

ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ГРУНТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЕГО НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ С ПОМОЩЬЮ УСТАНОВКИ “ТЕПЛОВОЙ НАСОС – ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ГРУНТОВОЙ ТЕПЛООБМЕННИК”

Приводится метод определения основных параметров и энергетических показателей установки “ТН - ВГТО” при нестационарном режиме теплосъема от грунта. Приведены результаты расчетов по изменению температуры грунта в течение отопительного сезона. Предлагается так организовать процесс теплосъема за отопительный сезон, чтобы слои грунта вокруг ВГТО не имели отрицательных температур. Этого можно достичь снижением и регулировкой температур хладоносителя и испарением хладагента. Для нормальной эксплуатации установки в последующие годы, в стадии проектирования, следует предусмотреть возможность проведения “подзарядки” грунта вокруг ВГТО в течение оставшихся месяцев года с применением других технологических схем и НВИЭ. Представлена принципиальная схема установки “ТН - ВГТО” со способностью “подзарядки” грунта вокруг ВГТО с помощью низкотемпературного солнечного коллектора.

Ключевые слова: отопление зданий, тепловой насос, вертикальный грунтовый теплообменник, тепловой режим грунта, метод определения параметров для проектирования и эксплуатации

Несмотря на высокую энергоэффективность тепловых насосов (ТН), они не нашли широкого применения в Армении. Наиболее часто применяются так называемые местные “бытовые кондиционеры” типа “воздух – воздух”, обеспечивающие охлаждение и нагрев внутреннего воздуха в отдельных помещениях. Применение других видов ТН весьма ограничено, хотя ТН типа “воздух – воздух” имеют наибольшую энергопотребность. Однако, те имеют простую конструкцию, а переход от режима отопления к режиму охлаждения осуществляется переводом четырехходового вентиля с одного положения в другое, меняя тем самым функции конденсатора и испарителя. С другой стороны, те могут быть применены повсюду из-за неограниченности низкопотенциального источника теплоты (НПИТ) - наружного и удаляемого (из помещения) воздуха [1, 2]. Этому способствуют и низкая стоимость этих ТН, расширенная сеть экспортирования в РА, легкость монтажа и обслуживания.

Внедрение других видов ТН связано с ограниченностью НПИТ и, соответственно, масштабом экспорта оборудования, отсутствием соответствующих норм, опыта проектирования и эксплуатации. В качестве НТИП в ТН можно применить энергию солнца, грунта, сточных вод, естественных водоемов, а также вторичные энергоресурсы промышленных предприятий. В ряде исследований [3,4] изучены перспективы использования энергии солнца при помощи низкотемпературных солнечных коллекторов и бассейнов, изложены теоретические основы и представлены технологические схемы, технико-экономические показатели, дающие основы для целесообразного использования этих НТИП.

Вопросу использования низкопотенциальной энергии грунта посвящена работа [5], однако окончательно не рассмотрены теоретические основы изменения теплового режима грунта в нестационарном процессе теплосъема этой энергии при помощи установок “ТН - вертикальный

грунтовой теплообменник (ВГТО)” для отопления зданий в течение отопительного сезона. Изучению этого вопроса посвящена данная статья. Разработан специальный метод определения параметров грунта, а также технические способы и схемы организации теплосъема с помощью ВГТО таким образом, чтобы сохранить температуру грунта по глубине заложения положительной в течение отопительного сезона. Необходимость сохранения таких температур продиктована тем, что в течение отопительного сезона в отдельных слоях грунта, особенно в поверхностных (до 20 ...30 м), могут создаваться отрицательные температуры [6], что приведет к обледенению этих слоев, что и ухудшит процесс теплосъема.

Исследование [6] показало, что величина низкопотенциальной теплоты и температурный режим глубинных слоев грунта во-первых, обусловлены теплотой, идущей из более глубоких слоев (так называемая радиогенная теплота), которая имеет незначительное значение и намного меньше, чем использует ТН, во-вторых - теплотой, идущей от соседних слоев, непосредственно прилегающих к тем слоям, в которых установлен ВГТО. Однако, из-за низкой интенсивности этих процессов, грунт вокруг ВГТО, хоть и медленно, но остывает. Верхние слои грунта подвергаются воздействию холодного наружного воздуха (зимой), тоже остывают и замерзают. Как указывается в [6], этот процесс происходит в течение пяти лет, а потом стабилизируется и грунт переходит к начальному состоянию. Это означает, что со временем, возникает необходимость восполнения указанных слоев грунта теплотой от естественных источников теплоты или же следует применить соответствующие технические средства и схемы или же со временем, после сезона эксплуатации установки, следует использовать другие, дополнительные ВГТО.

Из изложенного следует, что процесс теплосъема из грунта является нестационарным и следует изучить процесс теплосъема за отопительный сезон для правильной организации процесса, что можно сделать, если имеем соответствующий метод нестационарного процесса теплосбора от грунта. Подобный метод изложен в [6], однако он имеет сложный математический аппарат-дифференциальные уравнения второго порядка и ведение расчетов значительно затруднено. Поэтому нами разработана более доступная методика, основные формулы и полученные результаты которой представлены в данной статье. Метод дает возможность изучить температурные режимы в различных глубинах и диаметры распространения тепловых волн в грунте, изыскать технические возможности восстановления теплового равновесия грунта перед использованием в следующем отопительном сезоне.

