

DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-5-64-74

УДК 620.198:622.4

**М.В. Чучкалов** (ООО «Газпром трансгаз Уфа», г. Уфа, Российская Федерация),  
**О.Р. Латыпов, Д.Е. Бугай, С.Е. Черепашкин, А.Б. Лаптев** (Уфимский государственный  
нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация), **Р.В. Закирьянов,**  
**Р.А. Зозулько** (ООО «Газпром трансгаз Уфа», г. Уфа, Российская Федерация)

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИИ ГРУНТОМ ВОДОРОДА, ВЫДЕЛЯЮЩЕГОСЯ ПРИ КОРРОЗИИ ГАЗОПРОВОДА ПОД ИЗОЛЯЦИЕЙ

**Mikhail V. Chuchkalov** (Gazprom Transgaz Ufa LLC, Ufa, Russian Federation),  
**Oleg R. Latypov, Dmitriy E. Bugai, Sergey E. Cherepashkin, Anatoliy B. Laptev**  
(Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation),  
**Rustem V. Zakirianov, Roman A. Zozulko** (Gazprom Transgaz Ufa LLC, Ufa,  
Russian Federation)

## RESEARCH OF SORPTION BY HYDROGEN SOIL, ISOLATED DURING CORROSION OF GAS PIPELINE UNDER INSULATION

### Введение

Известно, что электрохимическая коррозия углеродистых и низколегированных сталей в грунтовых электролитах происходит с водородной деполяризацией. При этом объем выделяющегося вследствие ассимиляции электронов при катодном процессе молекулярного водорода эквивалентен массе растворившегося металла. Если данный процесс происходит под отслаивающейся изоляцией катоднозащищенной поверхности проложенного в почве магистрального газопровода, водород диффундирует в расположенный над трубой грунт и сорбируется им. В дальнейшем, по достижении определенной концентрации водорода в слое грунта, начинается его десорбция в атмосферу над трассой, чем можно воспользоваться для идентификации наличия и интенсивности коррозионного процесса под отслаивающейся изоляцией посредством замеров потока водорода с помощью специального высокочувствительного оборудования.

### Background

It is known that electrochemical corrosion of carbon and low-alloyed steels in ground electrolytes occurs with hydrogen depolarization. In this case, the volume released due to the assimilation of electrons during the cathode process of molecular hydrogen is equivalent to the mass of the dissolved metal. If this process occurs under the peeling-off insulation of the cathode-protected surface of the gas pipeline laid in the soil, hydrogen diffuses into the soil located above the pipe and is sorbed by it. Later, upon reaching a certain concentration of hydrogen in the soil layer, it begins to desorb into the atmosphere over the route, which can be used to identify the presence and intensity of the corrosion process under peeling insulation by measuring the flow of hydrogen using special highly sensitive equipment.

### Цели и задачи

Целью работы являлась количественная оценка сорбции молекулярного водорода грунтом в зависимости от толщины его слоя. При этом решались следующие задачи: определить зависимость концентрации в грунте выделяющегося при катодной деполяризации водорода от толщины его слоя; установить влияние влажности грунта на сорбционную способность водорода.

### Методы

Применяли оригинальную методику исследования сорбции водорода грунтом на специально разработанном для этого лабораторном стенде. Данная методика позволяет идентифицировать наличие коррозионного процесса на стали посредством регистрации пороговых значений эмиссии водорода в ходе катодной деполяризации на поверхности металла под слоем грунта.

### Результаты

Исследования, проведенные с помощью разработанного лабораторного стенда, показали, что образцы грунта достаточно активно сорбируют водород. Причем по истечении определенного инкубационного периода, продолжительность которого зависит от толщины слоя грунта, наступает состояние его «прозрачности» для водорода: сорбируется грунтом со стороны стенки трубы ровно столько водорода, сколько его десорбируется в атмосферу над выбранным для замеров участком трассы.

Влажность грунта оказывает существенное влияние на сорбционную способность водорода: его максимальное количество содержится в грунте с нулевой влажностью. При увлажнении грунта происходит одновременное вытеснение из него как воздуха, так и сорбированного водорода.

### Aims and Objectives

The aim of the work was to quantify the sorption of molecular hydrogen by the soil, depending on the thickness of its layer. The following tasks were solved: to determine the dependence of the concentration in the soil of hydrogen evolved during cathode depolarization of its layer thickness; to establish the effect of soil moisture on the sorption capacity of hydrogen.

### Methods

An original method was used to study the sorption of hydrogen by the soil on a specially developed laboratory stand. This method allows us to identify the presence of a corrosion process on steel by registering the threshold values of hydrogen emission during cathode depolarization on the metal surface under the soil layer.

### Results

Studies conducted with the help of the developed laboratory stand showed that soil samples actively adsorb hydrogen. Moreover, after a certain incubation period, the duration of which depends on the thickness of the soil layer, there comes a state of «transparency» for hydrogen: just as much hydrogen is sorbed by the soil from the side of the pipe wall as it desorbs into the atmosphere over the area chosen for measurements trials.

