

УДК 622.692.4

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДА В ЗОНЕ ОПОЛЗНЯ ГРУНТА**

**DEFINITION OF THE INTENSE DEFORMED
CONDITIONS OF THE PIPELINE IN THE SOIL LANDSLIDE ZONE**

Сунагатов М. Ф., Гайсин А. З.

**ООО Экспертно-производственный центр «Трубопроводсервис»,
г. Уфа, Российская Федерация**

M. F. Sunagatov, A. Z. Gaisin

**Expert and Production Center «Truboprovodservice» LLC
Ufa, the Russian Federation**

e-mail: aidar234@mail.ru

Аннотация. Подземные магистральные нефтепроводы являются очень протяженными объектами, которые проходят не только через стабильные районы с устойчивыми грунтами, но и районы с активными проявлениями грунтовых изменений, в том числе, через болота, реки, сейсмические разломы, многолетнемерзлые грунты, участки с карстовыми проявлениями, склоны и овраги. При длительной эксплуатации трубопроводов на таких участках необходимо следить за происходящими изменениями и принимать упреждающие меры по обеспечению безопасности трубопроводов.

В статье рассматривается исследование зависимостей взаимодействия трубопровода с грунтом в оползневой зоне от различных факторов. Задача решается методом физического и математического моделирования. Модель взаимодействия трубопровода с грунтом в оползневой зоне представляет собой ценный вклад в решение актуальной научно-технической проблемы, связанной с обеспечением безопасности трубопроводных систем.

В результате работы получено уравнение состояния в виде дифференциального уравнения. Исследованы методы и особенности решения в некоторых простых случаях, когда реакция грунта выражается аналитическими выражениями. При определении напряжений от внешних сил трудно правильно и точно описать закономерности взаимодействия трубы с грунтом, которые к тому же меняются при грунтовых изменениях. Другая сложность в том, что во многих случаях заранее неизвестны граничные условия для рассматриваемого участка трубопровода; они сами определяются только в ходе решения задачи. Поэтому в статье рассмотрены методы решения в реальных случаях, когда реакция грунта не может быть описана с помощью простых аналитических выражений. Для этих случаев составлен алгоритм, основанный на численных методах с последовательными приближениями.

Abstract. Underground main oil pipelines are very extended objects which pass not only through stable areas with steady soil, but also areas with active manifestations of soil changes, including through bogs, the rivers, seismic breaks, is long-term - frozen soil, sites with karst manifestations, slopes and ravines. At long operation of pipelines on such sites it is necessary to watch the happening changes and to take anticipatory measures for safety of pipelines.

In article research of dependences of interaction of the pipeline with soil in a landslide zone from various factors is considered. The problem is solved by method of physical and mathematical modeling. The model of interaction of the pipeline with soil in a landslide zone represents a valuable contribution to the solution of the actual scientific and technical problem connected with safety of pipeline systems.

As a result of work the state equation in the form of the differential equation is received. Methods and features of the decision in some simple cases when reaction of soil is expressed by analytical expressions are investigated. At determination of tension from external forces difficult correctly and precisely to describe regularities of interaction of a pipe with soil which besides change at soil

changes. Other complexity that in many cases boundary conditions for the considered pipeline site are in advance unknown; they are defined only during the solution of a task. Therefore in article decision methods in real cases when reaction of soil can't be described by means of simple analytical expressions are considered. For these cases the algorithm based on numerical methods with consecutive approximations is made.

Ключевые слова: трубопровод, оползень, деформирование, моделирование, реакция, сдвиг, обеспечение безопасности, расчёт численными методами, граничные условия.

Key words: pipeline, landslide, deformation, modeling, reaction, shift, safety, calculation by numerical methods, boundary conditions.

Развитие газовой, нефтяной и ряда смежных отраслей промышленности сегодня в значительной степени зависит от дальнейшего совершенствования эксплуатации и обслуживания систем трубопроводного транспорта природных газов и нефти из отдаленных и слабо освоенных регионов в промышленные и центральные районы страны.

Оптимальный режим эксплуатации магистральных трубопроводов заключается прежде всего в максимальном использовании их пропускной способности при минимальных экономических затратах и обеспечении надежности.

Функционирование трубопроводов происходит в жестких условиях, поскольку они подвергаются различным нагрузкам – внутреннему давлению, осевым растягивающим или сжимающим напряжениям, давлению грунта засыпки и подвижных средств, перепадам температур.

