

МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПРИ СООРУЖЕНИИ КОМПЛЕКСА СЖИЖЕНИЯ ГАЗА В ПОС. САБЕТТА (П-ОВ ЯМАЛ)

Н.Н. Хренов
Институт проблем нефти и газа РАН
e-mail: khrenovnn@list.ru

По плану развития производства сжиженного газа на п-ове Ямал максимальная мощность завода по сжижению газа суммарно составит 15 млн т СПГ и до 1 млн т газового конденсата в год. Ресурсной базой для предприятия станут Южно-Тамбейское месторождение ПАО «НОВАТЭК» и месторождения ПАО «Газпром». В целом запасы газа на Ямале оцениваются в 16 трлн м³.

Помимо завода, проект предусматривает создание морского порта в поселке Сабетта на Ямале и строительство танкерного флота ледового класса. Общий объем инвестиций в реализацию проекта оценивается в 20 млрд долларов.

Ученые ИПНГ РАН уже более 20 лет ведут исследования совместно с ведущими академическими институтами и производственными организациями, которые реализованы при создании проектов и сооружении уникальных объектов в северных условиях, в том числе крупнотоннажных и сверхтяжелых резервуаров. ИПНГ создал коллектив, члены которого занимаются исследованиями и натурными работами по данной проблеме и хорошо знают реальное состояние дел. Успех обеспечивается за счет использования многолетнего опыта работ в районах северного строительства.

До начала строительства ПАО «НОВАТЭК» обратился к ИПНГ РАН с предложением создать пул академических и научно-исследовательских институтов с целью выработки предложений для проектирования и строительства указанного комплекса. Но к моменту выработки предложений ЯмалСПГ поспешил заключить договор с ЮжНИИгазпромом и начались проектные работы. Между ЯмалСПГ и ИПНГ РАН было заключено соглашение о сотрудничестве и ученым переданы материалы проекта для анализа.

Анализ показал, что изыскания и проект выполнены крайне небрежно, с многочисленными ошибками, обусловленными неучетом реальных условий Ямала. Результаты докладывались руководству ЯмалСПГ, полный отчет был передан в ЯмалСПГ, некоторые соображения приведены ниже.

Первая фундаментальная ошибка – неправильный учет поверхностного стока. В начале 2000-х гг. в соответствии с госпрограммой Государственный гидрологический институт (ГГИ) проводил работы по оценке снегонакопления и поверхностного стока на Ямале. Было установлено, что в районе пос. Сабетта поверхностный сток составляет 225 мм на м² [1].

При проектировании не учитывались гидрологические особенности территории и не оценивалось изменение режима стоков, а также не предусматривались меры по водоотведению. Поверхностный сток был взят по СНиПу, равным -145 мм. Результаты исследований ГГИ были проигнорированы.

До настоящего времени на месторождении и промплощадках не создано единой карты. Проектирование идет мелкими участками, не связанными друг с другом. Проект расположения объектов (генеральная схема) создан на основе увеличенной карты масштаба 1:100000 (очень неточной, созданной 40–50 лет назад) с увеличением до 1:5000. Анализировать микрорельеф и условия стока невозможно. Невозможно строить тематические карты.

Не проведено никаких исследований по мерзлотному картированию, сравнению с данными 80-х годов и прогнозу на все месторождение и объекты. Мерзлотные карты на некоторые объекты в составе проекта выполнены небрежно и касаются небольших участков.

Можно предположить, что бурение и геофизические исследования под резервуары СПГ не выполнены в требуемых объемах (не более 10% от запланированного и оплаченного объема).

Проведенные геофизические исследования не связаны между собой и в ряде случаев противоречат друг другу. Не выполнена совместная переинтерпретация материалов с привязкой к материалам бурения и профилям.

Анализ разделов проектов аэропорта, промплощадки и морпорта по прогнозу теплового взаимодействия сооружений с многолетнемерзлыми грунтами, выполненными тремя институтами, показал, что все расчеты сделаны по одним и тем же формулам и с одними исходными данными (что невозможно). Было установлено, что разделы прогнозов переписаны из студенческой методички за третий курс института.

Объемы бурения и число скважин завышены в 4–5 раз (по заданиям). Реально выполнено не более 15% от запланированных и оплаченных работ.

Второй фундаментальной ошибкой явилось то, что в проекте существенно переоценена дренирующая способность основания подсыпки. Отсутствие сквозных таликов и влагопотребляющей растительности совместно со значительным поверхностным стоком и проводимой инженерной деятельностью приводит к переувлажнению территорий, заболачиванию и формированию таликовых зон [2]. Такой вывод был сделан, исходя из анализа материалов тепловых съемок месторождения и промплощадок, проведенных при участии и под руководством ИПНГ РАН в октябре 2013 г. Были установлены перетоки в теле насыпей, набухание грунта и формирование криогенных процессов на поверхности подсыпки, образование таликов и развитие процессов морозного пучения [3].

