

Высокоэффективная технология термостабилизации грунтов при строительстве в зоне вечной мерзлоты

Применение описанной в настоящей работе технологии термостабилизации вечномерзлых грунтов позволило существенно увеличить площадь пятна заморозки вокруг термостабилизатора, уменьшить количество термостабилизаторов на единицу замораживаемой площади и, как следствие, обеспечить значительную экономию материальных, трудовых ресурсов и сократить время строительных работ.

Область вечной мерзлоты России занимает около 67% территории страны и является ее стратегическим тылом, топливно-энергетической базой и золотовалютной кассой. Там же сосредоточен стратегический запас гидроресурсов и пресной воды, которая в скором времени может стать предметом острого мирового дефицита и военных конфликтов [1].

Глобальные планы России по освоению энергоресурсов в Заполярье, на Крайнем Севере и в Западной Сибири требуют разработки, освоения и внедрения инновационных и энергоэффективных методов строительства объектов и сооружений в специфической зоне вечной мерзлоты.

В зарубежной и отечественной практике освоения зоны вечной мерзлоты широко используется метод свайного строительства с термостабилизацией грунта вокруг каждой опорной сваи с целью сохранения природного мерзлого состояния грунта при строительстве нефте- и газопроводов, объектов инфраструктуры и др. Для этих целей применяют капсулированные погружные устройства-термостабилизаторы (ТСГ) с хладагентом (рис. 1). ТСГ помещают в специальные скважины, пробуренные рядом с опорными сваями для создания мерзлотного массива [2].

По сведениям производителей [2], радиус зоны заморозки грунта вокруг подобного ТСГ при среднеземной температуре -15°C составляет 1,5 м и имеет вид усеченного конуса на глубину промерзания с диаметром в основании около 0,5 м.

Даже при наличии хороших по термодинамическим свойствам хладагентов (сжиженный аммиак, диоксид углерода) эти ТСГ недостаточно эффективны. Неравномерность плотности и теплопроводности в точке при-

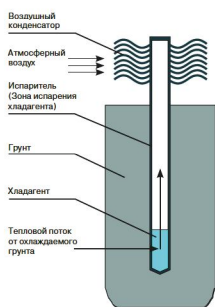


Рис. 1. Схема работы стандартного термостабилизатора грунта

легания грунта к корпусу ТСГ, неравномерность структуры грунта по высоте скважины, нестабильный, турбулентный и хаотичный режим кипения/конденсации хладагента [3] в системе грунт – корпус ТСГ – хладагент – конденсатор искажают и снижают интегральное значение теплового потока и коэффициента теплопередачи.

Важно отметить, что в настоящее время разработан и успешно применяется на практике новый инновационный высокоэффективный метод термостабилизации вечномерзлых грунтов, лишенный вышеуказанных недостатков. Он позволяет существенно расширить зону промораживания на единицу осваиваемой площади при значительной экономии материально-технических средств, трудозатрат и времени строительства, а, следовательно, снижается вероятность растепления грунта в летнее время.

Его «секрет» заключается в том, что обычный ТСГ помещают в полугерметичную гильзу, в которую заливают определенное количество низковязкого теплоносителя типа ХНТ-НВ в качестве буферного теплообменного агента. Он позволяет повысить интегральное значение теплоотдачи от грунта и коэффициент теплопередачи ТСГ, кроме того, выравнивает его по всей площади теплообмена со стороны испарителя и от грунта через гильзу, что приводит к существенному повышению эффективности работы ТСГ.

Экологически безопасные и энергоэффективные теплоносители класса ХНТ-НВ разработаны НПК ООО «Спектропласт» на основе пропиленгликоля с ПАВами, снижающими вязкость, и гибридными комплексами ингибиторов коррозии, обеспечивающими стабильную эффективную длительную (более 15 лет) работу ТСГ [4]. Важно отметить, что полный производственный цикл пакета ингибиторов коррозии и снижающих вязкость ПАВов для ХНТ-НВ находится в России. Данные теплоносители доступны по цене и выпускаются в промышленных масштабах на российских заводах.

Механизм работы подобной конструкции ТСГ согласуется с теоретическим обоснованием теплообмена комбинированной системы «труба в трубе», схематично показанной на рис. 2.

