

На правах рукописи

ЧЖАН ДУНЧЭНЬ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
И СТРОИТЕЛЬСТВА ТРУБОПРОВОДОВ, ПРОКЛАДЫВАЕМЫХ
В УСЛОВИЯХ СИЛЬНО ПЕРЕСЕЧЕННОЙ МЕСТНОСТИ**

Специальность 25.00.19 – "Строительство и эксплуатация
нефтегазопроводов, баз и хранилищ"

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа – 2002

Работа выполнена в Уфимском государственном нефтяном техническом университете (УГНТУ).

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Быков Леонид Иванович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Абдуллин Ильгиз Галеевич;

кандидат технических наук,
Файзуллин Саяфетдин Минигулович.

Ведущая организация

Институт проблем транспорта энергоресурсов (ИПТЭР)

Защита состоится « 25 » декабря 2002г. в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.289.04 при Уфимском государственном нефтяном техническом университете по адресу: 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Автореферат разослан « 22 » ноября 2002г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Матвеев Ю.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

К настоящему времени общий объем добычи нефти в Китае достиг 185 млн. т в год, а общая протяженность магистральных нефтепроводов составляет всего около 10 тыс. км, т. е. трубопроводный транспорт нефти и газа развит сравнительно слабо, и это является одним из факторов, тормозящих развитие нефтяной и газовой промышленности страны в целом.

Китай – страна, горная местность которой составляет 59% территории, поэтому строящиеся и планируемые нефтегазопроводы приходится прокладывать в условиях сильно пересеченной местности. Одним из таких проектов является газопровод "Запад – Восток" производительностью 20 млрд. м³/год, протяженностью около 4 тыс. км, в том числе около 350 км трассы необходимо пройти по сильно пересеченной местности.

На сегодняшний день существует также несколько крупных совместных проектов строительства магистральных нефтегазопроводов из России и Казахстана (нефтепровод от г. Ангарска до месторождения Дацин в Китае, протяженностью 3 тыс. км, планируемый объем транспортировки нефти более 20 млн. т в год; газопровод из Якутии в Китай до города Жичжао на берегу Жёлтого моря, протяженностью 3,5 тыс. км, объем транспортировки газа 20 млрд. м³ в год; нефтепровод из г. Атырау до западной границы Китая, протяженностью около 3,5 тыс. км).

Магистральные трубопроводы прокладываются в различных природно-климатических и гидрогеологических условиях, пересекают множество естественных и искусственных препятствий. По многим показателям магистральные трубопроводы являются уникальными сооружениями и для них установлены нормативные требования. Одно из основных требований, предъявляемых к магистральным трубопроводам, – высокая надежность, которая должна быть обеспечена экономически оправданными затратами. Уровень надежности трубопроводов зависит от качества проектирования, строительства, эксплуатации и

ремонта.

Исследования напряженно–деформированного состояния трубопроводных магистралей, а также опыт их эксплуатации показывают, что в горных условиях нагрузки и воздействия на трубопроводы значительно большие, чем, например, на равнинных участках. Кроме того, техническое обслуживание и ремонт трубопровода на крутых склонах весьма сложны, требуют специальной технологии, машин и механизмов.

К настоящему времени трудами советских и российских ученых, исследовательских, учебных и проектных организаций разработаны научные основы проектирования и строительства магистральных и промысловых трубопроводов в условиях сильно пересеченной местности, однако некоторые вопросы не нашли законченного решения, например, по реологическим свойствам грунтов, влияющим на устойчивость трубопроводов, напряженному состоянию трубопроводов на продольных склонах при различных его углах в период монтажа, напряженному состоянию трубопроводов от воздействия оползня, направленного под углом к продольной оси трубы, разработке классификации противооползневых мероприятий применительно к трубопроводному строительству.

Цель работы

Повышение надежности нефтегазопроводов путем совершенствования и уточнения методов проектирования и строительства трубопроводов, прокладываемых в условиях сильно пересеченной местности.

Основные задачи исследования

1. Произвести анализ особенностей работы трубопроводов, прокладываемых в условиях сильно пересеченной местности.

2. Выявить влияние реологических свойств грунтов на устойчивость и напряженное состояние трубопроводов в горных условиях.

3. Провести уточнение и упрощение существующих методов проектирования и строительства магистральных трубопроводов, прокладываемых в условиях пересеченной местности.

4. Предложить мероприятия, направленные на обеспечение надежности трубопроводов, прокладываемых в горных условиях.

Научная новизна

1. Исследовано поведение трубопроводов с учетом реологических свойств грунтов.

2. Разработана методика расчета напряженного состояния трубопроводов на продольных склонах при различных его углах в период монтажа.

3. Исследовано напряженное состояние участка трубопроводов под воздействием оползня в зависимости от основных параметров грунта и трубы: величины силового воздействия оползня; угла силового воздействия оползающего грунта; длины участка воздействия оползня; толщины стенки трубы. Определена величина критической нагрузки при воздействии оползающего грунта на трубопровод.

4. Разработана классификация противооползневых мероприятий. Предложены новые конструктивные схемы прокладки трубопровода в случаях, когда подземная схема неприемлема.

Практическая значимость и реализация работы

Научные результаты, полученные в работе, использованы при проектировании и строительстве следующих трубопроводов: газопровод "Запад – Восток", прокладываемый на территории КНР, нефтепровод от Ангарска до месторождения Дацин в Китае.

Результаты исследований используются при проведении практических занятий, в курсовом и дипломном проектировании для студентов специальности 090700 – "Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ", а также при подготовке и переподготовке специалистов нефтегазового комплекса в институте повышения квалификации УГНТУ.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались на следующих конференциях и семинарах: научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ (г. Уфа, апрель 2000г.); Втором Международном симпо-

зиуме "Наука и технология углеводородных дисперсных систем" (г. Уфа, УГНТУ, октябрь 2000г.); XXIV школе – семинаре по проблемам механики сплошных сред в системах добычи, сбора, подготовки транспорта и переработки нефти и газа. Под руководством академика АН Азербайджанской Республики А.Х. Мирзаджанзаде (г. Уфа, ИПТЭР, февраль 2001г.); научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ (г. Уфа, апрель 2001г.); XXV школе – семинаре по проблемам механики сплошных сред в системах добычи, сбора, подготовки транспорта и переработки нефти и газа. Под руководством академика АН Азербайджанской Республики А.Х. Мирзаджанзаде (г. Уфа, ИПТЭР, сентябрь 2001г.); межрегиональной молодежной научной конференции "СЕВЕРГЕОЭКОТЕК–2002", посвященной 35–летию УГТУ (г. Ухта, УГТУ, март 2002г.); научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ (г. Уфа, апрель 2002г.); Всероссийской научно – технической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов "Трубопроводный транспорт нефти и газа", посвященной 50–летию с начала подготовки специалистов трубопроводного транспорта в УНИ-УГНТУ (г. Уфа, УГНТУ, апрель 2002 г.).

Публикации

По результатам исследований опубликовано 11 научных работ.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, основных выводов, списка литературы из 125 наименований и приложений. Содержание работы изложено на 124 страниц машинописного текста и включает 51 рисунок, 11 таблиц.

Содержание работы

Во введении приводится общая характеристика работы, обоснована актуальность темы, сформулированы цель и основные задачи исследований.

В первой главе дается анализ результатов исследования технического состояния трубопроводов, проложенных в условиях сильно пересеченной местно-

сти, с учетом обеспечения надежной работы их линейной части.

