

Специфика строительства портовых сооружений на Крайнем Севере



В. М. Улицкий,
д-р техн. наук, профессор,
лауреат Государственной
премии РФ, зав. каф.
«Основания и фундаменты»
ФГБОУ ВО «Петербургский
государственный
университет путей
сообщения Императора
Александра I» (ПГУПС)



В. Н. Парамонов,
д-р техн. наук, профессор
каф. «Основания
и фундаменты»
ПГУПС



И. И. Сахаров,
д-р техн. наук, профессор
каф. «Геотехника» ФГБОУ
ВО «Санкт-Петербургский
государственный
архитектурно-
строительный
университет»



В. В. Мерзликин,
канд. экон. наук,
генеральный
директор
АО «ЛЕНМОРНИИПРОЕКТ»



Е. В. Городнова,
канд. техн. наук,
доцент каф.
«Основания
и фундаменты» ПГУПС

Проектирование, строительство и эксплуатация портовых сооружений на многолетнемерзлых грунтах чрезвычайно опасно без специального численного моделирования. Представлен расчет оценки теплового влияния проектируемых сооружений морского порта в районе пос. Сабетта на грунты основания. Рассмотрена эффективность мер, необходимых для обеспечения строительства и безопасной эксплуатации зданий порта.

В последние годы резко сократилась информативность инженерно-геологических изысканий для проектирования на многолетнемерзлых грунтах, а процесс проектирования осложнился, так как впервые возникла потребность в создании крупных портов на Северном морском пути. Началось развитие всей транспортной инфраструктуры в приполярных широтах. Расчетное обеспечение подобных проектов потребовало комплексного изучения вечномерзлых грунтов, определение состояния которых служит гарантом безопасности проектируемых сооружений. Активному строительству способствует добыча в этих регионах полезных ископаемых — нефти и газа. Все это стало причиной привлечения последних научных и технических достижений. Крупные плавучие заводы по сжижению газа, каких не знала практика строительства прошлых лет, требуют сверхмощных причальных сооружений и современных подъездных путей к месторождениям природных ископаемых, к карьерам, обогатительным фабрикам и т. п.

В инженерно-геологическом отношении рассматриваемая территория представлена сезонно-мерзлыми и вечномерзлыми грунтами. Вечномерзлые грунты Арктического побережья — это специфические для мировой строительной практики грунтовые условия, о чем следует помнить при изысканиях, проектировании, ведении работ, а также при последующей эксплуатации строительных сооружений с учетом возможного оттаивания грунта.

Специалисты кафедры «Основания и фундаменты» Петербургского государ-

ственного университета путей сообщения по заданию АО «Ленморниипроект» исследовали изменения теплофизических свойств вечномерзлых грунтов в процессе строительства и эксплуатации объектов морского порта в районе пос. Сабетта (рис. 1) и предложили рекомендации по сохранению грунтов в основании портовых сооружений в мерзлом состоянии.

Известно, что процессы промерзания отличаются крайней сложностью вследствие необходимости совместного рассмотрения задач термодинамики, теплофизики, физикохимии, механики и гидромеханики. Предложенный авторами и используемый метод расчета уникален в мировой практике строительства. В результате многолетних систематических исследований были установлены закономерности, позволяющие численно моделировать температурно-фазовый переход грунтов из мерзлого состояния в оттаявшее. С помощью расчетов можно определить и проанализировать возможные варианты устройства теплоизоляции и изменение зоны оттаивания грунтов основания в зависимости от температуры и состояния грунтов.

Для обоснования создания портовой инфраструктуры выполнена количественная оценка (численное моделирование в программном модуле Termoground) теплового влияния проектируемых объектов строительства на состояние мерзлых грунтов основания. Программный модуль Termoground для решения теплофизических задач — часть программного комплекса FEM models [1], широко внедряемый в практику проектирования группой компаний «Гео-реконструкция» с учетом грунтовых

