

## ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА ВОКРУГ ГАЗОПРОВОДА БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА КАК ПРИЧИНА АКТИВИЗАЦИИ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Гаррис Н.А., Исмагилов И.Г., Бахтегареева А.Н.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет  
email: nina\_garris@mail.ru*

*Экспериментальные данные, полученные с замерных пунктов, показали, что нестабильность теплообмена является причиной знакопеременного движения влаги в коррозионно-активном слое грунта. Изучая изменение влажности грунта, которое приводит к изменению его тепло- и электропроводности, мы можем прогнозировать скорость коррозионных процессов.*

*Ключевые слова: теплообмен, коррозионные процессы, магистральный газопровод, коэффициент теплопроводности, влажность грунта, температурное воздействие, тепловой поток*

Изучение процесса теплообмена газопровода большого диаметра с окружающей средой в течение длительного периода эксплуатации, с 15.03.2000 по 19.11.2001, проводилось на участке Поляна – Москово магистрального газопровода Уренгой – Новопсков. Обработка экспериментальных данных, полученных на специально оборудованных замерных пунктах №1 на 1844 км и №2 на 1850 км трассы [1-3], показала, что нестабильность теплообмена является причиной знакопеременного движения влаги в коррозионно-активном слое грунта.

С изменением влажности грунта меняется не только теплопроводность, но и электропроводность грунта, что отражается на скорости коррозионных процессов, разрушающих тело трубы.

### **Построение температурного поля**

В основу методики обработки температурных полей был положен основной закон теплопроводности Фурье [4]

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} F. \quad (1)$$

Удельный тепловой поток  $q$  от трубы в грунт определялся на основании СТО Газпром 2-3.5-051-2006 [5] с учетом эффекта расширения газа. Площади изотермических поверхностей  $F_i$  и величины температурных градиентов  $(\partial T/\partial n)_i$

определялись в результате графической обработки температурных полей (см. рис. 1) с помощью курвиметра и предельной относительной погрешностью их определения при графических построениях на миллиметровой бумаге

$$\delta_F = \pm 0,91\%; \delta_{\frac{\partial T}{\partial n}} = \pm 2,5$$

Температурное поле восстанавливалось по результатам замеров и изображалось графически в виде изотерм и линий тока в сечении, перпендикулярном оси трубы.

При равномерном распределении удельного теплового потока по контуру трубы изотермы в сечении, перпендикулярном оси трубопровода, имеют вид замкнутых кривых. Если влияние поверхности грунта и уровня грунтовых вод невелико, а грунт однородный и изотропный, то по форме изотермы близки к концентрическим окружностям. Такая картина может наблюдаться в начальный период прогрева, особенно при большой относительной глубине заложения трубопровода и низком стоянии грунтовых вод. В дальнейшем происходит перераспределение тока тепла. Относительно вертикали температурное поле остается симметричным. Но тепловые потоки вверх и вниз становятся неодинаковыми. При интенсивном теплообмене на поверхности и низком уровне грунтовых вод тепловой поток, идущий «вверх», может превысить тепловой поток идущий «вниз». Большая часть линий тока направлена к поверхности массива, как это видно на рис. 1.

В результате решения обратной задачи теплопроводности были определены эффективные значения коэффициента теплопроводности грунта  $\lambda$  в зоне теплового влияния газопровода, в том числе и на контуре трубы. Знание теплопроводности грунта позволило косвенным методом определить величину влажности коррозионно-активного грунта.

