







**Received:** 01.10.2018  
**Revised:** 27.11.2018  
**Accepted:** 30.11.2018  
**DOI:** 10.17804/2410-9908.2018.6.249-254

## THE STRESS STATE INSTABILITY FACTOR AND ITS EFFECT ON THE GROWTH OF STRESS CORROSION CRACKING DEFECTS

D. V. Novgorodov<sup>a)\*</sup>, V. G. Rybalko<sup>b)</sup>, and A. S. Shleyenkov<sup>c)</sup>

*M. N. Miheev Institute of Metal Physics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
18 S. Kovalevskoy St., Ekaterinburg, Russian Federation*

<sup>a)</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-5151-8710>  danil\_@inbox.ru ;  
<sup>b)</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-4045-8967>  vgrifm@mail.ru;  
<sup>c)</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-6135-1504>  shleenkov@imp.uran.ru

\*Corresponding author. E-mail: danil\_@inbox.ru  
Address for correspondence: ul. S. Kovalevskoy, 18, Ekaterinburg, 620990, Russian Federation

In this paper, the results of in-pipe inspection of an extended section of a gas pipeline are briefly analyzed. The comparison of the number and distribution of stress corrosion defects detected in repeated passes allows us to conclude that repair work (changing the stress state) affects the stimulation of the evolution of cracks.

**Keywords:** in-pipe inspection, defects, cracks, unstable stress state, repair, distribution.

### Acknowledgment

*This work was performed within the governmental assignment from FASO Russia on the subject of Diagnostics, No. AAAA-A18-118020690196-3*

### References

1. Sadrtdinov R.A., Rybalko V.G., Novgorodov D.V. Peculiarities of the development of stress-corrosion cracking on a pipeline section from the results of repeated in-tube nondestructive testing. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2012, vol. 48, iss. 7, pp. 411–417. DOI: 10.1134/S1061830912070078.
2. Radionova S.G., Zhulina S.A., Kuznetsova T.A., Pecherkin A.S., Kruchinina I.A., Grazhdankin A.I. Indicators of accidents hazard at the Russian main pipelines. *Bezopasnost Truda v Promyshlennosti* (Occupational Safety in Industry), 2015, no. 11, pp. 62–69. (In Russian).
3. Dolgov I.A., Gorchakov V.A., Surkov Yu.P., Rybalko V.G., Surkov A.Yu. Assessing changes in stress-corrosion damageability on the basis of repeated in-tube nondestructive testing. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2007, vol. 43, no. 1, pp. 12–20. DOI: 10.1134/S1061830907010020.
4. Gorchakov V.A. Diagnostics of corrosion damageability in a multi-strand main gas pipeline system. Cand. Tech. Sci. Thesis, Institute of Metal Physics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, 2003. (In Russian).
5. Melekhin O.N., Gryazin V.E. Evaluation of the reliability level of the gas transmission system depending on planned volumes of capital repair of the trunk gas pipeline line part. *Vesti Gazovoy Nauki*, 2014, no. 1 (17), pp. 13–15. (In Russian).

Подана в журнал: 01.10.2018



УДК 620.179.1



DOI: 10.17804/2410-9908.2018.6.249-254



## ФАКТОР НЕСТАБИЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РОСТ ДЕФЕКТОВ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

Д. В. Новгородов<sup>а)</sup>, В. Г. Рыбалко<sup>б)</sup>, А. С. Шлеенков<sup>в)</sup>

*Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН,  
ул. С. Ковалевской 18, г. Екатеринбург, Российская Федерация*

<sup>а)</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-5151-8710>  [danil\\_@inbox.ru](mailto:danil_@inbox.ru) ;

<sup>б)</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-4045-8967>  [vgrifm@mail.ru](mailto:vgrifm@mail.ru);

<sup>в)</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-6135-1504>  [shleenkov@imp.uran.ru](mailto:shleenkov@imp.uran.ru)

\*Ответственный автор. E-mail: [danil\\_@inbox.ru](mailto:danil_@inbox.ru)

Адрес для переписки: ул. С. Ковалевской, 18, 620990, Екатеринбург, Российская Федерация

В статье выполнен краткий анализ результатов внутритрубной дефектоскопии протяженного участка газопровода. Сравнение количества и распределение стресс-коррозионных дефектов, выявленных при повторных пропусках, позволяет сделать вывод о влиянии ремонтных работ (изменения напряженного состояния) на стимулирование развития трещин.