При выборе конструктивного решения не было учтено, что обводненная песчаная подсыпка малой мощности имеет обратный эффект (отепляющее действие) и приводит к деградации мерзлых пород, что резко снижает несущую способность оснований и фундаментов.

Использование местных грунтов в качестве материалов подсыпки требует доработки проектного решения по ее устройству. Грунт, которым выполняется отсыпка, представляет собой скорее пылеватую супесь с большим содержанием глинистых частиц, а не песок, предусмотренный проектной документацией.

Как показывает практика строительства и эксплуатации свайных оснований в Северных регионах, традиционные типовые проектные решения и применяемые методы строительства не в состоянии обеспечить необходимую эксплуатационную надежность и долговечность сооружений.

Подобная практика строительства не может обеспечить необходимую прочность закрепления свайных опор в грунте на весь проектный период эксплуатации при существующих типах и технологии возведения фундаментов, которая приводит к изменению естественного состояния грунтов в зоне заложения фундаментов, в процессе строительства и последующей эксплуатации.

При совместном воздействии различных природных факторов (морозное пучение, общая и локальная деградация вечной мерзлоты, ветровые нагрузки, циклическое изменение состояния грунтов деятельного слоя при промерзании и оттаивании, обводнении и т.д.) прочность закрепления опор фундаментов в грунте резко снижается и

часто не обеспечивает их устойчивости и нормативной продолжительности функционирования.

Проблема, на наш взгляд, в том, что действующие СНиП по сваям устарели, очень несовершенны и имеют массу погрешностей. Сейчас делаются попытки уже в ходе проектирования решать многие неисследованные вопросы, но важно обеспечить первоочередное решение методических проблем.

В проекте предлагается использовать стальные сваи из труб с открытым нижним концом. В пределах сезоннооттаивающего слоя сваи покрывают раствором битума в бензине с последующей окраской битумнополимерной мастикой за 2 раза общей толщиной 3 мм. Остальная поверхность свай не защищена от коррозии.

Погружение свай в вечномёрзлые грунты предложено выполнять буроопускным способом в предварительно пробуренные лидерные скважины диаметром, превышающим диаметр сваи не менее чем на 100 мм, на всю глубину погружения свай. Перед погружением полость скважины заполняется цементно-песчаным раствором состава 1:5 до отметки на 2 м ниже устья скважины. Погружение сваи осуществляется одиночными ударами молота сваебойного агрегата. После чего верхняя часть скважины заполняется среднезернистым песком. Верхняя часть сваи после погружения заполняется бетоном класса В15.

Прочность песчаных льдистых среднесоленных и сильносоленных вечномёрзлых грунтов, находящихся в пластичномёрзлом и охлажденном состоянии, согласно СНиП 2.02.04-88 очень мала. При бурении лидерной скважины под воздействием сил трения при вращении буровых головок и шнеков ее стенки будут нагреваться и оттаивать до текучего состояния. Произойдет оплывание скважин после выемки бурового инструмента. Зачистка скважин от разжиженного бурового шлама, как это рекомендуют проектировщики, просто невозможна.

Реально возникнет ситуация, при которой цементный раствор после заливки, перемешавшись в скважине с сильносоленным коррозионно активным грунтом, будет в процессе эксплуатации активно разрушать металлические сваи. Это ставит под вопрос долговечность и надежность опирающихся на них строительных объектов.

Нижняя часть скважин будет заполнена засоленным буровым шламом из осевших засоленных минеральных частиц. Этот шлам не пропустит цементный раствор, поэтому

значительная часть стальных свай, забитая в буровой шлам, обречена на разрушение от коррозии.

В толще засоленных грунтов, прорезаемых сваями, имеются отдельные криопэги (рассолы). При прорезании весь объем этого рассола сливается в буровые скважины и удалить его при зачистке скважины шнеками просто невозможно.

При инженерно-геологических изысканиях пробурено ограниченное количество скважин. Но даже в этом случае вскрыты достаточно крупные криопэги. Общее фактическое количество криопэгов, особенно мелких, в массиве под строительными объектами, несомненно, значительно больше. Сваи в скважинах, заполненных цементным раствором с рассолами, обречены на разрушение, а надежность сооружений на них – нулевая.