Значительный вклад в развитие различных сторон рассматриваемой проблемы проектирования и строительства трубопроводов в условиях сильно пересеченной местности внесли работы институтов: ВНИИСТа, РГУНГа им. И.М. Губкина, ИФИНиГ, ВНИИгаза, Проблем транспорта энергоресурсов (ИПТЭР); проектных организаций: Гипротрубопровода, ВНИПИТрансгаза, Нефтегазпроекта, а также работы ученых: Азметова Х.А., Бабина Л.А., Березина В.Л., Бородавкина П.П., Быкова Л. И., Глобы В.М., Григоренко П. Н., Гумерова А.Г., Емельяновой Е.П., Маслова Н.Н., Перуна И.В., Петрова И.П., Рафикова С.К., Спектора Ю.И., Спиридонова В.В., Шувалова В.Ю. и иностранных исследователей: Kosog U., Major G., Maley lisa C и др.,

В качестве объектов анализа работы выбраны горные участки трасс газопроводов "Братство", "Союз", Уренгой–Помары–Ужгород, "Прогресс", нефтепровода "Дружба", расположенных в Карпатах, а также других сложных участках трубопроводов на Урале, Кавказе и Украине.

В данной главе приведена краткая характеристика особенностей строительства и эксплуатации магистральных трубопроводов в условиях сильно пересеченной местности. Проведенный анализ причин аварий трубопроводов за десятилетний период показал, что основными из них для горных условий эксплуатации являются воздействия экзогенных процессов (оползней, эрозии грунта) и низкое качество сварочно–монтажных работ.

Во второй главе разработана методика расчета продольных перемещений подземных трубопроводов и экспериментально определены реологические свойства грунтов.

Наиболее простым, классическим примером ползучести грунта является ползучесть при постоянной нагрузке – опыты в технической школе Германии "Карлсруэ". Опыты, выполненные в УГНТУ, подтверждают наличие ползучести в более сложном случае – при переменной нагрузке.

Учитывая сказанное, рассмотрены вопросы перемещений трубопроводов с учетом ползучести грунта. Полное продольное перемещение какого-либо сечения трубопровода можно представить как

$$u = u_1 + u_2 + u_3, \quad (1)$$

где u – продольное перемещение подземного трубопровода; u_1 – перемещение при упругой связи грунта с трубопроводом; u_2 – перемещение при пластической связи грунта с трубопроводом; u_3 – перемещение от ползучести грунта.

В формуле (u_1+u_2) именуется как мгновенные перемещения. Изучению мгновенной составляющей перемещений посвящен ряд работ, выполненных в организациях Азнефть, ВНИИСТ, Донбассводтрест, ВНИИстройнефть, УГНТУ, ТИИ и др. Работ, посвященных изучению составляющей перемещений u_3 , до недавнего времени не было. Необходимость решения этой задачи впервые была указана в своих работах Бородавкиным П.П., Быковым Л.И., Григоренко П.Н..

С целью проверки существования различных видов ползучести в перемещениях заглубленного трубопровода эмпирическую зависимость для перемещения u_3 представим в виде $u_3=f(t, \tau)$, t – время; τ – действующие касательные напряжения.

В УГНТУ были спроектированы и изготовлены две опытные установки по исследованию взаимодействия моделей трубопровода с грунтом.

Первая установка предназначена для исследования ползучих перемещений модели трубопровода в глине и представляет собой сварной металлический ящик, в котором размещены параллельно одна другой четыре модели трубы диаметром 51 мм и длиной 60 см, при высоте засыпки грунтом 15 см до оси трубы.

Постоянное продольное осевое усилие P создавалось с помощью грузов $10 \div 40$ Н, перемещения моделей измерялись индикаторами часового типа.

Результаты опытов по нагружению моделей постоянными усилиями с касательными напряжениями τ , равными $0,00175 \div 0,00212$ МПа, показаны на рис.1, из которого видно, что зависимость $u_3=f(\tau, t)$ аппроксимируется логарифмической функцией.

рифмической функцией. С помощью статистической обработки результатов получена формула в виде

$$u_3 = 0,004 \ln t + 0,24 \ln \bar{\tau} - 0,137. \quad (2)$$

Здесь t – время, ч; $\bar{\tau}$ – безразмерные напряжения, равные $\bar{\tau} = \frac{\tau_x (\text{МПа})}{1 \times 10^{-3} (\text{МПа})}$,

где τ_x – касательные напряжения, МПа;

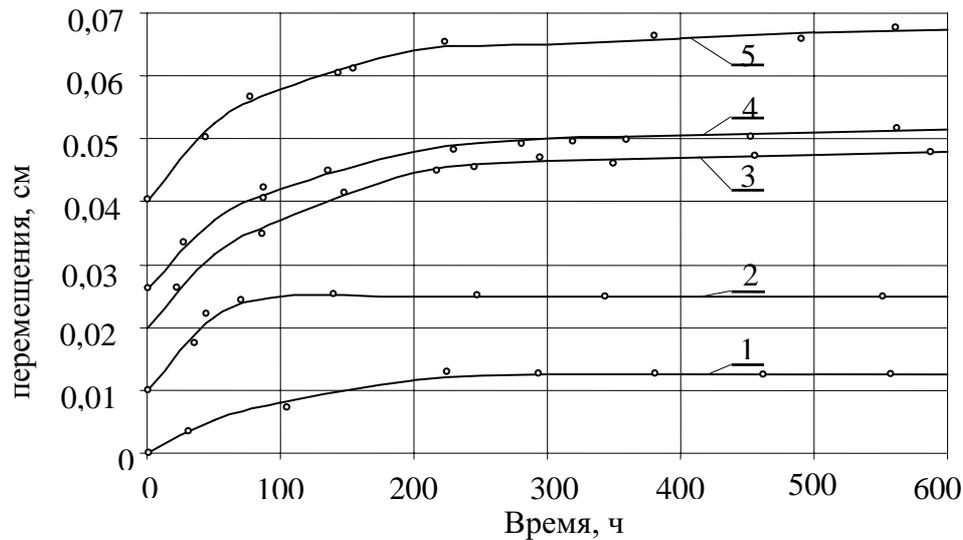


Рис. 1. Графики зависимости $u_3=f(t)$ при различных касательных напряжениях τ в глинистом грунте:

1 – $\tau = 0,00175$ МПа; 2 – $\tau = 0,00180$ МПа;

3 – $\tau = 0,00187$ МПа; 4 – $\tau = 0,0020$ МПа;

5 – $\tau = 0,00212$ МПа

На второй установке для исследования ползучих перемещений модели трубопровода в песчаном грунте методика испытаний аналогична методике на первой установке.

Результаты опытов по вытягиванию моделей постоянными нагрузками, соответствующими касательным напряжениям, равными $0,00311 \div 0,00537$ МПа, показаны на рис. 2 и позволили получить зависимость $u_3=f(\tau, t)$ в виде

$$u_3 = 0,00 \ln t + 0,037 \ln \bar{\tau} - 0,046. \quad (3)$$

Обозначение те же, что и в формуле (2).

Полученные формулы позволяют, зная время эксплуатации трубопровода t и относительные касательные напряжения $\bar{\tau}$, определять величины продольных

перемещений от ползучести грунтов (в глине и в песчаном грунте), существенно при этом упрощая расчет.

