

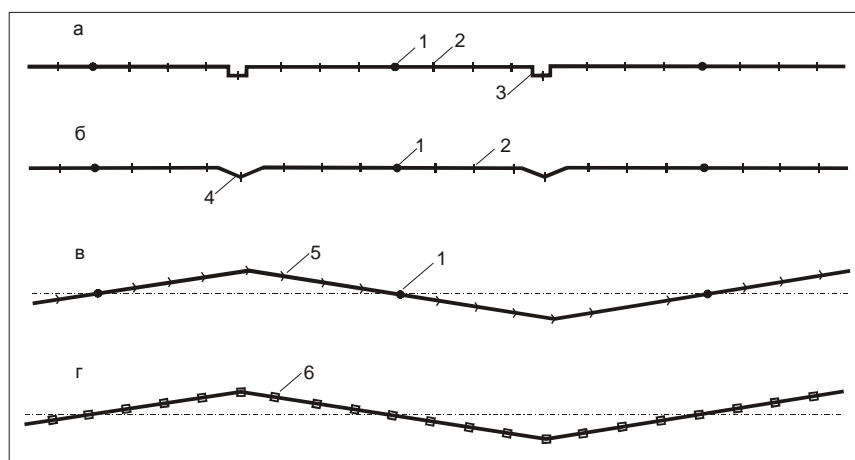
В. Д. Каргаполов

(Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан)

Ключевые слова: надземный трубопровод, зигзагообразный нефтепродуктопровод, подвесные опоры, устойчивость трубопровода**Key words:** above-ground pipeline, zigzag-like oil product pipeline, suspended supports, pipeline stability

В северных регионах применяется преимущественно надземная прокладка магистральных трубопроводов с неподвижными опорами. В довоенное время от г. Магадана до п. Палатка построили нефтепродуктопровод диаметром 150 мм, часть которого проложили подземно, часть – надземно. В 1975 г. построили и более 25 лет эксплуатировали надземный нефтепродуктопровод, который частично имел компенсаторы в виде слабоизогнутых участков, часть трубопровода была проложена в виде самокомпенсирующегося зигзагообразного контура на подвесных опорах.

Сложность взаимодействия подземных сооружений с вечномёрзлыми грунтами в районах Севера обусловила широкое применение надземных магистральных трубопроводов. Одним из недостатков применяемых надземных трубопроводов с П-образными компенсаторами (рис. 1,а) является примерзание трубы к скользящим опорам и, как следствие, нарушение работы компенсаторов. Этому же недостатка не лишены надземные трубопроводы с компенсаторами в виде слабоизогнутого участка (рис. 1,б) [1].

**Рис. 1. Схемы прокладки надземных трубопроводов:***а – прямолнейная прокладка с П-образными компенсаторами;**б – прямолнейная прокладка с компенсаторами в виде слабоизогнутого участка;**в – зигзагообразная прокладка с неподвижными опорами; г – зигзагообразная прокладка без неподвижных опор; 1 – неподвижная опора; 2 – скользящая опора;**3 – П-образный компенсатор; 4 – компенсатор в виде слабоизогнутого участка;**5 – А-образная качающаяся опора; 6 – подвесная опора*

В начале сороковых годов двадцатого столетия в Коми АССР началась разработка месторождений газа. Инженеры проектной конторы предложили способ прокладки надземного газопровода (рис. 1,в). Трубопровод в плане представляет зигзагообразный контур, который компенсирует температурные деформации. В местах пересечения трубы с осью установлены неподвижные опоры 1, а остальная часть трубы подвешивается на А-образные качающиеся опоры 5 (см. рис. 1,в) [2].

Дальнейшее развитие зигзагообразная прокладка с подвесными опорами нашла при проектировании надземного стального водовода Норильск – Кайеркан [3]. Здесь трубопровод подвешен на опорах в виде трехгранной пирамиды. Необходимости в неподвижных опорах в этом виде прокладки нет, так как смещению трубы в сторону от оси препятствует усилие, возникающее в опоре.

Первый нефтепродуктопровод диаметром 150 мм и протяженностью 90 км в Магаданской области построен от г. Магадана до п. Палатка в 1947 г. В пределах города трубопровод проложили подземно, на всем остальном протяжении – надземный вариант с П-образными компенсаторами на свайных опорах [4]. На подземном участке трубопровода зафиксированы многочисленные разрывы трубы вследствие пучения и просадок грунтов. Об авариях на надземном участке трубопровода мы информации не имеем.

В начале семидесятых годов двадцатого столетия Волгоградский институт «Гипронефтьтранс» приступил к проектированию нефтепродуктопровода Магадан – Палатка – Атка диаметром 219 мм и протяженностью 206 км. В районе Магадана от головных сооружений до накопительных резервуаров трубопровод проложен двумя нитками, от Магадана до Атки – одной. Трасса проходит по сильно расчлененному рельефу, разница в отметках начальной и конечной точек трассы составляет 800 м. Сейсмичность района составляет 8 баллов. Водотоки имеют значительный уклон русла, отличаются быстрым течением и бурным кратковременным паводком. В паводок горизонт водотока поднимается на высоту до 3 м. Заболоченные участки составляют 34 км. Климат района суровый, с продолжительной снежной зимой и коротким влажным летом.

