

пьютерного моделирования выполнен комплекс исследований по установлению закономерностей структуры течения и смесеобразования в условиях реализации прогрессивной струйно-нишевой технологии сжигания топлива. При этом особое внимание уделялось изучению влияния на исследуемые процессы переноса так называемых внутренних условий организации горения.

В работе выполнен анализ основных особенностей трёхмерной структуры течения и смесеобразования в рассматриваемой физической ситуации. Установлены эффекты влияния на специфику течения и смесеобразования таких факторов, как геометрические характеристики собственно ниши, расстояние L_1 между нишей и газоподающими отверстиями, относительный шаг S/d между этими отверстиями, соотношение

скоростных напоров топлива и окислителя и т.д. Изучены возможности уменьшения гидравлического сопротивления, создаваемого собственно нишей, путем определенного изменения ее конфигурации. При этом в процессе исследования изменялись углы наклона передней и задней по ходу течения стенок ниши, а также радиусы дуг окружностей, сглаживающих вершины углов данных стенок.

Рассмотрены вопросы, касающиеся проявления в исследуемой физической ситуации эффектов локализации влияния особенностей различных условий однозначности.

На основе проведенных численных исследований разработаны рекомендации по определению рациональных конструктивных и режимных параметров горелочных устройств струйно-нишевого типа.

УДК 697.3+662.997+536.242

**Лунина А.А., Тесля А.И., Коба А.Р., Недбайло А.Н., Беляева Т.Г.,
Хибина М.А., Ткаченко М.В.**

Институт технической теплофизики НАН Украины

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ТЕПЛОНАСОСНАЯ УСТАНОВКА С ГРУНТОВЫМ КОЛЛЕКТОРОМ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

Одним из наиболее важных направлений энергетики является рациональное использование топливно-энергетических ресурсов (ископаемого органического сырья в виде нефти, природного газа, каменного угля), запасы которых с каждым годом уменьшаются. Серьезную проблему представляют негативные экологические последствия сжигания традиционных видов топлива, которые пагубно влияют на окружающую среду. Перечисленные выше обстоятельства, а также нестабильная ситуация с природным газом, резкие темпы роста мировых цен на нефть и нефтепродукты и множество других факторов приводят к сложным экономическим проблемам в Украине и вынуждают к неизбежному поиску нетрадиционных источников энергии и применению новых энергосберегающих технологий.

Анализ возможных направлений применения в Украине энергосберегающих технологий, которые базируются на использовании нетрадиционных и альтернативных источников энер-

гии, показывает, что наиболее перспективной областью их внедрения являются системы жизнеобеспечения (горячее водоснабжение, кондиционирование (охлаждение) воздуха, отопление) зданий различных типов. Одним из альтернативных источников теплоты является грунт, который имеет способность на протяжении длительного времени аккумулировать и сохранять солнечную тепловую энергию. Извлечение и дальнейшее использование данной естественной теплоты для теплоснабжения помещений базируется на применении теплонасосных технологий и реализуется, как один из вариантов, с помощью грунтовых коллекторов (горизонтальных теплообменников неглубокого залегания) или грунтовых зондов (теплообменников вертикального расположения). Основными преимуществами теплонасосных технологий, по сравнению с традиционными аналогами, являются:

1) экологическая чистота и высокая энергетическая эффективность;

2) формирование новых возможностей для повышения степени автономности систем жизнеобеспечения зданий на их основе.

В рамках проекта «Создание экспериментальной теплонасосной установки с термальным грунтовым теплообменником для автономного теплоснабжения» была проведена разработка технического решения для систем отопления, горячего водоснабжения и кондиционирования помещения площадью 54 м² административного корпуса №1 Института технической теплофизики НАН Украины (ИТТФ) по ул. Булаховского 2, г. Киев (рис. 1).