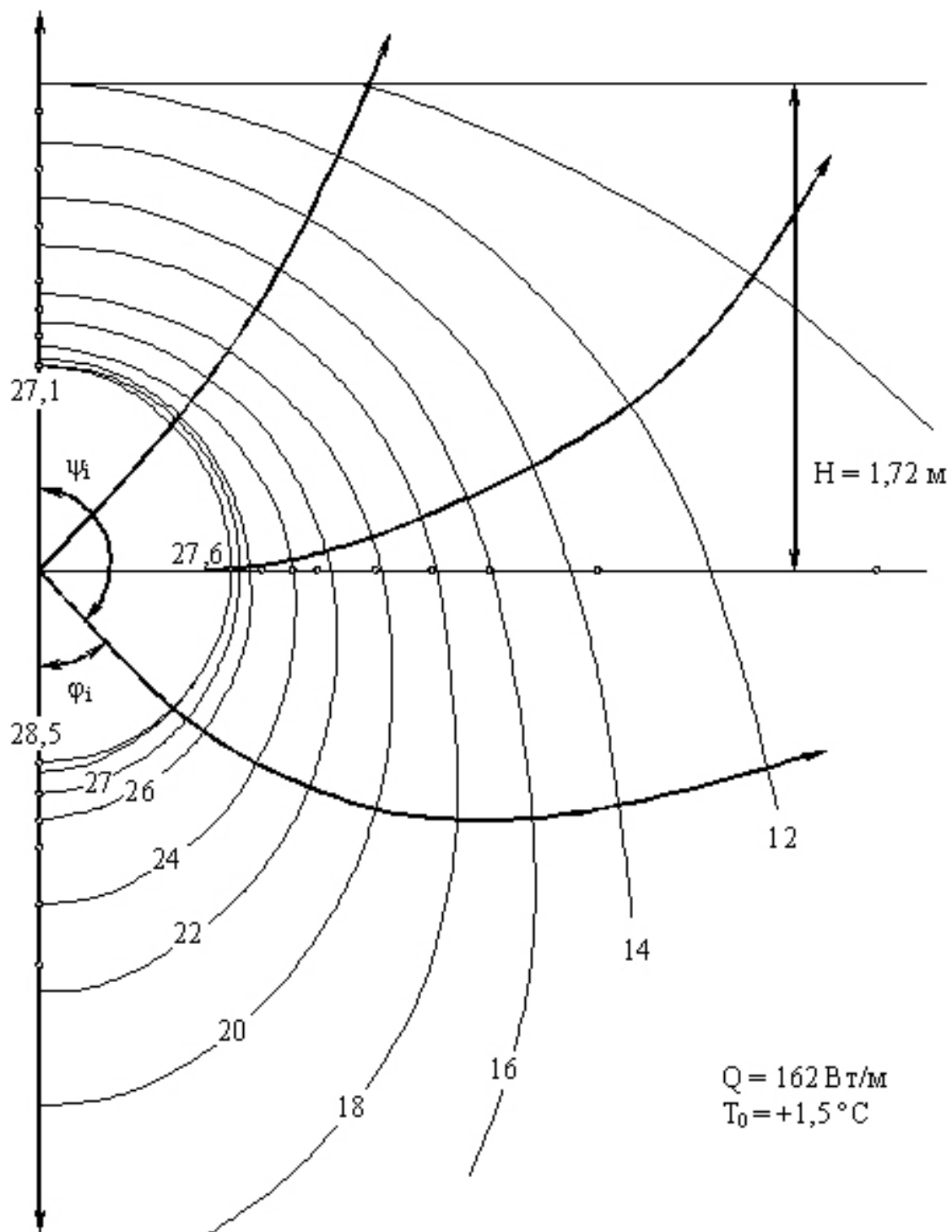


Рисунок 1. Температурное поле вокруг трубопровода на 25.04.00 (пункт №1)

### Определение коэффициента теплопроводности грунта по данным промышленного эксперимента

Обработка температурных полей по вышеизложенной методике показывает, что несмотря на относительно невысокие температуры стенки трубопровода, порядка 28...32 °С, вблизи трубы выявляется значительное снижение коэффициента теплопроводности грунта, что свидетельствует о понижении его влажности на контуре трубы. На рис. 2 представлены результаты, полученные при обработке температурного поля, построенного на 25.04.2000 г. (пункт № 1).

