

Ю. В. Л и с и н, А. А. А л е к с а н д р о в,
В. И. Л а р и о н о в, М. А. К о з л о в

ОЦЕНКА ПЛАНОВО-ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ТРУБОПРОВОДА НА УЧАСТКАХ С МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫМИ ГРУНТАМИ

Рассмотрены основные закономерности взаимодействия трубопровода с грунтом на участках с многолетнемерзлыми грунтами. Определена деформация трубопровода вследствие осадки грунта и выполнена оценка его прочности и устойчивости, а также показателей ореола оттаивания и тепловой осадки грунта.

E-mail: lar@esrc.ru

Ключевые слова: *трубопровод, магистральный, многолетнемерзлые грунты, ореол оттаивания, тепловая осадка грунта, деформация.*

При оценке безопасности участков магистральных нефтепроводов важно знать динамику развития процессов на участках сложных геологических условий (СГУ). На участках с многолетнемерзлыми грунтами вследствие транспортирования нефти образуется ореол оттаивания, в пределах которого происходит тепловая осадка вмещающего трубопровод грунтового массива, что вызывает неравномерную деформацию трубопровода, ведущую к его отклонению от проектного положения; это, в свою очередь, может повлечь за собой возникновение в трубе чрезмерного напряжения, являющегося одной из причин аварий. Такие участки определяются расчетным путем в ходе решения задачи оценки планово-высотного положения (ПВП) трубопровода на участках с многолетнемерзлыми грунтами [1].

Математическая модель для оценки ПВП включает в себя расчет ореола оттаивания, определение тепловой осадки грунта и напряженно-деформированного состояния (НДС) трубопровода.

Математическая модель расчета ореола оттаивания. Для определения температурного поля и прогноза формирования ореола оттаивания вокруг магистрального трубопровода (МТ) разработана прогнозная математическая модель температурного режима вмещающего МТ грунтового массива, которая включает в себя физико-математическую и численную модели теплопереноса во вмещающем трубопровод грунтовым массиве, а также алгоритм численного (методом конечных разностей) решения задачи в двумерной постановке.

Применение прогнозной модели позволяет получать температурные поля и ореолы оттаивания в поперечных сечениях грунтового массива, вмещающего МТ, в различные моменты времени прогноза с учетом природно-климатических особенностей района строительства, различных режимов эксплуатации МТ и продолжительности эксплуатации МТ в этих регионах.

Вмещающий МТ грунтовый массив представляет собой сложную открытую термодинамическую систему, в которой из-за взаимодействия окружающей среды и нефтепровода происходит нарушение термодинамического равновесия, что приводит к возникновению процессов теплопереноса. Эти процессы представляются весьма сложными и многообразными, поскольку материалы, составляющие прилегающий грунтовой массив, являются сложными многокомпонентными (гетерогенными) системами, состоящими из органоминеральных частиц скелета, поровых растворов и поровых газов, причем входящая в состав поровых растворов влага находится в различных силовых (свободная и связанная) и фазовых (пар, жидкость и лед) состояниях.

В грунтовой среде перенос теплоты может осуществляться всеми видами теплообмена — кондуктивным, конвективным и лучистым.

Однако преобладающим является кондуктивный теплоперенос с фазовыми превращениями поровой влаги.

Таким образом, температурный режим грунтового массива, вмещающего МТ, формируется в основном под влиянием следующих факторов: кондуктивного теплопереноса и процессов фазовых превращений поровой влаги — таяния льда и замерзания воды в порах грунтовых материалов.

Строение порового пространства грунтовых материалов носит сложный неупорядоченный характер. Статистический характер распределения частиц скелета и пор по формам и размерам не позволяет построить идеальные модели дисперсных и пористых сред. Поэтому обычно рассматривается усредненная картина движения жидкости, газа и распространения теплоты, и пористые материалы, в которых происходят процессы тепло- и массопереноса, описываются усредненными параметрами, представляющими собой интегральные характеристики достаточно представительных (по сравнению с размерами частиц, пор) объемов.

Введение таких статистических характеристик, как пористость, проницаемость и температура, позволяет гомогенизировать потоки в малом объеме и внести в теорию тепло- и массопереноса понятия скорости, давления, проницаемости, температуры и массы вещества в данной точке.

