

УДК 622.692.4:622.271.7:624.042

# ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕФТЕПРОВОДОВ, ПРОКЛАДЫВАЕМЫХ НА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ<sup>1</sup>

**Ключевые слова:** промышленная безопасность (ПБ), автоматизированная система управления промышленной безопасностью (АСУПБ), опасный производственный объект (ОПО), производственный контроль (ПК), нормативно-технический документ (НТД), технические устройства (ТУ).

**В статье проводится анализ взаимодействия многолетнемерзлых грунтов (ММГ) с нефтепроводом, перекачивающим нефть с положительной температурой. Описано несколько методик расчета теплового взаимодействия нефтепроводов и ММГ. Приведен обзор ряда программных комплексов, позволяющих смоделировать термопросадку мерзлого грунта при образовании ореола оттаивания вокруг нефтепровода и ее влияние на напряженно-деформированное состояние (НДС) подземного магистрального нефтепровода. В заключительной части статьи уделено внимание разработке методики расчета напряженно-деформированного состояния нефтепровода при оттаивании ММГ.**

В основу данной статьи положен опыт применения в расчетном отделе ОАО «Гипротрубопровод» компьютерных программ по определению НДС нефтепровода с учетом осадки грунтового основания под ним. Основной целью этой работы является обзор возможностей программных комплексов и анализ практики их использования инженером-расчетчиком.

<sup>1</sup> Опыт расчета предлагается в порядке научного обсуждения.

Основной особенностью многолетнемерзлых грунтов является их способность давать значительные осадки при оттаивании. Тепловое взаимодействие нефтепровода с мерзлым грунтом приводит к оттаиванию и разжижению грунта, уменьшению его несущей способности. Интенсивность теплового воздействия зависит как от состояния самого грунта, так и от технологического режима эксплуатации нефтепровода, проце-

**М.Ю. Зотов**  
начальник отдела  
расчетного обоснования  
ОАО «Гипротрубопровод»,  
г. Москва  
ZotovMY@gtp.transneft.ru



**И.В. Ушаков**  
главный специалист  
отдела расчетного обоснования  
ОАО «Гипротрубопровод»,  
г. Москва  
UshakovIV@gtp.transneft.ru



**И.Л. Димов**  
ведущий инженер  
отдела расчетного обоснования  
ОАО «Гипротрубопровод»,  
г. Москва  
DimovIL@gtp.transneft.ru



**А.О. Олейникова**  
к.т.н., ведущий инженер  
отдела расчетного обоснования  
ОАО «Гипротрубопровод»,  
г. Москва  
OleinikovaAO@gtp.transneft.ru



говоря от температуры перекачиваемой нефти.

Оттаявшие грунты в водонасыщенном состоянии практически не обладают способностью к заземлению трубы и обладают малой сопротивляемостью продольным и поперечным перемещениям труб. Это обуславливает возникновение в трубах значительных изгибных напряжений.

Наиболее опасные места с точки зрения прочности нефтепровода возникают в районах неравномерной осадки грунта под ним, т.е. на границе смены грунтов с разными просадочными свойствами, например мерзлый и талый грунт, а также на отводах горячего гнущего вследствие существенного уменьшения заземляющей способности грунта при его разжижении.

Существуют разные виды ММГ, которые по-разному ведут себя при оттаивании. Рассмотрим следующую классификацию ММГ [1]:

I категория – непросадочные грунты, дающие при оттаивании незначительную равномерную осадку;

II категория – малопросадочные грунты, дающие равномерную осадку до 10 % глубины оттаявшего слоя;

III категория – льдонасыщенные грунты, дающие неравномерную осадку до 40 % толщины оттаявшего слоя;

IV категория – грунты, содержащие крупные включения подземного льда, дающие при оттаивании провалы, термокарсты.

В данной статье рассматривается расчет НДС нефтепровода с учетом осадки растепленных ММГ категорий I, II и III. Для категории III важнейшим условием возможности выполнения расчета является наличие исчерпывающих исходных данных по величинам осадок грунта.

Один из пунктов СНиП 2.05.06-85\* «Магистральные трубопроводы» [2] говорит о том, что при проектировании магистральных нефтепроводов, предназначенных для прокладки в районах распространения ММГ, следует руководствоваться СНиП 2.02.04-88 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» [3] и другими специальными нормативными документами. При этом проектирование трассы нефтепровода необходимо проводить на основе опережающего инженерно-геокриологического изучения территории, по возможности включающего испытания мерзлых грунтов горячим штампом.