Однако, во времени теплопроводность грунта, прилежащего к трубопроводу, меняется. Более показательным является рис. 3, на котором приведена для данного опыта графическая зависимость коэффициента теплопроводности грунта  $\lambda$  от расстояния от стенки трубопровода  $n$ , которое определялось как среднее арифметическое по 4-м направлениям (вверх, вниз и в стороны от трубы).

С удалением от трубы коэффициент теплопроводности увеличивается до уровня  $\lambda_e = 1,63 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$  в естественном состоянии и с расстояния  $\sim 0,4 \text{ м}$  превышает его, что свидетельствует о повышенной влажности в этой зоне.

Для построения графиков влажности грунта, представленных на рис. 3 - 5 были использованы данные Т.П. Полетыкиной [6] по теплопроводности глинистых грунтов, которые были получены в результате фундаментальных исследований грунтов различных типов. При построении графиков на рис. 5 влажность грунтов определялась по ГОСТ 5176-49. Теплопроводность грунтов определялась методом шарового зонда постоянной мощности. Число проб составляло 445 от 36 образцов.

Из рис. 4 видно, что, несмотря на значительное переувлажнение грунта в период таяния снега, которое наблюдалось в данный период года (апрель месяц), снижение влажности прилегающего к трубопроводу грунта происходило даже при относительно невысоких температурах 27,1...28,5 °С на контуре трубы.

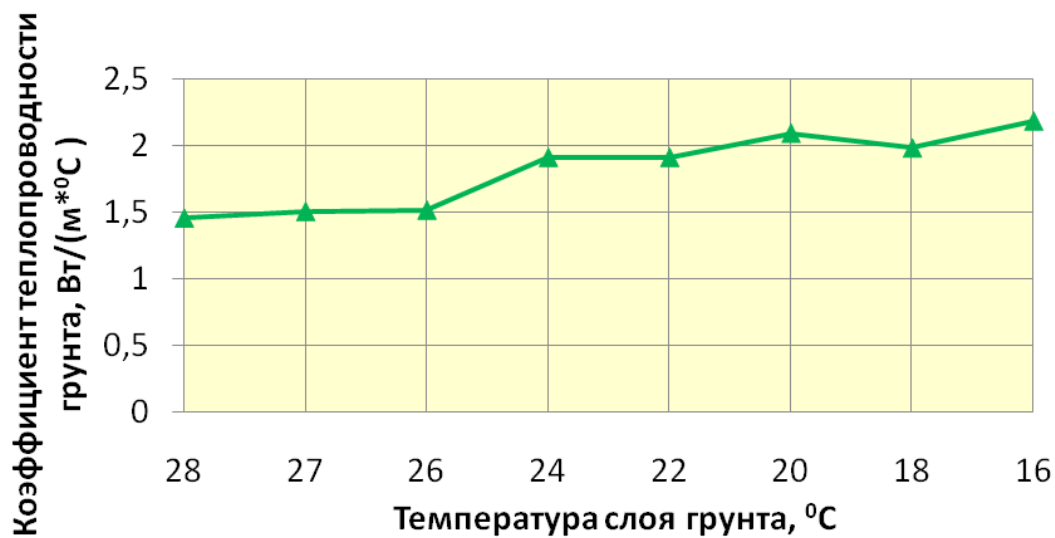


Рисунок 2. Изменение коэффициента теплопроводности грунта в зоне теплового влияния газопровода в зависимости от температуры на 25.04.00 (пункт №1)

