

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 622.691.4 + 678.019.3

ОЦЕНКА И МИНИМИЗАЦИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НА ДЕСТРУКЦИЮ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ И КОРРОЗИЮ ГАЗОПРОВОДОВ

*д-р техн. наук Г.П. БРОВКА, С.Н. ИВАНОВ, акад., д-р техн. наук И.И. ЛИШТВАН
(ГНУ Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси, Минск),
И.И. ГЕРАСИМЧИК, Ц.Д. СОРОХАН
(ОАО «Белтрансгаз», Минск)*

Дана оценка влияния сезонной динамики температурных и влажностных полей в деятельном слое грунтов в местах подземной прокладки газопроводов на деструкцию их защитных покрытий и предложены мероприятия, минимизирующие отрицательные последствия этого влияния.

Все промышленные трубопроводные системы относятся к опасным производственным объектам, поэтому обеспечение высокой надежности эксплуатации трубопроводов является важной задачей как с экономической, так и экологической точек зрения. Магистральный газопровод большого диаметра с рабочей температурой порядка 30...40 °С является мощным источником тепла. Такой газопровод оказывает активное воздействие на температурно-влажностный режим прилегающей территории. В случае аварии на газопроводе окружающей среде наносится значительный ущерб. Доминирующей причиной аварий на действующих газопроводах является коррозионное растрескивание под напряжением (КРН) [1 – 4].

При защите газопроводов от коррозии основное внимание уделяется гидроизолирующим покрытиям поверхности металлических труб материалами на основе битумов и полимеров. Эти материалы имеют относительно высокую стойкость в различных средах. Однако с течением времени под воздействием различных физических, физико-химических и биохимических процессов, протекающих в деятельном слое грунтов, защитные покрытия претерпевают деструкцию и утрачивают свои защитные свойства.

Процессам деструкции неметаллических материалов в различных гидрологических условиях не уделено достаточно внимания. По-нашему мнению на интенсивность процессов деструкции защитных покрытий газопроводов сильное влияние оказывают динамика температурных и влажностных полей в деятельном слое грунтов в местах подземной прокладки газопроводов. Предпосылки этого влияния заключаются в том, что интенсивность физико-химических и биохимических процессов в деятельном слое грунтов во многом определяется интенсивностью обмена газообразными и водорастворимыми соединениями верхних слоев грунта со слоями, контактирующими с защитным покрытием. В свою очередь интенсивность массообмена в деятельном слое грунта во многом определяется периодическими изменениями температуры и влагосодержания верхнего слоя грунтов. При периодическом изменении температуры и влагосодержания в деятельном слое грунта из верхних слоев в нижележащие интенсифицируется поступление кислорода и активных водорастворимых соединений, которые могут вызывать физико-химическую и биохимическую деструкцию защитных покрытий. К тому же при сезонном изменении температурного режима защитные покрытия могут подвергаться периодическим температурным деформациям, которые могут вызывать их механическую деструкцию. Необходимо также принимать во внимание тот факт, что после компрессорных станций температура транспортируемого газа на 20...30 °С может превышать температуру грунта, контактирующего с газопроводом. Это приводит к сложному температурно-влажностному режиму в месте прокладки газопровода, характеризующемуся значительными градиентами температуры и влагосодержания.

В публикациях по данной проблеме [5] указывается на влияние переменного уровня грунтовых вод в месте закладки трубопроводов на их коррозию. Это влияние, с одной стороны, обусловлено тем, что при колебании уровня грунтовых вод в легкодеформированных породах, таких как торф и глинистые породы, может происходить локальная просадка или поднятие газопровода вместе с указанными породами. С другой стороны, колебание влагосодержания верхнего слоя грунта в широких пределах способствует поступлению в нижележащие слои кислорода и активных водорастворимых соединений.

Повысить надежность эксплуатации газопроводов и этим самым уменьшить ущерб окружающей среде можно путем создания влагоизолирующих экранов в приповерхностном слое грунтов непосред-

ственно над проложенным газопроводом и техническими мероприятиями по стабилизации уровня грунтовых вод на прилегающей территории.