Обратимся к изучению процесса теплосбора от грунта с помощью установки “ТН – ВГТО” при нестационарном процессе в течение текущего времени τ и отопительного сезона в данной

климатической местности с продолжительностью $\sum_{\tau=1}^n \Omega_{\tau}$.

Суммарная теплота, аккумулированная в слоях грунта и обусловленная ее изобарной или изохорной теплоемкостями (c_p^{zp}, c_v^{zp}), плотностью (ρ_{zp}), диаметром распространения текущих цилиндрических тепловых волн (d_{mek}^i), глубиной ВГТО (h_i), температурным перепадом в грунте до и после теплосъема от грунта при помощи ВГТО ($\Delta t_{zp} = t_{zp,\tau=0}^{нач.} - t_{zp,\tau=i}^{кон.}$) в течение отопительного сезона, определится выражением

$$\sum_{\tau=1}^{\Omega_{от.с}} Q_{zp,\tau}^{mek.} = \rho_{zp} \cdot c_p^{zp} \cdot \frac{\pi}{4} d_{mek}^i{}^2 h_i (t_{zp,\tau=0}^{нач.} - t_{zp,\tau=i}^{кон.}) , \quad \kappa Дж. \quad (1)$$

Часть этой теплоты восполняется за счет радиогенной теплоты, определяемой формулой

$$\sum_{\tau=0}^{\Omega_{от.с}} Q_{рад.т.}^{\tau} = \left(\frac{\pi}{4} d_{тек.}^i{}^2 q_{рад.т.}^{\tau} \right) \tau, \quad \kappa Дж, \quad (2)$$

где $q_{рад.т.}^{\tau}$ - удельная радиогенная теплота, которая, согласно [5], может составить 0,08 ... 0,12 Вт/м².

Тепловой баланс при теплосборе теплоты от грунта при помощи ВГТО имеет вид

$$\sum_{\tau=1}^{\Omega_{от.с.}} Q_{ср.}^{тек.т.} + \sum_{\tau=1}^{\Omega_{от.с.}} Q_{рад.т.}^{\tau} = \sum_{\tau=1}^{\Omega_{от.с.}} (Q_{ср.}^{т.сеп.т.} \tau), \quad \kappa Дж. \quad (3)$$

Придавая времени τ числовые значения ($\tau = 0 \text{ до } \Omega_{от.с.}$), можно определить диаметры распространения текущих цилиндрических тепловых волн в грунте ($d_{тек.}^i$) в зависимости от времени τ . При этом следует принять условие

$$d_{тек.}^i = d_{нар.т.}^{ВГТО} + 2\delta_{тек.}^i, \quad м, \quad (4)$$

где $\delta_{тек.}^i$ - текущая толщина грунта, в которой из-за теплосъема с помощью ВГТО, изменяется температура от $t_{ср.т.=0}^{нач.}$ до $t_{ср.т.=i}^{кон.}$.

В формулах (1), (2), заменяя $d_{тек.}^i$ величинами, приведенными в формуле (3), и пользуясь формулой (4), получим следующее выражение, при помощи которого можно определить $\delta_{тек.}^i$, а затем и $d_{тек.}^i$:

$$4(A+B)\delta_{тек.}^i{}^2 + 4(A+B)d_{нар.т.}^{ВГТО}\delta_{тек.}^i - \sum_{\tau=1}^{\Omega_{от.с.}} (Q_{ср.}^{т.сеп.т.} \tau) = 0, \quad (5)$$

где $A = \rho_{ср.} c_p \frac{\pi}{4} h_i (t_{ср.т.=0}^{нач.} - t_{ср.т.=i}^{кон.})$, $B = \left(\frac{\pi}{4} d_{тек.}^i{}^2 q_{рад.т.}^{\tau} \right) \tau$, а $Q_{ср.}^{т.сеп.т.}$ определяется формулой:

$$Q_{ср.}^{т.сеп.т.} = \frac{t_{гр.} - t_{хн.}}{R_{\Sigma}}, \quad \text{где } t_{гр.}, t_{хн.} - \text{температуры грунта и хладоносителя в различных слоях грунта.}$$

$$\delta_{тек.}^i = \frac{2(A+B)d_{нар.т.}^{ВГТО} \pm \sqrt{(4(A+B)d_{нар.т.}^{ВГТО})^2 - 16(A+B)\sum(Q_{ср.}^{т.сеп.т.} \tau)}}{8(A+B)}, \quad м. \quad (6)$$

Приняв значения величин: $\rho_{ср.} = 1200 \text{ кг/м}^3$, $c_p = 3,2 \text{ кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$, $d_{нар.т.}^{ВГТО} = 0,5 \text{ м}$,

$Q_{ср.}^{т.сеп.т.} = 2,245 \text{ кВт}$, $t_{ср.т.=0}^{нач.} = 14$, $\Delta t_{ср.т.}^{т.сеп.т.} = 0,048 \text{ } ^\circ\text{C}$, $t_{хн.}^{вн.т.} = 0$ и $t_o = -5 \text{ } ^\circ\text{C}$ (значения этих величин

получены из предыдущих расчетов) для условий г.Еревана, когда $\Omega_{от.с} = 3624 \text{ ч/год}$, получим:

$\delta_{тек.}^i = 1,54$, $d_{тек.}^i = 3,58 \text{ м}$ на глубине $h_i = 100 \text{ м}$, а на глубине $h_i = 100 \dots 10 \text{ м}$ - $d_{тек.}^i = 2,69 \dots 3,58 \text{ м}$.