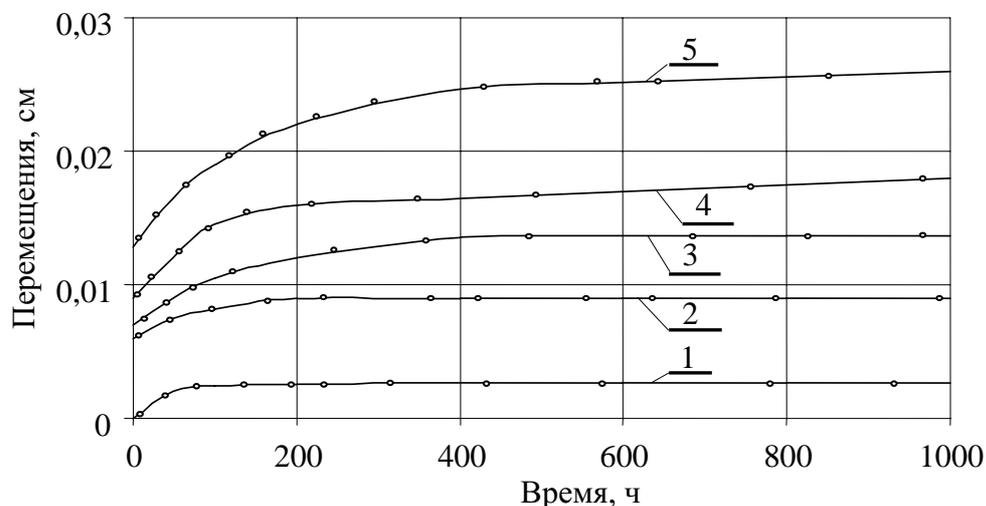


Рис.2. Графики зависимости $u_3=f(t)$ при различных касательных напряжениях τ в песчаном грунте:
 1 – $\tau = 0,00311$ МПа; 2 – $\tau = 0,00394$ МПа;
 3 – $\tau = 0,00435$ МПа; 4 – $\tau = 0,00471$ МПа;
 5 – $\tau = 0,00537$ МПа

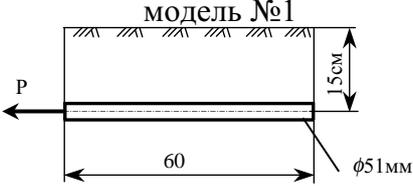
Далее в данной главе приведены примеры расчетов перемещений при следующих исходных данных: в глине $\tau_x = 0,00212$ МПа; $t = 600$ ч; в песчаном грунте $\tau_x = 0,00537$ МПа; $t = 672$ ч.

Сопоставление результатов по методике проф. Бородавкина П.П. и др. и по методу, предложенному автором, приведено в табл.1 и показывает, что перемещение от ползучести грунта существенное, особенно для глинистых грунтов.

В технической школе Германии "Карлсруэ" был выполнен эксперимент по нагружению усилием 920 кН трубной плети $\varnothing 321$ мм длиной 200 м, уложенной в песчаном грунте на глубину 1,0 ÷ 1,2 м. Проведенным экспериментом было установлено, что в течение четырех недель произошло значительное дополнительное перемещение трубопровода в грунте в направлении приложенного усилия, при этом доля перемещения от ползучести составила

$$\frac{u_3}{u_1 + u_2} \cdot 100 = \frac{0,9}{3,9} \cdot 100 = 23\%.$$

Экспериментальное определение перемещений от ползучести грунтов

Экспериментальные установки	Грунт					Перемещения от ползучести грунта U_3 , см					
	вид грунтов	γ_c , кН/м ³	ϕ , градус	C , МПа	K_u , МН/м ³	по опытам	по формулам Бородавкина П.П. Быкова Л.И. Григоренко П.Н.	по предложенным автором формулам	Погрешность, %	U_1+U_2 , см	$(U_3/U_1+U_2) \times 100\%$
 <p>модель №1</p>	глина	17,8	15°	0,02	3	0,067	0,064	0,070	+8,6%	0,070	100%
 <p>модель №2</p>	песок	15,0	35°	0	5	0,025	0,026	0,023	-11,5%	0,107	21,4%

Выполненными исследованиями показано, что неучет ползучести грунта может привести к неточной, а в ряде случаев к ошибочной оценке действительных условий работы трубопровода в течение длительного времени, к потере его эксплуатационной надежности.

Таким образом, явление ползучести грунта оказывает большое влияние на характер взаимодействия трубопроводов с грунтом. Неучет этого явления может в определенных случаях поставить под угрозу нормальную работу трубопровода, привести к потерям перекачиваемого продукта.

В заключение заметим, что явление ползучести наиболее существенно проявляется в глинистых грунтах, особенно водонасыщенных. Это говорит о том, что медленное течение чаще всего наблюдается в тех грунтах, свойства которых приближаются к свойствам вязкой жидкости.

В третьей главе приведены расчеты напряженного состояния трубопроводов на продольных склонах в период монтажа.

Монтаж трубопроводов на продольных склонах осуществляют на практике по схемам как снизу вверх, так и сверху вниз, а также по комбинированной схеме, что зависит в основном от величины продольного уклона, возможности доставки труб вверх или вниз склона, вида и состояния грунтов поверхности склона, наличия соответствующей строительной техники.

В литературе рассмотрены некоторые расчетные случаи, когда фактический угол склона $\alpha \geq \alpha_{\text{пр}}$ и $\alpha < \alpha_{\text{пр}}$, где $\alpha_{\text{пр}} = \arctg f$; f – коэффициент трения трубопровода о грунт.

По предложенным формулам (проф. Бородавкин П.П.) можно подсчитать максимальные усилия P_{max} и максимальные перемещения трубы U_{max} при монтаже сверху вниз и снизу вверх, далее получить напряжения в трубопроводе. Однако формулы, предложенные проф. Бородавкин П.П. могут быть использованы при одном, строго фиксированном угле склона.

На практике чаще встречаются расчетные схемы, когда монтаж трубопровода приходится на склон, включающий два или несколько участков с различными уклонами α_1 и α_2 . В связи с этим возникла необходимость разработки методики, учитывающей следующие расчетные сочетания: 1) $\alpha_1 > \alpha_2 \geq \alpha_{\text{пр}}$; 2) $\alpha_2 > \alpha_1 \geq \alpha_{\text{пр}}$; 3) $\alpha_1 \geq \alpha_{\text{пр}} > \alpha_2$; 4) $\alpha_{\text{пр}} > \alpha_1 > \alpha_2$; 5) $\alpha_{\text{пр}} > \alpha_2 > \alpha_1$; 6) $\alpha_2 \geq \alpha_{\text{пр}} > \alpha_1$. Расчетные схемы и параметры, оценивающие прочность трубопровода при монтаже сверху вниз, приведены в табл. 2, а снизу вверх — в табл. 3.

Здесь $q_{\text{тр}}$ — нагрузка от собственного веса единицы длины трубопровода без продукта; K_U — коэффициент сопротивления грунта при продольных перемещениях трубопровода (в МН/м³), определяемый экспериментальным путем; A — часть длины окружности трубы, опирающейся на грунт; F — площадь поперечного сечения металла трубы; D_n — наружный диаметр трубы; β — коэффициент, равный $\beta = \sqrt{\frac{AK_u}{EF}}$.

Определенные по данным формулам усилия пересчитываются в продольные напряжения по формуле $\sigma = P/F$.

