

Инновационные технологии строительства нефте- и газопроводов в вечномерзлых грунтах

В.А. Долганов, Д.Д. Адамия, И.А. Томарева

*Институт архитектуры и строительства (ИАиС)
Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ)*

Аннотация: Геотехнические аспекты проектирования, строительства и эксплуатации трубопроводов в условиях вечномерзлых грунтов играют важную роль. Необходимо разрабатывать и внедрять новые технологические решения, учитывая долгосрочные прогнозы температурных режимов грунтов оснований, которые должны быть способны предупредить или же компенсировать отрицательное воздействие на трубопровод.

Ключевые слова: нефтегазопровод, магистральный трубопровод, вечномерзлый грунт, негативное воздействие, инновационная технология, объемная георешетка, геосинтетика, моделирование, нагрузка, деформация.

Введение

Россия – одна из немногих стран, эксплуатирующих магистральные трубопроводы в условиях вечной мерзлоты. Грунты в мерзлом состоянии можно рассматривать как надежное основание. Но за несколько циклов оттаивания-замерзания грунт теряет устойчивость, что приводит к поперечному смещению и деформациям трубопроводов [1-3].

Таким образом, при прокладке нефтегазопроводов инженеры сталкиваются с двоякой задачей: им нужно проложить трубопроводы в среде, которая в ненарушенном состоянии обладает высокими прочностными и несущими свойствами [4,5], но в случае изменения теплового режима может быстро превратиться в болото. При этом и сами трубопроводы могут быть источниками тепла, разрушающего структуру грунтов основания.

Предлагаемое решение проблемы

Проведенный анализ аварийных ситуаций на магистральных нефтегазопроводах, современных способов строительства в сложных инженерно-геологических условиях [6,7], показал актуальность

исследований напряженно-деформированного состояния трубопроводов, проложенных в условиях вечномёрзлого грунта.

Для обеспечения их устойчивого положения предлагаем рассмотреть способ армирования основания с помощью объемной георешетки.

Одним из примеров использования геосинтетики для стабилизации грунта под трубопроводом является проект ОАО «Газпром» (магистральный газопровод «Северные районы Тюменской области (СРТО) — Торжок»). В строительстве была использована георешетка из материала “Neoloy” израильской компании “PRS”. По сравнению с георешетками из ПЭВП, данный материал обладает более высокой прочностью на разрыв, устойчивостью к ползучести, температурам (как экстремально большим, так и низким), а также геометрической устойчивостью. Результаты сравнительного испытания ускоренной ползучести по ступенчатому изотермическому методу (SIM) (ASTM D6992) при большой нагрузке (6,1 кН/м) показывают, что остаточная упругая деформация высококачественной георешетки ПЭВП составила 22,5% уже через 4,5 месяца, в то время как деформация Neoloy составила всего 1,2% и то только через 75 лет (рис.1) [8,9].

Наблюдения за напряженно-деформированным состоянием трубопровода в течение десятилетнего цикла оттаивания-замерзания показали стабильное положение трубопровода.

Цель нашего исследования: сравнительный анализ изменения напряженно-деформированного состояния трубопровода под воздействием просадки и выпучивания грунта основания, армированного георешеткой и без нее.