**Ключевые слова:** внутритрубная дефектоскопия, дефекты, трещины, нестабильное напряженное состояние, ремонт, распределение.

### 1. Введение

В настоящее время основной диагностический инструмент на линейной части газопровода – это внутритрубная дефектоскопия (ВТД), на основании которой можно оценивать наличие дефекта КРН и его линейные размеры. Дефекты КРН являются наиболее опасными и те из них, которые имеют малое раскрытие [1], выявляются только тогда, когда достигают большой глубины. Это связано с малым раскрытием и сложностью идентификации полей рассеяния над такими дефектами. Тем не менее дефекты КРН – это наиболее частая причина аварийных разрушений газопроводов в последние годы [2], и так как эти дефекты требуют незамедлительного осмотра после обнаружения и принятия решения о ремонте. По результатам внутритрубной дефектоскопии проводится вскрытие подземных участков газопроводов, обследование обнаруженных дефектов и последующий ремонт или удаление дефектной трубы. Проведение осмотра вовсе не означает, что ремонт будет выполнен сразу, дефект может быть оставлен на трубе на некоторое время. Технологические операции по ремонту дефекта сопровождаются большими трудозатратами, особенно в северных регионах, где трасса проложена в болотистой местности и проезд большегрузной техники к месту работ возможен только в зимнее время после промерзания грунта. Поэтому одной из задач анализа результатов ВТД является оценка состояния газопровода с точки зрения перспектив развития процесса КРН, для принятия решения о ремонте этого участка.

С этой целью был выбран участок для обследования ДУ1400 длиной 95 км, содержащий трещины КРН, подтвержденные данными ВТД 2003, 2006 и 2008 гг. По имеющимся данным проводилась аналитическая работа с оценкой линейных размеров трещин и их распределения по наружной поверхности, а также были выполнены выборочно прямые измерения размеров и конфигурации обнаруженных трещин, позволяющие дать оценку особенностям и кинетике развития дефектов. Результаты анализа представлены на графиках (рис. 1 и 2) в виде распределения количества дефектов по глубине на обследованном участке и по длине

трассы. При анализе полученных данных были выделены дефекты в виде стресс-коррозионных (КРН) трещин. В эту группу включены дефекты, образование которых имеет признаки КРН (прежде всего продольную ориентацию и трещиноподобную форму) – это продольные трещины и продольные канавки. Сравнение результатов пропусков проводилось на дистанции до 50 км от камеры запуска, так как указанная дистанция является общей базой для сравнения результатов ВТД за 2003, 2006 и 2008 гг.