The moisture content of the soil has a significant effect on the sorption capacity of hydrogen: its maximum amount is contained in the soil with zero humidity. When the soil is moistened, both air and sorbed hydrogen are simultaneously expelled from it.

---

**Ключевые слова:** магистральный газопровод; трасса; грунт; лабораторный стенд; водородная деполяризация; сорбция водорода; продолжительность насыщения

**Key words:** main gas pipeline; pipeline routing; soil; laboratory stand; hydrogen depolarization; hydrogen sorption; duration of saturation

---

В настоящее время для защиты магистральных газопроводов, проложенных в грунте, чаще всего применяют электрохимическую защиту и антикоррозионные покрытия. Коррозионные процессы на металле под

отслаивающейся изоляцией протекают с водородной деполяризацией в результате асимилиции электронов на катодных участках поверхности стальных труб, что способствует дальнейшей молизации атомарного водорода.

да. Присутствие молекулярного водорода над поверхностью грунта в коридоре трассы магистрального газопровода было ранее подтверждено полевыми испытаниями [1, 2]. В [3-6] отмечается, что генерация атомарного водорода в ходе коррозионных процессов может провоцировать некоторые виды локальной коррозии, в том числе коррозионное растрескивание под напряжением. Отслоение антикоррозионного покрытия от металла труб вследствие проникания через изоляцию некоторого количества водного электролита или превышения максимально допустимого защитного потенциала также провоцирует стресс-коррозию магистральных газопроводов [7-9].

Магистральные газопроводы прокладывают в различных по составу почвах, при разнообразных рельефах местности, в связи с чем на коррозию металла труб оказывают интегральное воздействие сразу несколько факторов, которые, в частности, могут вызывать избирательную диффузию молекулярного водорода, приводя к его дифференциальной сорбции грунтом [10, 11].

В соответствии с [12] глинистые минералы имеют пластинчатую, чешуйчатую или игольчатую форму кристаллов, обладают пластичностью и значительной удельной поверхностью, что определяет их способность удерживать на частицах большое количество воды в виде пленок. Глинистые минералы влияют на свойства большинства осадочных нецементированных грунтов. При наличии этих минералов резко повышается сжимаемость, снижаются прочность, водопроницаемость и водоотдача. Если к песку добавить 3-4 % глинистых частиц, он становится супесью, хотя содержит 96-97 % песчаных и пылеватых частиц. Глинистые породы составляют не менее 60 % от объема осадочных пород, поэтому их изучению уделяют наибольшее внимание.

Сорбция водорода характеризуется, в общем случае, поглощением твердым веществом или жидкостью молекулярного газа [12, 13].

Данный процесс может быть обусловлен различными физическими процессами, протекающими в грунте, в частности молеку-

лярной адсорбцией, то есть концентрированием молекул газа на поверхности частиц грунта.

Известно несколько механизмов поглощения молекулярного водорода частицами грунта [14]:

1. Осаждение молекул водорода и его сорбция на поверхности частиц грунта (физическая адсорбция). Количество слоев адсорбированного водорода может изменяться в широких пределах в зависимости от давления и температуры;

2. Растворение водорода внутри частицы грунта, например, как это происходит в жидкости (физическая абсорбция);

3. Химическое взаимодействие компонентов грунта с водородом (хемосорбция).

В порах грунта газы могут находиться в нескольких состояниях: свободном, «защемленном», адсорбированном, растворенном, в виде пузырьков в грунтовой влаге [14]. В случае капиллярного поднятия водород вытесняется из грунта в атмосферу. При одновременном водонасыщении грунта происходит «защемление» газообразного водорода. Это могут быть большие полости грунта и тонкие микропоры в его структуре. В глинистых грунтах «защемленный» водород может занимать 20-25 % от объема пор.

Адсорбция водорода происходит за счет ван-дер-ваальсового взаимодействия молекул газа с молекулами минералов, составляющих грунт. На поверхности частиц грунта образуются полимолекулярные слои водорода. Объем адсорбированного водорода зависит от минерального состава, содержания органических веществ (гумуса) и дисперсности грунтов. Значительной адсорбционной способностью обладают органические вещества и оксиды металлов (особенно железа).

Как известно, при физической адсорбции, которая является обратимой, адсорбат не изменяет своих физико-химических свойств, и при десорбции, например при повышении температуры, выделяется в первоначальном виде. Устанавливается динамическое равновесие между количеством водорода, находящимся в свободном и адсорбированном (связанном) состояниях.

Напротив, хемосорбция, как правило, необратима, и десорбция в этом случае требует больших энергетических затрат. Толщина хемосорбированного слоя водорода не может превышать одного молекулярного слоя. Однако хемосорбция молекулярного водорода в грунтовых минералах протекает при весьма высоких значениях давления и температуры, что в условиях трассы газопровода невозможно.

Для исследования сорбции водорода грунтом и определения времени его насыщения был разработан *специальный лабораторный стенд* (рисунок 1), который состоит из следующих элементов:

1 - образец металла трубы с покрытием;

2 - трехсекционная емкость для испытаний высотой до 1,5 м;

3 - генератор чистого водорода ГВЧ-6;

4 - электрохимические датчики водорода;

5 - устройство для регистрации и учета объема водорода;

6 - газоанализатор Testo-316 EX;

7 - рН-метр;

8 - станция катодной защиты;

9 - магазин сопротивлений.