Из вышеизложенного следует, что при числе указанных типов ВГТО более 1 шт. межсезонное расстояние этих аппаратов должно быть не менее $D_{верт.ВГТО}^{межсез.} \geq 2d_{тек.}^i \geq 7,16 \text{ м}$. Одновременно получается, что общий теплосъем по высоте ВГТО в начале и конце отопительного сезона сокращается от $\sum_{h=100 \dots 10} Q_{ср.}^{т.сеп.т.} = 9,71$ до $\sum_{h=100 \dots 10} Q_{ср.}^{т.сеп.т.} = 6,82 \text{ кВт}$ или сокращается на 30 %. Для других городов РА

имеем: г. Ванадзор - $\Omega_{от.с} = 4344 \text{ ч/год}$, $D_{верт.ВГТО}^{межсез.} \geq 2 \cdot 3,66 = 7,22 \text{ м}$, г. Раздан $\Omega_{от.с} = 5088 \text{ ч/год}$,

$$D_{верт.ВГТО}^{межсез.} \geq 2 \cdot 3,85 = 7,7 \text{ м}.$$

Имея значения $D_{верт.ВГТО}^{межсез.}$ для данного населенного пункта, следует правильно установить ВГТО, избегая наложения тепловых волн по глубине и в толще грунта.

Из-за теплосбора с помощью ВГТО грунт остывает, снижаются температуры по глубине (в вертикальном направлении) и толще (в горизонтальном направлении), что приводит к снижению величины теплосбора за отопительный сезон. Характер изменения температуры в вертикальном направлении и в различных глубинах грунта в условиях г. Еревана представлены в виде графиков на рис.1.

Из графиков следует (рис. 1), что даже при глубине заложения ВГТО 30м под конец сезона температура грунта становится отрицательной. Если бы сезон был более продолжительным, то подобное произошло бы и на больших глубинах, что привело бы к снижению величины теплосъемов и к перебоям работы установки, то есть это отразится на теплопроизводительности и коэффициенте преобразования ТН. Одновременно, из графиков (рис.1) следует, что при неорганизованном теплосъеме от грунта установкой ТН – ВГТО (настолько возможно) грунт остынет и в конце февраля на глубинах $h_i = 30, 50\text{м}$ будут сначала меньшие положительные, а затем отрицательные температуры. В последующем, из-за замерзания грунта резко снизится теплосбор, тем и тепловая мощность ТН: более чем на 3 ... 3,5 раза. В таких условиях организация нормального отопления потребителей при помощи установки “ТН - ВГТО” невозможна и следует включить резервный источник теплоты, например, газовый котел. Для других городов РА, имеющих более длительные сезоны отопления, грунт остынет быстрыми темпами и грунтовая влага перейдет в лед, ухудшая процесс теплопередачи от грунта к хладоносителю. При этом процесс теплосъема становится затруднительным, технически невозможным.

Это означает, что теплосъем от грунта необходимо организовать таким образом, чтобы не имели место отрицательные температуры грунта на глубинах более 30м. Этого можно достичь снижением и регулировкой температур хладоносителя и испарения хладагента, изменением расхода хладоносителя и производительности цирк. насоса, частным пуском - остановкой электродвигателя компрессора ТН, использованием других технологических схем с вовлечением других НПИТ, традиционных источников теплоты и и т.д.

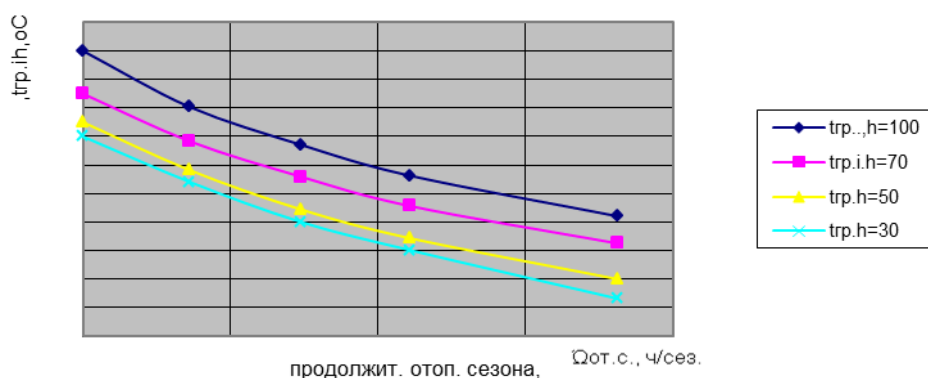


Рис. 1. Характер изменения температуры грунта в различных глубинах заложения ГТО в течение отопительного сезона в условиях г. Еревана

С этой целью рассмотрен пример опытного проектирования установки “ТН – ВГТО”, обеспечивающей тепловую нагрузку двухэтажного жилого дома в гг. Еревана, Ванадзора и Раздана.

