

Строительство и реконструкция трубопроводов в условиях веч- ной мерзлоты

Вечномерзлые грунты занимают 65 % территории России, что составляет около 11 млн км². К ним относятся грунты, занимающие Арктику, часть Архангельской области, Республику Коми и большую часть Сибири. Средняя температура за год на этих территориях имеет значения ниже нуля, а грунт содержит в своём составе лёд. В таких условиях выбор способа прокладки трубопровода представляет собой сложную задачу и требует комплексного подхода, учитывающего структуру грунта, особенности методов строительства, температурные характеристики грунта и транспортируемой воды.

В российской практике с проблемой строительства трубопроводных систем в суровых климатических условиях столкнулись уже при строительстве Транссибирской железнодорожной магистрали. Это привело к разработке специальных конструкций трубопроводов, даже не считаясь с дороговизной сооружений и последующей их эксплуатации, так как опыта строительства таких систем не было ни в России, ни за рубежом.

В статье рассмотрены способы строительства и реконструкции трубопроводов в условиях вечной мерзлоты, используемые на сегодняшний день. Одним из путей решения задач эффективной эксплуатации действующих трубопроводных систем является своевременное проведение на них ремонтно-восстановительных работ, в том числе с помощью бестраншейных технологий [1, 2]. Ремонт и модернизация трубопроводов должны сопровождаться улучшением гидравлических характеристик внутренних поверхностей безнапорных трубопроводов и открытых лотков, транспортирующих ливневые и сточные воды [3, 4].

Современный строительный рынок предлагает широкий ассортимент полимерных и композиционных материалов защитных покрытий (облицовок, изоляции и т.д.) с малыми гидравлическими

Одним из путей решения задач эффективной эксплуатации действующих трубопроводных систем является своевременное проведение на них ремонтно-восстановительных работ, в том числе с помощью бестраншейных технологий

сопротивлениями [5]. Оперативное нанесение на внутреннюю поверхность ветхих трубопроводов подобных покрытий с помощью бестраншейных методов ремонта позволяет содействовать решению задач эффективного транспортирования вод, содержащих инородные включения, без их осаждения в лотковых частях труб [6].

Материалы и методы исследований

Главным фактором, определяющим особенности мерзлых грунтов, как природных образований, при использовании их в качестве оснований зданий и сооружений, является наличие в них льда [1].

Термодинамические процессы, происходящие в период эксплуатации трубопроводов, оказывают влияние на грунты. Присутствующая в порах грунта вода при понижении температур превращает грунт в твёрдую субстанцию, в которой образующийся лёд выполняет функцию связующего. В результате вспучивания грунта (морозного пучения) может наблюдаться неравномерный подъём грунтового массива вдоль трассы трубопровода [2].

Температура верхней границы зоны нулевых годовых амплитуд и толщина поверхностного грунта, ежегодно оттаивающего летом и замерзающего зимой и именуемого как «деятельный слой», являются основными характеристиками температурного режима вечномерзлых грунтов. На глубине около 12–15 м грунты имеют отрицательную температуру. В южных районах данная температура составляет от 0 до –3 °С, а в северных до –12 °С.

Рецензия эксперта на статью получена 11.05.2021 [The expert review on the article received on May 11, 2021].

УДК 628.462 + 625.768. Научная специальность: 05.23.04.

Строительство и реконструкция трубопроводов в условиях вечной мерзлоты

В. А. Орлов, д.т.н., профессор; **В. А. Нечитаева**, доцент; **Д. А. Петербургский**, аспирант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Строительство и реконструкция трубопроводов инженерных коммуникаций на территориях вечномерзлых грунтов связано со многими сложностями природно-климатического, производственного и эксплуатационного характера. Приведена краткая характеристика мерзлых грунтов и влияние на них строительных работ при прокладке трубопроводов. Рассмотрены различные способы строительства трубопроводов и их реконструкции в условиях вечной мерзлоты.

Ключевые слова: вечная мерзлота, характеристика грунтов, прокладка трубопровода, реконструкция.

UDC 628.462 + 625.768. Scientific specialty number: 05.23.04.

