



Совершенствование способа управления криогенным ресурсом оснований при проектировании нулевых циклов зданий и сооружений <i>Попов А.П., Милованов В.И., Рябов В.А., Бережной М.А.</i> .....	4
Строительство на вечномёрзлых грунтах: проблемы качества <i>Долгих Г.М., Вельчев С.П.</i> .....	22
Геотехнические исследования площадок строительства, сложенных слабыми водонасыщенными глинистыми грунтами <i>Абелев М.Ю., Абелев К.М.</i> .....	30
Исследование искусственного основания сооружения, запроектированного на месте бывшей свалки бытовых отходов <i>Аверин И.В., Кораблева У.А.</i> .....	34
Численный расчет совместной работы основания и конструкций высотного здания <i>Шашкин К.Г., Васенин В.А.</i> .....	38
Система мониторинга конструкций высотных зданий <i>Долинский К.Ю., Павлов Е.И.</i> .....	46
Инженерные изыскания при контроле качества усиления оснований и фундаментов инъекционным методом в г. Москве <i>Чумаченко А.Н., Глебов В.И.</i> .....	50
Определение внутренних параметров модели Hardening Soil Model <i>Сливец К.В.</i> .....	55
Некоторые особенности застройки территорий над эскалаторными тоннелями метрополитена в г. Санкт-Петербурге <i>Сахаров И.И., Парамонов В.Н.</i> .....	60
Особенности деформирования глинистых грунтов при циклическом трехосном сжатии <i>Мирсаяпов И.Т., Королева И.В.</i> .....	64
Европейские стандарты в строительстве <i>Блинов В.П.</i> .....	68
Роль гармонизации нормативной базы России с зарубежными стандартами при реализации инфраструктурных проектов <i>Гончарова К.И.</i> .....	72

# Совершенствование способа управления криогенным ресурсом оснований при проектировании нулевых циклов зданий и сооружений

Improving the management way of the ground base cryogenic resources for designing foundation works

ПОПОВ А.П., МИЛОВАНОВ В.И.,  
РЯБОВ В.А., БЕРЕЖНОЙ М.А.  
ОАО «ВНИПИгаздобыча», г. Саратов  
popovap@vnipigaz.gazprom.ru

POPOV A.P., MILOVANOV V.I.,  
RYABOV V.A., BERREZHNOY M.A.  
OJSC «VNIPIgazdobycha», Saratov, Russia  
popovap@vnipigaz.gazprom.ru

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Бованенковское нефтегазоконденсатное месторождение (НГКМ); полуостров Ямал; площадка ГП-2; площадка ГП-3; многолетнемерзлые грунты; технические решения; термостабилизация грунтов основания; насыпь; слой искусственной отсыпки промплощадок; свая; сезонноохлаждающие устройства.

## АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются инновационные технические решения по проекту организации строительства искусственных грунтовых оснований, принципиальным конструкциям свай, способам их погружения, дополнительным мероприятиям по термостабилизации многолетнемерзлых грунтов, позволяющим в условиях дефицита кондиционного строительного материала, особо сложного инженерно-геокриологического строения коренных грунтов и высокого паводкового подтопления площадок строительства обеспечить соблюдение жестких директивных сроков ввода в эксплуатацию зданий и сооружений Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения на полуострове Ямал. Обсуждается вопрос о том, насколько эффективны предлагаемые и уже реализованные технические решения по термостабилизации грунтов оснований для строительства сооружений площадок газовых промыслов данного месторождения.

## KEY WORDS

The Bovanenkovo oil-gas condensate field; the Yamal Peninsula; the GP-2 site; the GP-3 site; permafrost soils; technical decisions; foundation soils thermal stabilization; embankment; the artificial filling layer in the industrial areas; pile; seasonally working chiller systems.

## ABSTRACT

The article deals with innovative engineering solutions for the project of organizing construction of the artificial ground bases, basic structures of the piles, ways of the pile-sinking, additional actions for thermal stabilization of the permafrost soils permitting to ensure tight directive time-frame of putting the buildings and structures of the Bovanenkovo oil-gas condensate field (the Yamal Peninsula) into operation under the conditions of deficit in the conditioned constructional material, very complex engineering-geocryological structures of the ground bases and high waterlogging of the construction sites. The paper discusses the efficiency of the proposed and implemented technical decisions for the foundation soils thermal stabilization for constructing the structures of the gas field sites.

### УСЛОВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Реализация крупных нефтегазовых проектов XXI века тесно связана с масштабным строительством на территориях, не имеющих аналогов по степени сложности геокриологических условий.

Освоение любой новой территории всегда вызывает нарушение естественных условий, что, в свою очередь, является причиной изменения температурного и влажностного режима грунтов оснований инженерных сооружений. Особое значение это имеет для области распространения многолетнемерзлых грунтов, где их термовлажностный режим определяет выбор конструкций сооружений и их устойчивость. Ведь известно, что не только промерзание и оттаивание грунтов оснований инженерных сооружений приводит к изменению их строения, осадке и уплотнению при оттаивании, пучению при промерзании и возникновению периодических сил сезонного характера в деятельном слое, но и простое изменение температурного режима влечет за собой изменение несущей способности грунтов. А ситуация на

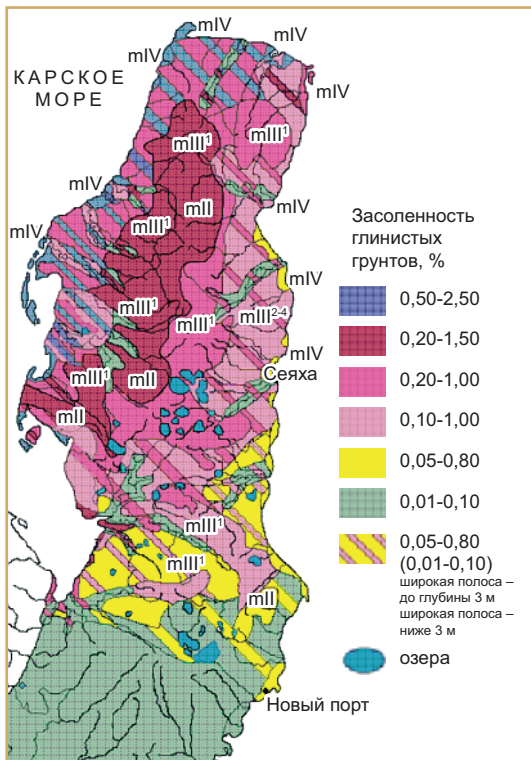


Рис. 1. Засоленность грунтов территории полуострова Ямал

полуострове Ямал является еще более сложной. Дело в том, что практически повсеместно инженерно-геокриологический разрез здесь представлен суглинистыми породами со значительной степенью засоленности (рис. 1).

Особенность и дисперсных, и засоленных мерзлых грунтов, к каковым относятся грунты Ямала, состоит в том, что при повышении температуры их механические характеристики существенно изменяются уже в отрицательном диапазоне температур (грунты переходят в пластичномерзлое состояние) с проявлением реологических свойств оснований. Если учесть тот факт, что льдистость упомянутых грунтов может достигать 60–90%, то становится понятным, с чем столкнулись строители при освоении этих территорий (рис. 2).

На этом проблемы не заканчиваются. Значительный уровень паводкового подтопления площадок строительства пионерного Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ), обустраиваемого на Ямале (рис. 3), требует использования технических решений, связанных со значительными объемами заготовки грунта для создания слоя искусственной отсыпки промплощадок высотой от 3,5 до 7,0 м. А упомянутые выше особенности строения грунтов свидетельствуют о практически полном отсутствии на осваиваемой территории месторождений кондиционных строительных материалов и в сухоройном, и в гидронамывном вариантах. То, на что можно рассчитывать, это «плохонькие» супеси с существенной льдистостью. Но использовать такие материалы невозможно без их специальной длительной



Рис. 2. Потеря несущей способности грунтов оснований

подготовки (с отдачей излишней влаги), что приводит к увеличению времени строительства искусственных насыпей промплощадок нетрадиционно большой мощности. Единственный положительный момент — это то, что засоленность таких подготовленных грунтов минимальна.

Но и это еще не все проблемы. В сложных условиях полуострова Ямал с учетом геометрии систем трубопроводов промышленного сбора газа изыскательский комплекс выбрал местоположение площадок для строительства установок комплексной подготовки газа и промбаз, инженерно-геологические разрезы которых имеют преимущественно суглинистое строение и высокольдистый слой до глубин 3–5 м. Ниже — засоление, возрастающее с глубиной (что ухудшает реологические свойства пластичномерзлых пород). Единственное, с чем «повезло», так это с тем, что с глубиной уменьшается льдистость.

## ТРАДИЦИОННЫЕ ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ

Как известно, в арсенале строителей нефтегазового комплекса, освоивших труднодоступные территории севера Западной Сибири, имеется эффективное использование опробованных многолетней практикой свайных фундаментов на основе металлических труб. Несущая способность таких традиционных для условий криолитозоны фундаментов обеспечивается за счет сил смерзания грунта с боковой поверхностью свай. Вклад наконечника сваи (если таковой используется) в ее общую несущую способность не превышает 15–50%. Для обеспечения типовой несущей способности в условиях бованенковского проекта (порядка 15–25 тс) требуется «вморозить» свайную трубу длиной 12–14 м. Здесь следует отметить прямое запрещение СНиПом учитывать при расчете несущей способности сваи грунты искусственной отсыпки. Стоит также указать, что рассчитывать на наличие хоть какого-то опорного горизонта для сваи с острым наконечником на отсыпанных площадках строительства можно лишь начиная с глубин 10–12 м (напомним, что выше этой глубины залегают пластичномерзлые льдистые суглинки). В итоге требуемая общая глубина погружения свай составляет 15–22 м (12–14 м — в «коренном» грунте плюс 5–6 м — в слое искусственной отсыпки промплощадки плюс 1,5–2,0 м — на проветриваемое подполье).

Традиционные решения, нашедшие отражение в действующем СНиПе и опробованные многолетней практикой строительства в Якутии, на Камчатке, на БАМе, в Норильске, Воркуте и, наконец, при обустройстве месторождений севера Западной Сибири, в случае использования грунтов по I принципу строительства (в мерзлом состоянии в течение всего эксплуатационного периода) предусматривают использование проветриваемых подполий для обеспечения механической безопасности зданий и сооружений в процессе эксплуатации. Применение таких решений в условиях высоких искусственных насыпей, сложенных тальми супесями после их упомянутой выше подготовки, обусловлено опасностью возникновения значительных сил морозного пучения при промерзании искусственного слоя в процессе эксплуатации.

Выполненные оценки времени естественного промерзания таких насыпей свидетельствуют о том, что технологический перерыв между строительством насыпи и строительством нулевого цикла и передачей нагрузок на фундамент (монтажом оборудования, трубопроводов и каркасов производственных зданий) должен составлять 5–8 зимних сезонов (в зависимости от мощности насыпи). Именно за такой срок происходит полное промерзание насыпи и начинается охлаждение коренных грунтов. До этого срока в коренных грунтах сохраняется положительная температурная аномалия, характерная для времени начала сооружения насыпи. Если учесть, что зимнее передвижение строительной техники на территории Ямала вне отведенных трасс зимников запрещено, то такая аномалия может содержать в том числе и захороненный слой сезонного протаивания (если отсыпка площадки производилась в летний сезон).

Таким образом, традиционные подходы к проектированию и строительству позволяют оценить период реализации инвестиционного проекта и констатировать, что последний может составить от 7 до 10 лет, а пуск газа следует отложить до 2017–2020 гг. (в этом случае строительно-монтажные работы надо будет реализовать за 2 сезона). А решить такую задачу за 4 зимних сезона без разработки нестандартных инновационных технических и организационных решений невозможно.

В сложившейся ситуации инженерами генпроектировщика было найдено требуемое решение, прин-

цип которого заключается в следующем: если состав и строение грунтов естественного основания не позволяют надеяться на несущую способность традиционного свайного фундамента и последний будет подвержен серьезной деформации за счет промерзания высокой насыпи из материала пониженного качества, то необходимо перевести слабонесущие грунты искусственной насыпи в разряд грунтов с повышенной несущей способностью, искусственно сформировав «промороженную плиту» (мощностью 3,5–7,0 м) в грунтах искусственной насыпи. Именно в такой «твердомерзлой плите» было бы рационально разместить сваи фундамента. Реализовать такое предложение посредством послойной отсыпки в зимнее время достаточно затруднительно, поскольку грунт из заготовленного бурта, в котором он отдавал излишнюю влагу в летний сезон, придется отбирать в мерзлом состоянии и качество искусственного уплотнения при формировании тела насыпи не приведет к достижению необходимых характеристик его несущей способности. Талую же супесь уплотнить можно, однако послойная укладка с промораживанием сопряжена с крайне коротким периодом года, когда можно использовать естественный криогенный атмосферный ресурс территории, т.е. когда температура воздуха уже отрицательная, но бурт еще не промерз до основания (лишь в ноябре–декабре).

