

УДК 622.692.4.07(252.6)

**О ЗАКРЕПЛЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ НА БОЛОТАХ**

**ABOUT ANCHORAGE OF BURIED TRUNK PIPELINES
IN THE SWAMP**

Гулин Д.А., Шамилов Х.Ш., Хасанов Р.Р., Султанмагомедов С.М.

**ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический
университет», г. Уфа, Российская Федерация**

D.A. Gulin, Kh.Sh. Shamilov, R.R. Khasanov, S.M. Sultanmagomedov

FSBEI HPE “Ufa State Petroleum Technological University”

Ufa, the Russian Federation

e-mail: denis.ufa@list.ru

Аннотация. С началом эпохи освоения Западной Сибири проектировщики и строители различных линейных сооружений столкнулись с условиями, утяжеляющими строительство – многолетнемерзлые грунты, болотистая местность и большое количество естественных препятствий (водохранилища, озера, реки и ручьи). Трубопроводное строительство ощутило это на себе – любая ошибка в расчетах могла привести к потере устойчивости конструкции в продольном направлении. Для обеспечения проектного положения сооружения началась разработка специальных конструкций средств баллаستировки и закрепления трубопровода, каждая из которых имела определенные недочеты, ограничения по применению и особенности по технологии проведения работ. Область применения каждой конструкции, расчетные положения, а также их геометрические характеристики указывались в нормативно-технической документации тех времен. В настоящее время использование того или иного балластирующего

устройства обязывает подтверждать технико-экономическим расчетом, а количество различных применяемых средств закрепления значительно уменьшилось.

В настоящей статье рассмотрены вопросы закрепления подземных магистральных трубопроводов на болотах. Для этой цели рассмотрена классификация болот, территория их распространения, соответствующие конструктивные способы прокладки магистральных трубопроводов и формы выхода из проектного положения. Рассмотрены применяемые в различное время средства баллаستировки и закрепления трубопроводов и предложена их классификация. По результатам анализа установлены недостатки конструкций и предлагается новый вид вакуумного анкерного устройства, закрепляющего трубопровод в проектном положении на болотах, принцип действия которого основан на использовании несущей способности грунта и явлении присоса, возникающем между анкерным устройством и грунтом основания.

Abstract. Since the beginning of the era of the development of Western Siberia designers and builders of various linear structures encountered with conditions of weight construction - permafrost, moorland and plenty of natural obstacles (water reservoirs, lakes, rivers and streams). Pipeline construction has felt it on itself - any error in the calculations could lead to losing of stability of the structure in the longitudinal direction. To ensure the design position of the pipeline began to develop special designs ballasting devices and anchors, each of which has some shortcomings, limitations on the use of technology and features of the work. Scope of each design, the calculated position, as well as their geometric characteristics were specified in the technical standards of the time. Currently, the use of a ballasted device requires to confirm the technical and economic calculation, and the number of the means of anchors significantly decreased.

This article describes how to anchorage the buried trunk pipelines in the swamps. For this purpose we consider the classification of swamps, the area of

distribution, and the appropriate constructive ways of laying trunk pipelines and forms out of the design position. Considered used at different times means ballasting and secure the lines and offers their classification. According to the analysis of structures set their shortcomings and propose a new design of the vacuum anchoring device embodying the pipeline design position in the swamps. The principle of operation is based on the design of the bearing capacity of the soil and the suction phenomenon arising between the anchors and the foundation soil.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, обеспечение устойчивости, болота, балластирующие устройства, анкерные устройства.

Key words: trunk pipeline, stability maintenance, swamp, ballasting devices, anchors.

Вопросам обеспечения проектного положения трубопроводов посвящено большое количество трудов. Одними из самых полных можно считать работы А.Б. Айнбиндера, В.И. Черникина, Э.М. Ясина, П.П. Бородавкина, Л.И. Быкова и других. Частные вопросы строительства трубопроводов и их закрепления на болотах и многолетнемерзлых грунтах были рассмотрены в работах Н.П. Васильева [4], М.Я. Елисеева, А.К. Дерцакяна [7], Л.А. Димова [8] и др.