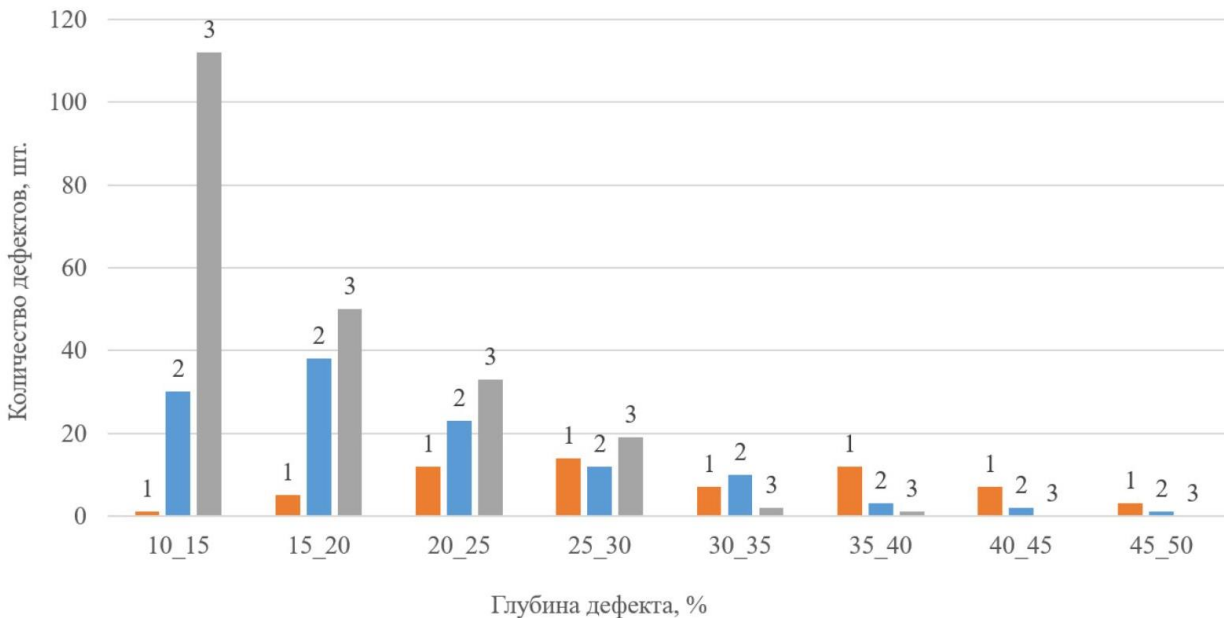


Рис. 1. Распределение стресс-коррозионных дефектов по глубине газопровода диаметром 1420 мм, по данным ВТД

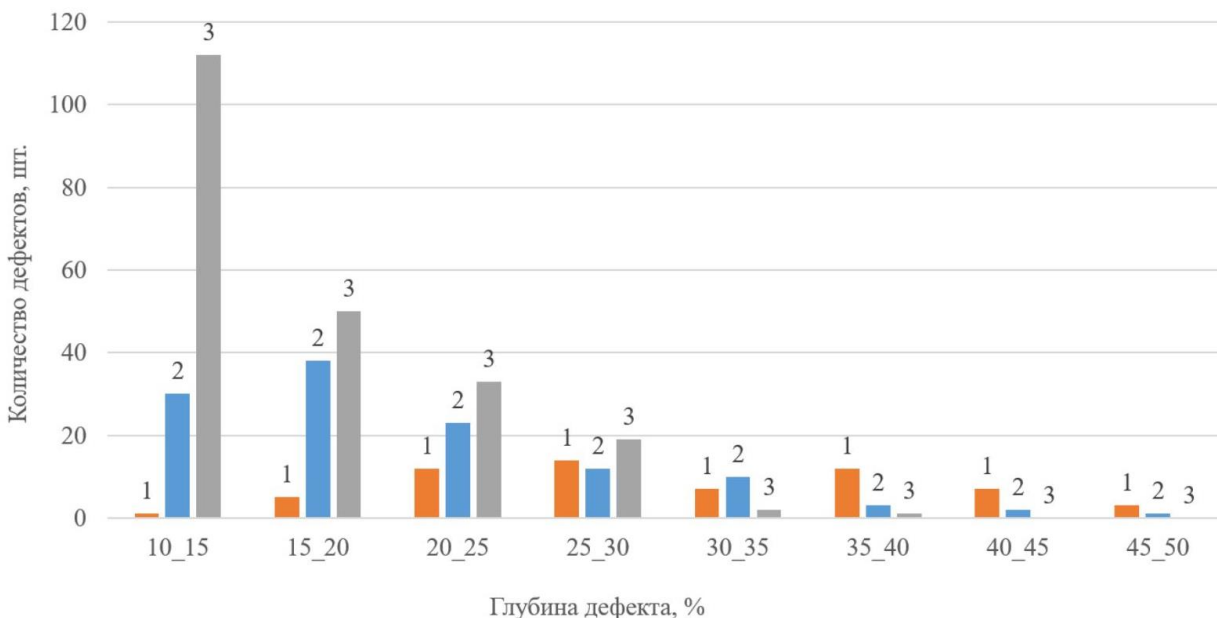


Рис. 2. Распределение стресс-коррозионных дефектов на трассе газопровода диаметром 1420 мм, по данным ВТД

Показателями, использованными при сравнении состояния газопровода, были выбраны следующие характеристики:

- общее количество обнаруженных на участке дефектов;

- глубина обнаруженных дефектов, % толщины стенки трубы;
- максимальная плотность дефектов (количество на 5 км длины трассы);
- положение на трассе места с максимальной плотностью дефектов, км;
- количество «опасных» дефектов с глубиной > 40 % толщины стенки трубы.

