

УДК 658.588+531.787:621.43.032.8  
DOI: 10.22213/2413-1172-2024-1-63-72

## Причины повреждения манометра, установленного на технологическом трубопроводе

**В. С. Репях**, кандидат технических наук, доцент, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

**С. Ю. Решетов**, кандидат технических наук, доцент, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

**Г. А. Клещарева**, кандидат технических наук, доцент, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

**Е. В. Кушнарченко**, кандидат технических наук, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

*При эксплуатации технологических трубопроводов и оборудования, транспортирующих и перерабатывающих среду, содержащую агрессивные компоненты, такие, например, как сероводород, растворенный в пластовой воде, нередко возникают повреждения, вызывающие значительные проблемы материального характера, такие как сероводородное растрескивание, водородное охрупчивание, расслоения, язвы, питтинги и др. Причем подобные повреждения могут наблюдаться не только на основном, но и на вспомогательном и контролирующем оборудовании, выход которого из строя может привести к существенным потерям как материального, так и экологического характера. В частности в данной статье рассматриваются основные причины разрушения манометрической пружины, приводящие к выходу из строя манометра, контролирующего технологический процесс подачи углеводородного сырья на технологическом трубопроводе. Приведены результаты исследований повреждений трубчатой манометрической пружины с целью определения причин ее разрушения. В связи с этим проведены следующие мероприятия: визуально-измерительный контроль (ВИК); фрактографические и металлографические исследования, измерение микротвердости металла пружины, а также спектральный анализ химического состава металла манометрической пружины. Проведенные исследования позволили сформулировать основные выводы о причинах разрушения манометрической пружины, имеющей плоскоовальное сечение: во-первых, химический состав материалов пружины и держателя манометра полностью соответствует заявленным предприятием, эксплуатирующим его; во-вторых, микротвердость материала самой пружины не соответствует требованиям стандарта NACE MR0175; и, в-третьих, исходя из первых двух выводов и руководствуясь результатами фрактографических исследований, можно утверждать, что причиной разрушения исследуемой манометрической пружины являются концентраторы напряжений, а именно коррозионные язвы, которые при эксплуатации манометрической пружины в условиях сложного напряженного состояния и воздействия сероводородсодержащей рабочей среды приводят к зарождению микротрещин и сероводородному растрескиванию металла манометрической пружины, имеющего повышенную твердость и чувствительность к концентрации напряжений.*

**Ключевые слова:** визуально-измерительный контроль (ВИК), разрушение, фрактографические исследования, спектральный анализ, трещины, питтинги, коррозионные язвы.

**Введение**  
**В** процессе эксплуатации технологического оборудования периодически возникают проблемы с использованием вспомогательного и контролирующего оборудования под воздействием факторов агрессивной среды, которые могут приводить к значительным проблемам материального характера для эксплуатирующих организаций и наносить серьезный экологический ущерб окружающей среде. Одним из видов подобного оборудования, элементы которого подвержены негативному воздействию транспортируемых в трубопроводах сред, являются манометры, контро-

лирующие давление в трубопроводе [1–5]. Наиболее распространенным видом манометров, применяемых на трубопроводах, является манометр типа МП-АК.

Согласно техническому описанию манометры типа МП-АК климатического исполнения УХЛ1 предназначены для измерения избыточного давления углеводородного газа и водогазонефтяной эмульсии с содержанием сероводорода и углекислого газа до 25 % об. каждого из перечисленных веществ, неорганических солей и парафина до десяти весовых процентов. Манометры выдерживают кратковременные перегрузки до 200 % от верхнего значения диапазона показаний.

Манометры имеют степень защиты IP65 и класс точности 1,5. Могут эксплуатироваться при температуре окружающей среды  $-70...+60$  °С. Температура измеряемой среды может лежать в пределах  $-50...+100$  °С (допускается применение приборов для измерения давления сред с температурой до  $+200$  °С, при этом рекомендовано применение охлаждающих устройств).

Тем не менее на одной из ниток технологического продуктопровода имел место инцидент, связанный с выходом из строя манометра данной конструкции, но предохранительная автоматика сработала штатно, в результате не произошло значительных вредных выбросов в окружающую среду.

После отключения дефектного участка было произведено стравливание давления до 0 МПа, выполнена замена манометра МП-АК совместно с вентильным блоком, произведена опрессовка на рабочее давление, после чего была восстановлена подача нефтегазового сырья по продуктопроводу. Очевидно, что даже выход из строя вспомогательного оборудования может привести к простоям, которые приносят существенные экономические издержки для транспортирующей организации [6–9].

Поврежденный манометр был доставлен для исследований в независимую экспертную организацию. После разборки манометра стало очевидно, что причина отказа прибора – разрушение манометрической пружины под воздействием агрессивной коррозионной среды [10–13].

