НИИСФ Госстроя СССР

Рекомендации

по оценке эффективности систем сбора низкопотенциального тепла грунта для целей теплохладоснабжения зданий

Москва 1988

gost.e-ecolog.ru

Научно-исследовательский институт
строительной физики

(НИИСФ) Госстроя СССР

Рекомендации

по оценке эффективности систем сбора низкопотенциального тепла грунта для целей теплохладоснабжения зданий

Москва Стройиздат 1988

УДК 697.1 : 536.3

Рекомендованы к изданию решением секции Научно-технического совета НИИСФ Госстроя СССР.

Рекомендации по оценке эффективности систем сбора низкопотенциального тепла грунта для целей теплохладоснабжения зданий /НИИСФ. – М.: Стройиздат, 1988. – 16 с.

Изложены методические рекомендации по оценке эффективности систем низкопотенциального тепла грунта для целей теплохладоснабжения зданий и сооружений. Содержат общие положения по рациональному проектированию теплонасосных систем теплохладоснабжения зданий и сооружений, конкретные рекомендации по проектированию систем сбора низкопотенциального тепла грунта и методику оценки эффективности использования тепла грунта верхних слоев земли в различных почвенно-климатических условиях.

Для инженерно-климатических работников проектных и научно-исследовательских организаций, занимающихся вопросами использования тепла грунта верхних слоев земли для целей теплохладоснабжения зданий и сооружений.

Разработаны НИИСФ Госстроя СССР (кандидаты техн. наук Д. Ю. Хромец, Г. П. Васильев, С. А. Сидорцев, А. В. Спиридонов).

Табл. 2, ил. 3.

3202000000 – 255
Р ———————— Инструкт.-нормат. 1 вып. 72–87
047 (01) – 88

© Стройиздат, 1988

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее перспективных, экологически «чистых» и повсеместно доступных источников низкопотенциальной тепловой энергии для систем теплохладоснабжения зданий и сооружений является тепло грунта верхних слоев земли.

Фактически грунт представляет собой тепловой аккумулятор неограниченной емкости, аккумулирующий энергию Солнца. Солнечная энергия, поглощенная земной поверхностью, формирует температурный режим слоя грунта мощностью от 10 до 20 м, в зависимости от почвенно-климатических условий местности, ниже которого находится грунт не подверженный сезонным температурным колебаниям.

Характерным является тот факт, что колебания температуры слоев грунта запаздывают во времени относительно колебаний температуры наружного воздуха, и на определенной глубине максимальные температуры в грунте наблюдаются в наиболее холодный период года.

Система сбора тепла **грунта,** представляющая собой регистр труб с циркулирующим по ним теплоносителем, осуществляет отбор тепла, накопленного грунтом, и отвод его к потребителю. Потребляемая энергия компенсируется теплопоступлениями из окружающего массива, что позволяет продолжительное время использовать грунт в качестве источника низкопотенциального тепла для испарителей теплонасосных систем отопления.

Большие возможности заключает в себе использование теплоаккумулирующих свойств грунтового массива для систем хладоснабжения зданий в жаркий период года. В этом случае грунт охлаждает теплоноситель, нагреваемый внутренним воздухом помещения, и повышает свою температуру. Таким образом, в течение лета грунт накапливает дополнительное тепло и к отопительному сезону выходит с повышенным температурным потенциалом, что значительно повышает эффективность эксплуатации теплонасосной системы теплохладоснабжения в целом.

Использование тепла грунта в качестве низкопотенциального источника тепловой энергии для теплонасосных систем теплохладоснабжения позволяет получить от 2,5 до 3,5 кВт полезного тепла на 1 кВт затраченной энергии.

Районирование территории СССР по эффективности использования низкопотенциального тепла грунта для теплоснабжения зданий и сооружений, представленное в Рекомендациях, выполнено на основании серии расчетов на ЭВМ, проведенных для наихудшего сочетания климатических параметров и теплотехнических характеристик грунта каждого рассматриваемого района.

Эффективность использования тепла грунта для целей теплохладоснабжения в конкретных почвенно-климатических условиях определяется главным образом температурным режимом грунтового массива в годовом цикле, поэтому в настоящих Рекомендациях рассматриваются в основном вопросы рационального конструирования систем сбора низкопотенциального тепла грунта и оценки их эффективности.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Рекомендации предназначены для оценки эффективности проектируемых теплонасосных систем теплохладоснабжения зданий и выбора рациональных параметров систем сбора низкопотенциального тепла грунта.

1.2. При проектировании теплонасосных систем теплохладоснабжения, использующих низкопотенциальное тепло грунта, следует руководствоваться требованиями СНиП II-33-75 *, СНиП 2.01.01—82, СНиП II-3-79 ** и других документов, утвержденных или согласованных Госстроем СССР или Госгражданстроем в установленном порядке.

1.3. В целях сокращения потерь тепла в зимний период и поступлений тепла в летний период года при проектировании зданий, оборудованных теплонасосной системой теплохладоснабжения, использующей тепло грунта, следует предусматривать:

а) объемно-планировочные решения с учетом обеспечения наименьшей площади ограждающих конструкций;

б) солнцезащиту световых проемов в соответствии с нормативной величиной коэффициента теплопропускания солнцезащитных устройств;

в) площадь световых проемов в соответствии с нормированным значением коэффициента естественной освещенности;

г) рациональное применение эффективных теплоизоляционных материалов;

д) уплотнение притворов и фальцев в заполнениях проемов и сопряжений элементов (швов) в наружных стенах и покрытиях.