Приводимые далее уравнения справедливы для фиктивной среды с физическими характеристиками, соответствующими среднеинтегральным параметрам реальной среды:

$$X_{\text{фс}} = \frac{1}{V} \int_V X dV, \quad (1)$$

где $X_{\text{фс}}$ — какая-либо характеристика фиктивной среды (температура, плотность вещества и пр.); X — то же, реальной среды; V — некоторый объем реальной среды с неоднородной структурой.

Дифференциальные уравнения переноса теплоты. Процесс кондуктивной теплопередачи (теплопроводности) может быть описан уравнением Фурье, которое в двумерных условиях будет иметь вид

$$C_{\text{гр}}\rho_{\text{гр}} \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial X} \left(\lambda_{\text{гр}} \frac{\partial \vartheta}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(\lambda_{\text{гр}} \frac{\partial \vartheta}{\partial Y} \right), \quad (2)$$

где $C_{\text{гр}}\rho_{\text{гр}}$ — объемная теплоемкость грунта, включающая теплоемкость всех его компонентов.

Для грунтов, находящихся при температуре ниже температуры замерзания свободной воды, уравнение теплопроводности записывается как

$$C_{\text{гр}}\rho_{\text{гр}} \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial X} \left(\lambda_{\text{гр}} \frac{\partial \vartheta}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(\lambda_{\text{гр}} \frac{\partial \vartheta}{\partial Y} \right) + \rho_{\text{л}} n L \frac{\partial R}{\partial t} b. \quad (3)$$

Последнее слагаемое в уравнении (3) описывает выделение или поглощение теплоты при фазовых превращениях поровой влаги в грунте, а входящая в это выражение относительная льдистость представляет собой отношение массы порового льда к массе поровой воды: если вся вода замерзла, то $R = 1$, если весь лед растаял — $R = 0$. Таким образом, теплоперенос во вмещающем грунтовом массиве описывается системой дифференциальных уравнений, которая дополняется зависимостями для входящих в уравнения коэффициентов:

$$\lambda_{\text{гр}} = \lambda_{\text{т}} + R(\lambda_{\text{м}} - \lambda_{\text{т}}) \quad (4)$$

— для коэффициента теплопроводности, где $\lambda_{\text{т}}$ и $\lambda_{\text{м}}$ — коэффициенты теплопроводности грунта, находящегося в талом и твердомерзлом состояниях;

$$(C\rho)_{\text{гр}} = (C\rho)_{\text{т}} - [1 - (C\rho)_{\text{л}}] R n b, \quad (5)$$

— для объемной теплоемкости, где $(C\rho)_{\text{т}}$ и $(C\rho)_{\text{л}}$ — объемные теплоемкости талого грунта и порового льда; b — степень влажности (льдистости) грунта.

Для расчетов полей температуры во вмещающем МТ массиве грунта должны быть назначены краевые условия (начальные и граничные).

Многообразие физических величин, определяющих температурный режим вмещающего массива, и наличие как внешних, так и внутренних границ в его теле осложняет назначение краевых условий. Тем не менее, назначение последних должно проводиться с использованием как можно большего числа достоверных натуральных данных, ибо от этого зависит достоверность результатов расчета.

Начальные условия. Начальное температурное состояние (на начало расчетов) принимается по данным натуральных наблюдений в термоскважинах (данные заказчика) или, например, по результатам предварительного (на конец строительного периода) теплотехнического прогноза.

