

Исследование работы горизонтальной системы температурной стабилизации грунтов оснований типа труба в трубе (ГТТ)

DOI:10.24411/2076-6785-2019-10050

Г.М. Долгих
к.т.н., генеральный директор
fsa@npo-fsa.ru

С.Н. Окунев
к.т.н., главный инженер
fsa@npo-fsa.ru

ООО НПО «Фундаментстройаркос»,
г. Тюмень, Россия

В статье дана оценка эффективности работы системы ГТТ — горизонтальная труба в трубе — при различных положениях охлаждающих труб с закрытым концом (ТОЗК). В рамках исследований проведены испытания при трех положениях ТОЗК: в горизонтальном, слабонаклонном (их дальний конец опущен на 0,5 м) и противонаклонном (их дальний конец приподнят на 0,5 м) при различных тепловых нагрузках.

Материалы и методы

Методы эмпирического исследования. Производились на научно-исследовательском мерзлотном полигоне ООО НПО «Фундаментстройаркос».

Ключевые слова

температурная стабилизация грунтов, вечномерзлые грунты, восстановление мерзлого состояния грунта, системы замораживания грунта

Активное хозяйственное освоение районов Крайнего Севера России на фоне развивающегося в последние десятилетия глобального потепления климата в Северном полушарии потребовало практического решения проблемы термостабилизации многолетнемерзлых грунтов (далее — ММГ) в основаниях зданий и инженерных сооружений, построенных в криолитозоне [1, 2].

Для решения этой проблемы в отношении ширококорпусных, крупногабаритных и суперблочных строений одним из технических решений стало использование горизонтальной естественно действующей трубчатой системы (ГЕТ), разработанной и производимой в НПО «Фундаментстройаркос» (рис. 1), [3].

В силу своих конструктивных особенностей эта система позволяет строить здания большой ширины, без проветриваемых подполий, исключать пандусы, что существенно повышает плотность застройки, снижает затраты по отсыпке площадок, устройству инженерных сетей, дорог и проездов, на устройство фундаментов. Накоплен большой практический опыт использования ее для термостабилизации ММГ-оснований:

- зданий и сооружений с полами по грунту шириной до 100 м;
- резервуаров любой емкости (до 100 000 м³);

- насыпей открытых площадок;
- амбаров для сбора и временного хранения нефтепродуктов и полигонов твердых бытовых отходов (ТБО);
- укрепления оснований автодорог;
- предотвращения оттаивания грунтов оснований инженерных коммуникаций;
- создания противооползневых защитных сооружений.

В работе системы ГЕТ заложен термосифонный принцип переноса тепла от нагретого охлаждаемого тела к холодному отводящему тепло телу. Специфической особенностью таких систем является течение легкокипящего хладагента в длинных горизонтальных трубчатых каналах с образованием двухфазного потока за счет испарения или кипения хладагента, при этом происходит однонаправленное движение жидкой и паровой фаз по испарительному каналу в сторону к теплоотводящему элементу системы.

Система состоит из размещенных в грунтовой насыпи, под теплоизоляцией, горизонтальных охлаждающих (испарительных) и соединительных труб, выполненных, как правило, из стальных бесшовных труб ТО 33,7 мм или полиэтиленовых труб диаметром 32 мм. Она также включает конденсаторный блок с ускорителем циркуляции (сепаратором), разделяющим