Оперативно оценить эффективность различных вариантов стабилизации температурного и влажностного режимов в деятельном слое грунта, препятствующих деструкции защитных покрытий и коррозии газопроводов, можно с помощью имитационного моделирования, используя современные компьютерные технологии. Если же эти вопросы решать чисто эмпирическим путем, то потребуются большие материальные затраты и длительные сроки. Напротив, путем компьютерного моделирования можно проанализировать большое количество вариантов, выбрать наиболее эффективные, а затем уже на заключительном этапе испытать их на реальных объектах. В этом направлении в ИПИПРЭ НАН Беларуси была выполнена поисковая НИР, финансируемая ОАО «Белтрансгаз», в которой дана оценка влияния сезонной динамики температурных и влажностных полей в деятельном слое грунтов в местах подземной прокладки газопроводов на деструкцию их защитных покрытий и предложены мероприятия, минимизирующие отрицательные последствия этого влияния.

Наблюдение за температурным режимом газопровода проводилось на компрессорной станции (КС) «Михановичи». Для измерения температуры непосредственно на стенке трубы газопровода и в грунте на заданной глубине и заданном расстоянии от трубы использован универсальный электронно-цифровой термометр «Зонд-1». Датчики температуры были заложены на трубе 3-го компрессорного цеха перед входом в компрессор и после выхода из него. Для этого в избранных местах труба с одной стороны полностью освобождалась от грунта и непосредственно на поверхность изоляции трубы с помощью скотча крепились датчики. Затем труба снова аккуратно, чтобы не сместить датчики, засыпалась грунтом. Кроме этого, в каждой точке на глубинах, соответствующих положениям верхнего и нижнего датчиков, на трубе закладывались датчики для измерения температуры в местах, где влияние трубопровода на температуру грунта было незначительным. В месте закладки датчиков температуры на высокой стороне (КС) грунт представлен легким суглинком. Уровень стояния грунтовых вод находился на глубине 2 м от поверхности грунта. За время наблюдения уровень стояния грунтовых вод существенно не изменялся.

В период с сентября 2003 года по сентябрь 2004 года велся мониторинг температурного режима в указанных точках газопровода. Данные по изменению температуры стенки трубы в различные сезоны года перед входом в КС и на выходе из нее, а также соответствующие значения температуры газа согласно данным диспетчерской службы КС представлены на рисунке 1. На рисунке также представлены данные по средней температуре слоя грунта, контактирующего с газопроводом.

В начале наблюдения компрессор не функционировал и температурный режим газопровода до компрессора и после компрессора практически не отличался, а температура газа на 2...3 °С превышала среднюю температуру грунта. В период функционирования компрессора температура газопровода перед входом в КС до середины апреля 2004 года в среднем на 2 °С превышала среднюю температуру грунта, а после указанной даты, наоборот, температура трубы была ниже средней температуры грунта. К сентябрю 2004 года наблюдается тенденция к сближению указанных значений температуры и, возможно, к смене знака разности этих величин. На протяжении всего периода наблюдения при функционировании компрессора температура на выходе на 13...17 °С превышала температуру на входе. Причем температура как на входе, так и на выходе синхронно изменялась в течение периода наблюдения вместе со средней температурой грунта. Следует отметить, что несмотря на то, что температура газопровода на выходе существенно отличалась от среднеэффективной температуры грунта, температура в различных точках по контуру трубы в позициях на «12 ч», «3 ч» и «6 ч» отличалась не более чем на 0,2 °С. Это говорит о том, что интенсивность теплообмена газа внутри трубы за счет конвективного обмена гораздо выше, чем интенсивность теплоотвода за счет теплопроводности в грунте, контактирующем с газопроводом. Благодаря этому температура на наружных стенках газопровода перед входом в КС практически не отличается от температуры газа внутри газопровода, а соответствующая температура после выхода из КС не более чем на 0,2 °С ниже температуры газа. На основании полученных данных можно сделать заключение, что температурный режим газопровода на высокой стороне КС определяется температурой газа после выхода из компрессора и охлаждения его с помощью аппаратов воздушного охлаждения. В то же время на низкой стороне КС температурный режим газопровода определяется в основном среднеэффективной температурой грунта, контактирующего с газопроводом. Из этого следует, что температурный режим газопровода на высокой стороне КС рационально регулировать режимом работы компрессора и аппаратами воздушного охлаждения. Наиболее критические ситуации могут возникать при резкой смене режима работы компрессора, т.е. его остановка или резкое включение.