1.4. Для зданий и сооружений, возводимых в районах с расчетными температурами наружного воздуха 25°С и выше (расчетные параметры А для теплого периода года см. в СНиП II-33-75*) следует предусматривать системы отопления, которые могут быть использованы для летнего охлаждения помещений.

1.5. Для отопления зданий, сооружений и помещений различного назначения допускается использовать электрическую энергию с трансформацией ее в тепловую энергию при помощи тепловых насосов.

Примечание. Возможность отпуска электроэнергии для целей отопления надлежит согласовать с электроснабжающими организациями в установленном порядке.

1.6. При наличии в районе строительства геотермальных вод должна рассматриваться возможность их применения в качестве теплоносителя для системы отопления или системы теплосбора.

1.7. Для трансформации низкопотенциального тепла грунта в теплонасосных системах теплохладоснабжения могут быть использованы компрессионные, термоэлектрические, электрохимические и другие типы тепловых насосов. Наибольшее распространение в практике отечественного и зарубежного строительства подобных систем получили тепловые насосы компрессионного типа.

1.8. В целях повышения эффективности в проектах теплонасосных систем теплохладоснабжения зданий и сооружений должны

быть предусмотрены средства автоматического регулирования режима их эксплуатации.

1.9. При проектировании теплонасосных систем теплохладоснабжения с использованием тепла грунта в целях обеспечения надежности их эксплуатации должна быть предусмотрена регулировка и наладка системы для вывода ее на оптимальный режим работы, а также для соответствующей настройки средств автоматизации, принятых в проекте.

1.10. Электрические устройства, принятые в проекте, должны отвечать требованиям Правил устройства электроустановок.

1.11. При проектировании систем сбора низкопотенциального тепла грунта особое внимание следует обращать на наличие незамерзающих грунтовых вод на небольшой глубине, поскольку их присутствие резко повышает эффективность эксплуатации всей теплонасосной системы теплохладоснабжения в целом.

2. КОНСТРУИРОВАНИЕ СИСТЕМ СБОРА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ГРУНТА

2.1. Система сбора низкопотенциального тепла грунта представляет собой участок теплосбора с заглубленным в грунт регистром труб грунтового теплообменника (рис. 1) и включает в себя следующие основные элементы:

грунтовой массив участка теплосбора;

регистр труб грунтового теплообменника;

насос для принудительной циркуляции теплоносителя грунтового теплообменника;

участок теплотрассы, соединяющий систему теплосбора с испарителем теплонасосной системы теплохладоснабжения.

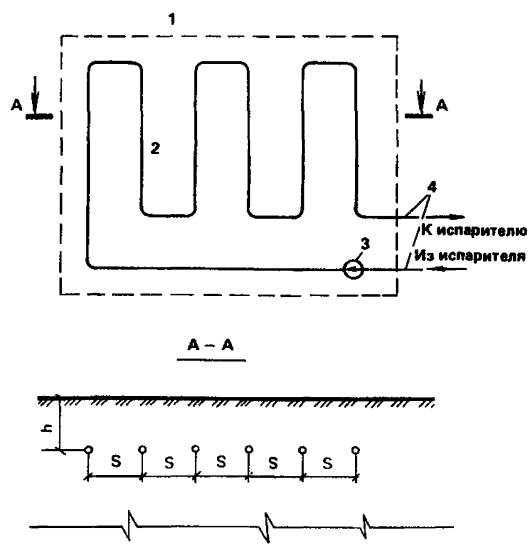


Рис. 1. Система сбора низкопотенциального тепла грунта

1 — граница участка теплосбора; 2 — регистр труб грунтового теплообменника; 3 — циркуляционный насос; 4 — соединительный участок теплотрассы