Все эти факторы способствуют развитию коррозии на внутренней и внешней поверхности стенки трубопровода и, как следствие, возникновению утечек и аварий. Именно по этой причине большее внимание уделяется надежности и эффективности работы магистральных трубопроводов.

С каждым годом экологическое состояние нашей окружающей среды ухудшается. Увеличивается количество факторов, негативно влияющих на окружающую природную среду – растёт количество промышленных предприятий, а вместе с ними увеличивается и количество вредных выбросов. Именно поэтому «ужесточаются» требования к качеству оборудования, к его надёжности (для обеспечения необходимой экологической безопасности).

Не обходят стороной эти требования и нефтегазовую промышленность. Снижение негативного воздействия и влияния магистральных трубопроводов на окружающую среду в процессе их возведения и эксплуатации является одной из приоритетных задач современного строительства, поэтому разработка технических решений в целях повышения надёжности трубопроводов и снижения антропогенного воздействия на окружающую среду является актуальной проблемой на сегодняшний день.

Среди множества источников опасности для магистральных трубопроводов, проложенных в сложных инженерно-геологических условиях, являются грунтовые изменения, в том числе оползни. Возможность предусмотреть это явления, учитывать механизмы и закономерности взаимодействия трубопровода с активным грунтом, опираться на современные средства наблюдения и измерений, а также на более совершенные расчётные методы позволит повысить уровень безопасной эксплуатации магистральных трубопроводов.

Безопасность магистральных трубопроводов, эксплуатирующихся в сложных инженерно-геологических условиях, во многом зависит от динамики грунтовых явлений. Одним из таких явлений являются сдвиги и оползни грунта [1]. На таких участках возникают дополнительные нагрузки в виде изгибающих моментов, растягивающих и сжимающих сил, которые могут вызвать перенапряжение отдельных участков трубопровода [2]. Если на перенапряжённых участках имеются различные концентраторы напряжений (дефекты, неудачно выполненные конструктивные элементы,

сварные швы с отклонениями от норм), фактор опасности значительно усиливается и возникает реальная угроза разрушения трубопровода. Чтобы противостоять этой угрозе, на потенциально опасных участках необходимо создать систему мониторинга, включающую следующие элементы:

- контроль грунтовых изменений по трассе прохождения трубопровода, включая такие сложные явления как карсты, пучения, сдвиги, оползни, обводнения и другие;
- оценку напряженно-деформированного состояния трубопровода с учётом происходящих грунтовых изменений;
- контроль уровня дефектности трубопровода (периодическая дефектоскопия);
- оценку уровня безопасности трубопровода на сложных участках и допустимых рабочих нагрузок (давлений) с учётом условий эксплуатации.

Очевидно, что сформулированные выше задачи являются связанными друг с другом общей целью – мониторингом состояния трубопровода в сложных инженерно-геологических условиях. В то же время каждая из сформулированных четырёх составных частей мониторинга является самостоятельной задачей, требующей отдельного рассмотрения, применения специальных методик, приборного и программного обеспечения.

Для оценки напряжений в трубопроводе с учетом происходящих грунтовых изменений, необходимо создать математическую модель напряженно-деформированного состояния трубопровода в зоне оползня грунта.

Основными целями данной работы являются применение аналитических и численных методов для построения математической модели взаимодействия подземного трубопровода с грунтом в зоне продольного сдвига (оползня), исследование зависимости дифференциального уравнения состояния трубопровода в такой зоне от различных факторов (температуры, рабочего давления, действия внешних сил), и разработка решений уравнения состояния в общем случае.

Для решения одной из поставленных выше задач – оценка напряжений в трубопроводе с учётом происходящих грунтовых изменений используем метод численного моделирования при следующих допущениях:

- трубопровод находится в упругом состоянии. Это позволяет существенно упростить задачу, в том числе за счёт применения принципа суперпозиции упругих напряжений [3]. Если по результатам обследований и расчётов обнаружатся признаки выхода трубопровода за пределы упругости, то это состояние считается опасным, требующим немедленного снижения давления и выполнения ремонтных работ;

- принцип суперпозиции позволяет разложить общее напряженное состояние трубопровода на ряд отдельных составляющих [4]:

- 1) напряжения от рабочего давления;
- 2) напряжения от температурных перепадов;
- 3) напряжения от действия внешних сил (реакций грунта, воды, опор, осадков, ветра, анкеров, балластных грузов).