**Целью** данной статьи является определение причин повреждения манометра, установленного на технологическом трубопроводе, транспортирующем сероводородсодержащий газ.

Исследования разрушившейся манометрической пружины проводились следующими методами:

- ВИК трубчатой манометрической пружины проводили согласно РД 03-606-03;
- фрактографические исследования излома трубчатой манометрической пружины визуальным и визуально-оптическим методом на микроскопе МБС-1 в соответствии с методиками и рекомендациями [14, 15];
- металлографические исследования материала трубчатой манометрической пружины на микроскопе Nikon Epihot 200;
- спектральный анализ химического состава металла трубчатой манометрической пружины на спектрометре PMI-MASTER 13L0059 в соответствии с ГОСТ 18895–97 «Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа»;

- определение микротвердости металла трубчатой манометрической пружины на микротвердометре ПМТ-3 согласно требованиям ГОСТ 9450–76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников».

Рассматриваемый манометр эксплуатировался в рабочей нефтегазовой среде, действующей внутри трубчатой пружины манометра и содержащей до 2,19 %  $\text{CO}_2$  и до 5,64 %  $\text{H}_2\text{S}$  при рабочем давлении  $90 \text{ кгс/см}^2$ .

### Результаты исследований и их обсуждение

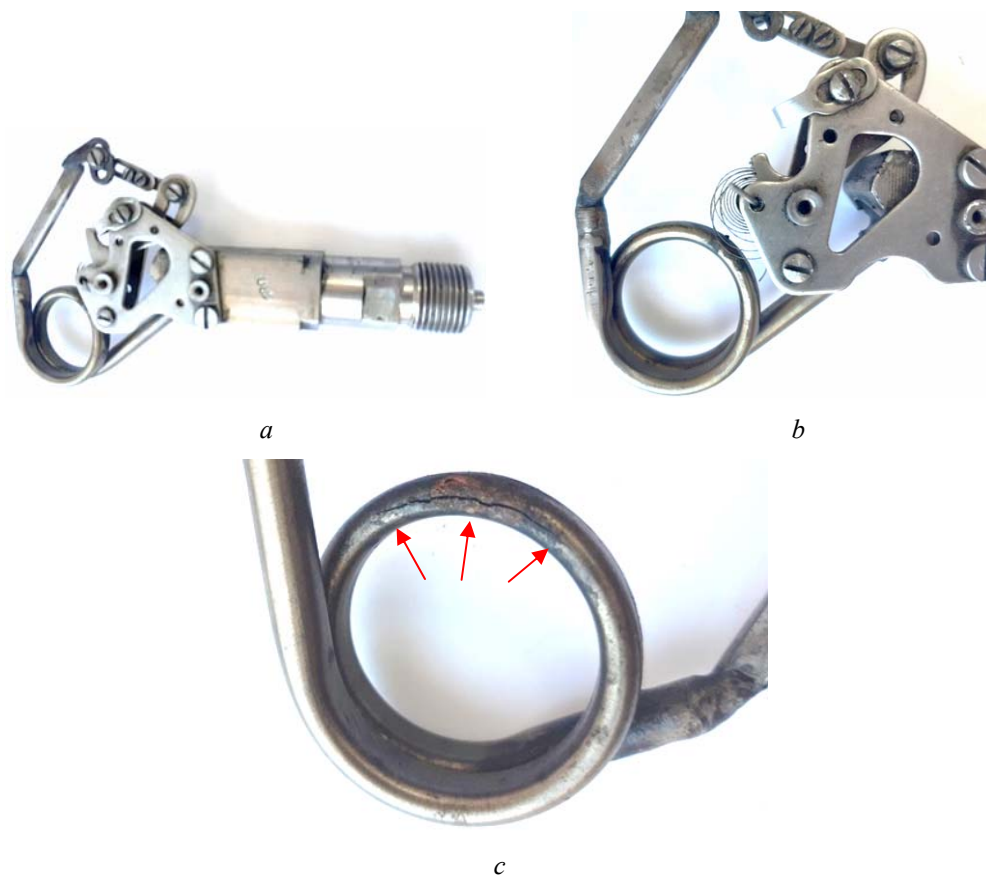
При ВИК трубчатой манометрической пружины (рис. 1, *a–c*) получены следующие данные. Диаметр цилиндрической части трубчатой манометрической пружины  $5,8...6,0$  мм; толщина стенки  $0,65...0,75$  мм; размеры части манометрической пружины плоскоовального сечения: ширина 6,8 мм, высота 3,8 мм, толщина стенки  $0,5...0,7$  мм.

На поверхности части манометрической пружины плоскоовального сечения, практически посередине длины пружины, имеются две противоположно расположенные на овальных поверхностях сквозные трещины (рис. 2, *a–c*).