Для нефтепроводов в подавляющем большинстве случаев используют подземный способ прокладки. СНиП 2.05.06-85\* [2] не исключает на отдельных участках трассы оттаивание в процессе эксплуатации малолдыстых вечномерзлых грунтов, если оно не сопровождается карстовыми процессами и потерей несущей способности нефтепровода.

Заменить подземный способ прокладки на наземный или наземный можно только на основании технико-экономического расчета, проведенного с учетом теплотехнических расчетов взаимодействия нефтепровода и ММГ,

влияния растепления и осадки ММГ на НДС нефтепровода.

### Краткий обзор различных методик по определению осадки растепленных ММГ в основании нефтепровода

Существует несколько методик расчета теплового взаимодействия нефтепроводов и ММГ. В соответствии с РСН 67-87 «Составление прогноза измерений температурного режима вечномерзлых грунтов численными методами» [4] составлена компьютерная программа, результатом расчета которой является поле температурного режима грунта в трехмерной постановке в заданный момент времени, с учетом фазовых переходов в грунтах. Используя выходные данные программы, производится расчет осадки основания под нефтепроводом. Владелец подлинника программы является институт «Фундаментпроект». Однако требования, записанные в РСН 67-87 [4], не распространяются на проведение расчета для магистральных линейных сооружений.

В рекомендациях ВНИИСТ по прогнозированию динамики теплового и механического взаимодействия трубопроводов с промерзающими и протаивающими грунтами Р 609-86 [5] приведена методика, основанная на решении задачи теплового взаимодействия трубопроводов с промерзающими и протаивающими грунтами в одномерной постановке при наличии четких изометрических границ раздела фаз между талыми и мерзлыми зонами грунтов.

В СНиП 2.02.04-88 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» [3] в явном виде отсутствует методика теплотехнического расчета основания под специфическими протяженными линейными сооружениями, которыми и являются магистральные нефтепроводы.

Особенностью расчета по СНиП 2.02.04-88 является применение метода расчета ленточных фундаментов, как наиболее приближенного к рассматриваемой ситуации, рассмотренного в «Руководстве по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах» НИИОСПа им. Н.М. Герсеванова [8].

Согласно руководству глубину оттаивания грунта под нефтепроводом с учетом теплоизоляции следует определять по формуле

$$H = k_i(\xi_c - k_c)D_n, \quad (1)$$

где  $D_n$  – наружный диаметр нефтепровода с учетом теплоизоляции;  $k_i$  – коэффициент, принимаемый равным единице;  $\xi_c$  и  $k_c$  – коэффициенты, определяемые по номограммам в зависимости от теплофизических свойств грунта, температуры горячей нефти в трубе и времени эксплуатации нефтепровода.

Осадку оттаявшего основания складывается из двух частей: осадка под весом трубопровода, характеризующая коэффициентом оттаивания грунта  $A$  и осадка под собственным весом оттаявшего грунта, характеризующая коэффициентом сжимаемости  $a$ . Коэффициенты  $A$  и  $a$  определяются, как правило, по полевым испытаниям грунтов.

Осадку основания  $S$  методом послойного суммирования вычисляется по формуле

$$S = \sum_{i=1}^n (A_i + a_i \sigma_{zg,i}) h_i, \quad (2)$$

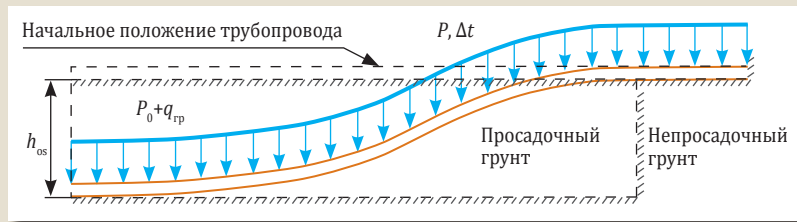
где  $h_i$  – толщина  $i$ -го слоя оттаивающего грунта;  $\sigma_{zg,i}$  – давление в середине  $i$ -го слоя грунта от собственного веса.

Следует отметить, что величина ореола оттаивания мерзлого грунта, рассчитанная по разным методикам, не всегда дает схожие результаты, иногда может отличаться на порядок.