Болотом, в соответствии с [7], называется избыточно увлажненный участок земной поверхности, покрытый слоем торфа мощностью 0,5 м и более. Если же мощность торфяной залежи менее 0,5 м, то территория относится к заболоченной местности. Торф – это своеобразное, относительно молодое геологическое образование, создающееся в результате отмирания болотной растительности при избыточном количестве влаги и недостаточном доступе воздуха.

Доли площади земель территории Российской Федерации, занятых болотами, представлены на рисунке 1.

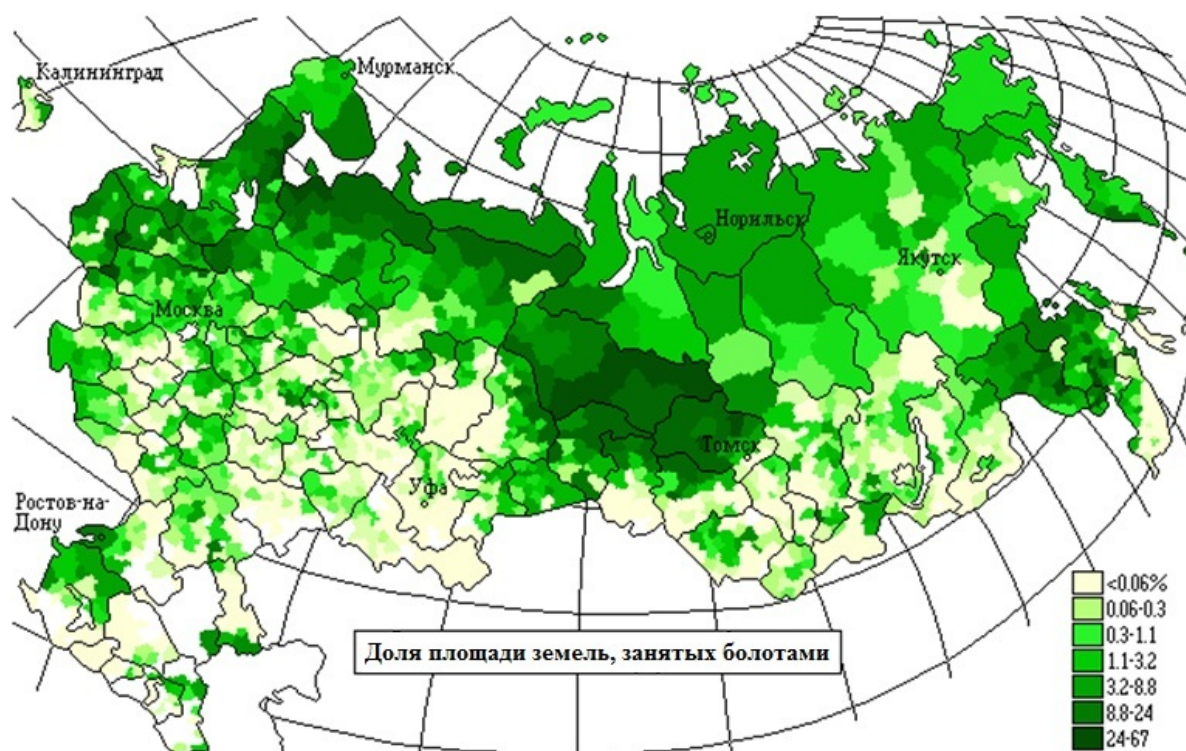


Рисунок 1. Доли площади земель Российской Федерации, занятые болотами

Конструктивная схема прокладки трубопровода и способ разработки траншей на заболоченных землях должны определяться рабочей документацией в зависимости от следующих типов болот [12]:

1) болота, целиком заполненные торфом, допускающие работу и неоднократное передвижение болотной техники с удельным давлением 0,02-0,03 МПа или работу обычной техники с помощью щитов, сланей, лежневых или других временных дорог, обеспечивающих снижение удельного давления на поверхность залежи до 0,02 МПа;

2) болота, целиком заполненные торфом, допускающие работу и передвижение строительной техники только по щитам, сланям или временным дорогам, обеспечивающим снижение удельного давления на поверхность залежи до 0,01 МПа;

3) болота, заполненные растекающимся торфом и водой с плавающей торфяной коркой, допускающие работу только специальной техники на понтонах или обычной техники с плавучих средств.

Выталкивающая архимедова сила, которая действует на трубопровод снизу вверх, и эквивалентное осевое продольное усилие от воздействия внутреннего давления и температурного перепада могут вывести трубопровод из первоначального проектного положения.

В настоящее время известны несколько форм выхода трубопроводов из проектного положения: выпучивание, перемещение протяженных участков на поверхность, арочные выбросы, всплытия, провисы. Таких участков газопроводов Западной Сибири, находящихся под ведомством ОАО «Газпром», насчитывается от 6% до 20% по длине [8]. По данным [9], свыше 22% ниток подводных переходов магистральных трубопроводов в неисправном состоянии, например, участки оголения трубопровода или изменения пространственного положения.

Капитальный ремонт, заключающийся в вырезке труб, находящихся в непроектном положении, с последующей заменой и балластировкой железобетонными утяжелителями позволяет бороться с проблемой. Тем не менее, темп производства работ не такой высокий по сравнению со скоростью роста дефектных участков (доходит до 100 км в год). Из строя выходят как уже эксплуатирующиеся газонефтепроводы, так и вновь строящиеся.

С появлением проблемы обеспечения проектного положения появилось много вопросов, один из которых – причина потери устойчивости в продольном направлении. Все причины можно подразделить на 2 группы:

- 1) ошибки, возникающие на этапах проектирования и строительства трубопровода;
- 2) воздействие окружающей среды на объект в процессе эксплуатации.

К первой группе могут быть отнесены ошибки проектировщиков, которые возникают на фоне плохой работы инженеров-геологов (недостоверные данные инженерно-геологических изысканий грунтов основания), или недочеты в расчетах. Кроме того, к этой группе относятся

ошибки в период строительства – нарушение таких расчетных параметров, как количество балластирующих устройств и средств закрепления трубопровода и шаг их расстановки.

Примерами второй группы будет являться агрессивное воздействие грунта основания на анкера и балластирующие устройства, их последующее разрушение и изменение механических свойств грунта в период эксплуатации (оттаивание грунтов, карстовые провалы, сейсмологическое воздействие и др.).

В результате, при обследовании трассы трубопровода выявляется просадка или выпучивание отдельных элементов, образование арок в вертикальной и горизонтальной плоскости, изменение конструктивной схемы прокладки трубопровода и другие различные признаки нарушения проектного положения [1].

Для обеспечения устойчивого положения трубопровода применяются различные балластирующие устройства и средства закрепления трубопровода. Конструкция и способы балластировки и закрепления магистральных трубопроводов определяются проектной документацией, исходя из конкретных условий строительства, материалов инженерно-геологических изысканий и расчетных нагрузок с учетом следующих основных факторов [12]:

- инженерно-геологические условия и рельеф местности;
- тип болот и мощность торфяной залежи на участке прокладки;
- уровень грунтовых вод;
- наличие углов поворота, кривых искусственного гнутья;
- метод и сезон производства строительно-монтажных работ;
- технико-экономические показатели.

Классификация и основные требования, предъявляемые к балластирующим устройствам и средствам закрепления трубопровода, представлены в нормативно-технической документации ведущих

предприятий по транспорту нефти, нефтепродуктов и газа, таких, как ОАО «АК «Транснефть» [10] и ОАО «Газпром» [13].