Первоначально проектом была принята надземная прокладка с компенсацией удлинений слабоизогнутыми участками. В качестве неподвижных опор приняты железобетонные сваи длиной 3 м, устанавливаемые в предварительно пробуренные

скважины. Прямолинейные и слабоизогнутые участки проектом в плане предусматривалось укладывать на ряжевые опоры размером 0,9 x 0,9 м. На переходах через водотоки и заболоченные участки в проекте принята подземная прокладка.

Сразу после начала строительства выявились недостатки прокладки. В зимнее время труба примерзает к скользящим опорам, поэтому перемещение трубы по опоре при компенсации происходит рывками. Сложное сочетание усилий на промежуточных опорах (пресеченный рельеф, рывки при компенсации) привело к опрокидыванию опор и нарушению работы на отдельных участках трубопровода (рис. 2).



Рис 2.
Потеря устойчивости
трубопровода
с компенсаторами в виде
слабоизогнутых
участков

В процессе строительства было принято решение изменить способ прокладки. Руководители Магаданской области обратились к руководству института «Промстройинипроект Красноярск», Норильский отдел которого занимался вопросами прокладки трубопроводов в районах Севера. Под руководством к.т.н. А. В. Лютова разработали рекомендации по прокладке нефтепродуктопровода в Магаданской области, которая в условиях пресеченной местности, распространения вечномёрзлых грунтов и сейсмике нигде не применялась. За основу приняли способ прокладки зигзагообразного надземного водовода в Норильске, но с некоторыми изменениями. В частности, для повышения устойчивости опоры была выполнена в виде четырехгранной пирамиды, а для уменьшения стоимости часть опоры выполнена из дерева (рис. 3).



Рис. 3.
Подвесная опора на уклоне

На основе рекомендаций Норильского НИО автором статьи выполнен проект прокладки линейной части нефтепродуктопровода, кроме того, в процессе строительства выполнялся авторский надзор, проводились наблюдения за работой прокладки. Проект был утвержден Главнефтеснабом РСФСР как экспериментальный. Ранее зигзагообразная прокладка без неподвижных опор применялась только в Норильске, где рельеф равнинный. В Магаданской области рельеф пересеченный, поэтому при обсуждении проекта развернулась дискуссия вокруг вопроса устойчивости трубопровода без неподвижных опор на уклоне. Приводился такой довод: «Если труба на уклоне не закреплена свайными неподвижными опорами, она будет съезжать вниз». Автором выполнен анализ работы опоры на уклоне, который приводится ниже. На подвеску опоры действует только вертикальное усилие от веса трубы G (рис. 4), то есть при нормальном режиме эксплуатации усилия, сдвигающего трубу вниз по уклону, нет. Через ноги опоры усилие передается на опорные брусья, а далее – на потенциальную призму сползания грунта abc . Силу тяжести G можно разложить сдвигающее усилие T и нормальное N . Из этого простейшего построения видно, что устойчивость трубопровода зависит от угла наклона трубопровода и свойств грунтов, в первую очередь, – от угла внутреннего трения.

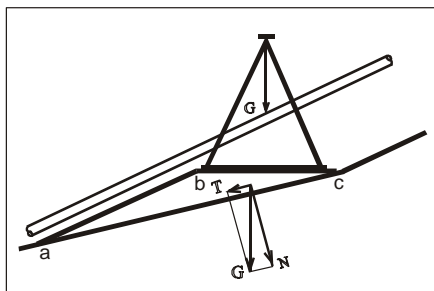


Рис. 4.
Анализ устойчивости опоры на уклоне

Проектом предусматривалась установка опор на горизонтально выровненную площадку, но это условие строителями не всегда соблюдалось. Опора, у которой опонные брусья стоят не горизонтально, а по уклону, тем не менее, опора работала устойчиво (см. рис. 3). Здесь опора стоит на щебенистом грунте, поэтому за счет сил трения устойчивость обеспечена. Если таким образом опору поставить на мелкодисперсный грунт, содержащий глинистые фракции, трубопровод вместе с опорами может сместиться вниз. На рис. 5 показан участок трассы, на котором трубопровод работал устойчиво на уклоне не менее 30° .