Это связано, прежде всего, с возможностями того или иного расчетного метода, учетом граничных условий и постановкой задачи. К сожалению, в настоящее время сложно подобрать метод расчета ореола оттаивания и осадки основания, подтвержденный практикой проектирования и эксплуатации нефтепроводов на ММГ. Кроме того, не все имеющиеся в нормативной документации методики расчета ореола оттаивания ММГ распространяются на магистральный нефтепровод.

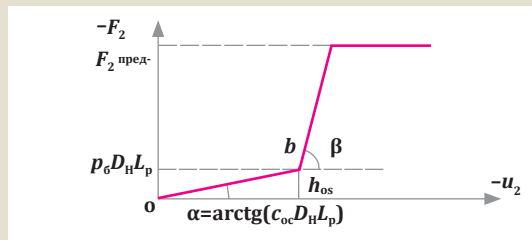
Немаловажен и сам способ определения деформационных характеристик мерзлых грунтов при оттаивании. Для нефтепроводов, как для сооружения I класса

**Рис. 1.**  
Расчетная схема осадочных деформаций трубопровода



$h_{os}$  – расчетная осадка грунта (ММГ),  $q_{гр}$  – интенсивность нагрузки от веса грунта над трубопроводом,  $P_0$  – погонный вес трубопровода с наполнителем,  $P$  – внутреннее давление,  $\Delta t$  – температурный перепад стенки трубы

**Рис. 2.**  
Зависимость сопротивления оттаявшего грунта от перемещения трубы вниз



ответственности, характеристики грунтов согласно СНиП 2.02.04-88 [3] надлежит устанавливать по результатам полевых испытаний мерзлых грунтов горячим штампом по методике ГОСТ 20276-99 «Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости» [6]. Испытаниям необходимо подвергать каждый выделенный инженерно-геологический слой, участвующий в процессе тепловой осадки основания.

**Расчет прочности нефтепровода, проложенного на ММГ, в различных программных комплексах**

Оценки прочности проводятся на основании условий, приведенных в СНиП 2.05.06-85\* [2].

Одним из способов расчета прочности нефтепровода, проложенного на ММГ, является аналитический способ определения НДС линейной части магистрального нефтепровода при осадке грунта под смонтированным трубопроводом. Описание приведено в РД «Методика расчета установки опор на технологических и магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах» [7]. Расчет напряжений и оценка прочности в соответствии с [7] проводятся по формулам раздела 8 СНиП 2.05.06-85\* [2].

Радиус упругого изгиба нефтепровода при осадке находится решением дифференциальных уравнений продольно-попереч-

ного изгиба трубопровода под действием собственного веса, веса наполнителя, нагрузки от грунта засыпки, внутреннего давления, температурного перепада и осадок грунта, поэтому, кроме геометрических параметров трубопровода, физико-механических свойств металла труб, рабочего давления и температурного перепада, в качестве исходных данных необходимо также задать удельный вес грунта, глубину заложения и величину осадки.

Принятая в методике расчетная схема подземного магистрального нефтепровода, приведенная на рис. 1, строится из предположения наличия зазора между нижней образующей трубопровода и дном траншеи, возникшего вследствие осадки грунта под смонтированным трубопроводом.

Аналитическая методика рассматривает частный случай осадки прямолинейного или упруго-изогнутого нефтепровода при отсутствии продольных и поперечных перемещений и, следовательно, не в состоянии учитывать изменение свойств грунта при оттаивании.

Перечисленным выше недостаткам лишена методика, основанная на определении напряженно-деформированного состояния пространственных разветвленных трубопроводов методом конечных элементов, учитывающая правила

строительной механики и положения нормативных документов ОАО «АК «Транснефть». В данном случае нефтепровод представлен в виде балочной модели с нелинейным взаимодействием нефтепровода и грунта с учетом различного характера сопротивления грунта в зависимости от направления перемещения нефтепровода.

Использование программных средств позволяет учесть все особенности реальной прокладки нефтепровода: истинную геометрию трубы, прочностные и деформационные свойства грунтов, а также провести оценку прочности нефтепровода с учетом плановых и вертикальных углов поворота, выполняемых с использованием отводов горячего или холодного гнутья.

Моделирование взаимодействия грунт – нефтепровод осуществляется на основании теории, описанной в [9]. Рассматриваются перемещения нефтепровода в грунте вдоль оси трубопровода и поперек. Сопротивление грунта в разных направлениях рассматривается независимо друг от друга, но с учетом их одновременного действия.