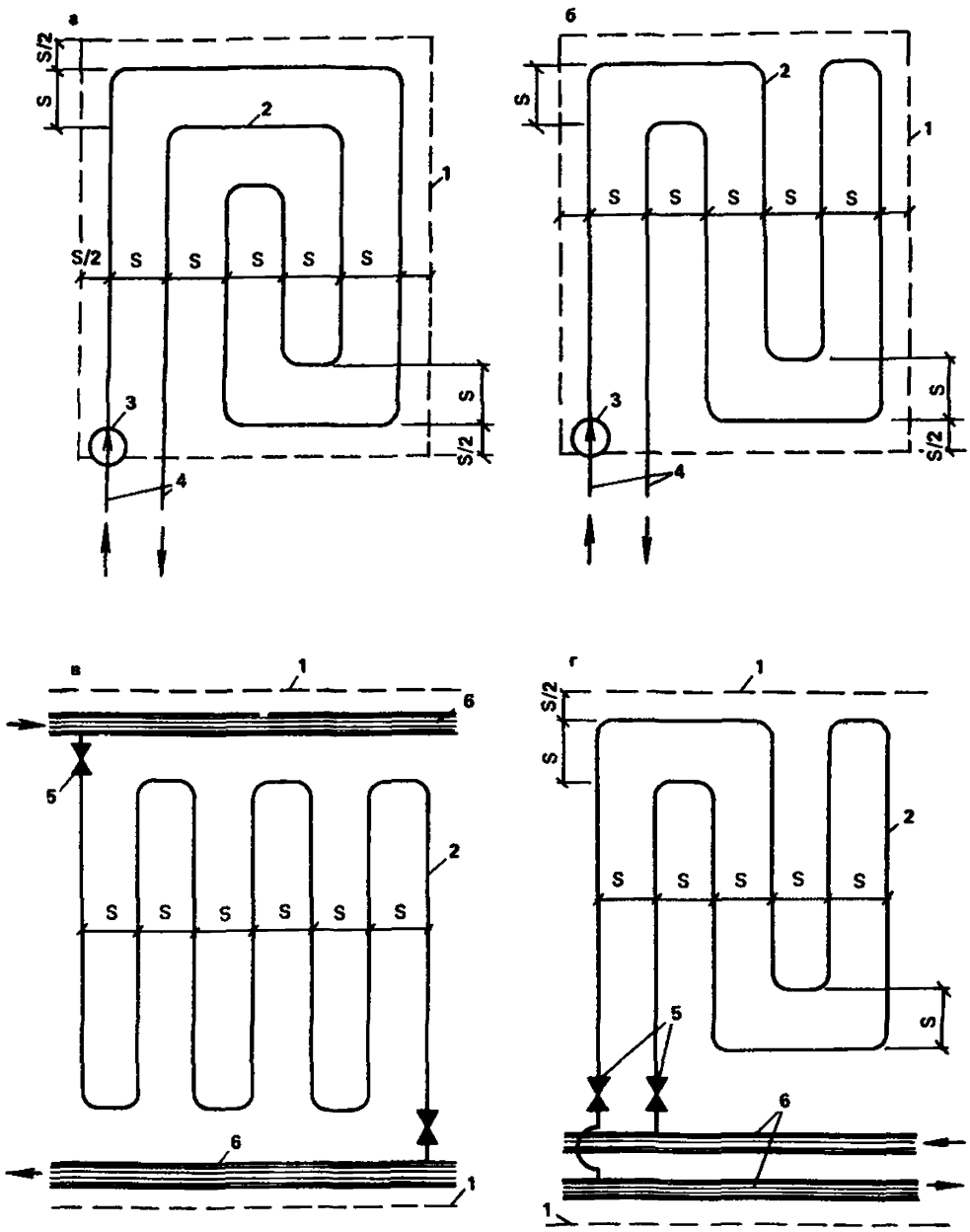


Рис. 2. Схемы расположения регистра труб грунтового теплообменника на участке теплосбора

а, б — схемы расположения регистра труб грунтового теплообменника, рекомендуемые при небольших мощностях теплонасосной системы теплохладоснабжения; в, г — схемы расположения регистра труб грунтового теплообменника, рекомендуемые при больших мощностях теплонасосной системы теплохладоснабжения;

1 — граница участка теплосбора; 2 — регистр труб грунтового теплообменника; 3 — циркуляционный насос; 4 — соединительный участок теплотрассы; 5 — отключающийся вентиль; 6 — магистральные трубопроводы

2.2. Для систем теплонасосного теплохладоснабжения (с использованием тепла грунта) следует, как правило, применять системы теплосбора с плоским, горизонтальным расположением регистра труб грунтового теплообменника.

2.3. Для выбора конструкции регистра труб грунтового теплообменника могут быть рекомендованы схемы, представленные на рис. 2.

2.4. Пространственное размещение системы сбора низкопотенциального тепла грунта определяется типом застройки, ландшафтными и почвенно-климатическими условиями местности.

2.5. Регистр труб грунтового теплообменника изготавливается из стальных или пластмассовых труб диаметром 30—50 мм.

2.6. На стадии технического проектирования системы сбора низкопотенциального тепла грунта глубина заложения регистра труб грунтового теплообменника h и шаг между трубами S (см. рис. 1) выбирают в пределах 1—2 м, в зависимости от почвенно-климатических условий, а общая требуемая длина труб, м, грунтового теплообменника $L_{тр}$ определяется по формуле

$$L_{тр} = Q_0 / q_{у.т}\, S, \qquad (1)$$

где Q_0 — необходимая мощность системы теплоснабжения, кВт;

$q_{у.т}$ — удельный теплосъем с единицы площади участка теплосбора, Вт/м^2. Для технического проектирования $q_{у.т} = 20$—25 Вт/м^2; S — шаг между трубами, м.

Примечание. Шаг труб S выбирается из условия исключения взаимного теплового влияния соседних труб.

Бо́льшие значения глубины заложения h и шага S соответствуют меньшим значениям теплопроводности грунта

2.7. На стадии рабочего проектирования рациональные значения параметров системы теплосбора (глубина заложения регистра труб грунтового теплообменника h, шаг труб S, общая требуемая длина грунтового теплообменника $L_{тр}$ и т. д.) должны определяться из условия минимума приведенных затрат на строительство и эксплуатацию конкретной теплонасосной системы теплоснабжения и обеспечения максимально возможных абсолютных температур грунта в течение всего периода эксплуатации.

2.8. В качестве теплоносителя грунтового теплообменника следует применять деаэрированную воду или нетоксичный антифриз.