Для компьютерного моделирования процессов тепло- и массопереноса и напряженно-деформированного состояния в слое грунта, контактирующего с газопроводом, разработана прикладная программа, с помощью которой проведен вычислительный эксперимент. На первом этапе вычислительного эксперимента была проанализирована закономерность изменения температурного режима стенки трубы и контактирую-

щего с ним слоя грунта при сезонных изменениях температуры на поверхности грунта. При этом варьировалась температура газа в газопроводе и теплофизические характеристики грунта.

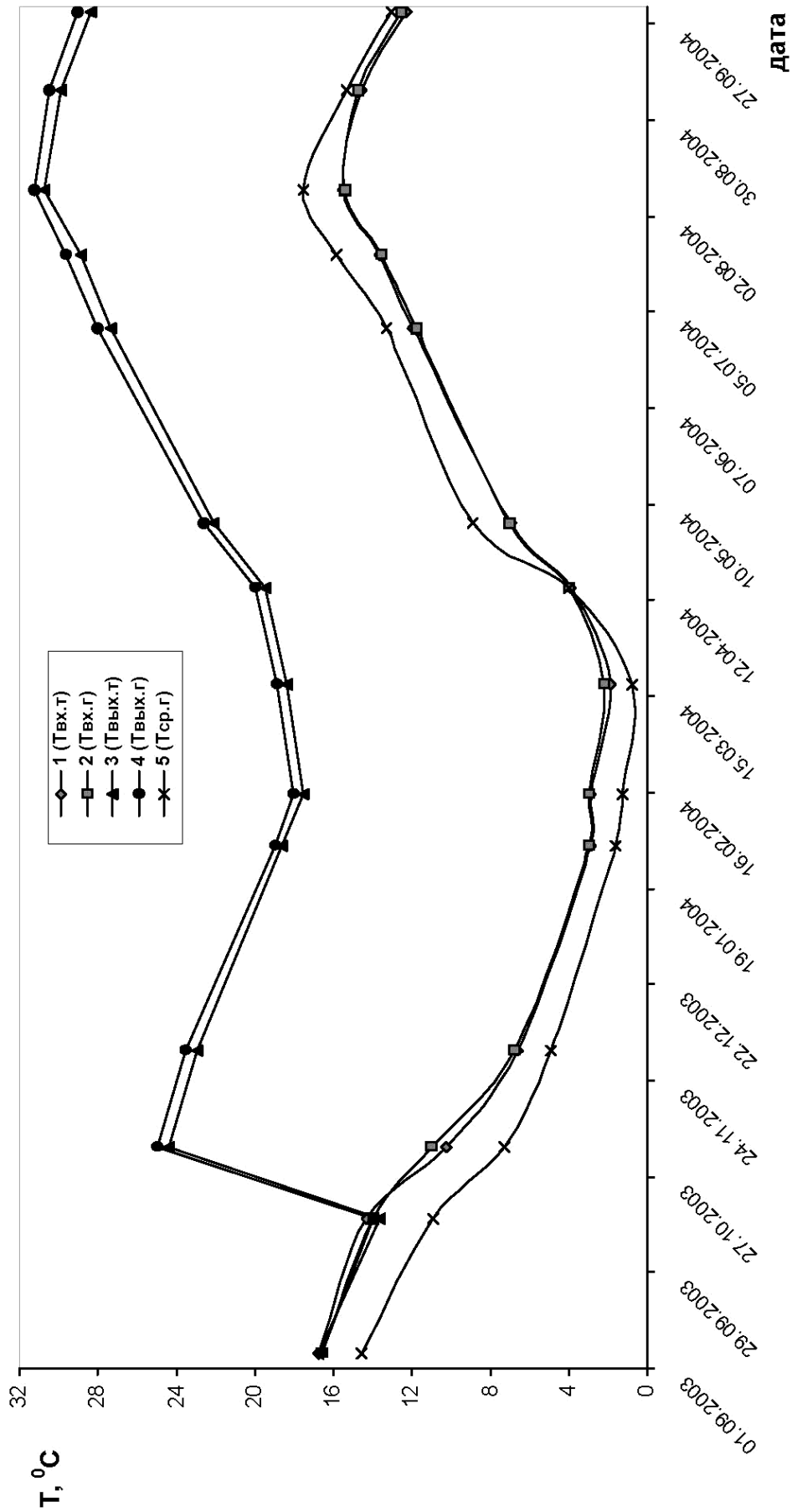


Рис. 1. Годовой ход изменения температуры на газопроводе (КС «Михановичи»):
 1 – температура стенки трубы перед входом в КС; 2 – температура газа на выходе в КС; 3 – температура стенки трубы после выхода из КС;
 4 – температура газа на выходе из КС; 5 – средняя температура слоя грунта, контактирующего с газопроводом

В расчетах полагалось, что коэффициент теплообмена газа с внутренней поверхностью трубы составляет 40 Вт/м²·К. Такое значение коэффициента теплообмена α соответствует данным мониторинга температурного режима стенки трубы и температуры газа на выходе из КС. Были выполнены расчеты с температурой газа 20 и 40° при теплофизических характеристиках грунта, соответствующих торфу и легкому суглинку. Полученные результаты записывались в файлы данных с интервалом в 10 дней и могли представляться в виде таблиц или графиков.

Наряду с температурой грунта рассчитывался тепловой поток на поверхности трубы. Анализ расчетных данных показал следующее: влияние газопровода на температуру грунта распространяется на глубину до 5 м в горизонтальном направлении. Тепловой поток, который поступает из поверхности трубы в контактирующий с ней грунт, периодически изменяется с изменением средней температуры слоя грунта. При этом