### РЕШЕНИЯ ПО ПЕРВОМУ МОДУЛЮ ГП-2

7 августа 2007 г. в московском представительстве заказчика (ООО «Газпром добыча Надым») состоялось техническое совещание по обсуждению хода реализации инвестиционного решения ОАО «Газпром». На совещании в том числе были обсуждены вопросы темпов заготовки грунта и необходимых объемов его отсыпки. Протоколом упомянутого совещания генпроектировщику (ОАО «ВНИПИгаздобыча») было поручено:

«...В срок до 15 сентября 2007 г. произвести доработку технического решения, позволяющего сократить период предпостроечного охлаждения с возможностью передачи нагрузок на сваи фундамента к концу зимнего сезона 2008/09 г. и снизить требования к качеству и состоянию грунтов искусственной отсыпки. В качестве объектов для реализации упомянутого решения определить основные технологические сооружения первого (пускового) модуля. Ра-



Рис. 3. Паводок 2009 г. на территории Бованенковского НГКМ

боты выполнить в счет согласованного финансирования по разделу “Термостабилизация грунтов”;

«...ОАО “ВНИПИгаздобыча” в двухнедельный срок с даты утверждения настоящего протокола представить в УКС ООО “Надымгазпром” оценку дополнительных затрат на реализацию решения, позволяющего производить охлаждение грунтов одновременно с сооружением насыпи для объектов первого пускового модуля. Представить описание и обоснование предлагаемого технического решения... и график организационно-технических мероприятий».

В установленные протоколом сроки было разработано и направлено заказчику «Научно-техническое обоснование мероприятий по предпостроечной подготовке грунтов оснований пускового комплекса ГП-2 Бованенковского НГКМ», в котором были численно обоснованы предлагаемые решения, а также была выполнена оценка стоимости их реализации. Мало того, было найдено два варианта решения проблемы, основанные на использовании естественных действующих парожидкостных сезонноохлаждающих трубчатых систем, — либо одновременные, либо последовательные отсыпка и охлаждение грунтов оснований.

### ОДНОВРЕМЕННЫЕ ОТСЫПКА И ОХЛАЖДЕНИЕ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ

На поверхности коренного грунта или выравнивающего слоя размещается испарительная часть горизонтальной охлаждающей системы из полиэтиленовой трубы (рис. 4, 5), а вне контура отсыпки площадки обу-



Рис. 4. Пример обустройства испарительной части горизонтальной сезонноохлаждающей системы

страиваются конденсаторные блоки (рис. 6). Далее производится отсыпка грунта, подготовленного в буртах, с уплотнением в теле насыпи и с использованием в качестве «сцепляющего» материала воды.

Выполненные расчеты показали, что за один зимний сезон в грунтах основания может быть сформирована отрицательная температурная аномалия, которая сохранится в период летнего простоя сезонноохлаждающей системы (с температурой не выше минус  $5^{\circ}\text{C}$  на конец последнего теплого месяца, т.е. октября) в первый год строительства. Грунты искусственной отсыпки будут обладать механическими свойствами пресных твердомерзлых супесей. Подстилаться такие супеси будут сильнольдистыми твердомерзлыми суглинками, переходящими в пластичномерзлое состояние вследствие возрастания засоления с глубиной.

Таким образом, мог бы быть подготовлен достаточно однородный по механическим характеристикам несущий слой, в котором и предлагалось разместить столбчатые сваи с анкерной пятой или традиционные

буроопускные сваи с острым наконечником. Работы по монтажу охлаждающей системы следовало произвести в начале зимнего сезона 2007 г. (в ноябре — первой половине декабря).

Как уже было сказано выше, в такой искусственно созданной ситуации можно было бы обойти требования СНиП по исключению из расчетной схемы несущей способности свай слоя грунта искусственной отсыпки, поскольку его свойства и температура были бы известны благодаря проведению его инженерно-геологического опробования сразу же после формирования насыпи и его разряд из «искусственного» был бы переведен в «естественный». Следствием этого было бы существенное сокращение глубины заложения свай (столбчатых свай с анкерной пятой — до 4 м, а буроопускных свай с наконечником — до 6 м). Здесь целесообразно упомянуть, что решения по столбчатым сваям, обустроенным в грунтах со значительной льдистостью, были уже ранее опробованы на данной территории: например, пятиэтажное кирпичное общежи-

тие в поселке Харасавэй, которое эксплуатируется вот уже несколько десятилетий, было построено, по сути, по такому же принципу вообще на пластовом льду с использованием свай-стоек (хотя, конечно, тоже не без проблем). А при строительстве склада химпродукции на базе заказчика в поселке Харасавэй был опробован столбчатый фундамент малого заложения.

Есть и отрицательные моменты при реализации такого решения. Во-первых, естественный рельеф площадки строительства свидетельствует о том, что мощность слоя искусственной отсыпки в пределах площади застройки варьирует. Следовательно, в процессе погружения свай горизонтальная система может быть нарушена. С чисто технической точки зрения созданная на глубине температурная аномалия будет существовать дольше времени эксплуатации здания. Проветриваемые подполья производственных зданий вполне способны поддерживать ее в этот период. Система будет просто не нужна после создания данной аномалии, но тем не менее существует еще и гипотеза о потеплении климата, которое лучше компенсировать горизонтальной системой, расположенной под сезонным слоем.

Поскольку существует вероятность разрушения систем охлаждения, необходимо учесть стоимость этих систем для основных промышленных объектов пускового комплекса в объеме 89 млн руб. как стоимость «бросовых работ», причем с учетом возвратных сумм (50 млн руб.) на повторное использование конденсаторных блоков при обустройстве иных объектов. Во-вторых, фундаменты малого заложения потребуют дополнительных мероприятий по термостабилизации (сезонноохлаждающих систем, тепловых экранов, зероторов и пр.) для того, чтобы обеспечить стабильную температуру под анкерной пятой и уменьшение сил сезонного пучения. Именно для реализации таких мероприятий и предусматривалось повторное использование конденсаторных блоков. Это все может обнулить экономический эффект от сокращения длины свай, но жесткие плановые сроки строительства при этом можно соблюсти.

Однако самым существенным отрицательным моментом рассматриваемого варианта следует считать крайне жесткие сроки его реализации — период между октябрём и декабрём. Если не удастся осуществить строительство систем в эти сроки, то зимний сезон потеряется и эффект от данного предложения пропадает.



Рис. 5. Пример обустройства испарительной и конденсаторных частей горизонтальной сезонноохлаждающей системы

Учитывая описанные отрицательные моменты данного варианта решения проблемы, а также то, что в то время, когда его можно было бы начать осуществлять (осенью 2007 г.), генпроектировщик еще не сдал заказчику комплект проектной документации, а к параллельной разработке рабочей документации не приступил, пришлось искать более приемлемое решение.

### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ ОТСЫПКА И ОХЛАЖДЕНИЕ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ

Строительство насыпи было начато в январе 2008 г. (рис. 7). Основной объем отсыпки (до полного профиля) при строительстве насыпи был сделан к сере-



Рис. 6. Пример обустройства конденсаторных частей горизонтальной сезонноохлаждающей системы



Рис. 7. Начало отсыпки площадки строительства зимой 2007/08 г.

дине зимнего сезона 2008/09 г. — преимущественно подготовленным талым грунтом из карьерных буртов с уплотнением. В конце зимнего сезона и в летний сезон 2008/09 г. производились свайные работы с одновременным погружением вертикальных отдельно стоящих сезоннодействующих трубчатых систем малого диаметра (СОУ) в пределах свайного поля (рис. 8). Работы по нулевому циклу были завершены в октябре 2009 г. (рис. 9). Далее между окончанием работ и началом передачи механических нагрузок на фундамент проектом организации строительства был предусмотрен технологический перерыв до конца зимнего сезона работы охлаждающих систем.

Численное теплотехническое обоснование, моделирующее отсыпку такой насыпи, свидетельствует о том, что цилиндрические ореолы промерзания, пер-



Рис. 8. Производство свайных работ и погружение охлаждающих систем летом 2009 г.

воначально (в октябре) образующиеся вокруг отдельных вертикальных труб СОУ, смыкаются в конце января — начале февраля 2010 г. Отметим, что в момент смыкания ореолов резко уменьшается площадь теплообмена между тальми и мерзлыми частями грунтового основания и в разы повышается эффективность набора грунтами отрицательной температуры.

К концу сезона с существенными отрицательными температурами атмосферного воздуха (в марте-апреле) происходит «быстрая накачка холодом» температурной аномалии, созданной в грунтах оснований. В апреле 2010 г. при температуре грунтов по всей глубине заложения свай ниже минус 10 °С произошло летнее отключение СОУ и теплообмен далее носил естественный характер. К концу летнего сезона (в конце сентября) температуры достигли минус 4 ÷ минус 5 °С, чего было вполне достаточно для передачи проектной механической нагрузки на фундамент. Таким образом, в феврале-марте 2010 г., когда до планового срока пуска газа с Бованенковского НГКМ (в IV квартале 2011 г.) для проведения строительно-монтажных работ оставалось еще 18 месяцев, можно было начать монтировать оборудование и надфундаментные конструкции промышленных зданий и сооружений и все успеть, несмотря на жесткие сроки.

Принципиальный график реализации мероприятий по двум предложенным вариантам решения приведен на рис. 10. Следует отметить, что за истекшее время инвестором был скорректирован срок пуска газа (перенесен на III квартал 2012 г.), было принято инвестиционное решение, а также была достроена



Рис. 9. Завершение работ по нулевому циклу в октябре 2009 г.



новая железная дорога Обская — Бованенково. Таким образом, появилась обоснованная уверенность в том, что строительство объектов первого пускового комплекса ГП-2 завершится в запланированные сроки.

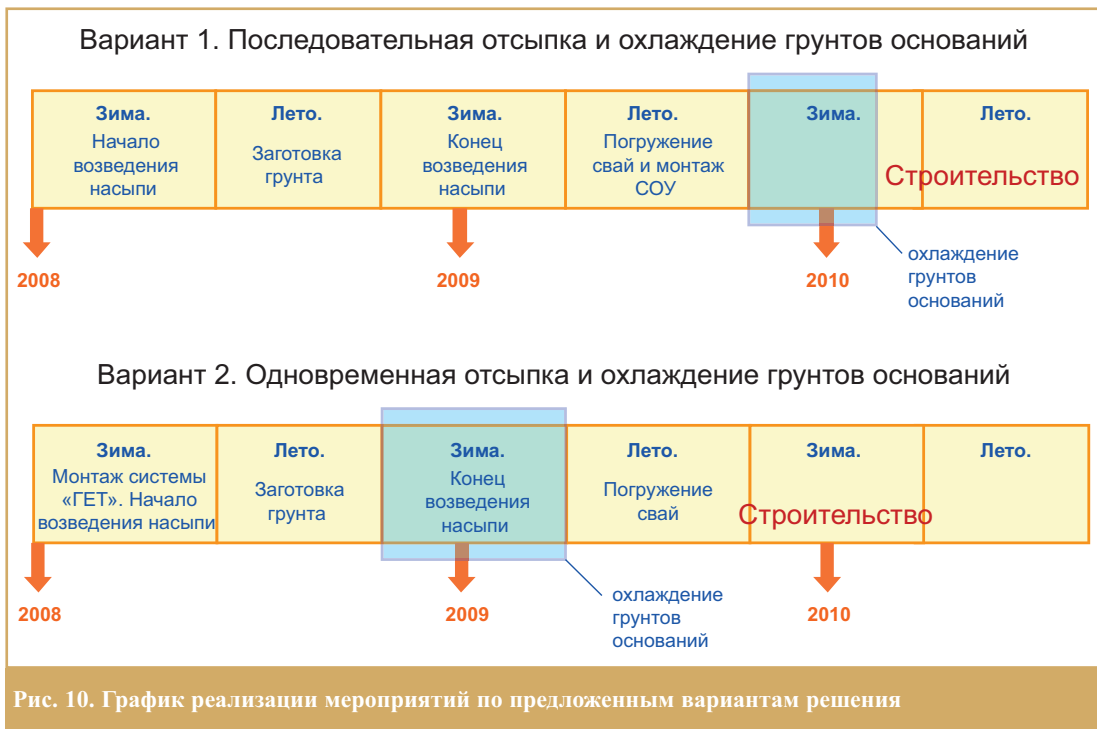
В отчете по услугам научно-технического характера было численно обосновано техническое решение «проморозить грунты насыпи до твердомерзлого состояния за один зимний сезон, в период сооружения свайных фундаментов, вертикальными отдельно стоящими трубчатыми естественно действующими охлаждающими системами, разместив последние в пределах проветриваемого подполья». Вариантное моделирование нестационарного температурного поля грунтов позволило определить рациональную сетку расположения СОУ, обеспечивающих смыкание локальных ореолов промерзания в зимние месяцы и «накачку» атмосферным холодом температурной аномалии грунтов таким образом, чтобы к концу последующего летнего сезона повышение температур грунтов не приводило к отказам свай по проектной несущей способности.