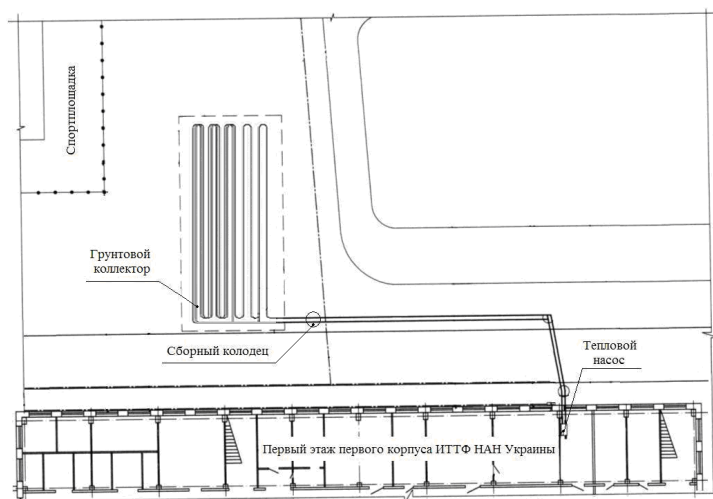


Рис.1. План расположения установки.

Экспериментальная теплонасосная установка состоит из:

- теплового насоса;
- грунтового коллектора (ГК);
- традиционной централизованной системы отопления радиаторного типа;
- системы отопления типа водяной «теплый пол»;
- системы воздушного отопления (кондиционирования) на основе фанкойлов;
- системы отопления на основе электрического твердотельного суточного накопителя;
- системы горячего водоснабжения;
- контрольно-измерительной системы.

Грунтовой коллектор (горизонтальный теплообменник неглубокого залегания), с помощью которого реализуется процесс извлечения естественной низкопотенциальной теплоты грунта, является одной из базовых составляющих дан-

ного проекта. Эффективная площадь поверхности грунтового массива для установки зависит от теплотребления здания и свойств грунта [1,2]. Размеры земельной площадки, как правило, ограничены. С целью экономии площади и выбора оптимальной конструкции, предложен компактный теплообменник в форме горизонтальной многопетельной U-образной конструкции.

Для расположения грунтового коллектора, который обладает развитой поверхностью теплообмена, а также является технологичным при монтаже и последующей эксплуатации, была выбрана площадка с размерами 25×9 м на территории ИТТФ; нанесена разметка расположения ГК, основная конструкция которого представляет собой змеевик из пяти петель (10 траншей) длиной 24 м из полимерных труб ПЕ-80 $\varnothing 32 \times 2$ мм, соединенных последовательно и обладающих высокой коррозионной стойкостью. Расстояние между осями труб составляет 0,95 м. Средняя глубина залегания равна 1,65 м. Кроме того, в параллель с основной конструкцией грунтового коллектора располагаются и три петли резервной трубы-теплообменника (рис. 2).

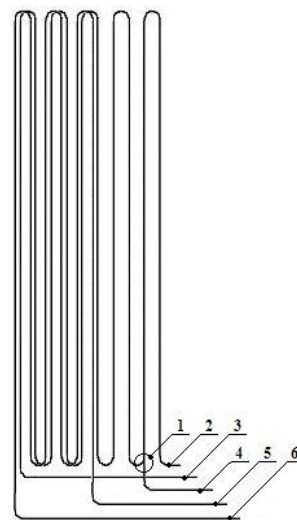


Рис. 2. Схема расположения основной конструкции грунтового коллектора и резервной трубы-теплообменника:

1 – тройник; 2, 3 – подведение и отведение теплоносителя в/из ГК соответственно; 4 – отведение теплоносителя из первой петли ГК; 5, 6 – подведение и отведение теплоносителя в/из резервной трубы соответственно.

Тройник, который располагается в начале второй траншеи, и определенное сочетание (вариант) (табл. 1) «открытия – закрытия» кранов гидравлического узла (рис. 3), установленного в сборном колодце, позволяют вводить в работу как весь змеевик ГК (пять петель) или его отдельные составляющие, так и комбинировать основную конструкцию грунтового коллектора с резервной трубой.

