

УДК 621.577

Перспективы применения воздушных тепловых насосов для теплоснабжения жилых зданий в различных климатических условиях

© 2012 г. Филиппов С.П., Ионов М.С., Дильман М.Д.

Институт энергетических исследований РАН¹

Рассмотрены особенности применения воздушных тепловых насосов в условиях холодного климата. Показаны направления повышения их эффективности. Приведены результаты технико-экономических исследований перспектив использования воздушных тепловых насосов для теплоснабжения малоэтажных зданий в различных регионах страны в сопоставлении с альтернативными решениями.

Один из основных факторов, сдерживающих использование в России грунтовых геотермальных тепловых насосов, — их высокая капиталоемкость [1]. При организации теплоснабжения малоэтажных зданий на основе геотермальных теплонасосных установок (ТНУ) с вертикальными зондами затраты на бурение и обустройство скважин достигают 20% суммарных капиталовложений.

Альтернативой геотермальным ТНУ являются воздушные, в которых источником низкопотенциального тепла служит атмосферный воздух и потому отсутствует потребность в выполнении дорогостоящих буровых работ. В качестве нагреваемого теплоносителя в воздушных ТНУ может использоваться вода или воздух.

Особенности применения воздушных ТНУ

В ТНУ типа “воздух–вода” тепло рабочего тела (хладагента) передается воде, которая направляется в систему теплоснабжения здания на нужды отопления (радиаторная система) и горячего водоснабжения (ГВС). В ТНУ типа “воздух–воздух” тепло рабочего тела передается воздуху, который по воздуховодам подается непосредственно в отапливаемые помещения (воздушное отопление). В этом случае можно ограничиться более низкой температурой нагрева теплоносителя, что позволяет снизить давление и температуру в конденсаторе теплового насоса, сократить необходимую работу сжатия хладагента и в результате повысить коэффициент трансформации тепла ТНУ. Однако низкая температура нагреваемого теплоносителя ограничивает возможности использования ТНУ типа “воздух–воздух” для снабжения потребителей горячей водой. Кроме того, замена воды воздухом ведет к снижению коэффициента теплопередачи в конденсаторе и, следовательно, к увеличению его металлоемкости и габаритов.

Эксплуатация воздушных ТНУ в регионах с холодным климатом, обычно характеризующихся большими суточными и сезонными изменениями

температуры и очень низкими ее значениями в зимний период, сопряжена с рядом серьезных проблем.

Прежде всего следует отметить существенную зависимость основных характеристик ТНУ от температуры окружающей среды (t_0). При снижении t_0 производительность ТНУ и коэффициент трансформации тепла достаточно быстро падают (рис. 1). Представленные на рис. 1 зависимости построены применительно к теплому насосу марки Vitocal 350-A компании Viessmann тепловой мощностью 18.5 кВт для двух уровней подогрева воды: 50 и 65°C.

Указанные закономерности объясняются тем, что при снижении t_0 уменьшается температурный перепад в испарителе, т.е. разность температур атмосферного воздуха и кипящего хладагента ($t_{и}$). В результате при постоянных значениях площади поверхности теплообмена в испарителе ($F_{и}$) и коэффициента теплопередачи ($k_{и}$) уменьшается подвод тепла от окружающей среды к рабочему телу ТНУ (Q_0). При этом снижаются интенсивность парообразования, производительность компрессора и теплопроизводительность ТНУ ($Q_{ТНУ}$). Поскольку с понижением t_0 значение Q_0 уменьшается много быстрее, чем мощность компрессора (L), затрачиваемая на поддержание требуемого давления хладагента в конденсаторе, то это приводит к снижению коэффициента трансформации тепла (φ), что видно из следующих простейших соотношений:

$$Q_{ТНУ} = Q_0 + L;$$

$$Q_0 = k_{и} F_{и} (t_0 - t_{и});$$

$$\varphi = (L + Q_0) / L = 1 + Q_0 / L.$$

В пределе, при $t_0 = t_{и}$ имеем $Q_0 = 0$, $Q_{ТНУ} = L$, $\varphi = 1$ и ТНУ превращается, по сути, в электронагреватель.

При t_0 ниже определенного уровня ТНУ не может обеспечить требуемую температуру нагреваемого теплоносителя. Чем ниже последняя, тем

¹ 111786, Москва, Нагорная ул., д. 31, корп. 2. ИНЭИ РАН.

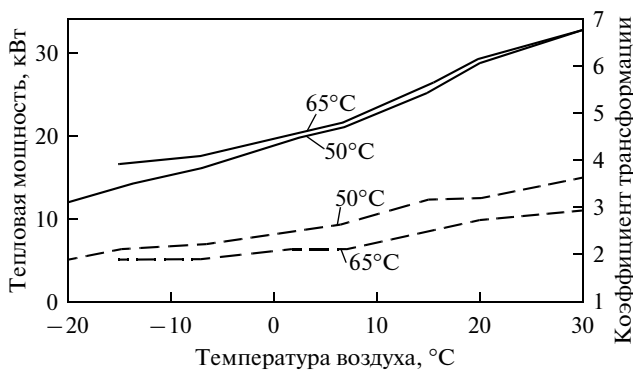


Рис. 1. Зависимость тепловой мощности и коэффициента трансформации воздушного ТНУ типа “воздух–вода” от температуры наружного воздуха.

