

Таблица 2

Результаты расчета эквивалентных напряжений по Мизесу и суммарных деформаций

Эквивалентные напряжения по Мизесу, МПа	Суммарные деформации, мм
107,97	0,24
97,425	0,22
86,886	0,2
76,346	0,18
65,886	0,16
55,266	0,14
44,726	0,11
34,286	0,097
23,645	0,07
13,106	0,05

$$\sigma_{\text{кн}} = P(D_n - 2\delta)2\delta = 9 \cdot 10^6 \cdot (720 - 2 \cdot 11)2 \cdot 11 = 207,8 \text{ МПа}$$

Определение же продольных напряжений для общего случая:

$$\sigma_{\text{пр}} = 0,5 \sigma_{\text{кн}} = 0,5 \cdot 207,8 = 103,9 \text{ МПа}$$

Максимальное значение эквивалентных напряжений по Мизесу 107,97 МПа, по справочным данным, для стали 08ГБЮ временное сопротивление разрыву (предел прочности) 350 МПа. Следовательно, участок трубопровода с дефектом выдержит нагрузку с коэффициентом запаса прочности 3,4 [6].

Максимальное значение суммарных деформаций 0,25 мм. Наименьшие значения деформации расположены в центре участка трубы и постепенно увеличиваются, приближаясь к концам модели.

Взаимодействие положительной температуры стенки трубы и отрицательной температуры фреда, в которой проложен трубопровод приводит к ее дополнительной деформации и увеличивает напряжение [7].

Оценка напряженно-деформированного состояния и определение наиболее нагруженных участков трубопровода является главным аспектом для безопасной и безаварийной работы трубопроводной системы.

Литература

1. Рудаченко А.В., Саруев А.Л. Исследования напряженно-деформированного состояния трубопроводов. - Издательство ТПУ, 2011. - 136 с.
2. Oleg V., Vladimir P. Ela Elastoplastic stress-strain analysis of buried steel pipelines subjected to fault displacements with account for service loads. URL: https://www.researchgate.net/publication/236621900_Elastoplastic_stress-strain_analysis. Дата обращения: 12.12.2015.
3. СНиП 2.05.06-85* - «Магистральные трубопроводы».
4. Oleg V., Vladimir P. Analytical model versus numerical model in stress-strain analysis of buried steel pipelines subjected to fault displacements. URL: https://www.researchgate.net/publication/236621903_Analytical_model_versus_numerical_model. Дата обращения 10.12.2015
5. Быков Л.И., Мустафин Ф.М. Типовые расчеты при сооружении и ремонте газонефтепроводов. – М.: Недра, 2006. - 824 с.
6. Инженерная геокриология/ под ред. Е.Д. Ершова. – М.: Недра, 1991. – 438 с.
7. Nimish Kurien Thomas, Saj P. Steve Mathews. Stress analysis of underground GRP pipe subjected to internal and external loading conditions. URL: http://www.ripublication.com/ijame-spl/ijamev4n4spl_10.pdf. Дата обращения: 17.12.2015.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ГРУНТОВ

А. Т. Баишев

Научный руководитель, доцент В. Г. Крец

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Компьютерное моделирование позволяет при помощи расчётных методов, таких как, метод конечных элементов, метод конечных разностей, метод конечных объёмов, оценить, как поведёт себя объект-здание, газовая скважина, насыпь дороги, опора трубопровода и др. в реальных условиях эксплуатации. Моделирование

помогает убедиться в эффективности и надежности принятых проектных решений с минимальными временными и материальными затратами.

Для компьютерного моделирования искусственного замораживания грунтов используется специализированное программное обеспечение – Frost 3D Universal, где с помощью численных методов осуществляется решение уравнения теплопроводности с граничными условиями [2]:

$$C_{eff}(T) \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla(k(T)\nabla T) + C_w u \nabla T = Q,$$

$$n \cdot (k(T)\nabla T) = h(T_{inf} - T) + \varepsilon \sigma (T_{amb}^4 - T^4) + q$$

где: T – температура;

t – время;

$k(T)$ – зависимость теплопроводности от температуры;

C_w – объемная теплоемкость воды;

u – скорость фильтрации;

Q – источники и стоки тепла;

h – коэффициент теплообмена;

T_{inf} – температура внешней среды;

T_{amb} – температура источника теплового излучения;

ε – степень черноты поверхности грунта;

σ – постоянная Стефана-Больцмана;

q – тепловой поток (например, с испарителя охлаждающего устройства)

Эффективная теплоемкость и теплопроводность грунта могут задаваться в виде зависимостей от температуры (см. рис. 1, 2) либо вычисляться по соответствующим уравнениям.

