

Введение Разработка месторождений газа и нефти, особенно в северных регионах, требует модернизации существующих и строительства новых инженерных сооружений различной степени сложности и ответственности: разветвленной системы трубопроводов, линий электропередач, жилых и общественных зданий, промышленных объектов. В настоящее время для обеспечения несущей способности фундаментов таких сооружений в мерзлых грунтах чаще всего используются стальные свайные конструкции.

Проектирование, строительство и эксплуатация таких конструкций сталкивается со специфическими проблемами северных районов по обеспечению прочности, устойчивости и долговечности свайных фундаментов. Одной из таких проблем является морозное пучение грунтов. Особенно актуальной эта проблема является для малонагруженных фундаментов. Существует множество способов и мероприятий по уменьшению и устранению вредного воздействия сил морозного пучения сезоннопромерзающих грунтов [1]. Применение полимерных покрытий [2], снижающих смерзание сваи и грунта в его верхнем (пучинистом) слое, является одним из возможных направлений, в первую очередь, в виду высоких барьерных характеристик и устойчивости таких покрытий к абразивному воздействию грунтов на поверхность свайных фундаментов при сезонном промерзании – протаивании. Одним из перспективных материалов для такого рода покрытий являются радиационно-модифицированные полиолефины. Радиационная обработка повышает эксплуатационные качества материалов [3]. Так, радиационная модификация полиэтилена, в частности, увеличивает его износостойкость в 35 раз, ударную прочность — более чем в 10 раз. Значительно возрастает предел прочности полиэтилена при растяжении, удлинение при разрыве, увеличивается также его химическая стойкость. Кроме улучшения эксплуатационных качеств покрытия, в процессе радиационной сшивки приобретает уникальное технологическое свойство «память» — способность после цикла термомеханической деформации (растяжение, сжатие, скручивание) возвращаться к первоначальным размерам и формам. Такое свойство облучённого материала позволяет существенно упростить технологию нанесения изготовленного из него покрытия и реализовать её, что особенно важно в условиях труднодоступных северных районов, в полевых условиях. Для определения эффективности применения таких материалов были проведены испытания образцов противопучинной термоусаживаемой оболочки для свай производства ЗАО «УЗПТ «Маяк» [4]. Работы проводились на базе сектора испытаний мерзлых грунтов ОИГС ОПИРСа ОАО «Фундаментпроект».

Оборудование и приборы Механическое взаимодействие фундамента и пучащегося при промерзании грунта в лабораторных условиях моделируется на основании эквивалентности касательной силы пучения и так называемого устойчивого сопротивления сдвигу модели мерзлого грунта относительно фундамента. При промерзании грунт смерзается с фундаментом, и через силы

смерзания на фундамент передается касательная нагрузка при дальнейшем промерзании и пучении грунта. Таким образом, опыты по методике испытания среза по поверхности смерзания с материалом фундамента достаточно полно моделируют касательные силы пучения. В качестве испытательных установок наиболее подходят сдвиговые приборы (рис. 1) конструкции Ермакова [5].

Прибор состоит из двух основных частей: стального корпуса и пластины (плашки) из стали, площадью смерзания $F = 65 \text{ см}^2$, имитирующей элемент фундамента (сваи). После установки плашки в корпусе прибора его заполняют грунтом и устанавливают в холодильную камеру. Испытания проводились в холодильной камере при температурах минус 1 и минус 4 °С. Также были проведены два контрольных испытания при температуре минус 2 °С. Основные преимущества прибора – простая форма модели фундамента (плашки), представляющая собой прямоугольную пластину, толщиной 20 мм, на которую осаждается термоусаживаемое покрытие. Рис. 1 – Прибор конструкции В.Ф.Ермакова для определения сопротивления срезу по поверхности смерзания с материалом фундамента (бетон, сталь, покрытия)

Методика подготовки цементно-песчаных растворов для испытаний на срез по поверхности смерзания

Подготовка приборов и грунтовых растворов для испытаний сопротивления срезу по поверхности смерзания с материалом фундамента пучинистых грунтов состоит из нескольких этапов – подготовка приборов и растворов, заполнение приборов раствором, промораживание и выдерживание перед испытанием при определенной отрицательной температуре. В качестве модельного раствора был выбран наиболее применяемый цементно-песчаный раствор состава 1:7 (цемент и песок мелкий), с подвижностью по строительному конусу от 11 до 13 см (ПЗ по [6]), что характеризует его консистенцию как текучую. Рекомендации по составу растворов приведены в [7]. При подготовке смеси контролируются также основные параметры готовой смеси – плотность и влажность. После заполнения обойм раствором, они сутки выдерживались при положительной температуре для обеспечения частичного схватывания раствора, после чего обоймы промораживались в морозильной камере при температуре от минус 22 до минус 27 °С. После полного промораживания (1 – 2 суток) обоймы переносились в испытательную холодильную камеру и выдерживались в ней до выравнивания температуры. Методика проведения экспериментов Испытаниями определялась длительная прочность на срез по поверхности смерзания в соответствии с методикой [8] для данного вида испытаний. Сдвиговые поверхности плашек моделировали горячекатаную сталь марки 9Г2С (поверхность без шлифования). Материал покрытия – термоусаживаемые оболочки требуемой размерности были представлены производителем (ЗАО «УЗПТ «Маяк»). Покрытие наносилось на плашки в лабораторных условиях с помощью промышленного фена, в режиме, рекомендованном производителем. При проведении испытаний на срез по поверхности смерзания в приборах конструкции В.Ф.Ермакова использовалась