Табл. 1. Варианты комбинации «открытия – закрытия» кранов гидравлического узла

№	Наименования	Краны	
		открыт	закрыт
1	1 (первая петля грунтового коллектора)	1,2,4, 7,9,10	3,5,6, 8
2	3 (три петли резервной трубы)	1,3,6, 8,9	2,4,5, 7,10
3	4 (грунтовой коллектор без первой петли)	1,3,4, 5,7,9	2,6,8, 10
4	5 (грунтовой коллектор)	1,2,5, 7,9	3,4,6, 8,10
5	8 (грунтовой коллектор и резервная труба подключены последовательно)	1,2,5, 6,8,9, 10	3,4,7

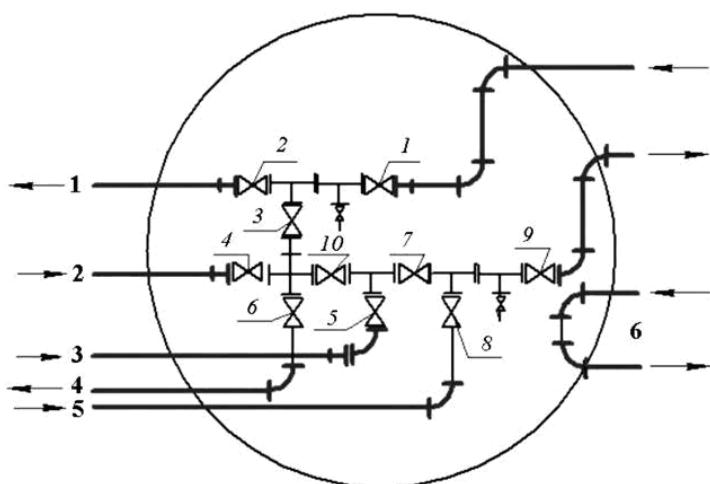


Рис. 3. Гидравлический узел:

1 – подведение теплоносителя в ГК; 2 – отвод теплоносителя из первой петли; 3 – отвод теплоносителя из ГК; 4 – подведение теплоносителя в резервную трубу; 5 – отвод теплоносителя из резервной трубы; 6 – петля для пуско-наладочных работ при запуске теплового насоса (может быть использована как резерв подающей и обратной магистралей).

Для защиты трубопроводов на участках «выход из ГК – вход в колодец», «выход из ГК – тройник», «тройник – вход в колодец», «вход в колодец – вход в ГК» от механических воздействий и от образования влажности извне (и связанной с этим опасности коррозии) используется полиэтиленовая изоляция труб с экструдированной полиэтиленовой фольгой.

В качестве теплоносителя, заполняющего систему трубопроводов грунтового коллектора и резервную трубу-теплообменник, используется раствор на основе пропиленгликоля «Тепро-20» (ТУ У 24.1-2464717949-001:2005).

С целью оценки технологических характеристик грунтового коллектора и записи экспериментальных данных при исследовании процессов теплообмена и гидродинамики такого рода систем, установлены термопреобразователи сопротивления ТСМ-205, выходы которых через кабель подключены к восьмиканальным приборам измерения и контроля температуры УКТ38-Щ4 (в комплексе – контрольно-измерительная система). Датчики используются для преобразования тепловой энергии в электрическое сопротивление при измерении температуры жидких и сыпучих сред, а также температуры твердых тел в системах контроля и регулирования температуры технологических процессов. Основные технические характеристики термосопротивления представлены в табл. 2.