В руководящем документе [10] содержится алгоритм выбора балластирующих устройств. Критерии выбора следующие:

- 1) технический (возможность применения балластирующих устройств в конкретных условиях строительства);
- 2) экономический (на основании расчета экономической эффективности).

Обобщая все используемые конструкции балластирующих устройств и средств закрепления трубопровода, можно составить классификацию, выделив 2 основные группы (рисунок 2):

- 1) устройства, воздействующие собственным весом: чугунные (кольцевые), железобетонные (кольцевые, охватывающего и седловидного типов) и использующие грунт засыпки (каркасные и бескаркасные полимерконтейнерные грунтозаполненные утяжелители и габионного типа);
- 2) устройства, использующие несущую способность грунта (винтовые анкерные устройства, анкера раскрывающегося, стержневого типа и др.).

Конструкции балластирующих устройств и средств закрепления трубопроводов, предлагаемые действующей нормативно-технической документацией, имеют большое количество недостатков. Для первой группы – большая стоимость и массивность конструкций, ведущая к увеличению трудозатрат, для второй – сложность установки и демонтажа винтовых анкерных устройств.

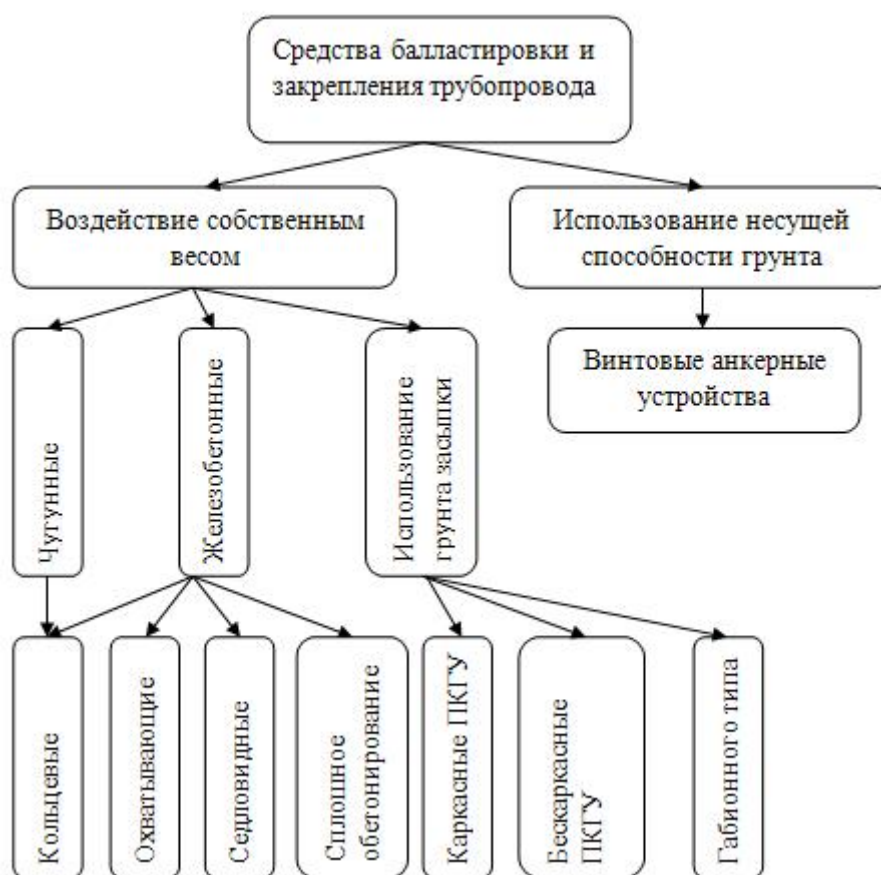


Рисунок 2. Классификация средств балластировки и закрепления трубопроводов

Применение чугунных кольцевых утяжелителей требует производства большого количества погрузочно-разгрузочных работ (погрузка на ж/д станции на полувагон, разгрузка с него и погрузка на полуприцеп, раскладка полуколец на бровке траншеи, монтаж нижнего полукольца на трубопроводе, монтаж верхнего полукольца). Конструкция является дорогостоящей и подвержена коррозионному воздействию грунтовых вод. Для защиты изоляционного покрытия от механического повреждения необходимо применять футеровку. Во время производства работ на переходе через водоемы методом протаскивания с применением таких утяжелителей возникает отрицательное явление – пассивный отпор грунта, что приводит к увеличению тягового усилия, кроме того возможны смещения грузов по трубопроводу, они препятствуют перемещению трубопровода по роликовой спусковой дорожке [2]. Поэтому кольцевые

утяжелители целесообразно применять при укладке подводных трубопроводов свободным погружением с поверхности водоема.

Для балластирующих устройств охватывающего типа (УБО) необходимо наличие специальных траверс при монтаже конструкций. Кроме того, из-за значительных габаритов железобетонных утяжелителей увеличивается объем земляных работ. В дополнение к этому, погружение трубопроводов на дно траншеи под действием грузов нежелательно, так как они могут опрокинуться [2].