автоматическая система сбора данных. Эта система основана на применении электронных датчиков перемещения (точность 0,003 мм), автоматических цифровых преобразователях и компьютера, оснащенного программным комплексом KrioLab. Комплекс разработан в СИМГ ОАО «Фундаментпроект» и использует уникальные алгоритмы слежения за экспериментом и сбора информации. Данная система позволяет уменьшить длительность опытов без потери точности определения прочностных характеристик мерзлых грунтов. Этот эффект достигается возможностью построения непрерывных кривых ползучести и реологических кривых ($\ln \tau - \ln \epsilon$) в режиме реального времени (рис. 2) и уменьшения погрешностей за счет изменения температуры (в течение всего опыта оператор заходит в холодильную камеру только для приложения нагрузки). Рис. 2 – Пример обработки испытания на срез по поверхности смерзания. Испытания на срез по поверхности смерзания проводились при температурах минус 1 и минус 4 °С, т.е. диапазон температур охватывал наиболее распространенные температурные условия в промерзающем грунте. После выдерживания приборов со смесью при температуре испытания, они выставлялись на испытательную установку, представляющую собой станину, которая позволяет, задавая нагрузку, продавливать свайку, смороженную с грунтом по боковым поверхностям. Нагружение производится равными ступенями таким образом, чтобы количество ступеней для испытания было не менее шести. Каждая ступень нагрузки выдерживается до условной стабилизации (не более 0,01 мм за 12 часов) деформации (каждая ступень длится 1 – 3 суток). Испытание завершается, когда деформирование развивается с увеличивающейся скоростью. Прочность смерзания определялась из графика “напряжение – деформация” в логарифмических координатах. Эффективность применения исследуемого покрытия для снижения касательных сил морозного пучения определялось по соотношению касательных сил пучения с покрытием и без него. В рамках настоящей работы проведено испытание смерзания по контакту с цементно-песчаными смесями для металлических свай с покрытием производства УЗПТ «Маяк» на основе радиационно-модифицированных полиолефинов и без покрытия. Испытания проводились при температурах минус 1 и минус 4 °С. В ходе работ, было проведено восемь испытаний (два испытания без покрытий и шесть испытаний с покрытием), по четыре при каждом значении температуры. Результаты испытаний. Характерные графики деформации опытных образцов с покрытием и без него приведены на рисунках 3 и 4. Объект: металлическая плашка без покрытия. Рис. 3 – Деформация под нагрузкой. Опыт № 5 Условия: - покрытие – песчано-цементная смесь, плотность: 1,91 г/см³; - температура – минус 1 °С. $R_{оп}=0,104$ МПа. Рис. 4 – Деформация под нагрузкой. Опыт № 8 Условия: - металл без покрытия - песчано-цементная смесь, плотность: 2,05 г/см³; - температура – минус 1 °С. $R_{оп}=0,210$ МПа. Сводные результаты испытаний приведены в таблице 1. Таблица 1 – Результаты испытаний на сдвиг

смерзания стальных моделей свай с песчано-цементной смесью (7:1) Металл без покрытия Металл, с покрытием Коэф-фициент № опыта Raf0, МПа № опыта Raf1, МПа ср. знач. Raf1, МПа Raf1/Raf0 Температура минус 4°C 1 0,819 2 0,255 0,245 0,30 3 0,246 4 0,234 Температура минус 1°C 8 0,210 5 0,104 0,089 0,42 6 0,086 7 0,076 Полученные результаты для пучинистых грунтов, в целом, подтверждают результаты, полученные при натурных многолетних испытаниях свай в 1991 – 1995 гг. [3], в которых снижение касательной силы пучения составило 30 – 50 %.

Заключение По результатам испытаний можно сделать следующие выводы: 1. Покрытие из термоусаживаемой оболочки производства УЗПТ «Маяк» показало высокую эффективность в условиях применения буроопускных стальных свай с заделкой пазух цементно-песчаным раствором. В этом случае, в зависимости от температуры грунта при сдвиге, прочность на срез по поверхности смерзания снижается в 2,3 – 3,3 раза по сравнению с металлической сваей без покрытий. Большим преимуществом перед покрытиями других типов также является, в этом случае, стойкость материала к абразивному воздействию грунта. 2. Полученный коэффициент снижения касательных сил морозного пучения можно использовать при проектировании оснований сооружений II и III классов ответственности в соответствии с. Также возможно применение полученных результатов для целей проектирования на территориях распространения сезонномерзлых пучинистых грунтов. При этом следует учитывать, что заявленный Производителем срок службы покрытий составляет 25 лет [4].

Проведенные испытания показали эффективность покрытия стальных свайных фундаментов термоусаживаемой оболочкой производства УЗПТ «Маяк» и позволили определить значения коэффициента для расчета касательных сил пучения при контакте сваи с цементно-песчаной смесью. В целом, по результатам испытаний, можно рекомендовать для применения в практике свайного строительства на мерзлых грунтах покрытие из термоусаживаемой полимерной оболочки производства УЗПТ «Маяк» в качестве противопучинистого мероприятия. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации в рамках Федеральной Целевой Программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» (мероприятие 2.7 Проведение опытно-конструкторских и опытно-технологических работ по тематике, предлагаемой бизнес-сообществом), государственный контракт № 14.527.12.0025.