это обстоятельство, при проведении районирования территории РФ по эффективности применения теплонасосных систем (ТНС) теплоснабжения ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» в качестве критерия эффективности выбран средний за 5-й год эксплуатации коэффициент трансформации теплоты.

Данные таблиц 2–5 и исследования ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» показывают, что российские почвы имеют очень низкие температуры, чтобы их тепловой потенциал мог бы обеспечивать высокий коэффициент трансформации теплоты ТН в течение длительных зим.

При использовании массива грунта объемы извлекаемого из него низкопотенциального тепла должны быть соизмеримы с генерирующей мощностью ТН (ТНС), без учета глубинного тепла, т.к. поступающее из недр земли тепло, например, на участке площадью 200 м² равно примерно 20 Вт, это столько сколько выделяют 4 курицы-несушки (курица выделяет 5 Вт теплоты). *Использование энергии грунта аналогично использованию нефти, газа и угля, в том смысле, что этот локальный источник рано или поздно истощается. А для потребителя тепла (здания) это угроза лишиться дорогого по стоимости источника теплоснабжения, поскольку перенести здание на новое место не реально.*

Использование ТН может быть (будет) намного эффективнее в приложениях. Например, когда используется массив грунта, расположенный вблизи прокладки силовых электрокабелей. Ведь при их эксплуатации всегда выделяется тепло (длительно допустимая температура нагрева жил кабелей при эксплуатации + 70 – 90 °С, допустимая при перегрузке до + 90 – 130 °С).

Также реально использование массива грунта под коллектором, например, канализационных стоков на выходе из дома, где температура стоков наиболее высокая и отсутствует опасность их замерзания.

Большая эффективность будет достигаться, если использовать в качестве источника низкопотенциальной теплоты **проницаемый** массив грунта, расположенный между двумя колодцами, неглубокими скважинами и т.д. В этом случае, при заборе из одного колодца воды в другом уровень понижается, следовательно, вода, проходя через грунт, подогревает его, восстанавливая температурный потенциал. Резко расширяются границы (зона) теплосбора (съема тепла) охватывая области как расположенные между колодцами (скважинами), так и вокруг них и под ними.

В качестве источника энергии окружающей среды для ТН актуально использование теплоты, замерзающей воды котлована, если рядом нет малого водного потока, исходя из того, что в частном доме (коттедже) стоков всегда мало. Удельная теплота фазового перехода воды в лед, при

замерзании составляет 334 кДж/кг, в то время как удельная теплоемкость для грунтов в среднем равна 1,5 кДж/кг·°С.

Удельная теплоемкость окружающего воздуха 1 кДж/кг·°С. Плотность воздуха в 800 раз меньше плотности воды, а его температура зимой значительно ниже температуры замерзающей воды.

Массив грунта можно зимой пополняться энергией за счет теплоты удаляемого из помещений воздуха, если воздуховод проходит через этот массив. Эффективность рекуперации в этом случае возрастает тогда, когда в воздуховоде происходит конденсация испарившейся с поверхности листьев комнатных растений, кожи и легких людей воды, пара образующегося при приготовлении пищи, мытье посуды, приема душа, влажной уборке.

В этом случае обеспечивается аккумуляция грунтом значительного объема низкопотенциальной теплоты (при конденсации 1 кг пара воды аккумулируется 0,63 кВт·ч теплоты).

Высокая относительная влажность в жилых помещениях обычно наблюдается во время начала отопительного сезона, когда просушиваются стены. Тогда воздух сильно насыщается водяным паром. Температура точки росы такого воздуха высокая (таблица 6), что обеспечивает, при конденсации пара в воздуховоде «подогрев» массива грунта.