При расчетных наружной и внутренней температурах воздуха

$t_{нар.в.Ер.}^{расч.} = -16, t_{нар.в.Ван.}^{расч.} = -15, t_{нар.в.Разд.}^{расч.} = -21, t_{вн.в.}^{от.с.} = 18^{\circ}\text{C}$, расчетная тепловая нагрузка отопления

$Q_{30}^{расч.}$, в среднем, принята примерно 10 кВт. Изменения относительной тепловой нагрузки

$$\bar{Q}_{от.с.} = \frac{Q_{от.н.}^i}{Q_{30}^{расч.}} = \frac{t_{вн.в} - t_{ср.сез.}^i}{t_{вн.в} - t_{нар.в.}^{расч.}}$$
 по месяцам отопительного сезона для указанных городов

представлены на рис. 2.

Из рис. 2 следует, что характер изменения относительной отопительной нагрузки за отопительный сезон для гг. Ванадзора и Раздана, несмотря на разность расчетной наружной температуры воздуха и продолжительности сезона, почти совпадает – разность составляет 2 ...3%, кроме ноября для г. Ванадзора. Для г. Еревана $\bar{Q}_{от.с.}$ гораздо меньше. Эти величины в значительной степени, повлияют на энергетические показатели установки.

Имея характер изменения $\bar{Q}_{от.с.}$ для указанных городов и приняв условие, что установка “ТН – ВГТО” обеспечивает нагрузку отопления здания в базовом режиме, а пиковая нагрузка покрывается другим источником теплоты, например, газовым котлом, можно выбрать такой ТН, который может обеспечить среднемесячную нагрузку здания в течении отопительного сезона. В данном случае воспользовались компьютерной программой фирмы “BITZER”. При расчетах приняты следующие условия регулирования теплопроизводительности ТН и ВГТО по месяцам отопительного сезона:

- массового расхода хладоносителя - $G_{гр.}^i = G_{хл.}^{расч.} \bar{Q}_i$,
- температуры хладоносителя $t_{хл.}^i$ и, соответственно, испарения хладагента t_o^i ,
- повседневные пуском – остановкой электродвигателя ТН с использованием баков аккумуляторов для аккумуляции горячей воды на нужды отопления потребителей.

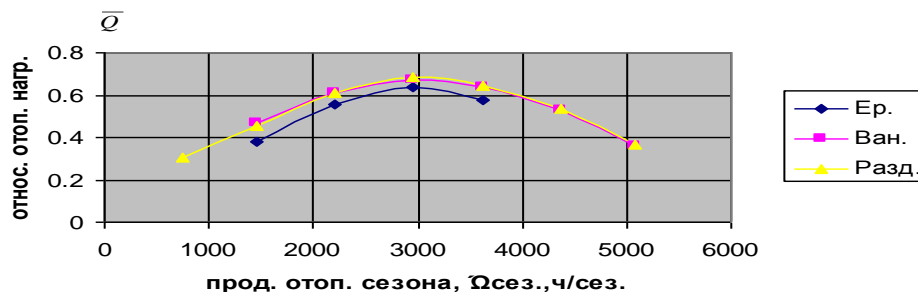


Рис. 2. Изменение относительной отопительной нагрузки за отопительный сезон для ряда городов РА

При расчете определяется величины $Q_{нтп}^i$ для i -го месяца при заданной $Q_{от.н.}^i$, если температура конденсации для принятого типа хладагента (в данном случае R 22) остается постоянной (в данном случае $t_k = 63^\circ C$). $Q_{нтп}^i$ и определяется изменением температуры хладоносителя $t_{хл.}^i$, соответственно, испарения хладагента t_o^i , а затем осуществляем выбор ТН для конкретных условий, пользуясь указанной программой, и насоса для циркуляции хладоносителя. Затем определены расходы электроэнергии на их электроприводы. Изменение величины теплосъема $Q_{т.сб.}$ от грунта установкой “ТН – ВГТО”, необходимое для обеспечения теплотой потребителя и соответствующие температуры испарения t_o R 22, в условиях гг. Еревана, Ванадзора, Раздана за отопительный сезон представлены на рис. 3.