— — тепловая мощность, - - - - коэффициент трансформации

шире рабочий диапазон ТНУ и тем выше ϕ при одной и той же t_o (см. рис. 1).

Повысить эффективность воздушных ТНУ можно путем усложнения термодинамического цикла и, соответственно, тепловой схемы установки. Если температура нагреваемого теплоносителя на входе в ТНУ достаточно низкая, то возможна реализация цикла с дополнительным охлаждением рабочего тела после конденсатора в результате установки соответствующего теплообменника. Это позволяет повысить теплопроизводительность и коэффициент трансформации тепла ТНУ. Также возможна реализация цикла ТНУ с регенерацией тепла. Для этого в установленном после конденсатора дополнительном теплообменнике осуществляется подогрев поступающих из испарителя паров хладагента, которые затем подаются на вход компрессора.

Расширить рабочий диапазон t_o воздушных ТНУ удастся путем реализации цикла с промежуточным охлаждением рабочего тела (рис. 2). На выходе из конденсатора (К) часть жидкого хладагента (α) дросселируется через дроссель D_1 (процесс 3–6) до давления p_6 , после чего поступает в промежуточный теплообменник (ПТ), где охлаждает основной поток (процесс 3–4) и при этом испаряется (процесс 6–7). Основной поток ($1 - \alpha$) после промежуточного теплообменника дросселируется в дросселе D_2 (процесс 4–5) и поступает в испаритель, где отбирает тепло от окружающего воздуха (процесс 5–1). Затем основной поток хладагента направляется в компрессор (Кр) и сжимается до давления p_6 (процесс 1–7’). При этом давлении осуществляется впрыск в компрессор холодного парообразного хладагента (поток α), где он смешивается с основным потоком хладагента и в результате устанавливается

равновесная температура (точка 7’). Далее суммарный поток сжимается до давления p_1 и направляется в конденсатор, где отдает тепло нагреваемому теплоносителю. Таким образом, в данной схеме реализуется процесс двухступенчатого сжатия с промежуточным охлаждением, что приближает его к процессу изоэнтропийного сжатия с соответствующей экономией работы компрессора.

Путем усложнения термодинамического цикла, реализации различных технических нововведений и использования новых рабочих тел удастся значительно расширить для воздушных ТНУ диапазон рабочих температур наружного воздуха. Так, ТНУ “воздух–воздух” фирмы Mitsubishi серии ZUBADAN Inverter способны работать при температурах наружного воздуха до -25°C . Однако этого оказывается недостаточно для полного покрытия с помощью ТНУ нагрузок отопления в районах с более низкими расчетными температурами, которые составляют большую часть территории страны. Кроме того, усложнение цикла неизбежно ведет к удорожанию ТНУ.

Еще одной проблемой эксплуатации воздушных ТНУ в условиях холодного климата является обмерзание теплообменных поверхностей испарителя. При низких температурах атмосферного воздуха содержащаяся в нем влага осажается на поверхности испарителя в виде инея или льда, ухудшая теплопередачу и повышая гидравлическое сопротивление. Для удаления инея необходимо увеличить температуру теплообменника. Это достигается переводом ТНУ в обращенный режим, в котором теплый газообразный хладагент из компрессора подается в испаритель и растапливает накопившийся на его внешней стороне иней. В регионах с холодным климатом на удаление инея и льда расходуется до 15–20% подаваемой в ТНУ электроэнергии.

Схемы теплоснабжения на базе воздушных ТНУ

Воздушные ТНУ, так же как и геотермальные, представляют собой универсальные климатические приборы, способные поддерживать в помещениях комфортные параметры внутреннего воздуха в течение всего года, а также обеспечивать потребителей горячей водой. В качестве нагревательных приборов в системах отопления с ТНУ “воздух–вода” могут использоваться радиаторы, теплые полы, а также фанкойлы. Теплонасосные установки “воздух–воздух” вообще позволяют отказаться от отопительных приборов. Помимо отопления воздушные ТНУ могут работать в режиме кондиционирования. Это достигается путем изменения тепловой схемы. В результате переключения потоков рабочего тела функции конденсатора и испарителя меняются местами. В

режиме кондиционирования жидкий хладагент проходит через внутренний теплообменный блок, где испаряется и при этом забирает тепло из охлаждаемого помещения. Во внешнем теплообменном блоке хладагент конденсируется и отдает тепло наружному воздуху. Это тепло также может использоваться для подготовки горячей воды на нужды горячего водоснабжения в летний период.