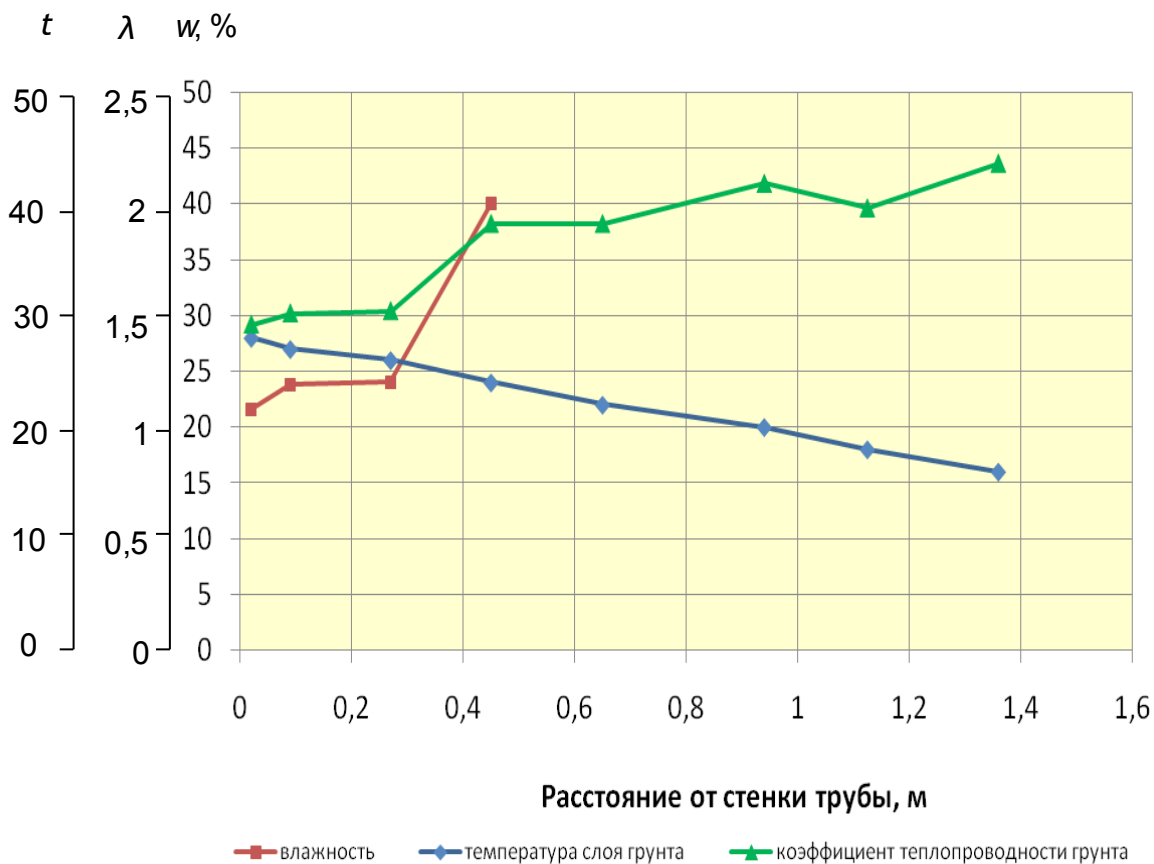


Рисунок 3. Изменение теплофизических параметров грунта в зависимости от расстояния от стенки газопровода на 25.04.00 (пункт №1)