Construction and reconstruction of pipelines in permafrost conditions

V. A. Orlov, Doctor of Technical Sciences, Professor; **V. A. Nechitaeva**, Associate Professor; **D. A. Peterburgskiy**, postgraduate student, Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)

Construction and reconstruction of pipelines of engineering communications in the territories of permafrost soils with numerous difficulties of natural-climatic, production and operational nature. A brief description of frozen soils and the effect of construction work on them during the laying of pipelines is given. Various methods of pipeline construction and their reconstruction in permafrost conditions are considered.

Key words: permafrost, soil characteristics, pipeline laying, reconstruction.

Несущая способность грунтов снижается при переходе грунтов из мёрзлого состояния в талое. Сезонное и многолетнее промерзание и оттаивание горных пород в сочетании с их составом вызывают широкое развитие криогенных явлений [3]. Ниже будут рассмотрены способы строительства и реконструкции трубопроводов в данных условиях. Одной из главных проблем при устройстве трубопроводных сетей в районах вечномёрзлых грунтов является прокладка трубопроводов. На практике применяются следующие виды прокладки сетей: подземная, надземная и наземная.

Наиболее существенные геологические изменения происходят при подземной прокладке, где практически полностью уничтожается растительный покров в пределах всей полосы трассы. Уничтожению также подвергаются кустарник, травостой и мохорастительный покров с дерниной, а на отдельных участках — и слой почв [3]. После проведения раскопных работ растительность возобновляется очень медленно. На склонах крутизной более 10–15° растительность не восстанавливается, так как при прохождении по ним строительных машин и механизмов повреждается почвенный слой под влиянием процессов термоэрозии и солифлюкции (медленного вязкопластического течения на склонах переувлажнённых почв и тонкодисперсных грунтов в условиях их попеременного промерзания, протаивания и действия силы тяжести).

Уничтожение растительности приводит к увеличению летней инсоляции (облучению земной поверхности солнечной радиацией) поверхностных отложений, улучшению условий инфильтрации. В зависимости от рельефа, состава и особенно



льдистости грунтов степень нарушения растительности и почвы существенно различается. На сильнольдистых грунтах уничтожение растительности при строительстве трубопроводов, как правило, сопровождается уничтожением почв и активным развитием термокарста, термоэрозии и солифлюкции. Рекультивация покровов в этом случае требует проведения сложных дополнительных мероприятий. На малольдистых грунтах почва нарушается незначительно, почвенный покров частично сохраняется, что облегчает его рекультивацию. Всё это в целом приводит к существенному изменению теплообмена на поверхности и в грунтах. Суммарное влияние всех изменений на поверхности почвы при строительстве трубопроводов в целом приводит к нарушению теплообмена и понижению среднегодовой температуры грунтов на трассе трубопровода на 1–2°C по сравнению с естественными условиями [4].

Показателен опыт прокладки инженерных коммуникаций на сибирских железнодорожных магистралях, где за основу была принята стандартная для европейской части России технология укладки труб в траншеи с теплоизоляцией на глубину 2–2,5 м. В диссертационной работе А. В. Гинзбурга [5] указывается, что 84% обследованных участков подземной прокладки трубопроводов находятся в аварийном состоянии. Основными причинами выхода из строя трубопроводов является замерзание воды в трубах, приводящее к образованию ледовых пробок, разрушению стыковых соединений, а также сварных швов.

В современной практике строительства водоотводящих сетей используется несколько типов искусственных оснований под трубопроводы, которые возможны в условиях вечной мерзлоты. К ним можно отнести свайные фундаменты, продольные лежневые опоры, сплошные настилы из пластин, уложенных поперёк траншеи, и подземные эстакады. При этом сложность, трудоёмкость и дороговизна данных методов не позволяют считать их рациональными решениями. Более простым, но не менее надёжным методом считается устройство грунтового основания. Его можно устроить путём замены местного грунта в основании или выполнением мероприятий по предварительному оттаиванию и уплотнению местного грунта.

Замена грунтов проводится на глубине расчётного протаивания их под трубопроводом. Ширина искусственного основания принимается равной ширине траншеи. На искусственное основание под трубу укладывается гидроизолирующий слой, например, глинобетон, где должен размещаться и трубопровод, как это показано на рис. 1 [5].