Сопротивление грунта в различных направлениях существенно отличается. Для создания механизма сопротивления грунта перемещениям в конечном элементе трубопровода в его  $i$  и  $j$  узлы ставятся пружины с нелинейными характеристиками, жесткость которых зависит от свойств грунта, параметров траншеи и от перемещений трубопровода и определяет реакцию (отпор) грунта.

Характеристики нелинейных пружин изображены на графиках в табл. 1, там же приведены формулы для определения предельных сил и жесткостей для вертикальных перемещений.

При оттаивании ММГ резко нарушается структура грунта, что обуславливает ухудшение его физико-механических свойств, в частности уменьшение несущей способности и увеличение осадок.

При оттаивании резко (во много раз) уменьшается сцепление грунтов [10], тогда как угол внутреннего трения может и незначительно изменяться при оттаивании, особенно для крупноскелетных и песчаных грунтов,

Табл. 1.

Сопrotивление грунта продольным горизонтальным перемещениям трубопровода	
Осевые перемещения	Поперечные перемещения
Сопrotивление грунта вертикальным перемещениям трубопровода (вверх-вниз)	
<p><b>Перемещения вверх:</b></p> $F_2^{\text{пред}+} = \left[ \gamma_{\text{гр}}^{\text{зас}} (D_{\text{н}} (h_0 - 0,39D_{\text{н}}) + h_0^2 \text{tg } 0,7\varphi_{\text{гр}}^{\text{зас}}) + \frac{0,7c_{\text{гр}}^{\text{зас}} h_0}{\cos 0,7\varphi_{\text{гр}}^{\text{зас}}} \right] L_p,$ $u_2^{\text{пред}} = h_0, \quad k_2^+ = \frac{0,12 E_{\text{гр}}^{\text{зас}}}{(1 - \mu_{\text{гр}}^2) \sqrt{l_0 D_{\text{н}}}} [1 - \exp(-2h_0/D_{\text{н}})] D_{\text{н}} L_p.$	
<p><b>Перемещения вниз:</b></p> $F_2^{\text{пред}-} = R_{\text{гр}} D_{\text{н}} L_p, \quad k_2^- = \frac{0,12 E_{\text{гр}}}{(1 - \mu_{\text{гр}}^2) \sqrt{l_0 D_{\text{н}}}} D_{\text{н}} L_p,$	

где  $D_{\text{н}}$  – наружный диаметр трубы;  $l_0$  – условная единичная длина трубопровода;  $L_p$  – длина конечного элемента трубы;  $h_0$  – расстояние от оси трубопровода до верха засыпки;  $\gamma_{\text{гр}}^{\text{зас}}$  – удельный вес грунта-засыпки;  $\varphi_{\text{гр}}^{\text{зас}}$  – угол внутреннего трения грунта-засыпки;  $\mu_{\text{гр}}$  – коэффициент Пуассона грунта-засыпки;  $E_{\text{гр}}$  – модуль упругости нарушенного грунта;  $E_{\text{гр}}^{\text{зас}}$  – модуль упругости грунта-засыпки;  $R_{\text{гр}}$  – несущая способность ненарушенного грунта;  $c_{\text{гр}}^{\text{зас}}$  – сцепление грунта-засыпки;  $\varphi$  – угол внутреннего трения мерзлого грунта основания;  $\varphi_{\text{отт}}$  – угол внутреннего трения оттаявшего грунта основания;  $p_6$  – бытовое давление грунта на глубине осадки основания

причем  $\varphi_{\text{отт}} \leq \varphi$ . Также при оттаивании мерзлого грунта возникает процесс уплотнения, т.е. уменьшения пористости при оттаивании талой воды под нагрузкой.

Все перемещения нефтепровода в вертикальной плоскости вниз в пределах оттаявшего грунта разбиваются на два интервала [9]: перемещение, соответствующее осадке оттаивания, и перемещение, соответствующее осадке уплотнения. Таким образом, диаграмму «сопротивление – перемещение трубы вниз» для оттаявшего грунта можно представить в виде кусочно-линейной функции (рис. 2).