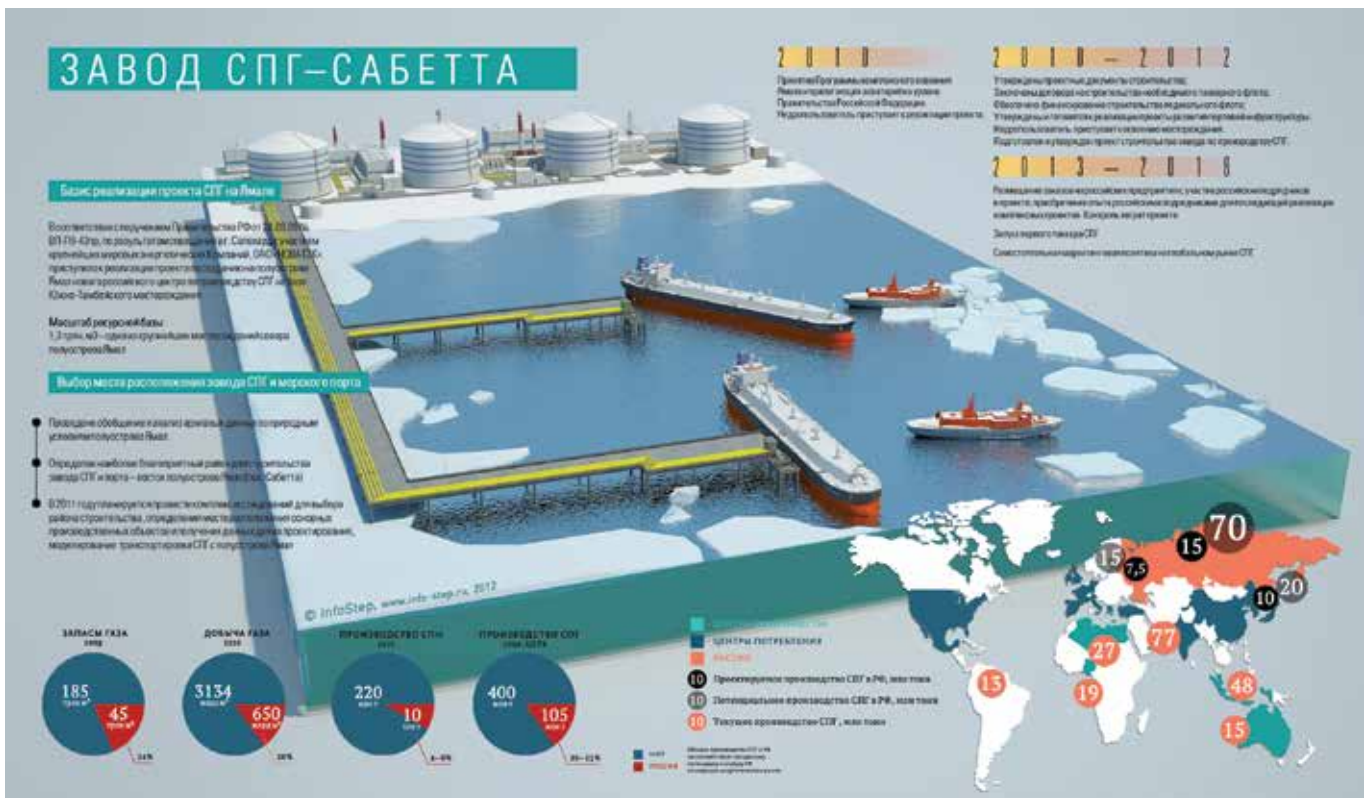


Рис. 1. Морской порт Северного морского пути

условий различных регионов России [2].

Для изучения особенностей работы грунтового основания смоделирован тепловой режим основных объектов порта Сабетта: административного здания, технического здания средств наземного обслуживания и компрессорной (здания с нормальным тепловыделением, температура воздуха внутри помещений 20 °С), а также более сложного здания котельной (неотапливаемого здания с внутренними теплоисточниками в виде котлов, температура их наружной поверхности 55 °С).

Цель численного моделирования – установить фактические температурные поля в основании указанных зданий. Согласно проекту фундаменты почти всех зданий были выполнены на сваях. Для сохранения состояния мерзлого грунта использованы следующие охлаждающие устройства:

- в административном здании — вентилируемое подполье;
- в технических зданиях компрессорной и котельной — специальные вентиляционные трубы в основании сооружений.

Численный анализ распределения температурных полей в основании зданий (рис. 2) дал возможность оценить эффективность мер, обеспечивающих строительство и последующую безопасную эксплуатацию зданий, чтобы сохранить мерзлое состояние основания.

