

УДК 624.139:621.643

СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ ТРУБОПРОВОДА ПОДЗЕМНОЙ ПРОКЛАДКИ В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Приводится сравнительный анализ технических решений по стабилизации проектного положения трубопроводов подземной прокладки с положительными температурами транспортируемого продукта в районах распространения многолетнемерзлых грунтов. Рассматривается разрабатываемая в ОАО "Фундаментпроект" новая схема стабилизации положения трубопровода, допускающая его равномерную осадку в процессе эксплуатации

КУТВИЦКАЯ НАТАЛЬЯ БОРИСОВНА

Кандидат технических наук, главный специалист отдела термостабилизации, инженерной защиты и мониторинга ОАО "Фундаментпроект", старший научный сотрудник, член академии "Северный Форум", почетный строитель (Москва, Россия).

Основные направления научной деятельности - строительство оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах, инженерная защита территорий от развития опасных мерзлотно-геологических процессов, термостабилизация грунтов, геотехнический мониторинг.

Автор более 90 опубликованных работ и 11 патентов.

ГОРБУНОВА ОЛЬГА ВИКТОРОВНА

Руководитель группы ОАО "Фундаментпроект" (Москва, Россия).

Основные направления научной деятельности - инженерная защита территорий от развития опасных мерзлотно-геологических процессов, геотехнический мониторинг.

Автор пяти опубликованных работ.

КАУРКИН ВАСИЛИЙ ДМИТРИЕВИЧ

Кандидат геолого-минералогических наук, руководитель группы отдела термостабилизации, инженерной защиты и мониторинга ОАО "Фундаментпроект" (Москва, Россия).

Основные направления научной деятельности - геотехнический мониторинг зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах, инженерная защита территорий от развития опасных мерзлотно-геологических процессов.

Автор 12 опубликованных работ.

РЯЗАНОВ АЛЕКСАНДР ВИКТОРОВИЧ

Кандидат геолого-минералогических наук, начальник отдела термостабилизации, инженерной защиты и мониторинга ОАО "Фундаментпроект" (Москва, Россия).

Основные направления научной деятельности - геотехнический мониторинг зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах, инженерная защита территорий от развития опасных мерзлотно-геологических процессов, термостабилизация грунтов.

Автор более 30 опубликованных работ.

В процессе эксплуатации "теплого" трубопровода при подземной прокладке в многолетнемерзлых грунтах (ММГ) под влиянием положительных температур транспортируемого продукта происходит оттаивание мерзлых грунтов, приводящее к осадочным деформациям трубопровода.

Глубина многолетнего оттаивания грунтов оснований трубопроводов зависит от комплекса факторов, в состав которых входят, помимо природно-климатических и геокриологических условий, параметры трубопровода и температура транспортируемого продукта. В основании трубопроводов диаметром более 1500 мм и температурой продукта до +60°C за период эксплуатации не менее 30 лет формируется ореол оттаивания значительных размеров (глубина под трубой может составлять 30 м и более). Даже под трубопроводами небольшого диаметра в процессе эксплуатации глубина оттаивания достигает 10...15 м.

Учитывая, что ММГ, особенно льдистые и сильнольдистые суглинки и супеси относятся к сильнопросадочным при оттаивании, в процессе эксплуатации осадки грунтов могут достигать несколько метров. Например, под трубопроводом диаметром 426 мм с температурой транспортируемого продукта +40°C при прочих равных условиях на участке, сложенном сильнольдистыми и льдистыми суглинками, расчетные осадки составляют 200...288 см, а на участке, сложенном слабольшдистыми песками - 45...50 см. Учитывая разнообразие мерзлотно-грунтовых условий вдоль трасс трубопроводов, осадки грунтов основания будут определяться деформационными характеристиками грунтов при оттаивании.