С помощью генератора ГВЧ-6 получали поток молекулярного водорода интенсивностью 100 мл/мин, что при пороговых значениях чувствительности использовавшихся датчиков обеспечивало достоверную регистрацию объема сорбируемого грунтом водорода.



Рисунок 1. Стенд для оценки сорбции водорода грунтом

После проведения замеров эмиссии водорода в отсутствие грунта емкости 2 заполнили глинистым грунтом в следующем порядке толщин, обусловленном спецификой слоя почвы над газопроводом: 5, 10, 15, 20, 25, 35, 50, 100 и 150 см. Наличие водорода регистрировали электрохимическими датчи-

ками с помощью специально разработанного программного обеспечения до полного насыщения датчиков. Примеры графической визуализации в программном обеспечении результатов измерения потока водорода без грунта и при его наличии в различных толщинах приведены на рисунках 2-5.

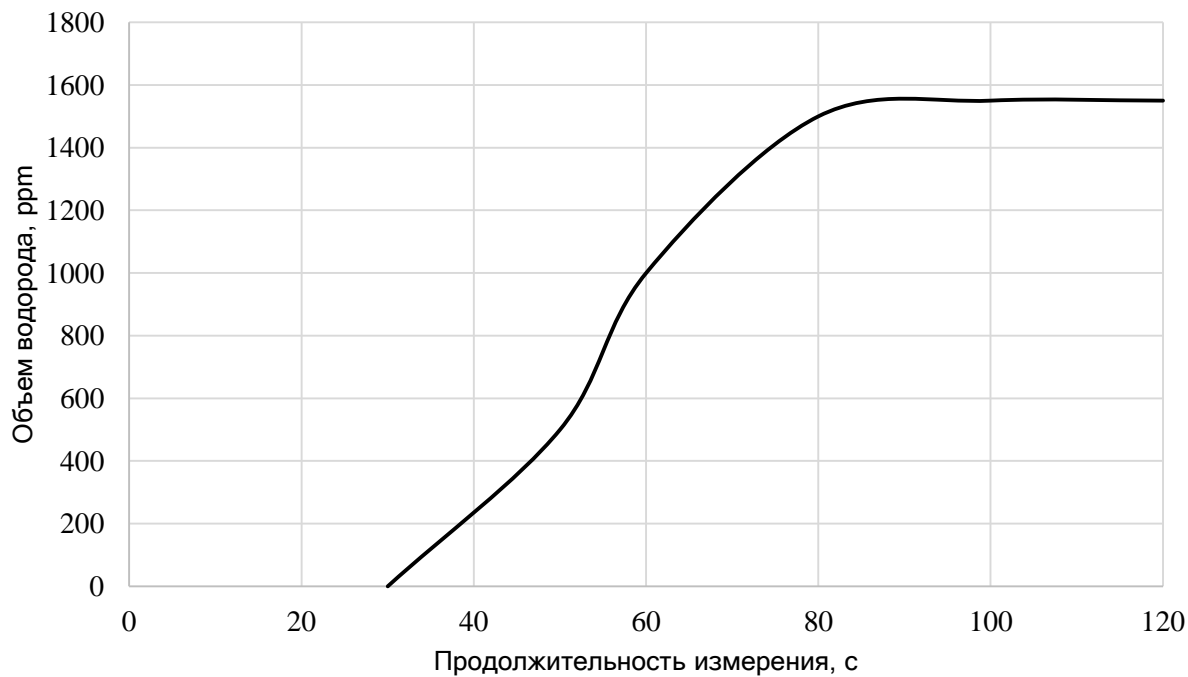


Рисунок 2. Динамика определения водорода в отсутствие грунта

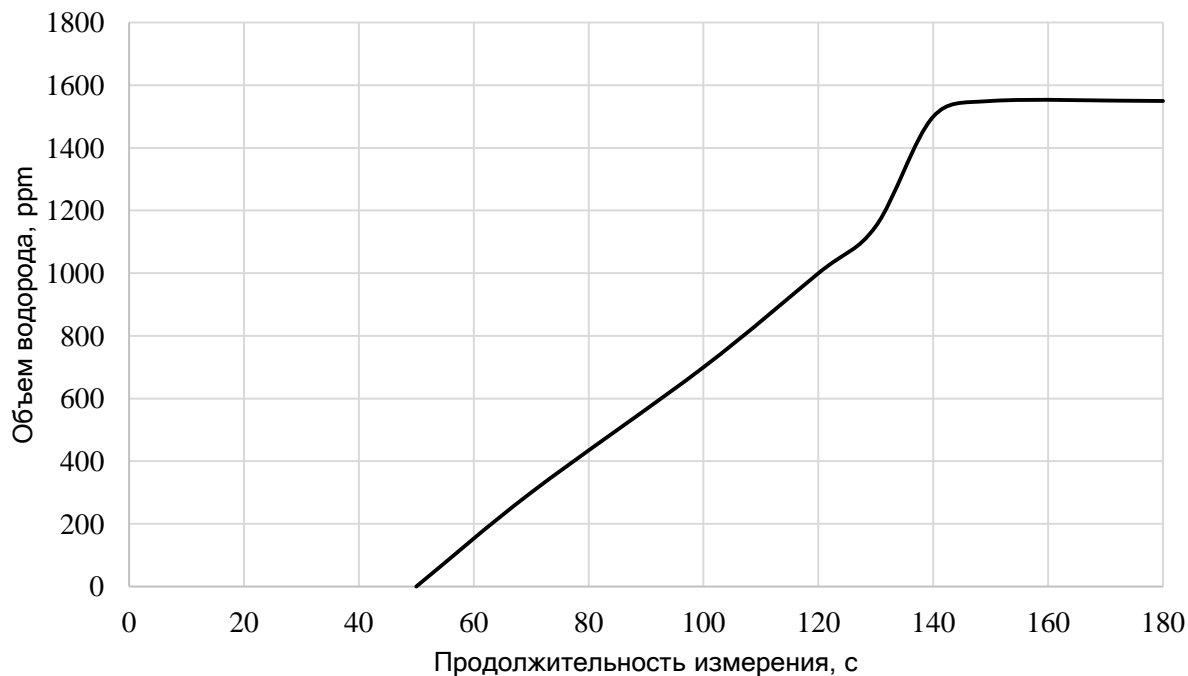


Рисунок 3. Динамика определения водорода при слое грунта 50 см

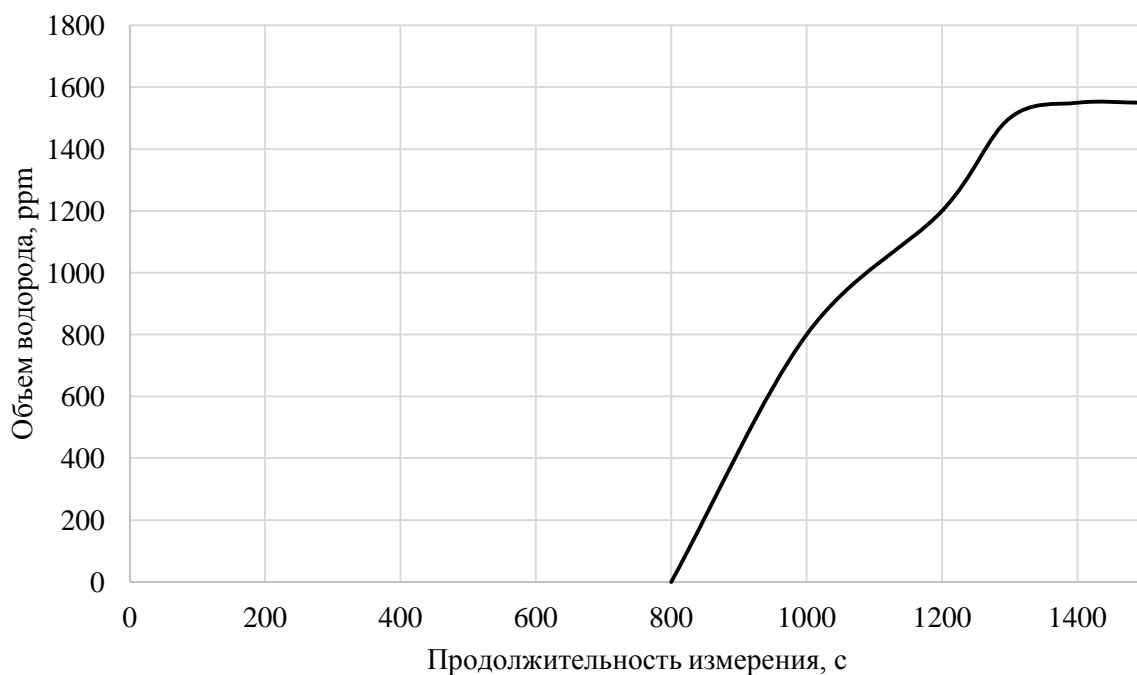