Таблица 6. Точка росы для влажного воздуха при атмосферном давлении. В зависимости от температуры t , сухого воздуха и относительной влажности [11]

t, °С	Относительная влажность, %										
	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	Точка росы, °С										
14	3,7	4,8	6,2	7,4	8,5	9,6	10,5	11,4	12,3	13,1	14,0
16	5,6	7,0	8,3	9,4	10,5	11,6	12,6	13,5	14,4	15,2	16,0
18	7,4	8,9	10,0	11,3	12,4	13,5	14,6	15,5	16,5	17,2	18,0
20	9,2	10,5	11,9	13,1	14,4	15,5	16,5	17,4	18,3	19,2	20,0

Как видно из таблицы 6 эффективность аккумуляции теплоты, при конденсации паров воды из воздуха будет возрастать с повышением влажности. К сырým помещениям не жилого сектора, относительная влажность в которых длительно превышает 75 %, относятся: овощехранилища, доильные залы, молочные, кухни общественных столовых и т.п., а также при наличии установок микроклимата: животноводческие помещения. Особо сырые помещения — это помещения, где относительная

влажность воздуха близка к 100 %; потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой. Это моечные в мастерских, цеха для приготовления влажных кормов, коровники, свинарники, телятники, птичники и другие, при отсутствии в них установок по созданию микроклимата.

Эффективность трансформации теплоты тепловым насосом также можно повысить, если для обогрева помещений применить интенсивный съем тепла с конденсатора ТН за счет вентилятора. Тогда температура конденсатора может быть снижена до 25–35 °С.

Для теплоснабжения большое значение имеет стоимость тепла. Особое значение в этом случае имеет вид топлива, используемого для выработки теплоты. Так не редко, для воздушного отопления производственных, складских помещений, ферм, агропромышленных комплексов, строительных объектов, в том числе и при проведении чистовых отделочных работ применяются воздухонагреватели использующие дизельное и газовое топливо (таблица 7).

Таблица 7. Характеристика воздухонагревателя модели SP-60

Номинальная тепловая мощность, кВт	Подача воздуха, м ³ /ч	Перепад температур, °С	Расход дизельного топлива, кг/ч	Потребляемая электрическая мощность, кВт
63,3	4300	44	5,88	1,6

Как следует из таблицы 7 для выработки 1 кВт·ч тепловой энергии расходуется около 0,1 л дизельного топлива. При его цене 24 рублей/литр, стоимость 1 кВт·ч тепловой энергии с учетом стоимости только топливной составляющей равна 2,4 рублей, т.е. равна стоимости электроэнергии.

Несмотря на это часто фермеры вынуждены применять такой дорогой вид теплоснабжения, поскольку от микроклимата в фермах напрямую зависят надои молока (рисунок 1). Это связано с тем, что длительная селекция пород животных по продуктивному признаку привела к некоторому ослаблению энергосберегающих механизмов адаптации (физической терморегуляции) и, наоборот, развитию энергорасточительных процессов приспособления (химической терморегуляции), что сказывается на продуктивности животноводства.

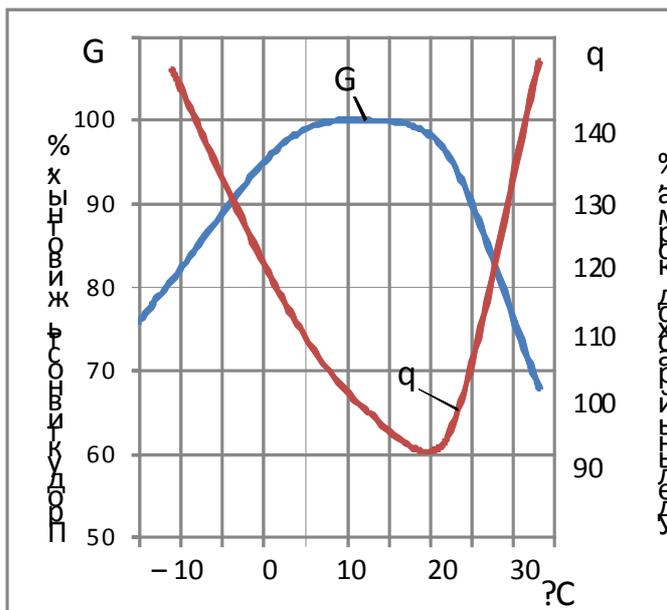


Рис. 1. Зависимость надоев молока и удельного расхода кормов от температуры воздуха при влажности 75 – 80 % в зоне размещения коров