Рис. 5. Трубопровод на подвесных опорах на уклон

В процессе эксплуатации выявились некоторые недостатки способа прокладки и конструкции опоры. Подвесная опора с фиксированной высотой ног хорошо работает там, где ось трубы прямолинейна, то есть на местности нет неровностей микрорельефа. В тех местах, где чередуются возвышения с понижениями, нагрузка на опоры передается неравномерно. На опорах, расположенных в понижении, нагрузка снижена, а опора на повышенном участке будет перегружена, поэтому подвески на таких опорах разрываются. Кроме того, у опор, стоящих в понижениях, труба поднимается под столик, поэтому труба не может перемещаться в пределах, предусмотренных проектом. Этого можно было избежать, выполнив вертикальную планировку, но в районах распространения вечномерзлых грунтов нельзя нарушать растительный покров. Такая же проблема, но более остро возникает при прокладке трубопровода на уклоне. При увеличении угла наклона труба поднимается к столу и возможность ее перемещения по горизонтали уменьшается.

Несмотря на то, что в проекте запрещалось нарушать мохово-растительный слой, при строительстве это требование не соблюдалось, поэтому по трассе с течением времени возникли просадки, которые привели к нарушению работы трубопровода. Прокладка на подвесных опорах позволяет выполнять работы с минимальным нарушением поверхности, так как не требуются буровые работы для устройства неподвижных опор. Для этого по трассе следует срезать древесную и кустарниковую растительность, а опоры устанавливать на небольшую по толщине и в плане выравнивающую подсыпку. В местах, где залегают сильнольдистые вечномерзлые грунты и подземные льды, подсыпку следует обложить торфом и мхом, тогда влияние прокладки на вечномерзлые грунты будет минимальным.

К недостаткам способа прокладки и конструкции опоры можно отнести следующее. Соединение опорных брусьев металлическими пластинами не обеспечивают необходимой жесткости. Для большей устойчивости опоры продольные опорные брусья следует соединять брусьями для получения жесткой рамы. При прокладке магистральных трубопроводов по равнинной тундре ширина прокладки значения не имеет. Если трасса трубопровода проходит по участку с поперечным уклоном, то опорная часть трубопровода размещается на полке. В этом случае недостатком зигзагообразной прокладки является большая ширина ее трассы. Здесь рациональнее – прокладка с неподвижными опорами.

Принципиально важным моментом прокладки надземного трубопровода является высота подвески трубы над землей. Газопроводы в Коми АССР прокладывали выше уровня снежного покрова, предполагая, что снег может оказать отрицательное влияние на способность трубы перемещаться при изменении температуры. В трубопроводе, расположенном высоко над землей, вследствие ветровых нагрузок возникают вибрации, которые гасят с помощью виброгасителей, что усложняет конструкцию. Кроме того, в сейсмических районах высоко подвешенный трубопровод подвергается более интенсивным сейсмическим воздействиям, что требует применения более прочных и дорогостоящих опор. Упомянутый ранее водовод в Норильске был проложен на минимальной высоте и, по мнению авторов этого проекта, снег не только не мешает трубе перемещаться при компенсации, но наоборот способствует более устойчивой работе. Нефтепродуктопровод в Магаданской области также проложен таким образом, что зимой полностью был засыпан снегом.

Наши наблюдения показали, что снег на устойчивость трубопровода отрицательного воздействия не оказывает. Магаданская область, в отличие от других северных регионов, характеризуется широким развитием наледей.

Наледей на устойчивость прокладки и прочность трубы не влияют. Этот вопрос требует дальнейшей проработки, вероятно, при прокладке надземных трубопроводов в условиях развития наледей необходимы дополнительные исследования.

Выводы

- В районах с пересеченным рельефом надземные трубопроводы с компенсацией слабоизогнутыми участками и поверхностными опорами работают неустойчиво.
- Опыт работы зигзагообразного нефтепродуктопровода на подвесных опорах показал его высокую надежность. Такая прокладка может применяться при строительстве магистральных трубопроводов малого и среднего диаметра.
- Небольшая высота подвески трубопровода над землей способствует повышению устойчивости трубопровода. Снег на работу трубопровода отрицательного влияния не оказывает.

Список литературы

1. Петров И. П., Спиридонов В. В. Надземная прокладка трубопроводов. - М.: Недра, 1973. - 456 с.
2. Новопавловский С. И., Булгаков А. В., Вережкин К. А. Надземный трубопровод. А. с. № 409705, 1949.
3. Лютов А. В. Строительство и эксплуатация водоводов надземной и канальной прокладки на Севере. - Л.: Стройиздат, 1976. - 112 с.
4. Лукин И. И. Первостроители. - Магадан, Магаданское книжное издательство, 1987. - 383 с.

Сведения об авторе

Каргаполов Валентин Дмитриевич, к. т. н., доцент, профессор кафедры ПГС, Северо-восточный государственный университет, г. Магадан, тел.: (41322) 676112, e-mail: valen.kargapolov@yandex.ru

Kargapolov V. D., Candidate of Technical Sciences, associate professor of the chair «Industrial and Civil Construction», East-Northern State University, Magadan, phone: (41322) 676112, e-mail: valen.kargapolov@yandex.ru