Не следует забывать, что отрицательные моменты есть и у предлагаемого решения, обусловленные тем, что, как уже отмечалось выше, действующие нормы

содержат прямое запрещение учитывать мощность слоя искусственной насыпи при выборе глубины погружения свай. В нашем случае даже существенное повышение механических и деформационных характеристик грунтов отсыпки вследствие перевода их в твердомерзлое состояние не позволяло сократить глубину заложения свай по сравнению с традиционной.

Разработанное и обоснованное решение позволяет за отведенный срок подготовить грунт, отсыпать площадку, но не довести коренные грунты до твердомерзлого состояния, если глубину погружения вертикальных охлаждающих систем не сделать равной глубине заложения свай. Температуры коренных грунтов, «захороненных» под насыпью, если отказаться от термостабилизации, свидетельствуют об их низкой несущей способности и пластичномерзлом состоянии.

Тем не менее поставленная заказчиком задача была выполнена. Техническое решение по выбранному варианту последовательной отсыпки и охлаждения грунтов оснований (варианту 1 по рис. 10) было использовано в проекте, рассмотрено и одобрено государственной и ведомственной экспертизами, и была начата его реализация. По первому пусковому комплексу уже погружены сваи и термостабилизаторы.



В настоящее время полным ходом идет монтаж над-фундаментных конструкций.

Вопрос о необходимости закладки в проектное решение 15–20-метровых свай в сентябре 2007 г. еще оставался открытым. С одной стороны, было понятно, что сформированного 12-метрового твердомерзлого слоя достаточно для обеспечения несущей способности свай «по боковой поверхности смерзания с грунтом». С другой стороны, было ясно, что Главгосэкспертиза будет настаивать на четком соблюдении норм и 6 метров грунтов искусственной насыпи необходимо исключить из расчета-обоснования.

### КОНСТРУКЦИЯ СВАЙ ДЛЯ СООРУЖЕНИЙ ПЕРВОГО ПУСКОВОГО КОМПЛЕКСА ГП-2 БОВАНЕНКОВСКОГО НГКМ

Инженеры ОАО «ВНИПИгаздобыча» предложили взамен традиционных трубчатых металлических свай применить столбчатые фундаменты (сваи с анкерной пятой).

Напомним, что практически повсеместно инженерно-геокриологический разрез площадок строительства представлен сверху высокольдистым слоем суглинистых грунтов мощностью 3–5 м, а ниже по разрезу залегают засоленные суглинки с повышением засоления, а следовательно, и пластичномерзлых свойств с глубиной. И раз уж для традиционной сваи, на которую ориентирован весь применяемый комплекс средств механизации, на обычных глубинах



Рис. 11. Столбчатый фундамент. Свая с анкерной пятой

погружения нельзя найти серьезной опоры, то следует сформировать дополнительную опору в форме анкерной пяты необходимой площади непосредственно после подошвы высокольдистого слоя.

Выполненное численное обоснование свидетельствует о том, что анкерная пята диаметром 400 мм (рис. 11), заложенная на отметке минус 5 ÷ минус 6 м от поверхности коренного грунта, позволяет обеспечить требуемую проектную несущую способность (15–25 тс). Таким образом, общая глубина погружения сваи составит 10–12 м (еще как минимум 5 м — в слое искусственной насыпи).

Как уже упоминалось, такой тип свай уже был опробован на полуострове Ямал в 2004–2005 гг. при строительстве фундамента склада химпродукции на базе заказчика в поселке Харасавэй. Он был разработан ОАО «Фундаментпроект» (патент РФ №2320821) и рекомендован к применению в сложных геокриологических условиях, характеризующихся низкой несущей способностью, при которой увеличение заглубления фундамента не приводит к адекватному возрастанию несущей способности для зданий и инженерных сооружений со значительными технологическими нагрузками на фундамент.

Итак, принятое принципиальное решение, обеспечивающее прочность и устойчивость грунтов и пространственную неизменность конструкций в процессе последующей эксплуатации, может быть сформулировано следующим образом: «Создание за один зимний сезон “несущего горизонта” из суглинистого массива грунтов, охлажденного атмосферным холодом до температур твердомерзлого состояния; размещение в нем 6-метровых свай из металлических труб с анкерной пятой диаметром 400 мм, способных воспринять проектные нагрузки от технологического оборудования и ограждающих конструкций; поддержание требуемой несущей способности грунтового массива посредством ежегодной сезонной естественной “закачки” атмосферного холода в грунтовый массив с помощью вертикальных охлаждающих парожидкостных термостабилизаторов малого диаметра (37 мм), установленных по сетке с шагом от 1,5 до 3,0 м в пределах контура застройки, с размещением конденсаторных блоков в проветриваемом подполье».

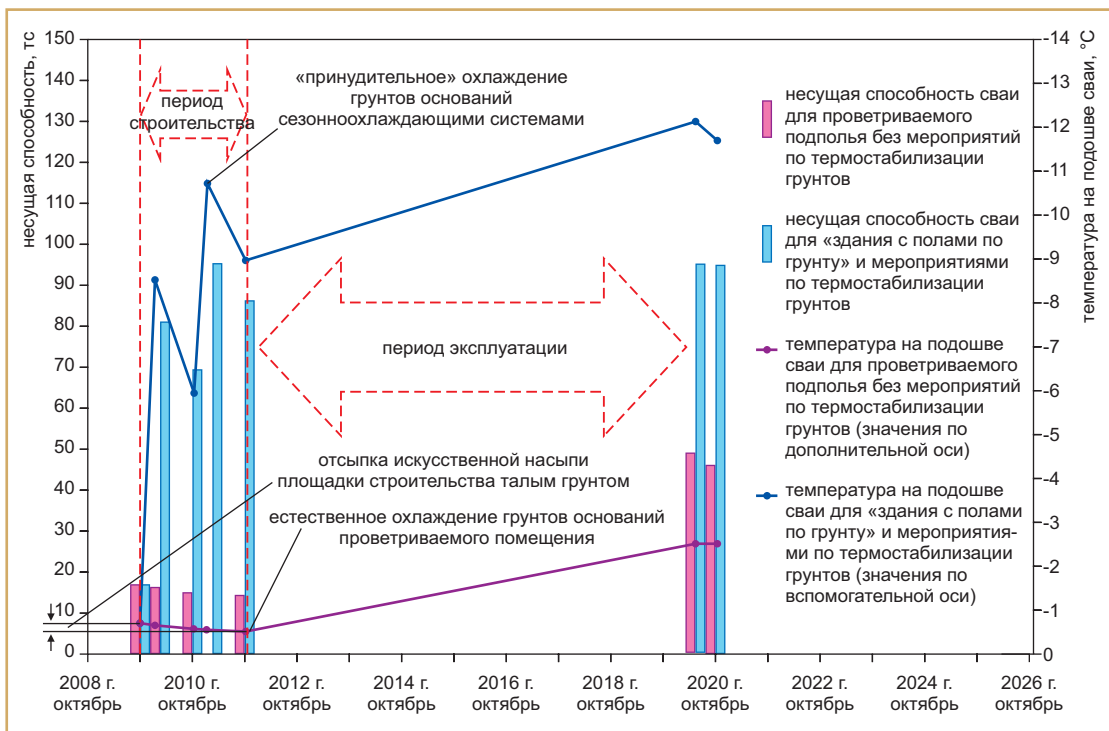
Теперь стоит обсудить технические преимущества такого решения. На рисунке 12 приведена информация, отражающая динамику температур грунта

на глубине заложения анкерной пяты для свай диаметром 325 мм, погруженной на глубину 6 м в массив пород, характерный для площадки размещения пускового комплекса ГП-2 Бованенковского месторождения (красная линия). На оси абсцисс отмечены даты периода строительства и эксплуатации сооружений. Информация о созданном в 2008 г. искусственном массиве грунтов насыпи промплощадки, «захоронившем» сезонную положительную температурную аномалию в коренных грунтах, позволяет утверждать, что в период строительства объектов пускового комплекса должно произойти уменьшение несущих характеристик свай (что показано на рисунке красными прямоугольниками). И лишь после строительства проветриваемого подполья несущая способность увеличивается вследствие изменения общего теплобаланса поверхности грунта в пределах пятна застройки (проветриваемого подполья), приводящего к понижению среднегодовой температуры грунта в пределах глубин погружения свай.

Приведенная на рис. 12 информация свидетельствует о том, что лишь на 8–10-й год после промер-

зания грунтов искусственной насыпи можно получить (красный прямоугольник на отметке, соответствующей 2020 г.) трехкратное (с 15 до 45 тс) увеличение несущей способности свай. Однако передавать нагрузки на фундамент придется начать не в 2020, а в 2010 г. И фундамент следует проектировать исходя из возможности получения 15 тс. Остальное (увеличение до 45 тс в процессе эксплуатации) следует отнести к резерву надежности геотехнической системы. Остается открытым вопрос о том, адекватен ли такой трехкратный резерв надежности с точки зрения не эксплуатационного, а строительного периода.

Ситуация с использованием сезонноохлаждающих систем несколько иная. Температура грунтового массива за один зимний сезон (2009/10 г.) может быть доведена до минус 10 ÷ минус 12 °С с периодическим сезонным (к концу лета) ее повышением на 3–4 °С (синяя линия на графике). Тем не менее даже в такой ситуации может быть обеспечено 70–75 тс на сваю (синие прямоугольники) уже к моменту начала передачи механических нагрузок на фундамент в период продолжения строительства (в 2010–2011 гг.). После-



дующая эксплуатация проветриваемого подполья приводит лишь к возможности 20%-ного увеличения несущей способности (до 90 тс), что является более оптимальным с точки зрения адекватности резерва надежности строящейся геотехнической системы.

Приведенная выше информация свидетельствует о значительном техническом резерве предложенного решения (проектная нагрузка все-таки составляет не 70, а 20 тс). Тем не менее в ситуации, когда существуют жесткие директивные сроки проектирования и строительства, да еще и условия региона освоения (труднодоступность, транспортная схема, условия финансирования) не позволяют уверенно планировать сам строительный процесс, решение, принятое на момент начала параллельной разработки проектной и рабочей документации, является вполне обоснованным и экономически адекватным.

Раз уж здесь была упомянута экономическая эффективность, то, наверное, стоит уделить внимание и связанным с ней проблемам. Да, потребуются довольно значительные дополнительные затраты на термостабилизацию грунтов. Технологии «предпостроечного промораживания» — достаточно новое для строительного комплекса решение. Мы имеем в виду не применение сезонноохлаждающих устройств в промышленности и не охлаждение грунтов для повышения их несущей способности, а именно сознательное промораживание грунтов с переходом влаги в них из талого состояния в мерзлое в период строительства и первых лет эксплуатации с формированием массива грунта с требуемыми по проекту механическими характеристиками. По сути, первое такое решение было использовано нами при проектировании и строительстве цеха регенерации ТЭГ на Юбилейном месторождении в 1998 г. и массово опробовано при строительстве нулевых циклов зданий и сооружений площадок УКПГ 1В и УКПГ 2В на Заплярном месторождении в 2007–2008 гг.

Затраты по комплексу проектной и рабочей документации марки «ТСГ» (по термостабилизация грунтов) пока еще пугают экспертов ведомственной экспертизы ценообразованием своей нетрадиционностью, но тем не менее можно уверенно утверждать, что для обустройства пускового комплекса Бованенковского месторождения факторы экономической эффективности существуют. К таким факторам следует отнести:

- сокращение глубины заложения свай как минимум на 6 м;
- повышение общего уровня эксплуатационной надежности и механической безопасности зданий и сооружений за счет дополнительного вмораживания свай в массив грунта искусственной отсыпки (что не учтено в расчете несущей способности по требованиям СНиП 2.02.04-88) и, как следствие, сокращение затрат на текущее обслуживание, капитальный ремонт и реконструкцию фундаментов в аномально сложных инженерно-геокриологических условиях;
- обеспечение директивных сроков строительства и ввода в эксплуатацию (сокращение периода строительства как минимум на 8 зимних сезонов) с соответствующим повышением эффективности использования капитальных средств при реализации инвестиционного проекта, с социальным и политическим эффектом от своевременного пуска газа.