Как следует из рисунка 1, потери в молочном животноводстве могут быть достаточно большими при отсутствии инженерного оборудования поддержания микроклимата на фермах (системы холодотеплоснабжения).

Использование электроэнергии для генерации теплоты ТН в эпоху социализма показало следующее (таблица 8).

Таблица 8. Электропотребление на теплоснабжение сельского дома заводского изготовления при использовании ТН для извлечения теплоты грунта в условиях Латвийской ССР

Потребители энергии	Расход электроэнергии, Q _э		Полученная теплота из грунта Q _г (кВт·ч)	Q _г / Q _э
	кВт·ч	%		
Отопление	8700	61,8	—	—
Горячее водоснабжение	3553	25,2	—	—
Бытовые расходы кроме приготовления пищи	1824	13,0	—	—
ВСЕГО	14077	100	30427	2,483

Как следует из таблицы 8, при стоимости 1 кВт·ч электроэнергии в 3 – 5 раз выше, чем 1 кВт·ч тепловой, теплоснабжение ТН от естественной теплоты грунта экономически не выгодно, конечно по сравнению с прямым использованием электроэнергии на обогрев [12].

Но не везде, т.к. в российской электроэнергетике длина линий электропередачи — 2,5 млн км. Транспортная составляющая в общем тарифе на электроэнергию достигает 45 – 50 % и выше. Генерация электроэнергии неравномерна по территориям. Из-за этого разница в цене электрической энергии, например, для жителей Сибири в 2010 году достигала пяти раз. В Иркутской области — 62 коп./кВт·ч (для сельского населения 43,4 коп./кВт·ч). При одноставочном тарифе жители Алтайского края платили 2,56 руб./кВт·ч, а при использовании дифференцированного тарифа жители, имеющие

газовые плиты, за электроэнергию в пиковые часы платили 3,8 руб./кВт·ч, а в ночные часы — 1,94 руб./кВт·ч.

Поскольку экономическая эффективность использования ТН в основном зависит от стоимости электроэнергии, то электроприводные ТН должны применяться когда:

- температура стоков (грунта) большую часть года выше 20 °С (коэффициент трансформации ТН электроэнергии в теплоту более 5);
- потребитель теплоты децентрализован;
- отопительный сезон краток (когда строительство разветвленных теплотрасс экономически не выгодно);
- имеется значительный избыток дешевой электроэнергии (ГЭС, ВЭС);
- производство электроэнергии не связано со сжиганием органического топлива, с параллельным производством теплоты, например, на ГЭС, ФЭС, ВЭС.

Однако и здесь есть противоречия. Когда электроэнергия дешевая, то зачем покупать дорогой ТН, не выгоднее ли с финансовой точки зрения жителю дома использовать электроэнергию на обогрев напрямую. Это аналогично тому: зачем покупать дорогие энергосберегающие электрические лампочки, если они не окупаются за время эксплуатации.

Отработка эффективного теплоснабжения проводилась и на комбинированных системах теплоснабжения (КСТ), с использованием солнечной и ветровой энергии.