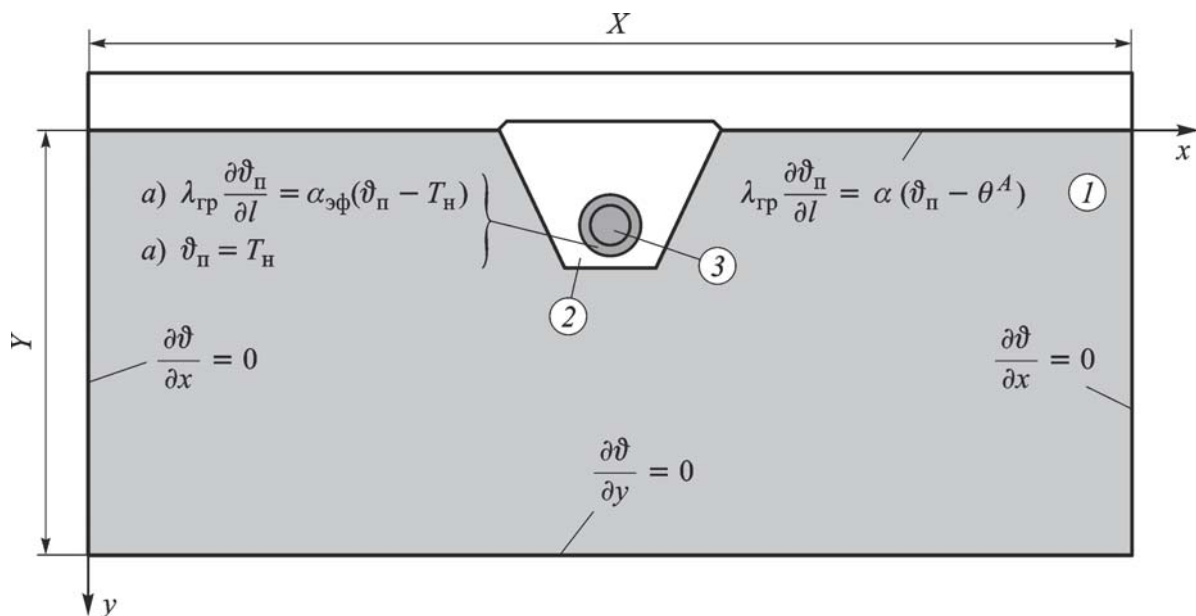


Рис. 1. Расчетная область грунтового массива (1), вмещающего МТ (3) (2 — обратная засыпка). Граничные условия третьего рода при наличии антикоррозионного слоя (а) и первого рода, когда антикоррозионный слой отсутствует (б)

Граничные условия в расчетной области. Для расчетов температурных полей и ореолов оттаивания вокруг МТ назначается расчетная область грунтового массива (рис. 1). Поскольку в общем случае грунтовой массив может быть весьма неоднородным (кроме того, верхняя поверхность его может быть не горизонтальной), в расчетную область включаются обе четверти полупространства. При этом размеры полупространства назначаются с таким расчетом, чтобы тепловое влияние трубопровода в процессе расчетов на боковых и нижней границах расчетной области было минимальным. Опыт проведения расчетов исследуемого температурного режима вмещающего трубопровод грунтового массива показал, что размеры расчетной области могут быть ограничены по ширине величиной $50d$, по глубине — $30d$ (d — диаметр трубы).

Условия теплообмена на границах рассчитываемой области задаются следующим образом:

$$-\lambda_{гр} \frac{\partial \vartheta_{п}}{\partial l} = S_R + S_K \quad (6)$$

— граничное условие третьего рода для дневной поверхности вмещающего МТ грунтового массива, где $\vartheta_{п}$ — температура поверхности сооружения; l — расчетная глубина от дневной поверхности; $S_R + S_K$ — теплоприток извне к поверхности грунта; S_R — радиационный теплоприток;

$$S_K = \alpha (\vartheta_{п} - \theta^A) \quad (7)$$

— конвективный теплоприток; α — эффективный (когда поверхности покрыты снегом) или конвективный (когда снега нет) коэффициенты теплоотдачи от атмосферного воздуха с температурой θ^A к соответствующим поверхностям сооружения с температурой $\vartheta_{п}$.

Конвективный коэффициент теплообмена, ккал/(м² · ч · град), атмосферного воздуха с дневной поверхностью вмещающего МТ грунтового массива определяется по зависимости

$$\alpha_k = 0,93\sqrt{U_1} \left(6 + \frac{6,2}{U_1^2} \right), \quad (8)$$

где U_1 — средняя за рассматриваемый период времени скорость ветра над поверхностью земли.

Эффективный коэффициент теплообмена, ккал/(м² · ч · град), атмосферного воздуха с дневной поверхностью вмещающего грунтового массива через слой снежного покрова определяется по формуле

$$\alpha_{\text{эф}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{сн}}} + \frac{\delta_{\text{сн}}}{\lambda_{\text{сн}}}}, \quad (9)$$

где $\delta_{\text{сн}}$ — толщина снежного покрова на откосах.