Принимаем, что сопротивление грунта, до перемещения трубы равного осадке  $h_{\text{ос}}$ , пропорционально перемещению. Согласно требованиям на проведение изысканий за

давление, соответствующее первой ступени нагрузки, принимается бытовое давление грунта

$$p_6 = \gamma_{\text{гр}} (h_0 + D_{\text{н}} / 2). \quad (3)$$

В то же время эта нагрузка должна быть такой, чтобы давление не превышало 0,01 МПа. Таким образом, на диаграмме «сопротивление – перемещение трубы вниз» (рис. 2) абсциссе точки  $b$ , равной  $h_{\text{ос}}$ , будет соответствовать ордината  $p_6 D_{\text{н}} L_p$ , в которой величина  $p_6$  принимается по формуле (3), но не более 0,01 МПа. Тогда коэффициент нормального сопротивления грунта, т.е. тангенс угла наклона ветви  $ob$ , будет определяться по формуле

$$c_{\text{ос}} = p_6 / h_{\text{ос}} \text{ при } p_6 \leq 0,01; \\ c_{\text{ос}} = 0,01 / h_{\text{ос}} \text{ при } p_6 > 0,01. \quad (4)$$

С дальнейшим увеличением перемещения сопротивление грунта увеличивается. Для второго интервала принимается, что зависимость сопротивления от перемещения линейная, считаем, что коэффициент пропорциональности равен обобщенному коэффициенту нормального сопротивления, определяемому как для обычного талого грунта (см. табл. 1).

Таким образом, для оттаявшего грунта принимается зависимость «сопротивление – перемещение трубы вниз», приведенная на рис. 2, коэффициент нормального сопротивления растепленного грунта определяется по формуле (4), остальные параметры грунта определяются по инженерно-геологическим изысканиям. При этом следует иметь в виду, что зачастую в материалах инженерно-геологических изысканий данные о значениях деформационных характеристик мерзлых грунтов носят неполный характер или имеют слишком большой разброс, говорящий о ненадлежащем качестве выполнения изыскательских работ или неравномерном разбиении на инженерно-геологические элементы.

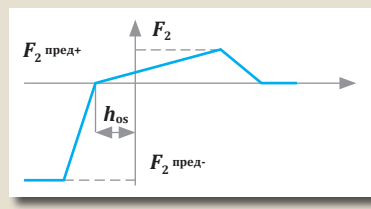
Если обратная засыпка трубопровода, проложенного на ММГ, проводилась местным грунтом, то в случае смыкания ореола оттаивания грунта вокруг трубопровода с ореолом оттаивания грунта от поверхности земли над трубопроводом свойства грунта засыпки рекомендуется задавать как для растепленного (разжиженного) состояния, при этом необходимо учесть выталкивающую силу, действующую на трубопровод, и балластирующие устройства (пригрузы). Если обратная засыпка выполнялась сезоннотальным привозным грунтом, то его физико-механические характеристики принимаются как для талого состояния.

Реализовать представленную выше модель нелинейного взаимодействия нефтепровода с грунтом возможно в ряде программных комплексов, например в ANSYS, SPire или СТАРТ.

Так, в программном комплексе ANSYS возможно задание произвольной зависимости жесткости от перемещения для элементов пружин, моделирующих грунт.

**Рис. 3.**

Зависимость сопротивления грунта вертикальным перемещениям трубы с учетом осадки, реализованная в ПС СТАРТ



В программном комплексе СРiре, автоматизированной системе расчета НДС трубопроводных систем, жестко заложен вид пружин с нелинейными характеристиками. Поэтому моделирование сопротивления грунта «вниз» пружиной с характеристикой, приведенной на рис. 2, в явном виде не представляется возможным. Учитывая, что коэффициент нормального сопротивления обычного талого грунта (тангенс угла наклона  $\beta$  на рис. 2) существенно превосходит коэффициент нормального сопротивления растепленного грунта (тангенс угла наклона  $\alpha$  на рис. 2), принимаем сопротивление грунта на втором интервале бесконечно большим ( $\beta = 90^\circ$ ) и моделируем максимальную осадку нефтепровода с помощью фиктивных опор. Таким образом, первая часть зависимости отпора грунта «вниз» моделируется растепленным грунтом с коэффициентом нормального сопротивления, определяемым по формуле (4), а на глубине, равной осадке грунта ( $h_{os}$ ), устанавливаются фиктивные подвижные опоры, препятствующие дальнейшему перемещению трубы вниз.

Программный комплекс СТАРТ позволяет в явном виде задать осадку основания под трубой, для этого пользователю необходимо ввести величину осадки во всех точках самостоятельно. В этом случае график зависимости сопротивления грунта вертикальным перемещениям трубопровода вверх и вниз, показанного на рис. 1, сдвигается по оси абсцисс влево на величину осадки основания  $h_{os}$ . Такая модель эквивалентна смещению пружин, моделирующих сопротивление грунта в вертикальной плоскости, на величину  $h_{os}$  (см. рис. 3). В результате расчета осадка трубопровода может превысить величину  $h_{os}$ , т.к. ПК СТАРТ пренебрегает

сопротивлением растепленного грунта перемещению нефтепровода вертикально вниз.