Для создания покрытия территории и проездов предложена специальная конструкция дорожной одежды (рис. 3). Грунты, залегающие на небольшой глубине, пучиноопасны. В таких условиях наиболее уязвимы малонагруженные фундаменты и конструкции. Многие распространенные и рекомендуемые методы борьбы с выпучиванием фундамен-

тов после нескольких лет применения теряют свою эффективность. Надежную работу малонагруженных фундаментов в морозопасных грунтах обеспечивает способ заанкеривания фундаментов в талых слоях грунта, расположенных ниже глубины сезонного промерзания, либо способ вмораживания конструкций в вечномерзлые грунты. В конце 1970-х годов специалисты Ленинградского инженерно-строительного института провели исследования в регионах, сложенных вечномерзлыми грунтами, а также в районах с глубоким сезонным промерзанием и с линзами вечномерзлых грунтов. Обширные натурные наблюдения за различными конструкциями столбчатых фундаментов в указанных условиях [3] позволили выполнить ряд тестовых задач для расчета изменения температурных полей в грунтах, содержащих конструкции. Для дорожного и земляного

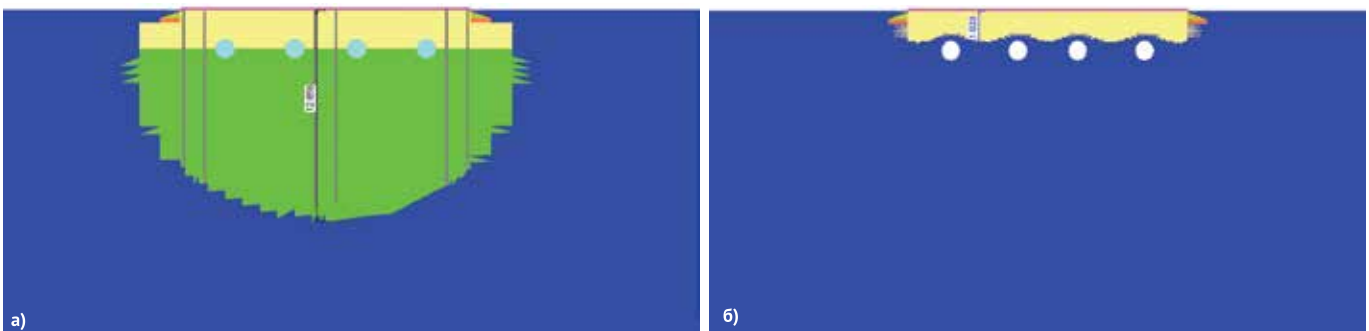


Рис. 2. Чаша протаивания грунта под техническим зданием через 50 лет, граничная температура 0 °С: а, б – расчет с неventилируемыми (а) и с вентилируемыми (б) каналами


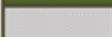


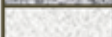


	Плотный асфальтобетон	Типовое решение дорожной одежды
	Пористый асфальтобетон	
	Щебень	
	Теплоизоляция – PENOPLEX	
	Песок мелкий	
	Геотекстиль	
	Грунт основания	

Рис. 3. Проектируемая конструкция дорожной одежды и земляного полотна

полотна были сделаны расчеты по подбору необходимой толщины эффективной теплоизоляции, позволяющей сохранить естественные грунты основания в мерзлом состоянии. Результаты расчетов представлены на рис. 4–6.

В расчетах конструкций дорожной одежды и земляного полотна были приняты следующие теплотехнические характеристики грунтов:

- для щебня — теплопроводность 63 072 кДж/(год×м×°C), теплоемкость 1700 кДж/(м³×°C) в талом и мерзлом состоянии;
- для песчаной подготовки (принят природный песок мелкий) — теплопроводность в талом состоянии 25 229 кДж/(год×м×°C), в мерзлом состоянии 31 536 кДж/(год×м×°C); теплоемкость в талом состоянии 1656 кДж/(м³×°C), в мерзлом состоянии 1476 кДж/(м³×°C);
- для асфальтобетона — теплопроводность 22706 кДж/(год×м×°C), теплоемкость 1344 кДж/(м³×°C).

