

Литература

1. Ageev R.V., Mogilevich L.I., Popov V.S., Popova A.A., Kondratov D.V. Mathematical model of pulsating viscous liquid layer movement in a flat channel with elastically fixed wall // Applied Mathematical Sciences. – 2014. – Т. 8. – № 157–160. – С. 7899–7908
2. Могилевич Л.И., Попов В.С. Прикладная гидроупругость в машино- и приборостроении. – Саратов: Саратовский ГАУ, 2003. – 156с.
3. Могилевич Л.И., Попов В.С. Динамика взаимодействия упругого цилиндра со слоем вязкой несжимаемой жидкости // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. – 2004. – № 5. – С. 179–190.
4. Могилевич Л.И., Попов В.С. Исследование взаимодействия слоя вязкой несжимаемой жидкости со стенками канала, образованного соосными вибрирующими дисками // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. – 2011. – № 3. – С. 42–55.
5. Могилевич Л.И., Попов В.С., Попова А.А. Динамика взаимодействия пульсирующей вязкой жидкости со стенками щелевого канала, установленного на упругом основании // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2017. – № 1. – С. 15–23.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
УЧАСТКА ТРУБОПРОВОДА В МЕРЗЛОМ ГРУНТЕ**

**Д.А. Уваров, А.О. Шамуратов, Т.Ю. Баклушин**

Научный руководитель доцент А.В. Рудаченко

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия*

При определении работоспособности трубопроводов в условиях Арктики или приближенных к ним, необходимо провести анализ механического взаимодействия трубы с вечномерзлым грунтом. При этом требуется количественно оценить пучение мерзлых грунтов на напряженно-деформированное состояние конструкции [2].

Целью работы является изучение взаимодействия трубопровода с различными типами мерзлых грунтов, а также исследование его напряженно-деформированного состояния.

В ходе работы решены следующие задачи: 1. Проведен анализ выталкивающей силы грунта в зависимости от глубины промерзания и типа грунта; 2. Построение модели трубопровода, показывающей его деформации в зависимости от типа выбранного грунта.

Вспучивание грунта и появление равномерно распределенных сил морозного пучения вдоль трубопровода, действующих на трубу вертикально снизу - вверх, возникают как в зимнее, так и в летнее время на сильно обводненных участках трассы [3]. Таким образом, давление вспучивания, воздействующее на весь объем грунта обуславливает давление льда. Сила веса грунта и сопротивление разрыву и сжатию грунта противодействует давлению льда. Ограниченная поверхность раздела фаз лед-вода-грунт определяет более высокое давление льда, когда в воде поддерживается более низкое давление.

Так как глинистые грунты очень хорошо удерживают в себе влагу, они сильнее всего подвержены вспучиванию. В работе проведен сравнительный анализ выталкивающей силы двух типов грунтов, где наглядно видна разница между глиной и песком (таблица).

## СЕКЦИЯ 4. НОВЕЙШИЕ СИСТЕМЫ, ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОДВОДНОГО ИЗУЧЕНИЯ ШЕЛЬФА АРКТИКИ И ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

Сила морозного пучения определяется следующим образом [4]:

$$F = 2\pi R^2 \cdot d_f \cdot \tau_s, \quad (1)$$

где  $d_f$  – глубина промерзания грунта;  $\tau_s$  – значение сцепления грунта с поверхностью трубопровода;  $R$  – радиус трубопровода.

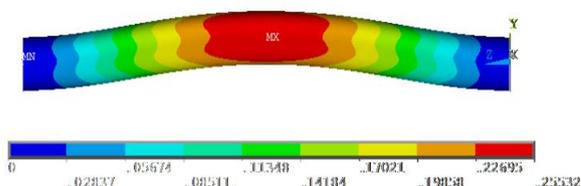
*Таблица*

*Значения выталкивающей силы грунта в зависимости от глубины промерзания и типа грунта*

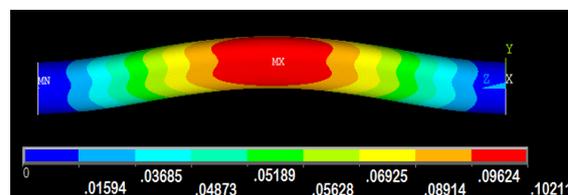
месяц	глина (Н)	песок (Н)
январь	85,75497	14,70085
февраль	68,60398	12,25071
март	51,45298	7,840454
апрель	34,30199	4,900284
май	6,860398	0,980057

Анализ, возникающих при этой деформации, напряжений, проведен численными методами с использованием программного комплекса Ansys-13. В качестве исходной модели принят участок трубопровода «Самотлор-Александровское» ОАО «Транснефть», представленный в виде полого тонкостенного стержня, закрепленного с обеих сторон и находящегося под воздействием упругих деформаций глинистых грунтов.