## **ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ОСНОВАНИЯМ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ГП-3 СО СРОКОМ ВВОДА В 2015 г.**

Любому здравомыслящему инженеру собственные решения все равно до конца никогда не нравятся — всегда возникает мысль о том, что можно было бы предложить что-то лучше. И в нашем случае есть такой момент. Он заключается в следующем: «вот заготовили мы достаточно много грунта, отмыли от солей, отделили песчаную фракцию, осушили, уложили в 6-метровую насыпь и, по сути, «выбросили» свой труд, так как из-за существующих норм не могли учесть при проектном расчете возможность использования ее механических характеристик при эксплуатации». А что если эти нормы постараться обойти, «превратив» этот грунт в «естественный» до момента расчета несущей способности? Для этого необходимо его искусственно проморозить и провести контрольные инженерно-геологические изыскания. Ведь если будет информация по водно-физическим характеристикам достаточно однородных грунтов насыпи — будет и возможность посчитать несущую способность свай и обосновать перед Главгосэкспертизой механическую безопасность фундамента.

Если предположить, что насыпь возведена, имеется согласованный генплан объекта на стадии «рабочая документация», произведено погружение тер-

мостабилизаторов в пределах пятен застройки отдельных позиций по генплану и сезонноохлаждающие системы уже поработали с октября по март, то можно провести дополнительные инженерно-геологические изыскания с глубинами заложения горных выработок 6 м в пределах пятен застройки. При этом подготовленные (промороженные) грунты однородны «по определению» (искусственная насыпь). Подошва такого слоя имеет четкую идентификацию (граница коренных пород). Температуры, а следовательно, и механика подготовленных незасоленных относительно однородных супесей достаточно легко рассчитываются и подтверждаются термокаротажем (геометрические размеры промороженных массивов). После завершения цикла дополнительных изысканий у проектировщика появляется возможность вернуться к расчетам несущей способности фундамента и разместить сваи последнего в пределах слоя искусственной промороженной отсыпки. Напомним, что для ГП-2 нам хватило шести метров вмороженной в суглинки боковой поверхности свай плюс анкерной пяты. Это позволяет достаточно уверенно утверждать, что на ГП-3 в пресных твердомерзлых супесях точно удастся вписаться в проектные цифры. А что при этом «в сухом остатке»? Как минимум сокращение глубины погружения свай на 6 м. Отрицательные последствия — необходимость производства строительно-монтажных работ в стесненных условиях погруженной «сетки» сезонноохлаждающих устройств (см. рис. 8) с возможным разрушением некоторого их количества. Но габариты используемой строительной техники, соответствующая культура строительного производства и целенаправленная деятельность технического надзора заказчика должны позволить минимизировать эти потери.

Теперь попытаемся ответить на вопрос, какими могут быть потери от частичного демонтажа и последующего восстановления сезонноохлаждающих устройств при погружении свайного поля. Для этого авторами была поставлена и решена задача прогнозирования теплового взаимодействия геотехнической системы «промышленное здание с проветриваемым подпольем и с полами по грунту — сезонноохлаждающие естественнодействующие устройства — грунты оснований промплощадки ГП-3 Бованенковского месторождения — окружающая среда».

Площадка строительства зданий и инженерных сооружений ГП-3 Бованенковского месторождения сложена грунтами суглинистого состава, температуры многолетнемерзлых пород сливающегося типа на глубине нулевых годовых теплооборотов находятся в диапазоне от минус 2,5 до минус 3,0°C, засоленность составляет 0,05, 0,59%, льдистость — 3,70%, мощность сезонноталого слоя грунтов в естественном состоянии — 0,5, 1,0 м, мощность сезонноталого слоя при возведении искусственной насыпи — 1,0, 1,5 м, мощность слоя искусственной насыпи — 4,0 м. Рабочая гипотеза о сроках возведения искусственной насыпи — «летний сезон 2010 г.».

Для моделирования была использована лицензированная программная среда TermoStab 67-87, реализующая алгоритм численного нестационарного геокриологического прогноза температурного поля грунтов оснований в 3D-пространстве. Данная программная среда сертифицирована соответствующими органами Минрегионразвития (Госстроя) на предмет соответствия СНиП 2.02.04-88 и РСН 67-87 и внесена в общероссийский реестр программ для использования при проектировании (сертификат соответствия алгоритму РСН 67-87 РОСС RU.СП15.Н00311 № 0005612 от 01.06.2010).

При разработке расчетных сценариев техногенного теплового взаимодействия были учтены этапы строительства насыпи, технологического перерыва после погружения сезонноохлаждающих устройств, строительства фундамента и надфундаментных конструкций (2010–2014 гг.). Некоторые результаты моделирования представлены на рис. 13–16. На рисунках отображено трехмерное температурное поле, контуры моделируемых зданий и систем, точки, соответствующие местам расположения термометрических наблюдательных скважин.

В процессе проведенного вычислительного эксперимента моделировалось взаимодействие с искусственной насыпью горизонтальных и вертикальных трубчатых сезонноохлаждающих систем. Шаг раскладки горизонтальных испарителей в пределах пяты застройки принят равным 2,0 м, установка вертикальных охлаждающих колонок выполнена по сетке 3,0×3,0; 2,0×2,0 и 1,5×1,5 м.

Полученный результат свидетельствует о принципиальной возможности формирования в грунтах оснований газопромысловых сооружений твердомерз-

лого массива пород, несущей способности которых вполне достаточно, чтобы осуществить закладку свайного поля и передачу нагрузок на фундамент в течение первого зимнего сезона строительства сооружений ГП-3. Температуры грунтов в интервале заложения будущего свайного фундамента соответствуют температурам твердомерзлого состояния супесчаных грунтов отсыпки — минус 1°С для горизонтальных охладителей и минус 3,0°С для вертикальных систем. Каждый из вариантов имеет свои преимущества и свои недостатки. Тем не менее можно констатировать факт, что первый больше подходит для сваи с анкерной пятой, а второй — для традиционной сваи с острым наконечником, что следует из формы и динамики техногенных температурных аномалий, созданных в грунтах охлаждающими системами. В этом случае недостаток ГЕТ-системы связан с тем, что она за один год не промораживает всю мощность слоя ис-

кусственной насыпи. Возможные глубины заложения анкерной пяты для первого года строительства соответствуют интервалу от 4 до 6 м, и если предположить, что свайный фундамент будет создаваться после строительства ГЕТ-системы, то последняя с большой долей вероятности будет полностью разрушена при погружении свайного поля.

Использование вертикальных охлаждающих систем, по мнению авторов, более предпочтительно. Во-первых, пространственная форма температурной аномалии свидетельствует о возможности использования более традиционной конструкции сваи (с острым наконечником). Во-вторых, в качестве ВЕТ-системы могут быть использованы вертикальные СОУ. Избежать разрушения охлаждающих систем в процессе работ по строительству нулевого цикла, конечно, не удастся, но тем не менее «бросовые работы» могут быть сведены к минимуму путем демонтажа

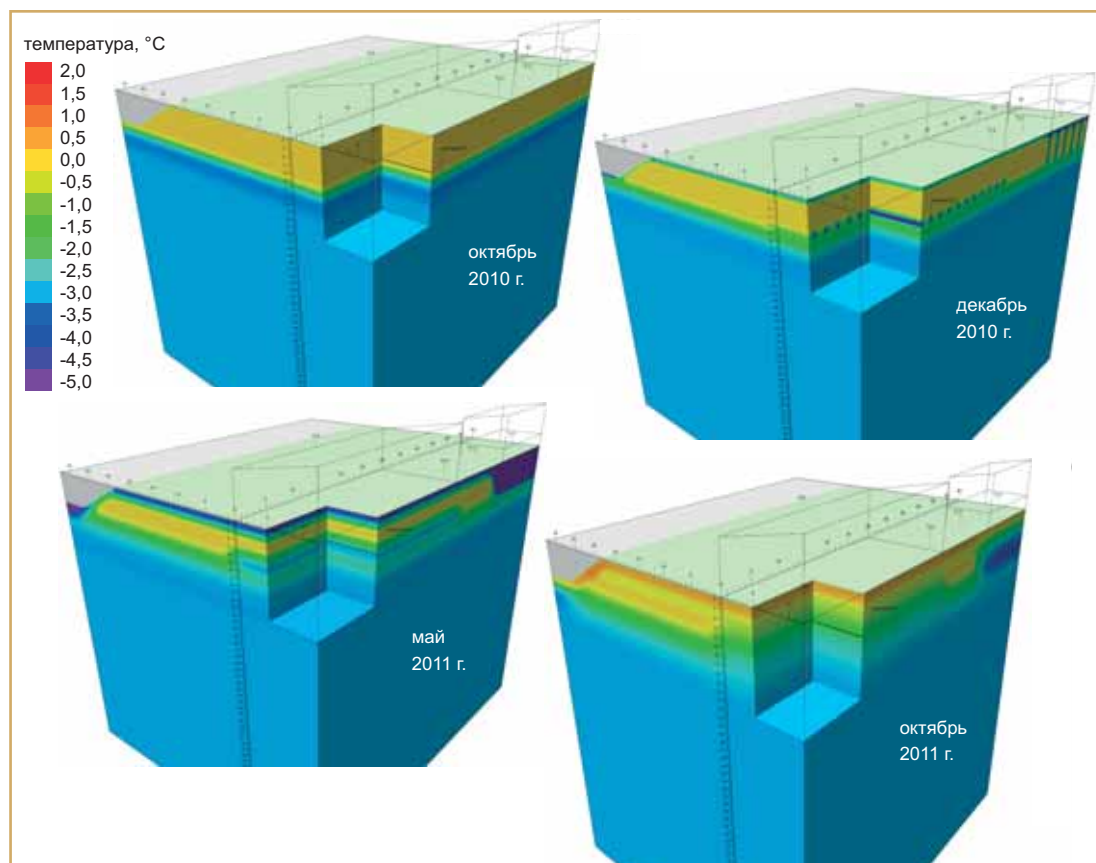


Рис. 13. Расчетное температурное поле грунтов оснований на первый зимний сезон эксплуатации горизонтальных охлаждающих систем

СОУ без разрушения с дальнейшим их повторным использованием или путем использования строительной техники с габаритами меньше 4 м при частичном демонтаже средних рядов СОУ.

Для того чтобы сориентировать читателя относительно величин несущих способностей свай различных конструкций, погруженных до глубин, обеспечивающих примерно равные величины искомых параметров, в табл. 1–3 представлены результаты соответствующих расчетов.

Представленный в таблицах расчетный материал позволяет сделать несколько выводов, а именно:

- мероприятия по термостабилизации грунтов (применение сезонноохлаждающих систем) позволяют обеспечить несущую способность порядка 40–60 т для свай с анкерной пятой, погруженной в пределах слоя искусственной насыпи, чего вполне достаточно, чтобы обеспечить простран-

ственную неизменность конструкций основных технологических цехов со значительной нагрузкой на фундамент от основного технологического оборудования;

- альтернативой для свай с анкерной пятой может служить традиционная буроопускная свая; при этом для обеспечения аналогичного уровня несущей способности необходимо увеличить глубину погружения на 2 м (до 6 м);
- слой искусственной насыпи, имеющий на площадке ГП-3 средние мощности 4,5 м, в естественных условиях (без мероприятий по «ТСГ») будет промерзать в течение 4 зимних сезонов и в течение 5 лет сформирует слой многолетнемерзлых пород с температурами порядка минус 0,6 ÷ минус 0,8°C на глубине нулевых теплооборотов; в этом случае, для того чтобы защитить сваю от сил морозного пучения, необходимо уве-