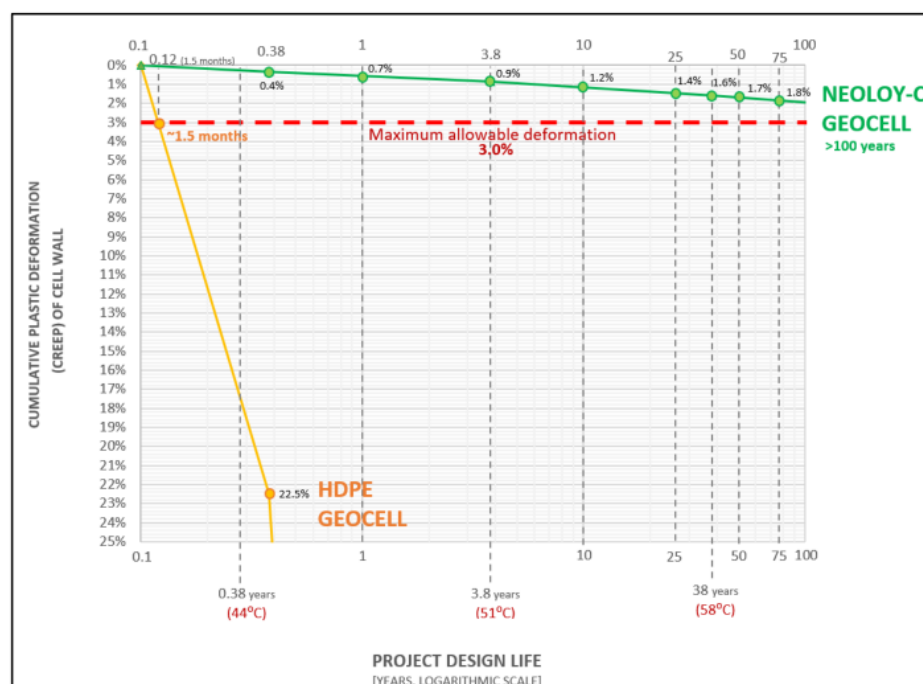


Рис. 1. – Результаты испытаний SIM, показывающие время и пластическую деформацию (макс. допустимое значение = 3%) при постоянной нагрузке (6,1 кН/м)

Выбор объекта исследования

Объектом исследования выбран участок нефтегазопровода, построенного в условиях вечномерзлого грунта.

Согласно СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах», СП 36.13330.2012 «Магистральные трубопроводы» и СП 445.1325800.2018 «Водопрпускные трубы и системы водоотвода в районах вечной мерзлоты. Правила проектирования» выбран подземный способ прокладки трубопровода без использования анкеров с хомутами и термоохладителей.

Ниже представлена рассматриваемая в эксперименте модель трубопровода, заключенного в грунте под действием исключительно гравитационных сил (рис.2 - 4).