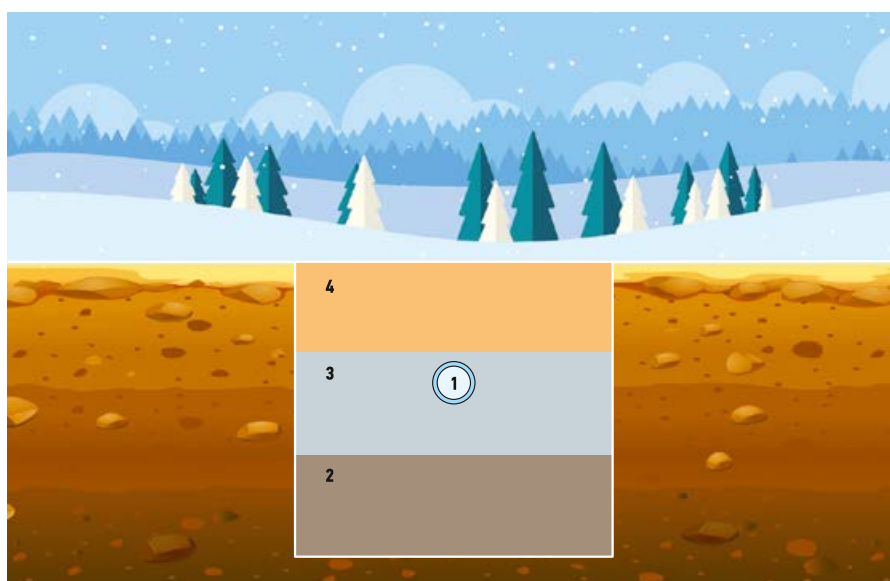


Рис. 1. Схема прокладки канализационного трубопровода в земле на грунтовом основании (1 — трубопровод; 2 — заменённый грунт; 3 — глинобетон или глина; 4 — местный грунт)

При проведении работ по замене грунтов основания следует использовать местный уплотнённый малопросадочный грунт с малым коэффициентом фильтрации. Высота заменяемого слоя грунта в основании трубопровода зависит от вида заменяемых просадочных грунтов, глубины заложения трубы и её диаметра.

Необходимо отметить, что классические технические решения подземной прокладки трубопроводов в вечномёрзлых почвах крайне расточительны с экономической точки зрения. Это обстоятельство ведёт к необходимости разработки новых технических решений с учётом контроля температурного режима грунтовых оснований, который способен компенсировать или предотвратить негативное воздействие тепла на трубопровод.



:: Фото 1. Надземная прокладка трубопровода



Однако недостатком данного метода является необходимость разработки грунтов. Это может повлиять на долговечность и надёжность зданий, сооружений и трубопроводных трасс — чем меньше разработано мерзлотно-грунтовое основание, тем выше надёжность и долговечность сооружаемых конструкций.

Способ надземной прокладки находится всё большее применение (фото 1), однако его рекомендуют применять вне населённых мест. Основным фактором, влияющим на успех реализации надземной прокладки трубопроводов, являются климатические условия в конкретных районах строительства. Абсолютный перепад температур составляет от -56°C зимой до $+34^{\circ}\text{C}$ летом, плюс сильные ветры со скоростью свыше 40 м/с, тундра с карликовой растительностью, болота, значительные территории с многолетнемёрзлым грунтом. Вследствие этого трубопроводы надземной прокладки на сезонно оттаивающих грунтах испытывают неравномерную осадку опор, что отражается на надёжности и безопасности их эксплуатации.

Для непросадочных грунтов основания самым простым и дешёвым типом является прокладка трубопроводов по поперечным опорам, проложенным на естественной или планируемой поверхности или на земляных призмах. Однако опоры данного типа проектируют незначительной высотой, что при небольшой просадке приводит к контакту трубопровода с поверхностью земли. При этом наружная изоляция труб увлажняется и может потерять присущие ей теплоизоляционные свойства. При устройстве таких опор на них целесообразно укладывать

Для непросадочных грунтов основания самым простым и дешёвым типом является прокладка трубопроводов по поперечным опорам, проложенным на естественной или планируемой поверхности или на земляных призмах. Однако опоры данного типа проектируют незначительной высотой

трубопроводы в основном небольших диаметров из относительно лёгких материалов, таких как асбестоцемент, полипропилен и т.д.