Седловидные утяжелители имеют те же недостатки, что и конструкция УБО. Однако расположение центра тяжести выше оси трубопровода может привести к опрокидыванию груза.

Сплошное обетонирование обладает большим количеством преимуществ, таких, как стойкость к внешним воздействиям, производство обетонированных труб в заводских условиях, исключение возможности повреждения изоляционного покрытия, снижение вероятности деформирования основного металла трубы. Однако такая конструкция имеет ряд недостатков:

- снижение жесткости конструкции;
- дороговизна производства обетонированных труб;
- необходимость привлечения техники большой грузоподъемности, ввиду более тяжелых секций труб и специального оборудования для производства бетонных работ в трассовых условиях.

Полимерконтейнерные грунтозаполненные утяжелители (ПКГУ) имеют свои специфические особенности. Например, в [13] представлены требования к минеральному грунту – размер фракции, плотность, наличие льда и снега. Монтаж каркасных ПКГУ возможен только при помощи траверсы. В процессе производства земляных работ необходим более тщательный контроль геометрических параметров траншеи (габариты емкостей ПКГУ с учетом относительного удлинения ткани не должны превышать габаритов полнопрофильной траншеи).

Конструкции каркасного и бескаркасного ПКГУ предусматривают различие в последовательности производства работ. Если первая конструкция предусматривает заполнение грунтом после ее монтажа на трубопровод, то вторая обязывает загружать емкости после её установки в проектное положение. На продольных склонах из-за движения грунтовых вод возможно вымывание грунта, что снижает балластирующую способность утяжелителя.

Для заполнения грунтом емкостей как ПКГУ, так и утяжелителей габионного типа необходимо наличие минерального грунта, зачастую из карьера, что повышает объем погрузочно-разгрузочных и транспортных работ. Применение габионных утяжелителей обязывает защищать изоляционное покрытие от механических повреждений.

Вторая группа представлена анкерными устройствами. Винтовые анкера обладают рядом преимуществ перед устройствами, которые действуют собственным весом: наилучшее отношение удерживающая способность/масса анкера по сравнению с железобетонными утяжелителями; быстрая доставка на удаленные участки переходов; при применении ВАУ производится меньший объем погрузочно-разгрузочных и транспортных работ; изготовление в заводских условиях. Но, в тоже время, можно выделить и недостатки. Например, для их срочного извлечения необходимо наличие специальной техники, невозможно производство анкеров в полевых условиях. Руководящий документ ОАО «АК «Транснефть» [5] применение ВАУ для закрепления нефтепроводов не предусматривает.