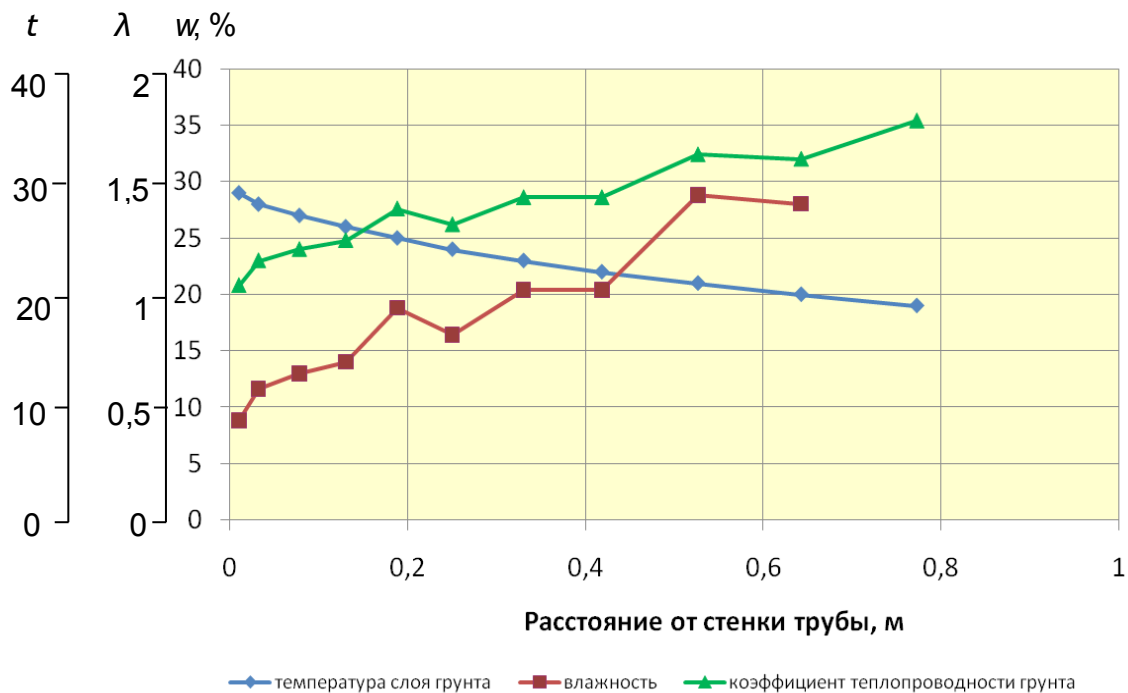


Рисунок 4. Изменение теплофизических параметров грунта в зависимости от расстояния от стенки газопровода на 28.04.00 (пункт №1)

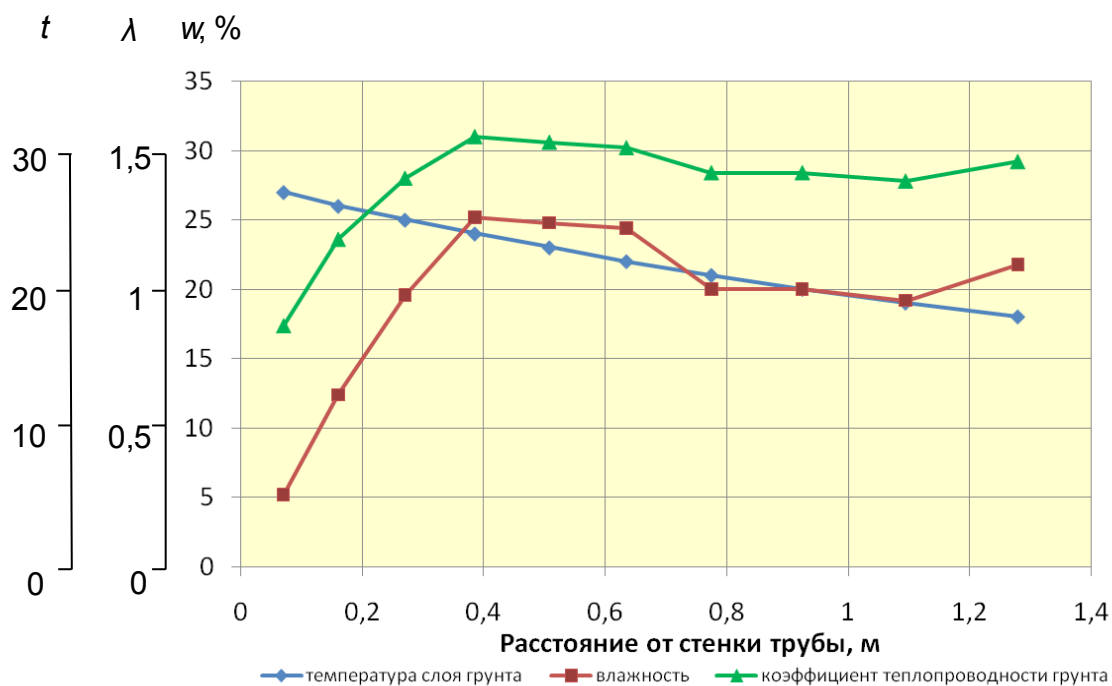


Рисунок 5. Изменение теплофизических параметров грунта в летний период в зависимости от расстояния от стенки газопровода на 02.06.00 (пункт №1)