Расчетные схемы напряженного состояния трубопроводов
при монтаже сверху вниз

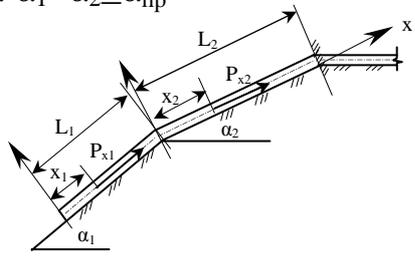
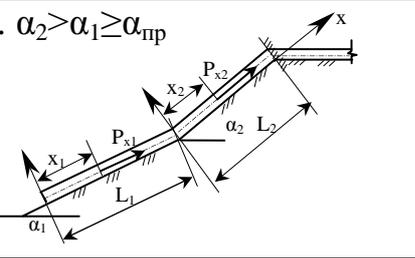
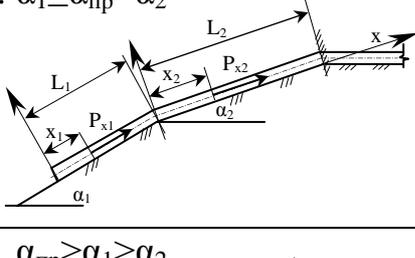
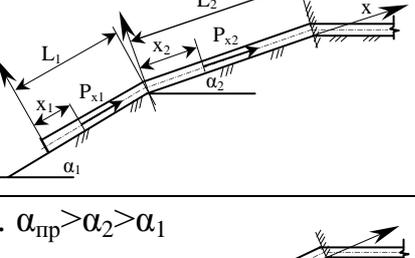
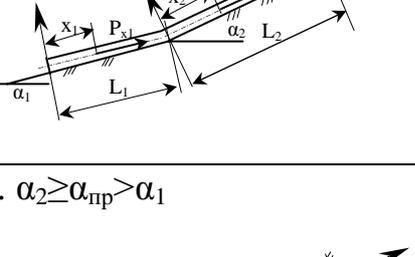
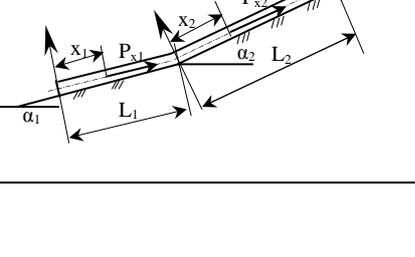
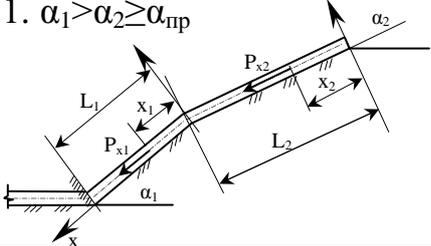
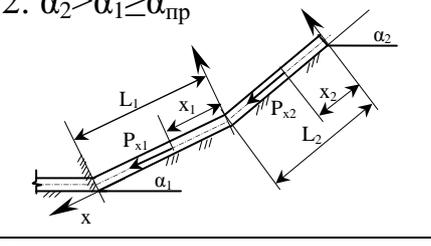
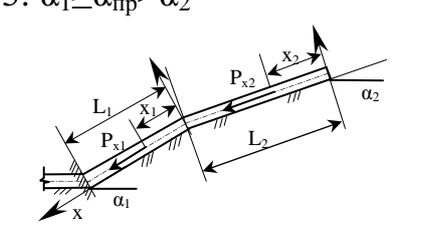
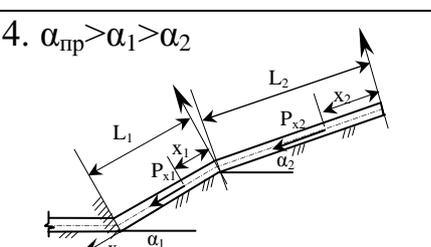
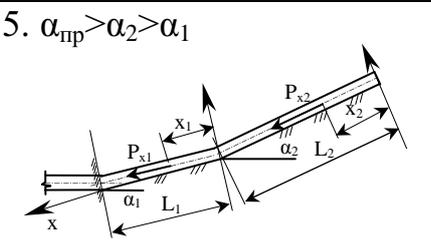
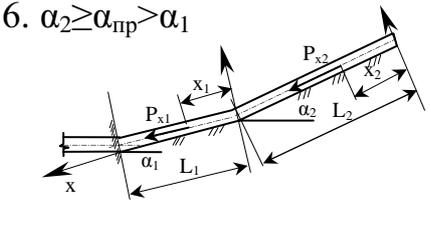
Расчетная схема	Величины, определяющие прочность стенки трубы
<p>1. $\alpha_1 > \alpha_2 \geq \alpha_{\text{пр}}$</p> 	$P_{\max} = q_{TP} L_1 (\sin \alpha_1 - f \cos \alpha_1) + q_{TP} L_2 (\sin \alpha_2 - f \cos \alpha_2)$ $U_{\max} = \frac{-q_{TP} L_1^2}{2EF} (\sin \alpha_1 - f \cos \alpha_1) - \frac{q_{TP} L_2^2}{2EF} (\sin \alpha_2 - f \cos \alpha_2)$
<p>2. $\alpha_2 > \alpha_1 \geq \alpha_{\text{пр}}$</p> 	$P_{\max} = q_{TP} L_1 (\sin \alpha_1 - f \cos \alpha_1) + q_{TP} \frac{\sin \alpha_2 \operatorname{th} \beta L_2}{\beta}$ $U_{\max} = \frac{-q_{TP} L_1^2}{2EF} (\sin \alpha_1 - f \cos \alpha_1) - \frac{q_{TP} \sin \alpha_2}{K_u A} \left(1 - \frac{1}{\operatorname{ch} \beta L_2} \right)$
<p>3. $\alpha_1 \geq \alpha_{\text{пр}} > \alpha_2$</p> 	$P_{\max} = q_{TP} \frac{\sin \alpha_1 \operatorname{th} \beta L_1}{\beta} + q_{TP} \frac{\sin \alpha_2 \operatorname{th} \beta L_2}{\beta}$ $U_{\max} = \frac{-q_{TP} \sin \alpha_1}{K_u A} \left(1 - \frac{1}{\operatorname{ch} \beta L_1} \right) - \frac{q_{TP} \sin \alpha_2}{K_u A} \left(1 - \frac{1}{\operatorname{ch} \beta L_2} \right)$
<p>4. $\alpha_{\text{пр}} > \alpha_1 > \alpha_2$</p> 	$P_{\max} = q_{TP} \frac{\sin \alpha_1 \operatorname{th} \beta L_1}{\beta} + q_{TP} \frac{\sin \alpha_2 \operatorname{th} \beta L_2}{\beta}$ $U_{\max} = \frac{-q_{TP} \sin \alpha_1}{K_u A} \left(1 - \frac{1}{\operatorname{ch} \beta L_1} \right) - \frac{q_{TP} \sin \alpha_2}{K_u A} \left(1 - \frac{1}{\operatorname{ch} \beta L_2} \right)$
<p>5. $\alpha_{\text{пр}} > \alpha_2 > \alpha_1$</p> 	$P_{\max} = q_{TP} \frac{\sin \alpha_1 \operatorname{th} \beta L_1}{\beta} + q_{TP} L_2 (\sin \alpha_2 - f \cos \alpha_2)$ $U_{\max} = \frac{-q_{TP} \sin \alpha_1}{K_u A} \left(1 - \frac{1}{\operatorname{ch} \beta L_1} \right) - \frac{q_{TP} L_2^2}{2EF} (\sin \alpha_2 - f \cos \alpha_2)$
<p>6. $\alpha_2 \geq \alpha_{\text{пр}} > \alpha_1$</p> 	$P_{\max} = q_{TP} \frac{\sin \alpha_1 \operatorname{th} \beta L_1}{\beta} + q_{TP} L_2 (\sin \alpha_2 - f \cos \alpha_2)$ $U_{\max} = \frac{-q_{TP} \sin \alpha_1}{K_u A} \left(1 - \frac{1}{\operatorname{ch} \beta L_1} \right) - \frac{q_{TP} L_2^2}{2EF} (\sin \alpha_2 - f \cos \alpha_2)$