Поскольку воздушные ТНУ, как было показано ранее, часто не могут обеспечить покрытие отопительной нагрузки в полном объеме при расчетной температуре наружного воздуха, то приходится вводить в схему теплоснабжения дополнительные источники тепла. В качестве таковых обычно используются электрические котлы или конвекторы. Удельные капиталовложения в такие теплоисточники ниже, чем в воздушные ТНУ, а расход электроэнергии на получение одного и того же количества тепла выше. В связи с этим возникает задача оптимального распределения установленной мощности ТНУ и дополнительного теплоисточника, а также задача определения оптимальной их загрузки.

Режим совместной работы на тепловую нагрузку ТНУ и дополнительного теплоисточника получил название бивалентного. Соответственно, режим покрытия тепловой нагрузки только одним теплоисточником называют моновалентным. Температура наружного воздуха, при которой вводится в эксплуатацию дополнительный теплоисточник, определяет точку бивалентности.

На рис. 3 представлены три наиболее перспективные схемы теплоснабжения жилых зданий на базе воздушных ТНУ:

- последовательная схема включения ТНУ “воздух–вода” и электродкотла, температурный график системы отопления 60/50°С;
- параллельная схема включения ТНУ “воздух–вода” и электродкотла; тепловой насос работает на систему отопления “теплый пол”, электродкотел имеет собственную радиаторную систему отопления;
- параллельная схема включения ТНУ “воздух–воздух” и электрического конвектора в системе отопления и использование накопительного водонагревателя для горячего водоснабжения.

Графики покрытия воздушными ТНУ тепловой нагрузки для указанных схем с тепловым насосом мощностью, оптимизированной для условий Москвы, показаны на рис. 4.

В первых двух схемах (см. рис. 3, а, б) тепловой насос нагревает воду, которая через трехходовой клапан направляется в буферную емкость системы отопления или в накопительный водонагреватель системы ГВС. Теплонасосная установка покрывает всю тепловую нагрузку до температуры t_0 , определяющей точку бивалентности. При более низких значениях температуры атмосферного

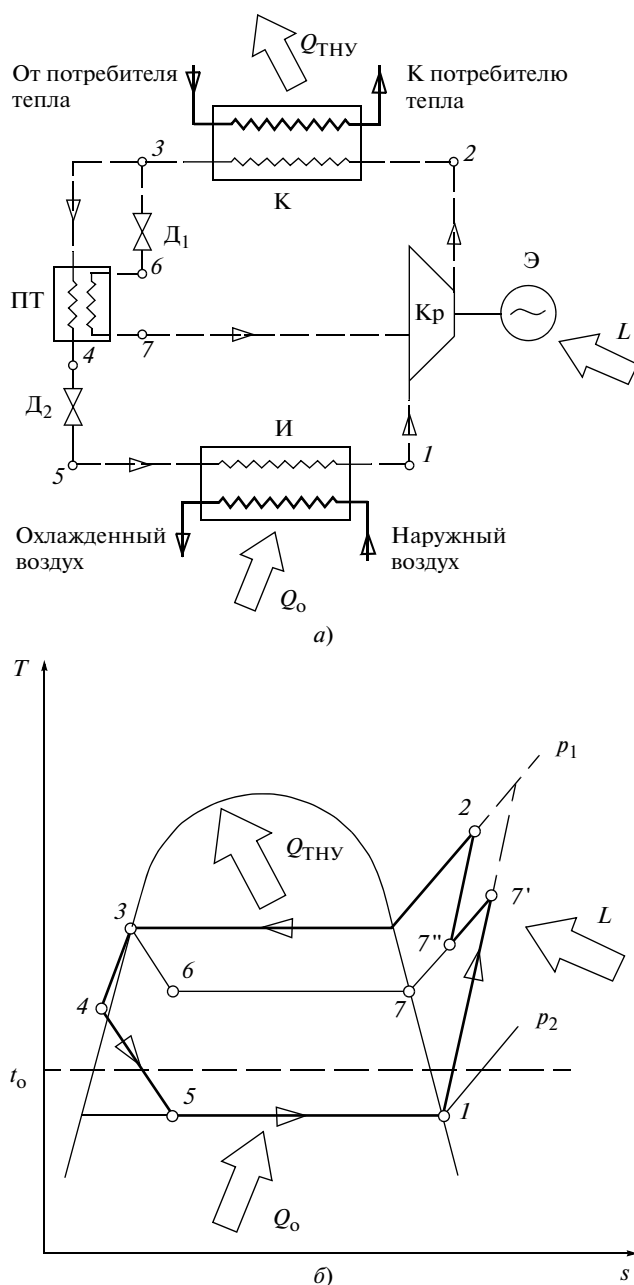


Рис. 2. Принципиальная схема теплового насоса с впрыском пара в компрессор (а) и T, s-диаграмма цикла (б)

воздуха в работу включается электродкотел. При t_0 ниже определенного уровня (-15°C на рис. 4, а и -20°C на рис. 4, б) ТНУ отключается и вся тепловая нагрузка, в том числе на приготовление горячей воды, покрывается электродкотлом. Поэтому он вынужденно проектируется на максимальную тепловую нагрузку.