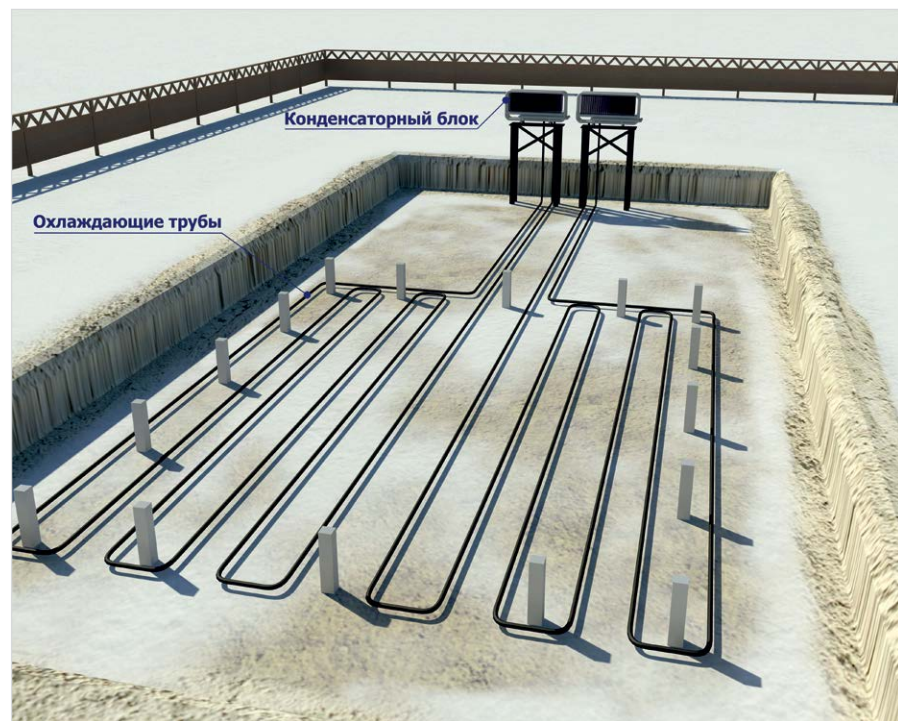


Рис. 1 — Система температурной стабилизации многолетнемерзлых грунтов ГЕТ
Fig. 1 — The system of temperature stabilization of permafrost soils GET

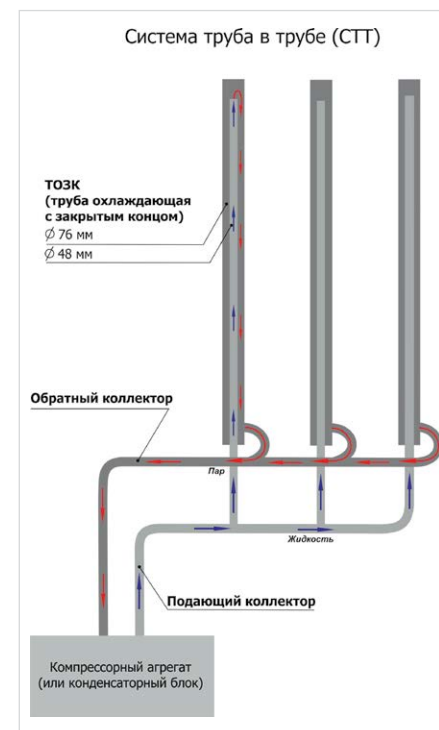


Рис. 2 — Схема системы горизонтальной ГТТ с указанием направления движения аммиака
Fig. 2 — Scheme of the horizontal GTT system indicating the direction of movement of ammonia

потоки жидкой и паровой фаз, а также гидравлический затвор. В качестве хладагента в системе используется аммиак или углекислота [4].

В большинстве случаев для системы ГЕТ характерны следующие основные параметры:

- длина охлаждающих труб (испарительных) на один конденсаторный блок составляет от 300 до 500 м; поверхность блока конденсаторного 110 м²; шаг укладки охлаждающих труб 0,5–1 м; толщина теплоизоляции из пеноплекса 150–200 мм;
- горизонтальные трубы охлаждающие стальные бесшовные ТО 33,7×3,5 мм ГОСТ 8732, сталь марки 09Г2С;
- горизонтальные трубы охлаждающие полиэтиленовые ТОП-32/Л марки ПНД 32Т ГОСТ Р 50838.

Но не всегда есть возможность укладки охлаждающих труб под сооружением, как например, при ремонтных работах под уже построенным объектом. Поэтому для таких случаев под сооружением необходимо устанавливать трубы охлаждающие с закрытым концом (далее — ТОЗК), которые на другом конце подключаются к соединительным трубам и к конденсаторному блоку (система ГТТ — горизонтальная труба в трубе, рис. 2). Установка охлаждающих труб может производиться с применением метода наклонно-направленного бурения.

Кроме того, в настоящее время на некоторых объектах, для температурной стабилизации грунтов оснований, применяются индивидуальные слабонаклонные термостабилизаторы или системы СНО (системы наклонные охлаждающие, состоящие из индивидуальных слабонаклонных термостабилизаторов) диаметром 76 мм.



Рис. 3 — Система горизонтальная труба в трубе (ГТТ), в составе с компрессорно-конденсаторным агрегатом. Опытно-промышленный мерзлотный полигон, Тюмень
Fig. 3 — The horizontal pipe-in-pipe system (GTT), composed of a condensing unit. Experimental industrial permafrost, Tyumen

При выходе слабонаклонных термостабилизаторов из строя с потерей герметичности в грунте, особенно под резервуарами, необходимо восстановить замораживание грунтов с использованием корпусов слабонаклонных термостабилизаторов. Основной особенностью, как при установке новых ТОЗК в грунт, так и в существующие слабонаклонные термостабилизаторы, является их неопределенное положение, при этом они могут находиться в трех положениях:

- слабонаклонное положение;
- горизонтальное положение;
- противонаклонное положение.