Трещина со стороны циферблата манометра имеет длину 19 мм и раскрытие до 0,15 мм (см. рис. 2, *a*), трещина со стороны задней стенки манометра имеет длину 12,5 мм и раскрытие до 0,10 мм (см. рис. 2, *b, c*). На внешней поверхности манометрической пружины плоскоовального сечения коррозионные поражения металла не обнаружены.

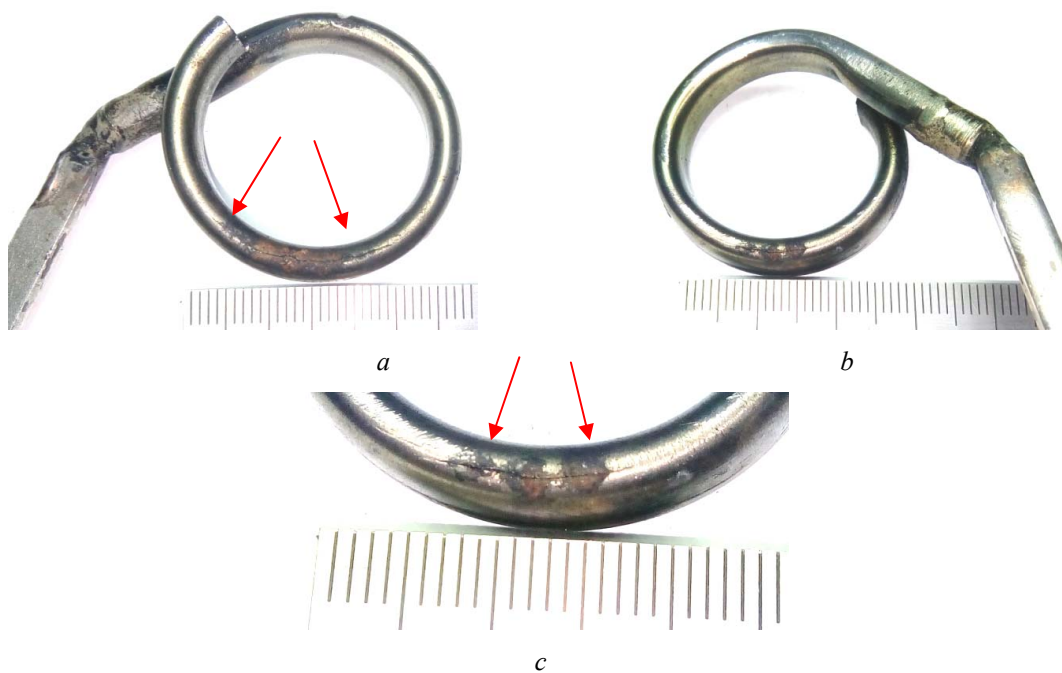
На внутренней поверхности манометрической пружины плоскоовального сечения обнаружены коррозионные отложения (см. рис. 3, *a–d*) и коррозионные повреждения металла – питтинги и коррозионные язвы диаметром до 0,25 мм и глубиной до 0,11 мм (см. рис. 4, *a–f*). Толщина стенки манометрической пружины плоскоовального сечения в изломе трещин  $0,55...0,65$  мм.

При фрактографических исследованиях по рельефу следов поверхностей излома установлено, что излом трубчатой манометрической пружины плоскоовального сечения имеет многоочаговый характер (см. рис. 5, *a–f*). Согласно результатам металлографических исследований микротрещины зарождались в местах расположения коррозионных язв (см. рис. 4, 5). Характер излома в области очагов разрушения – хрупкий и квазихрупкий на участках распространения трещины, что характерно для разрушения стального изделия, эксплуатируемого в условиях повышенных напряжений и воздействия сероводородсодержащих сред.



*Рис. 1.* Исполнительный механизм манометра: *a, b* – механизм в сборе;  
*c* – манометрическая пружина плоскоовального сечения с трещиной

*Fig. 1.* Actuating mechanism of the pressure gauge: *a, b* - the mechanism assembly;  
*c* - the manometric spring of the plane oval section with a crack



*Рис. 2.* Трещины на боковых поверхностях манометрической пружины плоскоовального сечения манометра:  
*a* – трещина со стороны циферблата манометра; *b, c* – трещина со стороны задней стенки манометра

*Fig. 2.* Cracks on the side surfaces of the pressure gauge spring of the plane-oval section of the pressure gauge:  
*a* - is a crack on the side of the dial of the pressure gauge; *b, c* - is a crack on the side of the back wall of the pressure gauge