Первые две составляющие напряжений определяются аналитически. Третья составляющая требует применения численных методов из-за ряда особенностей. Одна из таких особенностей в том, что трудно правильно и точно описать закономерности взаимодействия трубы с грунтом, которые к тому же меняются при грунтовых изменениях. Другая сложность в том, что во многих случаях заранее неизвестны граничные условия для рассматриваемого участка трубопровода; они сами определяются только в ходе решения задачи.

Моделирование состояния трубопровода в зоне активного грунта выполним методами математической физики [5]. Начнём с того, что выберем расчётную модель, систему координат, соответствующие обозначения (рисунок 1): D – наружный диаметр трубы; δ_t – толщина стенки трубы; E – модуль упругости металла трубы; μ – коэффициент поперечной деформации (Пуассона). Остальные обозначения будем вводить по мере необходимости.

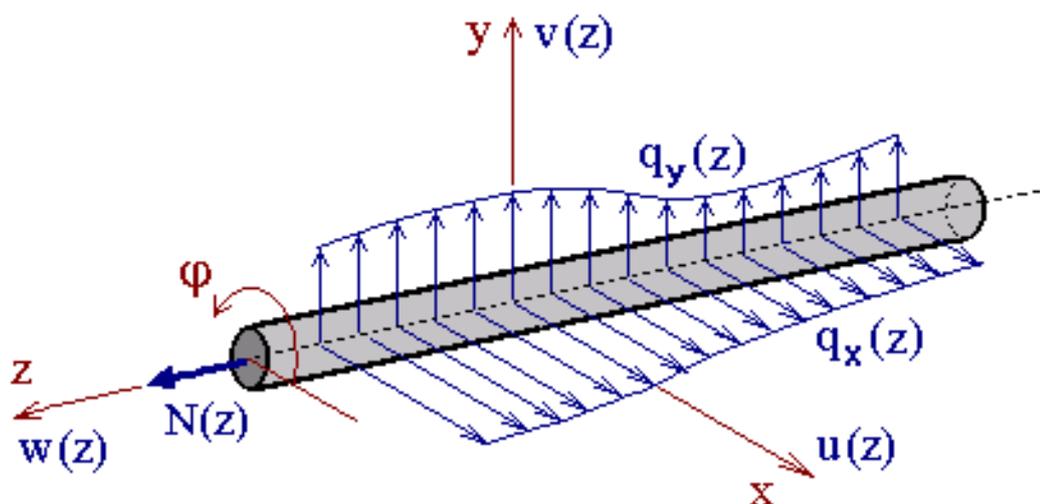


Рисунок 1. Координаты (x, y, z), смещения (u, v, w), силы (q_x , q_y , q_z)

В соответствии с принципом суперпозиции, разложим все силы, перемещения и деформации по трём осям системы координат (x, y, z). В направлениях x и y, перпендикулярных оси трубопровода на рассматриваемом участке, взаимосвязь смещений и нагрузок описывается известными уравнениями продольно-поперечного изгиба [6];

$$E \cdot J \cdot \frac{d^4 v}{dz^4} - N(z) \cdot \frac{d^2 v}{dz^2} = q_y(z) ; \quad (1)$$

$$E \cdot J \cdot \frac{d^4 u}{dz^4} - N(z) \cdot \frac{d^2 u}{dz^2} = q_x(z) , \quad (2)$$

где u, v – поперечные смещения в горизонтальном и вертикальном направлениях;

$N(z)$ – продольное усилие (растяжению соответствует $N > 0$);

$q_x(z)$ и $q_y(z)$ – составляющие поперечной нагрузки на трубу;

J – момент поперечного сечения трубы.

Для получения аналогичного выражения, связывающего напряжения с продольным сдвигом грунта, построим соответствующую математическую модель (рисунок 2). Для этого выделим элемент трубы длиной dz и запишем для него условие равновесия [7].