Для определения величины температурных потерь в системе ГТТ, которые необходимы для расчета температурного состояния грунтов, были проведены испытания системы ГТТ на опытно-промышленном полигоне в г. Тюмень (рис. 3).

Экспериментальная система ГТТ состоит из трех ТОЗК диаметром 48 мм и длиной 40 м, размещенных в трубе диаметром 76 мм. Зазор между трубами заполнен незамерзающей жидкостью ХНТ-40 с температурой замерзания не выше -40°C. Трубы ТОЗК подсоединяются к соединительным трубам, обеспечивающим подачу жидкого хладагента в ТОЗК и отвод парожидкостной смеси в промежуточный сосуд. Промежуточный сосуд располагается на высоте 1,5 метра выше уровня ТОЗК. Промежуточный сосуд подсоединен к компрессорно-конденсаторному агрегату с поршневым компрессором без смазки, который производит подачу в промежуточный сосуд жидкого хладагента и откачку образовавшегося пара. В качестве хладагента используется аммиак. Конструкция стенда имитирует размещение ТОЗК в слабонаклонных термостабилизаторах, с целью восстановления замораживания грунтов. Испытания производились в слабонаклонном положении ТОЗК (уклон 0,01), горизонтальном положении и противонаклонном (противонаклон 0,01).

Система «ГТТ» работает следующим образом. Из нижней части промежуточного сосуда аммиак под давлением столба жидкости через подающий коллектор поступает в ТОЗК. В ТОЗК аммиак под действием теплопритоков от наружного воздуха вскипает, и образовавшаяся парожидкостная смесь через обратный коллектор поступает в верхнюю часть промежуточного сосуда.

В промежуточном сосуде парожидкостная смесь разделяется и образовавшийся пар откачивается компрессорно-конденсаторным агрегатом. В компрессорно-конденсаторном агрегате пар сжимается, охлаждается и превращается в жидкость, которая дросселируется в терморегулирующем вентиле, охлаждается, и холодный хладагент поступает в промежуточный сосуд. В промежуточном сосуде жидкость из ТОЗК совместно с жидкостью из компрессорно-конденсаторного агрегата вновь поступает в ТОЗК. Таким образом происходит циркуляция аммиака, при этом роль конденсаторного блока выполняет компрессорно-конденсаторный агрегат.

В рамках данных исследований испытания проводились при трех положениях испарительных труб: в горизонтальном, слабонаклонном (их дальний конец опущен

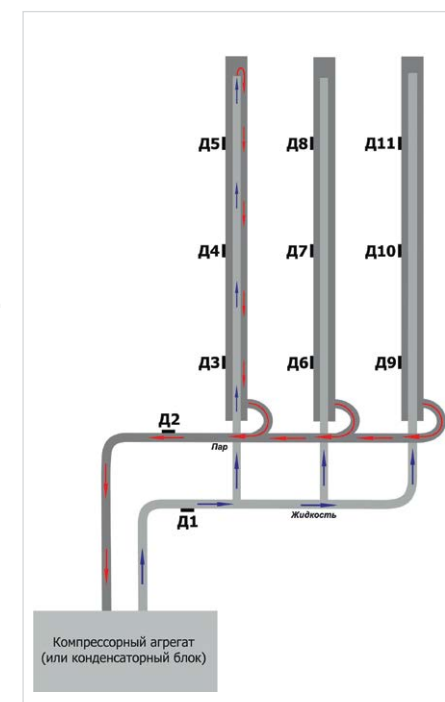


Рис. 4 — Схема системы горизонтальной ГТТ с указанием датчиков температуры поверхности охлаждающих труб
Fig. 4 — Scheme of horizontal GTT system with indication of surface temperature sensors of cooling pipes