Необходимо отметить следующее. При расчете варианта с воздушно-сухим природным грунтом учитывалось возможное потепление климата через

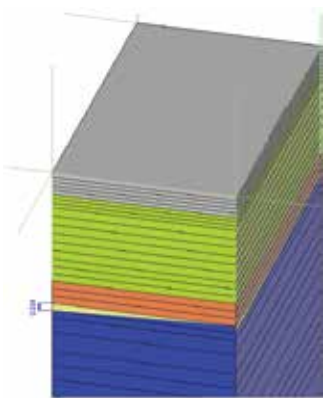


Рис. 6. Глубина оттаивания грунта под теплоизолятором толщиной 10 см

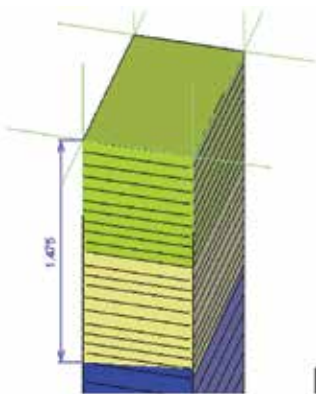


Рис. 4. Максимальная глубина оттаивания грунта территории северного порта без устройства эффективной теплоизоляции

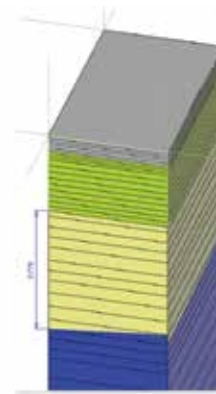


Рис. 5. Глубина оттаивания грунта при устройстве асфальтового покрытия без теплоизоляции

50 лет на 20 °C, на что указывают многие публикации.

Максимальная глубина оттаивания составила 1,5 м в критической ситуации без устройства теплоизоляции (рис. 4).

При рассмотрении решения с асфальтовым покрытием без слоя теплоизоляции максимальная глубина оттаивания грунта ниже слоя щебня составила 0,78 м, от поверхности — 1,28 м (рис. 5).

Далее с помощью расчетов определялась толщина теплоизоляции, достаточной для исключения оттаивания грунта ниже слоя щебня. При толщине 10 см глубина оттаивания грунта под теплоизоляцией составила 3 см (рис. 6). Таким образом, после моделирования была рекомендована толщина теплоизоляции для указанных грунтовых и климатических условий. Полученные результаты еще раз подчеркивают необходимость проведения расчетов для уточнения проектных решений, обеспечивающих безопасность при известной толщине и состоянии многолетнемерзлого грунта.

После комплексного моделирования инфраструктуры Северного морского порта сделано следующее заключение:

Устройство предложенного проветриваемого подполья гарантирует сохранение мерзлого состояния основания здания на весь расчетный период его существования.

Возведение ряда зданий на 10-метровых сваях без применения дополнительных мероприятий по сохранению мерзлого состояния грунтов основания недопустимо. Глубина чаши протаивания за 50 лет эксплуатации зданий может превысить глубину заложения свай, что спровоцирует непредсказуемые

просадки и разрушение верхней зоны грунта при его оттаивании.

Для сохранения мерзлого состояния грунтов в основании зданий со значительным тепловыделением промоделирована и предложена прокладка труб с принудительной вентиляцией воздуха в зимнее время. Авторы моделировали состояние грунтов под зданиями в Якутске, где осуществлялось искусственное охлаждение воздуха на протяжении длительного времени, с 1980 по 2010 г. Результаты расчетов сходны с данными наблюдений. Мерзлое состояние основания зданий Северного морского порта должно обеспечиваться в течение всего срока их эксплуатации.

Эффективность работы горизонтальных труб в основании гарантируется только при принудительной вентиляции атмосферного воздуха в зимнее время. Чтобы исключить неравномерные просадки конструкции пола, необходимо устройство подготовки из крупнозернистого грунта, которая доходила бы до верха труб. ■

Литература

1. Шашкин К. Г. Использование структуры универсального конечного элемента при разработке моделей в рамках программы FEM models // Реконструкция городов и геотехн. строительство. 2000. № 1.
2. Кудрявцев С. А., Сахаров И. И., Пармонов В. Н. Промерзание и оттаивание грунтов (практические примеры и конечноэлементные расчеты). СПб.: Группа компаний «Геореконструкция», 2014. 247 с.
3. Улицкий В. М. Исследование особенностей работы анкерных фундаментов в пучинистых грунтах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л., 1969. 24 с.