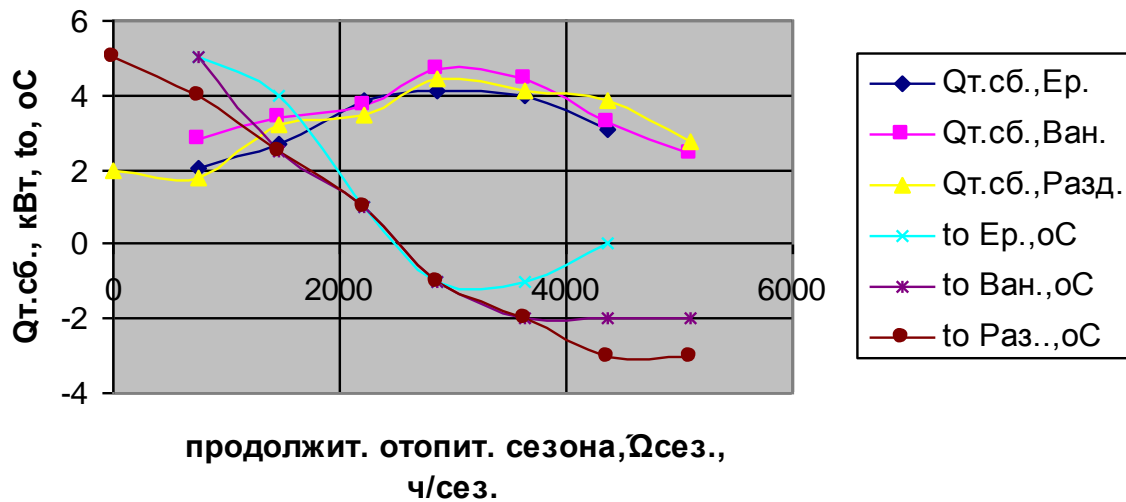


Рис. 3. Изменение величины теплосбора $Q_{т.сб.}$ от грунта установкой “ТН – ВГТО”, необходимое для обеспечения теплотой теплопотребителя и температуры испарения t_o R 22 в условиях гг. Еревана, Ванадзора, Раздана за отопительный сезон

Ход изменения кривых на рис. 3 указывает, что для обеспечения теплопотребления при помощи установки “ТН – ВГТО” для всех городов из-за относительно высокой температуры в различных слоях грунта в начале сезона температура испарения t_o R 22 высока. В последующие месяцы t_o снижается, поскольку растет тепловая нагрузка потребителя и снижаются температуры в различных слоях грунта. Однако для г.Еревана под конец сезона, когда имеет место резкое снижение теплопотребления, следует повысить t_o . Изменение t_o отразится на энергоэффективности установки “ТН – ВГТО” и действительный коэффициент преобразования ТН - $\mu_{ТНУ}^{\delta}$. Последнее представляет из собой соотношение выработанной теплоты, необходимое для тепловых нужд потребителя, полученный за счет теплосбора от грунта, и, требуемой при этом суммы электрических мощностей электродвигателей компрессора ТН и циркуляционных насосов. $\mu_{ТНУ}^{\delta}$ определится выражением:

$$\mu_{ТН-ВГТО}^{\delta} = \frac{Q_{т.ном.}}{\sum (N_{эл.дв}^{к.ТН} + N_{эл.дв}^{к.хл.} + N_{эл.дв}^{н.тн.})}, \quad (7)$$

где $N_{эл.дв}^{н.хл.}$, $N_{эл.дв}^{н.тн.}$ - электрические мощности электродвигателей насосов циркуляции хладо- и теплоносителя, кВт.

$N_{эл.дв}^{н.хл.}$ зависит от создаваемого напора $\sum_{i=1}^n (\Delta p_{тр.i}^{нар.тр.} + \Delta p_{тр.i}^{вн.тр.})$, Па для циркуляции

хладоносителя, а напор изменяется в зависимости от геометрических размеров ВГТО, теплофизических свойств хладоносителя, а также от объемной производительности, определяемой формулой: $V_{хл.} = \frac{G_{хл.}}{\rho_{хл.}}$, м³/с. Гидравлические потери при транспортировке хладоносителя в

течение сезона остаются почти неизменными, это означает, что элетрическая мощность электропривода насоса тоже остается неизменной. $N_{эл.дв}^{н.хл.}$ рассчитывается в каждом случае для i -его участка. Так как $N_{эл.дв}^{н.тн.}$ не зависит от изменения выше изложенных процессов и величин, то числовое

значение этой величины в расчетах $\mu_{уст.}^{\circ}$ не учитывается. $\mu_{ТНУ}^{\circ}$ зависит от ряда факторов: типа хладона и компрессора, термодинамического совершенства цикла и процесса сжатия хладагента в компрессоре, теплопроизводительности ТН, температурных режимов - температуры конденсации t_k и испарения t_o , которые, в свою очередь, зависят от температуры теплоснабжения - $t_{ном}$ и НВИЭ - $t_{НВИЭ}$.

Для выявления хода изменения действительного коэффициента преобразования $\mu_{ТН-ВГТО}^{\circ}$ за отопительный сезон построены соответствующие графики для различных городов РА (рис.4). Из графиков следует, что $\mu_{ТН-ВГТО}^{\circ}$ для условий г. Еревана самый высокий, поскольку выше температура испарения t_o (рис. 3), меньше относительная отопительная нагрузка и продолжительность отопительного сезона, из-за чего слои грунта особо не остывают. $\mu_{ТН-ВГТО}^{\circ}$ особенно высоко в начале и конце сезона, когда имеем: $\bar{Q}^{XI} = 0,378$, $\mu_{д.}^{XI} = 3,24$, $\bar{Q}^{III} = 0,414$, $\mu_{п.}^{III} = 2,83$. Для гг.Ванадзора и Раздана, имеющих большие относительные отопительные нагрузки и продолжительности отопительного сезона, $\mu_{ТН-ВГТО}^{\circ}$ колеблются в пределах от 2,5 до 2,7, поскольку низки температуры испарения t_o , а также из-за большей продолжительности сезона слои грунта сильно остывают. Все это приводит к снижению энергоэффективности установки “ТН - ВГТО”. Одновременно из полученных результатов следует, что в тех регионах, где имеют место низкие расчетные и среднемесячные зимние температуры, большие продолжительности сезона, для повышения энергоэффективности работы установки “ТН – ВГТО” необходимо организовать процесс теплосъема так, чтобы слои грунта не остывали до отрицательных температур, что намного снизит интенсивность процесса теплопередачи от грунта к хладоносителю.