Таблица 3

Расчетные схемы напряженного состояния трубопроводов
при монтаже снизу вверх

Расчетная схема	Величины, определяющие прочность стенки трубы
<p>1. $\alpha_1 > \alpha_2 \geq \alpha_{\text{пр}}$</p> 	$P_{\max} = -q_{TP}L_1(\sin\alpha_1 - f \cos\alpha_1) - q_{TP}L_2(\sin\alpha_2 - f \cos\alpha_2)$
<p>2. $\alpha_2 > \alpha_1 \geq \alpha_{\text{пр}}$</p> 	$U_{\max} = \frac{q_{TP}L_1^2}{2EF}(\sin\alpha_1 - f \cos\alpha_1) + \frac{q_{TP}L_2^2}{2EF}(\sin\alpha_2 - f \cos\alpha_2)$
<p>3. $\alpha_1 \geq \alpha_{\text{пр}} > \alpha_2$</p> 	$P_{\max} = -q_{TP}L_1(\sin\alpha_1 - f \cos\alpha_1) - q_{TP} \frac{\sin\alpha_2 th \beta L_2}{\beta}$ $U_{\max} = \frac{q_{TP}L_1^2}{2EF}(\sin\alpha_1 - f \cos\alpha_1) + \frac{q_{TP} \sin\alpha_2}{K_u A} \left(1 - \frac{1}{ch\beta L_2}\right)$
<p>4. $\alpha_{\text{пр}} > \alpha_1 > \alpha_2$</p> 	$P_{\max} = -q_{TP} \frac{\sin\alpha_1 th \beta L_1}{\beta} - q_{TP} \frac{\sin\alpha_2 th \beta L_2}{\beta}$
<p>5. $\alpha_{\text{пр}} > \alpha_2 > \alpha_1$</p> 	$U_{\max} = \frac{q_{TP} \sin\alpha_1}{K_u A} \left(1 - \frac{1}{ch\beta L_1}\right) + \frac{q_{TP} \sin\alpha_2}{K_u A} \left(1 - \frac{1}{ch\beta L_2}\right)$
<p>6. $\alpha_2 \geq \alpha_{\text{пр}} > \alpha_1$</p> 	$P_{\max} = -q_{TP} \frac{\sin\alpha_1 th \beta L_1}{\beta} - q_{TP}L_2(\sin\alpha_2 - f \cos\alpha_2)$ $U_{\max} = \frac{q_{TP} \sin\alpha_1}{K_u A} \left(1 - \frac{1}{ch\beta L_1}\right) + \frac{q_{TP}L_2^2}{2EF}(\sin\alpha_2 - f \cos\alpha_2)$

Необходимо отметить, что полученные расчетные формулы целесообразно использовать только для условий, встречающихся на практике. Например, монтаж снизу вверх целесообразен на уклонах, не превышающих 20° , при этом тракторы или трубоукладчики доставляют на склон секции из двух-четырех труб или одиночные трубы самостоятельно, монтаж трубопровода сверху вниз может выполняться на любых уклонах, а при величине их более 40° вообще является единственно возможным.

Как показал опыт эксплуатации, магистральные трубопроводы, сооружаемые в горных условиях, при определенных условиях оказываются в зоне развития оползней. Наибольшее распространение они получают на участках, проложенных в сильно пересеченной местности со сложными инженерно-геологическими условиями.

Различают два вида силового воздействия оползающих грунтов на трубопровод.

1. Оползание грунта происходит вдоль оси трубопровода на продольных склонах. При таком воздействии в трубопроводах возникают сжимающие, растягивающие или те и другие напряжения одновременно.

2. Оползание грунта происходит перпендикулярно или под некоторым углом (α) к продольной оси трубопровода (рис.3). Этот вид силового воздействия грунтов наиболее опасен, так как трубопровод подвергается не только растяжению-сжатию, но и изгибу, что при определенных условиях может вызвать излом труб.

Особенно часто оползни второго вида встречаются на участках с разработанными для ведения строительного-монтажных работ полками, из-за нарушения естественного равновесного состояния склонов.

Применяя принцип независимости действия сил, такой сложный расчетный случай предлагается рассматривать как сумму двух простых случаев, при этом максимальные напряжения определять суммированием воздействий от отдельных составляющих оползневого усилия (q_{on}), определяемого по известным

зависимостям механики грунтов: q_1 – в направлении, перпендикулярном к продольной оси, и q_2 – параллельно продольной оси.

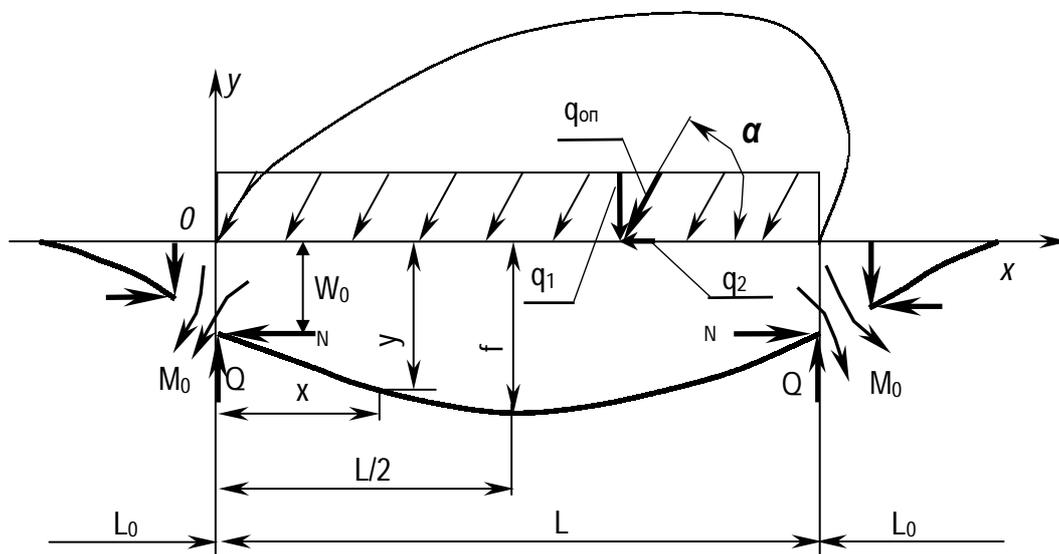


Рис.3. Расчетная схема трубопровода под воздействием оползающего грунта

Если в процессе эксплуатации на каком-либо участке начинает развиваться оползень, то прежде чем приступить к разработке комплекса мероприятий, необходимо проверить напряженное состояние трубопровода, подверженного воздействию оползня. Используя расчетную методику воздействия оползня, предложенную проф. Бородавкиным П.П., нами составлена программа по определению напряженного состояния трубопровода от силового воздействия оползня. Были произведены расчеты напряженного состояния трубопроводов при разных величинах силового воздействия оползня $q_{оп}=0 \dots 16 \text{ кН/м}$; углах $\alpha=15, 30, 45, 60, 75$ и 90° ; длинах участка воздействия оползня $L=20 \dots 140 \text{ м}$. Расчеты выполнены для труб диаметрами $D_n=530, 720, 1020$ и 1420 мм при различных толщинах стенки $\delta=5 \dots 18 \text{ мм}$ (рис.4, 5, 6 и табл.4).

Из табл. 4 видно, что при $\alpha=15^\circ$ на долю напряжений от продольной составляющей q_2 приходится только около 8% от суммарных напряжений $\sigma_{оп}$.

Напряжения в трубопроводе от силового воздействия оползня
при $q_{оп}=4$ кН/м, $L=40$ м, $D_H=530$ мм, МПа (сталь 17Г1С)

α	σ_1 (от $q_1=q_{оп} \cdot \sin\alpha$)	σ_2 (от $q_2=q_{оп} \cdot \cos\alpha$)	$\sigma_{оп}=\sigma_1+\sigma_2$
15°	59,7	5,2	64,9
30°	121,0	4,6	125,6
45°	165,9	3,8	169,7
60°	200,2	2,7	202,9
75°	219,3	1,4	220,7
90°	224,5	0	224,5

Суммарные напряжения, возникающие в трубопроводе от воздействия оползня $\bar{\sigma} = f(\bar{q}, \alpha, \bar{L}, \bar{\delta})$, предлагается описать следующей математической моделью в безразмерном виде:

$$\bar{\sigma} = a \ln(\bar{q} \sin \alpha + 1) + b \ln(\bar{L} + 1) - c \ln(\bar{\delta}) + d. \quad (4)$$

$$\text{Здесь } \bar{\sigma} = \frac{\sigma_{оп}(\text{МПа})}{R_2(\text{МПа})}; \bar{q} = \frac{q_{оп}(\text{Н/м})}{10000(\text{Н/м})}; \bar{L} = \frac{L(\text{м})}{10(\text{м})}; \bar{\delta} = \frac{\delta(\text{мм})}{1(\text{мм})}; R_2 - \text{расчетное со-}$$