В последней схеме (см. рис. 3, в) для обеспечения теплом всех помещений здания обычно устанавливается несколько ТНУ типа “воздух–воз-

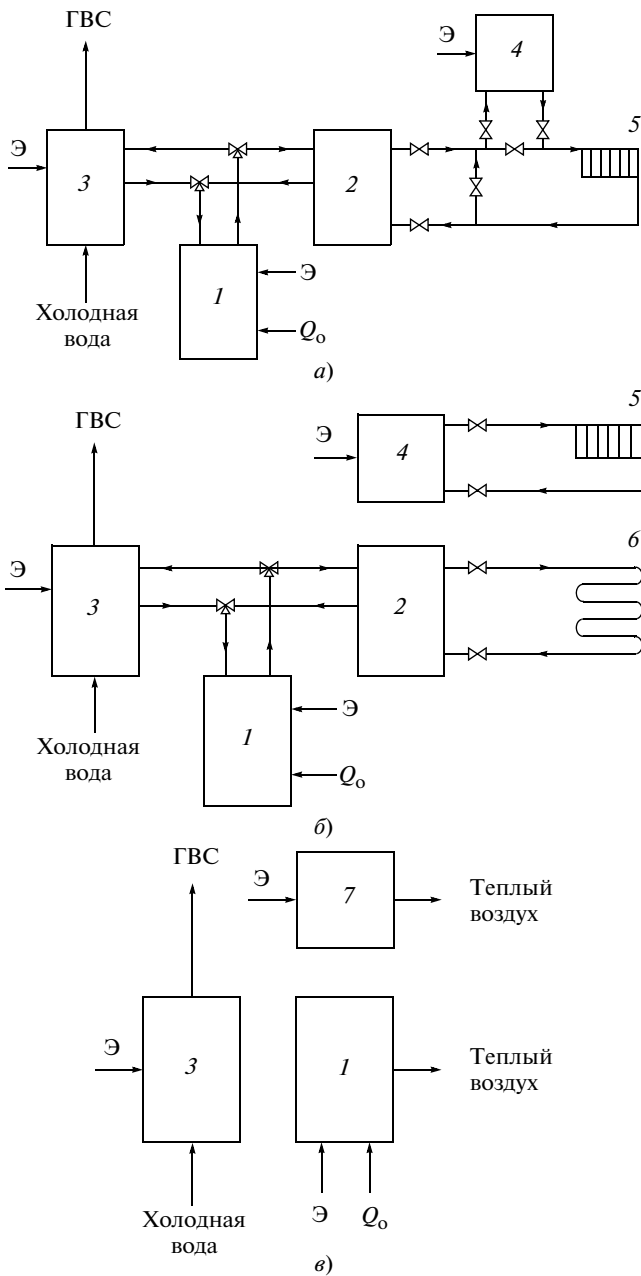


Рис. 3. Схемы теплоснабжения индивидуального дома с ТНУ.
a – последовательная с электрокотлом; *б* – параллельная с системой “теплый пол” и электрокотлом; *в* – параллельная с конвектором.
1 – тепловой насос; *2* – буферная емкость; *3* – накопительный водонагреватель ГВС; *4* – электрокотел; *5* – радиаторная система отопления; *6* – система отопления “теплый пол”; *7* – электрический конвектор; Э – электроэнергия; Q_0 – тепло из окружающей среды

дух”. Параллельно им в качестве дополнительных источников тепла подключаются электрические конвекторы, которые позволяют отказаться от водяной системы отопления. Приготовление го-