Перед установкой датчиков в траншее была произведена их маркировка по предварительно разработанному проекту «Маркировка термопреобразователей типа ТСМ-205, расположенных на объекте грунтового коллектора» (рис. 4), в соответствии с которой: В, С – вертикаль (располагаются на стойках и устанавливаются в скважинах), Г – горизонталь (устанавливаются на глубине 0,4 м от поверхности грунта на стенках траншеи), Т – первая петля (крепятся хомутами на внешнюю поверхность трубы), А – сечение А-А (устанавливаются перпендикулярно к первой траншее на уровне закладки трубы и на расстоянии около 4 м от начала траншеи №1), ВХ – вход в первую петлю (крепятся хомутами на внешнюю поверхность трубы), БИВ, АИВ – выходы со всего теплообменника (непосредственно крепятся хомутами на внешней поверхности трубы), Р – резерв (датчик для измерения температуры воздуха над ГК). Бурения скважин под стойки с термопреобразователями сопротивления производилось с помощью шнека сменной

Табл. 2. Основные технические характеристики датчика TCM-205

Наименование характеристики	Значение величины
Тип ТС	РегМик TCM-205
Рабочий диапазон измеряемых температур, °С	(- 40 ... +180)
Номинальная статическая характеристика преобразования НСХ) по ДСТУ 2858-94	50М
Класс допуску	В
Относительное сопротивления W100	1,4280
Длина монтажной части, L, мм	2000 ... 37500
Схема соединения	3 (трехпроводная)
Показатель тепловой инерции, не более, с	15
Сопротивление изоляции при (25±10)°С и относительной влажности до 80%, не менее, МОм	100
Устойчивость к климатическим воздействиям	Группа исполнения С4 по ГОСТ 12997
Устойчивость к механическим воздействиям	Группа исполнения N1 по ГОСТ 12997
Измерительный ток (рекомендуемый), не более, мА	2

длины. Глубина скважин составляет около 1 м от поверхности траншеи (более чем 2,5 м от поверхности грунта).

Восьмиканальное устройство контроля температуры УКТ38-Щ4 предназначено для построения автоматических систем контроля производственных технологических процессов. Во время работы прибор выполняет следующие основные функции: 1) контролирует с помощью первичных преобразователей физические параметры объектов в восьми каналах измерения и отображает значения этих параметров на встроенном светодиодном цифровом индикаторе; 2) формирует сигнал «Авария датчика» при обнаружении неисправности какого-либо из первичных преобразователей; 3) формирует сигнал «Авария объекта» при выходе контролируемого параметра за заданные пределы в любом из каналов измерения; 4) отображает на встроенном светодиодном цифровом индикаторе заданные пользователем значения параметров контроля; 5) через адаптер АС-2 передает компьютеру значения контроли-

руемых датчиками величин (запись и обработка данных на компьютере производится с помощью программного обеспечения ПО «ОРМ» V1.2). Основные технические характеристики прибора приведены в табл. 3.

Табл. 3. Основные технические характеристики УКТ38-Щ4

Наименование характеристики	Значение величины
Номинальное напряжение питания	220 В 50 Гц
Допустимое отклонение напряжения питания	-15 ... + 10 %
Потребляемая мощность, не более	6 ВА
Количество каналов контроля входных параметров	2...8
Продолжительность цикла опроса 8-ми датчиков прибором модификации, не более	3,6 с
Количество выходных реле	2
Допустимая нагрузка, коммутируемая контактами реле	4 А при напряжении 220 В 50 Гц и $\cos \varphi \geq 0,4$
Интерфейс связи с компьютером	RS-232
Габаритные размеры прибора	96×96×145 мм
Степень защиты прибора со стороны лицевой панели	IP54
Масса прибора, не более	1,0 кг

Поскольку извлечение и дальнейшее использование теплоты для теплоснабжения помещений базируется на применении теплонасосных технологий, то одной из составляющих единиц проекта является тепловой насос IVT Greenline NT Plus C – устройство для транспортировки теплоты от среды, температура которой ниже температуры той среды, к которой она переносится (рис. 5). Схематично тепловой насос состоит из трех замкнутых контуров:

1) Внешний контур (грунтовой коллектор), по которому циркулирует «Тепро-20» (хладоноситель), воспринимающий теплоту грунта.

2) Во втором контуре встроены теплообменники – испаритель и конденсатор, а также компрессор и дроссель, по которым перемещается хладагент (фреон) и испаряется, отбирая теплоту от хладоносителя, и конденсируется, отдавая теплоту теплоносителю.