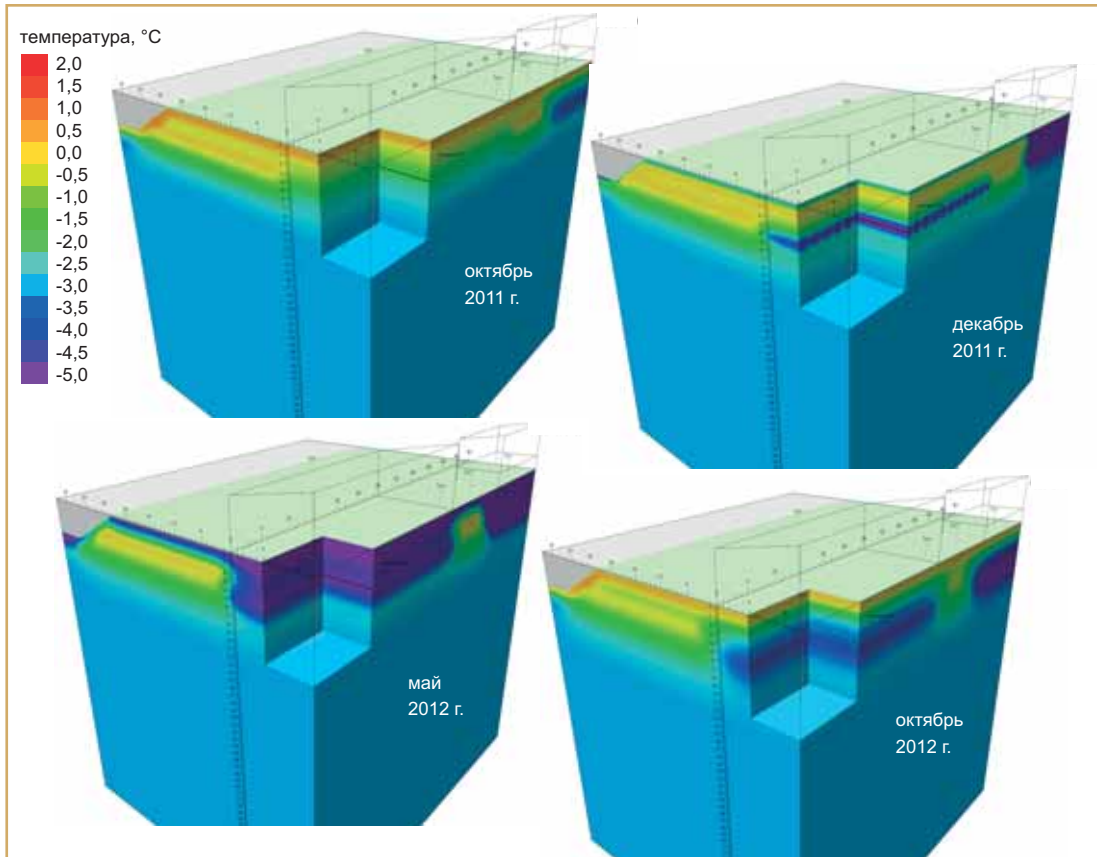


Рис. 14. Расчетное температурное поле грунтов оснований на второй зимний сезон эксплуатации горизонтальных охлаждающих систем

Таблица 1

Несущая способность (тс) свай  $\varnothing 325$  мм с анкерной пятой  $\varnothing 600$  мм и глубиной заложения 4 м на площадке строительства ГП-3 БНГКМ с мероприятиями по термостабилизации грунтов

Год	Решение с системой ГЕТ	Решение с СОУ 3,0×3,0 м	Решение с СОУ 1,5×1,5 м
2011	29,12	37,84	58,63
2012	58,6	56,01	71,16
2013	68,29	59,45	75,07
2014	70,58	64,65	76,92

личить глубину ее погружения по сравнению с традиционной буроопускной 6-метровой свайей на 5 м (до 10–11 м), а чтобы получить сопоставимый уровень по величине несущей способности — еще на 5 м (до 15 м).

Таблица 2

Несущая способность (тс) буроопускной свай  $\varnothing 325$  мм с глубиной заложения 6 м на площадке строительства ГП-3 БНГКМ с мероприятиями по термостабилизации грунтов

Год	Решение с системой ГЕТ	Решение с СОУ 3,0×3,0 м	Решение с СОУ 1,5×1,5 м
2011	26,91	33,33	56,19
2012	57,90	53,40	71,82
2013	69,43	59,99	76,99
2014	71,51	64,63	78,70

До планового срока ввода в эксплуатацию ГП-1 и ГП-3 осталось 3 и 4 года соответственно. Рабочая документация по ГП-1 уже разработана и выдана заказчику. Если инвестор заинтересован в установленных плановых сроках ввода в эксплуатацию этих

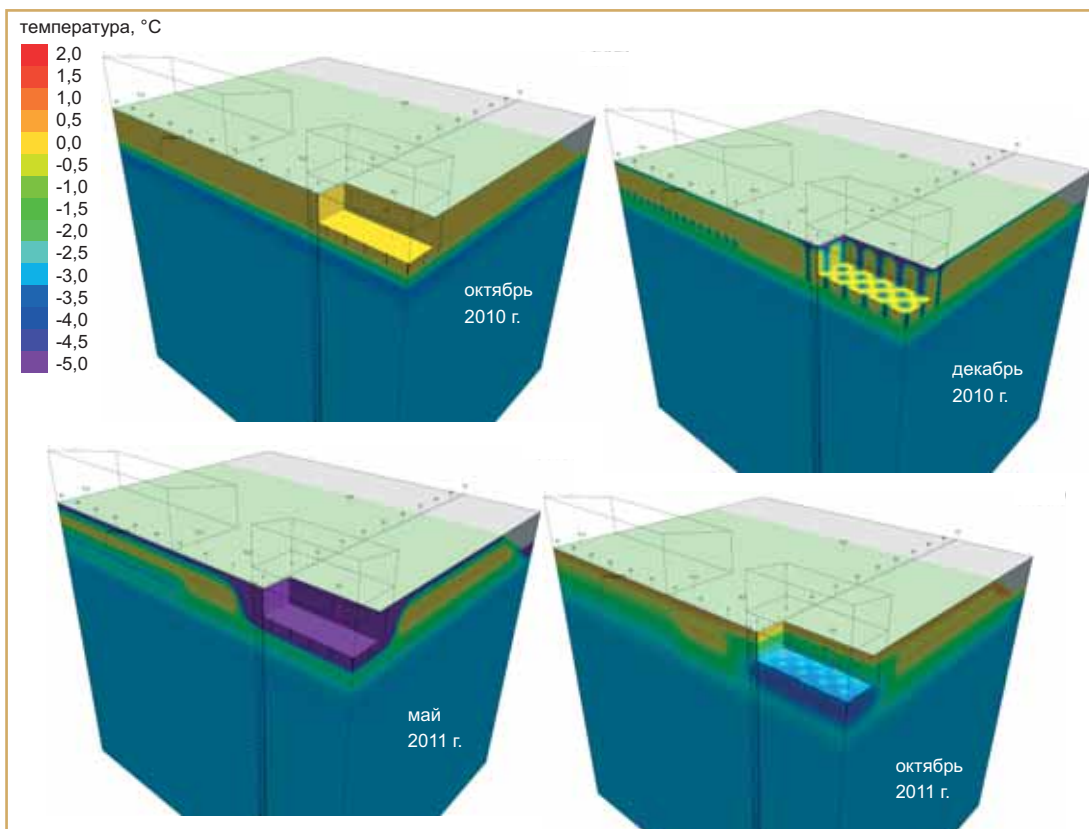


Рис. 15. Температурное поле на первый зимний сезон эксплуатации вертикальных охлаждающих систем (сетка 2,0×2,0 м)



Таблица 3

Несущая способность и глубина заложения буроопускной сваи Ø325 мм на площадке строительства ГП-3 БНГКМ без мероприятий по «ТСГ»

Параметр	Год	
	2011	2014
Несущая способность сваи (тс) на вдавливающую нагрузку при глубине заложения 15 м	42,84	40,38
Силы морозного пучения (тс) от 5-летнего промерзания искусственной насыпи	15,01	15,01
Глубина заложения сваи (м)/устойчивого к деформации пучения (тс) слоя искусственной насыпи	10/15,37	11/15,10

производственных мощностей и желает получить экономию материальных затрат на нулевом цикле промсооружений площадок строительства, то ему необходимо уже в 2011 г. задуматься о принятии организационных решений по реализации настоящего инновационного предложения, по сути своей, меняющего лишь проект организации строительства (ПОС) и график производства работ. Требуется организационное решение о перераспределении пла-

новых лимитов финансирования инвестиционного проекта и искусственного создания твердомерзлого массива, «запускающего» производство работ по инженерным изысканиям, с корректировкой рабочей документации по марке «ОФ».

Поскольку проектным решением, согласованным с Главгосэкспертизой, уже предусмотрено обеспечение механической безопасности зданий и сооружений «посредством использования свайного фунда-

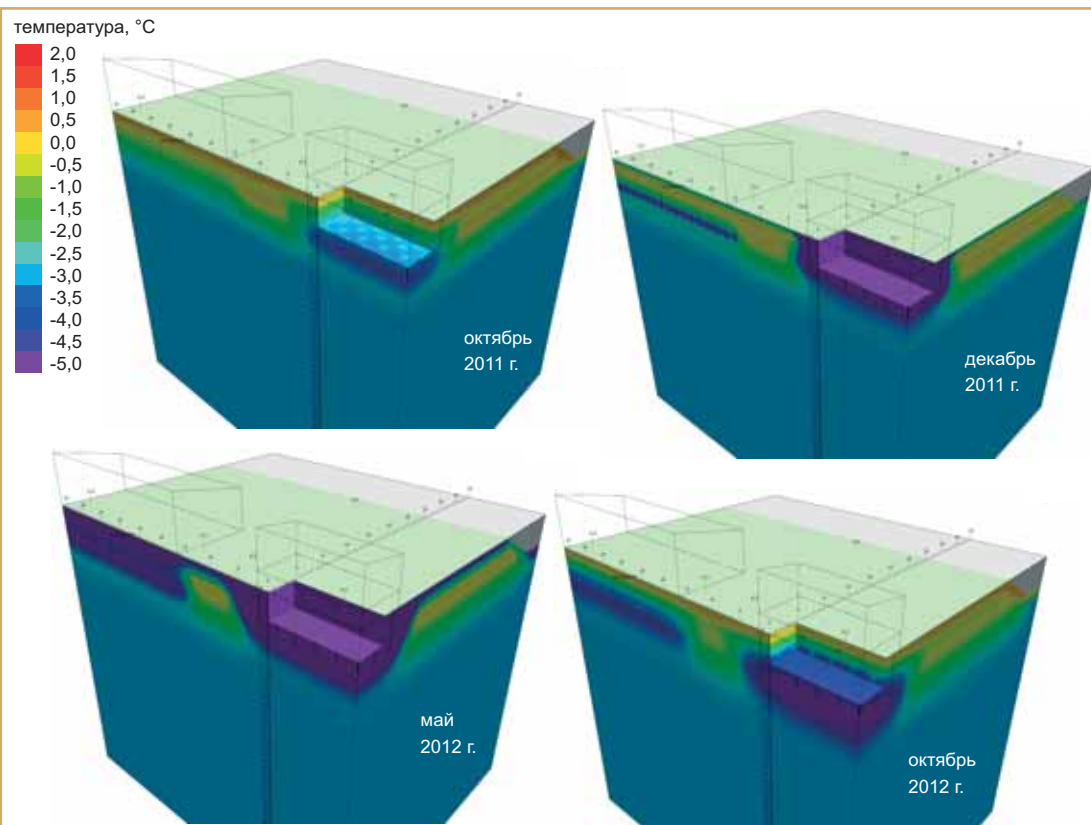


Рис. 16. Температурное поле на второй зимний сезон эксплуатации вертикальных охлаждающих систем

мента из металлических труб с необходимыми мероприятиями по термостабилизации грунтов сезонноохлаждающими системами», то дополнительного согласования с контролирующими органами, по-видимому, не потребуется, так как не предлагается принципиально менять технические решения, «обеспечивающие прочность, устойчивость грунтов оснований, пространственную неизменяемость конструкций в процессе строительства и дальнейшей эксплуатации». Хотя, конечно, архивные пояснительные записки к комплектам рабочих чертежей марки «ОФ» в соответствии с требованиями п. 4.1.9 ГОСТ Р 21.1101-2009, включающие в себя численные обоснования механической безопасности строительства и эксплуатации сооружений, все-таки придется разработать заново, как, впрочем, и сами комплекты чертежей марки «ОФ».

### **ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ РЕАЛИЗОВАННЫХ И ПРЕДЛАГАЕМЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

Целью данного раздела является попытка обсудить вопрос о том, насколько эффективны предлагаемые и уже реализованные технические решения по термостабилизации грунтов оснований инженерных сооружений ГП-2 и промбазы ГП-2 Бованенковского НГКМ. Это сделать достаточно трудно прежде всего в отношении «озвучивания» результата, поскольку в соответствии с условиями, на которых осуществляется деятельность проектной организации, информация о сметной стоимости строительства носит конфиденциальный характер (поэтому при формулировке окончательных выводов придется оперировать лишь относительными показателями).

Авторами были проанализированы объектные и локальные сметы по генплану первого пускового комплекса ГП-2. Для обеспечения правомерности сравнительного анализа стоимостных показателей все сооружения были сгруппированы в три класса.

К первому классу были отнесены основные производственные корпуса. Значительная насыщенность тяжелым промышленным оборудованием, монтируемым внутри здания, требует в дополнение к фундаментам ограждающих конструкций еще и проектирования отдельных хорошо несущих фундаментов внутри пятна застройки.