амплитуда изменения теплового потока увеличивается с увеличением средней теплопроводности активного слоя грунта. Расчеты показали, что при теплофизических характеристиках, соответствующих торфу, амплитуда теплового потока изменяется не более чем на 10 %, а при теплофизических характеристиках, соответствующих супеси, изменение амплитуды теплового потока достигает 30 % от средней величины. При этом установлено, что средняя величина амплитуды теплового потока пропорциональна разности температуры поверхности трубы и среднегодовой температуре грунта, которая соответствует установившейся температуре грунта на достаточно большой глубине (+5 °С). На основании данных моделирования получена эмпирическая формула, позволяющая рассчитать тепловой поток из поверхности трубы, используя данные о температуре газа, среднеэффективной температуре и теплопроводности слоя грунта, контактирующего с газопроводом:

$$q_m = (t_g - t_{zp})\alpha_{эф}; \quad \alpha_{эф} = \frac{\alpha_m \alpha_z}{\alpha_m + \alpha_z},$$

где t_g – температура газа; t_{zp} – среднеэффективная температура грунта; $\alpha_{эф}$ – эффективный коэффициент теплообмена; α_m – коэффициент теплообмена газа с поверхностью трубы; α_z – коэффициент теплообмена грунта с поверхностью трубы.

Коэффициент теплообмена грунта с поверхностью трубы α_r можно определить по формуле:

$$\alpha_z = k\lambda_z,$$

где λ_z – среднеэффективный коэффициент теплопроводности грунта; k – эмпирическая константа.

Значение эмпирической константы определено на основании данных компьютерного эксперимента. Это значение составляет 1,41 м. С учетом коэффициента теплообмена газа с поверхностью трубы, значения которого составляет 40 Вт/м²·К, эффективный коэффициент теплообмена для грунта со среднеэффективным коэффициентом теплопроводности 1 Вт/м²·К $\alpha_{эф}$ будет составлять 1,36 Вт/м²·К.