Коэффициент теплопроводности снега $\lambda_{\text{сн}}$, ккал/(см · с · град), для каждого зимнего месяца в зависимости от плотности снега и его толщины можно определить как

$$\lambda_{\text{сн}} = 0,0005 + 0,0019\rho_s + 0,006\rho_s^2, \quad (10)$$

причем плотность снега, кг/м³, определяется по формуле Абе, являющейся результатом обобщения экспериментальных данных:

$$\rho_s = a \cdot 10^{bz}, \quad (11)$$

где z — глубина от поверхности снега.

Коэффициент теплообмена, ккал/(м² · ч · град), атмосферного воздуха с поверхностью снежного покрова может быть найден по формуле Юргенса:

$$\alpha_{\text{сн}} = 6,47U_1^{0,78}. \quad (12)$$

Радиационный теплоприток можно вычислить по следующей формуле:

$$S_R = \frac{Q_0 k (1 - A)}{t}, \quad (13)$$

где Q_0 — суммарная (прямая и рассеянная) солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности (принимается по справочным данным); t — время ($t = 2592000$ с); k — коэффициент пересчета для поверхностей разного наклона и различной ориентации; A — альбедо поверхности.

На боковых и нижней границах расчетной области принимается условие одномерности теплового потока:

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial \vartheta}{\partial y} = 0, \quad (14)$$

т.е. эти границы рассматриваются как адиабатические поверхности.

На внешней поверхности трубы при наличии теплоизоляции принимается условие третьего рода (рис. 2):

$$\lambda_{\text{гр}} \frac{\partial \vartheta_{\text{п}}}{\partial l} = \alpha_{\text{эф}} (\vartheta_{\text{п}} - T_{\text{н}}), \quad (15)$$

где $\lambda_{\text{гр}}$ — коэффициент теплопроводности окружающего грунта; $\vartheta_{\text{п}}$ — температура грунта на внешней поверхности теплоизоляции; $\alpha_{\text{эф}}$ — эффективный коэффициент теплоотдачи от нефти внутри трубы к грунту через слой теплоизоляции (средний за месяц); l — расстояние от расчетной точки по нормали к поверхности трубы; $T_{\text{н}} = f(t)$ — температура нефти (средняя за месяц).

Эффективный коэффициент теплоотдачи от нефти внутри трубы к грунту определяется по следующей формуле:

$$\alpha_{\text{эф}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \frac{\delta_{\text{ти}}}{\lambda_{\text{ти}}}}, \quad (16)$$

где $\delta_{\text{ти}}$ — толщина антикоррозионного покрытия, м; $\lambda_{\text{ти}}$ — коэффициент теплопроводности антикоррозионного покрытия; $\alpha_{\text{н}}$ — коэффициент теплообмена металла трубы с внутренней поверхностью антикоррозионного покрытия.

При гидродинамически и термически стабилизированном течении жидкости теплоотдача определяется следующим образом: $\text{Nu}_d \cong 4,36$, т.е. критерий Нуссельта — величина постоянная.

Справедливо соотношение

$$\frac{\lambda(t_{\text{с}} - t_{\text{ж}})}{2q_c r_0} = \frac{\lambda}{\alpha d} = \frac{1}{\text{Nu}_d}, \quad (17)$$

где $t_{\text{с}}$ — средняя температура стенки; $t_{\text{ж}}$ — среднемассовая температура жидкости; r_0 — внутренний радиус трубы; α — коэффициент теплоот-

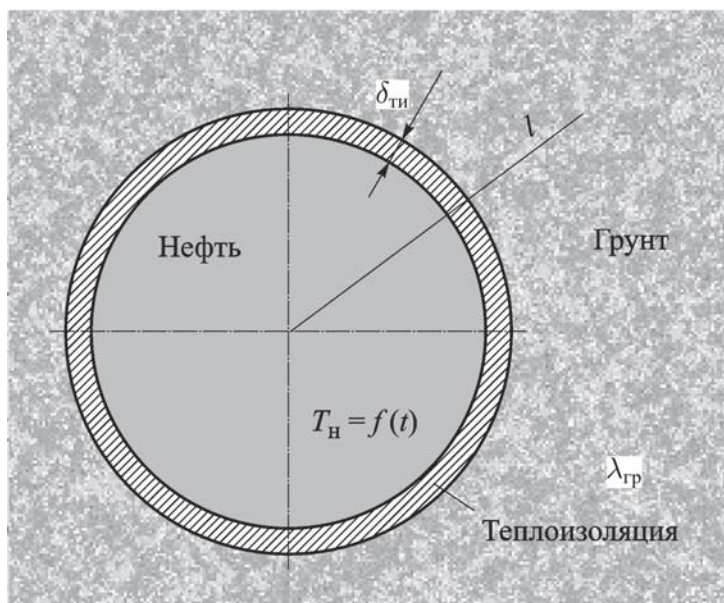


Рис. 2. Граничное условие на поверхности трубы нефтепровода

дачи от нефти к стенке трубы; λ — коэффициент теплопроводности; q_c — плотность теплового потока.