Исследование по использованию КСТ показало её затратность из-за большого количества дублирующих друг друга устройств, капиталоемкости и малых $K_{иум}$ (табл. 9)

Таблица 9. Энергопотребление сельского дома на теплоснабжение при КСТ с широким использованием нетрадиционных источников энергии в условиях Латвийской ССР

Расход и покрытие теплотребления	тыс. кВт·ч	%
Потребность в тепловой энергии на теплоснабжение дома	50	—
То же, с улучшенной теплоизоляцией	40	—
То же, при установке рекуперативного теплообменника	32	100
Покрытие потребности на теплоснабжение дома		
от солнечного коллектора	3	9,4
от ВЭС	9	28,1
от электрического котла	12	37,5
от пиковой топливной тепловой установки	8	25,0

В представленной КСТ по мнению исследователей [12] в принципе возможна её работа при работе солнечного коллектора, ВЭС и электрического котла (использующего ночную электроэнергию) на общий аккумулятор.

Список литературы

1. Гашо Е.Г. Три порога энергоэффективности / Е.Г. Гашо // Энергия Экономика Техника Экология. 2009. № 3. С. 16 – 20.
2. Паршуков Н.П. Источники и системы теплоснабжения города / Н.П. Паршуков, В.М. Лебедев. Омск, Омская областная типография. 1999. 168 с.
3. Кузнецов П.А. Организационная надежность управления ресурсным обеспечением при переустройстве аварийных объектов /П.А. Кузнецов, С.П. Олейник, П.А. Захаров // Жилищное строительство. 2006. № 1. С. 5 – 6.
4. Гершкович В.Ф. Альтернативное теплоснабжение жилых домов Использование теплового потенциала речной воды на о Хортица / В.Ф. Гершкович // Энергосбережение. 2009. № 3. С. 28 – 33.
5. Накоряков В.Е. Оценка экологической эффективности теплоисточников малой мощности / В.Е. Накоряков, С.Л. Елистратов // Промышленная энергетика. 2009. № 2. С. 44 – 51.
6. Гертис К. Здания XXI века — здания с нулевым потреблением энергии / К. Гертис // Оборудование Разработки Технологии. 2010. № 1 – 3. С. 45 – 46.
7. Горбунов А.В. Энергопассивные дома / А.В. Горбунов // Оборудование Разработки Технологии. 2010. № 1 – 3. С. 50 – 51.
8. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки / Н.В. Харченко. М.; Энергоиздат, 1991. с.208.
9. Ефимов С.С. Фазовый состав сорбционной влаги при отрицательных температурах / С.С. Ефимов // В кн.: Математическое моделирование и экспериментальное исследование процесса тепло-массопереноса. Якутск, изд. Якутского филиала СО АН СССР, 1979, С. 97 – 99.
10. Васильев Г.П. Применение ГТСТ в России / Г.П. Васильев // Энергия Экономика Техника Экология. 2009. № 7. С. 22 – 29.
11. Мааке В. Учебник по холодильной технике / В. Мааке, Г.-Ю. Эккерт, Ж.-Л. Кошпен. М.: Издательство Московского университета. 1998. 1142 с.
12. Методические вопросы развития энергетики сельских районов / Х.З. Барабанер, В.М. Никитин, Т.И. Клокова и др. Иркутск, СЭИ, 1989. 260 с.

13. Осадчий Г.Б. Солнечная энергия, её производные и технологии их использования (Введение в энергетику ВИЭ) / Г.Б. Осадчий. Омск: ИПК Макшеевой Е.А., 2010. 572 с.

14. Мартынов А.В. Установки для трансформации тепла и охлаждения / А.В. Мартынов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 200 с. 146.

15. Воронов А.А. К оценке уровня конкурентоспособности машиностроительных предприятий / А.А. Воронов // Машиностроитель. 2000. № 12. С. 27 – 29. 147.

16. Справочник по климату СССР выпуск 17, часть II. Л.: Гидрометеоиздат, 1965. 276 с.

Автор: Осадчий Геннадий Борисович, автор 140 изобретений СССР

E-mail: genboosad@mail.ru

Адрес для писем: 644053, Омск-53, ул. Магистральная, 60, кв. 17.

*Окончание - ЧАСТЬ III, читайте
в Холодильщик.RU (<http://holodilshchik.ru>),
выпуск 7(91) июль 2012*