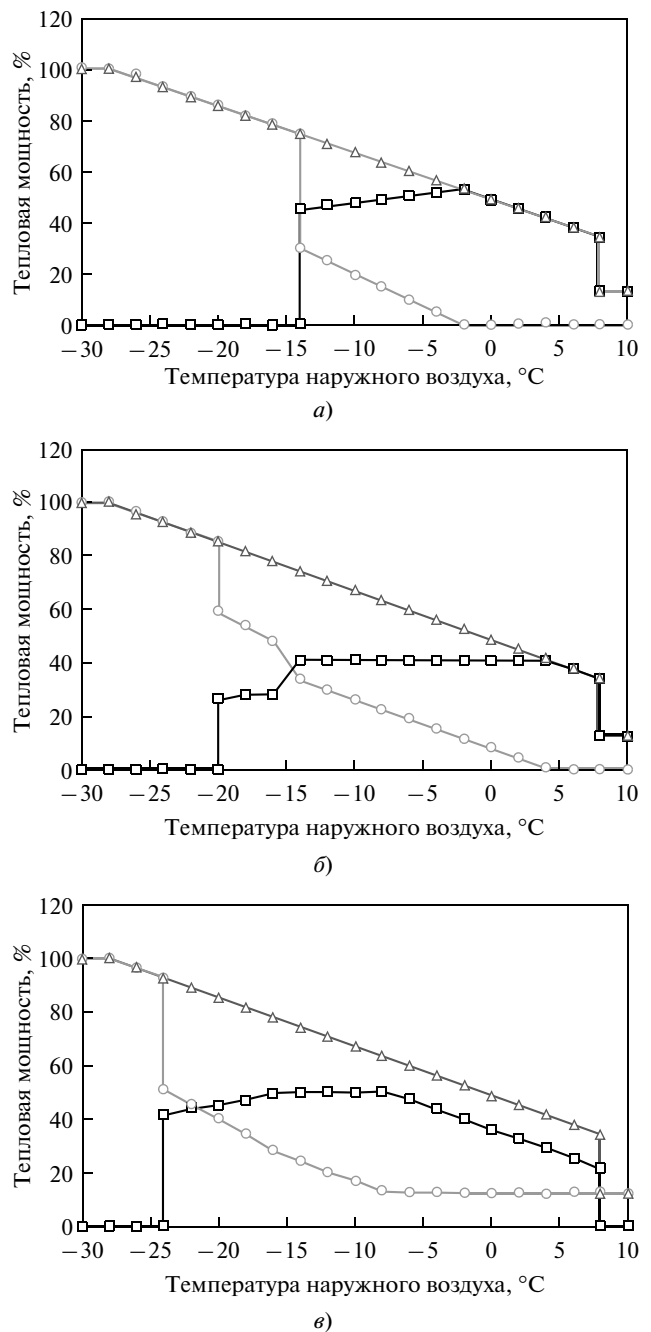


Рис. 4. Оптимальные графики покрытия воздушными ТНУ тепловой нагрузки для различных схем включения ТНУ для условий Москвы.
a – последовательная схема с электрокотлом (□ – ТНУ “воздух–вода”; ○ – электрокотел; Δ – суммарная мощность); *б* – параллельная схема с системой “теплый пол” и электрокотлом (□ – ТНУ “воздух–вода”; ○ – электрокотел; Δ – суммарная мощность); *в* – параллельная схема с конвектором (□ – ТНУ “воздух–воздух”; ○ – электрокотел; Δ – суммарная мощность)

рячей воды осуществляется автономным электрическим накопительным водонагревателем (см. рис. 4, *в*). Преимуществом данной схемы является то, что в летний период ТНУ “воздух–воз-

дух” могут без каких-либо изменений в тепловой схеме обеспечить кондиционирование воздуха в тех же помещениях.

Технико-экономическое сопоставление вариантов

Выполнено сопоставление шести вариантов теплоснабжения малоэтажных жилых зданий. В трех вариантах используются воздушные ТНУ, схемы включения которых были рассмотрены выше. Альтернативу им составляют: геотермальная ТНУ с конвектором, которая ранее была определена как наиболее эффективное решение для ТНУ данного типа [1], “чистое” электротеплоснабжение на основе электродкотла и теплонабжение на базе газового котла.

Исследуется теплоснабжение коттеджного поселка [1], состоящего из 200 домов отапливаемой площадью 200 м² каждый, с постоянным населением численностью 800 чел. Удаленность поселка от ближайшей электрической подстанции (35 кВ) и газопровода (1.2 МПа) составляет 10 км. Исследования выполнены для трех вариантов расположения поселка: в северном, центральном и южном регионах страны. Климатические характеристики регионов соответствуют Архангельску (север), Москве (центр) и Пятигорску (юг). Тепловые нагрузки зданий, включающие отопление и ГВС, определены по [2] и для выбранных климатических условий соответственно равны 27.1, 22.9 и 19.2 кВт. Были приняты следующие значения текущих цен (на начало 2012 г.) на электроэнергию: север – 3.32, центр – 4.02, юг – 2.99 руб/(кВт·ч), на природный газ: север – 3200, центр – 3370, юг – 4100 руб/тыс. м³.

Оценки удельных капиталовложений в рассматриваемые варианты теплоснабжения для условий Москвы представлены на рис. 5. В структуре капиталовложений выделены: затраты на ТНУ; затраты на электродкотел (конвектор), газовый котел, радиаторную систему отопления и прочее теплотехническое оборудование; затраты

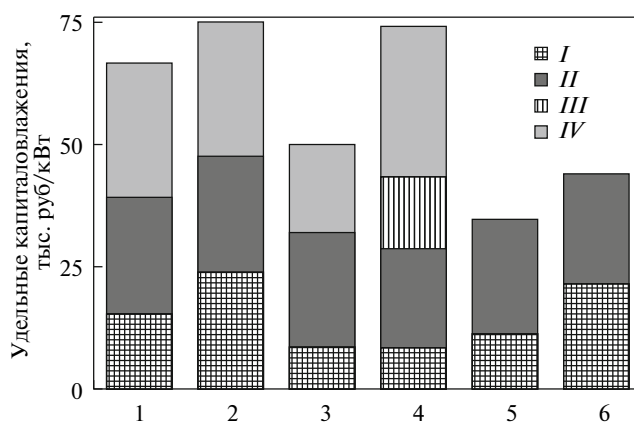


Рис. 5. Удельные капитальные вложения в рассматриваемые варианты теплоснабжения (для условий Москвы).