3) По внутреннему контуру циркулирует теплоноситель (вода систем отопления и горячего

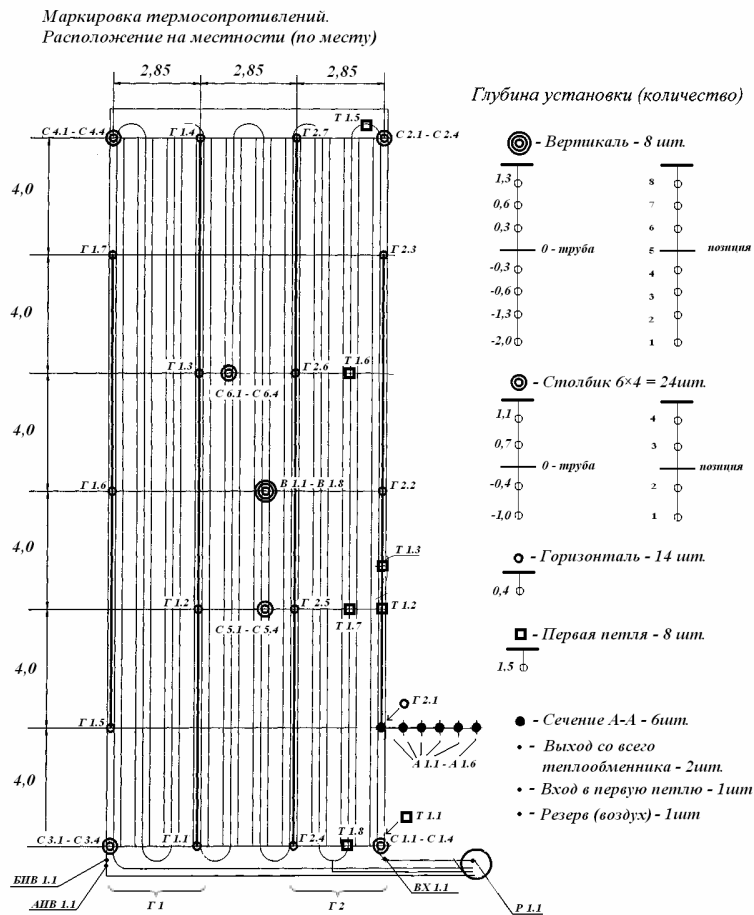
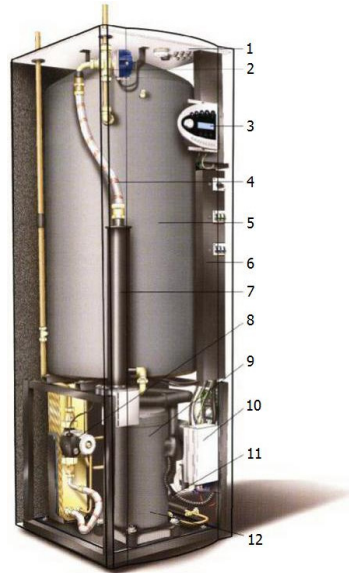


Рис. 4. Маркировка и расположение терморезисторов типа TCM-205 на участке грунтового коллектора.



технологической и нагреваемой воды;
3 – регулировочная панель для различных уровней эксплуатации на четырехрядном освещённом экране;
4 – гибкие внутренние шланги, понижающие уровень шума;
5 – двухкорпусный подогреватель технологической воды;
6 – щитовая электрическая коробка с пускателями и автоматами;
7 – электрический котел;
8 – циркуляционный насос нагреваемой воды;
9 – частотно приспособленный звукопоглощающий корпус компрессора;
10 – управляющий контроллер, предназначенный для автоматизации и мониторинга;
11 – подводящая и отводящая линии теплоносителя теплообменника;
12 – новый scroll-компрессор производства Mitsubishi Electric.

Рис. 5. Конструкция теплового насоса IVT Greenline HT Plus C:
1 – электрические соединения;
2 – интегрированный переходной клапан для

водоснабжения).