С точки зрения напряженно-деформированного состояния (НДС) трубопровода наиболее опасными являются деформации на границах просадочных (льдистые суглинки, супеси)

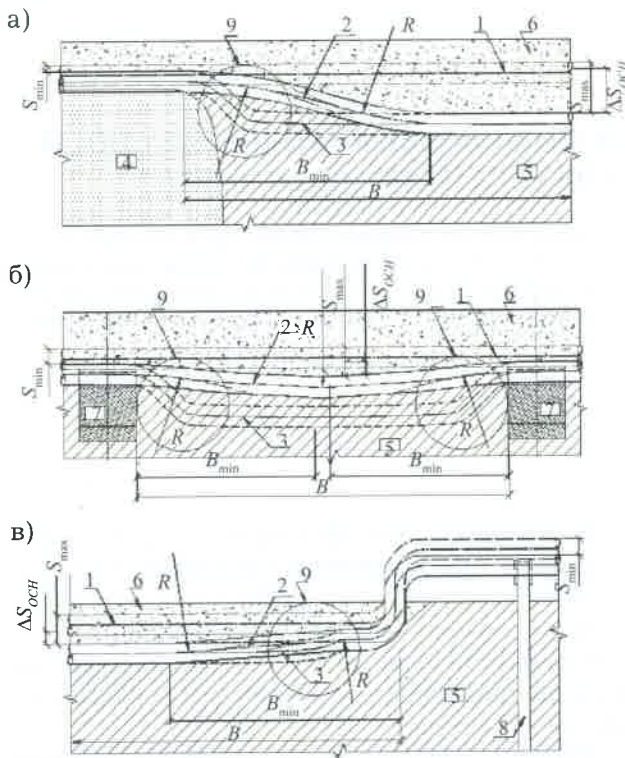


Рис. 1. Схемы наиболее опасных участков трубопровода подземной прокладки:

а - на переходе от непросадочных к просадочным грунтам; б - между подземными опорами (свайными, столбчатыми или льдогрунтовыми); в - на переходе из надземной прокладки в подземную; 1 - проектное положение трубопровода; 2 и 3 - положение трубопровода к концу периода эксплуатации соответственно с применением и без применения специальных мероприятий; 4 и 5 - непросадочные и просадочные при оттаивании грунты основания; 6 - грунты обратной засыпки; 7 и 8 - подземная и надземная опоры трубопровода; 9 - недопустимые деформации трубопровода; B - протяженность участка развития осадок; B_{min} - протяженность участка, на котором следует обеспечивать плавное увеличение осадок; R - допустимый радиус изгиба трубопровода; S_{max} и S_{min} - максимальная и минимальная осадки основания соответственно просадочных и непросадочных при оттаивании ММГ; $\Delta S_{осн}$ - разность осадок основания

и практически непросадочных грунтов (талые пески или скальные породы) или участков трубопровода, где развитие деформаций не допускается (пересечения трубопровода с автодорогами, другими трубопроводами, места установки фундаментов). Также опасными являются осадки основания на переходах трубопровода из надземной прокладки в подземную и наоборот. Именно на этих участках возникают максимальные напряжения в трубопроводе (рис. 1).

Оценка опасности развития деформаций грунтов основания трубопровода проводится путем сравнения расчетных (прогнозных) значений с предельно допустимыми, которые задаются из условия обеспечения целостности и устойчивости трубопровода с учетом технологических условий эксплуатации. Предельные