2.9. В системах сбора низкопотенциального тепла грунта, использующих в качестве теплоносителя воду, применяют следующие виды циркуляционных насосов: центробежные одноступенчатые типов К, КМ и бессальниковые типа ЦВЦ.

2.10. При использовании антифризов в качестве теплоносителя грунтового теплообменника применяются вихревые насосы типов ВКС, ВКО или химические центробежные насосы типа ХО. При наличии в антифризе ингибиторов допускается применение насосов типа ЦВЦ.

2.11. При установке циркуляционных насосов в жилых домах необходимо использовать только малошумные насосы типа ЦВЦ.

2.12. При проектировании теплонасосных систем теплохладоснабжения системы сбора низкопотенциального тепла грунта следует располагать вблизи основных потребителей тепловой энергии.

2.13. Тепловая изоляция участков теплотрассы, соединяющих систему сбора низкопотенциального тепла грунта с испарителем теплонасосной системы теплохладоснабжения, выбирается из усло-

вия ограничения потерь тепла теплоносителя до уровня, не превышающего 5% в сутки.

2.14. Для удаления теплоносителя из регистра труб грунтового теплообменника следует предусматривать самостоятельную систему дренажа и заправки системы теплоносителем.

2.15. В каждой системе сбора низкопотенциального тепла грунта следует предусматривать устройства для удаления воздуха, попавшего в грунтовой теплообменник.

2.16. В проекте следует предусматривать датчик контроля за температурой, давлением и скоростью движения теплоносителя на входе и выходе из системы сбора низкопотенциального тепла грунта.

2.17. При больших мощностях теплонасосных систем теплохладоснабжения регистры труб грунтового теплообменника следует соединять в последовательно-параллельные группы и предусматривать возможность отключения отдельных секций в случае их выхода из строя без остановки всей системы теплохладоснабжения.

2.18. В случае расположения на территории участка теплосбора площадей, отведенных под сельскохозяйственные культуры или фруктовые деревья, при разработке проекта теплонасосной системы теплохладоснабжения с использованием тепла грунта необходимо всестороннее изучение вопроса влияния отбора тепла из грунта на вегетацию данного вида растений или деревьев.

2.19. При проектировании систем сбора низкопотенциального тепла грунта необходимо стремиться к наиболее полному использованию теплоаккумуляционных свойств грунтового массива, для чего должны быть близки температуры теплоносителя и грунта на выходе из регистра труб грунтового теплообменника.

3. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ СБОРА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ГРУНТА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ

3.1. Показателем эффективности системы сбора низкопотенциального тепла грунта и теплонасосной системы теплохладоснабжения в целом является коэффициент трансформации теплоты $K_{тр}$, представляющий собой отношение получаемой полезной тепловой энергии к энергии, затрачиваемой на эксплуатацию. Для идеального термодинамического цикла Карно $K_{тр}$ определяют по формуле:

$$K_{тр} = T_к / (T_к - T_0), \qquad (2)$$

где $T_к$ — температура конденсации паров рабочего тела в конденсаторе теплового насоса, К; T_0 — температура кипения рабочего тела в испарителе теплового насоса, К.

3.2. Коэффициент трансформации теплоты реальной теплонасосной системы теплохладоснабжения с учетом необратимых потерь тепла определяется по формуле

$$K^{р}_{тр} = T_к \, \eta_{т.н.} / (T_к - T_0), \qquad (3)$$

где $\eta_{т.н}$ — КПД теплового насоса, учитывающий необратимые потери при сжатии рабочего агента в компрессоре и при расширении в детандере. На стадии технического проектирования

принимается $\eta_{т.н} = 0{,}7—0{,}8$. При рабочем проектировании значение $\eta_{т.н}$ должно быть уточнено по паспортным данным используемого теплового насоса.

3.3. Температура конденсации паров рабочего тела $T_к$ выбирается из условия обеспечения в конденсаторе теплового насоса достаточного температурного напора и должна быть на 5°С выше температуры теплоносителя на входе в систему отопления.

3.4. Температура кипения рабочего тела T_0 выбирается из условия обеспечения в испарителе теплового насоса достаточного температурного напора и должна быть на 5°С ниже температуры теплоносителя на выходе из системы сбора низкопотенциального тепла грунта.

3.5. При оценке эффективности системы сбора низкопотенциального тепла грунта и теплонасосной системы теплохладоснабжения в целом должно быть учтено падение температуры грунта в процессе отбора из него тепла. В этом случае реальный коэффициент трансформации теплоты $K^{р}_{гр}$ определяется по формуле

$$K^{р}_{тр} = \eta_{т.н} \frac{T_к}{T_к - (T_г - h_т - \Delta T_\tau)}, \qquad (4)$$

где $T_г$ — среднеинтегральная за отопительный период температура слоя грунта на глубине заложения регистра труб грунтового теплообменника при отсутствии отбора тепла из грунта, К. Определяется по прил. 1 или по [1]; $h_т$ — температурный напор между теплоносителем системы сбора низкопотенциального тепла грунта и рабочим теплом в испарителе теплового насоса, К. Определяется по п. 3.4; ΔT_τ — падение температуры грунта за τ лет эксплуатации теплонасосной системы теплохладоснабжения, К.

Остальные обозначения те же, что и в формуле (3).