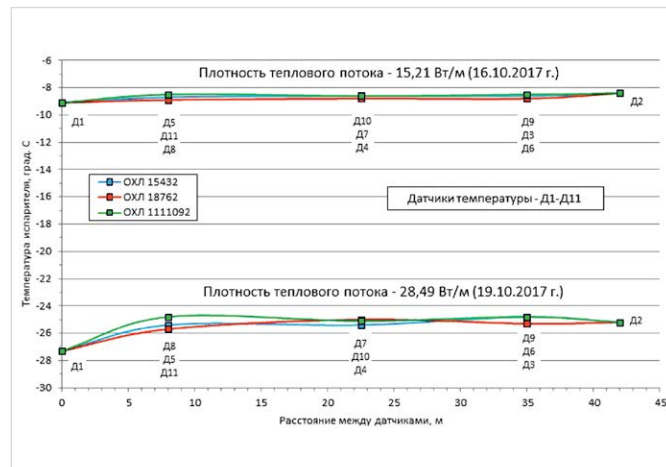


Рис. 5 — Температура поверхности испарительных труб при их слабонаклонном положении
Fig. 5 — The surface temperature of the evaporation pipes when they are slightly inclined

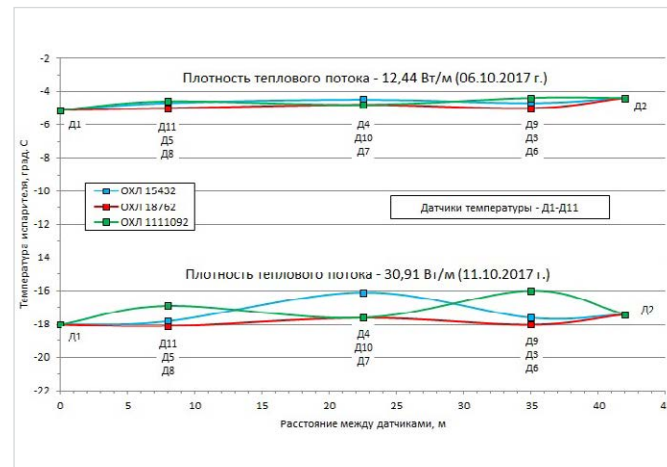


Рис. 6 — Температура поверхности испарительных труб при их горизонтальном положении
Fig. 6 — The surface temperature of the evaporation pipes in their horizontal position

на 0,4 м) и противонаклонном (их дальний конец приподнят на 0,4 м). Испытания проводились с 28.09. 2017 г. по 19.10.2017 г. при температуре атмосферного воздуха от -1,6°C до +17,5°C. Для наблюдений за температурным режимом труб 76 мм на их поверхности были установлены соответствующие температурные датчики Д3-Д11 (рис. 4). Датчик Д1 располагался на входе в систему труб, а датчик Д2 — на выходе. По показаниям 9 датчиков теплового потока, размещенным на трубах 76 мм, рассчитывались средние значения плотности теплового потока (q_L , Вт/м) для каждого срока наблюдений. Слабонаклонное положение испарительных труб. Температура их поверхности плотности теплового потока 15,21 Вт/м варьировала с амплитудой в пределах от -9,1°C до -8,4°C и составляла 0,7°C, причем эти значения относятся соответственно к входному (Д1) и выходному (Д2) датчикам (рис. 5). При увеличении плотности теплового потока 28,49 Вт/м температура изменялась с большей амплитудой в интервале от -27,3°C до -24,8°C и составляла 2,5°C. От Д1 к Д2 она возросла от -27,3°C до -25,2°C.

Причем, если при малых тепловых потоках изменение температуры по длине ТОЗК практически не изменяется по длине трубы, то при больших тепловых потоках на начальном участке от Д1 до Д8, Д5 и Д11 происходит значительный подогрев аммиака, а затем температура практически не изменяется. Горизонтальное положение испарительных труб. Температура их поверхности при плотности теплового потока 12,44 Вт/м варьировала с весьма небольшой амплитудой в пределах от -5,1°C до -4,4°C, причем эти значения относятся соответственно к входному (Д1) и выходному (Д2) датчикам (рис. 6). Эта же температура при плотности теплового потока 30,91 Вт/м колебалась с большей амплитудой в интервале от -18,1°C до -16,0°C. Ее значение от Д1 к Д2 закономерно возросло от -18,0°C до -17,4°C. Характер изменения температуры ТОЗК при малых тепловых потоках практически одинаков, как при слабонаклонном расположении, однако при увеличении теплового потока происходит неравномерное распределение температур по всем трем ТОЗК.