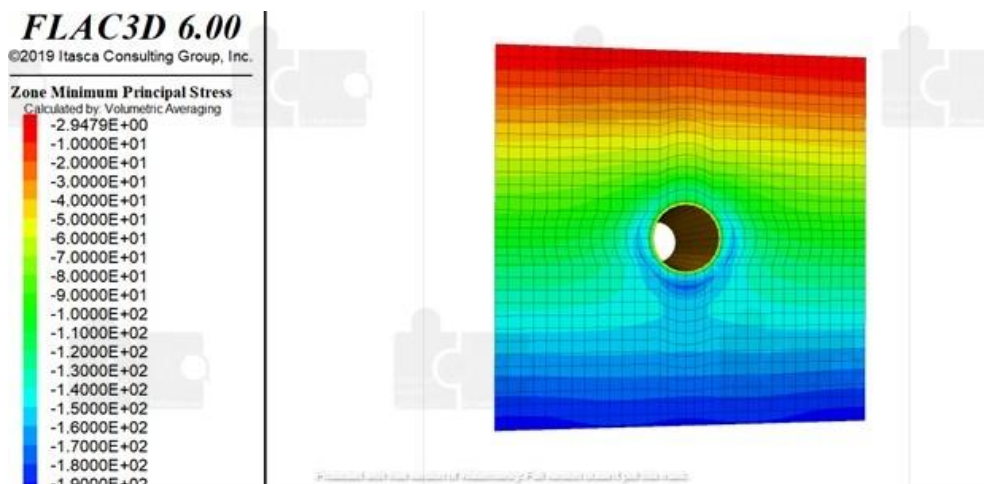


Рис. 2. – Распределение минимальных значений нагрузок

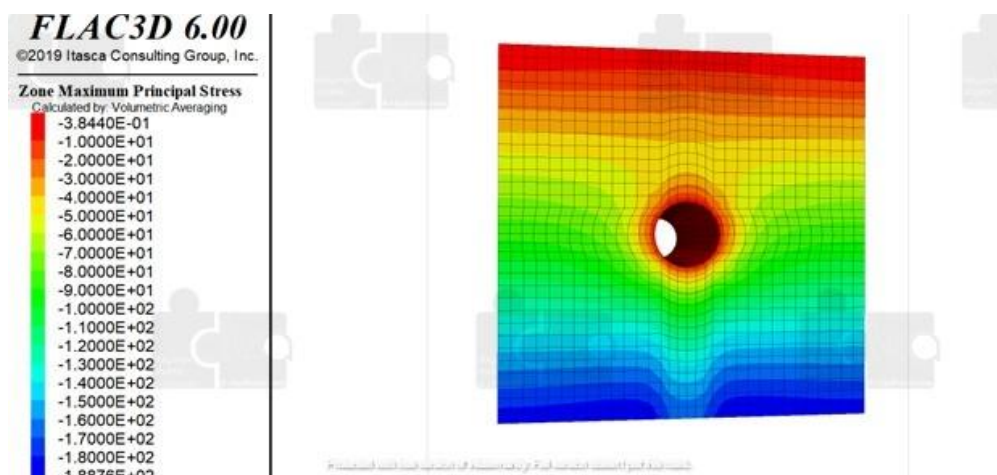


Рис. 3. – Распределение максимальных значений нагрузок

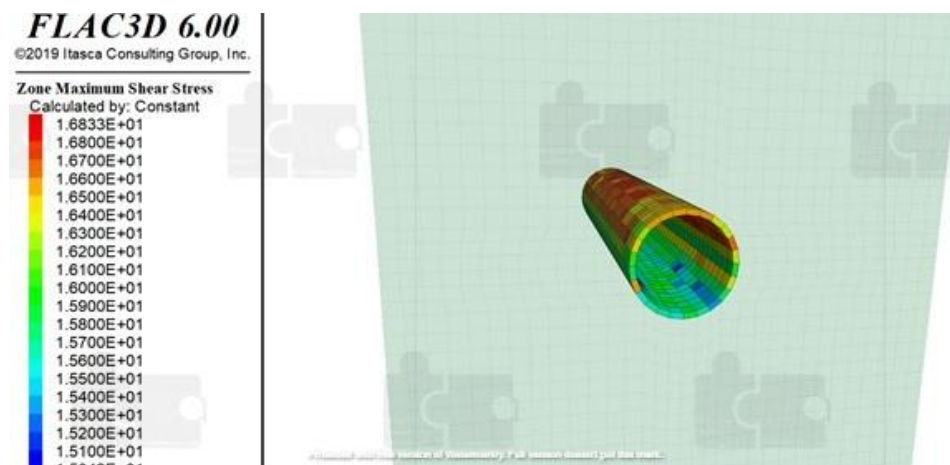


Рис. 4. – Вычленение из грунта трубопровода и отображение нагрузок на стенки

Выбор метода исследования

В работе используется метод моделирования условий и анализ полученных результатов.

Для моделирования выбрано программное обеспечение от компании Itasca Consulting Group, Inc. – FLAC 3D.

Задача стоит в наглядной демонстрации взаимодействия грунта и трубопровода при неармированной прокладке последнего в неблагоприятных условиях и при армировании геосинтетическими материалами основания под трубопроводом. На рис. 5 изображен прототип модели трубопровода, лежащего на армированном основании (георешетка).

