

Обеспечение устойчивости и прочности ГТС в условиях Крайнего Севера с применением сезонно действующих систем замораживания грунтов



Горгуца Р. Ю.

к. т. н., главный инженер
ООО «Морстройтехнология»



Окунев С. Н.

главный инженер ООО НПО
«ФУНДАМЕНТСТРОЙАРКОС»



Соколов А. В.

руководитель группы
отдела ГТС, ООО
«Морстройтехнология»

Аннотация: Данная статья обозначает актуальность исследований и развития инженерных знаний в области гидротехнического строительства с целью освоения арктических регионов. В статье отмечается положительное влияние ледогрунтового массива в конструкции гидротехнического сооружения на его надежность и способность к восприятию ледовых нагрузок. Рассмотрены процессы формирования ледогрунтового ядра засыпки ГТС в естественном состоянии и с учетом дополнительных мероприятий по замораживанию и термостабилизации. Даны выводы и рекомендации.

Ключевые слова: гидротехническое строительство, термостабилизация, Арктика, нефтегазодобывающая промышленность, ледовые нагрузки, ледогрунт, промораживание грунта, программа FROST (DK), прогноз температурного режима.

Annotation: This article discusses actual research and development engineering knowledge in the sphere of marine engineering Arctic region. The article mentions positive effect ice soil massive in fill of marine construction. Authors consider the possibility establish favorable conditions in fill structure for temperature below freezing point and control this level of temperature. This article presents calculation data of temperature forecasting mass of the embankment.

Keywords: marine engineering, temperature stabilization, thermostabilisation, the Arctic Region, gas and oil producing industry, ice impact load, ice soil, freezing ground, software FROST (DK), temperature forecasting.



Рис. 1. Исследование полей торошения специалистами Института Арктики и Антарктики



Рис. 2. Общий вид торося. Обская губа

На сегодняшний день активно развивается нефтегазодобывающая промышленность нашей страны. Осваиваются новые месторождения в Арктике (район пос. Сабетта, Салмановское месторождение и т.д.), требующие развития портовой инфраструктуры. Также продолжается масштабное развитие портовой инфраструктуры Дальнего Востока, а именно проектирование и строительство новых угольных терминалов, комплекса для отгрузки СПГ и т.д.

Вышеуказанные гидротехнические сооружения (ГТС) в силу своего географического местоположения подвержены серьезным ледовым нагрузкам. Так, по натурным наблюдениям Научно-исследовательского института Арктики и Антарктики, в районе Обской губы встречаются ледовые поля с толщиной ровного льда до 2,5 м (рис. 1, 2), где торосы могут достигать толщины 14,2 м (экстремальное значение). На Дальнем Востоке в районе строительства ГТС наблюдались и прогнозируются ледяные поля с толщиной ровного льда более 1,0 м.

Нагрузки от ледовых воздействий определяются на основании требований действующих нормативных документов [5–9]. На основании вышеприведенных документов нагрузка может достигать 2,5 МН/м (от ровного льда) и 4,5 МН/м (от торосов).

Для восприятия расчетных ледовых нагрузок элементами различных типов (больверками, узкими засыпными пирсами, ячейками и т.д.), особенно в условиях Крайнего Севера, рекомендуется использовать грунтоледовое ядро обратной засыпки ГТС [1–3]. Учет мерзлого грунта при расчетах ГТС (определение активного и пассивного давления на стенку [3–9]) допускается выполнять с учетом предельно-длительного сцепления мерзлых грунтов $C_{пр}$, которое, в свою очередь, зависит от абсолютного значения отрицательной температуры грунта $|t|$, °С.

Для оптимизации стоимости строительномонтажных работ и сроков строительства авторами выполнен ряд расчетов ГТС с учетом ледогрунтового ядра обратной засыпки. В районе Обской губы оптимальные характеристики грунта обратной засыпки ГТС для восприятия заданных нагрузок достигаются при абсолютном значении отрицательной температуры грунта –5 °С.

С целью обеспечить необходимые параметры грунта засыпки и сохранить грунт в мерзлом состоянии предложено применить горизонтальные естественно-действующие трубчатые системы типа ГЕТ в совокупности с теплоизоляцией [10]. Вертикальная теплоизоляция выполнена по контуру сооружения:

- из пеностекла толщиной 300 мм в зоне воздействия ледовых нагрузок;
- из пеноплекса марки 75 в нижней и верхней вертикальных частях.

Охлаждающие трубы с шагом 0,5 м размещаются на 0,4 м выше уровня воды для исключения их подтопления в процессе монтажа.

Авторами был выполнен комплекс расчетов системы для района Обской губы. Оценка основных элементов климата выполнена на основании материалов наблюдений по данным метеостанции Тамбей. По климатическому районированию участок строительства относится к подрайону ИГ (согласно [11]).