Более совершенным типом опор могут служить городковые опоры, которые по причине особенностей их проектирования и строительства обеспечивают достаточный просвет между нижней частью трубопровода и поверхностью земли вдоль трассы. В случае проектирования трубопроводов над сильнопросадочными и льдонасыщенными грунтами устраивают свайные основания из железобетонных опор или деревянных брусков.

Заслуживает особого внимания разработанный С. А. Тимашевым метод «расчёта надёжности в пространстве нагрузок», который предлагает при расчётах нагрузок считать постоянными величинами собственный вес конструкции, перекачиваемый продукт и рабочее давление транспортируемой среды. При этом за переменные величины принимаются: кинематическое воздействие от просадки (пучения) опор, воздействие от ветровой нагрузки, степень повреждения (дефектности) трубопроводов. В этом случае строится допустимая зона по условно-предельному состоянию, то есть достижению эквивалентными напряжениями предела текучести материала трубы, а трубопровод рассматривается как многопролётная неразрезная тонкостенная трубчатая балка [6].

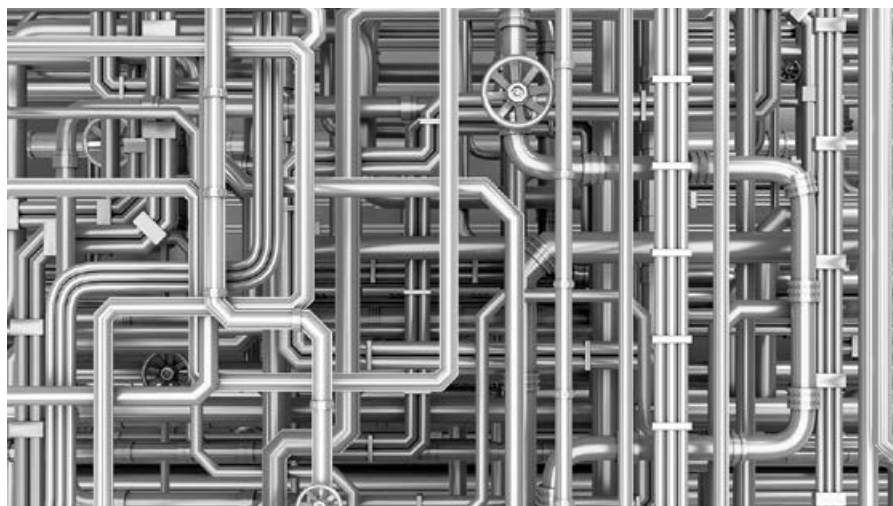
К современным техническим решениям конструкции опор можно отнести специальные опоры, снабжённые трубчатыми системами, противодействующими промораживанию почвы, её пучению и сейсмической активности, что не может гарантировать безаварийную эксплуатацию трубопроводов.

В частности, при пучении грунтов образуются искусственные бугры, что ведёт к неравномерному выпучиванию свай, достигающему нескольких десятков сантиметров. При этом теряется устойчивость самого трубопровода по причине смещения положения оси, что может явиться причиной аварийной ситуации.

Тем не менее, по заключениям специалистов, одним из лучших решений строительства трубопроводов на Крайнем Севере является именно надземный способ. При этом обязательным условием должно быть максимальное соответствие проектных и строительных работ требованиям экологической безопасности.

Также надземный способ максимально соответствует идее наименьшей разработки грунта по трассе прокладки трубопроводной сети. При значительной удалённости места прокладки трубопроводов, сопровождаемой сложностями в организации доставки материалов и оборудования на трассу и отсутствием теплоизоляционных материалов трубопроводов, в качестве альтернативы свайным основаниям возможна прокладка одиночных ниток трубопровода в земляных валиках, что можно охарактеризовать как наземный способ прокладки.

Достоинство данной технологии строительства трубопроводов заключается в том, что не требуется вмешательство в грунтовый массив с соответствующими материальными и экологическими последствиями в виде повышения затрат на строительство, нарушения растительного покрова, препятствия ветровым нагрузкам, которые присутствуют при надземном способе. Кроме того, в сейсмически активных зонах трубопровод в насыпи не испытывает дополнительных усилий от возможных подвижек грунта и не имеет с грунтовым массивом жёсткой связи.