Жидкий хладагент продавливается через дроссель, его давление падает, и он поступает в испаритель, где вскипает, отбирая теплоту в ГК от грунта. Далее он в газообразном состоянии всасывается в компрессор, сжимается и, нагретый, выталкивается в конденсатор. В кон-

денсаторе теплота отдается теплоносителю во внутренний контур. При этом газ охлаждается и конденсируется в жидкость. После этого рабочий цикл начинается сначала. Основные технические характеристики теплового насоса IVT Greenline NT Plus C представлены в табл. 4

Табл. 4. Основные технические характеристики теплового насоса

Наименование характеристики	Значение величины
Тепловая мощность отдачи (при $t_{нар}=0^{\circ}\text{C}$ и $t_{вн}=35^{\circ}\text{C}$), кВт	5,9
Электрическая мощность потребления (при $t_{нар}=0^{\circ}\text{C}$ и $t_{вн}=35^{\circ}\text{C}$), кВт	1,3
Тепловая мощность отдачи (при $t_{нар}=0^{\circ}\text{C}$ и $t_{вн}=50^{\circ}\text{C}$), кВт	5,4
Электрическая мощность потребления (при $t_{нар}=0^{\circ}\text{C}$ и $t_{вн}=50^{\circ}\text{C}$), кВт	1,7
Объемный расход теплоносителя через отопительную систему «теплый пол», л/с	0,14...0,2
Объемный расход хладоносителя через грунтовый коллектор (номинальный), л/с	0,3
Допустимая максимальная потеря давления в системе отопления (при номинальном расходе), кПа	36
Допустимая максимальная потеря давления в грунтовом коллекторе (при номинальном расходе), кПа	49
Давление в системе отопления (максимальное), бар	1,5
Давление в грунтовом коллекторе (максимальное), бар	4
Температура теплоносителя на выходе из теплового насоса (максимальная), $^{\circ}\text{C}$	65
Напряжение электрического питания (трехфазного), В	3×400
Тепловая мощность электродвигателя с трехступенчатым регулированием, кВт	3 – 6 – 9
Масса хладагента R-407C компрессора, кг	1,35
Наружный диаметр соединения отопительного трубопровода, мм	22
Наружный диаметр соединения грунтового коллектора, мм	28
Вес с обогревателем технологической воды, кг	200
Объем бака-аккумулятора горячей воды, л	165
Длина × ширина × высота, мм × мм × мм	600×600×1500

Схема гидравлического подключения теплового насоса 1 представлена на рис. 6. В холодный период года схема позволяет использовать его для напольного водяного 3 (встречнонаправленный змеевик из трубы ПЭХ 16×3 мм – система типа водяной «теплый пол») или воздушного отопления 4 (1 фанкойл тепловой мощностью 3,8 кВт), и горячего водоснабжения отдельного лабораторного помещения площадью 18 м², одновременно с воздушным отоплением 5 (2 фанкойла суммарной тепловой мощностью 7,6 кВт) административного помещения площадью 54 м², а также для кондиционирования последнего при

помощи фанкойлов в теплый период года. Циркуляция теплоносителя в контуре воздушного отопления осуществляется насосом 6 Wilo Star RS 15/6. Возможность кондиционирования в схеме реализуется за счет гидравлического разделения контуров грунтового коллектора и воздушных отопительных приборов пластинчатым теплообменником 2 SWEP E6TH. Компрессор теплового насоса при этом не работает, а встроенный циркуляционный насос производит прокачку теплоносителя через грунтовой коллектор. При этом происходит сброс теплоты в грунт, тем самым восстанавливая его тепловой режим. Компенса-

ционная емкость 7 необходима для накопления теплоносителя при заполнении контуров отопления (кондиционирования), а также в качестве буфера при теплообмене с конденсатором теплового насоса. Расширительные мембранные баки 8 позволяют компенсировать объемное термическое расширение теплоносителей в соответствующих контурах. Схема содержит понижающий

давление питательной воды редуктор 9, тепловые счетчики 10 (3 Arator LQM – III в отопительных контурах, расходомер Balteco KX10 горячей воды, тепловосчетчик X12 в контуре ГК), расширительные баки 11 контура горизонтального грунтового теплообменника неглубокого залегания, а также манометры и бесконтактные термометры на подающих и обратных трубопроводах.