Противонаклонное положение испарительных труб. Температура поверхности труб при плотности теплового потока 8,38 Вт/м изменялась также с весьма небольшой амплитудой в пределах от -3,4°C до -2,3°C (рис. 7). От Д1 к Д2 она возросла -3,4°C до 3,2°C. Температура при плотности теплового потока 18,44 Вт/м колебалась с большей амплитудой в интервале от -22,4°C до -19,3°C, причем эти значения относятся соответственно к входному (Д1) и выходному (Д2) датчикам. При противонаклонном положении ТОЗК, как при малых тепловых потоках, так больших тепловых потоков происходит значительный подогрев на начальном участке от Д1 до Д5, Д8 и Д11. Однако далее при малых тепловых потоках температура практически не изменяется, а при больших тепловых потоках температура стенки ТОЗК на конечном участке возрастает. Для сравнения эффективности работы охлаждающей системы при трех положениях испарительных труб в данной работе использован температурный параметр (Δt), определяемый как разность между осредненной температурой (по данным

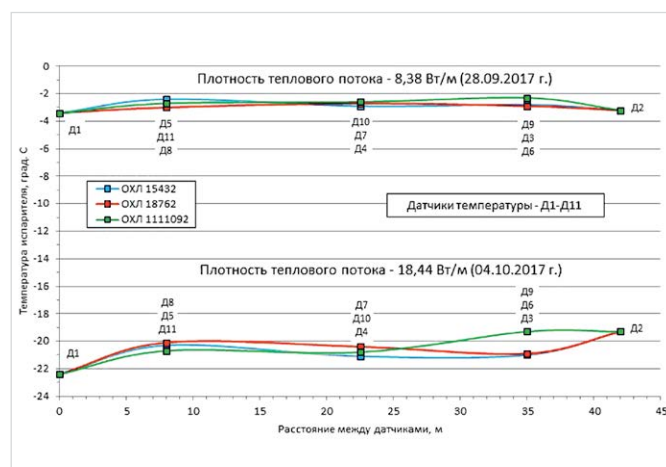


Рис. 7 — Температура поверхности испарительных труб при их противонаклонном положении
Fig. 7 - The surface temperature of the evaporation tubes when they are in the anti-incline position

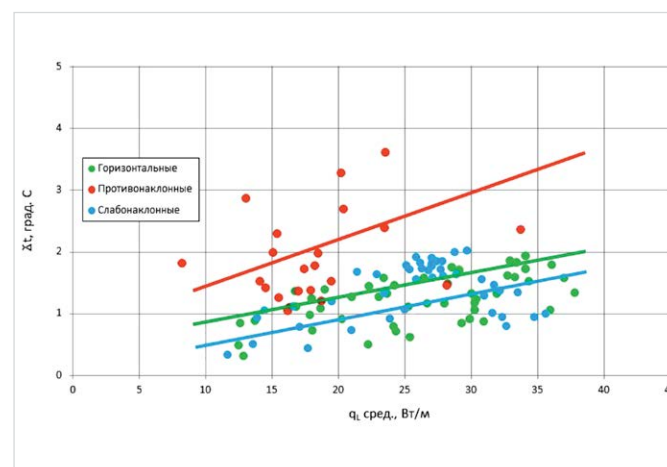


Рис. 8 — Зависимость температурного параметра Δt от плотности теплового потока (q_L)
Fig. 8 — Dependence of the temperature parameter Δt on the heat flux density (q_L)

датчиков Д3-Д11) поверхности труб 76 мм (труб) и температурой датчика Д1, расположенному на входе в систему. Очевидно, что чем меньше величина Δt , тем выше охлаждающий эффект от поступившего в сеть испарительных труб аммиака и тем более эффективно работает охлаждающая система при данном положении испарительных труб (рис. 8).

Полученные результаты свидетельствуют о возрастании температурных потерь при увеличении теплового потока за счет возрастания гидравлических потерь при движении парожидкостного потока. Особенно резкое возрастание потерь происходит при противонаклонном расположении ТОЗК.

Итоги

Испытаниями выявлено, что при увеличении q_L величина Δt также постепенно растет во всех трех положениях испарительных труб, причем его самые низкие значения отмечаются при слабонаклонном положении, а самые высокие — при противонаклонном. Отсюда можно заключить, что слабонаклонному положению соответствует наибольшая

эффективность работы охлаждающей системы, а противонаклонному положению — наименьшая. Промежуточный результат по эффективности характерен для горизонтального положения испарительных труб.

Выводы

В результате проведенных исследований могут быть сделаны следующие основные выводы. Увеличение плотности теплового потока (q_L) ведет к росту температурного параметра (Δt) во всех трех положениях испарительных труб. Самые низкие значения температурных потерь, а значит и наибольшая эффективность работы охлаждающей системы, отмечаются при слабонаклонном положении. Его самые высокие значения, а значит и наименьшая эффективность работы охлаждающей системы, соответствуют противонаклонному положению. Промежуточный результат по эффективности характерен для горизонтального положения испарительных труб. Полученные значения дополнительных температурных потерь необходимо учитывать при проектировании систем «ГТТ».