Для сравнения отметим статистику отказов работы и эксплуатации трассы Соленинское — Месоха — Норильск, которая показала, что частота отказа на 1 км трассы при подземном способе прокладки трубопровода составляет 3,0, при надземном — 0,42, а при наземном — 0,13 [7]. Но в качестве недостатка наземной прокладки следует отнести загромождение территории и увеличенную снегозаносимость трассы трубопровода.

Результаты исследований

Общая тенденция последних десятилетий по широкому распространению бестраншейных технологий для строительства и ремонта трубопроводных систем не могла не коснуться районов Крайнего Севера. Как известно, бестраншейные технологии позволяют осуществлять прокладку трубопроводов в свободном подземном пространстве без проведения земляных работ или с минимальным их объёмом.

Наиболее распространены следующие методы бестраншейного строительства: продавливание, горизонтально-направ-

ленное бурение (ГНБ), наклонно-направленное бурение (ННБ), тоннельная проходка (микротоннелирование).

Метод продавливания является универсальным способом прокладки кожухов труб, отличается экологичностью, позволяя сохранить уникальный растительный покров, а также оставить нетронутыми дорожные насыпи и покрытия. Суть данного метода заключается в продавливании специального кожуха гидравлическим домкратом. Кожух, который вдавливается в землю открытым концом, имеет кольцевой нож с наружными и внутренними скосами. Прокладку данным методом производят звеньями (модулями) труб по 6–12 м, которые наращиваются с помощью сварки.

Горизонтально-направленное бурение представляет собой способ прокладки трубопроводов без разработки грунта и рытья траншей. Процесс производится бурением криволинейной скважины буровыми штангами из стартового котлована в финишный или без сооружения котлованов. Движение штанг по будущей трассе трубопровода осуществляется с использованием специальных домкратных установок. Последующая прокладка труб производится за счёт обратного поступательного движения штанг из финишного котлована в стартовый с использованием набора специальных расширителей, соответствующих диаметру протаскиваемого трубопровода.

Для бестраншейной прокладки трубопровода методом ГНБ рекомендуется использовать стальные, чугунные и полиэтиленовые трубы [9].

В местах пересечения прокладываемого трубопровода с железными дорогами и автотрассами, а также на болотистой местности и в грунтах с высоким уровнем подземных вод используют метод наклонно-направленного бурения.



❖ Мыс Ньюля близь Магадана относится к Крайнему Северу с его суровым климатом

Данный метод допускает прокладку трубопроводов вне пределов плоскости скольжения оползающих грунтов и зон затопления, а также при ширине перехода более 100 м. Ограничивающими факторами могут являться необходимость соблюдения определённого радиуса изгиба трубы и геологические условия района прокладки.

Технология микротоннелирования заключается в отрывке двух котлованов — стартового и приёмного. Расстояние между ними составляет от 50 до 500 м. В стартовом котловане устанавливается домкратная станция. Если длина участка превышает 200 м, то устраивается промежуточная домкратная станция. Домкраты передают толкающее усилие к микротоннелепроходческому щиту с режущим инструментом (фото 2) через колонну труб, которую наращивают по мере движения вперёд. Данный метод можно применять в твердомёрзлых грунтах с применением бурового тиксотропного (например, глинистого) раствора, который обеспечивает устойчивость стенок скважины за счёт их смазки, приводящей к снижению сопротивления при движении щита в горизонтальной скважине [10].

На практике используется множество способов бестраншейной реконструкции трубопроводов, среди которых можно выделить нанесение цементно-песчаных и полимерных внутренних защитных покрытий, протаскивание полимерных рукавов (рубашек) и полимерных труб различного поперечного профиля. Выбор метода зависит от длины ремонтируемого участка, материала труб, степени износа, характера дефектов, а также от диаметра трубопровода, наличия грунтовых вод, вида транспортируемой среды.



:: Фото 2. Общий вид проходческого щита в шахте

Самым простым и дешёвым из перечисленных выше способов реновации трубопроводов является нанесение цементно-песчаных покрытий (ЦПП). Минимальная толщина слоя зависит от диаметра и материала труб, а требуемая — от толщины стенок, физического состояния (степень износа) и возраста труб. Технология нанесения ЦПП не зависит от глубины залегания труб и типа грунта. Метод используется при коррозионных обрастаниях, абразивном износе, но он неэффективен при смещении труб в стыках, деформации труб, при раскрытии стыков и сильном абразивном износе. Отличительной особенностью метода нанесения ЦПП является то, что он не обеспечивает увеличения несущей способности трубы.