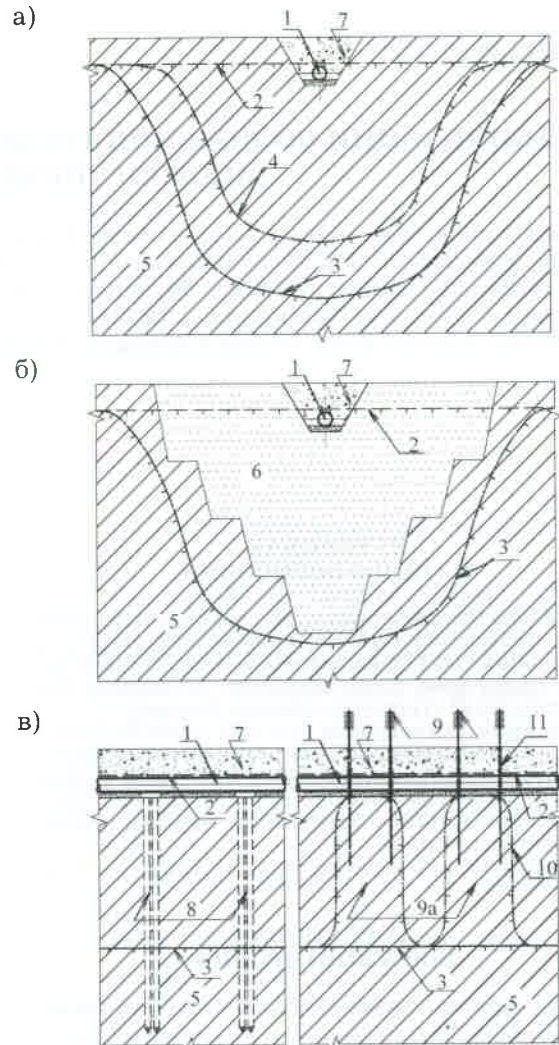


Рис. 2. Традиционные решения стабилизации положения трубопровода с помощью кольцевой теплоизоляции (а); замена просадочных грунтов (б); устройство свайных и льдогрунтовых опор (в):

1 - "теплый" трубопровод подземной прокладки (с положительными температурами транспортируемого продукта); 2 - кровля ММГ на момент изысканий; 3 и 4 - кровли к концу периода эксплуатации трубопровода соответственно без специальных мероприятий и кольцевой теплоизоляции; 5 и 6 - просадочные и непросадочные при оттаивании грунты; 7 - грунты обратной засыпки; 9 - вертикальные охлаждающие устройства сезонного действия; 9а - подземные льдогрунтовые опоры; 10 - кровля ММГ в период эксплуатации трубопровода в месте установки льдогрунтовых опор; 11 - теплоизоляция испарителя в интервале глубин залегания "теплого" трубопровода

деформации рассчитываются в соответствии с требованиями и положениями нормативных документов, а прогнозные - на основе тепло-технических расчетов с учетом физико-механических и деформационных свойств мерзлых грунтов, вмещающих трубопровод.

К традиционным техническим решениям (рис. 2) обеспечения устойчивости подземных трубопроводов в районах распространения ММГ относятся:

- уменьшение теплового влияния трубопровода на вмещающие грунты (кольцевая теплоизоляция);

- замена просадочных грунтов на непросадочные до расчетной глубины оттаивания;

- установка подземных свайных опор с заданным шагом вдоль трассы;

- устройство льдогрунтового основания с помощью вертикальных сезоннодействующих охлаждающих устройств (парожидкостных термостабилизаторов), которые формируют локальные льдогрунтовые опоры с заданным шагом вдоль трассы или сплошную ленточную опору на всем протяжении трубопровода.

Устройство кольцевой теплоизоляции значительно уменьшает тепловое влияние трубопровода на вмещающие грунты. Например, при эксплуатации трубопровода с температурой $+8^{\circ}\text{C}$ летом и -5°C зимой применение кольцевой теплоизоляции с сопротивлением теплопередаче $3,57 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ (что соответствует слою экструзионного пенополистирола толщиной 100 мм) практически полностью предотвращает влияние трубопровода на вмещающие грунты. При более высоких температурах продукта эффективность кольцевой теплоизоляции резко снижается. Например, при повышении среднегодовой температуры в трубе до $+40^{\circ}\text{C}$ с тем же сопротивлением теплопередаче глубина оттаивания под трубой уменьшается всего на 25% (с 9 до 7 м). При этом увеличение толщины слоя теплоизоляции вдвое (до $7,14 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$) обеспечивает дополнительное уменьшение глубины ореола оттаивания всего на 10%. Таким образом, при высоких температурах транспортируемого продукта кольцевой теплоизоляции часто бывает недостаточно для сохранения проектного положения трубопровода.