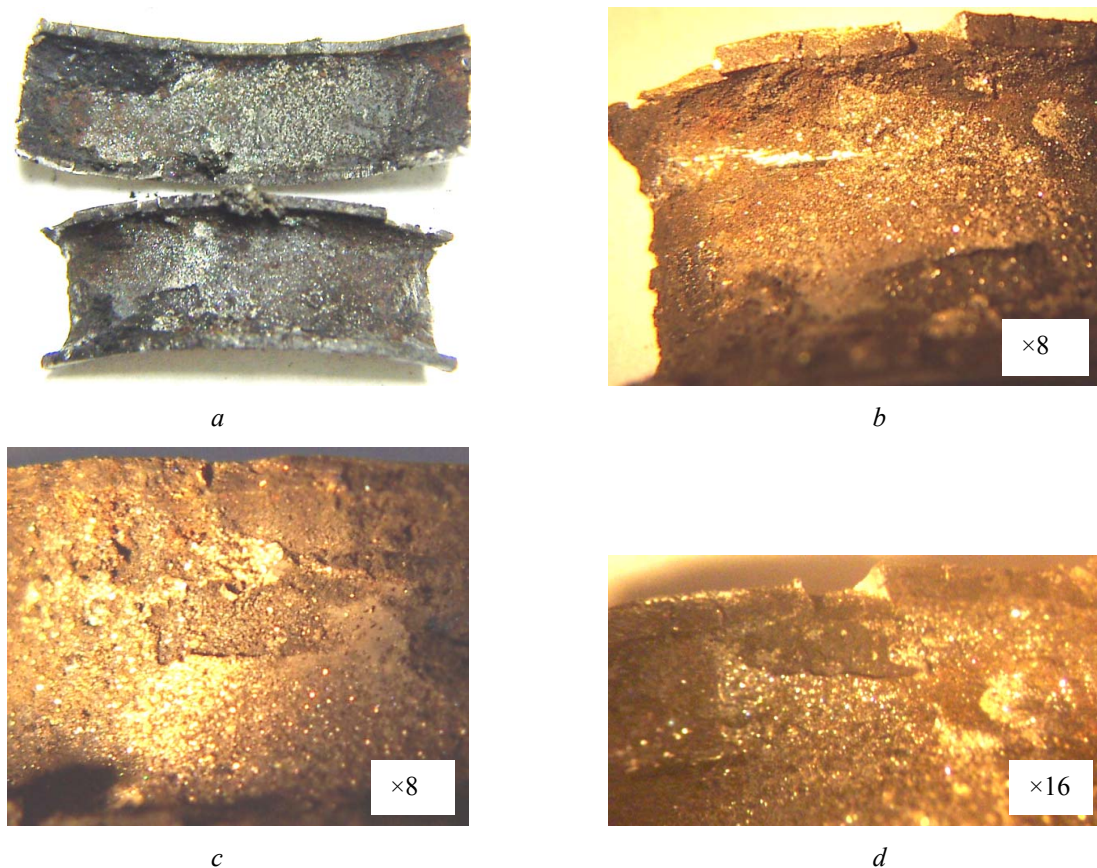


Рис. 3. Коррозионные отложения внутри манометрической пружины плоскоовального сечения манометра МП-АК: *a* – внутренняя поверхность манометрической пружины на дефектном участке; *b-d* – коррозионные отложения на внутренней поверхности

Fig. 3. Corrosion deposits inside the pressure gauge spring of the flat-oval section of the MP-AK pressure gauge: *a*- the inner surface of the pressure gauge spring in the defective area; *b-d*- corrosion deposits on the inner surface