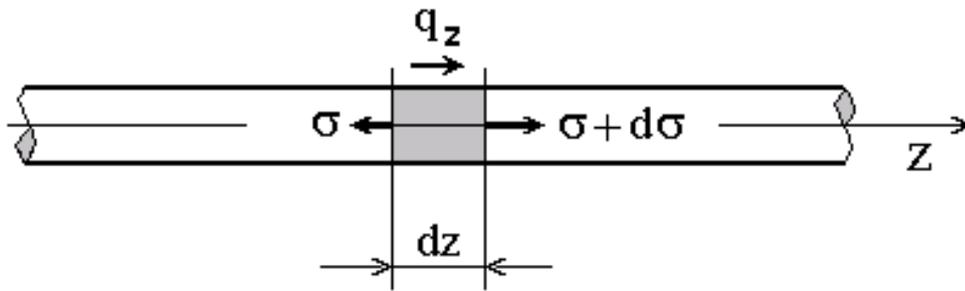


Рисунок 2. Силы, действующие на элемент трубопровода при продольном сдвиге грунта

Сила, с которой действует грунт на поверхность элемента трубы dz

$$dQ = \pi D \cdot dz \cdot q_z \quad (3)$$

где q_z – реакция грунта в продольном направлении, отнесённая к площади поверхности трубы 1 м^2 .

Сила, с которой действуют на элемент dz остальные части трубопровода (слева и справа)

$$dN = \pi D \delta_T \cdot d\sigma \quad (4)$$

Условие равновесия элемента длиной dz

$$dQ + dN = 0 \quad (5)$$

Выполняя преобразования этого уравнения, получим:

$$\pi D \cdot dz \cdot q_z + \pi D \delta_T \cdot d\sigma = 0 ;$$

$$\frac{d\sigma}{dz} = -\frac{q_z}{\delta_T} ;$$

$$\sigma = E\varepsilon = E \frac{dw}{dz} ;$$

$$\frac{d^2 w}{dz^2} = -\frac{q_z}{E \delta_T} . \quad (6)$$

Полученное дифференциальное уравнение описывает состояние трубопровода при продольном сдвиге грунта (искومه уравнение).

Уравнения продольно-поперечного сдвига (1, 2) изучались во многих работах [4, 8]. Здесь же подробнее рассмотрим задачи, связанные с уравнением (6).

Решение уравнения (6) зависит от вида функции $q_z(z)$ и граничных условий. Функция $q_z(z)$ описывает распределение сил трения между грунтом и трубопроводом. Если рассматривать случай, показанный на рисунке 2, силы $q_z(z)$ возникают из-за продольного сдвига грунта на некоторое расстояние Δw . Характер этих сил показан на рисунке 3.