В проекте совершенно не учитывается то обстоятельство, что в резервуарах будет находиться продукт с температурой $-166\text{ }^{\circ}\text{C}$. Проведенные ИПНГ РАН расчеты теплового взаимодействия выполнены методом математического (численного) моделирования. Использован метод конечных разностей. Тепловые расчеты показали, что температура грунтов под резервуарами СПГ, на конец первого года эксплуатации, составит порядка $(-45)\text{--}(-50)\text{ }^{\circ}\text{C}$. В качестве обоснованного примера можно привести проект «Сахалин 2», где на конец первого года эксплуатации температура грунтов под резервуарами СПГ составила $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (на скальном основании).

Проведенный анализ материалов космических съемок территории завода и резервуаров за период 2010–2017 гг. показал, что под сооружениями завода и резервуарами образовались подземные «озера», началось пучение грунта и изменение мерзлотных условий [4]. Криогенные процессы, резко усиливающиеся при обводнении очень слабых, неравномерно засоленных и неравномерно мерзлых грунтов, могут привести к разрушению конструкций, стоимость ремонтных работ превысит стоимость строительства. Проводимые сегодня работы по мониторингу носят ограниченный, «точечный» характер и не могут обеспечить выработку рекомендаций для нового строительства и эксплуатации.

В процессе строительства и эксплуатации геотехнических систем (ГТС) происходит вживание их техногенных элементов в естественную природную среду. Часто это осуществляется с нарушением динамического равновесия, сопровождающегося активизацией опасных природных процессов, оказывающих существенное негативное

влияние на техническое состояние сооружений и нередко приводящих к аварийным ситуациям. К подобным реакциям «отторжения» нередко природной средой техногенного воздействия относятся просадка или всплытие (выпучивание) сооружений, активизация мерзлотных, эрозионных, оползневых процессов и процессов обводнения-заболачивания на промплощадках, дорогах и трассах магистральных и промысловых трубопроводов различного назначения. Сказанное особенно характерно для легко ранимых и практически невосстанавливаемых ландшафтов севера Западной Сибири, где высокая чувствительность северной природы очень быстро превращает экологические проблемы строительства и эксплуатации в технологические и экономические [5]. Научно обоснованные практические рекомендации возможны только на основе установления фундаментальных закономерностей изменения мерзлотно-геологических условий залегания сооружений, закономерностей теплового и механического взаимодействия сооружений с вмещающим грунтом, долгосрочного вероятностного прогнозирования. Решение представляет значительные трудности из-за сложных мерзлотно-грунтовых условий, переменной температуры газа, изменчивости климатических параметров. Исследования должны вестись по принципу от общего к частному, то есть от изучения состояния всей трассы или территории до участка и сечения, выявленных по материалам съемок. Необходимо получить объем информации не меньший, чем при изысканиях.

В качестве первого шага обеспечения исследований нового этапа материалами и фиксации сложившейся непроектной ситуации необходимо провести дистанционное зондирование территории аэросъемками с использованием аппаратуры фото-, теплового, гиперспектрального и радиолокационного зондирования и обеспечить широкое применение материалов крупномасштабных космических съемок. ИПНГ РАН имеет значительный опыт организации и проведения таких работ [6].

Статья написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Рациональное природопользование и эффективное освоение нефтегазовых ресурсов арктической и субарктической зон Земли», № АААА-А16-116022550220-4).

ЛИТЕРАТУРА

1. Москвин Ю.П. Определение слоев стока весеннего половодья на реках полуострова Ямал // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические науки. 2012. № 3. С. 74–78.

2. *Хренов Н.Н.* Основы комплексной диагностики северных трубопроводов наземные исследования: Монография. М.: Газойлпресс, 2005. 619 с.

3. *Хренов Н.Н.* Применение материалов тепловой съемки для оценки состояния грунтов и сооружений при строительстве на Ямале (Сабетта) // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2017. № 2. С. 115–120.

4. *Корниенко С.Г., Крицук Л.Н., Хренов Н.Н., Якубсон К.И., Ястреба Н.В.* Оценка изменений влажности грунтов при строительстве объектов в криолитозоне по данным космической съемки сверхвысокого пространственного разрешения (на примере аэропорта пос. Сабетта, восточный берег полуострова Ямал) // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: Сб. материалов X Общерос. конф. изыскательных организаций. 2014. С. 62.

5. *Грачев В.А., Гутенев В.В., Десинов Л.В.* и др. Аэрокосмическое зондирование в системе экологической безопасности взаимодействия природы и сооружений. М.: Триада ЛТД. 2006. 172 с.

6. *Хренов Н.Н.* Основы комплексной диагностики северных трубопроводов. Аэрокосмические методы и обработка материалов съемок: Монография. М.: Газойл Пресс, 2003. 352 с.