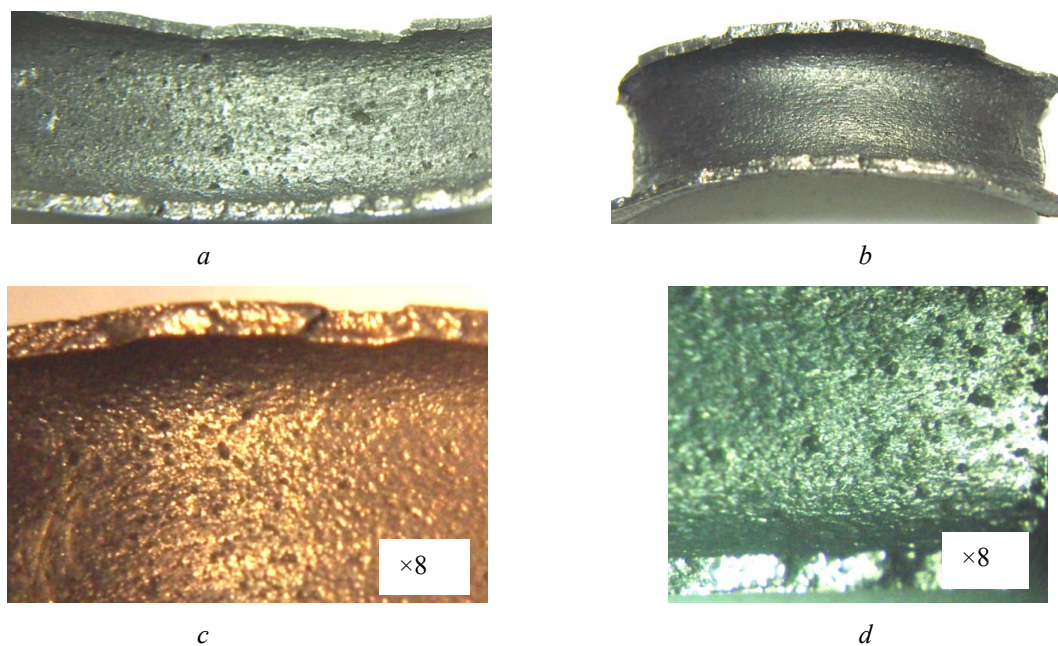


Рис. 4. Коррозионные повреждения внутри манометрической пружины плоскоовального сечения манометра МП-АК: *a-d* – коррозионные язвы и питтинги на внутренней поверхности

Fig. 4. Corrosion damage inside the pressure gauge spring of the flat-oval section of the MP-AK pressure gauge: *a-d*- corrosive ulcers and pitting on the inner surface



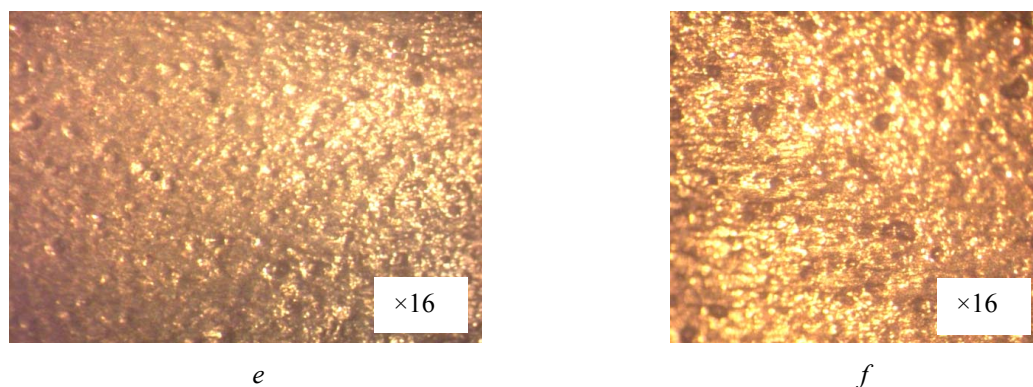


Рис. 4 (окончание, начало на с. 66): e-f – коррозионные язвы и питтинги на внутренней поверхности  
Fig. 4 (continued from p. 66): e-f – corrosive ulcers and pitting on the inner surface