Используя значения эффективного коэффициента теплообмена для различных типов грунтов, можно получить формулу для аналитического расчета изменения температуры газа по длине газопровода, аналогичную формуле, приведенной в работе [6]. В отличие от формулы, приведенной в цитируемой работе, коэффициент теплообмена связан с конкретным значением эффективного коэффициента теплопроводности грунта, что позволяет рассчитывать изменение температуры газа в различных грунтах в зависимости от теплофизических характеристик.

$$t_z = t_{zp} + (t_{zo} - t_{zp}) \cdot e^{-ax} - D_h \frac{p_1 - p_2}{\ell} x \frac{1 - e^{-ax}}{a} - g \frac{\Delta Z}{\ell} \frac{1 - e^{-ax}}{C_p a}; \quad a = \frac{\alpha_m k \lambda_z}{\alpha_m + k \lambda_z} \cdot \frac{\pi D}{GC_p},$$

где D_h – коэффициент Джоуля – Томсона для природного газа; К/10⁵ Па; p_1, p_2 – давление газа в начале и конце газопровода соответственно, Па; ΔZ – превышение нивелирного уровня, м; ℓ – общая длина газопровода, м; D – диаметр газопровода; G – массовый расход газа, кг/с; C_p – удельная массовая теплоемкость газа при постоянном давлении, Дж/(кг·К); x – расстояние от начала газопровода, м.

Выполнена серия вычислительных экспериментов по оценке интенсивности поступления из поверхностного слоя в нижележащие слои грунта кислорода и активных водорастворимых соединений (КСl, НСl, NH₄NO₃, NH₄Cl) при периодических изменениях температурного и влажностного режима деятельного слоя грунта. Вычисления выполнялись с помощью разработанной программы. При этом варьировались параметры температурного режима, соответствующие суточным и сезонным колебаниям температуры на поверхности грунта. В процессе вычислительного эксперимента было установлено, что суточные колебания температурного режима в основном сказываются на интенсивности поступления кислорода при аэрированном верхнем слое грунта до глубины 0,3 м. Это происходит благодаря изменению плотности газовой фазы за счет температуры, согласно уравнению газового состояния. При этом возни-

кает периодический конвективный поток воздуха, благодаря которому интенсифицируется поступление кислорода в слои грунта, расположенные в зоне суточных колебаний температурного режима. Сезонные изменения температурного режима верхнего слоя грунта проявляются в основном в том, что в зимнее время амплитуда суточных температурных колебаний и глубина их проникновения снижается в несколько раз и поэтому сезонные колебания температуры фактически изменяют интенсивность суточных колебаний.

Путем компьютерного моделирования было выявлено, что суточные температурные колебания грунта не оказывают заметного непосредственного влияния на интенсивность поступления минеральных водорастворимых соединений из поверхности в нижележащие слои грунта. В большой степени на интенсивность поступления минеральных водорастворимых соединений оказывают сезонные влияния изменения температуры в деятельном слое грунта. Установлено, что в зимний сезон резко замедляется диффузия водорастворимых соединений в нижние слои грунта, когда на поверхности образуется промерзший слой. Показано также, что колебания температурного режима могут опосредованным путем влиять на перенос водорастворимых соединений за счет влияния температурного режима на перенос влаги в верхних слоях грунтов.

Моделирование влияния периодических изменений влажностного режима деятельного слоя грунта на перенос минеральных водорастворимых соединений показало, что периодическое увлажнение и иссушение верхнего слоя грунта вызывает соответствующие периодические знакопеременные потоки влаги, и это резко увеличивает гидродинамическую дисперсию (гидродисперсию) водорастворимых соединений. При этом величина коэффициента гидродисперсии пропорциональна квадрату линейной скорости фильтрации влаги.

Следует отметить, что перенос кислорода в нижележащие слои грунта происходит путем взаимодействия двух механизмов переноса. В верхнем слое толщиной 0,2...0,3 м перенос осуществляется в основном в газообразной фазе, на перенос которой, как уже указывалось, основное влияние оказывают суточные колебания температурного режима. В более глубоких слоях перенос осуществляется в основном в жидкой фазе за счет растворения кислорода в поровой влаге и конвективно-диффузионного переноса.

Методом компьютерного моделирования показано, что сильное влияние на поступление растворенного в воде кислорода и минеральных солей оказывает инфильтрация в нижележащие слои паводковых вод в период весеннего снеготаяния. При этом важным фактором, влияющим на поступление водорастворимых соединений в нижележащие слои грунта, является микрорельеф поверхности грунта. При наличии ската основное количество талых вод уходит за счет поверхностного стока, и наоборот, в пониженных местах происходит накопление талых вод, имеющих в своем составе водорастворимые соединения, которые могут проникать в глубинные слои грунта.