3.6. Отбор тепла из грунта в течение отопительного сезона вызывает значительное падение температуры грунтового массива, которое в большинстве случаев не успевает компенсироваться за лет-ний и межсезонные периоды года.

Проведенные на ЭВМ многочисленные расчеты температурного режима грунта со стоками тепла для различных почвенно-климатических условий территории СССР выявили необходимость оценки эффективности системы сбора низкопотенциального тепла грунта и системы теплонасосного теплохладоснабжения зданий и сооружений в целом по температурному режиму грунта, устанавливающемуся на пятый год эксплуатации, так как к этому времени температурный режим в грунте близок к периодическому.

3.7. Падение температуры слоя грунта ΔT_τ, °С, на глубине заложения регистра труб грунтового теплообменника за время эксплуатации теплонасосной системы теплохладоснабжения определяется по формуле

$$\Delta T_\tau = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\nu_m \cos^2 \nu_m (H - h)}{c\gamma \left(\frac{\nu_m H}{2} + \frac{1}{4} \sin 2\nu_m H \right)} \times$$

$$\times e^{-\frac{\nu_m^2 \lambda_{эф}}{c\gamma}\tau} \int_0^{\tau} [q_{от} - q_к] e^{\frac{\nu_m^2 \lambda_{эф}}{c\gamma}\tau} d\tau, \qquad (5)$$

где $\lambda_{эф}$ — эффективная теплопроводность грунта, частично учитывающая влияние процессов массопереноса на температурный режим грунта, Вт/(м·°С). Определяется по методике, изложенной в [2]; c — теплоемкость грунта, кДж/(кг·°С); γ — объемная масса грунта, кг/м³; H — глубина, м, на которой влияние стоков тепла незначительно. Принимается в пределах 10—20 м в зависимости от теплопроводности грунта; h — глубина заложения регистра труб грунтового теплообменника, м; τ — время эксплуатации теплонасосной системы теплохладоснабжения, ч. Принимается в соответствии с п. 3.6; $q_{от}$ — среднеинтегральная интенсивность теплосъема с единицы площади участка теплосбора, Вт/м²; $q_к$ — среднеинтегральная интенсивность теплосброса, на единицу площади участка теплосброса в период кондиционирования, Вт/м²; ν_m — собственные числа задачи Штурма—Лиувилля, определяемые из решения трансцендентного уравнения.

$$\operatorname{tg} \nu_m H = \alpha_п / \lambda_{эф} \nu_m, \qquad (6)$$

где $\alpha_п$ — коэффициент теплоотдачи с поверхности грунта, определяемый по СНиП II-3-79*, Вт/(м²·°С).

Значения ν_m приведены в прил. 2.

Примечание. При выводе формулы (5) регистр труб грунтового теплообменника был заменен условной плоскостью теплосъема (теплосброса).

3.8. При проведении инженерных расчетов для определения падения температуры слоя грунта ΔT_τ могут быть использованы среднеинтегральные за отопительный период и период кондиционирования значения интенсивностей теплосъема и теплосброса $\tilde{q}_{от}$ и $\tilde{q}_к$. В этом случае падение температуры слоя грунта определяется по формуле

$$\Delta T_\tau = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\cos^2 \nu_m (H-h)}{\nu_m \lambda_{эф} \left(\frac{\nu_m H}{2} + \frac{1}{4} \sin 2\nu_m H \right)} \times$$

$$\times e^{-\frac{\nu_m^2 \lambda_{эф}}{c\gamma}(kT+z_{от})} \times \sum_{n=0}^{к} \left\{ \tilde{q}_{от} \left[e^{\frac{\nu_m^2 \lambda_{эф}}{c\gamma}(z_{от}+nT)} - e^{\frac{\nu_m^2 \lambda_{эф}}{c\gamma}nT} \right] - \tilde{q}_к \left[e^{\frac{\nu_m^2 \lambda_{эф}}{c\gamma}(z_к+nT)} - e^{\frac{\nu_m^2 \lambda_{эф}}{c\gamma}(z_и+nT)} \right] \right\}, \qquad (7)$$

где k — количество лет, требуемое для выхода температур грунта на установившийся режим, лет. Определяется в соответствии с

п. 3.6; $T=8760$ ч — количество часов в году; $z_{от}$ — продолжительность отопительного периода, ч; $z^{к}_{н}$ — время начала сезона кондиционирования, отсчитываемое от начала отопительного периода, ч; $z^{к}_{к}$ — время окончания сезона кондиционирования, отсчитываемое от начала отопительного периода, ч.
Остальные обозначения те же, что и в п. 3.7.

Примечание. За начало отсчета принято начало отопительного периода первого года эксплуатации.

3.9. Сравнение тепловой экономичности теплонасосной системы теплохладоснабжения с традиционными системами отопления и кондиционирования производится по удельному расходу условного топлива на получение единицы полезной тепловой энергии (холода) $b_{т.т}$. (Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. — М.: Энергоиздат, 1982 — 360 с.), который определяется по формуле

$$b_{т.т}=b^{э}_{к}\ [K^{р}_{тр}\ (1-\varphi_{с.н}\ )\eta_{э.с}\ ], \qquad (8)$$

где $b^{э}_{к}$ — удельный расход условного топлива на выработку электрической энергии на конденсационных электростанциях (КЭС), г/кВт·ч; $K^{р}_{тр}$ — реальный коэффициент трансформации теплоты теплонасосной системы теплохладоснабжения, определяемый в соответствии с пп. 3.5—3.8; $\varphi_{с.н}$ — коэффициент собственных нужд КЭС $\varphi_{с.н}=0{,}04—0{,}06$; $\eta_{э.с}$ — КПД электрической сети $\eta_{э.с}=0{,}94—0{,}96$.