противление трубной стали. Коэффициенты a , b , c и d , полученные с помощью статистической обработки, представлены на рис. 7 и выражаются зависимостями:

$$a = 1 \times 10^{-6} \cdot D_H^2 - 3,9 \times 10^{-3} \cdot D_H + 4,44; \quad (5)$$

$$b = 2 \times 10^{-7} \cdot D_H^2 - 1,2 \times 10^{-3} \cdot D_H + 1,62; \quad (6)$$

$$c = 2 \times 10^{-7} \cdot D_H^2 - 1,5 \times 10^{-3} \cdot D_H + 2,26; \quad (7)$$

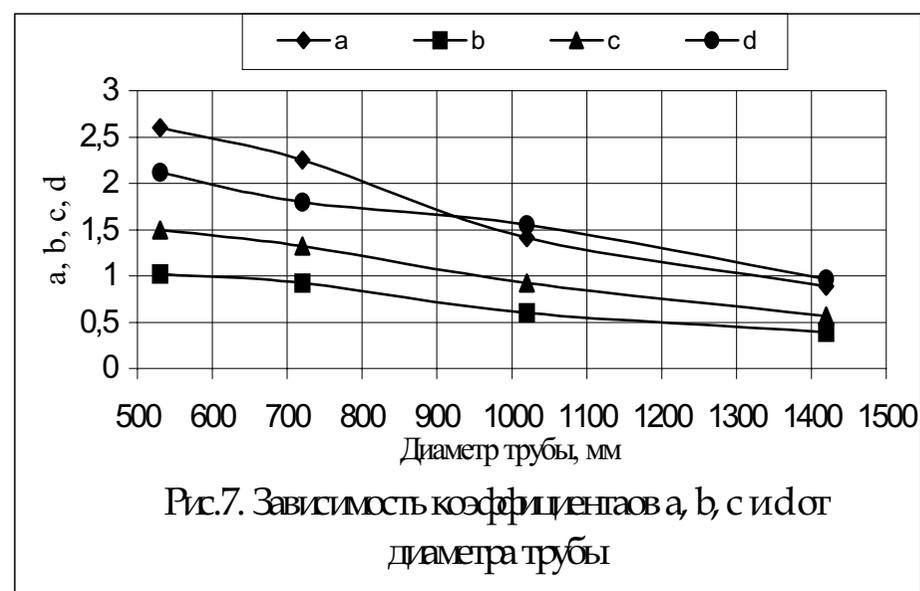
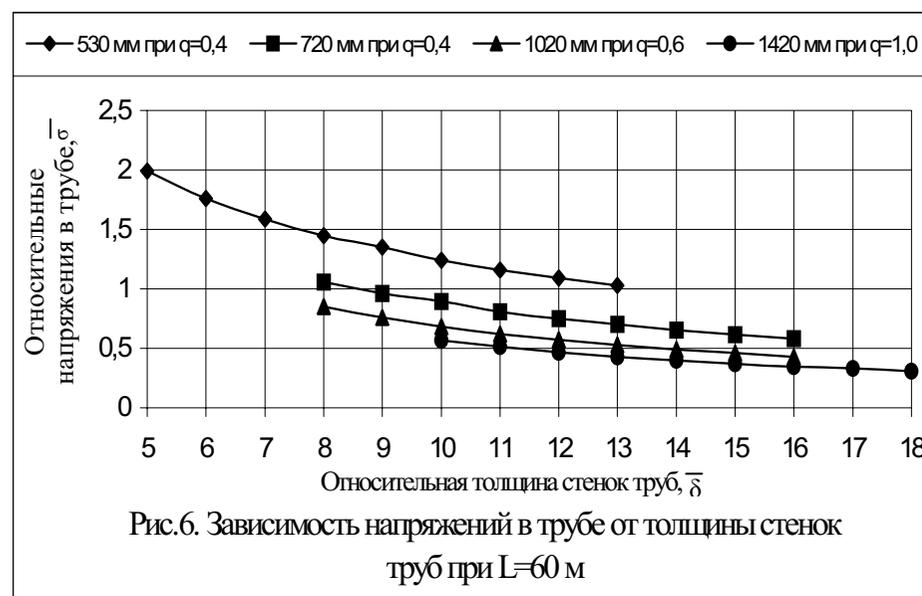
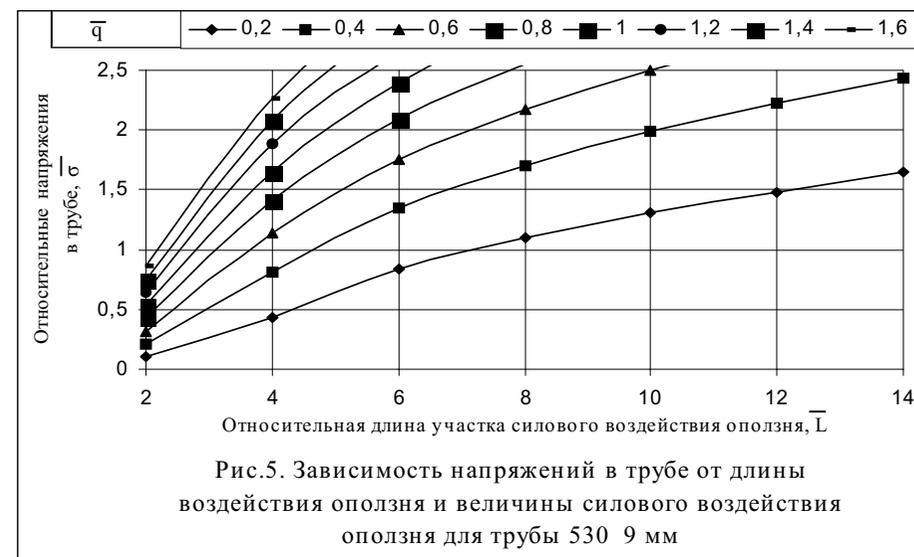
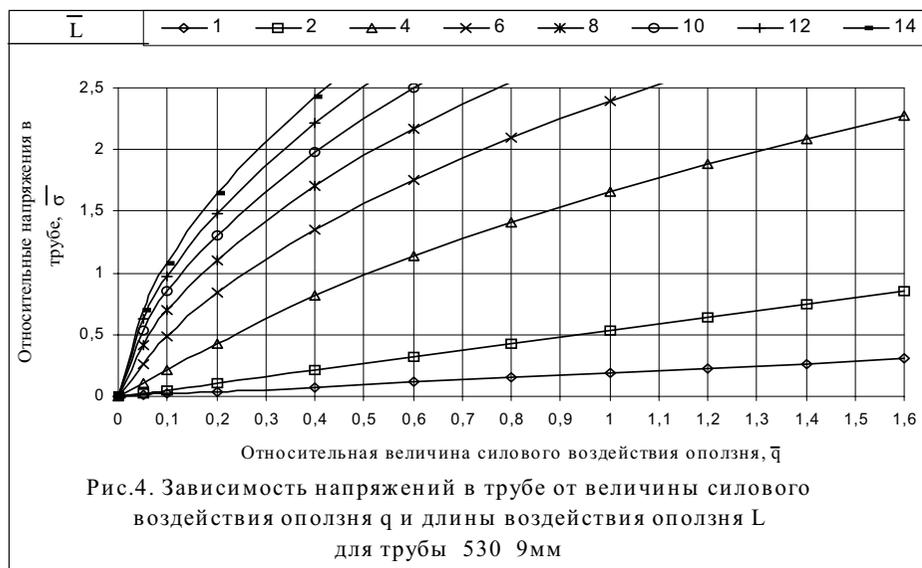
$$d = -2 \times 10^{-7} \cdot D_H^2 - 9 \times 10^{-4} \cdot D_H + 2,63. \quad (8)$$

Сопоставление результатов по традиционной методике и по методике, предложенной автором, приведено в табл.5.