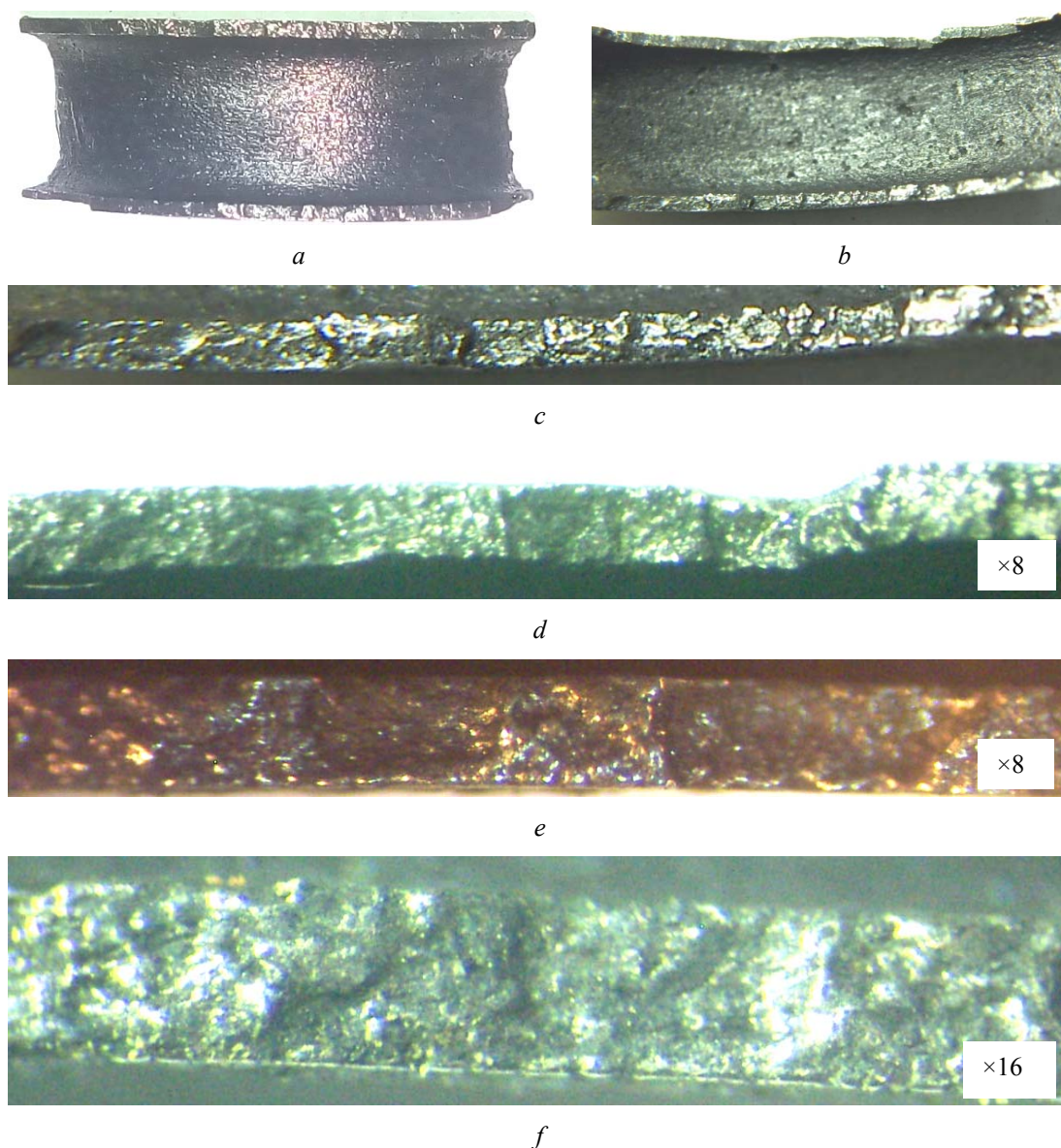


Рис. 5. Излом манометрической пружины плоскоовального сечения манометра МП-АК:  
a, b – общий вид излома; c-f – поверхности участков излома  
Fig. 5. Fracture of the pressure gauge spring of the plane-oval section of the MP-AK pressure gauge:  
a, b - general view of the fracture; c-f - surfaces of the fracture sites

Проведен спектральный анализ химического состава материала, из которого изготовлена трубчатая манометрическая пружина, а также держатель манометра МП-АК. Данные по химическому составу приведены в таблицах 1, 2.

Согласно результатам спектрального анализа материал трубчатой манометрической пружины овального сечения манометра МП-АК соответствует стали типа 06Х12Н36ЮТ, выполняемой по техническим условиям.

Согласно результатам спектрального анализа материал держателя манометра МП-Кс соответствует стали 10Х17Н13М2Т по ГОСТ 5632–2014.

Согласно результатам металлографических исследований структура материала трубчатой манометрической пружины аустенитно-бейнитная (см. рис. 6 а, б). Микротвердость металла манометрической пружины плоскоовального сечения находится в пределах 404...441 Н<sub>200</sub> (см. рис. 6 в, г), что соответствует 404...441 HV или 41,2...43,8 HRC и не соответствует требованиям стандарта NACE MR0175.

Необходимо отметить, что наряду с циклическими рабочими напряжениями в металле ма-

нометрической пружины плоскоовального сечения возможно наличие остаточных напряжений. Возникновение остаточных напряжений величиной до 20 кгс/мм<sup>2</sup> (200 МПа) в трубчатых манометрических пружинах обусловлено пластическими деформациями металла при гибочной операции в процессе изготовления пружины [16–18]. Технология изготовления чувствительного элемента включает термический отжиг трубки, обеспечивающий ее мягкое состояние, ее профилирование и изгиб (последние операции могут быть совмещены) и обязательную последующую температурную нормализацию, предназначенную для снятия напряжений после механических деформаций.

Коррозионные повреждения металла манометрической пружины плоскоовального сечения являются концентраторами напряжений, значительно увеличивающих напряжения в локальных объемах металла и приводящих к возникновению микротрещин, особенно в условиях воздействия сероводородсодержащих и других коррозионно-активных (наводороженных) рабочих сред [19–25].