Другим способом бестраншейной реконструкции является использование сплошных металлических покрытий. На фото 3 представлен рукав из нержавеющей стали, который классифицируется как защитное металлическое покрытие.

Конструкция рукава состоит из двухслойной фольги (0,2–0,4 мм). По краям фольга сваривается с наружным покрытием из специального термопластичного клеевого состава и ворсистого синтетического материала (полиэфирного иглопробивного волокна). Ворсистый материал создаёт дополнительную несущую способность ремонтируемой трубопроводной системы после процесса протягивания рукава внутрь подлежащего реновации трубопровода, тепловой диффузии клеящего вещества через него к внутренней поверхности старой трубы и последующего затвердевания. Применять данный метод возможно на трубопроводах диаметром от 100 до 600 мм.

Данная технология благодаря небольшим габаритам по ширине рукава не требует разработки траншеи и может быть проведена через люк смотрового колодца. За одну проходку возможно реконструировать участки длиной до 200 м. Отличие данной технологии состоит в том, что протяжку рукава можно осуществлять при любых температурах (даже отрицательных) и при практически полном износе трубопровода. Нержавеющая сталь обеспечивает сохранение высокого качества транспортируемой питьевой воды, не допуская появления коррозии на внутренних стенках трубы.

Недостатком метода является недостаточная гибкость и эластичность протягиваемого рукава, провоцирующего образование складок в изгибах трубы. Радиус изгиба подобных труб не должен превышать величины 30° [11].

На практике нашёл применение метод протаскивания в трубопровод гибких полимерных рукавов («чулков»). Его используют для труб круглого и овального сечения диаметром от 600 до 3000 мм. Пропитанный органической смолой рукав аккуратно вводят в трубу под давлением.



:: Фото 3. Рукав из нержавеющей стали



:: Фото 4. Подача полимерного чулка в трубопровод

Подобный «чулок» может проходить изгибы до 90°. «Чулок» абсолютно герметичен и способен восстановить несущую способность трубопровода (фото 4).

Введение и закрепление отверждаемых на месте оболочек в трубопроводе может достигаться двумя путями. Первый способ заключается в протаскивании бесшовного гибкого полимерного рукава на всю протяжённость реконструируемого участка между двумя колодцами. При этом распрямление «чулка» происходит под давлением тёплого воздуха, воды или пара. Вторым способом отличается плавным введением скрученной в рулон оболочки в виде «чулка» (лайнера) в санируемый участок с последующим его выворотом. Прижатие к стенке и полимеризация органической смолы осуществляется давлением жидкости или пара. На сегодняшний день освоена инновационная технология полимеризации «чулка» ультрафиолетовым облучением, которое производится в ночное время при отсутствии воздействия дневного света.

Наиболее распространённым методом санации в условиях вечной мерзлоты среди методов бестраншейной реконструкции трубопроводов является метод протаскивания в старый трубопровод нового. Данный метод имеет две разновидности: без разрушения и с разрушением ремонтируемого трубопровода. Однако в условиях вечной мерзлоты метод с разрушением трубопровода не нашёл применения. Причиной этого является возможность периодического оттаивания и последующего замораживания грунта, провоцирующего вероятность пучения грунта, что способно привести к повреждению нового трубопровода остатками старой разрушенной трубы.

В основе реализации данного метода лежит протягивание полиэтиленовой трубы, например, напорной трубы из поли-

этилена низкого давления (ПНД), в реконструируемый трубопровод. Метод можно использовать для трубопроводов, имеющих сквозную коррозию или другие значительные дефекты труб.

Преимуществом метода состоит в том, что не требуется вскрытие дорожного полотна, стоимость технологических операций незначительна, практически отсутствуют технические осложнения.

Наибольшее распространение в условиях вечной мерзлоты среди методов бестраншейной реконструкции трубопроводов получил метод протаскивания в старый трубопровод нового. Метод имеет две разновидности: без разрушения и с разрушением трубопровода

Протягивание производится из траншеи, вырытой в начале ремонтируемого участка трубопровода, или из колодца. Перед вводом новые участки труб свариваются друг с другом. Метод подходит для реконструкции прямолинейных участков длиной в несколько сотен метров и труб большого диаметра.