Снижение теплопроизводительности ТН приводит к снижению электрической мощности электропривода компрессора, оставляя неизменным $\mu_{ТНУ}^H$, но уменьшается $\mu_{ТНУ}^{уст.}$ из-за неизменности электрической мощности электропривода насоса (см. форм. (7)). Подобные расчеты проведены для указанных выше городов и результаты представлены в таблице.

Из таблицы следует, что с увеличением продолжительности отопительного сезона и наработанных часов установки “ТН – ВГТО” при одинаковых температурах в глубинах грунта и теплосъемах в начале сезона величина теплосъема в конце сезона снижается с 30 до 32,5 %. Это является следствием снижения температуры грунта по глубине (в вертикальном направлении) и толще (в горизонтальном направлении). Со снижением величины теплосбора снижается также теплопроизводительность установки. Для поддержания последней, как было указано выше, следует увеличить число таких ВГТО или включить в схему другие НВИЭ. Математическое выражение, характеризующее эту взаимосвязь, имеет форму линейного уравнения: $Q_{т.сб.}^{кон.с.} = 0,0002\Omega_{ом.с.}^i + 7,5657$.

Снижение коэффициента преобразования установки от 2,8 до 3,1 % (таблица) является следствием неизменности мощности электропривода насоса для циркуляции хладоносителя при снижении теплопроизводительности ТН.

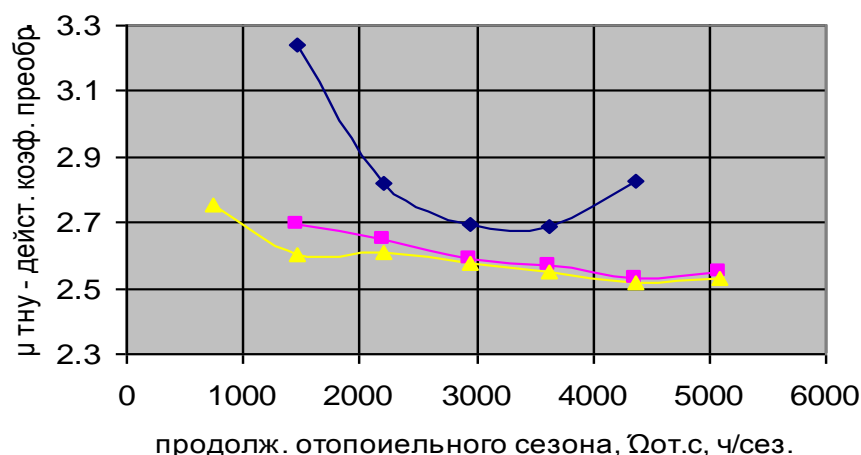


Рис. 4. Изменение действительного коэффициента преобразования μ_{TNU} установки "ТН - ВГТО" за отопительный сезон для различных городов РА

Таблица
Влияние уменьшения теплосъема от грунта на энергетические показатели установки "ТН - ВГТО" в течение отопительного сезона и ряда городов РА

Велич. города	Продолж. отопит. сез., $\Omega_{от.с}$ ч/год	$\sum_{h=100..10} Q_{ср.}^{m.сез. \tau=1} / Q_{m.пр.}^{\tau=1}$, кВт	$\sum_{h=100..10} Q_{ср.}^{m.сез. \tau=3624} / Q_{m.пр.}^{\tau=\Omega}$, кВт	Сниж. тепло- сбора, %	$\mu_{TNU}^{\tau=1}$	$\mu_{TNU}^{\tau=\Omega}$	Сниж. коэф. преоб. %
Ереван	3624	9,71/15,2	6,82/10,68	30,0	2,58	2,51	2,8
Ванадзор	4344		6,68/10,46	31,2		2,50	2,9
Раздан	5088		6,55/10,26	32,5		2,49	3,1

Примеч. температура хладагента $t_{хл.м}^{вн.м} = 0$ и испарения хладагента $t_o = -5^\circ C$, мощность электропривода насоса для циркуляции хладагента – 0,401 кВт

Разработанный математический аппарат определения хода изменения температуры грунта по глубине (в вертикальном) и толще (в горизонтальном) за отопительный сезон показывает, что для нормального функционирования установки "ТН – ВГТО" на последующий год необходимо предусмотреть возможность применения технических средств восстановления теплового баланса грунта, поскольку теплота, идущая из нижних и соседних слоев, недостаточна для полного восстановления теплового баланса грунта вокруг ВГТО. Для последующей нормальной эксплуатации установки в стадии проектирования следует предусмотреть возможность проведения "подзарядки" грунта за оставшиеся месяцы года с применением технологических схем и других НВИЭ. Такая схема представлена на рис. 5. Она представляет из себя ТН (I), ВГТО (II), баки аккумуляторы (III) холодо- и (IV) теплоносителя, насосы циркуляции (Y и YI), обратные (YII) и подающие (YIII) теплопроводы для подачи теплоносителя в здании района. Низкотемпературный солнечный коллектор (IX) связан со схемой вентильми (X и XI). При наличии солнечного сияния закрывается вентиль (X), открывается (XI) и хладагент насосом (Y) подается сначала в коллектор (IX) и частично нагреваясь, поступает в ВГТО (II) для окончательного нагрева в грунте. При отсутствии солнечного сияния, хладагент прямо поступает в ВГТО (II), минуя низкотемпературный солнечный коллектор (IX).