Отмененные ведомственные строительные нормы [5] на проектирование и строительство магистральных и промысловых трубопроводов, прокладываемых на болотах, обводненной, заболоченной местности и многолетнемерзлых грунтах, рассматривали различные конструкции анкеров. В частности, раскрывающегося (АР) и стержневого типов. В актуализированной редакции предыдущего документа [6], кроме

модернизированной версии ВАУ с измененной режущей кромкой, предусматривается применение вмораживаемых винтовых и дисковых анкерных устройств. Свод правил [11] указывает на целесообразность выбора анкеров раскрывающегося типа, их применение должно подтверждаться технико-экономическим расчетом. Кроме того, документ содержит параметры свайного анкерного устройства раскрывающегося типа.

Ввиду большого количества преимуществ средств закрепления трубопровода, использующих несущую способность грунта, их нераспространенное применение в современном трубопроводном строительстве, можно судить о том, что конструкция ненадежна, операции по ее производству и монтажу трудозатратны и нерентабельны. Встает вопрос о новой конструкции, производство которой будет возможно в трассовых условиях.

Авторами предлагается специальная конструкция анкера, которая позволит удерживать трубопровод не только за счет несущей способности грунта, но и дополнительного сцепления, возникающего между анкерным устройством и грунтом. Схема анкера представлена на рисунке 3.

Силы, удерживающие трубопровод в проектном положении, следующие:

- 1) вес анкерного устройства;
- 2) сила трения по боковой поверхности анкера (подобно работе висячей сваи);
- 3) дополнительное сцепление, возникающее между анкерным устройством и грунтом.

Сцепление сочетает в себе усилие присоса и способность водонасыщенного грунта прилипнуть к поверхности анкера.

Присос на практике является отрицательным фактором. Например, при подъеме затонувших судов или при перестановке опирающихся на грунт глубоководных платформ присос препятствует производству работ, увеличивая усилие отрыва. В трубопроводном строительстве

увеличивается усилие протаскивания дюкера через водный переход в случае остановки процесса.

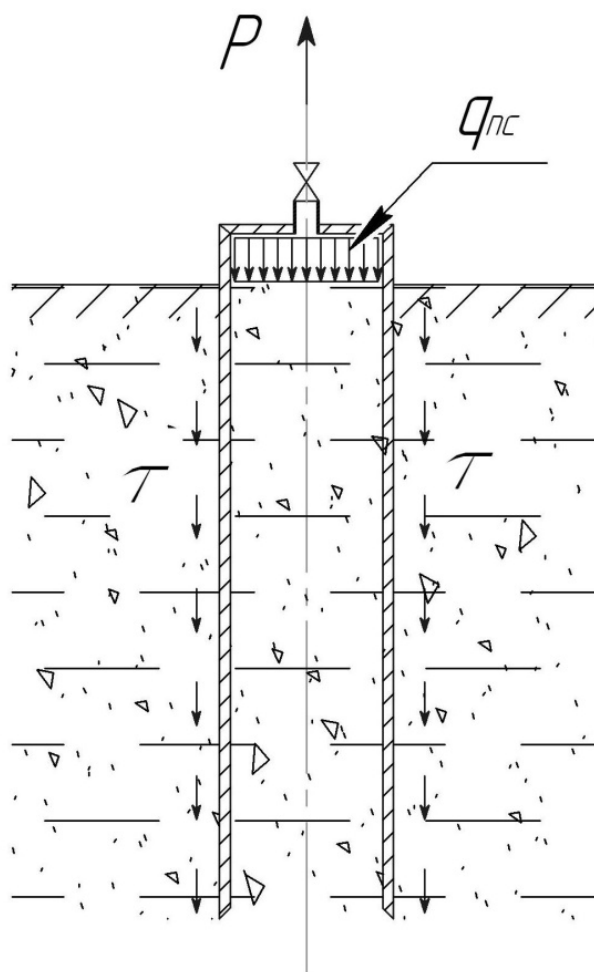


Рисунок 3. Схема анкерного устройства

По результатам экспериментов большое количество ученых-исследователей предложили эмпирические зависимости для оценки силы присоса [3]. В зависимостях учтены различные факторы, влияющие на усилие отрыва, которые были получены на основании испытаний моделей и штампов, но не могут быть применены к реальным объектам в виду недостаточной обоснованности.