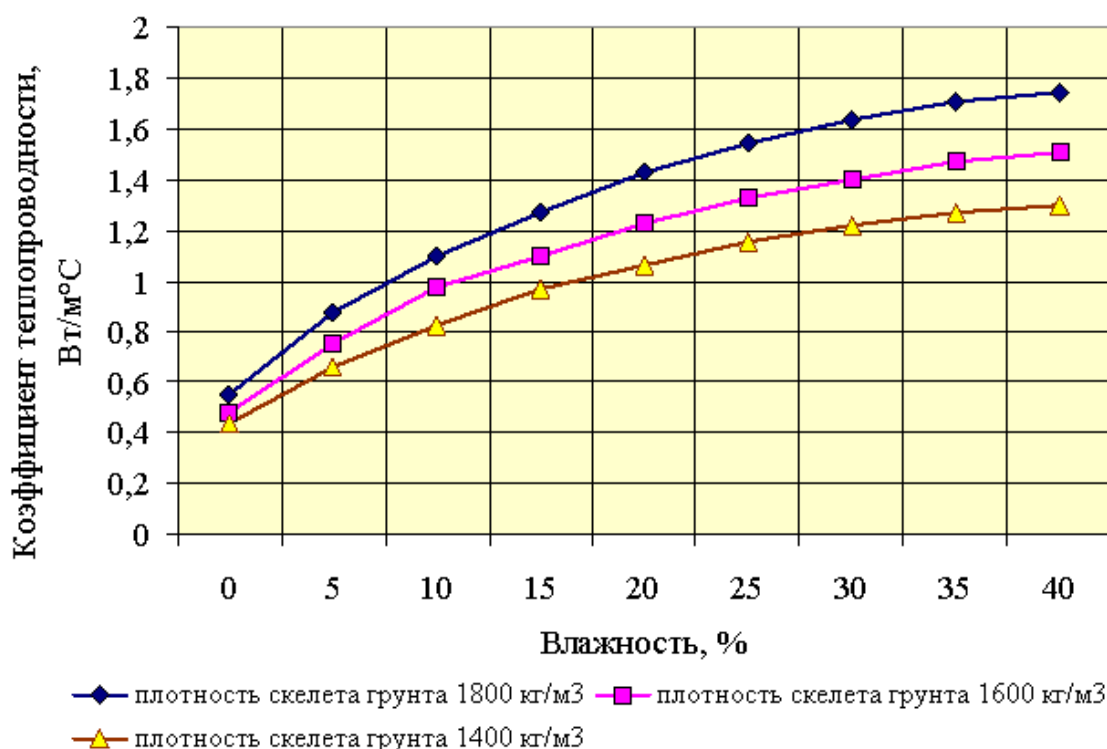


Рисунок 6. Теплопроводность глинистых грунтов

Результаты, представленные на рис. 5, показывают, что последующие три дня, с 24.04.00 по 28.04.00, миграция влаги продолжалась, и это позволило констатировать факт перемещения фронта влажности насыщения 40 % с расстояния 37 см от стенки трубы на расстояние 62 см.

При этом скорость миграции влаги составила:

$$\frac{62 - 37}{3} = \frac{25}{3} = 8,3 \approx 8 \text{ см/сут.}$$

Это значит, что колебания температуры газа с суточным периодом, которые характерны для газопроводов, оборудованных аппаратами воздушного охлаждения (АВО), будут передаваться в грунт на глубину примерно 4 см и вызывать движение влаги в коррозионно-активном слое грунта. Это может повторяться 365 раз в году и может рассматриваться как импульсное тепловое воздействие на коррозионные процессы.