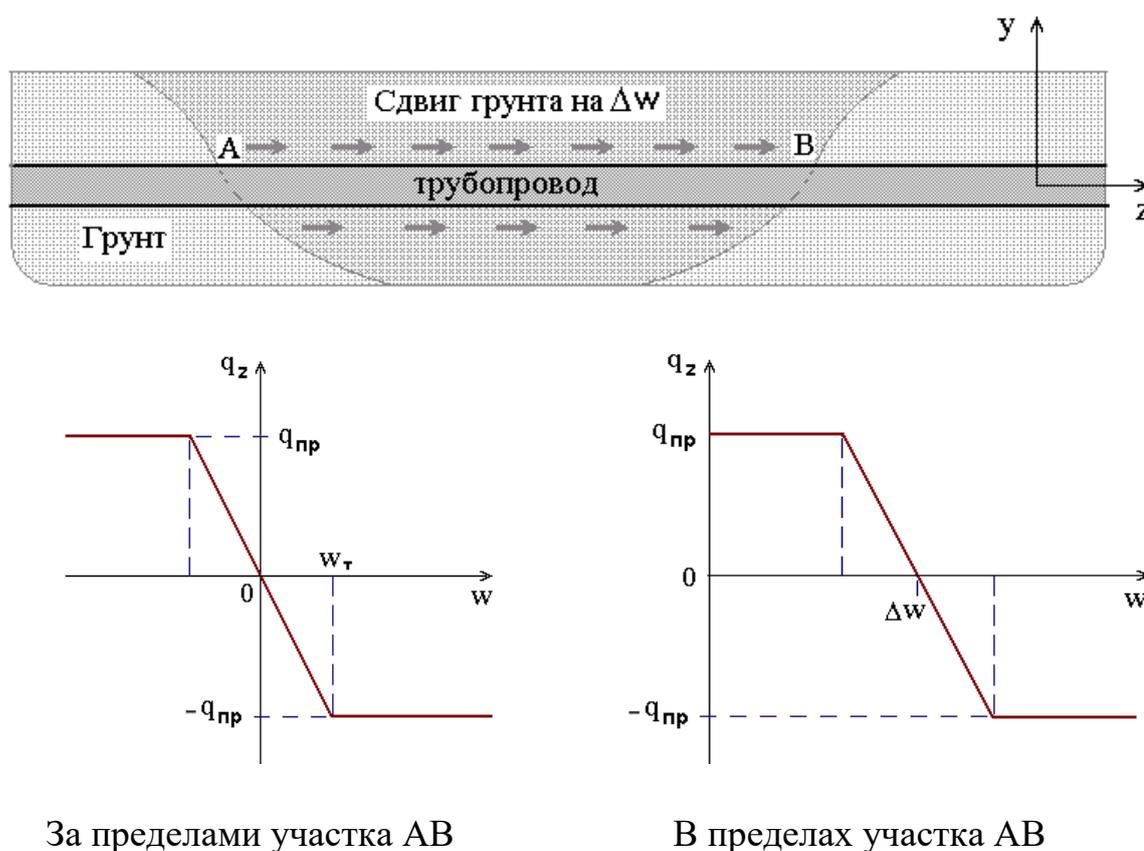


Рисунок 3. Моделирование действия грунта на трубопровод при продольном сдвиге

Для количественного описания сил $q_z(z)$ необходимо задать характеристики грунта на участке сдвига: координаты точек А и В, величину Δw . Также необходимо задать параметр w_τ , характеризующий сдвиг трубы относительно грунта, при котором сила трения перестает расти. Также необходимо ввести специальный коэффициент k ,

аналогичный коэффициенту трения, этот коэффициент выражает связь между предельными значениями сдвига и реакции грунта:

$$q_{пр} = k \cdot w_{т} \quad (7)$$

Для решения дифференциального уравнения (6) кроме задания сил $q(z)$ требуются начальные и граничные условия. Их можно задать следующим образом:

- начальное условие $w(z) = 0$ (до сдвига грунта трубопровод находился в исходном положении, которое берём за ноль);
- граничные условия $w_{z \rightarrow \pm\infty} = 0$ (вдали от участка сдвига АВ трубопровод находится в исходном положении).

Поскольку сила $q_z(z)$ задается в виде отдельных кусочков, решение уравнения будет кусочно-непрерывным [9]. Исследуем характер решения в пределах каждого «кусочка», задавая разные области зависимости $q_z(z)$.

1) При условии $q_z(z) = \text{const} = S$.

Уравнение (6) получает вид

$$\frac{d^2 w}{dz^2} = -\frac{S}{E\delta_{т}}$$

При этом решение имеет вид

$$w(z) = \frac{S}{2E\delta_{т}} \cdot z^2 + C_1 z + C_2$$

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 определяются из граничных условий.

2) При условии $q_z(z) = Sz$.

Уравнение (6) имеет вид

$$\frac{d^2 w}{dz^2} = -\frac{S}{E\delta_{т}} \cdot z ;$$

решение имеет вид

$$w(z) = \frac{S}{6E\delta_T} \cdot z^3 + C_1 z + C_2.$$

3) При условии $q_z(z) = S_1 z + S_2$

Уравнение (6) имеет вид

$$\frac{d^2 w}{dz^2} = -\frac{S_1 z + S_2}{E\delta_T}.$$

решение имеет вид

$$w(z) = \frac{S_1}{6E\delta_T} \cdot z^3 + \frac{S_2}{2E\delta_T} \cdot z^2 + C_1 z + C_2.$$

Как видим, во всех областях решение имеет степенной характер. «Сшивая» эти решения, можно получить общее решение для участка трубопровода в аналитической форме. Однако существует определенная трудность, которая состоит в том, что силы q_z задаются в неявной форме. Для решения задачи требуется задать функции $q_z(z)$, а на рисунке 3 имеем функции $q_z(w)$. Для перехода от $q_z(w)$ к выражению $q_z(z)$ необходимо знать зависимость $w(z)$, которая остаётся неизвестной, пока не решим задачу в целом. Следовательно, аналитическое решение будет вызывать трудности, несмотря на кажущуюся простоту. Поэтому прибегаем к численным методам в сочетании с методом последовательных приближений. В данном случае в наибольшей степени подходит метод конечных разностей [10], который позволяет из уравнения (6) получить следующее выражение:

$$w_i = \frac{1}{2} \cdot \left(w_{i-1} + w_{i+1} + \frac{q_i \cdot h^2}{\delta_T \cdot E} \right). \quad (8)$$

Здесь w_{i-1} , w_i , w_{i+1} – значения продольного смещения трубы в узловых точках, обозначенных индексами $(i-1)$, (i) , $(i+1)$ соответственно; h – шаг конечно разностной сетки (рисунок 4).