Отмечается, что величина отрывающего усилия определяется не только силой присоса, но и способностью грунта прилипать к поверхности отрываемых штампов и тел. Даже на маловлажных грунтах отрыв штампов требует приложения определенных отрывающих усилий, дополнительных к весу штампа [2].

Выводы

Предлагаемая конструкция позволит решить ряд задач:

- упрощение технологии производства, ремонта и демонтажа устройства;
- снижение затрат на изготовление анкеров посредством использования бывших в употреблении труб;
- вовлечение в процесс закрепления трубопровода дополнительного усилия присоса и липкости грунта.
- возможность производства анкеров в полевых условиях.

Список используемых источников

- 1 Непроектные положения газопроводов, проложенных подземным способом в районах многолетнемерзлых грунтов / Большаков А.М. [и др.] // Газовая промышленность. № 4. 2014. С. 66-69.
- 2 Бородавкин П.П., Березин В.Л., Шадрин О.Б. Подводные трубопроводы. М.: Издательство «Недра», 1979. 415 с.
- 3 Бугров А.К., Голубев А.И. Расчетная оценка усилия отрыва от водонасыщенного грунта сооружения с неплоской подошвой // Реконструкция городов и геотехническое строительство: Интернет-журнал 2002. №5. С. 86-91.
- 4 Васильев Н.П. Балластировка и закрепление трубопроводов; Под науч. ред. П.П. Бородавкина. М.: Издательство «Недра», 1984. 166 с.
- 5 ВСН 007-88 Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Конструкции и балластировка. М.: Миннефтегазстрой, 1989. 37 с.
- 6 ВСН 39-1.9-003-98 Конструкция и способы балластировки и закрепления подземных газопроводов. М.: ОАО «Газпром», 1998. 47 с.
- 7 Дерцакян А.К., Васильев Н.П. Строительство трубопроводов на болотах и многолетнемерзлых грунтах. М.: изд-во «Недра», 1978. 167 с.

8 Димов Л.А., Богушевская Е.М. Магистральные трубопроводы в условиях болот и обводненной местности. М.: «Горная книга», изд-во Московского гос. горного ун-та, 2010. 392 с.

9 Крылов П.В., Шарохин В.Ю., Решетников А.Д. Эффективность применения обетонированных труб при строительстве и капитальном ремонте газопроводов // Газовая промышленность. №8. 2014. С. 70-71.

10 РД 91.200.00-КТН-044-11. Регламент применения балластирующих устройств при проектировании и строительстве магистральных трубопроводов. М.: ОАО «АК «Транснефть», 2011. 36 с.

11 СП 107-34-96. Балластировка, обеспечение устойчивости положения газопроводов на проектных отметках. М.: РАО «Газпром», 1996. 28 с.

12 СП 86.13330.2014. Магистральные трубопроводы (Актуализированная редакция СНиП III-42-80*)/Госстрой. М.: ФАУ «ФЦС», 2014. 227 с.

13 СТО Газпром 2-2.2-577-2011. Средства балластировки и закрепления газопроводов в проектном положении. Технические требования. М.: ООО «ВНИИГАЗ», 2012. 32 с.

References

1 Bol'shakov A.M., Syromyatnikova A.S., Alekseeva A.A., Ivanov A.R. Neproektnye polozheniya gazoprovodov, prolozhennykh podzemnym sposobom v rajonakh mnogoletnemerzlykh gruntov // Gazovaya promyshlennost'. №4. 2014. С. 66-69. [in Russian].

2 Borodavkin P.P., Berezin V.L., Shadrin O.B. Podvodnye truboprovody. М.: Izdatel'stvo «Nedra», 1979. 415 с. [in Russian].