Большой интерес вызывают графики  $\lambda$  и  $w$  на рис. 6, свидетельствующие о том, что даже в летний период, когда грунт более сухой и коэффициент теплопро-

водности грунта значительно меньше, чем в зимний период:  $1,4 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C}) < 1,9 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ , существует зона повышенной влажности в грунте, окружающем трубопровод. Она находится примерно на расстоянии 30 см от стенки трубы и имеет толщину примерно 50 см. Зависимость коэффициента теплопроводности грунта от влажности представлена на рис. 6 [6].

По результатам представленных опытов расстояние от стенки трубопровода до зоны повышенной влажности составило:

на 25.04.00  $r_w = 37 \text{ см}$  при  $t_w = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

на 28.04.00  $r_w = 62 \text{ см}$  при  $t_w = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

на 02.06.00  $r_w = 30 \text{ см}$  при  $t_w = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Анализ графиков, представленных на рис. 3 - 5, показывает, что при изменении температуры стенки трубы влага перераспределяется под действием температурных напоров. Вблизи трубопровода влажность остается всегда пониженной, но на удалении она поддерживается на более высоком уровне, в переувлажненном состоянии.

### Выводы

1. Экспериментально получено, что скорость миграционных процессов в коррозионно-активном слое грунта составляет примерно 8 см/сут. Это значит, что при суточных колебаниях температуры газа импульсы проникают на глубину до 4 см, активизируя процессы в коррозионно-активном слое грунта.

2. Доказано, что в результате перераспределения под температурным воздействием влажность грунта возле трубы значительно снижается, но на расстоянии нескольких десятков сантиметров (30...60 см) от трубы формируется зона грунта с повышенной влажностью, своеобразного "аккумулятора" грунтового электролита, откуда влага в колебательном режиме поступает и подпитывает коррозионно-активный слой грунта, прилегающего к трубопроводу.

3. Получено, что даже в летний период (по данным на 02.06.00) формируется кольцевая зона грунта с повышенной влажностью толщиной примерно 50 см на расстоянии примерно 30 см от стенки трубопровода.



### Литература

1. Исмагилов, И.Г. О промышленном эксперименте на участке Поляна – Москово газопровода Уренгой – Новопсков / И.Г. Исмагилов, М.З. Асадуллин, Н.А. Гаррис // Материалы международной н.-т. конференции «Трубопроводный транспорт – сегодня и завтра». (Уфа 27-29 ноября, 2002): Сб.научн. тр. - Уфа: Монография, 2002. - С. 96-98.

2. Исмагилов, И.Г. Снижение активности процессов КРН магистральных газопроводов путем совершенствования технологических операций / И.Г. Исмагилов, М.З. Асадуллин, Р.М. Аскарлов, Н.А. Гаррис // Наука и техника в газовой промышленности. Научно-технич. журн. – 2002. - № 3. - С.12-15

3. I. Ismagilov, N. Garris, M. Asadullin, R. Askarov. Impulse temperature influence on stress-corrosion cracking of big diameter gas main // Oil and Gas Business, 2002. – 9 p. URL: [http://www.ogbus.ru/eng/authors/Garris/gar\\_e.pdf](http://www.ogbus.ru/eng/authors/Garris/gar_e.pdf). (review date: 14.05.2010).

4. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.

5. Технологические нормы проектирования магистральных газопроводов. СТО Газпром 2-3.5-051-2006. – М.: ОАО "Газпром", ООО "ВНИИГАЗ", ООО "ИРЦ Газпром", 2006. – 186 с.

6. Исследование теплового взаимодействия газопровода с вечномерзлым грунтом на севере Тюменской области. Тюмень, 1979 г. ВНИЦ Копия отчета о НИР. 1982 г. Т832870 ТФК – 19.