Таблица 1. Химический состав материала трубчатой манометрической пружины, %

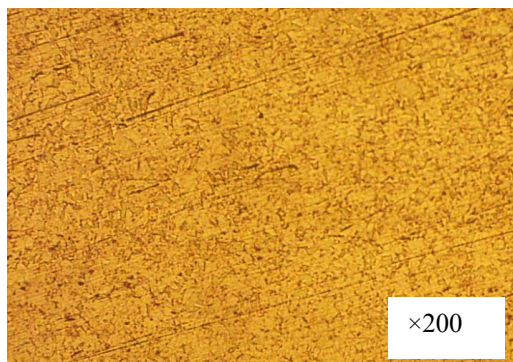
Table 1. Chemical composition of the tubular gauge spring material, %

Среднее из трех замеров										
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	V	Ti
0,051	0,40	1,03	0,010	0,013	12,1	36,1	0,052	1,16	0,052	2,4

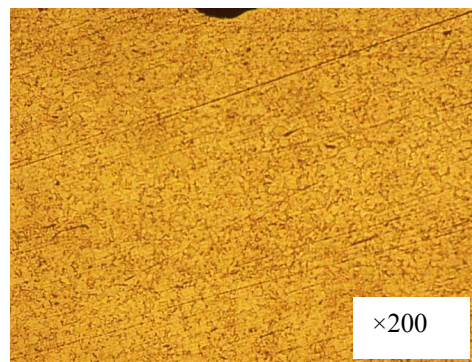
Таблица 2. Химический состав материала держателя манометра, %

Table 2. Chemical composition of the pressure gauge holder material, %

Среднее из 3 замеров										
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	V	Ti
0,08	0,46	1,49	0,023	0,018	16,1	12,56	2,29	0,07	0,08	0,57
ГОСТ 5632–2014										
≤ 0,10	≤ 0,80	≤ 2,00	≤ 0,035	≤ 0,020	16...18	12...14	2...3	–	–	5xC...0,70



а



б

Рис. 6. Микроструктура материала и измерение микротвердости манометрической пружины:

а, б – микроструктура металла манометрической пружины

Fig. 6. The microstructure of the material and the measurement of the microhardness of the pressure gauge spring):

а, б - microstructure of the metal of the pressure gauge spring



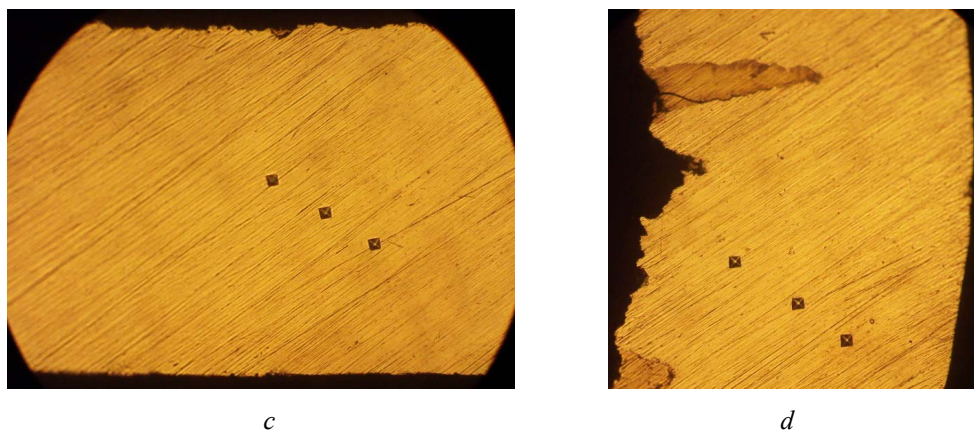


Рис. 6 (окончание, начало на с. 68): *c, d* – измерение микротвердости в разных сечениях манометрической пружины

Fig. 6 (continued from p. 68): *c, d* - measurement of microhardness in different sections of the pressure gauge spring

### Выводы

1. Химический состав материала трубчатой манометрической пружины овального сечения соответствует стали типа 06X12H36ЮТ. Химический состав материала держателя манометра соответствует стали типа 10X17H13M2Т по ГОСТ 5632–2014.

2. Микротвердость металла манометрической пружины плоскоовального сечения находится в пределах 404...441Н<sub>200</sub>, что соответствует 404...441 HV или 41,2...43,8 HRC и не соответствует требованиям стандарта NACE MR0175.

3. Причиной разрушения манометрической пружины плоскоовального сечения являются концентраторы напряжений – коррозионные язвы, которые при эксплуатации манометрической пружины в условиях сложного напряженного состояния и воздействия сероводородсодержащей (наводороженной) рабочей среды привели к зарождению микротрещин и сероводородному растрескиванию металла манометрической пружины, имеющего повышенную твердость и чувствительность к концентрации напряжений.