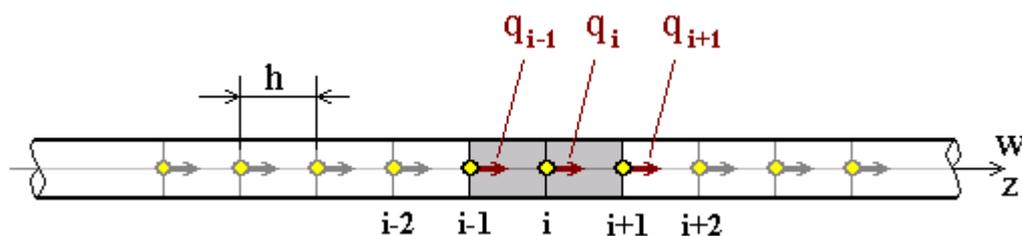


Рисунок 4. Конечно-разностная сетка, обозначение узлов и величин:
 h – шаг конечно-разностной сетки; z, w – соответственно продольное и
 вертикальное направление грунта;
 $(i-2), (i-1), (i), (i+1), (i+2)$ – обозначение узловых точек;
 q_{i-1}, q_i, q_{i+1} – нагрузки на трубу

Формула (8) выражает условие локального равновесия узла i (при заданных положениях других узлов). Применяя это выражение последовательно ко всем узлам конечно-разностной сетки (метод итераций), получим первое приближение к искомому решению. Повторяя многократно эту процедуру, получим 2-е, 3-е, ... n -е приближение. Причём, каждое последующее приближение будет ближе к точному решению. Когда увидим, что последующее приближение уже не отличается от предыдущего, можем прекратить счёт и отметить, что получено точное решение.

Такой подход к решению имеет два преимущества.

Во-первых, он очень прост для программирования. А большое число повторений однотипных операций при программном счёте вообще не представляет проблемы, поскольку быстроедействие современных компьютеров более чем достаточно для решения таких задач.

Во-вторых, по ходу приближений можно корректировать действующие силы, которые, как заметили выше, сами зависят от искомого смещений трубы w .

В качестве примера рассмотрим следующую задачу.

Допустим, на участке АВ трубопровода диаметром D и толщиной стенки δ_T произошёл сдвиг грунта в продольном направлении. Сдвиг соответствует графику на рисунке 5. Коэффициент трения на поверхности труба-грунт составляет k . Максимальное (предельное) значение силы сцепления между трубой и грунтом составляет q_T . Определить

напряженно-деформированное состояние трубопровода на участке АВ и его окрестностях.

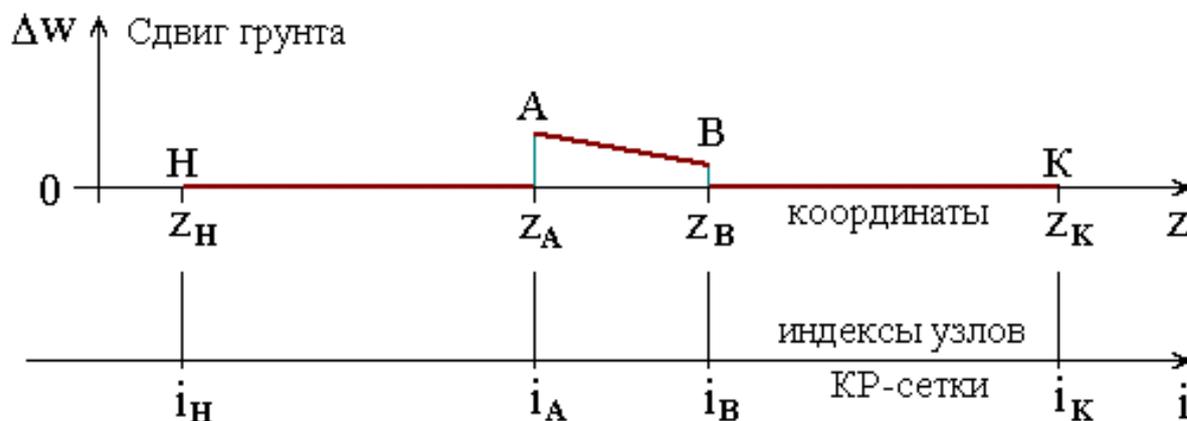


Рисунок 5. Расчётный участок трубопровода: Н и К – начало и конец расчетной части трубопровода; АВ – участок трубопровода на котором произошел сдвиг грунта; i_H, i_A, i_B, i_K – обозначения узловых точек, в которых происходит продольное смещение трубопровода; z, w – направление грунта