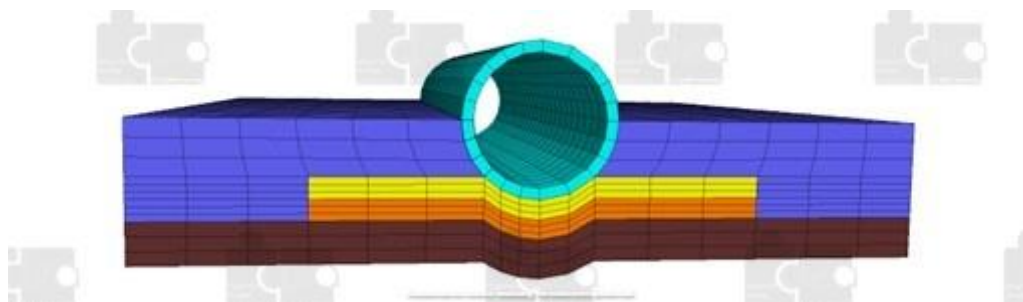


Рис. 5. – Армирование основания под трубопроводом

Исследование

Согласно ГОСТ 20295-85 «Трубы стальные электросварные прямошовные» выбирается материал трубы – сталь 09ГСФ, класс прочности К52, предел текучести 400 МПа, временное сопротивление разрыву 510 МПа, твердость 92 HRB, толщина стенки 10 мм, диаметр 1000 мм.

Согласно ГОСТ 25100-2011 «Грунты», выбран грунт дисперсный, связный, осадочный, минеральный. Характеристики: начальный модуль сдвига 45 МПа, модуль деформации 7 МПа, удельный вес 20 кН/м³, с коэффициентом Пуассона 0,4 (согласно ГОСТ 12248-96). Данный грунт подвержен вспучиванию, набуханию, возникающие в результате этого нагрузки действуют на трубопровод, вызывая его деформацию. Рассмотрены два случая: первый – неармированное основание под трубопроводом

(непосредственный контакт трубопровода с грунтом), второй – армированное основание (возникающие нагрузки поглощаются и перераспределяются с помощью георешетки).

Характеристики георешетки соответствуют приведенным данным двух производителей – PRS GEOTECHNOLOGIES (Израиль) и PRESTON GEOSYSTEMS (США), материалы Neoloy и GEOWEB соответственно. Эластичность, упругость, прочность на растяжение, характеристики деформации соответствуют спецификациям, материал для заполнения – дисперсный, несвязный, техногенно перемещенный грунт (в ходе земляных работ по прокладке трубопровода) согласно ГОСТ 12248-96.

Ниже представлены результаты расчета трубопровода для двух случаев (без георешетки и с георешеткой соответственно), при абсолютно одинаковых характеристиках грунта и действующих в нем усилий (вспучивание). Для наглядности слои грунта, лежащие поверх трубопровода, не отображены.

На рис.6 и 7 изображены зоны приращения деформации в модели по вертикальной оси Z. Как можно наблюдать, на первой модели (без георешетки, рис. 6) пик этих зон приходится на стенку трубопровода, в отличие от второй модели (рис. 7), где пик сосредоточен в георешетке, что свидетельствует о перераспределении вертикальной действующей в грунте нагрузки в горизонтальную, благодаря строению и свойствам георешетки.