При этом закрывается клапан (IX) и открывается (X). За переходные сезоны года хладагент нагревается в коллекторе (IX) настолько, что низкотемпературная теплота от солнечной энергии хватает на нужды ТН, а также для “подзарядки” грунта вокруг ВГТО.

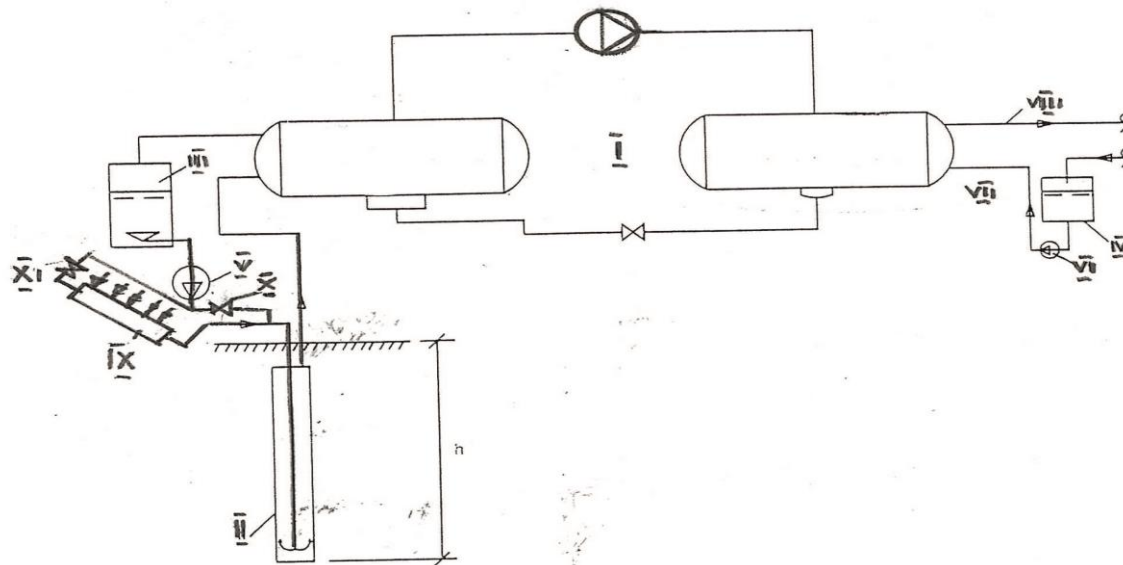


Рис. 5. Принципиальная схема установки “ТН – ВГТО” со способностью “подзарядки” грунта вокруг ВГТО с помощью низкотемпературного солнечного коллектора

Основные выводы

1. Разработанный метод нестационарного процесса теплосъема от грунта за отопительный сезон установкой “ТН - ВГТО” дает возможность определения хода изменения температур слоев грунта по глубине (в вертикальном направлении) и толще (в горизонтальном направлении), а также энергетических показателей установки при заданных геометрических размерах ВГТО, теплофизических свойств грунта, хладагента, энергетического совершенства компрессора и циклов, применяемых в ТН.
2. Для повышения энергетических показателей ВГТО следует увеличить поверхность теплообмена увеличением геометрических параметров ВГТО - $d_{нар.тр.}$, $d_{вн.тр.}$ и глубины заложения h .
3. Наибольшей энергоэффективности установки “ТН - ВГТО” в течение отопительного сезона можно достичь организацией процесса теплосъема таким образом, чтобы слои грунта вокруг ВГТО не имели отрицательные температуры на глубине более 30м. Этому можно достичь снижением и регулировкой температур хладагента и испарения хладагента.
4. Для нормальной эксплуатации установки в последующие годы, в стадии проектирования следует предусмотреть возможность проведения “подзарядки” грунта вокруг ВГТО в течение оставшихся месяцев года с применением других технологических схем и НВИЭ.