Рисунок 4. Динамика определения водорода при слое грунта 100 см

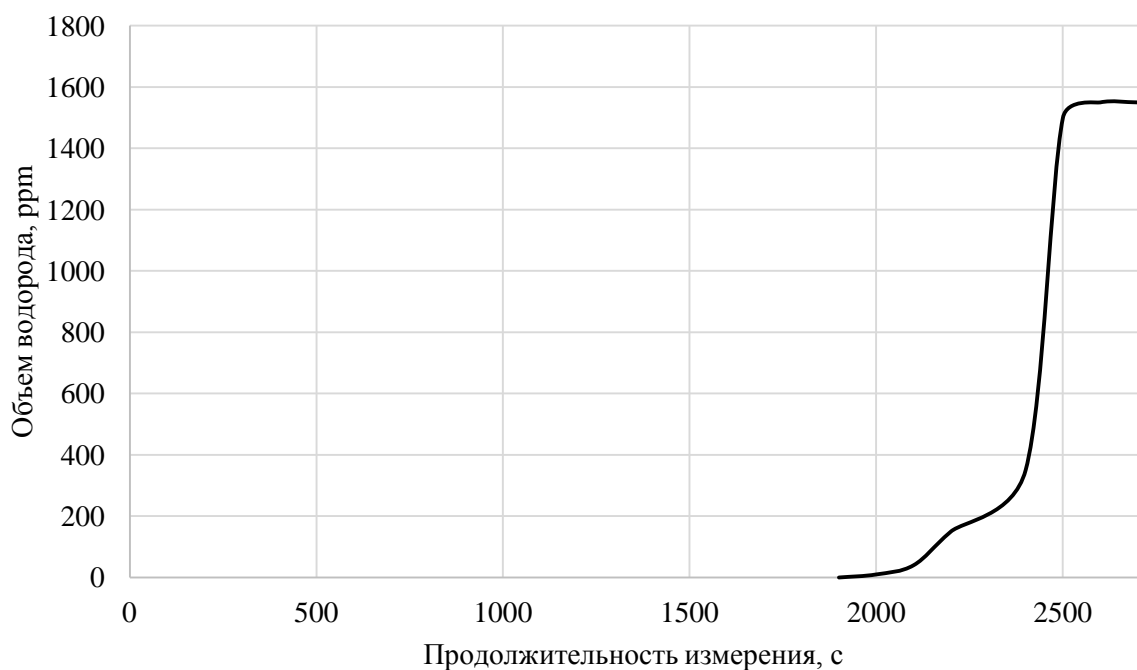


Рисунок 5. Динамика определения водорода при слое грунта 150 см

Из рисунка 2 следует, что объем молекулярного водорода, зарегистрированного датчиками в отсутствие грунта, составил около 1550 ppm. По достижении плато на кривых, свидетельствующего о насыщении грунта водородом, регистрировали его десорбцию с поверхности грунта в атмосферу в объеме 1550 ppm, после чего насыщение прекращали (рисунки 3-5).

Установлено (рисунки 3-5), что при росте толщины грунта увеличивается продолжительность интервала до его насыщения генерированным водородом.

Для определения объема десорбированного водорода применяли одновременно три электрохимических датчика различной чувствительности.

Ход кривых на рисунках 4 и 5 объясняется тем, что в реальных грунтах могут образовываться поры и трещины, через которые просачивается водород и выходит затем в локальных точках над грунтом.

Регрессионный анализ экспериментальных данных позволил получить математическую модель сорбционного насыщения глинистого грунта водородом, характеризующуюся параболической зависимостью продолжительности сорбции водорода  $T_{\text{сорб}}$  (с) от толщины слоя грунта  $h$  (см):

$$T_{\text{сорб}} = k_0 + k_1 h^2,$$

где  $k_0$  - продолжительность накопления водорода до срабатывания датчиков, с ( $k_0 = 193,408$  с);

$k_1$  - эмпирический коэффициент,  $\text{см}^{-2}$  ( $k_1 = 0,098 \text{ см}^{-2}$ ).

Достоверность полученной модели составила 99,07 %.

На рисунке 6 показана параболическая зависимость продолжительности сорбции водорода грунтом при росте толщины его слоя, что связано с увеличением рассеяния молекул водорода по горизонтальным слоям грунта.

Таким образом, экспериментальные исследования, проведенные с использованием разработанного стенда, показали, что отобранные образцы глинистого грунта достаточно активно сорбируют молекулярный водород. При постоянной скорости потока водорода происходит сорбционное насыщение грунта, а затем, в отсутствие поглощения грунтом, водород выходит на его поверхность. С увеличением слоя грунта растет горизонтальное рассеяние водорода и, соответственно, через датчик проходит меньший поток газа.