Следует отметить, что водорастворимые минеральные соединения и растворенный в воде кислород в основном переносятся инфильтрационными потоками влаги. Поэтому механизм их переноса и интенсивность поступления в нижележащие слои грунта с поверхности определяются концентрацией их в поверхностных слоях и величиной плотности фильтрационного потока. Выполненные расчеты показали: через 5 лет водорастворимые соединения достигнут нижней части трубы.

Таким образом, методом компьютерного моделирования показано, что за счет периодического изменения температурного и влажностного режима деятельного слоя грунта в местах прокладки магистральных газопроводов интенсифицируется поступление из поверхностного слоя в нижележащие слои грунта кислорода и активных водорастворимых соединений. Это непосредственно может сказываться на деструкции защитных покрытий и коррозии газопроводов.

Выполнена серия численных расчетов по оценке деформации в защитных покрытиях газопроводов при колебаниях температуры и влагосодержания в деятельном слое грунта в весенне-летний, летне-осенний, осенне-зимний и зимне-весенний периоды года, а также при изменении уровня грунтовых вод и влагосодержания верхнего слоя грунта.

Методом компьютерного моделирования установлено, что сезонные колебания температуры в деятельном слое грунта слабо влияют на разность температуры в верхней и нижней части трубы. Это вызывает несущественные температурные напряжения в защитных покрытиях, при этом изменения температуры происходят плавно, что позволяет релаксировать возникающие напряжения без механических повреждений. В то же время выявлено, что температура газопровода зависит в основном от температуры на выходе из компрессорной станции и теплообмена с прилегающим слоем грунта. При этом интенсивность изменения температуры по длине трубы зависит от среднеэффективной температуры 3-метрового слоя грунта, которая зависит от сезона года. Нестабильность температуры выхода газа после компрессорных станций и изменения интенсивности теплообмена газопровода с окружающим грунтом в различных сезонах года, влекущие за собой изменения температуры газопровода в 5...10 °С, могут вызывать подвижки газопровода и нарушение целостности изоляционного покрытия.

Кроме непосредственного воздействия температурного режима на деформационные процессы в газопроводе, температурное поле оказывает сильное влияние на влажностный режим в прилегающем слое грунта.

Изменение влагосодержания грунта, контактирующего с газопроводом, вызывает деформацию структуры слабых грунтов, таких как глинистые и торфяные грунты. При этом процессы усадки –набухания грунтов в контактной зоне могут вызвать соответствующие деформации защищенных покрытий газопроводов.

Моделированием установлено, что изменения уровня грунтовых вод наиболее существенное влияние оказывают на деформацию газопровода, проложенного через заболоченные территории с уровнем стояния грунтовых вод 1...3 м. При этом изменение уровня грунтовых вод в указанных пределах существенно изменяет среднее влагосодержание слоя грунта, контактирующего с газопроводом, что приводит к смещению оси трубопровода на десятки сантиметров. Наиболее неблагоприятные ситуации возникают при наличии грунтов с различными деформационными характеристиками вдоль трассы газопровода. Например, чередование заторфованных и песчаных участков. В таких случаях при колебании уровня грунтовых вод на заторфованных участках будут возникать знакопеременные деформации газопровода.

С помощью методов компьютерного моделирования было выявлено, что для приближенного расчета деформации торфяной залежи с расположенным в нем газопроводом при изменении уровня грунтовых вод можно использовать следующие эмпирические формулы:

$$W = 1.3 \left[\frac{P_n}{g\rho_B} + (h_{зв} - h_{nm}) \right] \frac{1}{3} + 0,44 ; \quad \lambda_d = 1 - \frac{0,7 + W_o}{0,7 + W} ; \quad S = \lambda_d H_{mз},$$

где P_n – давление, создаваемое газопроводом и лежащим на нем грунтом, в нижней части газопровода, Па; g – ускорение свободного падения, м²/с; ρ_B – плотность воды, кг/м³; $h_{зв}$ – уровень грунтовых вод, м; h_{nm} – уровень нижней части газопровода, м; λ_d – относительная деформация залежи; W_o – исходное влагосодержание, кг/кг; W – текущее влагосодержание, кг/кг; $H_{mз}$ – мощность торфяной залежи под газопроводом, м; S – изменение положения газопровода, м.