Таблица 5

Напряжения в трубопроводе от воздействия оползня, МПа

Диаметр, толщина стенки, мм	По методике Бородавкина П.П., МПа	По предложенной зависимости (4), МПа	Отклонение, %
530×9	301,0	281,6	-6,4
720×10	212,1	220,6	+4,0
1020×12	187,7	171,7	-8,5
1420×15	280,9	293,6	+4,5



Как видно из табл.5, результаты расчетов по предложенной методике и по методике проф. Бородавкина П.П. находятся в полном соответствии, что подтверждает целесообразность ее использования для оперативной оценки уровня напряженного состояния трубопроводов, подверженных оползневому воздействию.

Если при эксплуатации трубопровода суммарные напряжения $\sigma_{оп} + \sigma_{пр}$ (от внутреннего давления и перепада температуры), возникающие в трубопроводе, будут превышать расчетное сопротивление R_2 , то придется увеличивать толщину стенки трубы, применять более прочную трубу или принять мероприятия по снижению воздействия оползня (укрепление сооружения).

Предложенный прием расчетного метода позволяет быстро оценить несущую способность участков трубопроводов, подверженных общему случаю воздействия оползающего грунта, существенно при этом упрощая расчет.

В четвертой главе разработана последовательность действий при составлении прогноза оползневых процессов, происходящих в сильно пересеченной местности. Также изложены основные принципы борьбы с оползнями и дана оценка эффективности противооползневых мероприятий в условиях сильно пересеченной местности. Задача борьбы с оползнями – обеспечить устойчивость склона, т.е. не допустить возникновения оползня на еще неподвижном склоне или прекратить смещение оползающих масс.

В данной главе разработана классификация противооползневых мероприятий и предложены новые конструкции для трубопроводов, прокладываемых в условиях сильно пересеченной местности.

Пересечение трубопроводом оползневого массива всегда нежелательно, ибо содержит, как было показано выше, возможную опасность его разрушения. Но если все же трубопровод проложен на участке, предрасположенном к оползню, то в период строительства и в процессе эксплуатации необходимо принимать меры, обеспечивающие его надежную работу.

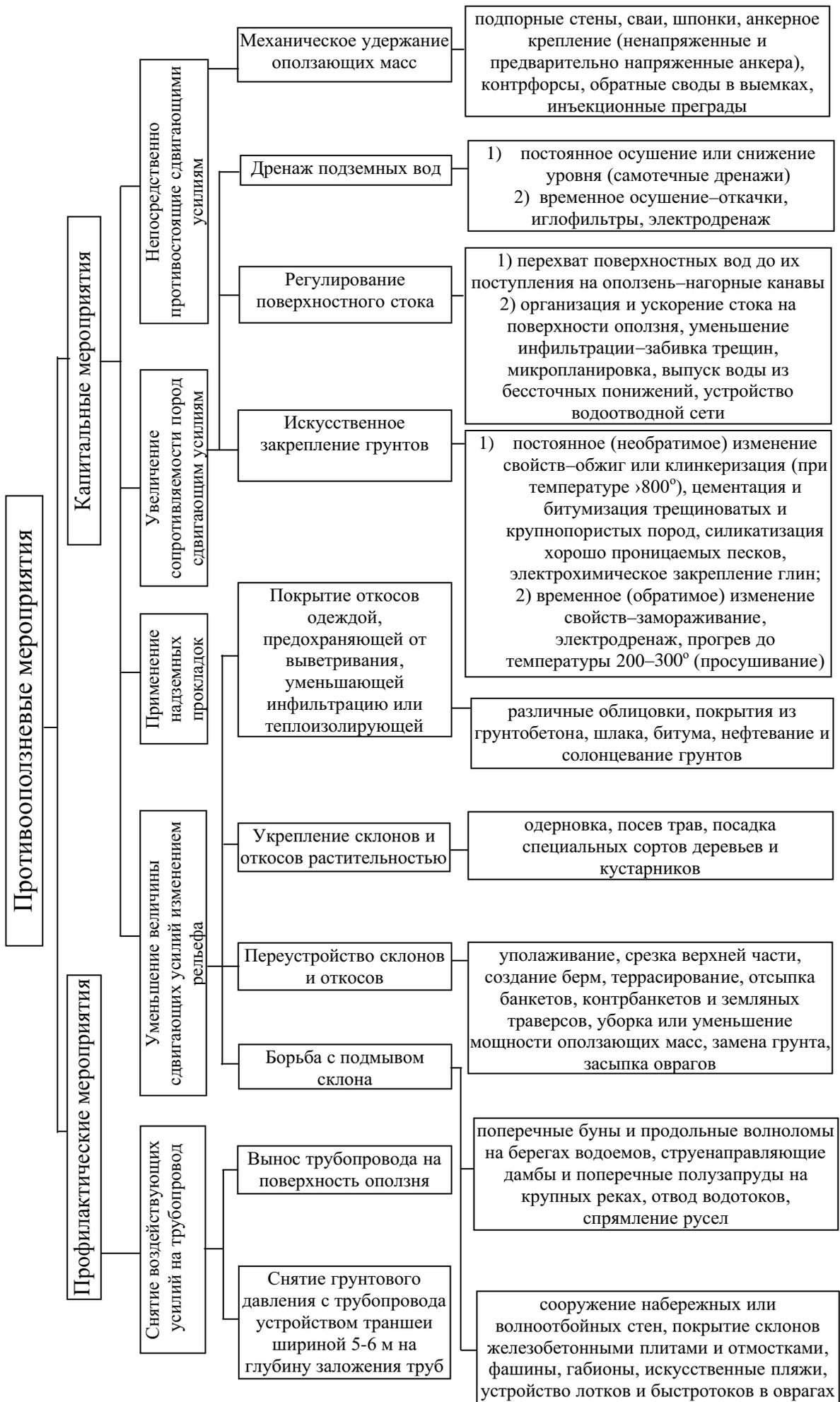


Рис.8. Классификация противооползневых мероприятий

В настоящее время применяются разнообразные виды противооползневых сооружений и мероприятий. При рассмотрении комплекса возможных мер по защите трубопровода от воздействия оползней все принимаемые мероприятия можно подразделить на две группы: профилактические и капитальные (рис. 8).

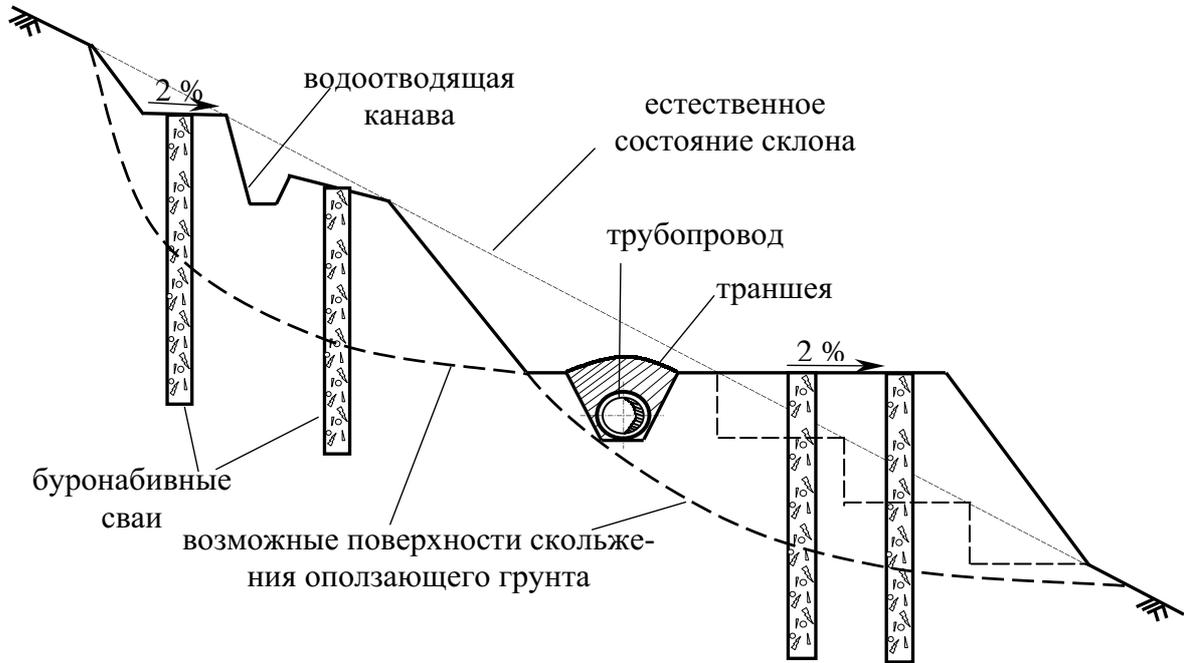


Рис.9. Схема поперечного разреза полки в виде полунасыпи – полувыемки на прогнозируемом оползневом участке трассы