Среднегодовая температура воздуха составляет –10,5 °С. Среднемесячная температура самого холодного месяца (февраля) — –26,2 °С, самого теплого (августа) — +6,2 °С. В расчете температура наружного воздуха принималась с учетом возможно увеличения среднегодовой температуры на 2 °С в результате глобального потепления климата. Расчетные климатические характеристики для метеостанции Тамбей приведены в таблице.

Расчетные климатические характеристики с метеостанции Тамбей

Параметр	Месяц												Ср.-год. значение
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Температура воздуха, °С:													
исходная	-24,6	-26,2	-24,2	-16	-7,3	0,7	5,2	6,2	2,5	-6,1	-15,5	-20,7	-10,5
с потеплением на 2 °С	-22,6	-24,2	-24,2	-14	-5,3	2,7	7,2	8,2	4,5	-4,1	-13,5	-18,7	-8,5
Скорость ветра, м/с	6,1	6,0	5,9	6,0	6,2	5,6	5,3	5,7	5,8	6,5	6,5	6,4	6,0
Высота снежного покрова, м	0,27	0,29	0,33	0,37	0,29	—	—	—	—	0,12	0,17	0,23	—

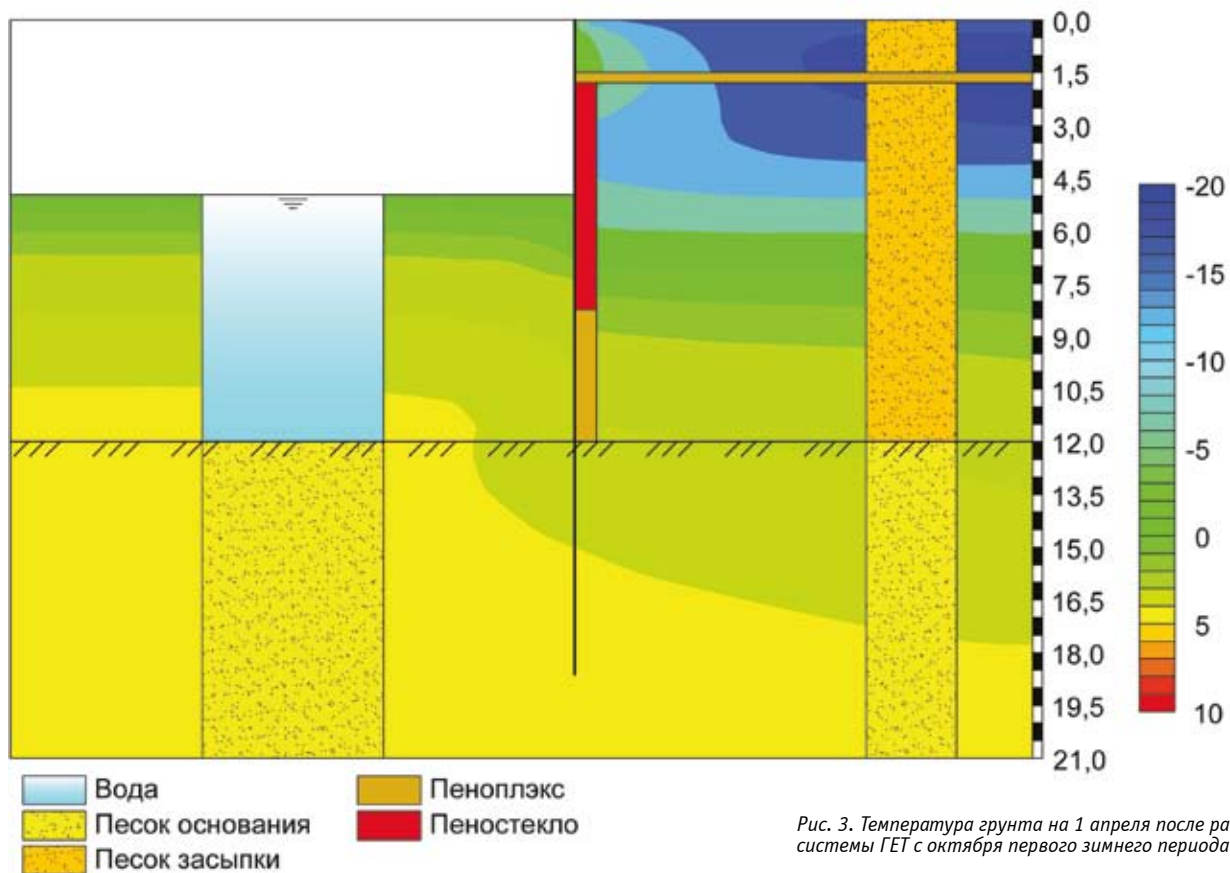


Рис. 3. Температура грунта на 1 апреля после работы системы ГЕТ с октября первого зимнего периода