Таким образом, из выражения (17) следует

$$\alpha = \frac{\text{Nu}_d \lambda_n}{d}; \quad \alpha = 4,36 \frac{\lambda_n}{d}, \quad (18)$$

где d — внутренний диаметр трубы.

Коэффициент теплопроводности нефти в зависимости от температуры может быть определен по формуле

$$\lambda_n = 0,14 - 0,075 \cdot 10^{-3} T_n, \quad (19)$$

где λ_n — коэффициент теплопроводности нефти; T_n — температура нефти.

На внешней поверхности трубы при отсутствии покрытия принимается условие первого рода

$$\vartheta(x, y, t) = T_n(t), \quad (20)$$

где $T_n(t)$ — среднемесячная температура нефти, определяемая по результатам тепло-гидравлического расчета МТ, который выполнялся для разных НПС и для различной производительности и продолжительности эксплуатации МТ при данной производительности.

Для решения задачи теплотехнического прогноза применен метод конечных разностей.

Переход от дифференциальных уравнений к разностным заключается в том, что область непрерывного изменения аргументов X и Y заменяется конечным дискретным множеством точек, называемым сеткой. Точки, аппроксимирующие рассматриваемую область, называются узлами сетки. Вместо функций непрерывного аргумента рассматриваются функции дискретного аргумента, определяемые в узлах сетки и называемые сеточными функциями. Производные, входящие в дифференциальные уравнения, заменяются разностными выражениями, а дифференциальные уравнения — системой алгебраических разностных уравнений.

Определение тепловой осадки грунта. Расчет тепловой осадки грунта ведется при помощи методов, изложенных в нормативах [3]. Методика определения осадки оттаивающего в процессе эксплуатации сооружения основания для одномерной задачи учитывает осадку оттаивающего грунта от действия собственной массы грунта и массы сооружения без возможности его бокового расширения. Расчет осадки на любой выбранный момент времени проводится от момента пуска трубопровода в эксплуатацию, при этом считается, что к расчетному моменту времени первичная и вторичная консолидации грунта произошла, грунт под сооружением повторно не замерзает (тенденция к увеличению глубины оттаивания по времени), конфигурация опорной

части сооружения приводится к прямоугольной плите с равномерно-распределенной нагрузкой по ее подошве, расчетная область ограничивается зоной оттаивания либо кровлей непросадочного при оттаивании грунта.

Осадку оттаивающего в процессе эксплуатации основания сооружения следует определять как

$$s = s_{th} + s_p, \quad (21)$$

где s_{th} — составляющая осадки основания, обусловленная действием собственной массы оттаивающего грунта; s_p — составляющая осадки основания, обусловленная дополнительным давлением на грунт от действия массы сооружения.

Составляющую осадки основания s_{th} надлежит определять по формуле

$$s_{th} = \sum_{i=1}^n (A_{th,i} + \delta_i \sigma_{zg,i}) h_i, \quad (22)$$

где n — число выделенных при расчете слоев грунта; $A_{th,i}$ — коэффициент оттаивания; δ_i — коэффициент сжимаемости i -го слоя оттаивающего грунт; $\sigma_{zg,i}$ — вертикальное напряжение от собственной массы грунта в середине i -го слоя грунта, определяемое расчетом для глубины z_i от уровня планировочных отметок; h_i — толщина i -го слоя оттаивающего грунта.

Коэффициенты оттаивания A_{th} и сжимаемости оттаивающего грунта δ надлежит устанавливать, как правило, по результатам полевых испытаний мерзлых грунтов.