**ԳՐՈՒՆՏԻ ԶԵՐՄԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ, ԵՐԲ ՆՐԱ ՑԱԾՐ ՊՈՏԵՆՑԻԱԼԻ
ԶԵՐՄՈՒԹՅՈՒՆՆ ՕԳՏԱԳՈՐԾՎՈՒՄ Է «ԶԵՐՄԱՅԻՆ ՊՈՄՊ – ՈՒՂՂԱԶԻԳ ԳՐՈՒՆՏԱՅԻՆ
ԶԵՐՄԱՓՈԽԱՆԱԿԻՉ» ՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔՈՒՄ**

Տրված է գրունտի հիմնական պարամետրերի և «Զերմային պոմպ - ուղղաձիգ գրունտային ջերմափոխանակիչ» տեղակայանքի էներգետիկական ցուցանիշների որոշման մեթոդ, երբ տեղի է ունենում ոչ ստացիոնար ջերմության հեռացման գործընթաց գրունտից: Բերված են հետազոտության արդյունքներն առ այն, թե ինչպես են փոփոխվում գրունտի ջերմաստիճանները ջեռուցման շրջանում: Առաջարկվում է ջեռուցման շրջանում ջերմության հեռացման գործընթացը կազմակերպել այնպես, որ գրունտի շերտերը, որոնք հարում են ուղղաձիգ գրունտային ջերմափոխանակիչին, չունենան բացասական ջերմաստիճաններ: Դրա կարելի է անել՝ նվազեցնելով և կարգավորելով սառնակրի ջերմաստիճանները և սառնազդակի գոլորշիացումը: Տեղակայանքը հետագա տարիներին բնականոն շահագործելու համար հարկ կա դեռևս նախագծման փուլում նախատեսել գրունտի «վերալիցքավորման» հնարավորություն՝ տարվա այլ շրջանների ընթացքում այլ տեխնոլոգիական սխեմաների և ցածր ջերմաստիճանային էներգիայի աղբյուրներով: Ներկայացված է «ջերմային պոմպ - ուղղաձիգ գրունտային ջերմափոխանակիչ» տեղակայանքի սկզբունքային սխեմա ցածր ջերմաստիճանային արևային կոլեկտորով, որը հնարավորություն է տալիս «վերալիցքավորելու» գրունտի շերտերը, որոնք հարում են ուղղաձիգ գրունտային ջերմափոխանակիչին:

Առանցքային բառեր. *շենքի ջեռուցում, ջերմային պոմպ, ուղղաձիգ գրունտային ջերմափոխանակիչ, գրունտի ջերմային ռեժիմ, նախագծման և շահագործման համար գրունտի պարամետրերի որոշման մեթոդ*

A.L.Petrosyan

**THE STUDY OF THE GROUND THERMAL CONDITION WITH THE USE OF ITS
LOW-POTENTIAL TEMPERATURE IN THE “HEAT PUMP-GROUND VERTICAL HEAT
EXCHANGER” PLANT**

The article presents a method for determining the ground basic parameters and energetic indicators of the installation of "heat pump - ground vertical heat exchanger" when there is a process of non-stationary heat removal from the ground. There are presented the study results regarding how the ground temperatures change during the heating season. The heat removal process during the heating season is proposed to organize so that the ground layers around the vertical ground heat exchanger won't have negative temperatures. This can be achieved by decreasing and adjusting the temperatures of the coolant and the refrigerant. For normal exploitation of the plant in the coming years, it is necessary still in the design phase to provide a possibility of ground "recharging" around the vertical ground heat exchanger during other seasons of the year with the use of other technological schemes and low-potential energy sources. It is presented the basic scheme of the "heat pump – vertical ground heat exchanger" installation with the low-

temperature solar collector, which allows to "recharge" the ground layers around the vertical ground heat exchanger.

Keywords: heating of the buildings, heat pump, vertical ground heat exchanger, ground thermal condition, method of determination of ground parameters for design and exploitation

Литература

1. **Петросян А.Л.** Применение воздушных тепловых насосов для отопления зданий // Энерго-сбережение. - М., 2015. - N 4. - С.1-6.
2. **Петросян А.Л.** Утилизация теплоты удаляемого воздуха помещения при помощи местных теплонасосных установок // АВОК. - М., 2012. - N 6. - С.82-89.
3. **Петросян А.Л.** Использование солнечной энергии для теплоснабжения городского района с применением теплового насоса и солнечного бассейна // Энергобезопасность и энергосбережение. - М., 2011. – N 2. - С. 27-32.
4. **Петросян А.Л., Барсегян А.Б.** Перспективы совместного применения тепловых насосов и низкотемпературных солнечных коллекторов // Новости теплоснабжения. - М., 2010. – N 1. - С. 27-30.
5. **Петросян А.Л.** Перспективы применения тепловых насосов, использующих тепловую энергию грунта земли, в условиях Республики Армения // Тепловые насосы. - Киев, 2012. - N 1. - С.22-27
6. **Васильев Г.П.** Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли: монография. - М.: Издательский дом "Граница", 2006. - 176 с.

Պետրոսյան Արտաշես Լևոնի, տ.գ.թ., դոց. (ՀՀ, ք.Երևան) - ՃՀՀԱՀ, ՋԳՄՕ տնօրին, (+374)98932940, artashespetrosyan@mail.ru:

Петросян Арташес Левонович, к.т.н., доц. (РА, г.Ереван) - НУАСА, кафедра ТТВ, (+374)98932940, artashespetrosyan@mail.ru.

Petrosyan Artashes Levon, doctor of philosophy (PhD) in engineering, associate professor (RA Yerevan) - NUACA, Chair of Heat and Gas Supply and Ventilation, (+374) 98932940, artashespetrosyan@mail.ru.

Ներկայացվել է՝ 02.12.2016թ.

Ընդունվել է մագիստրոսական՝ 08.12.2016թ.