Замена просадочных грунтов на непросадочные является достаточно эффективным методом стабилизации положения трубопровода при любом его температурном режиме. При этом замена мерзлых грунтов должна проводиться в объеме зоны оттаивания, прогнозируемой на эксплуатационный период (см. рис. 2,б). При высоких температурах транспортируемого продукта и значительных диаметрах трубопроводов, формирующих большие ореолы оттаивания, объемы заменяемых грунтов настолько велики, что материальные затраты на проведение земляных работ, закупку и доставку дефицитного в зоне распространения ММГ материала (непросадочный при оттаивании грунт) становятся нерентабельными.

Свайные и льдогрунтовые опоры, формирующиеся в основании трубопровода с помощью сезоннодействующих термостабилизаторов, уста-

навливаются вдоль трассы трубопровода с шагом 6...18 м, задаваемым на основе расчета НДС трубопровода, выполненного по пределу текучести в соответствии с нормативными документами. При этом глубина заложения свай должна превышать прогнозную глубину оттаивания и обеспечивать проектную несущую способность основания, а льдогрунтовые опоры сохранять твердомерзлое состояние грунтов основания в течение заданного периода эксплуатации. Исходя из этих условий, сваи должны быть заглублены достаточно глубоко, а льдогрунтовые опоры, как правило, эксплуатироваться совместно с теплозащитными экранами, чтобы предотвратить сезонное оттаивание грунтов. При устройстве таких опор определяются оптимальные параметры термостабилизаторов (схема расположения, число, глубина в грунте) и, при необходимости, теплозащитного экрана (размеры в плане, толщина), обеспечивающие сохранение мерзлого состояния грунтов в основании трубопровода. Устройство свайных или льдогрунтовых опор с термостабилизацией грунтов основания является наиболее эффективным, технически осуществимым и экономически выгодным вариантом традиционных решений, но требует установки опор вдоль всего участка трассы, основание которого сложено просадочными при оттаивании мерзлыми грунтами.

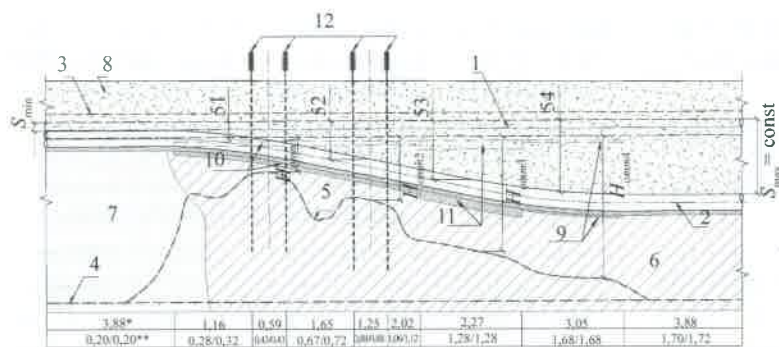
Специалистами ОАО "Фундаментпроект" разработано нетрадиционное решение схемы стабилизации положения трубопровода, допускающей его деформации в процессе эксплуатации. Схема основывается на двух принципах (рис. 3).

1) равномерные деформации осадки основания трубопровода (даже значительные) допускаются на всем протяжении трубопровода;

2) на участках, где возникают максимальные напряжения в трубопроводе (переходы от непросадочных при оттаивании грунтов к просадочным, от надземной прокладки к подземной и т.д.), осадки ограничиваются с помощью специальных мероприятий, чтобы обеспечить допустимый изгиб трубопровода с учетом НДС трубы.

Протяженность участка, на котором следует применять специальные мероприятия по обеспечению допустимого изгиба трубопровода (B_{min}), определяется исходя из максимальной расчетной (прогнозной) осадки. Профиль допустимого изгиба строится на основе результатов расчета его НДС.