В качестве результатов исследования произведён анализ характера вихреобразования в однофазных потоках и перемещения твёрдых фракций различного гранулометрического состава в двухфазных потоках при различных наполнениях. Характер вихреобразования определялся путём визуальной фиксации преломления отражённой на поверхности воды линии тени (теневого дорожки) от специальных светильников. При этом были проведены эксперименты в двух режимах, то есть с использованием одно- и двухфазного потоков.

Выводы

1. Метод прокладки трубопроводов в условиях Крайнего Севера напрямую зависит от характера грунтов основания, степени их просадочности и несущей способности и может быть подземным, надземным и наземным.
2. Практически все известные методы бестраншейной прокладки трубопроводов пригодны для регионов Крайнего Севера с их вечномёрзлыми грунтами.
3. Практика показывает, что наиболее распространённым методом бестраншейного строительства трубопроводов в условиях вечной мерзлоты является горизонтально-направленное бурение.
4. Наиболее распространённым методом санации трубопроводов, эксплуатируемых в условиях вечномёрзлых грунтов, является метод протаскивания в старый трубопровод новой полимерной трубы, при этом метод применяют только без разрушения старого трубопровода.
5. Не исключается метод реконструкции трубопроводов в условиях вечной мерзлоты с помощью нанесения набрызгиваемых покрытий при условии применения специализированных присадок, которые понижают температуру схватывания (полимеризации) покрытий до -40°C .

1. Руководство по проектированию оснований и фундаментов на вечномёрзлых грунтах / НИИОПС им. Н.М. Герсманова. — М.: Стройиздат, 1980. 303 с.
2. Салаватов С.Ю. Характеристика мёрзлых грунтов при инженерно-геологических изысканиях // Символ науки, 2017. №1–2. С. 32–33.
3. Железняк М.Н., Шац М.М. Геокриологические и геотехнические условия магистрального газопровода «Сила Сибири» на современном этапе завершения строительства // Газовая промышленность, 2018. №8. С. 86–91.
4. Латыпова Р.И. Влияние строительства подземного трубопровода на мерзлотный режим грунтов / Мат. 62-й Науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных УГНТУ. Кн. 1. — Уфа: УГНТУ, 2011.
5. Гинзбург А.В. Повышение эффективности работы систем водоснабжения и водоотведения в сложных природных условиях: Дис. канд. техн. наук по спец. 05.23.04. — М.: ГАСИС, 2005. 265 с.
6. Харионовский В.В. Повышение прочности газопроводов в сложных условиях. — Л.: Недра (ленингр. отд-ние), 1990. 179 с.
7. Колоколова Н.А., Гarris Н.А. О выборе способа прокладки трубопроводов в районах вечной мерзлоты // Транспортников и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья, 2013. №1. С. 13–17.
8. Рило И.П., Желудкова К.А., Клещин Д.А. Замораживание и термостабилизация грунтов в криолитозоне // Трубопроводный транспорт: теория и практика, 2015. №4. С. 22–27.
9. Морозова Ю.А. Бестраншейная прокладка трубопроводов технологией горизонтально-направленного бурения // Инновационная наука, 2018. №11. С. 34–36.
10. Зарипов Р.Ф., Коробков Г.Е. Защита арктических трубопроводов // Деловой журнал «Neftegaz.ru», 2018. №12. С. 28–33.
11. Киборт И.Д., Исупова Е.В. Бестраншейный ремонт трубопровода в условиях Крайнего Севера / Мат. XII Межд. молодёжн. научн. конф. «Севергеоэкотех-2011». Ч. 4. — Ухта: УГТУ, 2011. С. 88–91.

References — see page 78.

Construction and reconstruction of pipelines in permafrost conditions. Pp. 18–23.