Ко второму классу были отнесены промышленные здания, внутри которых размещена преимущественно запорная и регулирующая арматура, например здание ЗПА входных шлейфов. По сравнению с первым классом строительство таких сооружений должно требовать меньшей доли затрат по разделам «ОФ» («Основания и фундаменты») и «АС и КМ» («Надфундаментные конструкции»). Доли затрат по разделам «ЭС» («Электроснабжение»), «ОТВ» («Отопление и вентиляция») и «ВК» («Водоснабжение и канализация») тоже должны падать. Затраты по разделу «СУС и С» («Системы управления, связи и сигнализации») должны оставаться примерно на прежнем уровне, однако должны возрасти затраты по монтажу технологического оборудования и трубопроводов (по разделу «ТХ» — «Технология»).

Третий класс включает в себя сооружения по типу «АВО-газа», когда промышленное оборудование устанавливается и эксплуатируется на открытых площадках. Соответственно затраты на «АС и КМ» здесь практически минимальны, а на «ВК», «ОТВ» и «ЭС» они зачастую просто отсутствуют. В этом классе участвуют лишь доли «ОФ» и «ТХ» с минимальными затратами на «СУС и С» (оборудование заводского изготовления обычно уже обеспечено такими системами на момент его поставки).

На рис. 17, 18 представлен обработанный исходный материал, подтверждающий последующие выводы. На диаграммах отдельно выделены затраты по разделу «ТСГ» («Термостабилизация грунтов оснований»), который формально относится к части «ОФ», и по разделу «ГТМ» (по информационно-управляющей системе, обеспечивающей контроль и управление механической безопасностью зданий и сооружений), выделенному из частей «ОФ» и «СУС и С».

Анализ представленного на рисунках материала позволяет сделать следующие выводы.

1. Затраты на возведение искусственной насыпи, инженерное сооружение и устанавливаемое в таком сооружении оборудование составляют порядка 1/3 от общей стоимости инвестирования в обустройство площадки для подготовки газа к дальнему транспорту по каждой перечисленной позиции.

2. Затраты на мероприятия по термостабилизации грунтов, позволяющей обеспечить их требуе-

мую несущую способность к моменту передачи нагрузок на фундамент в первый зимний сезон строительства, не превышают 2,5% от общей стоимости строительства. Эти затраты позволяют обеспечить окончание строительства в плановые сроки. Отсутствие термостабилизации позволяет выполнять строительство, но его темпы будут существенно замедленными. Промерзание насыпи повышенной мощности (4–6 м) под воздействием естественного атмосферного холода и при использовании проектных решений по глубинам заложения свайного фундамента произойдет на 5–8-й год строительства.

Такое снижение темпов строительства, конечно, недопустимо, а дополнительные затраты для обеспечения соблюдения плановых сроков инвестор, по мнению авторов, может себе позволить, тем более что капитальные вложения в обустройство «площадочных» инженерных сооружений для подготовки газа (УКПГ-1, УКПГ-2, УКПГ-3) занимают достаточно небольшую долю (23,4% к итогу глав 1–7 сводного сметного расчета) в общих затратах на обустройство месторождения (на добывающие скважины, шлейфы системы сбора газа, подъездные автодороги, дожимной комплекс, объекты энергообеспечения и транспортной инфраструктуры и т.п.). Таким образом, можно утверждать, что затраты на нетрадиционную (дополнительную) термостабилизацию грунтов при обустройстве всех промплощадок УКПГ Бованенковского НГКМ могут быть оценены величиной 0,58% от суммы по итогам глав 1–7

сводного сметного расчета, что сравнимо, например, с затратами на строительство одного офисного здания в г. Салехарде.

В качестве еще одного примера, позволяющего оценить уровень дополнительных затрат на технологию строительства с использованием предварительной подготовки грунтов (охлаждения до твердого состояния до передачи нагрузок на фундамент), приведем следующую информацию. Если сравнивать удельные показатели затрат на один квадратный метр застройки, то мероприятия по «ТСГ» всего в 3 раза дороже благоустройства территории проветриваемого подполья тротуарной плиткой, в 2,5 раза дороже удельных затрат на обустройство кровли производственного корпуса металлическим профнастилом и равны по величине затратам на один квадратный метр при обустройстве теплоизоляции пола (не стоимости самого пола, а лишь его теплоизоляции) производственных корпусов. Когда на одной чаше весов находится плановый срок ввода месторождения в эксплуатацию со всевозможными не только экономическими, но и геополитическими последствиями, а на другой предлагается разместить затраты, сопоставимые с таковыми на теплоизоляцию пола, то, по-видимому, выполнение экономического обоснования с оценкой рисков несвоевременной подачи газа потребителям (на 5 лет позже ожидаемого срока) целесообразно лишь для удовлетворения собственного любопытства, а никак не связано с принятием обоснованного управ-

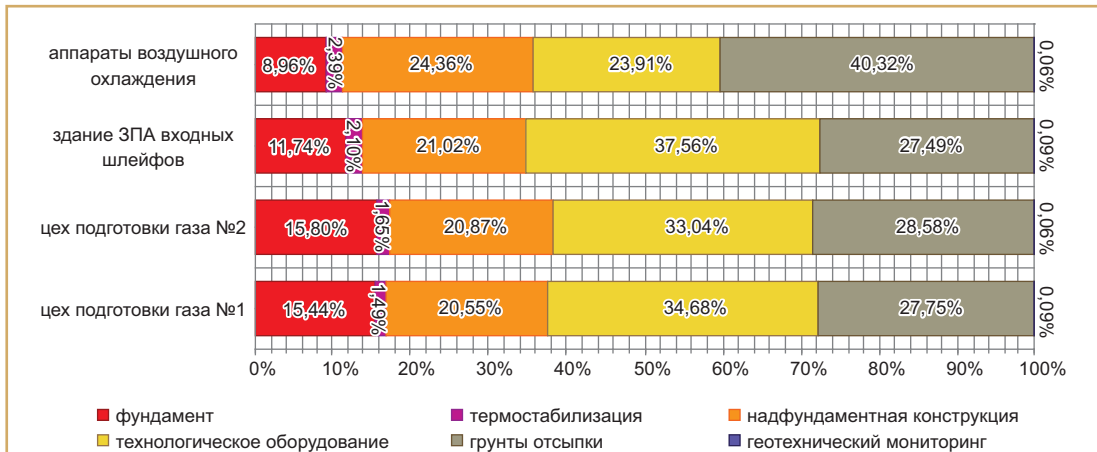


Рис. 17. Доли затрат на обустройство отдельных составляющих геотехнической системы «Пусковой комплекс ГП-2 Бованенковского НГКМ»

ленческого решения о необходимости инвестирования в такое техническое решение.

Затраты на информационную систему управления мероприятиями по обеспечению механической безопасности инженерных сооружений в аномально сложных условиях криолитозоны (геотехнический мониторинг) в 30–35 раз меньше, чем проектные затраты на системы управления технологическими процессами и реализацию мероприятий по обеспечению пожарной, экологической, технологической безопасности, охранной сигнализации и связи. По-видимому, инвестор считает, что потеря инвестиций от пожара гораздо вероятнее, чем от механического разрушения объекта, даже в таких аномальных природных условиях.

На примере строительной позиции 113 (здания ЗПА по генплану ГП-2) (см. рис. 2) оценим эффективность решений, предлагаемых авторами к реализации на ГП-3. Выбор именно этого сооружения обусловлен максимальными удельными затратами на «ГТМ» (6%).

Пусть общие затраты на строительство аналогичного сооружения на ГП-3 составляют 1700 у.е. Тогда затраты по разделу «ОФ» составят порядка 200 у.е., а на «ТСГ» потребуется 35 у.е. Напомним, что эти цифры предусматривают использование 12-метровой сваи с анкерной пятой. При реализации предлагаемых авторами решений необходимая глубина погружения свай составит 4 м. Экономия составит порядка 65% от затрат (130 у.е.). На позиции 113 используются термостабилизирующие вертикальные трубчатые

системы (СОУ) внутри проветриваемого подполья по сетке с шагом 2×2 м. Если даже предположить, что все предварительно погруженные в грунты СОУ в пределах пятен застройки на ГП-3 придется демонтировать в процессе строительства свайного поля, то все равно затраты на «ТСГ» с учетом «бросовых» работ не превысят 70 у.е. Общие же затраты на устойчивый и надежный фундамент сократятся на 130–70 = 60 у.е., то есть на 40%. Отметим, что произведенная оценка является оценкой по максимуму. И не все СОУ будут уничтожены, и восстановление поля термостабилизаторов обойдется дешевле (путем погружения СОУ одновременно со свайей).

В заключение целесообразно отметить, что мнение авторов об эффективности и инновационности реализованных технических решений по нулевым циклам инженерных сооружений ГП-2 и промбазы ГП-2 Бованенковского НГКМ было поддержано решением научно-технического совета ОАО «Газпром» (секции «Строительство и транспортное обеспечение»).

Предлагаемые к реализации на ГП-1 и ГП-3 инновации не менее эффективны и позволяют оценить экономии инвестиций величиной порядка 40% от стоимости нулевого цикла. Тем не менее для реализации предлагаемых решений крайне важными являются сроки их реализации. Чтобы получить заявленную экономию, надо приступить к реализации решений осенью 2011 или, по крайней мере, осенью 2012 года. Если время будет упущено, то придется реализовывать технические решения по типу ГП-2. ❖

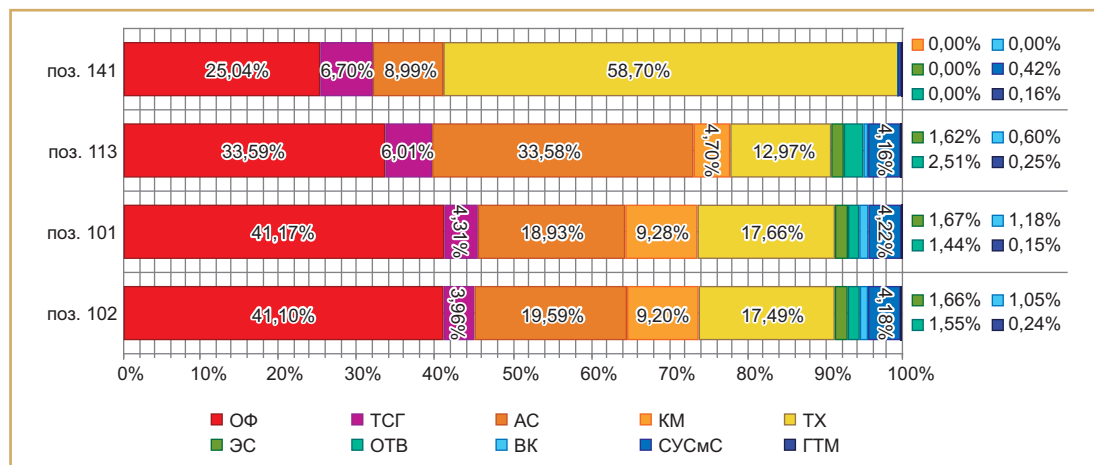


Рис. 18. Доли затрат на обустройство отдельных составляющих инженерного сооружения как объекта строительства (на примере ГП-2 Бованенковского НГКМ)

# Строительство на вечномёрзлых грунтах: проблемы качества

Construction on permanently frozen soils:  
quality problems

**ДОЛГИХ Г.М.**

Генеральный директор ООО НПО  
«Фундаментстройаркос», [fsa@npo-fsa.ru](mailto:fsa@npo-fsa.ru)

**ВЕЛЬЧЕВ С.П.**

Первый заместитель генерального директора  
ООО «НПО «Фундаментстройаркос»»

**DOLGIKH G.M.**

The general director of the scientific production  
association «Fundamentstroyarkos»

**VELCHEV S.P.**

The first deputy general director of the scientific  
production association «Fundamentstroyarkos»

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Многолетнемёрзлые грунты; строительная глубина оснований фундаментов; сохранение мёрзлого состояния грунтов основания; термостабилизация грунтов основания; проветриваемые подполья; холодные этажи; индивидуальные сезоннодействующие охлаждающие устройства (COY); безнасосные горизонтальные трубчатые системы ГЕТ; безнасосные вертикальные трубчатые системы ВЕТ; конденсаторные блоки.

## KEY WORDS

Permanently frozen soils; permafrost; foundation bed construction depth; frozen state preservation of the foundation bed soils; thermal stabilization of the foundation bed soils; ventilated cellars; cold floors; individual seasonal heat stabilizers; individual seasonal chiller systems; the horizontal tubular system GET without pumping; the vertical tubular system VET without pumping; condensing units.