В нашем случае донная часть внутренней трубы (стандартный ТСГ) заполняется требуемым количеством хладагента, а кольцевой промежуток между корпусом стандартного ТСГ и полугерметичной гильзой заливается до определенного уровня специальным теплоносителем ХНТ-НВ. Далее отбор тепла нового, комбинированного ТСГ от замораживаемого грунта происходит через стенку гильзы.

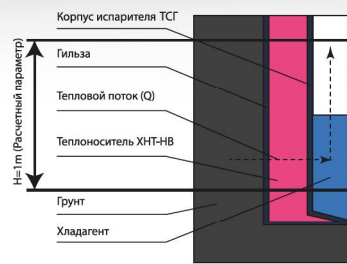


Рис. 2. Схема работы комбинированного термостабилизатора грунта

В общем случае для расчета количества теплоты Q , передаваемого через теплообменную поверхность S , справедлива формула [5]:

$$Q = \int k \Delta T dS, \quad (1)$$

где: k – коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{K}$, характеризующий процесс передачи тепла между его начальным источником и конечным поглотителем тепла (в нашем случае грунт и хладагент с последующим выносом в атмосферу) через разделяющую их преграду (в нашем случае стенка гильзы – промежуточный теплоноситель ХНТ-НВ либо стенка испарителя – хладагент с выводом тепла в атмосферу), ΔT – разность температур грунта и хладагента.

Коэффициент теплопередачи k для цилиндрических стенок рассчитывается по формуле:

$$k = \left(\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_{\text{ст}} \ln \frac{d_2}{d_1}} + \frac{1}{\alpha_2 d_2} \right)^{-1}, \quad (2)$$

где: $\lambda_{\text{ст}}$ – теплопроводность стенки, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$; d_1, d_2 – внутренний и наружный диаметры трубы, м; $\alpha_{1,2}$ – коэффициенты теплоотдачи, $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{K}$; l – длина трубы, м.

Конкретные значения коэффициента теплопередачи для теплообменника типа «труба в трубе» в нашем случае вычисляются на основе аналогичной формулы для стандартного ТСГ и для новой конструкции.

Ориентировочные расчетные значения коэффициента теплопередачи

больше радиус и объем промерзания грунта. Практические испытания подтвердили эффективность работы нового ТСГ.

В 2012 г. ТСГ с ХНТ-НВ успешно прошли промышленную апробацию. Система показала высокую эффективность при прокладке магистрального нефтепровода на трассе Ванкор – Пурпе [6]. Площадь заморозенного вокруг нового ТСГ пятна удалось увеличить в 1,5–2 раза, что позволило уменьшить количество ТСГ на единицу замораживаемого массива. В целом достигнута значительная экономия опорных труб, крепежного металла и монтажных материалов. Соответственно, уменьшились и трудозатраты строителей и монтажников нефтепровода, сократилось время строительства и ввода в эксплуатацию объектов, что исключительно важно в условиях короткого полярного лета. Данная система подробно описана в [7]. Она принята для промышленного использования и эксплуатации.

Авторы: д.т.н. Галкин М.Л., к.т.н. Генель Л.С., к.т.н. Рукавишников А.М.

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ
СПЕКТРОПЛАСТ

Стабилизация грунтов в зоне вечной мерзлоты на базе теплопередающей жидкости ХНТ-НВ

141423, г. Москва, 2-я Владимирская ул., д. 11, Тел.: (495) 956-08-09, 305-43-70
info@splast.ru www.splast.ru

Источники информации

1. Девятова Т.А. Энергетика и северный транзит//Атомная стратегия. № 46. 2010.
2. Долгих Г.М., Окунев С.Н., Кицлер Ю.Э. Практический опыт строительства оснований зданий и сооружений в условиях ВМГ. Тюмень. ООО НПО «Фундаментстройкоос», 2002.
3. Ховалыг Д.М., Бараненко А.В. Теплоотдача при кипении хладагентов в малых каналах//Вестник МАХ. № 4, 2013. С. 3–11.
4. ТУ 2422-011-11490846-07 с изм. № 1 «Хладоносители на основе пропиленгликоля с низкой вязкостью (антифризы) ХНТ-НВ».
5. Гуляев В.А., Вороненко Б.А. и др. Теплотехника. Учебник для вузов. СПб. Изд-во «РАПН», 2009. – 352 с.
6. Журнал «ТСГ» № 5(30) июнь 2009, с. 74–76.
7. Галкин М.Л., Генель Л.С., Рукавишников А.М. Термостабилизация вечномерзлых грунтов. Холодильная техника, № 10, 2013, с. 76–78.