Решение построим, используя выражение (8). Для этого разобьем участок трубопровода на конечно-разностную сетку с шагом h . Поскольку возмущённое напряженное состояние распространится и за пределы участка АВ, рассмотрим общую длину в расчётной модели L , намного больше АВ. Обозначим начало и конец расчётной части трубопровода соответственно Н и К (рисунок 5). На рисунке 6 показаны графики решения, соответствующего следующим исходным данным: $D = 1020$ мм; $\delta_r = 16$ мм; $E = 206000$ МПа; коэффициент сцепления грунт-труба $k = 10^5$ Н/м³; предельное значение реакции грунта $q_{пр} = 5000$ Н/м²; сдвиг грунта в точках А и В соответственно $\Delta w_A = 5$ м; $\Delta w_B = 2$ м; координаты точек Н, А, В, К соответственно 0; 300 м; 400 м; 700 м.

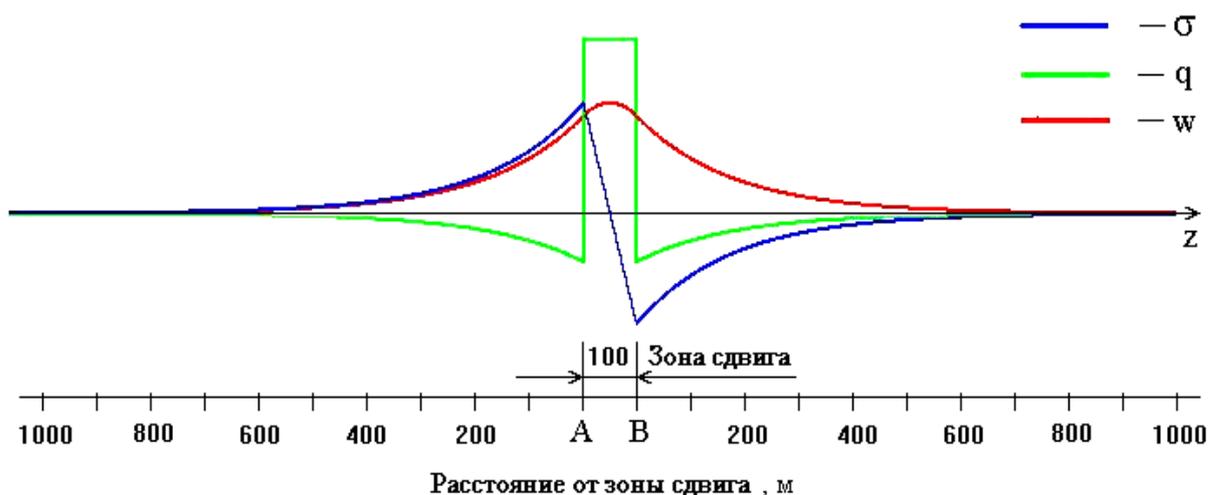


Рисунок 6. Графики решения; q – реакция грунта; w – смещение трубы вдоль оси; σ – осевое напряжение от сдвига грунта

Расчёт показывает, что в районе сдвига грунта появляются дополнительные осевые напряжения в пределах $\pm 15,7$ МПа. При этом возмущение поля напряжений распространяется вдоль трубопровода на большие расстояния – несколько сот метров от границ участка сдвига грунта.

Выводы

Таким образом, в ходе выполнения данной работы решены все поставленные задачи.

1. Разработана математическая модель воздействия грунта на подземный трубопровод в районе продольного сдвига (оползня).

2. Получено дифференциальное уравнение состояния трубопровода для данного случая.

3. Разработан алгоритм решения полученного уравнения при произвольных исходных данных, характеризующих свойства грунта. Решение построено на базе методов конечных разностей, итераций и последовательных приближений. Разработанный алгоритм имеет важную отличительную особенность – в ходе решения самой задачи позволяет уточнять начальные и граничные условия, в том числе реакцию грунта.

4. Изучены некоторые закономерности воздействия оползня на трубопровод. В частности, установлено, что зона возмущения поля

напряжений распространяется на сотни метров в каждую сторону от границ оползневого участка.

Список используемых источников

1 Расчёт и обеспечение прочности трубопроводов в сложных инженерно-геологических условиях / А. М. Шаммазов, Р. М. Зарипов, В. А. Чичелов, Г. Е. Коробков. М.: Интер, 2006. Т. 2. Оценка и обеспечение прочности трубопроводов в сложных инженерно-геологических условиях. 564 с.