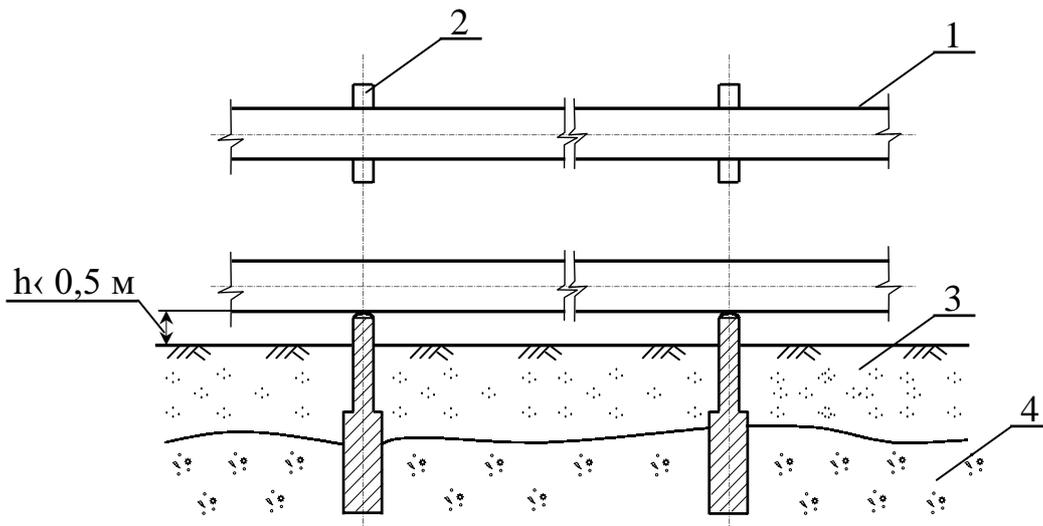


Рис.10. Надземная прокладка трубопроводов:

- 1 – трубопровод, подвергающийся воздействию в зоне оползня;
2 – опора; 3 – оползневый массив; 4 – стабильный слой грунта

Целью профилактических мер является предотвращение возможного разрушения труб на какой-то период, необходимый для разработки и практической реализации схемы капитального ремонта оползневого участка.

После принятия профилактических мер необходимо выполнить капитальные мероприятия.

На практике часто приходится принимать противооползневые мероприятия, такие как: перехват поверхностных и грунтовых вод; устройство буронабивных железобетонных свай, прорезающих оползень и входящих на 2–3 м в коренной грунт (рис. 9); надземную прокладку (рис. 10), с тем, чтобы оползень прошёл под трубопроводом. В некоторых случаях (при малых оползнях) неплохие результаты может дать устройство подпорных стенок.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. На основе выполненных экспериментальных исследований по взаимодействию заглубленных трубопроводов с различными грунтами определены реологические свойства грунта и разработана методика расчета продольных перемещений с учетом реологических свойств грунта. Установлено, что при учете ползучести продольные перемещения труб оказываются на 20 ÷ 100% больше, чем при расчете без учета деформаций от ползучести грунта.

2. Разработана методика расчета напряженного состояния трубопроводов в строительный период при различных углах продольного склона, позволяющая оценить уровень напряженного состояния трубопроводов в расчетных случаях, наиболее часто встречаемых на практике.

3. На основе анализа существующих методов расчета предложена новая математическая модель оценки напряженного состояния трубопроводов в виде $\bar{\sigma} = f(\bar{q}, \alpha, \bar{L}, \bar{\delta})$, позволяющая оперативно судить о несущей способности участка трубопровода, подверженного общему случаю воздействия оползающего грунта.

4. Разработана классификация противооползневых мероприятий и предложены новые конструктивные схемы использования буронабивных свай на косогорном участке трассы и надземной прокладки трубопроводов в случаях, когда подземная схема неприемлема.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Чжан Дунчэнь. Особенности строительства участков магистральных трубопроводов в горных условиях Китая//Строительство, архитектура, коммунальное хозяйство – 2000: Матер. IV междунар. науч.-техн. конф. при IV междунар. спец. выст. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2000. –С. 97.

2. Чжан Дунчэнь. Перспектива сотрудничества между Китаем и Россией по трубопроводному транспорту нефти и газа//Материалы 51-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. –Уфа: Изд-во УГНТУ, 2000. –С. 94.

3. Чжан Дунчэнь. Анализ факторов, влияющих на напряженное состояние трубопроводов в горных условиях//Наука и технология углеводородных дисперсных систем: Матер. второго Междунар. симп. –Уфа: Изд-во "Реактив", 2000. –С. 250–251.

4. Гумеров А.Г., Зайнуллин Р.С., Олешко В.Д., Чжан Дунчэнь. Особенности расчета трубопроводов, проложенных в горной местности//Материалы III Конгресса нефтегазопромышленников России. –Уфа: Изд-во "Транстэк", 2001. – С. 114–115.

5. Чжан Дунчэнь. Анализ воздействия оползня на трубопровод при различных параметрах грунта//Материалы 52-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. –Уфа: Изд-во УГНТУ, 2001. –С. 8.

6. Чжан Дунчэнь, Быков Л.И. Анализ напряженного состояния подземных трубопроводов при воздействии оползня//Планирование и проектирование по нефтяной промышленности. –Пекин. – 2001. –№6. – С. 1–3.

7. Чжан Дунчэнь. К расчету напряжений в трубопроводе на участке воздействия оползня//Севергеоэкотех–2002: Матер. межрегион. молод. науч. конф. –Ухта: Изд-во УГТУ, 2002. –С. 95–96.

8. Чжан Дунчэнь, Быков Л.И., Беляев А.Ю. Оценка напряженного состояния трубопровода под воздействием оползня//Строительство, архитектура, коммунальное хозяйство – 2002: Матер. VI Междунар. науч.-техн. конф. при VI Междунар. спец. выст.– Уфа: Изд-во УГНТУ, 2002, – С. 115–116.

9. Чжан Дунчэнь, Быков Л.И., Беляев А.Ю. Исследование силового воздействия оползня на заглубленный трубопровод//Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов, посвященной 50–летию с начала подготовки специалистов трубопроводного транспорта в УНИ-УГНТУ. –Уфа: Изд-во УГНТУ, 2002, – С. 158–159.

10. Чжан Дунчэнь, Быков Л.И. Исследование напряженного состояния трубопроводов на продольных склонах при монтаже//Планирование и проектирование по нефтяной промышленности. – Пекин. – 2002. – №3. – С. 19–21.

11. Быков Л.И., Чжан Дунчэнь. Напряженное состояние трубопроводов на продольных склонах в период монтажа//Изв.вузов. Нефть и газ. –2002. –№4. – С. 45–50.