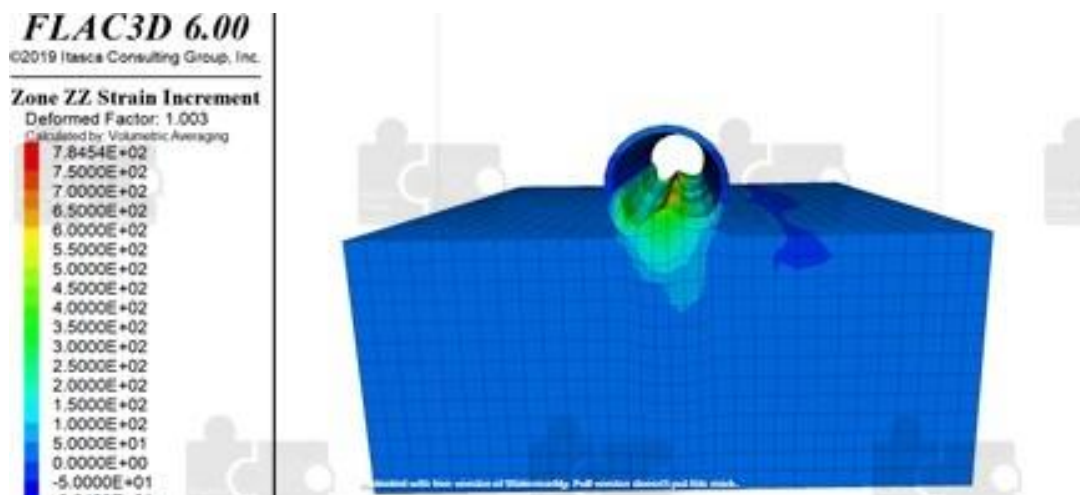


Рис. 6. – Зоны приращения деформации по оси Z трубопровода, лежащего на грунте

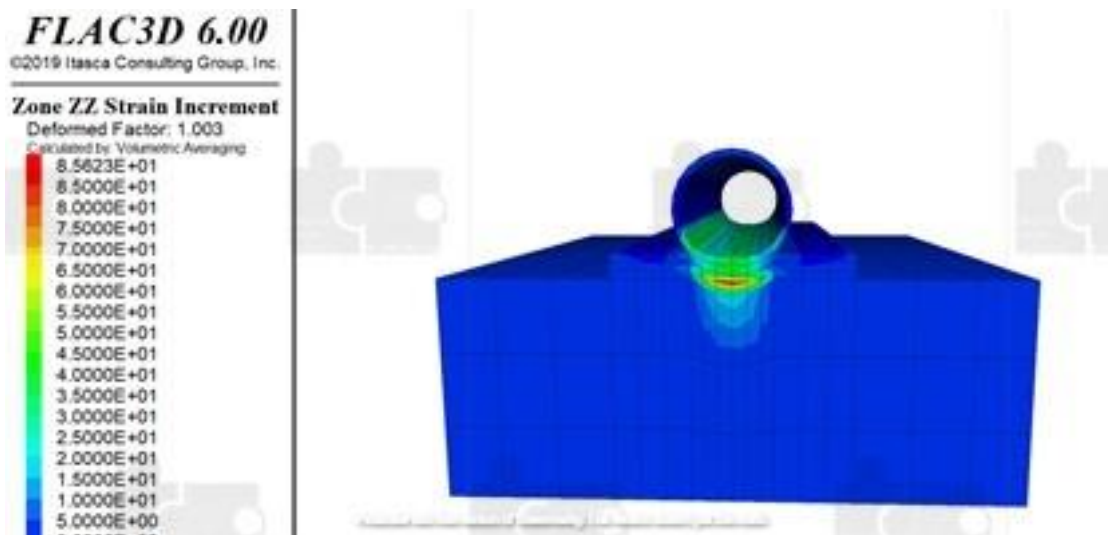


Рис. 7. – Зоны приращения деформации по оси Z трубопровода, лежащего на георешетке

На рис. 8 и рис. 9 показаны магнитуды смещений по оси Z в модели. При наличии георешетки (рис. 9) зона смещения сбалансирована и равномерно распределена по всей длине трубопровода, в отличие от хаотичных зон в первой модели (рис. 8).