ENGLISH

CONSTRUCTING

UDC 624/625

Research of the work of the horizontal system of temperature stabilization of ground soils tube type in tube (GTT)

Authors

Grigoriy M. Dolgikh — Ph.D., general director; fsa@npo-fsa.ru
Sergey N. Okunev — Ph.D., chief engineer; fsa@npo-fsa.ru

NPO Fundamentstroyarkos LLC, Tyumen, Russia

Abstract

The article assesses the efficiency of the GTT system (horizontal pipe in the pipe) at different positions of the cooling pipes with a closed end (TOZK). Within the framework of studies tests were carried out at three positions of the TOZK: horizontal, slightly inclined (their far end is lowered by 0.5 m) and anti-inclined (their far end is raised by 0.5 m), at various thermal loads.

Materials and methods

Empirical research methods. They were produced at the research permafrost range of NPO Fundamentstroyarkos LLC.

Keywords

temperature stabilization of soil, permafrost,

restoration of the frozen state of the soil, soil freezing systems

Results

The tests revealed that with an increase in q_L , the Δt value also gradually increases in all three positions of the evaporation tubes. The lowest values of temperature losses, and hence the greatest efficiency of the cooling system, are observed with a slightly inclined position, and the highest ones with an anti-inclined position. From this we can conclude that the sloping position corresponds to the greatest efficiency of the cooling system, and the lowest position corresponds to the lowest. An intermediate performance result is characteristic of the horizontal position of the evaporator tubes. The obtained values of additional temperature losses must be taken into account when designing GTT systems.

References

- SP 25.13330.2012 Osnovaniya i fundamenty na vechnomerzlykh gruntakh [Foundations and foundations on permafrost soils]. Updated version of SNiP 2.02.04-88. 2012, 101 p.
- Karnauchov N.N., Kushnir S.Ya., Gorelov A.S., Dolgikh G.M. *Mekhanika merzlykh gruntov i printsipy stroitel'stva neftegazovykh ob'ektov v usloviyakh Severa* [Mechanics of frozen soils and the principles of the construction of oil

- and gas facilities in the North]. Moscow: CenterLitNefteGaz, 2008, 432 p.
- Dolgikh G.M., Okunev S.N., Vel'chev S.P. *Etapy, problemy i tekhnicheskie resheniya po stroitel'stvu osnovaniy na vechnomerzlykh gruntakh* [Stages, problems and technical solutions for the construction of foundations on permafrost]. International scientific-practical conference on permafrost engineering. Tyumen: City-Press, 2011, pp. 12–17.
- TU 3642-004-54098700-2006. Sistemy

Литература

- СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. 2012, 101 с.
- Карнаухов Н.Н., Кушнир С.Я., Горелов А.С., Долгих Г.М. *Механика мерзлых грунтов и принципы строительства нефтегазовых объектов в условиях Севера*. М: ЦентрЛитНефтеГаз, 2008. 432 с.
- Долгих Г.М., Окунев С.Н., Вельчев С.П. *Этапы, проблемы и технические решения по строительству оснований на вечномерзлых грунтах*. Международная научно-практическая конференция по инженерному мерзлотоведению. Тюмень: «Сити-Пресс», 2011. С. 12–17.
- TU 3642-004-54098700-2006. Системы и установки криогенные. Тюмень: ООО НПО «Фундаментстройаркос», 2006, 51 с.
- Долгих Г.М., Окунев С.Н., Стрижков С.Н. и др. *Исследования систем температурной стабилизации грунтов на опытно-промышленном полигоне*. Международная научно-практическая конференция по инженерному мерзлотоведению. Тюмень: «Сити-Пресс», 2011. С. 36–42.

Conclusions

As a result of the research, the following main conclusions can be made. An increase in the heat flux density (q_L) leads to an increase in the temperature parameter (Δt) in all three positions of the evaporation tubes. The lowest values of temperature losses, and hence the greatest efficiency of the cooling system, are observed with a slightly inclined position. Its highest values, and hence the lowest efficiency of the cooling system, correspond to the anti-inclined position. An intermediate performance result is characteristic of the horizontal position of the evaporator tubes. The obtained values of additional temperature losses must be taken into account when designing GTT systems.