Vladimir A. Orlov, Doctor of Technical Sciences, Professor; **Valentina A. Nechitaeva**, Associate Professor; **Dmitry A. Peterburgskiy**, postgraduate student, Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGUSU)

1. *Rukovodstvo po projektirovaniyu osnovanij i fundamentov na vechnomerzlyh gruntah* [Guidelines for the design of foundations and foundations in permafrost]. *NIOSP im. N.M. Gersevanova* [Gersevanov Research Institute of Bases and Underground Structures (NIOSP)]. Moscow. *Strojizdat* [Publishing House of Literature on the Construction and Architecture ("Stroiizdat" Publishers)]. 1980. 303 p. [In Russian]
2. C.Ju. Salavatov. *Harakteristika merzlyh gruntov pri inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyakh* [Characteristics of frozen soils during engineering and geological surveys]. *Simvol nauki* ["The Science symbol" Magazine]. 2017. No. 1–2. Pp. 32–33. [In Russian]
3. M.N. Zheleznyak, M.M. Shats. *Geokriologicheskie i geotekhnicheskie usloviya magistral'nogo gazoprovoda "Sila Sibiri" na sovremennom etape zaversheniya stroitel'stva* [Geocryological and geotechnical conditions of the Power of Siberia main gas pipeline at the present stage of construction completion]. *Gazovaya promyshlennost'* ["Gas industry" Magazine]. 2018. No. 8. Pp. 86–91. [In Russian]
4. R.I. Latypova. *Vliyaniye stroitel'stva podzemnogo truboprovoda na merzlotnyy rezhim gruntov* [The impact of the construction of an underground pipeline on the permafrost regime of soils]. *Mat. 62-oi Nauch.-tehn. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh UGNTU* [Coll. vol. of the 62nd Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists of USPTU]. Vol. 1. Ufa. *UGNTU* [Ufa State Oil Technical University (USPTU)]. 2011. [In Russian]
5. A.V. Ginzburg. *Povysheniye effektivnosti raboty sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya v slozhnykh prirodnykh usloviyakh* [Increasing the efficiency of water supply and sewerage systems in difficult natural conditions]. *Diss. kand. tehn. nauk po spec. 05.23.04* [Dissertation of the candidate of technical sciences on specialty No. 05.23.04]. Moscow. *GASIS* [State Academy of Professional Retraining and Advanced Training of Executives and Investment Sphere Specialists]. 2005. 265 p. [In Russian]
6. V.V. Harionovskiy. *Povysheniye prochnosti gazoprovodov v slozhnykh usloviyakh* [Increasing the strength of gas pipelines in difficult conditions]. Leningrad. *Nedra (lenigr. otd-nie)* ["Bowels of the Earth" Publishers (Leningrad branch)]. 1990. 180 p. [In Russian]
7. N.A. Kolokolova, N.A. Garris. *O vybere sposoba prokladki truboprovodov v rayonah vechnoy merzloty* [On the choice of a method for laying pipelines in permafrost regions]. *Transportirovka i hraniye nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya* ["Transportation and storage of petroleum products and hydrocarbon raw materials" Magazine]. 2013. No. 1. Pp. 13–17. [In Russian]
8. I.P. Rilo, K.A. Zheludkova, D.A. Kleshhin. *Zamorazhivaniye i termostabilizatsiya gruntov v kriolitozone* [Freezing and thermal stabilization of soils in the permafrost zone]. *Truboprovodnyy transport: teoriya i praktika* ["Pipeline transport: theory and practice" Magazine]. 2015. No. 4. Pp. 22–27. [In Russian]
9. Ju.A. Morozova. *Bestranshejnaya prokladka truboprovodov tehnologiej gorizonta'no-napravlennoy burenija* [Trenchless laying of pipelines by horizontal directional drilling technology]. *Innovatsionnaya nauka* ["Innovative science" Magazine]. 2018. No. 11. Pp. 34–36.
10. R.F. Zaripov, G.E. Korobkov. *Zashhita arkticheskikh truboprovodov* [Protection of Arctic pipelines]. *Delovoy zhurnal "Neftegaz.ru"* ["Neftegaz.ru" Magazine]. 2018. No. 12. Pp. 28–33. [In Russian]
11. I.D. Kibort, E.V. Isupova. *Bestranshejnyy remont truboprovoda v usloviyakh Krajnego Severa* [Trenchless pipeline repair in the Far North]. *Mat. XII Mezhd. molodezhn. nauch. konf. "Severgeojekoteh-2011"* [Coll. vol. of the XII International Youth Scientific Conference "Northgeoeotech-2011"]. Part 4. Ukhta. *UGTU* [Ukhta State Technical University]. 2011. Pp. 88–91. [In Russian]