Следует также обратить внимание на РД-23.040.010-КТН-222-10 «Методика расчета на прочность и устойчивость линейных участков магистральных нефтепроводов диаметром 530–1220 мм при ремонте с подъемом и поддержкой трубоукладчиками» [11]. Наиболее приближенной расчетной схемой, относящейся к осадке нефтепровода на ММГ, является ремонт нефтепровода с разработкой грунта под ним. Указанная методика допускает использование программных средств, реализующих определение НДС нефтепровода методом конечных элементов, что не предполагает принципиальных отличий от описанных выше расчетных методов.

Однако по сравнению с методикой, описанной в РД-23.040.01-КТН-222-10, расчет в ANSYS, СРiре и СТАРТ имеет несколько преимуществ, а именно: возможность учета пространственной конфигурации нефтепровода, включая отводы горячего и холодного гнутья; взаимодействие нефтепровода с грунтом основания и грунтом засыпки по трем направлениям; относительную простоту построения и изменения расчетной модели нефтепровода; расчет производится на компьютере, в связи с чем исключается необходимость проводить трудоемкие ручные вычисления. Отметим, что программный комплекс ANSYS не имеет специализированных средств для построения расчетной модели подземного нефтепровода и анализа результатов расчета. Это не позволяет оперативно и эффективно использовать ANSYS для решения подобных задач вследствие чрезмерной трудоемкости. Кроме того, ANSYS предъявляет наиболее высокие требования к квалификации пользователя. Программы СТАРТ и СРiре позволяют оперативно и с заданной степенью точности решать подобной рода задачи.

В результате выполненных расчетов, в случае невыполнения условий прочности [2] необходимо разработать мероприятия по уменьшению величины осадки нефтепровода или обеспечить большую равномерность (плав-

ность) осадки трубы в местах смежных грунтов с разными просадочными свойствами.

### Выводы:

Выбор той или иной программы зависит от многих факторов, и в первую очередь – от наличия ранее закупленного программного обеспечения и обученных специалистов. Программы СТАРТ и СРiре являются наиболее обоснованным программным обеспечением для расчета НДС проложенного на ММГ трубопровода из применяемых в процессе разработки проектно-сметной документации. Для корректного проведения расчетов необходимо особое внимание уделять исходным данным, в частности физико-механическим и деформационным свойствам талых и мерзлых грунтов и величинам осадок ММГ при оттаивании.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородавкин П. П. Подземные магистральные трубопроводы. М.: Недра, 1982.
2. СНиП 2.05.06-85\*. Магистральные трубопроводы / Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2002.
3. СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах.
4. РСН 67-87. Инженерные изыскания для строительства. Составление прогноза измерений температурного режима вечномерзлых грунтов численными методами / Госстрой РСФСР. М., 1988.
5. Р 609-86. Рекомендации по прогнозированию динамики теплового и механического взаимодействия трубопроводов с промерзающими и протаивающими грунтами / ВНИИСТ. М., 1987.
6. ГОСТ 20276-99. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости.
7. РД-75.180.01-КТН-027-11. Методика расчета установки опор на технологических и магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах.
8. Руководство по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах / НИИОСП им. Н. М. Герсеванова. М.: Стройиздат, 1980.
9. Айбиндер А. Б. Расчет магистральных и промышленных трубопроводов на прочность и устойчивость. М.: Недра, 1991.
10. Цытович Н. А. Механика мерзлых грунтов. М.: Высшая школа, 1973.
11. РД-23.040.010-КТН-222-10. Методика расчета на прочность и устойчивость линейных участков магистральных нефтепроводов диаметром 530–1220 мм при ремонте с подъемом и поддержкой трубоукладчиками.
12. СП 14.13330.2011, СНиП II-7-81\*. Актуализированная редакция. Строительство в сейсмических районах / Минрегион России. 2010.
13. ГОСТ 20522-96. Методы статистической обработки результатов испытаний.
14. СП 20.13330.2011, СНиП 2.01.07-85\*. Актуализированная редакция. Нагрузки и воздействия / Минрегион России. 2010.