Применение теплонасосной системы теплохладоснабжения с использованием низкопотенциального тепла грунта эффективно только в том случае, когда

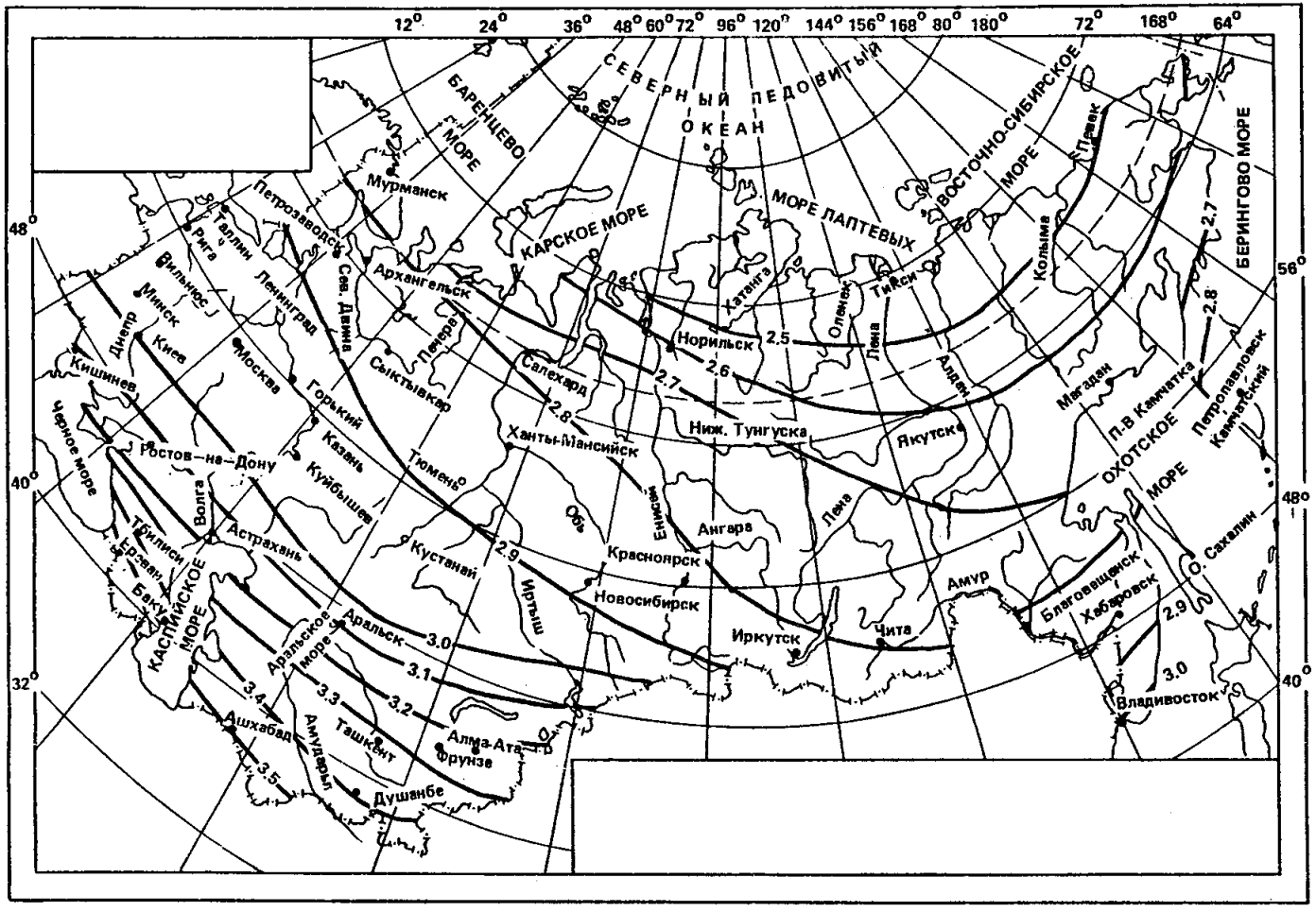
$$b_{т.т}<b_{т.р}, \qquad (9)$$

где $b_{тр}$ — удельный расход условного топлива на получение единицы полезной тепловой энергии (холода) в традиционной системе теплохладоснабжения, кг/Гкал.

3.10. На стадии технического проектирования и оценки технико-экономической эффективности применения теплонасосных систем теплохладоснабжения с использованием низкопотенциального тепла грунта в различных почвенно-климатических условиях территории СССР значения реального коэффициента трансформации теплоты $K^{р}_{тр}$ принимается по карте, представленной на рис. 3.