## АННОТАЦИЯ

В настоящей статье рассматриваются проблемы качества строительства на вечномёрзлых грунтах и рассказывается о путях их решения. Приводятся примеры взаимоотношений с заказчиками и «бумажными» генподрядчиками в борьбе за рынок и качество строительно-монтажных работ по термостабилизации грунтов, а также последствий недальновидных подходов при принятии технических решений и их реализации.

## ABSTRACT

The article deals with the quality problems of construction on permanently frozen soils and ways to solve them by the scientific production association «Fundamentstroyarkos» Ltd. The publication gives many examples of relationships between the association and promoters and «paper» general contractors in the struggle for the market and quality of the building and assembly jobs for soil thermal stabilization and examples of the effects of short-sighted approaches to making technical decisions and their realization.



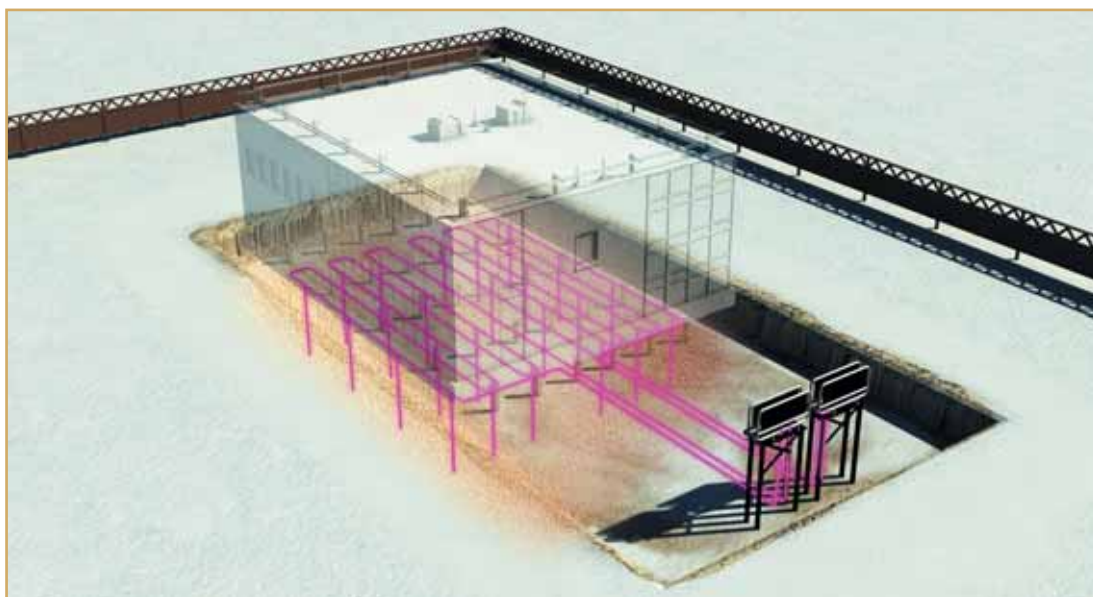
Резервуарный парк Ванкора построен на надежных фундаментах с термостабилизирующими системами ГЕТ в основании

### ВВЕДЕНИЕ

Вечномерзлые грунты, или многолетнемерзлые породы, занимают более половины территории современной России — от Кольского полуострова (по Ненецкому АО, Ямало-Ненецкому АО, Красноярскому краю и далее на восток) до границ с Монголией, Китаем и восточных морских границ. В настоящей статье затронут один из наиболее актуальных вопросов строительства на вечномерзлых грунтах — проблема качества. Рассказано о причинах возникнове-

ния этой проблемы и о путях ее решения силами ООО НПО «Фундаментстройаркос», которое за 20 лет построило более 300 крупных объектов, накопило большой опыт в проектировании, в производстве изделий температурной стабилизации грунтов и их монтаже на объектах, а также создало структуры авторского надзора и мониторинга за объектами в период их эксплуатации.

При обустройстве территорий с вечномерзлыми грунтами возникает много проблем, связанных со



Система ВЕТ в основании производственного здания

строительством зданий и сооружений, дорог и других коммуникаций, поскольку такие грунты чрезвычайно многообразны и очень опасны при их недостаточной изученности. Встречается много разновидностей этих грунтов — от мелкодисперсных осадочных до мелко- и крупнообломочных, спаянных льдом. Строительная глубина оснований и фундаментов большинства сооружений составляет, как правило, 10–15 м, а для специфических объектов (мостов, плотин, скважин) она существенно больше. На этой глубине встречаются самые различные типы грунтов как по составу, так и по мерзлотному состоянию, в т.ч. чистые льды, твердомерзлые, пластичномерзлые и талые грунты (последнее, при отсутствии сквозного талика, означает наличие заглубленной кровли вечномерзлых грунтов). Весьма существенно, что все это многообразие может существовать в пределах одной строительной площадки и даже одного здания или сооружения, причем с «чересполосицей» по глубине.

Практика строительства показывает, что здания и сооружения строятся в основном с сохранением мерзлого состояния грунтов оснований на весь период эксплуатации, т.е. по I принципу строительства зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах. При этом применяются два основных технических решения: (1) проветриваемые подполья и холодные этажи, которые действуют в качестве охлаждающих инструментов, компенсирующих теплопритоки от зданий и сооружений; (2) здания и сооружения на подсыпках, охлаждаемых трубами и каналами.

В последнее время доля сооружений, возводимых на охлаждаемых насыпях, непрерывно и существенно возрастает из-за очевидных экономических и эксплуатационных достоинств этого решения. При этом уменьшается применение охлаждающих каналов и возрастает применение охлаждающих труб — американских насосных систем и российских безнасосных систем ГЕТ и ВЕТ (соответственно горизонтальных и вертикальных естественнодействующих труб-



Система ГЕТ в основании

чатых систем). Применяются также слабонаклонные индивидуальные сезоннодействующие охлаждающие устройства (СОУ), но их использование ограничено из-за их малой мощности и существенных сложностей при эксплуатации.

Что касается автомобильных и железных дорог и трубопроводов, то внимания к обеспечению устойчивости их оснований, к сожалению, не наблюдается (за исключением нефтепровода Ванкор — Пурпе). Следует также отметить, что технических средств для обеспечения устойчивости зданий и сооружений на вечномёрзлых грунтах в настоящее время вполне достаточно. В то же время существует громадное количество деформирующихся зданий и нарушенных сооружений, причем нарушения эти возникают и во время строительства, и во время эксплуатации. В чем проблема? Проблема — в многочисленных нарушениях строительных норм и правил, которые происходят на всех стадиях строительного процесса и в период эксплуатации, а также во взаимоотношениях

между организациями, заказывающими проведение работ, и организациями, принимающими заказы на их выполнение.

### ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ

Строительный процесс включает в себя много ступеней — обоснование инвестиций, составление генерального плана, проведение инженерных изысканий и проектных работ на стадиях «проект» и «рабочая документация», строительство оснований и фундаментов, строительство зданий и сооружений на этих фундаментах. Когда и каким образом происходят нарушения? В попытке проанализировать эту ситуацию, рассмотрим конкретные примеры (опираясь как на собственный опыт работы в ООО НПО «Фундаментстройаркос», так и на другие достоверные источники).

1. При строительстве Салехардского аэровокзала из-за ошибок в инженерных изысканиях была вначале «пропущена», а позже «найдена» мерзлота. В ре-



Термостабилизирующая система ВЕТ в основании аэровокзала. Аэропорт, г. Салехард



зультате пришлось менять принцип использования грунтов основания и промораживать оставшиеся «талики» уже под построенным зданием. Это можно было выполнить только с помощью систем ВЕТ, что и было сделано.

2. При инженерных изысканиях на переходе федеральной трассы в районе г. Читы через небольшую речку также была «пропущена» мерзлота, которая соответственно не была учтена при производстве проектных работ. В результате переход получился в виде насыпи высотой до 18 м с водопропускной трубой для речки. При эксплуатации трассы мерзлота в основании дороги «потекла» под высокой частью насыпи из-за большой нагрузки и своего пластичного состояния. Участки дорожного полотна постоянно проваливаются (примерно по 30–50 см в год), а края дороги поднимаются вверх. Все это создает труднопреодолимые препятствия на федеральной трассе. Причина оказалась в том, что руководитель проектно-изыскательской организации, выигравшей тендер, дал команду в любом случае выиграть тендер путем снижения цены. Цена была снижена, тендер выигран, отчет составлен, но изыскания были провалены, и дорога оказалась в аварийном состоянии.

3. В Чите на Транссибирской железнодорожной магистрали есть небольшой участок, на котором скорость движения поездов составляет 5 км/ч из-за недопустимой деформации путей по причине деградации сильно заглубленной мерзлоты и непринятия мер по стабилизации мерзлых грунтов основания.

4. В г. Надыме основания и фундаменты двух жилых домов были спроектированы кооперативом, который не имел необходимых профессиональных знаний по вечномерзлым грунтам. В результате оба здания покосились на 20–30 см по верху, но были спасены с помощью термостабилизаторов специально разработанных и изготовленных для этих домов конструкций.

5. На ст. Обской и в п. Ямбург было спроектировано и построено более двух десятков промышленных зданий с полами по грунту на насыпи, охлаждаемой с помощью естественно продуваемых трубчатых каналов. В результате неграмотного проектирования каналов все они «заросли» льдом и начались деформации зданий. К ремонтным работам по восстановлению мерзлого состояния грунтов в ос-



Термостабилизаторы, изготовленные НПО «Фундаментстройаркос», установлены совместно со сваями. Нефтепровод Ванкор — Пурпе

нованиях половины этих сооружений было привлечено объединение «Фундаментстройаркос», которое выполнило эту задачу путем применения систем ГЕТ.

6. На Верхнечонском месторождении был построен 20-тысячный резервуар с проветриваемым подпольем на свайном фундаменте. В результате низкой квалификации строителей и слабого контроля в условиях сложного состояния вечномерзлых грунтов основания некоторые сваи (а это опаснее, чем все сваи) не понесли проектной нагрузки. Для исправления ситуации мерзлое состояние грунтов укреплялось с помощью систем ГЕТ под уже построенным резервуаром.

7. В районе цеха регенерации триэтиленгликоля на Юбилейном месторождении была выявлена «черепополосица» пластичномерзлых и талых грунтов. Несколько раз изменялся принцип строительства (с I на II и обратно). В результате было принято полузаглубленное подполье со свайным фундаментом, но на этапе готового перекрытия подполья стройка была остановлена на несколько лет. За эти годы подполье не проморозило грунты основания и одни сваи выпучились, а другие осели. Продолжать строительство можно было только после укрепления фундаментов. Рассматривались два варианта — либо дубль-сваи, либо использование системы ВЕТ. При наличии перекрытия и установленного на нем оборудования система ВЕТ оказалась единственно возможной.

8. В г. Магадане была построена школа на скальных грунтах. Она два раза перестраивалась с укреплением фундаментов. Здесь следует отметить, что скальные грунты при оттаивании способны давать осадки. Однако многие проектировщики пренебрегают этим, с чем авторы и столкнулись также на некоторых объектах нефтепровода Восточная Сибирь — Тихий океан.

9. Авторы выполнили проект поддержания в мерзлом состоянии ядра плотины на реке Лиендокит с целью предупреждения фильтрации воды через нее. После окончания строительства фильтрация вначале не было — и реализация этого проекта была задержана. Через два года фильтрация пошла, проект реализовали, но устранить ее до конца уже не удалось. Если бы не задержка, эффект был бы совсем другой, но стремление к сиюминутной экономии победило.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с существенным потеплением климата заказчики сейчас в основном понимают необходимость применения термостабилизации вечномерзлых грунтов с помощью сезоннодействующих охлаждающих устройств. Объединение «Фунда-

ментстройаркос» является специализированной организацией в области выполнения таких работ, достигшей существенных успехов в этом направлении. Но оно, по определению, является постоянным субподрядчиком и вынуждено работать по договорам с генподрядными организациями.

В погоне за низкой ценой многие генподрядчики привлекают временные бригады, неквалифицированные коллективы и предприятия, которые не имеют понятия о вечномерзлых грунтах. Это относится к буровым и сварочным работам, к конструкциям термостабилизаторов, к работам по отсыпке и устройству оснований, к монтажу термостабилизаторов и других типов СОУ. Таким образом наносится невосполнимый ущерб качеству систем стабилизации грунтов. С такими примерами авторы столкнулись на нефтепроводе Ванкор — Пурпе и на НПС-14 нефтепровода ВСТО. Был даже случай, когда одна генподрядная организация непрофессиональными силами самовольно смонтировала поставленные «Фундаментстройаркосом» системы ГЕТ, которые в результате до сих пор не работают. А кто будет отвечать?