Составляющую осадки основания s_p при расчетной схеме в виде линейно деформируемого слоя конечной толщины следует определять по формуле

$$s_p = p_0 b k_h \sum_{i=1}^n \delta_i k_{\mu,i} (k_i - k_{i-1}), \quad (23)$$

где p_0 — дополнительное вертикальное давление на основание под сооружением (подошвой фундамента); b — ширина сооружения в створе (подошвы фундамента); k_h — коэффициент, определяемый в зависимости от отношения z/b (z — расстояние от подошвы фундамента до нижней границы зоны оттаивания или кровли непросадочного при оттаивании грунта); $k_{\mu,i}$ — коэффициент, определяемый по работе [3] в зависимости от отношения z_i/b (z_i — расстояние от подошвы фундамента до середины i -го слоя грунта); k_i и k_{i-1} — коэффициенты, определяемые по данным из работы [3] в зависимости от отношений l/b ($l/b > 10$), a_i/b и a_{i-1}/b , где a_i и a_{i-1} — расстояние от подошвы фундамента соответственно до подошвы и кровли i -го слоя грунта ($a_1 = (z_i + h_i)/2$).

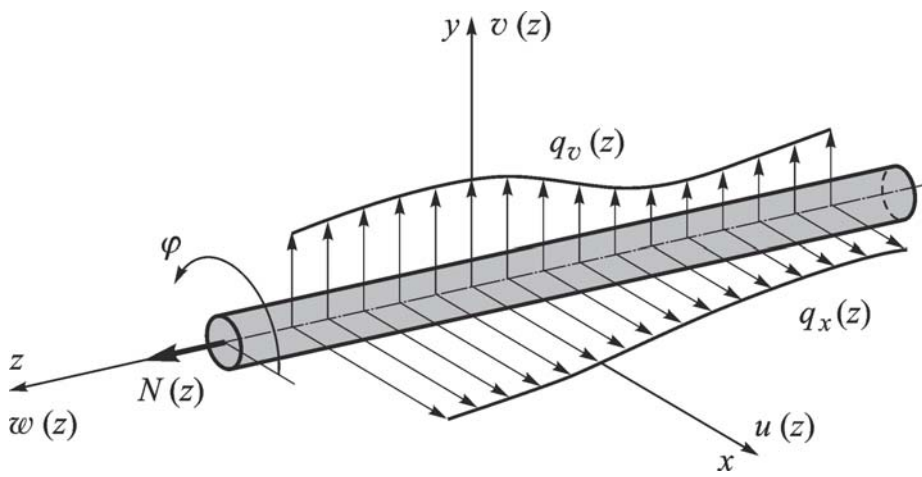


Рис. 3. Схема участка трубопровода

Математическая модель оценки плано-высотного положения трубопровода. Рассмотрим основные закономерности взаимодействия трубопровода с грунтом на участках СГУ. В данном случае участок трубопровода под действием грунтовых изменений подвергается воздействиям во всех направлениях в пространстве. Схема участка трубопровода приведена на рис. 3.

Трубопровод рассматривается как упругая балка бесконечной длины, находящаяся под действием комплексных нагрузок. Задача состоит в определении НДС участка трубопровода. Расчет НДС трубопровода, эксплуатируемого в СГУ, должен учитывать: неоднородность грунтовых условий по длине трубопровода и их возможное изменение; реальное ПВП трубопровода; возможность изменения и перераспределения нагрузки на трубопровод в зависимости от деформаций самого трубопровода и грунта.

Решение строится с помощью системы дифференциальных уравнений [4]

$$\begin{aligned}
 EJ_y \frac{d^4 u}{dz^4} - N(z) \frac{d^2 u}{dz^2} &= q_x(z); \\
 EJ_x \frac{d^4 v}{dz^4} - N(z) \frac{d^2 v}{dz^2} &= q_y(z); \\
 \frac{d^2 w}{dz^2} &= -\frac{q_z(z)}{\pi D E \delta_r}.
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

Первое уравнение системы (24) — это уравнение продольно-поперечного изгиба упругой балки в плоскости xz , второе — уравнение продольно-поперечного изгиба упругой балки в плоскости yz , а третье — уравнение, описывающее состояние трубопровода при продольном сдвиге по оси z .