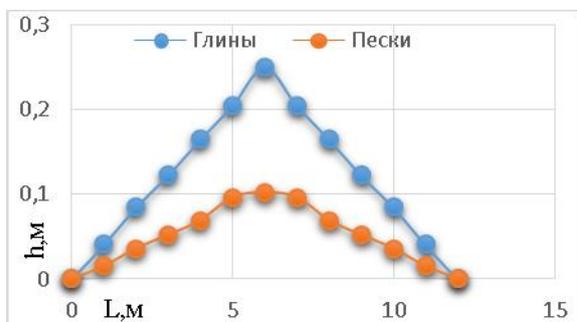
На рисунках 1 и 2 показаны деформации, возникающие при выпучивании трубопровода в конкретном грунте, а на рисунках 3 и 4 показаны интерпретации данных результатов в графическом виде.



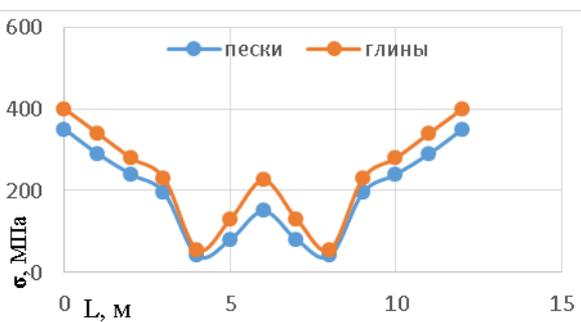
*Рисунок 1 – деформации по оси Y возникающие при выпучивании участка трубопровода в глинах*



*Рисунок 2 – деформации по оси Y возникающие при выпучивании участка трубопровода в песчаных*



*Рисунок 3 – Распределение деформаций (h) по длине (L) участка трубопровода*



*Рисунок 4 – Распределение напряжений (sigma) по длине (L) участка трубопровода*

Полученные и представленные результаты на рисунках 3 и 4 позволяют сделать следующие выводы:

- величина напряжений переменна по длине трубы. В местах соприкосновения трубопровода с грунтом наблюдается повышенный уровень напряжения;
- значения напряжений, возникающие при выпучивании трубопровода в глинистых грунтах, достигают величин, близких к пределу текучести стали, что влияет на долговечность трубопровода, однако напряжения, возникающие в песках, согласно меньше предела прочности и текучести стали [1]. Следовательно, при создании между нижней образующей трубы и естественным грунтом прослойки из песка или другого рыхлого грунта, можно свести к минимуму все негативные последствия, связанные с выпучиванием трубопровода.

### Литература

1. ТУ 14-3-1573-96 Трубы стальные электросварные. – Москва: Изд-во стандартов, 1996.
2. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. – М.: Наука, 1974. – 640 с.
3. Механика грунтов [Текст]: В.Е. Шутов, Г.Г. Васильев, Ю.А. Горяинов, А.Д. Прохоров, Л.С. Чугунов. – М.: Изд-во «ЛОРИ», 2003. – 128 с.
4. Федоров Ю.Ю., Савнина А.В. Напряженно-деформированное состояние подземных газопроводов в условиях многолетней мерзлоты // Нефтегазовое дело. – 2008. – № 1.

### **УПРАВЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ ПРИ ТЕЧЕНИИ ВЯЗКИХ СРЕД ПО ТРУБОПРОВОДУ С КОНИЧЕСКИМ ПЕРЕХОДОМ В ТУПИКОВЫХ ОТВЕТВЛЕНИЯХ**

**Д.С. Фатьянов**

Научный руководитель профессор С.Н. Харламов  
**Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия**

Исследование закономерностей течения флюидов в трубопроводах с участками сложной геометрической формы представляет интерес как с теоретической, так и с практической точек зрения. Даже незначительные, казалось бы, особенности геометрии могут ощутимо влиять на гидродинамические и тепловые параметры потока.

Так, например, исследованиями [1] было установлено, что при применении конических переходов для присоединения стоячков отбора газа и байпасных линий меньшего диаметра наблюдается разогрев газа до температур, превышающих допустимые пределы, что особенно опасно в условиях вечной мерзлоты. Однако при применении прямой врезки разогрева не наблюдается.

На сегодняшний день на практике во время проектирования трубопроводных сетей и учета особенностей динамики процессов, протекающих при течении флюидов в каналах сложной формы, применяются полуэмпирические технологии, которые не всегда позволяют проникнуть в суть механизмов переноса массы, импульса и тепла и сделать вывод о реальных нагрузках и энергонапряженности рабочих элементов.

В таких условиях актуальной представляется задача разработки адекватных математических моделей пространственных турбулентных течений в трубопроводах, осложненных процессами пространственной и тепловой деформации рабочей среды вследствие прохождения особых зон трубопроводов специфической формы поверхности стенки и выявления границ применимости