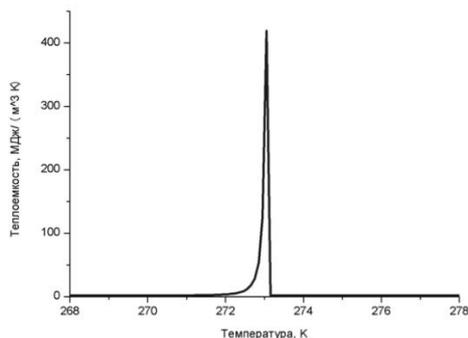


Рис. 1. Зависимость теплоёмкости от температуры

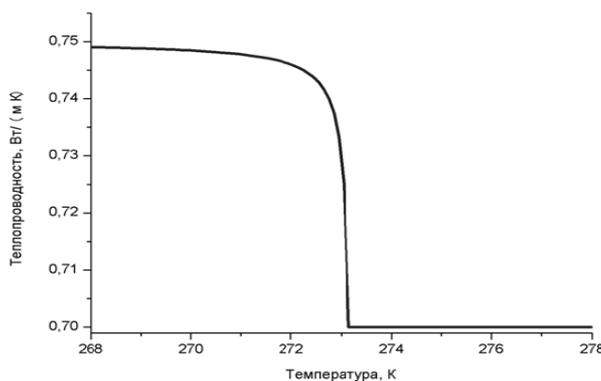


Рис. 2. Зависимость теплопроводности от температуры

Наиболее широкое распространение для вычисления эффективной теплоемкости и теплопроводности получили уравнения вида:

$$C_{eff}(T) = C_{th} + (C_f - C_{th})w(T) - \theta_s P_{ice} L \frac{\partial w(T)}{\partial T},$$

$$k(T) = k_{th} + (k_f - k_{th})w(T)$$

где: k_{th} и k_f – теплопроводность талого и мерзлого грунта;

θ_s – объёмное влагосодержание грунта;

$w(T)$ – зависимость льдистости от температуры;

При проектировании объекта для трехмерной области анализируется решение уравнения теплопроводности с граничными условиями. В данную область как правило входят теплоизоляционные слои, геолого-литологические слои грунта, устройства для охлаждения грунта и другие элементы (см. рис.3).

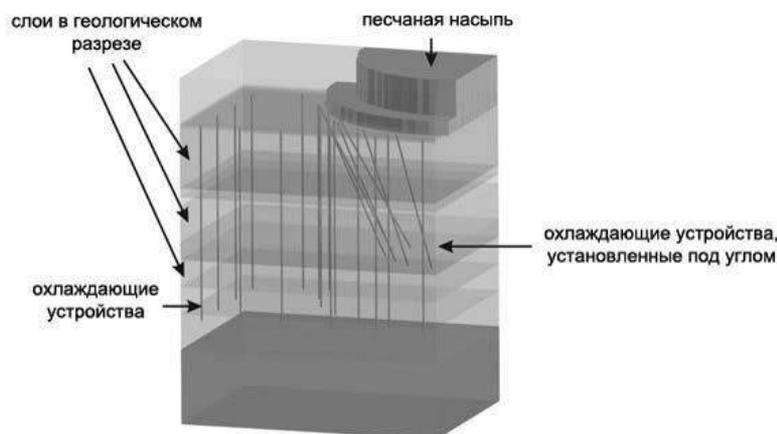


Рис. 3. Область моделирования участка для искусственного замораживания грунта

Первую верхнюю границу зоны моделирования принимают как поверхность земли. Нижняя граница находится на большой глубине, чтобы снизить её воздействие на тепловые процессы в нужной проектировщику области.

На первой границе зоны моделирования задаются условия теплообмена с окружающей средой, которые обуславливаются коэффициентом теплообмена и температурой воздуха. В присутствии источников теплового излучения, задается степень черноты поверхности грунта и температур источника излучения. В следствии задания изменения во времени теплопроводности и толщины снегового покрова, проводится учет влияния снежного покрова на теплообмен поверхности грунта.

Согласно полученным термометрическим данным, в нижней зоне моделирования принимается температура грунта. На боковой поверхности зоне моделирования, задается нулевой тепловой поток. При этом боковые границы участка моделирования располагают достаточно далеко от интересующего участка, чтобы не было влияния на расчет тепловых процессов. [1]

Исходя из численного решения уравнения теплопроводности, в моделируемой области для различных моментов времени получается трехмерное распределение температур. В результате данное тепловое поле используется для изменения их механических свойств и анализа тепловых режимов грунтов. В следствии, этого анализа проводятся решения по обеспечению несущей способности грунтов.

Литература

1. Павлов В.В. Прогноз температурного режима грунтов в основании опор трубопровода надземной прокладки для обеспечения надежной эксплуатации трубопроводной системы // Нефть и газ. 2014. № 2. С. 73.
2. Программный комплекс для теплотехнических расчетов FROST 3D UNIVERSAL [Электронный ресурс]. URL: <http://www.simmakers.ru/frost-3d>. 2014.
3. Сивцева А.С. Исследование напряженно- деформированного состояния подземных трубопроводов в условиях вечномерзлых грунтов с использованием программного комплекса Spire // Трубопроводный транспорт теория и практика. 2007. № 4(10). С. 32–35.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ХРАНЕНИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

И. Э. Баскаков

Научный руководитель, доцент М. С. Салтымаков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящее время существует проблема обеспечения надежности эксплуатации и безаварийности работы систем хранения и распределения углеводородных топлив различного назначения. Электризация нефти при ее движении в трубопроводах является причиной попадания зарядов статического электричества в резервуары и хранилища нефти и нефтепродуктов. Это способствует возникновению искрового заряда в