Примечание. Величина $K^{р}_{тр}$ рассчитана на ЭВМ по методике, изложенной в пп. 3.5.—3.8. В качестве основных исходных данных использованы средние значения параметров систем сбора низкопотенциального тепла грунта и теплонасосных систем теплохладоснабжения, полученные из анализа отечественной и зарубежной практики строительства подобных систем, а также средние значения теплотехнических характеристик грунтов распространенных на территории СССР; $h=1{,}6$ м; $\lambda_{эф}=1{,}16$ Вт/(м·°С); $c\gamma=2520$ кДж/(м³·°С); $q_{от}=20$ Вт/м².

3.11. Применение теплонасосных систем теплохладоснабжения с использованием низкопотенциального тепла грунта эффективно по



СЕВЕРНЫЙ ЛЕДОВИТЫЙ ОКЕАН
БАРЕНЦЕВО МОРЕ
КАРСКОЕ МОРЕ
МОРЕ ЛАПТЕВЫХ
ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ МОРЕ
БЕРИНГОВО МОРЕ
ОХОТСКОЕ МОРЕ
КАСПИЙСКОЕ МОРЕ
Мурманск
Петрозаводск
Архангельск
Сев. Двина
Печера
Сыктывкар
Салехард
Норильск
Хатанга
Оленек
Тикси
Лена
Алдан
Колыма
Певек
Магадан
П-В Камчатка
Петропавловск Камчатский
Якутск
Ниж. Тунгуска
Ханты-Мансийск
Тюмень
Обь
Енисей
Ангара
Красноярск
Новосибирск
Иркутск
Чита
Амур
Благовещенск
Хабаровск
Владивосток
О. Сахалин
Кустанай
Иртыш
Аральское море
Аральск
Ташкент
Алма-Ата
Фрунзе
Душанбе
Амударья
Ашхабад
Астрахань
Волга
Ростов-на-Дону
Куйбышев
Казань
Горький
Москва
Ленинград
Таллин
Рига
Вильнюс
Минск
Киев
Днепр
Кишинев
Черное море
Тбилиси
Ереван
Баку
Петрозаводск
12°
24°
36°
48°
60°
72°
96°
120°
144°
156°
168°
80°
180°
72°
168°
64°
48°
40°
32°
56°
48°
40°
2.5
2.6
2.7
2.8
2.9
3.0
3.1
3.2
3.3
3.4
3.5

тепловой экономичности в сравнении с традиционными системами при значениях реального коэффициента трансформации теплоты $К^{р}_{тр}$, превышающих следующие величины: для электроотопления — 1; для теплоснабжения от районных котельных — 2,8; для теплоснабжения от ТЭЦ — 3,7.

Примечание. На рис. 3 представлено распределение по территории СССР зон эффективного применения теплонасосных систем теплоснабжения с использованием низкопотенциального тепла грунта по сравнению с теплоснабжением от районных котельных.

Рис. 3. Зоны эффективного применения теплонасосных систем теплоснабжения с использованием низкопотенциального тепла грунта по сравнению с теплоснабжением от районных котельных

Приложение 1

Температуры грунта на глубине 1,6 м для некоторых городов СССР

Город	Средние температуры грунта по месяцам, °С											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Архангельск	4	3,5	3,1	2,7	2,5	3	4,5	6	7,1	7	6,1	4,9
Астрахань	7,5	6,1	5,9	7,3	11	14,6	17,4	19,1	19,1	16,7	13,6	10,2
Ашхабад	11,7	10,5	11,4	14,1	17,8	21,9	25,1	26,6	25,6	22,6	18,4	14
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	—0,2	0	3	6,8	7,2	5,4	2,9	1,4
Владивосток	3,7	2	1,2	1	1,5	5,3	9,1	12,4	13,8	12,7	9,7	6,4
Иркутск	—0,8	—2,8	—2,7	—1,1	—0,5	—0,2	1,7	5	6,7	5,6	3,2	1,2
Киев	3,8	2,8	2,2	3,5	7,9	12,4	15,3	16,2	15,7	12,7	9	5,7
Кишинев	6,2	4,8	4,6	7	11,3	15,1	18	19,6	18,7	15,6	12	8,4
Комсомольск-на-Амуре	0,8	—0,4	—0,9	—0,4	0	1,9	6,7	10,5	11,3	9	5,5	2,7
Магадан	—6,5	—8	—8,8	—8,7	—3,9	—2,6	—0,8	0,1	0,4	0,1	—0,2	—2
Москва	3,8	3,2	2,7	3	6,2	9,6	12,1	13,4	12,5	10,1	7,3	5
Мурманск	0,7	0,3	0	—0,3	—0,3	0,2	4	6,7	6,6	4,2	2,7	1
Новосибирск	2,1	1,2	0,6	0,5	1,3	5	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	11,2	8,8	6
Пермь	2,9	2,3	1,9	1,6	3,4	7,2	10,5	12,1	11,5	9	6	4