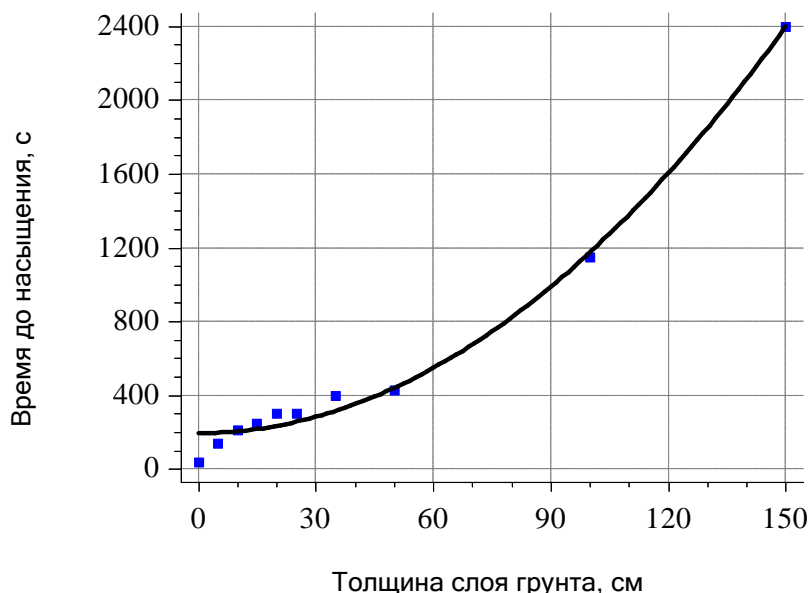


Рисунок 6. Зависимость продолжительности сорбции водорода от толщины слоя грунта

Исследование влияния влажности грунта на его сорбционную способность показало, что максимальное количество сорбированного водорода содержится в грунте с нулевой влажностью. При увлажнении грунта происходит одновременное вытеснение воздуха и водорода из пор, а также частичное замещение сорбированного на поверхности частиц грунта водорода. Существенную роль в повышении сопротивления вытеснению водорода водой играет ее наличие в грунте в свободном и связанном состояниях, что приводит к необходимости вытеснения сорбированных (связанных) молекул водорода молекулами воды. Поэтому при увлажнении грунта снижение количества сорбированного им водорода происходит постепенно, что не должно приводить к резкому изменению его потока над диагностируемым участком трассы и, тем самым, существенно препятствовать проведению оперативного коррозионного мониторинга.

#### Выводы

Разработанный для исследования сорбции водорода в грунте лабораторный стенд показал свою эффективность, позволив выявить ряд существенных закономерностей изучаемого процесса. Установлено, что грунт отобранного состава достаточно активно сорбирует молекулярный водород. При постоянном давлении его потока наступает классическое сорбционное равновесие на границах раздела фаз «металл - грунт - воз-

дух», то есть слой грунта становится «прозрачным» для потока эмитирующего с поверхности металла водорода.

Показано, что сорбция водорода глинистым грунтом происходит по параболическому закону, при этом значительная толщина слоя грунта способствует увеличению объема пустот в его структуре, в результате чего возрастает продолжительность процесса насыщения грунта водородом. Однако в случае грунта с другой структурой (песок, чернозем, супесь и пр.) подобная зависимость может иметь иной характер, для установления которого требуются дальнейшие исследования с использованием разработанного лабораторного стенда. Кроме того, необходимо выявить закономерности влияния на сорбцию водорода грунтом таких важнейших факторов, как состав, структура и класс прочности трубной стали, а также вид и толщина изоляционного покрытия газопровода.

Влажность грунта оказывает существенное влияние на его сорбционную способность. Так, максимальный объем абсорбированного водорода содержится в грунте с нулевой влажностью.

Важную роль в сопротивлении вытеснению водорода (амортизирующая способность грунта) играет его наличие в грунте в различных формах сорбата, что повышает сопротивление влагонасыщению вследствие отличающихся механизмов закрепления адсорбата и абсорбата в элементах почвенной матрицы.

#### Список литературы

1. Усманов Р.Р., Чучкалов М.В., Зозулько Р.А., Латыпов О.Р., Лаптев А.Б., Бугай Д.Е. О возможности выявления очагов подпленочной коррозии газопроводов по эмиссии водорода // Газовая промышленность. 2019. № 1 (779). С. 100-104.
2. Зозулько Р.А., Чучкалов М.В., Лаптев А.Б., Латыпов О.Р., Бугай Д.Е. Влияние различных факторов на эмиссию водорода под изоляционным покрытием газопровода // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2019. Вып. 1 (117). С. 57-72. DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-1-57-72.
3. Усманов Р.Р., Чучкалов М.В., Аскарлов Р.М. Прогноз коррозионного и стресс-коррозионного

#### References

1. Usmanov R.R., Chuchkalov M.V., Zozul'ko R.A., Latypov O.R., Laptev A.B., Bugai D.E. O vozmozhnosti vyyavleniya ochagov podplenochnoi korrozii gazoprovodov po emissii vodoroda [On the Possibility of Identification of the Underfilm Corrosion Centers of Gas Pipelines by Hydrogen Emission]. *Gazovaya promyshlennost - GAS Industry of Russia*, 2019, No. 1 (779), pp. 100-104. [in Russian].
2. Zozul'ko R.A., Chuchkalov M.V., Laptev A.B., Latypov O.R., Bugai D.E. Vliyanie razlichnykh faktorov na emissiyu vodoroda pod izolyatsionnym pokrytiem gazoprovoda [Influence of Different Factors on Emission Hydrogen Under Insulating Coating Gas Pipeline]. *Problemy sbora, podgotovki i*



состояния газопроводов большого диаметра с неглубокими дефектами КРН // Газовая промышленность. 2013. № 11 (698). С. 19-21.

4. Пашин С.Т., Усманов Р.Р., Чучкалов М.В., Аскаров Р.М., Кадачигов Н.П., Митрохин М.Ю. Диагностика и ремонт магистральных газопроводов без остановки транспорта газа. М.: ООО «Газпром экспо», 2010. 236 с.

5. Чучкалов М.В., Аскаров Р.М. Особенности проявления поперечного коррозионного растрескивания под напряжением // Газовая промышленность. 2014. № 3 (703). С. 37-39.

6. Чучкалов М.В. Физико-математическая модель «стресс-теста» трубопровода // Экспозиция Нефть Газ. 2013. № 3 (28). С. 87-89.