1 – ТНУ “воздух–вода” с дублирующим электродкотлом; 2 – ТНУ “воздух–вода” с системой “теплый пол” и пиковым электродкотлом; 3 – ТНУ “воздух–воздух” с пиковым конвектором; 4 – геотермальная ТНУ с пиковым конвектором; 5 – единственный электродкотел; 6 – единственный газовый котел.

I – электродкотел, газовый котел, радиаторы; II – электроподстанция, ГРП; III – бурение; IV – ТНУ

на бурение и обустройство вертикального зонда для геотермальной ТНУ; инфраструктурные затраты – на сооружение электрической подстанции и газового распределительного пункта (ГРП) соответственной мощности. Из рассмотренных вариантов теплоснабжения с тепловыми насосами минимальные капитальные вложения имеют ТНУ “воздух–воздух” из-за отсутствия затрат на бурение и радиаторную систему отопления.

Варианты сравнивались по значению суммарных дисконтированных затрат на соответствующий вариант организации теплоснабжения коттеджного поселка за расчетный период. Длительность расчетного периода принята равной 30 годам. В качестве критерия оптимальности принимался минимум суммарных дисконтированных затрат.

Таблица 1. Среднегодовые за период индексы макроэкономических показателей, %

Индексы	2012–2015 гг.	2016–2020 гг.	2021–2025 гг.	2026–2030 гг.	После 2030 г.
Индексы физического объема валового внутреннего продукта	104.2	105.8	105.5	105.3	104.3
Цена (тариф) электроэнергии	112.5	112.0	105.1	102.0	101.5
Цена природного газа	115.3	112.2	106.9	103.5	102.2
Индексы потребительских цен	105.6	106.2	104.8	103.2	102.1
Индексы цен производителей электрооборудования	105.6	105.5	105.6	103.2	101.9
Индексы-дефляторы промышленного производства	106.2	108.5	105.8	103.3	102.4
Индексы-дефляторы капиталовложений	107.6	107.7	105.7	104.2	103.2
Реальные доходы населения	104.9	105.7	105.5	105.3	104.2

Таблица 2. Расход электроэнергии на теплоснабжение поселка, млн кВт · ч/год

Вариант теплоснабжения	Север	Центр	Юг
Теплонасосная установка “воздух–вода” с дублирующим электродкотлом	12.2	8.2	5.5
Теплонасосная установка “воздух–вода” с системой “теплый пол” и пиковым электродкотлом	12.6	7.6	5.1
Теплонасосная установка “воздух–воздух” с пиковым конвектором	10.6	7.2	5.5
Геотермальная ТНУ с пиковым конвектором	7.4	4.7	3.3
Электродкотел	18.2	13.0	10.0

Таблица 3. Электрическая нагрузка поселка, МВт

Вариант теплоснабжения	Север	Центр	Юг
Теплонасосная установка “воздух–вода” с дублирующим электродкотлом	5.4	4.6	3.8
Теплонасосная установка “воздух–вода” с системой “теплый пол” и пиковым электродкотлом	5.4	4.6	3.1
Теплонасосная установка “воздух–воздух” с пиковым конвектором	5.4	4.6	3.0
Геотермальная ТНУ с пиковым конвектором	3.3	2.6	2.2
Электродкотел	5.4	4.6	3.8

Расчеты выполнены с использованием прогнозных значений тарифов на топливо и электроэнергию и индексов цен производителей, соответствующих инновационному сценарию долгосрочного развития экономики страны, разработанному Минэкономразвития РФ в 2011 г. Принятые в расчет макроэкономические характеристики приведены в табл. 1.

При формировании вариантов их схемные решения и параметры оптимизировались. Применительно к рассматриваемым трем регионам были определены оптимальные значения доли ТНУ в покрытии тепловой нагрузки потребителей и соответствующие им точки бивалентности. При этом учитывались плотность графика продолжительности стояния температур наружного воздуха в регионах, схемы теплоснабжения домов, соот-

ношения стоимости теплового насоса и пикового нагревателя, стоимость электроэнергии в регионах. При варьировании доли ТНУ в покрытии тепловой нагрузки в вариантах теплоснабжения предусматривалась разная потребность в заявленной электрической мощности поселка. В связи с этим для обеспечения сопоставимости вариантов были учтены различия в затратах на электрические сети и подстанцию. В качестве критерия оптимизации при определении оптимальной доли нагрузки ТНУ использовался минимум суммарных дисконтированных затрат на систему отопления поселка.