Приведем пример расчета вертикальной деформации газопровода при изменении уровня грунтовых вод при следующих исходных данных:

$P_n = 2 \cdot 10^4$ Па; $h_{зв0} = 2,0$ м; $h_{nm} = 2,0$ м; $h_{зв1} = 1,0$ м; $H_{mз} = 2,0$ м.

В результате расчета получаем:

$W_o = 0,96$ кг/кг; $W = 1,15$ кг/кг; $\lambda_d = 0,11$; $S = 0,22$ м.

Таким образом, в результате изменения уровня грунтовых вод с 2 до 1 м положение газопровода в вертикальном направлении может измениться на 0,22 м, т.е. он на 0,22 м может подняться вверх.

На основании вышеизложенного можно сделать заключение о необходимости разработки мероприятий по минимизации отрицательных последствий динамики температурно-влажностного режима на деградацию защитных покрытий и коррозию газопроводов. В местах, где позволяют условия землепользования, наименее трудоемким способом повышения стабилизации температурно-влажностного режима грунта и уменьшения поступления к поверхности трубы кислорода и активных водорастворимых соединений можно добиться путем создания на поверхности грунта над трубопроводом двухскатной насыпи из естественного грунта. Высота этой насыпи должна составлять порядка 1 м, а длина скатов – до 3 м. Это уменьшит амплитуду сезонных колебаний среднеэффективной температуры грунта, инфильтрацию осадков и паводковых вод.

Для уменьшения поступления растворенного в воде кислорода и минеральных солей к наружной поверхности газопровода при инфильтрации осадков и паводковых вод предлагается использовать гидроизолирующие экраны, расположенные в грунте над верхней частью трубы в виде дуги (рис. 2).

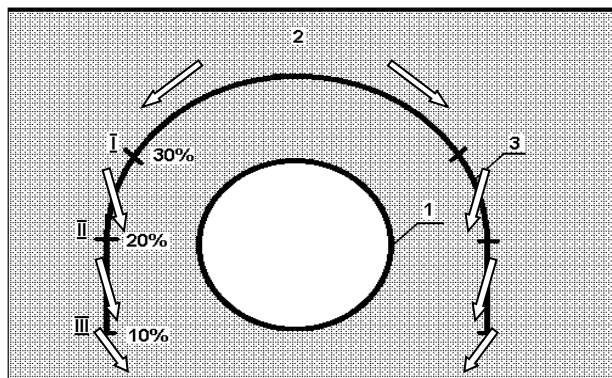


Рис. 2. Схема расположения гидроизолирующих экранов:
1 – труба; 2 – грунт; 3 – гидроизолирующий экран;
I – III – варианты степени экранирования

Методом имитационного моделирования установлено, что с помощью таких экранов можно до 10 раз снизить поступление кислорода и минеральных солей к поверхности трубы. В качестве гидроизолирующих экранов могут быть использована полиэтиленовая пленка либо ткань, пропитанная гидрофобизирующими составами.

Уменьшение поступления растворенного в воде кислорода и минеральных солей к поверхности трубы может быть достигнуто также за счет комбинации слоев грунта с различной водопроницаемостью.

Для этого слой грунта, непосредственно контактирующий с поверхностью трубы, должен обладать низкой водопроницаемостью (глина и глинистые породы), а слой грунта, расположенный дальше и имеющий дугообраз-

ный профиль,

должен иметь хорошую водопроницаемость (песок и песчаные породы). В таком случае инфильтрационные потоки будут огибать околотрубное пространство и тем самым доступ кислорода и минеральных солей к поверхности трубы может быть уменьшен до 10 раз.