7. Шарипов Ш.Г., Усманов Р.Р., Чучкалов М.В., Аскаров Р.М. Дефекты поперечного КРН на газопроводах большого диаметра // Газовая промышленность. 2013. № 6 (691). С. 63-65.

8. Чучкалов М.В., Гареев А.Г. Прогнозирование долговечности магистральных газопроводов, подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2014. Вып. 1 (95). С. 76-85.

9. Шарипов Ш.Г., Чучкалов М.В., Аскаров Р.М., Гумеров К.М. Учет энергетической составляющей в расчетах напряженно-деформированного состояния магистрального газопровода // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 2013. № 3 (37). С. 20-23.

10. Латыпов О.Р., Яценко А.Ю., Латыпова Д.Р., Бугай Д.Е., Рябухина В.Н., Кутуков С.В. Защита от коррозии магистрального трубопровода в области переходов «грунт - воздух» // Нефтегазовое дело. 2016. Т. 14. № 4. С. 151-157.

11. Cuelli-Corugedo A., Latypov O.R., Latypova D.R., Montero Y.A. Protección de la Tubería Principal Contra la Corrosión en Áreas Complejas // Ingeniería Mecánica. 2019. Vol. 22. No. 2. P. 74-78.

12. Смагин А.В. Фундаментальные модели изотерм сорбции паров воды почвами // Экологический вестник Северного Кавказа. 2010. Т. 6. No. 3. С. 15-27.

13. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Глаголев М.В., Кириченко А.В. Новые инструментальные методы и портативные электронные средства контроля экологического состояния почв и сопредельных сред // Экологический вестник Северного Кавказа. 2006. Т. 2. № 1. С. 5-16.

14. Беляев А.Ю., Юшманов И.О. Влияние гистерезиса сорбции на пространственное распределение загрязняющих веществ в грунте // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2008. № 6. С. 61-72.

*transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2019. Issue 1 (117), pp. 57-72. DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-1-57-72. [in Russian].

3. Usmanov R.R., Chuchkalov M.V., Askarov R.M. Prognoz korrozionnogo i stresskorrozionnogo sostoyaniya gazoprovodov bol'shogo diametra s neglubokimi defektami KRN [Forecast of Corrosion and Stress-Corrosion State of Large-Diameter Gas Pipelines with Shallow Defects of KRN]. *Gazovaya promyshlennost - Gas Industry of Russia*, 2013, No. 11 (698), pp. 19-21. [in Russian].

4. Pashin S.T., Usmanov R.R., Chuchkalov M.V., Askarov R.M., Kadachigov N.P., Mitrokhin M.Yu. *Diagnostika i remont magistral'nykh gazoprovodov bez ostanovki transporta gaza* [Diagnostics and Repair of Main Gas Pipelines without Stopping Gas Transport]. Moscow, ООО «Газпром экспо» Publ., 2010. 236 p. [in Russian].

5. Chuchkalov M.V., Askarov R.M. Osobennosti proyavleniya poperechnogo korrozionnogo rastreskivaniya pod napryazheniem [Features of Manifestation of Transverse Stress Corrosion Cracking]. *Gazovaya promyshlennost - GAS Industry of Russia*, 2014, No. 3 (703), pp. 37-39. [in Russian].

6. Chuchkalov M.V. Fiziko-matematicheskaya model' «stress-testa» truboprovoda [Physical-Mathematical Model of «Stress Test» of the Pipeline]. *Ekspozitsiya Neft' Gaz - Exposition Oil Gas*, 2013, No. 3 (28), pp. 87-89. [in Russian].

7. Sharipov Sh.G., Usmanov R.R., Chuchkalov M.V., Askarov R.M. Defekty poperechnogo KRN na gazoprovodakh bol'shogo diametra [Defects of Transverse Stress Corrosion Cracking on Large Diameter Gas Pipelines]. *Gazovaya promyshlennost - GAS Industry of Russia*, 2013, No. 6 (691), pp. 63-65. [in Russian].

8. Chuchkalov M.V., Gareev A.G. Prognozirovanie dolgovechnosti magistral'nykh gazoprovodov, podverzhennykh korrozionnomu rastreskivaniyu pod napryazheniem [Service Life Prediction of Gas Pipelines Exposed to Stress Corrosion Cracking]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2014, Issue 1 (95), pp. 76-85. [in Russian].

9. Sharipov Sh.G., Chuchkalov M.V., Askarov R.M., Gumerov K.M. Uchet energeticheskoi sostavlyayushchei v raschetakh napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya magistral'nogo gazoprovoda [Main Gas Pipeline Stress-Strain Condition Calculations the Power Component Taking into Account]. *Truboprovodnyi transport: teoriya i praktika - Pipeline Transport: Theory and Practice*, 2013, No. 3 (37), pp. 20-23. [in Russian].

10. Latypov O.R., Yatsenko A.Yu., Latypova D.R., Bugai D.E., Ryabukhina V.N., Kutukov S.V. Zashchita ot korrozii magistral'nogo truboprovoda v oblasti perekhodov «grunt - vozdukh» [Ways to Protect Against Corrosion of Trunk Pipelines in the Transition Region «Ground - Air»]. *Neftegazovoe delo - Petroleum Engineering*, 2016, Vol. 14, No. 4, pp. 151-157. [in Russian].