Число стресс-коррозионных дефектов по сравнению с 2003 г. (89 дефектов) резко увеличилось и составило 231 ед. в 2006 г. (через три года после инспекции) и 218 ед. в 2008 г. (еще через два года после инспекции). При этом представленный материал отражает только непосредственные результаты обследования без учета возможности ремонта или вырезки труб за время между инспекциями. Данные ВТД показали, что за 5-летний период наблюдений произошло нарастание процесса КРН, выразившееся в относительном нарастании количества дефектов, главным образом за счет образования новых трещин. Число дефектов КРН возросло практически в три раза за счет появления новых трещин с относительно небольшой глубиной – до 25–30 % от толщины стенки, расположенных преимущественно в интервале 15–20 км от камеры запуска; более глубоких трещин, начиная с 35 % толщины стенки, стало значительно меньше за счет удаления дефектов при ремонтах. Таким образом, можно считать, что за время между инспекциями на участке газопровода продолжалось развитие процесса коррозионного растрескивания с нарастающей скоростью, главным образом за счет образования новых трещин с глубиной до 25–30 % толщины стенки. Как указано в работе [3], усиление стресс-коррозионной повреждаемости при отсутствии массовых ремонтных работ между внутритрубными инспекциями не происходит. На рис. 2 хорошо заметно, что основная часть дефектов приходится на первые 5–35 км трассы, где находится 99 % обнаруженных трещин КРН. Как указано в некоторых работах [4, 5], это может быть связано с более высоким давлением и температурой на начальном участке трубопровода.

Исследование строения дефектов КРН показало, что развитие трещин носило поэтапный характер. На рис. 3 приведен поперечный шлиф дефекта, на котором видно, что первоначально трещина растет под прямым углом к поверхности, типичным для классического КРН от действия кольцевых растягивающих напряжений и коррозионно активной среды, затем происходит ее ветвление. При ветвлении трещина меняет свое направление на 45 % в обе стороны в направлении действия касательных напряжений. Такое изменение направления роста трещины несомненно указывает на изменение напряжений в теле трубы, т. е. неустойчивости напряженного состояния. Возникновение повышенной нагрузки приводит к течению металла в вершине дефекта в направлении действия касательных напряжений, и ее дальнейшему развитию в направлении течения.

Факторами, дополнительно стимулирующими развитие КРН, может служить рост напряжений в трубе и повышение коррозионной активности грунта. Поскольку количество коррозионных дефектов за рассматриваемый период осталось практически неизменным, то можно считать, что коррозионная активность грунта также не увеличилась. Что касается роста напряжений, то можно предполагать, что газопровод на отдельных участках испытывал периодически в течение длительного периода существенные перегрузки, вызванные ремонтными мероприятиями и их последствиями. Это обстоятельство могло способствовать дополнительному развитию дефектов КРН, обнаруженному по результатам периодического контроля ВТД.