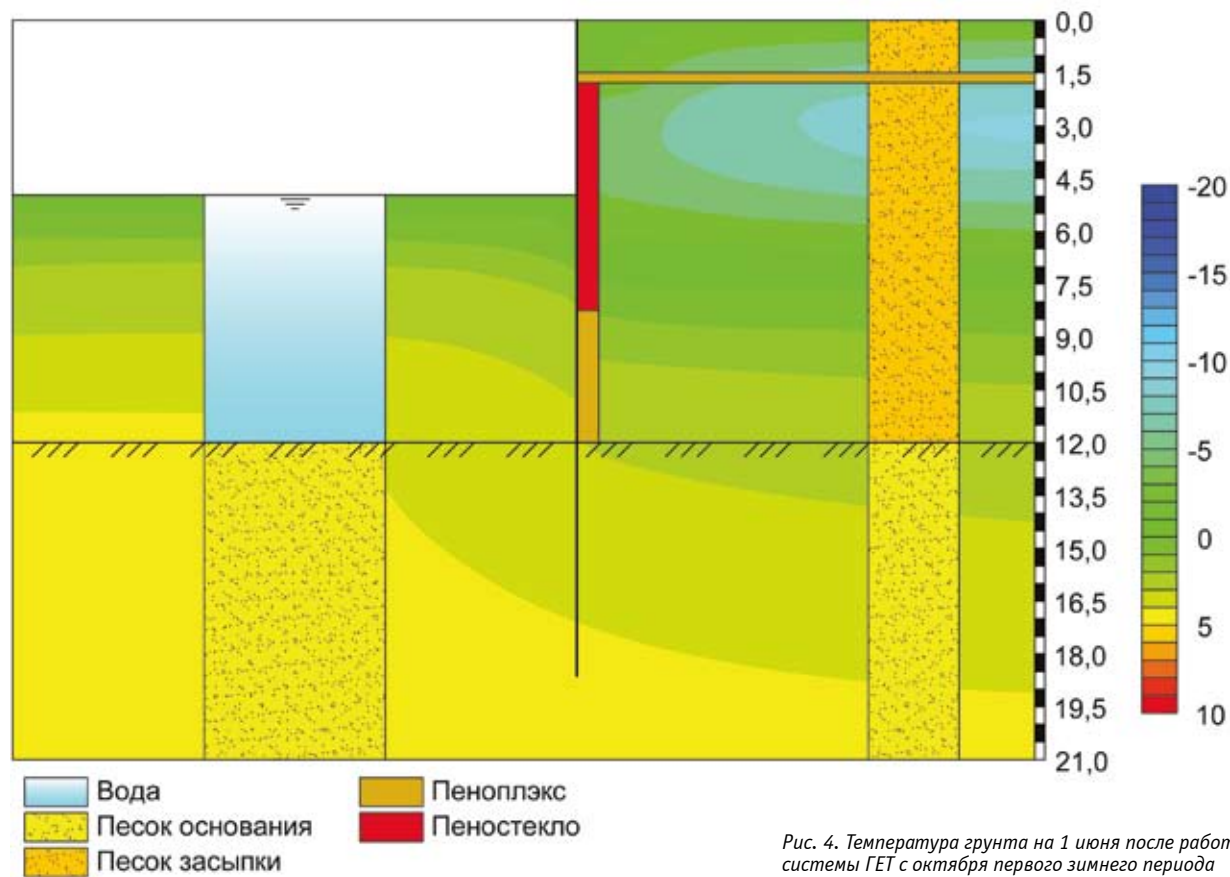


Рис. 4. Температура грунта на 1 июня после работы системы ГЕТ с октября первого зимнего периода

Прогноз температурного режима грунтов обратной засыпки ГТС выполнен по программе FROST (DK) (сертификат соответствия № 12.0001.1203 от 31 мая 2013 года). Программа FROST (DK) разработана д. т. н. М. М. Дубиной и д. ф.-м.н. А. А. Кашеваровым в СО РАН для решения пространственной задачи прогноза температурного режима влагонасыщенных грунтов вблизи строительных сооружений с замораживающими элементами при воздействии сезонных колебаний температуры воздуха. Фазовый переход влаги происходит в спектре отрицательных температур с учетом степени минерализации. Теплофизические параметры зависят от типа грунта, льдистости и влажности, концентрация солей в поровой влаге определяет значение температуры начала фазового перехода. Влияние снежного покрова и процесса испарения влаги с поверхности земли учитывается модификацией граничных условий третьего рода в соответствующих точках границ трехмерной области расчета. Задача решается по консервативной неявной конечно-разностной схеме, с использованием устойчивого итерационного алгоритма переменных направлений. Программа FROST (DK) позволяет численно решать пространственные задачи теплообмена с различными граничными условиями и прогнозировать температурный режим для различных инженерных сооружений с учетом сложной геометрии области моделирования и произвольного распределения охлаждающих элементов различных типов.