11. Cueli-Corugedo A., Latypov O.R., Latypova D.R., Montero Y.A. Protección de la Tubería Principal Contra la Corrosión en Áreas Complejas. *Ingeniería Mecánica*, 2019, Vol. 22, No. 2, pp. 74-78.

12. Smagin A.V. Fundamental'nye modeli izoterm sorbtsii parov vody pochvami [Fundamental Models of Water Vapors Sorption Isotherms in Soils]. *Ekologicheskii vestnik Severnogo Kavkaza - The North Caucasus Ecological Herald*, 2010, Vol. 6, No. 3, pp. 15-27. [in Russian].

13. Smagin A.V., Sadovnikova N.B., Glagolev M.V., Kirichenko A.V. Novye instrumental'nye metody i portativnye elektronnye sredstva kontrolya ekologicheskogo sostoyaniya pochv i sopredel'nykh sred [New Instrumental Methods and Portable Electronic Means of Ecological State Control of Soils and Connected Environments]. *Ekologicheskii vestnik Severnogo Kavkaza - The North Caucasus Ecological Herald*, 2006, Vol. 2, No. 1, pp. 5-16. [in Russian].

14. Belyaev A.Yu., Yushmanov I.O. Vliyaniye gisterezisa sorbtsii na prostranstvennoye raspredeleniye zagryaznyayushchikh veshchestv v grunte [Effect of Sorption Hysteresis on the Spatial Distribution of Contaminants in Soils]. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Mekhanika zhidkosti i gaza - Fluid Dynamics*, 2008, No. 6, pp. 61-72. [in Russian].

#### Авторы

• Чучкалов Михаил Владимирович, д-р техн. наук  
ООО «Газпром трансгаз Уфа»  
Начальник технического отдела  
Российская Федерация, 450054, г. Уфа,  
ул. Рихарда Зорге, 59  
e-mail: mchuchkalov@ufa-tr.gazprom.ru

• Латыпов Олег Ренатович, д-р техн. наук  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Профессор кафедры «Технология нефтяного  
аппаратостроения»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: o.r.latypov@mail.ru

• Бугай Дмитрий Ефимович, д-р техн. наук,  
профессор  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Профессор кафедры «Технология нефтяного  
аппаратостроения»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: debugai@mail.ru

#### The Authors

• Chuchkalov Mikhail V., Doctor of Engineering  
Sciences  
Gazprom Transgaz Ufa LLC  
Head of Technical Department  
59, Rikhard Zorge str., Ufa, 450054,  
Russian Federation  
e-mail: mchuchkalov@ufa-tr.gazprom.ru

• Latypov Oleg R., Doctor of Engineering Sciences  
Ufa State Petroleum Technological University  
Professor of Oil Processing Equipment Technology  
Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: o.r.latypov@mail.ru

• Bugai Dmitriy E., Doctor of Engineering Sciences,  
Professor  
Ufa State Petroleum Technological University  
Professor of Oil Processing Equipment Technology  
Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: debugai@mail.ru

• Черепашкин Сергей Евгеньевич, канд. техн. наук  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
Доцент кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: scull@bk.ru

• Cherepashkin Sergey E., Candidate of Engineering Sciences  
Ufa State Petroleum Technological University  
Assistant Professor of Oil Processing Equipment Technology Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: scull@bk.ru

• Лаптев Анатолий Борисович, д-р техн. наук  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
Ведущий научный сотрудник кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: laptev@bk.ru

• Laptev Anatoliy B., Doctor of Engineering Sciences  
Ufa State Petroleum Technological University  
Leading Researcher of Oil Processing Equipment Technology Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: laptev@bk.ru

• Закирьянов Рустэм Васильевич  
ООО «Газпром трансгаз Уфа»  
Главный инженер - заместитель генерального директора  
Российская Федерация, 450054, г. Уфа,  
ул. Рихарда Зорге, 59  
e-mail: rzakirianov@ufa-tr.gazprom.ru

• Zakirianov Rustem V.  
Gazprom Transgaz Ufa LLC  
Chief Engineer - Deputy General Director  
Head of Corrosion Protection Department  
59, Rikhard Zorge str., Ufa, 450054,  
Russian Federation  
e-mail: rzakirianov@ufa-tr.gazprom.ru

• Зозулько Роман Анатольевич  
ООО «Газпром трансгаз Уфа»  
Начальник производственного отдела защиты от коррозии  
Аспирант Уфимского государственного нефтяного технического университета  
Российская Федерация, 450054, г. Уфа,  
ул. Рихарда Зорге, 59  
e-mail: rzozulko@ufa-tr.gazprom.ru

• Zozulko Roman A.  
Gazprom Transgaz Ufa LLC  
Head of Corrosion Protection Department  
Post-graduate Student of Ufa State Petroleum Technological University  
59, Rikhard Zorge str., Ufa, 450054,  
Russian Federation  
e-mail: rzozulko@ufa-tr.gazprom.ru