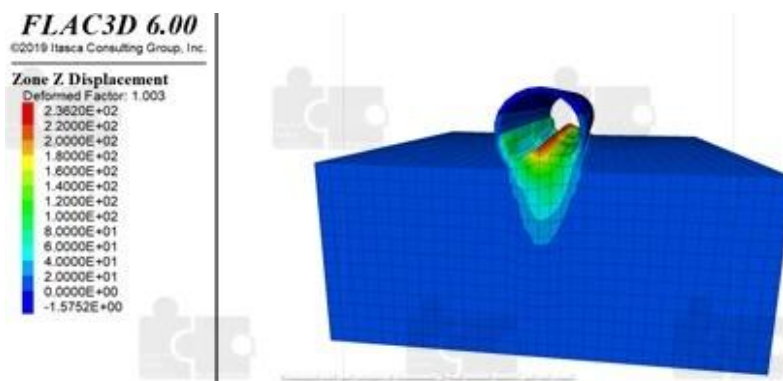


Рис. 8. – Магнитуды смещений по оси Z в системе трубопровод-грунт

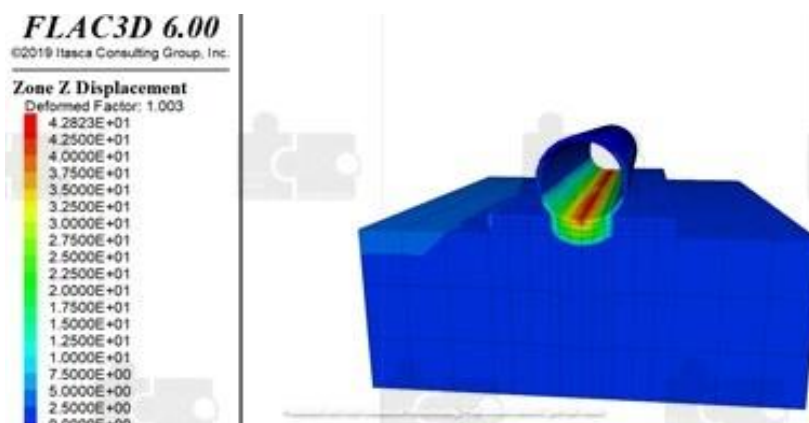


Рис. 9. – Магнитуды смещений по оси Z в системе трубопровод-георешетка-грунт

На рис. 10 и рис. 11 изображены зоны, показывающие места концентрации напряжений. Отмечается возникновение наибольших усилий непосредственно под трубопроводом в первой модели (рис. 10), что и вызывает деформации, подобные тем, что изображены на рис. 6. Во втором случае (рис. 11) напряжения в грунте, вызванные его набуханием, концентрируются и перераспределяются в георешетке, сохраняя целостность и устойчивость трубопровода.

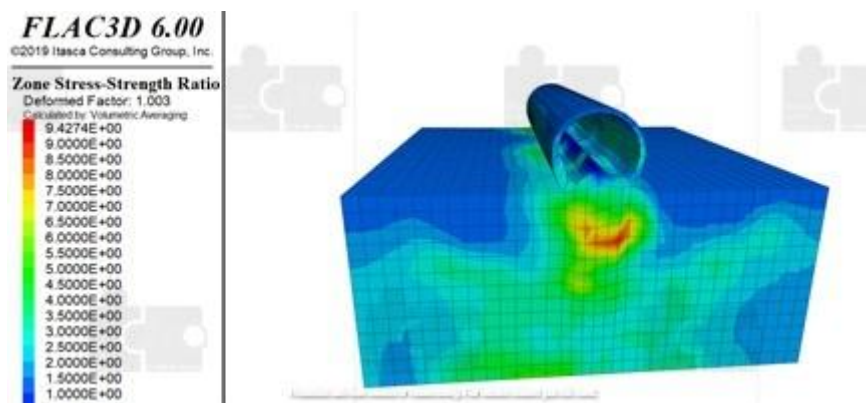


Рис. 10. – Зоны, показывающие места концентрации напряжений при отсутствии георешетки

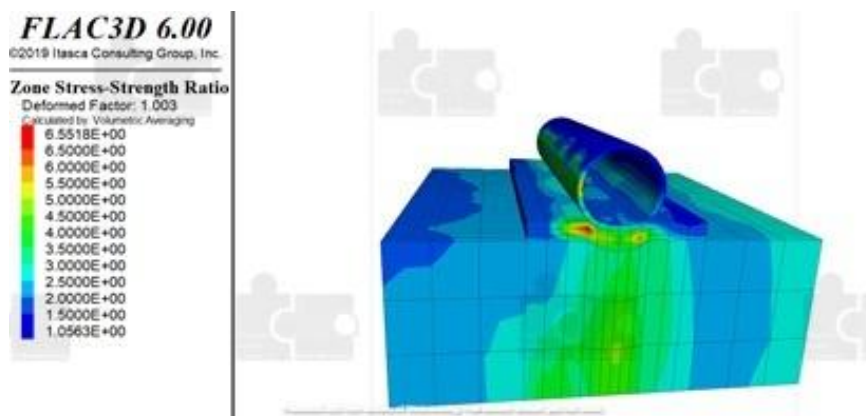


Рис. 11. – Зоны, показывающие места концентрации напряжений при наличии георешетки

Полученные результаты позволяют сделать выводы об эффективности применения армирования основания георешеткой при строительстве нефтегазопроводов в условиях распространения вечномёрзлого грунта, что позволит добиться долгосрочной устойчивости трубопровода и существенно снизить стоимость строительства.