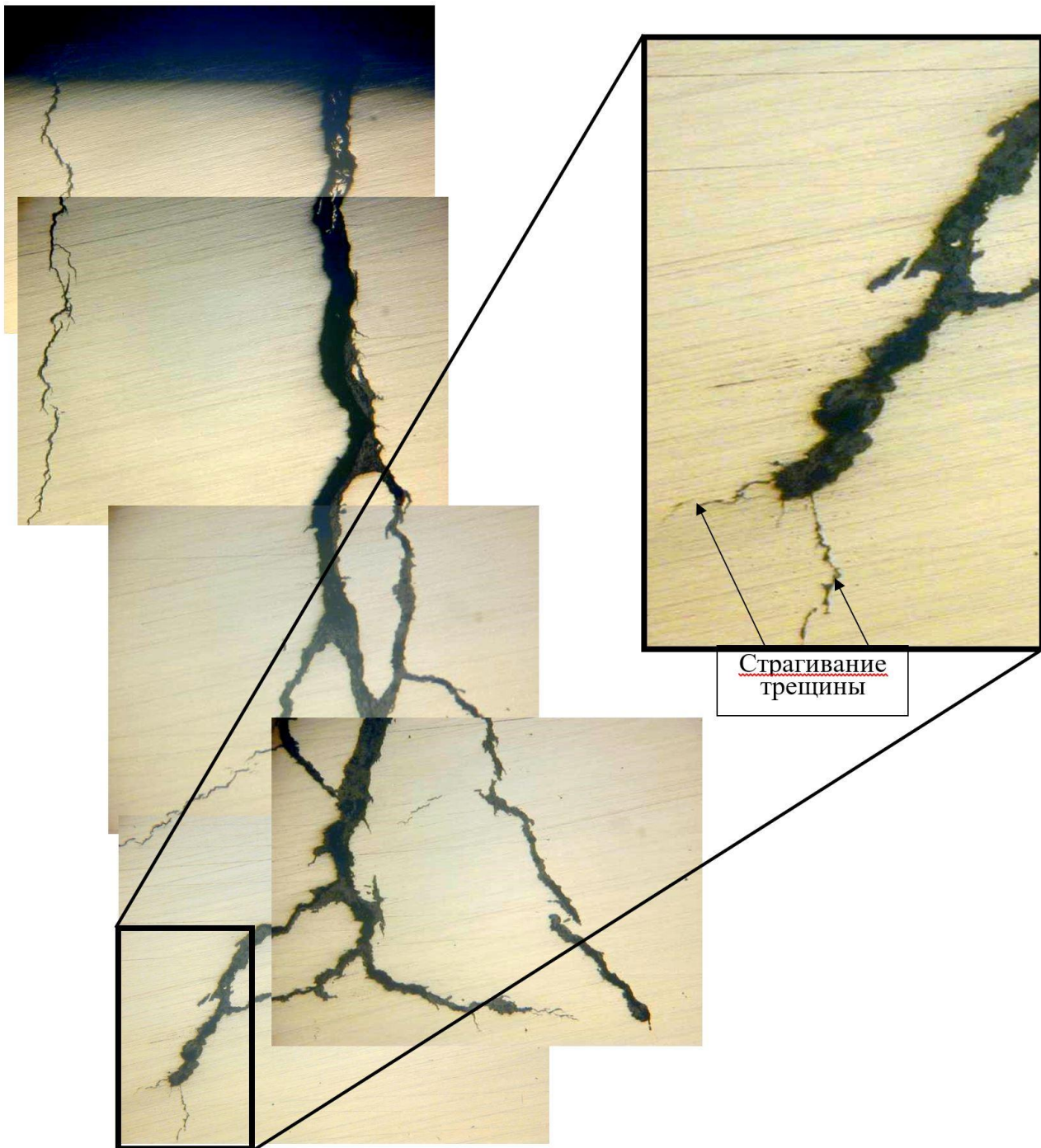


Рис. 3. Ветвление трещины КРН, повторное страгивание

## 2. Заключение

Таким образом, к числу факторов, способствующих зарождению и развитию трещин КРН, можно отнести рост напряжений на трассе трубопровода, связанный с проведением многочисленных ремонтных мероприятий, вызывающих изменение напряженно-деформированного состояния трубы и влияющих на рост трещин. В результате внешнее вмешательство в состояние газопровода, вызывающее, так или иначе, изменение его пространственного положения, создает дополнительные риски перегрузки и разрушения газопровода, которые не учитывались при планировании ремонтных работ.

Для оценки рисков необходимо приборное и методическое обеспечение, которое позволит определять величину и изменение напряженного состояния на наиболее ответственных участках газопроводов (переходах через авто- железные дороги, подводные переходы, пересечения с линиями электропередач, пересечения с другими трубопроводами, участки, проходящие вблизи населенных пунктов и др.). Прибор с такими возможностями разработан в лаборатории дефектоскопии ИФМ УрО РАН на основе магнитоанизотропных датчиков. В результате внедрения контроля за стабильностью напряженного состояния появится возможность ранжирования участков по степени перегрузки как одного из факторов, провоцирующего рост дефектов КРН.

### **Благодарность**

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема «Диагностика»), № АААА-А18-118020690196-3*

### **Литература**

1. Sadrtidinov R. A., Rybalko V. G., Novgorodov D. V. Peculiarities of the development of stress-corrosion cracking on a pipeline section from the results of repeated in-tube nondestructive testing // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2012. – Vol. 48, iss. 7. – P. 411–417. – DOI: 10.1134/S1061830912070078.
2. Показатели опасности аварий на российских магистральных трубопроводах // С. Г. Радионова, С. А. Жулина, Т. А. Кузнецова, А. С. Печеркин, И. А. Кручинина, А. И. Гражданкин // Безопасность труда в промышленности. – 2015. – № 11. – С. 62–69
3. Assessing changes in stress-corrosion damageability on the basis of repeating in-tube nondestructive testing / I. A. Dolgov, V. A. Gorchakov, Yu. P. Surkov, V. G. Rybalko, A. Yu. Surkov // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2007. – Vol. 43, no. 1. – P. 12–20. – DOI: 10.1134/S1061830907010020.
4. Горчаков В. А. Диагностика коррозионной повреждаемости в многониточной системе магистральных газопроводов : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.11. – Екатеринбург, 2003.
5. Мелехин О. Н., Грязин В. Е. Оценка уровня надежности газотранспортной системы в зависимости от планируемых объемов капитального ремонта линейной части магистральных газопроводов // Вести газовой науки. – 2014. – № 1 (17). – С. 13–15.