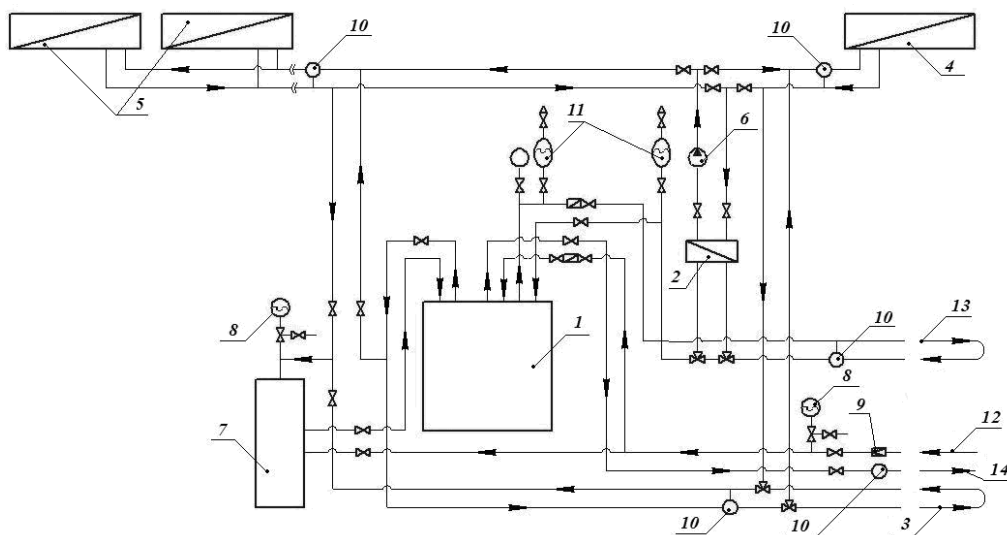


Рис. 6. Гидравлическая схема подключения теплового насоса:

1 – тепловой насос; 2 – пластинчатый теплообменник; 3 – система отопления типа водяной «теплый пол»; 4,5 – система воздушного отопления (кондиционирования) на основе фанкойлов; 6 – насос; 7 – компенсационная емкость; 8 – расширительный мембранный бак; 9 – редуктор; 10 – счетчики; 11 – расширительные баки контура ГК; 12 – подача холодной воды; 13 – контур грунтового коллектора; 14 – горячее водоснабжение.

Выводы

Разработано техническое решение для системы отопления, горячего водоснабжения и кондиционирования помещений административного корпуса Института технической теплофизики НАН Украины на основе теплонасосной установки с грунтовым коллектором.

Грунтовой теплообменник в форме горизонтальной многопетельной U-образной конструкции оборудован контрольно-измерительной системой, которая предназначена для измерения температур при проведении экспериментальных исследований процессов теплообмена и гидродинамики такого рода систем с последующей их компьютерной обработкой. С помощью анализа полученных экспериментальных данных, возможно показать не только эффективность новой энергосберегающей теплонасосной технологии, но и разработать рекомендации по проектирова-

нию промышленных систем автономного тепло-снабжения подобного рода.

По предварительным расчетам предполагаемая тепловая мощность отдачи представленного объекта грунтового коллектора с резервной трубой-теплообменником может достигать 11 кВт, а площадь, которую возможно отопить при использовании низкопотенциальной теплоты грунта, составит около 200 м².

ЛИТЕРАТУРА

1. Viessmann. Системы тепловых насосов. Инструкция по проектированию. (5829 122-2 GUS 2/2000).
2. Басок Б.І., Воробйов Л.Й., Михайлик В.А., Лунина А.О. Теплофізичні властивості природного ґрунту. // Пром. теплотехніка. – 2008. – Т. 30, № 4. – С. 77-85.