Здесь приняты следующие обозначения: u — поперечное смещение оси трубы по горизонтали; v и w — вертикальное и продольное смещения трубы; $q_x(z)$ — поперечная горизонтальная нагрузка на трубу;

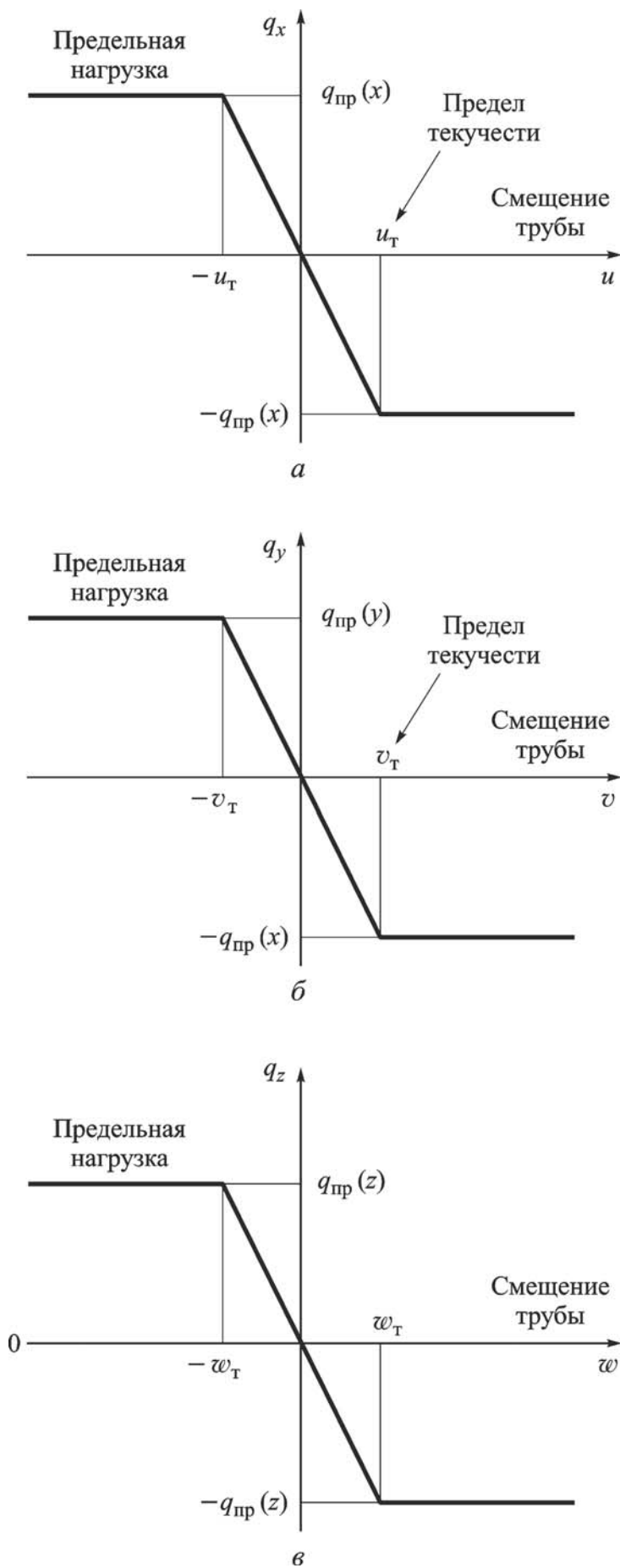


Рис. 4. Расчетные схемы реакции грунта:

a и *б* — в горизонтальной и вертикальной плоскостях; *в* — вдоль оси трубы

$q_y(z)$ и $q_z(z)$ — вертикальная и продольная нагрузки на трубу; E — модуль упругости металла трубы; $N(z)$ — продольная (осевая) сила; $J_y(z)$ — момент инерции поперечного сечения трубы относительно вертикальной оси y , совпадает с $J_x(z)$.

Расчет НДС линейной части МТ может быть выполнен численно методом конечных элементов. Для корректного расчета необходимо учесть нелинейное взаимодействие трубопровода с грунтом (рис. 4), которое будет моделировать различный характер отпора грунта в зависимости от направлений локальных осей трубопровода.

Моделирование взаимодействия грунта с трубопроводной системой осуществляется на основании теории, описанной в работе [5]. Перемещения трубопровода в грунте рассматриваются в вертикальной, горизонтальной плоскостях и вдоль оси трубопровода.