Литература

1. Вирясов А.Н., Гостинин И.А., Семенова М.А. Применение труб коррозионно-стойкого исполнения для обеспечения надежности

нефтегазотранспортных систем Западной Сибири // Инженерный вестник Дона, 2013, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1487.

2. Димов Л.А. Строительство нефтепроводов на многолетнемерзлых грунтах в южной части криолитзоны Центральной и Восточной Сибири // Трубопроводный транспорт нефти, 2008, №2. 180 с.

3. Колоколова Н.А., Гarris Н.А. О выборе способа прокладки трубопроводов в районах вечной мерзлоты // Транспорт и хранение нефтепродуктов, 2013, №1. 13-17 с.

4. Томарева И.А. Проектирование подводных нефтегазопроводов: учеб. пособие // ВолгГАСУ, Волгоград, 2016. 91 с.

5. Харионовский В.В. Повышение прочности газопроводов в сложных условиях. – Л.:Недра, 1990. 180 с.

6. Казарновский В.Д., Гречищев С.Е., Пшеничникова Е.С., Шешин Ю.Б. методические рекомендации по применению объемной георешетки типа «Геовеб» при сооружении автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты западной Сибири (для опытного строительства) Государственный Дорожный Научно-Исследовательский Институт Фгуп «Союздорнии», 2003. 49 с.

7. Набокова Я.С. Эффективные строительные материалы и способы возведения зданий // Инженерный вестник Дона, 2008, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2008/96.

8. Hegde A, Kadabinakatti S and Sitharam T. Use of geocells to protect buried pipelines and underground utilities in soft clayey soils Geo-Chicago 9, 2016. Pp.14–24.

9. Moghaddas Tafreshi S N, Joz Darabi N., Dawson A. R. and Azizian M. Experimental evaluation of geocell and EPS geof foam as means of protecting pipes at the bottom of repeatedly loaded trenches International Journal of Geomechanics (Electronic Materials), 2020. Pp.21-30.

References

1. Viryasov A.N., Gostinin I.A., Semenova M.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1487.
2. Dimov L.A. Truboprovodnyy transport nefti. 2008. №2. 180 p.
3. Kolokolova N.A., Garris N.A. Transport i khranenie nefteproduktov. 2013. №1. pp 13–17.
4. Tomareva I.A. Proektirovanie podvodnyh neftegazoprovodov [Design of underwater oil and gas pipelines]: ucheb. Posobie. VolgGASU. Volgograd: 2016. 91 p.
5. Kharionovskiy V.V. Povyshenie prochnosti gazoprovodov v slozhnykh usloviyakh [Increasing the strength of gas pipelines in difficult conditions]. – L.:Nedra. 1990. 180 p.
6. Kazarnovskiy V.D., Grechishchev S.E., Pshenichnikova E.S., Sheshin Yu.B. metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu ob"emnoy georeshetki tipa «geoveb» pri sooruzhenii avtomobil'nykh dorog v rayonakh vechnoy merzloty zapadnoy Sibiri (dlya opytnogo stroitel'stva) [Methodological recommendations for the use of a geoveb-type volumetric geocell in the construction of roads in permafrost areas of western Siberia (for experimental construction)] Gosudarstvennyy Dorozhnyy Nauchno-Issledovatel'skiy Institut Fgup «Soyuzdornii». 2003. 49 p.
7. Nabokova Ya.S. Inzhenernyj vestnik Dona. 2008. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2008/96.
8. Hegde A, Kadabinakatti S and Sitharam T G. Geo-Chicago. 2016. № 9. pp 14–24.
9. Moghaddas Tafreshi S. N., Joz Darabi N, Dawson A. R. and Azizian M. International Journal of Geomechanics. 2020. pp 21-30.