Для последовательной схемы ТНУ “воздух–вода” с электродкотлом оптимальная доля ТНУ в покрытии тепловой нагрузки составляет для разных регионов 50–60%, соответствующие значения температуры атмосферного воздуха в точке бивалентности – от –6 до –2°C. Для параллельной схемы ТНУ “воздух–вода” с системой “теплый пол” и электродкотлом оптимальная доля ТНУ в покрытии тепловой нагрузки находится на уровне 35–50%, значения t_0 в точке бивалентности составляют от –6 до –4°C. Для ТНУ “воздух–воздух” оптимальная доля нагрузки системы теплоснабжения здания, покрываемая тепловым насосом, для всех регионов равна примерно 50%, а t_0 в точке бивалентности изменяется от –8°C на севере до –2°C на юге.

Для геотермальной ТНУ с пиковым конвектором доля ТНУ в покрытии тепловой нагрузки в рассматриваемых условиях составляет 60–70%, при этом значение t_0 в точке бивалентности находится в диапазоне от –8 до –4°C.

Определение расходов электроэнергии по вариантам с воздушными ТНУ проведено с учетом дополнительных энергозатрат на удаление инея и льда в периоды стояния низких температур наружного воздуха, которые принимались равными 15% суммарного электропотребления ТНУ при эксплуатации в период с $t_0 < 0^\circ\text{C}$.

Согласно выполненным исследованиям, применение воздушных ТНУ вместо электродкотлов в системах теплоснабжения малоэтажных зданий снижает расход электроэнергии в 1.7–2 раза (табл. 2). В северных и центральных регионах страны наиболее энергоэффективной оказалась схема ТНУ “воздух–воздух” с пиковым конвектором. В южных районах преимущество переходит к ТНУ “воздух–вода” с системой “теплый пол”. Объясняется это меньшей продолжительностью отопительного периода в южных районах и потому более высокой долей ГВС в общей тепловой нагрузке. В схеме теплоснабжения с ТНУ “воздух–воздух”, в отличие от альтернативных вариантов с воздушными ТНУ, тепловой насос не участвует в покрытии нагрузки ГВС (горячее водоснабжение осуществляется только электрона-

гревателем, см. рис. 3). Поэтому при более коротком отопительном периоде энергосберегающий эффект теплового насоса проявляется меньше, чем в регионах с более продолжительным отопительным периодом. В результате в южных районах расход электроэнергии в схеме с ТНУ “воздух–воздух” оказывается выше, чем в схеме с ТНУ “воздух–вода” с системой “теплый пол”. Во всех рассмотренных климатических зонах воздушные ТНУ проигрывают в экономии электроэнергии варианту теплоснабжения на базе геотермальных ТНУ.

Во многих регионах страны наблюдается дефицит электрической мощности, потому возникают сложности с подключением новых потребителей к электрическим сетям общего пользования. Для таких регионов минимизация электрической нагрузки является актуальной задачей для потребителей. Исследования показали, что применение воздушных ТНУ вместо электродкотлов обеспечивает экономии электрической мощности только в южных регионах страны. Причем относится это только к схемам с ТНУ “воздух–вода” с системой “теплый пол” и ТНУ “воздух–воздух” (табл. 3). В центральных и северных регионах добиться снижения электрической нагрузки поселка путем установки воздушных ТНУ не удастся. Это обусловлено ограничениями, накладываемыми на их работу низкими температурами наружного воздуха. Отключение воздушных ТНУ при низких значениях t_0 делает необходимой установку дублирующего теплоисточника – электродкотла (см. рис. 4). По показателю экономии электрической мощности воздушные ТНУ существенно проигрывают геотермальным ТНУ.

С учетом потребления топлива на электростанциях для производства электроэнергии использование воздушных ТНУ вместо электродкотлов позволяет значительно уменьшить полные расходы топлива на теплоснабжение поселка (табл. 4). В расчетах средний удельный расход топлива на электростанциях был принят в размере 315 г у.т/(кВт · ч). Однако по данному показателю более эффективным оказывается применение газовых котлов и геотермальных ТНУ с конвектором.

По экономическому критерию лучшей среди воздушных ТНУ оказалась схема теплоснабжения на базе ТНУ типа “воздух–воздух” с пиковым конвектором. Во всех рассмотренных регионах страны она превосходит по экономической эффективности электродкотлы (табл. 5). На севере и в центре России эта схема равноэкономична с геотермальными ТНУ, а на юге заметно лучше их. В то же время ни одна из рассмотренных схем теплоснабжения с ТНУ в перспективе до 2030 г. не способна конкурировать с газовыми котлами.