Технически такой подход реализуется с помощью регулируемых льдогрунтовых опор, обеспечивающих на контакте просадочных и непросадочных грунтов заданный профиль трубопровода (требуемые осадки $S_1...S_4$) путем



* - прогнозируемая глубина оттаивания грунтов основания к концу периода эксплуатации H_{omm} , м; ** - расчетная осадка грунтов S , см

Рис. 3. Схема технического решения по обеспечению допустимого изгиба трубопровода на границе участков непросадочных грунтов с минимальными S_{min} и просадочных с максимальными S_{max} осадками, постоянными по всей протяженности участка:

1 - проектное положение трубопровода; 2 - прогнозируемое положение трубопровода с применением специальных мероприятий; 3 - кровля ММГ на момент изысканий; 4 и 5 - кровля ММГ к концу периода эксплуатации трубопровода соответственно без специальных мероприятий и с их применением; 6 и 7 - просадочные и непросадочные грунты; 8 - грунты обратной засыпки; 9...11 - теплоизоляционные экраны толщиной 50, 100 и 150 мм; 12 - вертикальные термостабилизаторы направленного действия (ТАНД); $S_1...S_4$ - осадки грунтов основания на участках 1...4; $H_{omm1}...H_{omm4}$ - глубина оттаивания грунтов основания на участках 1...4

ограничения глубины оттаивания грунтов в основании $H_{omm1}...H_{omm4}$ (см. рис. 3).

Льдогрунтовые опоры и теплозащитные экраны устанавливаются вдоль трассы трубопровода от начала участка просадочных грунтов с заданным шагом так, чтобы на каждой следующей опоре осадка превышала предыдущую, обеспечивающую допустимый радиус изгиба трубопровода заданного диаметра.

В общем виде схема имеет следующий вид.

1. На начальных участках перехода от непросадочных грунтов (или от надземных опор) к просадочным заданная осадка (S_1 и S_2 , рис. 3) обеспечивается с помощью регулируемых льдогрунтовых опор, формирующихся в результате совместной работы теплоизоляционного экрана и охлаждающих устройств.

2. На участках, где проектные осадки достаточно велики (S_3 и S_4 , рис. 3), для обеспечения требуемой глубины оттаивания применяются теплоизоляционные экраны, создаваемые из плит экструзионного пенополистирола различной толщины (23, 50, 100 или 150 мм).

3. На участках, где глубина равномерного оттаивания вдоль трубопровода не ограничивается (допускается равномерная осадка трубы), дополнительных мероприятий по стабилизации грунтов не требуется.

Плиты пенополистирола укладываются в основание трубопровода в форме лотка (по дну и откосам траншеи) или в горизонтальной плос-

кости в зависимости от ожидаемого эффекта (при укладке плит в форме лотка эффективность теплоизоляционного экрана выше). При укладке плиты следует крепить между собой, чтобы при осадке трубопровода теплоизоляционный экран "просел" вместе с трубопроводом.

Теплоизоляционный экран ограничивает тепловое воздействие трубопровода на нижележащие грунты основания в течение летнего периода, когда термостабилизаторы не работают.

В качестве охлаждающих устройств используются сезоннодействующие парожидкостные вертикальные анкерные термостабилизаторы направленного действия (ТАНД), конструкция которых предусматривает их работу не по всей длине испарителя (часть термостабилизатора, находящаяся в грунте), а только глубже нижней образующей трубопровода (рабочая зона), что предупреждает потерю "холода"

в интервале глубин залегания "теплого" трубопровода и обеспечивает наиболее эффективное охлаждение грунтов в его основании.

Устойчивость, целостность и эксплуатационная надежность "теплого" трубопровода подземной прокладки обеспечивается формированием в процессе эксплуатации профиля изгиба трубопровода в пределах допустимых осадок, которые обусловлены глубиной оттаивания и осадками мерзлых грунтов основания трубопровода, определяемыми прогнозными теплотехническими и деформационными расчетами. Параметры глубин заложения рабочей зоны испарителя термостабилизаторов и теплоизоляционных слоев, формирующие глубины оттаивания, а, следовательно, и осадки грунтов основания вдоль трубопровода, рассчитываются с учетом природно-климатических и мерзлотно-грунтовых условий по разработанным программам математического моделирования процессов в трехмерной постановке.

Таким образом, при проектировании по методике ОАО "Фундаментпроект" трубопровод в процессе эксплуатации изменяет свое положение в пределах допустимых значений. При этом применение мероприятий по стабилизации положения трубопровода требуется не на всем протяжении участков распространения просадочных грунтов, а только на границах с непросадочными, что ведет к значительному уменьшению затрат на строительные-монтажные работы.