2 Анализ напряженно-деформированного состояния пригруженного подземного трубопровода в слабонесущих грунтах/ Н. А. Малюшин, М. Ю. Гаврилов, С. А. Шоцкий, А. А. Юрченко // Нефть и газ. Известия ВУЗов. 2009. № 4. С. 92-95.

3 Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1975. 576 с.

4 Гумеров А. Г., Гумеров Р. С., Гумеров К. М. Безопасность длительно эксплуатируемых магистральных нефтепроводов. М.: Недра, 2001. 305 с.

5 Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1972. 673 с.

6 Дарков А. В., Шапиро Г. С. Сопротивление материалов: учебник для техн. вузов М.: Высш. шк., 1989. 624 с.

7 Добронравов В. В., Никитин И. Н., Дворников А. Л. Курс теоретической механики. М.: Высшая школа, 1974. 527 с.

8 Оценка напряжённого состояния подземных трубопроводов с учётом грунтовых изменений в процессе эксплуатации/ А. В. Фролов, Л. Т. Шуланбаева, М. Ф. Сунагатов, А. К. Гумеров // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов / ИПТЭР. 2010. Вып. 1 (79). С. 61-66.

9 Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисления для втузов. М.: Физматгиз, 1961. 748 с.

10 Марчук Г. И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1980. 536 с.

References

1 Raschyot i obespechenie prochnosti truboprovodov v slozhnyx inzhe-nerno-geologicheskix usloviyax. T. 2. Ocenka i obespechenie prochnosti truboprovodov v slozhnyx inzhenerno-geologicheskix usloviyax. / A.M. Shammazov, R.M. Zaripov, V.A. Chichelov, G.E. Korobkov. M.: Inter, 2006. 564 s. [in Russian].

2 Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya prigruzhennogo podzemnogo truboprovoda v slabonesushhix gruntax / N. A. Malyushin, M. Yu. Gavrilov, S. A. Shockij, A. A. Yurchenko // Neft i gaz. Izvestiya vuzov. 2009. №4. S. 92-95. [in Russian].

3 Timoshenko S.P., Guder Dg. Teoriya uprugosti. M.: Nauka. 1975. 576 s. [in Russian].

4 Gumerov A. G., Gumerov R. S., Gumerov K. M. Bezopasnost dlitelno ekspluatiruemyx magistralnyx nefteprovodov. M.: Nedra, 2001. 305 s. [in Russian].

5 Tixonov A. N., Samarskij A. A. Uravneniya matematicheskoy fiziki. M.: Nauka, 1972. 673 s. [in Russian].

6 Darkov A. V., Shapiro G. S. Soprotivlenie materialov: Ucheb. dlya texn. vuzov M.: Vyssh. shk., 1989. 624 s. [in Russian].

7 Dobronravov V. V., Nikitin I. N., Dvornikov A. L. Kurs teoreticheskoy mexaniki. M.: Vysshaya shkola, 1974. 527 s. [in Russian].

8 Ocenka napryazhyonnogo sostoyaniya podzemnyx truboprovodov s uchyotom gruntovyx izmenenij v processe ekspluatatsii / A.V. Frolov, L. T. Shulanbaeva, M. F. Sunagatov, A. K. Gumerov // NTG «Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov» / IPTER. 2010. Vyp. 1 (79). s. 61-66. [in Russian].

9 Piskunov N. S. Differencialnoe i integralnoe ischisleniya dlya vtuzov. M.: Fizmatgiz, 1961. 748 s. [in Russian].

10 Marchuk G. I. Metody vychislitelnoj matematiki. M.: Nauka, 1980. 536 s. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Сунагатов М. Ф., канд. хим. наук, генеральный директор ООО ЭПЦ «Трубопроводсервис», г. Уфа, Российская Федерация

M. F. Sunagatov, Candidate of Chemistry Sciences, CEO Expert and Production Center «Truboprovodservice», LLC, Ufa, the Russian Federation

Гайсин А. З., инженер отдела диагностики и экспертизы промышленной безопасности ООО ЭПЦ «Трубопроводсервис», г. Уфа, Российская Федерация

A. Z. Gaisin, Engineer of Department of Diagnostics and Examination of Industrial Safety Expert and Production Center «Truboprovodservice» LLC, Ufa, the Russian Federation

e-mail: aidar234@mail.ru