Получены оценки потенциальной емкости рынка для ТНУ в рассматриваемых регионах. Расчеты выполнены исходя из следующих усло-

Таблица 4. Полные годовые расходы топлива для теплоснабжения поселка, т у.т/год

Вариант теплоснабжения	Север	Центр	Юг
Теплонасосная установка “воздух–вода” с дублирующим электродкотлом	3849	2569	1747
Теплонасосная установка “воздух–вода” с системой “теплый пол” и пиковым электродкотлом	3961	2403	1606
Теплонасосная установка “воздух–воздух” с пиковым конвектором	3350	2272	1743
Геотермальная ТНУ с пиковым конвектором	2340	1481	1042
Электродкотел	5748	4104	3157
Газовый котел	2339	1670	1285

Таблица 5. Суммарные дисконтированные затраты на теплоснабжение поселка за расчетный период, млн руб.

Вариант теплоснабжения	Север	Центр	Юг
Теплонасосная установка “воздух–вода” с дублирующим электродкотлом	755	640	470
Теплонасосная установка “воздух–вода” с системой “теплый пол” и пиковым электродкотлом	774	654	482
Теплонасосная установка “воздух–воздух” с пиковым конвектором	624	535	374
Геотермальная ТНУ с пиковым конвектором	622	530	429
Электродкотел	767	672	452
Газовый котел	329	291	269

вий. Теплонасосные установки используются для теплоснабжения вновь построенных жилых малоэтажных зданий в сельской местности, где имеются сложности с подключением к газовой сети. Вводы сельского малоэтажного жилья в Северо-Западном, Центральном и Южном (включая Северокавказский) федеральных округах возрастут к 2020 г. соответственно до 1,7, 7,5 и 9,3 млн м² в год; затем они стабилизируются на достигнутом уровне. Доля вводимого малоэтажного жилья, подключение которого к газовой сети не гарантировано и которое может быть оборудовано ТНУ, составляет по перечисленным округам 44, 21 и 15% соответственно. Согласно расчетам к 2020 г. в рассмотренных округах ежегодно может быть востребовано до 250 МВт тепловой мощности воздушных и геотермальных ТНУ (рис. 6). К 2030 г. суммарная установленная мощность ТНУ в этих регионах могла бы составить около 4 ГВт, что поз-

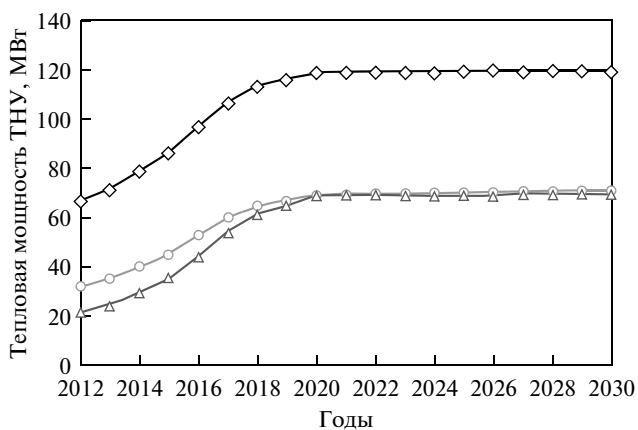


Рис. 6. Оценки потенциальной емкости рынка для ТНУ на перспективу до 2030 г.

○ – север; ◇ – центр; △ – юг

волило бы ежегодно экономить около 220 тыс. т условного топлива.

Выводы

1. Использование воздушных тепловых насосов имеет ограничения, связанные со снижением их тепловой мощности и коэффициента трансформации тепла при низких температурах атмосферного воздуха, что в условиях холодного климата является существенным недостатком. Для преодоления этих ограничений требуется установка дополнительных теплоисточников в северных и центральных районах страны на 100% ото-

пительной нагрузки, что неизбежно удорожает систему теплоснабжения.

2. В условиях холодного климата необходимо учитывать дополнительный расход электроэнергии на устранение эффекта инееобразования в испарителе воздушного ТНУ и соответственно снижение его эффективности.

3. Повышение эффективности воздушных тепловых насосов связано с использованием новых рабочих тел и усложнением термодинамического цикла ТНУ, что ведет к удорожанию ТНУ.

4. Самой эффективной из рассмотренных схем на базе воздушных ТНУ является схема с ТНУ “воздух–воздух” с пиковым конвектором.

5. Ни одна из рассмотренных схем с воздушными ТНУ не способна конкурировать с газовыми котлами. Экономической нишей для внедрения воздушных, так же как и геотермальных ТНУ, могут стать негазифицированные районы, а конкурирующей технологией – электродкотлы.

6. Потенциальная емкость рынка для ТНУ на перспективу до 2020 г. в рассмотренных регионах страны может составить до 250 МВт тепловой мощности в год.

Список литературы

1. Филиппов С.П., Дильман М.Д., Ионов М.С. Эффективность использования тепловых насосов для теплоснабжения малоэтажной застройки // Теплоэнергетика. 2011. № 11. С. 12–19.
2. СНиП 23-03-2003. Тепловая защита зданий. М.: Госстрой России, 2004.