В местах с неблагоприятными гидрогеологическими условиями, где возможно нарушение целостности пленочных защитных покрытий, можно рекомендовать на наружную часть пленочных защитных покрытий наносить слой (3...5 мм) гидрофобной мастики, приготовленной на основе некондиционных нефтепродуктов и полимеров (технологические принципы гидрофобной мастики разработаны в лаборатории физико-химической механики природных дисперсных систем ИПИПРЭ НАН Беларуси). Такое покрытие обладает пластическими свойствами и не нарушает своей сплошности при деформации защитной оболочки газопровода.

В гидрогеологических условиях с высоким стоянием уровня грунтовых вод необходимо минимизировать амплитуду колебания уровня грунтовых вод. Это можно осуществить с помощью дренажных канав, частично перекрытых подпорными стенками, рассчитанными на определенный уровень сброса дренажных вод.

В переходных зонах между участками с легкодеформируемыми грунтами и участками, представленными грунтами с жестким скелетом, необходимо выполнить подсыпку песчаными породами с таким расчетом, чтобы мощность легкодеформируемой породы под газопроводом на протяжении достаточно большого расстояния (50...150 м) плавно снижалась со стороны участка с легкодеформируемыми породами до нулевого значения при переходе на твердые подстилающие породы (рис. 3). Это минимизирует деформацию и механические напряжения в газопровode.

При реализации технических мероприятий по минимизации отрицательных последствий влияния периодического изменения температурно-влажностного режима в деятельном слое грунтов на устойчивость защитных покрытий газопроводов необходимо учитывать конкретные гидрогеологические условия в месте реализации и предварительно с помощью компьютерного моделирования оценить эффективность предлагаемых технических решений, чтобы выбрать оптимальные варианты. Перед реализацией данных мероприятий в широком масштабе рекомендуется провести их опытно-промышленные испытания.

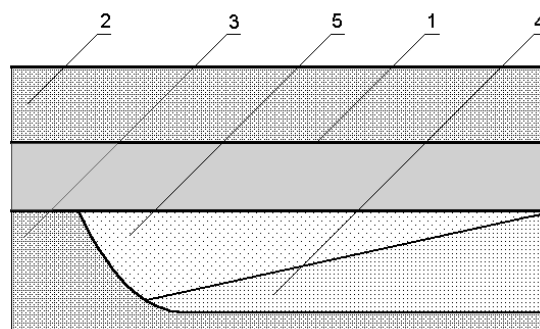


Рис. 3. Профиль подсыпки в переходных зонах:
1 – газопровод; 2 – слой грунта над газопроводом;
3 – порода с жестким скелетом;
4 – легкодеформируемая порода; 5 – песчаная подсыпка

ЛИТЕРАТУРА

1. Прогнозирование коррозионно-механических разрушений магистральных трубопроводов. Научный, технический, социальный вклад газовиков XX века в развитие научно-технического прогресса / А.Г. Гареев, И.А. Иванов, И.Г. Абдуллин и др. – М.: РАО «ГАЗПРОМ», предпр. «Сургутгазпром», 1997. – 170 с.
2. Состояние проблемы стресс-коррозии в странах СНГ и зарубежом / Т.К. Сергеева, Е.П. Турковская, Н.П. Михайлов и др. // Газовая промышленность. Сер. Защита от коррозии оборудования в газовой промышленности: ОИ. – М.: ИРЦ Газпром, 1997. – 88 с.
3. Отт К.Ф. Механизм и кинетика стресс-коррозии МГ // Газовая промышленность. – 1999. – № 7. – С. 46 – 49.
4. Коррозионное растрескивание магистральных газопроводов / М.З. Асадуллин, Р.Р. Усманов, Р.М. Аскараров и др. // Газовая промышленность. – 2000. – № 2. – С. 38 – 39.
5. Импульсное температурное воздействие на коррозионное растрескивание магистральных газопроводов большого диаметра / И.Г. Исмагилов, Н.А. Гаррис, М.З. Асадуллин, Р.М. Аскараров // Нефтегазовое дело. www.ogbus.net/authors/Garris/gar_I.pdf. – 2002. – 9 с.
6. Кудряшов Б.Б., Литвиненко В.С., Сердюков С.Г. Вопросы достоверности тепловых расчетов магистрального газопровода // Журнал технической физики. – 2002. – Т. 72, № 4. – С. 1 – 5.