Рассматриваемая область моделирования является трехмерным фрагментом, ограниченным сверху дневной поверхностью, снизу — плоскостью, расположенной на достаточно большой глубине, чтобы не оказывать влияния на процессы в интересующей части области. На боковых гранях расчетной области задается нулевой тепловой поток, что соответствует условию симметрии. На второй грани предполагается, что граница удалена на достаточно большое расстояние и вблизи нее формируется безградиентное в горизон-

тальной плоскости температурное поле, соответствующее естественному тепловому режиму на открытом участке дневной поверхности. Работа охлаждающих устройств моделируется внутренними граничными условиями третьего рода с параметрами, зависящими от времени.

Расчетная область имела размеры $18,0 \times 21,0 \times 15,0$ м по осям x, y, z соответственно. На верхней границе расчетной области задавались граничные условия третьего рода. На боковых границах расчетной области — граничные условия второго рода, тепловой поток равен нулю. Температура основания насыпи равна $+4$ °С. Распределение грунтов по разрезу показано на рис. 3. Расчет выполнен из условия устройства теплоизоляционного экрана на талый грунт, то есть моделирование наилучших условий для строительства.

Для замораживания грунта и сохранения его в мерзлом состоянии предусматривается:

- укладка труб системы ГЕТ с шагом 0,5 м, производства ООО «НПО «Фундаментстройаркос»»;
- укладка теплоизоляции из пеноплекса с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,033$ Вт/(м·°С) толщиной 200 мм;
- укладка пеностекла (толщиной 300 мм) и пеноплекса (толщиной 200 мм) по боковой поверхности сооружения.

Охлаждающие системы работают с октября до апреля. Результаты прогноза на 1 апреля и 1 июня периодов первого и второго годов эксплуатации систем приведены на рис. 3, 4. Выполненный прогноз температурного режима грунтов основания гидротехнического сооружения показал, что предложенное техническое решение обеспечивает проектную круглогодичную температуру грунтов не выше -5 °С. При дальнейшей работе системы ГЕТ температура грунта понижается, мерзлое состояние грунтов основания сохраняется на весь период эксплуатации сооружения.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

- При проектировании и строительстве ГТС в условиях воздействия значительных ледовых нагрузок для сокращения стоимости строительно-монтажных работ и сроков возведения сооружений целесообразно учитывать ледогрунтовое ядро грунтов обратной засыпки в расчетах ГТС.
- Для обеспечения расчетных показателей ледогрунтового ядра возможно использование системы замораживания грунтов ГЕТ в сочетании с теплоизоляцией.
- Для расчета показателей ледогрунтового ядра целесообразно применять программу FROST (DK) (сертификат соответствия № 12.0001.1203 от 31 мая 2013 года).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Будин А.Я. Тонкие подпорные стенки для условий Севера. Л.: Стройиздат, 1982.
2. Велли А.Я. Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах. Л.: Стройиздат, 1977.
3. Руководство по проектированию узких засыпных пирсов и палов с учетом Арктических условий. РД 31.31.23-81. М., 1982.
4. Инструкция по проектированию морских причальных и берегоукрепительных сооружений. РД 31.31.55-93. М., 1996.
5. СП 38.13330.2012. Свод правил. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82*. М.: Минрегион РФ, 2012.
6. CAN/CSA-S471-04. General requirements, design criteria, the environmental and loads. National Standard of Canada, app. [S.l.] 2005.
7. ISO 19906:2010. Petroleum and natural gas industries – Arctic offshore structures, International Standard, app. [S.l.] 2011.
8. Р 31.3.07-01 Указания по расчету нагрузок и воздействий от волн, судов и льда на морские гидротехнические сооружения. М.: Минтранс России, 2002.
9. СТО Газпром 2-3.7-29-2005. Методика расчета ледовых нагрузок на ледостойкую стационарную платформу. М.: ОАО «Газпром», 2005.
10. Долгих Г. М., Окунев С. Н., Осокин А. Б. и др. Современная технология строительства оснований и фундаментов на многолетнемерзлых породах с применением парожидкостных охлаждающих установок // Материалы Третьей конференции геокриологов России: В 4 т. М.: Изд-во МГУ, 2005. Т. 4.
11. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. М.: Минрегион РФ, 2012.