3 Bugrov A.K., Golubev A.I. Raschetnaya ocenka usiliya otryva ot vodonasycshennogo grunta sooruzheniya s neploskoj podoshvoj // Internet-zhurnal "Rekonstrukciya gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo" №5. 2002. С. 86-91. [in Russian].

4 Vasilev N.P. Ballastirovka I zakreplenie truboprovodov. Pod nauchnoj redakciej P.P. Borodavkina. M.: Izdatel'stvo "Nedra", 1984. 166 c. [in Russian].

5 VSN 007-88 Stroitel'stvo magistral'nykh i promyslovykh truboprovodov. Konstrukcii I ballastirovka. M.: Minneftegasstroy, 1989. 37 c. [in Russian].

6 VSN 39-1.9-003-98 Konstrukciya i sposoby ballastirovki i zakrepleniya podzemnykh gazoprovodov. M.: OAO "Gazprom", 1998. 47 c. [in Russian].

7 Dercakyan A.K., Vasilev N.P. Stroitel'stvo truboprovodov na bolotakh i mnogoletnemerzlykh gruntakh. M.: Izdatel'stvo "Nedra", 1978. 167 c. [in Russian].

8 Dimov L.A., Bogushevskaya E.M. Magistral'nye truboprovody v usloviyakh bolot i obvodnennoj mestnosti. M.: Izdatel'stvo "Gornaya kniga", Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta, 2010. 392 c. [in Russian].

9 Krylov P.V., Sharokhin V.Yu., Reshetnikov A.D. Effektivnost' primeneniya obetonirovannykh trub pri stroitel'stve i kapital'nom remonte gazoprovodov // Gazovaya promyshlennost'. №8. 2014. С. 70-71. [in Russian].

10 RD 91.200.00-KTN-044-11. Reglament primeneniya ballastiruyusch ustroystv pri proektirovanii i stroitel'stve magistral'nykh truboprovodov. M.: OAO "AK "Transneft", 2011. 36 c. [in Russian].

11 SP 107-34-96. Ballastirovka, obespechenie ustojchivosti polozheniya gazoprovodov na proektnykh otmetkakh. M.: RAO "Gazprom", 1996. 28 c. [in Russian].

12 SP 86.13330.2014. Magistral'nye truboprovody (Aktualizirovannaya redakciya SNIp III-42-80*)/Gosstroj. M.: FAU "FCS", 2014. 227 c. [in Russian].

13 STO Gazprom 2-2.2-577-2011. Sredstva ballastirovki i zakrepleniya gazoprovodov v proektnom polozhenii. Tekhnicheskie trebovaniya. M.: OOO "VNIIGAZ", 2012. 32 c. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Гулин Д.А., аспирант кафедры «Сооружение и ремонт газонефтепроводов и газонефтехранилищ», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

D.A. Gulin, Post-graduate Student of the Chair “Construction and Repair of Oil and Gas Pipelines and Storages” FSBEI NPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: denis.ufa@list.ru

Шамилов Х.Ш., аспирант кафедры «Сооружение и ремонт газонефтепроводов и газонефтехранилищ», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Kh.Sh. Shamilov, Post-graduate Student of the Chair “Construction and Repair of Oil and Gas Pipelines and Storages” FSBEI NPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

Хасанов Р.Р., канд. техн. наук, доцент кафедры «Сооружение и ремонт газонефтепроводов и газонефтехранилищ», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

R.R. Khasanov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair “Construction and Repair of Oil and Gas Pipelines and Storages” FSBEI NPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

Султанмагомедов С.М., д-р техн. наук, профессор кафедры «Сооружение и ремонт газонефтепроводов и газонефтехранилищ», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

S.M. Sultanmagomedov, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair “Construction and Repair of Oil and Gas Pipelines and Storages” FSBEI NPE USPTU, Ufa, the Russian Federation