Мы выступаем за профессиональных генподрядчиков, которые защищают свои интересы и интере-



Деформации здания АХЧ аэропорта г. Салехарда после года эксплуатации



Деформация магистрального трубопровода на участке КС «Ямбургская» — КС «Ныдинская». Формирование термокарстового озера

сы привлекаемых ими специализированных субподрядчиков, имеют долгие деловые связи и хорошую репутацию и, таким образом, располагают необходимым набором техники, ИТР и рабочих для выполнения общестроительных работ и управления всем строительным процессом в строгой технологической последовательности.

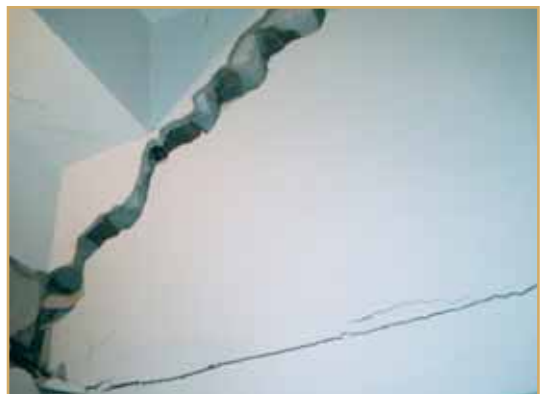
Мы против «бумажных» генподрядчиков, искусственно разделяющих виды работ с проведением множества тендеров, но мы за твердые цены и услуги, определяемые на основе проектно-сметной документации, а не за договорные цены с множеством оговорок, дающих право изменять цены со ссылкой на мировой кризис.

Мы за то, чтобы ужесточить санкции за нарушение сроков оплаты выполненных работ и сроков предоставления фронта работ специализированным организациям.

Мы за то, чтобы покончить с безнаказанностью судебных приставов за неисполнение решений судов, что практически ведет к обнищанию и банкротству рабо-

тоспособных организаций и процветанию временных инжиниринговых и мошеннических компаний.

Все вышеизложенное существенным образом влияет на качество строительства и надежность сооружаемых объектов, в особенности на вечномерзлых грунтах. ❖



Деформации здания АХЧ аэропорта г. Салехарда после года эксплуатации

# Геотехнические исследования площадок строительства, сложенных слабыми водонасыщенными глинистыми грунтами

Geotechnical studies of construction sites on soft water-saturated clay soils

АБЕЛЕВ М.Ю., АБЕЛЕВ К.М.  
ГАСИС

ABELEV M.YU., ABELEV K.M.  
GASIS

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Грунты основания; слабые водонасыщенные глинистые грунты; геотехнические исследования; осадки; деформации; прочностные свойства; фильтрационные свойства; сжимаемость; уплотнение; консолидация; отжатие поровой воды; поровое давление; давление в скелете грунта; эффективное напряжение.

## KEY WORDS


Foundation bed soils; soft water-saturated clay soils; geotechnical studies; settlements; sets; deformations; strains; strength properties; filtration properties; compressibility; compaction; consolidation; pore water pressing-out; pore pressure, soil skeleton pressure; effective stress.

## АННОТАЦИЯ

В статье дается краткий обзор результатов геотехнических исследований площадок строительства, сложенных слабыми водонасыщенными глинистыми грунтами, проведенных различными специалистами.

## ABSTRACT

The article gives a brief overview of the geotechnical research results of construction sites on soft water-saturated clay soils had carried out by various authors.



В настоящее время при проведении работ по инженерным изысканиям, проектированию и возведению фундаментов и подземных сооружений используются результаты трех научно-исследовательских направлений: по инженерно-геологическим изысканиям, по механике грунтов и по геотехнике.

Наиболее развита область знаний, условно называемая «*инженерная геология*». Здесь за последние несколько столетий накопилось множество результатов исследований свойств грунтов и геологических процессов.

Раздел знаний «*механика грунтов*» представляет собой попытку использования различных математических и механических моделей для прогноза и расчета фундаментов и подземных сооружений на грунтовых основаниях. Здесь также разрабатываются методы расчета и прогнозирования геологических процессов.

Опыт строительства и проектирования за последние 80 лет показал, что, к сожалению, многие прогнозы осадок и устойчивости фундаментов и целых сооружений существенно отличаются от значений, вычисленных по формулам механики грунтов. Это свидетельствует о том, что выводы этого раздела знаний (теория линейно-деформируемого тела и другие модели грунтов основания), сделанные для всех видов грунтов, не соответствуют различным случаям устройства оснований и фундаментов, особенно для грунтов со специфическими свойствами (лессовых просадочных, слабых водонасыщенных глинистых, вечномёрзлых, заторфованных грунтов и др.). Новая отрасль знаний «*геотехника*» предполагает изучение особенностей и пределов применимости различных моделей механики грунтов и различных методов инженерно-геологических исследований для таких случаев.

Совершенно очевидно, что нельзя применять одну и ту же грунтовую модель (механики грунтов) и одни и те же результаты инженерно-геологических исследований (инженерной геологии), если на одной и той же площадке возводятся малоэтажные или высотные сооружения. Кроме того, если ранее все инженерно-геологические исследования и расчеты по механике грунтов проводились до начала строительства, то в настоящее время,

особенно при возведении зданий на слабых грунтах, необходимо проводить инженерно-геологические изыскания и в процессе строительства, и после его окончания в процессе эксплуатации (геомониторинг).

При проведении геомониторинга и других геотехнических исследований, особенно при строительстве на слабых водонасыщенных глинистых грунтах, необходимо предусматривать в бюджете строительства дополнительные инженерно-геологические (геотехнические) исследования. Особенность проведения геотехнических исследований при проектировании и строительстве на таких грунтах состоит в том, что необходимо определять осадки фундаментов и подземных сооружений, которые могут быть в несколько раз больше, чем нормативные (и фундаменты имеют очень малую устойчивость в связи с низкой прочностью грунтов). При этом осадки происходят в течение длительного времени (часто в течение нескольких лет).

Задача геотехнических исследований заключается в том, чтобы по результатам наблюдений за осадками и за деформациями здания в начальный период (в течение небольшого промежутка времени) научиться прогнозировать развитие осадок и вероятное повышение прочности грунта основания во времени на весь период строительства и эксплуатации.

При проведении расчетов уплотнения слабых водонасыщенных глинистых грунтов принимается несколько гипотез. Согласно одной из них после приложения нагрузки к водонасыщенным грунтам основания возникает поровое давление и давление в скелете грунта (эффективное напряжение). Сумма этих величин воспринимается равной приложенному давлению от возводимого сооружения.

Первоначально считалось, что после приложения давления к водонасыщенным глинистым грунтам основания все давление от возводимого сооружения воспринимается поровой водой. В этот период давление в скелете грунта равно нулю. По мере отжатия поровой воды из водонасыщенного грунта основания падает поровое давление и развивается давление в скелете грунта (эффективное напряжение). Грунт считается уплотненным или полностью консолидированным, если поровое давление в грунтовом основании уменьшится до нуля,

а все давление от сооружения будет воспринимать давление в скелете грунта (эффективные напряжения будут равны давлению от сооружения, приложенному к водонасыщенному основанию). Эта теория была предложена *К. Терцаги*, а также *М.Н. Герсевановым* и *В.А. Флориным*.

Однако исследования в натуральных условиях, проведенные 1950–1980-х годах *М.Ю. Абелевым*, *П.А. Коноваловым*, *Ю.К. Зарецким* и др., показали, что в реальных условиях такая гипотеза не является достоверной. Специальные исследования с применением датчиков напряжения, порового давления, глубинных марок и др. показали, что в действительности при возведении сооружений на слабых водонасыщенных глинистых грунтах при небольших давлениях поровое давление в грунтовом основании не возникает, а возникает небольшое давление в скелете водонасыщенного грунта, равное давлению от возведенной части здания. Впоследствии это явление было установлено при проведении лабораторных и полевых испытаний грунтов на сжимаемость. Тогда было введено понятие «*структурная прочность сжатия*», которой называется максимальное давление, приложенное к образцу водонасыщенного глинистого грунта, при котором поровое давление равно нулю.

К группе «*слабые водонасыщенные грунты*» относятся грунты разного происхождения, сжимаемость которых характеризуется модулем деформации менее 5 МПа, а степень водонасыщения превышает 0,8. Исследования модуля сжимаемости таких грунтов в лабораторных условиях на компрессионных приборах и в стабилометрах показали, что в отличие от основных положений действующих нормативных документов, по которым грунты характеризуются первой величиной модуля общей деформации, слабые водонасыщенные грунты определяются различными значениями модуля деформации в зависимости от выбранной величины действующего давления. При этом для грунтов с ненарушенной структурой существует характеристика, которая и определяет «ненарушенность» структурной прочности сжатия.

Аналогичные результаты были получены при многочисленных исследованиях деформируемости слабых водонасыщенных глинистых грунтов штампами, в процессе которых было установлено, что

существующая методика определения значений модуля деформации слабых грунтов в буровых скважинах с использованием штампа  $600 \text{ см}^2$  приводит к большим ошибкам. Это объясняется и неправильными методиками проведения испытаний, когда все исследования выполняются в течение одного дня, и плохой конструкцией штампа, при которой не происходит отжатия поровой воды, и другими причинами. Кроме того, было установлено, что величины модуля деформации, полученные по результатам исследований с использованием штампа  $600 \text{ см}^2$ , оказываются в несколько раз меньше, чем при испытаниях этих же грунтов круглыми штампами площадью более  $10\,000 \text{ см}^2$ .

Исследования прочностных характеристик слабых водонасыщенных глинистых грунтов, проведенные на различных приборах (сдвиговом приборе плоского среза, стабилометре, приборах перекашивания, приборах кручения образцов и др.), показали, что прочностные характеристики этих грунтов (угол внутреннего трения и сцепление) не являются постоянными величинами для того или другого вида слабого водонасыщенного грунта, а зависят от критериев, которые принимаются при разрушении (величины деформации образца при сдвиге или при разрушении в стабилометре и др.). В зависимости от методики величины прочностных характеристик могут изменяться до 80%.

Специальные исследования были проведены для изучения фильтрационных свойств слабых глинистых грунтов. Экспериментами было установлено, что в отличие от принятого в нормативных документах положения о том, что скорость фильтрации через эти грунты пропорциональна фильтрационному градиенту напора, до достижения определенных значений градиента вода через образец глинистого грунта не фильтруется. Максимальная величина градиента, при котором отсутствует фильтрационная вода, была названа «начальным градиентом напора».

Кроме того, в многочисленных исследованиях была установлена логарифмическая зависимость между изменениями коэффициента фильтрации и коэффициента пористости глинистого грунта в процессе его уплотнения.

Все эти фундаментальные открытия позволили изменить расчеты уплотнения слабых грунтов и

осадок сооружений. Существенные изменения заключались в том, что слабые водонасыщенные грунты начинают деформироваться при напряжениях, превышающих величину «структурной прочности сжатия». В расчетах учитывается, что коэффициент фильтрации грунтов в процессе консолидации не является постоянной величиной и изменяется в зависимости от изменения коэффициента пористости слабого грунта.

Осадка слоя слабых водонасыщенных грунтов основания происходит при выдавливании из них поровой воды. Однако движение поровой воды прекращается не при давлении, равном 0, а при давлении, при котором градиент напора в поровой отжимаемой воде становится равным начальному градиенту напора.

С использованием этих условий были разработаны методы расчета песчаных свай, вертикальных песчаных дрен с насыпью (методы предварительного напряжения грунтов основания, известковых свай, дренажных прорезей и т.д.).

Исследования, проведенные в последние годы по эффективности работы песчаных подушек, песчаных свай, вертикальных песчаных дрен и пр., показали, что во многих случаях в зависимости от гранулометрического состава песка, используемого для устройства искусственных оснований, наблюдается «запаивание» тел песчаных свай и песчаных дрен и вода перестает продвигаться в дренажные объекты. В настоящее время разработана методика расчетов для этого процесса.

Результаты этих исследований были использованы при строительстве Архангельской ТЭЦ, Западно-Сибирского металлургического завода, большого количества сооружений в Сибири, на Украине, на Северном Кавказе, а также за рубежом: во Франции, Китае, Индии, Ираке, Иране и др. ❖

#### Список литературы

1. *Абелев М.Ю.* Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах. М.: Стройиздат, 1983. 248 с.
2. *Абелев М.Ю.* Аварии фундаментов сооружений. М.: МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1975. 78 с.
3. *Абелев М.Ю.* Слабые водонасыщенные глинистые грунты как основания сооружений. М.: Стройиздат, 1973. 256 с.