Продолжение прил. 1

Город	Средние температуры грунта по месяцам, °С											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Петропавловск-Камчатский	2,6	1,9	1,5	1,1	1,2	3,4	6,7	9,1	9,6	8,3	5,6	3,8
Ростов-на-Дону	8	6,6	5,9	6,8	9,9	12,9	15,5	17,3	17,5	15,8	13	10
Салехард	1,6	1	0,7	0,5	0,4	0,9	3,9	6,8	7,1	5,6	3,5	2,3
Сочи	11,2	9,8	9,6	11	13,4	16,2	18,9	20,8	21	19,2	16,8	13,5
Таллин	4	3,2	2,6	2,6	5	8	10,5	11,8	11,5	9,9	7,7	5;5
Ташкент	9,6	8,2	8,9	11,7	15,7	20	23,9	25,7	24,8	21,5	16,9	12
Туруханск	0,9	0,5	0,2	0	0	0,1	1,6	6,2	6,4	4,5	2,8	1,8
Тура	—0,9	—0,3	—5,2	—5,3	—3,2	—1,6	—0,7	1,2	2	0,7	0	—0,2
Уэлен	—6,3	—8	—8,6	—8,7	—6,3	—1,2	—0,4	0,1	0,2	0	—0,8	—3,7
Хабаровск	0,3	—1,8	—2,3	—1,1	—0,4	2,5	9,5	13.3	13,5	10,9	6,7	3
Целиноград	0,2	—1,2	—1,6	—0,6	3,7	8,3	11,6	13	12,4	9,7	6,1	2,8
Якутск	—5,6	—7,4	—7,9	—7	—4,1	—1,8	0,3	1,5	1,1	0,1	—0,1	—2,4
Ялта	8	6,7	6,9	8,8	11,8	15,3	18	19,5	18,8	16,1	13,1	10
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

Решение уравнения $\operatorname{tg} \nu_m H = \alpha_n / \lambda_{эф} \nu_m$

$$\left(\nu_m = \mu_m / H, \quad Bi = \frac{\alpha_n H}{\lambda_{эф}} \right)$$

Bi	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
0	0,0000	3,1416	6,2832	9,4248
0,001	0,0316	3,1419	6,2833	9,4249
0,002	0,0447	3,1422	6,2835	9,4250
0,004	0,0632	3,1429	6,2838	9,4252
0,006	0,0774	3,1435	6,2841	9,4254
0,008	0,0893	3,1441	6,2845	9,4256
0,01	0,0998	3,1448	6,2848	9,4258
0,02	0,1410	3,1479	6,2864	9,4269
0,04	0,1987	3,1543	6,2895	9,4290
0,06	0,2425	3,1606	6,2927	9,4311
0,08	0,2791	3,1668	6,2959	9,4333
0,1	0,3111	3,1731	6,2991	9,4354
0,2	0,4328	3,2039	6,3148	9,4459
0,3	0,5218	3,2341	6,3305	9,4565
0,4	0,5932	3,2636	6,3461	9,4670
0,5	0,6533	3,2923	6,3616	9,4775
0,6	0,7051	3,3204	6,3770	9,4879
0,7	0,7506	3,3477	6,3923	9,4983
0,8	0,7910	3,3744	6,4074	9,5087
0,9	0,8274	3,4003	6,4224	9,5190
1,0	0,8603	3,4256	6,4373	9,5293
1,5	0,9882	3,5422	6,5097	9,5801
2,0	1,0769	3,6436	6,5783	9,6296
3,0	1,1925	6,8088	6,7040	9,7240
4,0	1,2646	3,9352	6,8140	9,8119
5,0	1,3138	4,0336	6,9096	9,8928
6,0	1,3496	4,116	6,9924	9,9667
7,0	1,3766	4,1746	7,0640	10,0339
8,0	1,3978	4,2264	7,1263	10,0949
9,0	1,4149	4,2694	7,1806	10,1502
10,0	1,4289	4,3058	7,2281	10,2003
15,0	1,4729	4,4255	7,3959	10,3898
20,0	1,4961	4,4915	7,4954	10,5117
30,0	1,5202	4,5615	7,6057	10,6543
40,0	1,5325	4,5979	7,6647	10,7334
50,0	1,5400	4,6202	7,7012	10,7832
60,0	1,5451	4,6353	7,7259	10,8172
80,0	1,5514	4,6543	7,7573	10,8606
100,0	1,5552	4,6658	7,7764	10,8871
	1,5708	4,7124	7,8540	10,9956

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3

1. Общие положения 4

2. Конструирование систем сбора низкопотенциального тепла грунта 5

3. Оценка эффективности систем сбора низкопотенциального тепла грунта для целей теплохладоснабжения зданий . . 8

Приложение 1. Температуры грунта на глубине 1,6 м для некоторых городов СССР 14

Приложение 2. Решение уравнения $\operatorname{tg} \nu_m H = \frac{\alpha_n}{\lambda_{эф}\ \nu_m}$ 16

Нормативно-производственное издание

НИИСФ Госстроя СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ СБОРА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ГРУНТА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ

Редакция инструктивно-нормативной литературы

Зав. редакцией *Л. Г. Бальян*
Редактор *Э. Н. Федотова*
Мл. редактор *Н. И. Рябинина*
Технический редактор *М. Д. Левина*
Корректор *В.И. Галюзова*

Н/К

Подписано в печать 17.12.87 Т-06459 Формат 60x84 1/16
Бумага офсетная №1 Усл.печ.л. 0,93 Усл. кр.-отт. 1,31
Уч.-изд. л. 1,13 Тираж 5000 экз. Изд. № ХП-2123 Зак. №42 62
Цена 5 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23 а

Московская типография № 9
НПО Всесоюзная книжная палата Госкомиздата СССР
109033, Москва, Волочаевская, 40

gost.e-ecolog.ru