Отпор грунта в разных направлениях различен (своего рода анизотропный отпор). Для создания механизма сопротивления грунта перемещениям в конечном элементе трубопровода в его узлы i и j ставятся пружины, жесткость которых зависит от свойств грунта, параметров траншеи и от перемещений трубопровода и определяет реакцию (отпор) грунта.

Таким образом, по перемещениям в i -м узле на каждой итерации вычисляются жесткости пружин i -го узла. Поскольку отпор грунта при этом заменяется точечными реакциями, а не распределенными, то требуется разбиение подземных участков на достаточное число элементов.

Выводы. Рассмотрена методика оценки ПВП трубопровода на участках с многолетнемерзлыми грунтами, включающая в себя математические модели расчета ореола оттаивания грунта и пространственного изгиба трубопровода вследствие тепловой осадки грунта. Приведенные закономерности позволяют оценивать НДС трубопровода, обеспечивая тем самым безопасность трубопровода на участках с многолетнемерзлыми грунтами.

Работа, результаты которой использованы в настоящей научной статье, выполнена по заказу ОАО “АК “Транснефть” при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горохов Е. Н., Логинов В. И., Козлов М. А., Молеков А. А. Методика и программа компьютерного моделирования температурного режима вмещающего нефтепровод грунтового массива для условий криолитозоны // Приволжский научный журнал. Н. Новгород. – 2011. – № 4. – С. 167–175.
2. Горохов Е. Н., Коносов Е. В., Соболев С. В., Ларионов В. И., Козлов М. А., Маленов А. А. Обеспечение экологической безопасности нефтепровода “Восточная Сибирь–Тихий океан” на участках, проложенных в многолетнемерзлых грунтах // Приволжский научный журнал. – Н. Новгород. – 2011. – № 3. – С. 158–164.

3. СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах.
4. Александров А. А., Ларионов В. И., Лисин Ю. В., Сущев Т. С. Квазидинамический метод расчета нефтепровода на прочность в зоне тектонических разломов // Электронный научный журнал “Нефтегазовое дело”. – 2011. – № 6. – С. 90–100. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Aleksandrov/Aleksandrov_2.pdf
5. Айнбиндер А. Б. Расчет магистральных и промысловых трубопроводов на прочность и устойчивость. – М.: Недра, 1991. – 287 с.

Статья поступила в редакцию 25.05.2012

Юрий Викторович Лисин окончил Уфимский нефтяной институт в 1978 г. Канд. техн. наук, первый вице-президент ОАО “АК “Транснефть”. Автор около 70 научных работ в области проектирования, строительства и промышленной безопасности магистральных трубопроводов в сложных геологических условиях.

Yu.V. Lisin graduated from the Ufa Oil Institute in 1978. Ph. D. (Eng.), first vice-president of ОАО АК “Transneft”. Author of about 70 publications in the field of designing, building and industrial safety of main pipelines under complicated geological conditions.

Анатолий Александрович Александров окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1975 г. Д-р техн. наук, профессор, ректор МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 80 научных работ в области теории рисков, механики разрушения, промышленной безопасности и эксплуатации опасных производственных объектов.

A.A. Aleksandrov graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1975. D. Sc. (Eng.), professor, rector of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 80 publications in the field of theory of risks, fracture mechanics, industrial safety and exploitation of dangerous industrial objects.

Валерий Иванович Ларионов окончил Военно-инженерную ордена Ленина Краснознаменную академию им. В.В. Куйбышева в 1972 г. Д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе НОЦ ИЭС МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 200 научных работ в области теории рисков и промышленной безопасности потенциально опасных объектов.

V.I. Larionov (b. 1941) graduated from The Order of Lenin and Red Banner Military Engineering Academy n. a. V.V. Kuibyshev in 1972. D. Sc. (Eng.), professor, deputy director for scientific work of the Scientific and Educational Center of Extremal Situation Study of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 200 publications in the field of theory of risks and industrial safety of potentially dangerous objects.

Михаил Александрович Козлов окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1981 г. Канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник НОЦ ИЭС МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 20 научных работ в области математического моделирования, теории рисков, промышленной безопасности и эксплуатации опасных производственных объектов.

M.A. Kozlov graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1981. Ph. D. (Eng.), leading researcher of the Scientific and Educational Center of Extremal Situation Study of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 20 publications in the field of mathematical simulation, theory of risks, industrial safety and exploitation of dangerous industrial objects.