### Библиографические ссылки

1. Причины повреждения муфт насосно-компрессорных труб / В. М. Кушнарченко, В. С. Репях, И. Ш. Тавилов, С. Ю. Решетов // Известия высших учебных заведений. Технические науки. 2020. № 4 (56). С. 122–134. DOI: 10.21685/2072-3059-2020-4-10
2. Жирнов Б. С., Махмудов Р. А., Ефимович Д. О. Нефтегазовое технологическое оборудование: справочник ремонтника. М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. 356 с.
3. Пирогов С. П., Чуба А. Ю. Развитие теории колебаний манометрических трубчатых пружин // АгроЭкоИнфо : Электронный научно-производственный журнал. 2022. № 3. DOI: <https://doi.org/10.51419/202123304>

4. Ольховский А. Н. Метод бездемонтажного контроля метрологических характеристик манометров с упругими чувствительными элементами в процессе эксплуатации // Вестник метролога. 2021. № 1. С. 27–29.

5. Que Z., Ahonen M., Virkkunen I., Nevasmaa P., Rautala P., Reinvald H. (2022) Study of cracking and microstructure in Co-free valve seat hardfacing. Nuclear Materials and Energy, vol. 31, p. 101202.

6. Совершенствование способа пожарной безопасности трубопроводного транспорта сероводородсодержащих нефтегазовых сред / Р. Ф. Мамбетов, Ф. Ш. Хафизов, В. М. Кушнарченко, И. Ф. Хафизов, Л. В. Сорокина // Нефтегазовое дело. 2023. № 1. С. 84–106.

7. Митрофанов А. В., Ломанцов В. А., Воронин С. П. Анализ причин поврежденности длительно эксплуатируемого трубопровода влажного сероводородсодержащего природного газа // Нефтегазовое дело. 2023. № 6. С. 109–133.

8. Ваганов Р. К. Коррозионное разрушение стального оборудования и трубопроводов на объектах газовых месторождений в присутствии агрессивных компонентов // Технология металлов. 2021. № 3. С. 47–54.

9. Соков В. Н., Шувалова Е. А., Землянко А. С. Коррозия под изоляцией как один из факторов сокращения срока службы промышленных трубопроводов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020. Т. 10, № 2 (33). С. 264–273.

10. Исследование металла, работающего в средах, вызывающих сероводородное растрескивание / Н. И. Габельченко, Е. Ю. Карпова, А. И. Габельченко, А. П. Рыжко // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2020. № 7 (242). С. 28–33. DOI: 10.35211/1990-5297-20-4-242-28-33

11. Ботвина Л. Р. Основы фрактодиагностики : монография. М. : Техносфера, 2022. 394 с. ISBN 978-5-94836-637-1

12. Тупицын М. А., Тришкина И. А., Сторожева Е. И. К вопросу о причинах преждевременного разрушения пружин предохранительных клапанов на установках первичной переработки нефти // Завод-

ская лаборатория. Диагностика материалов. 2023. Т. 89, № 7. С. 51–60.

13. Методы исследования процессов коррозионно-механического разрушения и наводороживания металлов (обзор) / А. Б. Лаптев, Л. И. Закирова, О. А. Загорских, М. Р. Павлов, М. А. Горбовец. Ч. 2. Образование пассивных пленок и сероводородное растрескивание сталей // Труды ВИАМ. 2022. № 5 (111). С. 138–146.

14. Фрактография и атлас фрактограмм : справочное издание / под ред. Дж. Феллоуза ; пер. с англ. Е. А. Шура. М. : Металлургия, 1982. 489 с.

15. Атлас дефектов стали / пер. с нем. Е. Я. Капуткина ; под ред. М. Л. Берштейна. М. : Металлургия, 1979. 188 с.

16. Тыжнов Г. И. Методика исследования остаточных напряжений в трубчатых манометрических пружинах // Известия ТПИ им. С. М. Кирова. 1963. Т. 107. С. 126–133.

17. Пирогов С. П., Устинов И. И. Математическая модель напряженно-деформируемого состояния манометрической трубчатой пружины с переменной по периметру сечения толщины стенки // Вестник ТюмГУ. Физико-математические науки. Информатика. 2012. № 4. С. 119–124.

18. Потанин Д. В., Чуба А. Ю. Классификация трубчатых пружин переменного поперечного сечения // Мир инноваций. 2021. № 3. С. 7–13.

19. Das S., Taukdar S., Solanki V., Kumar A., Mukhopadhyay G. (2020) Breakege of spring steel during manufacturing: A Metallurgical investigation. Journal of Failure Analysis and Prevention, no. 20, pp. 2462-1469.

20. Khayatazad M., De Pue L., De Waele W. (2020) Detection of corrosion on steel structures using automated image processing. Developments in the Built Environment, no. 3, p. 100022.

21. Ravibharath R., Muthupandi V., Bala Srinivasan P., Devakumaran K. (2020) Characterization of Solidification Cracking in 304HCu Austenitic Stainless Steel Welds, The Indian Institute of Metals – IIM, pp. 2345-23531.

22. Дефекты и повреждения деталей и конструкций : монография / В. М. Кушнаренко [и др.]. Оренбург : Руссервис, 2012. 531 с. ISBN 978-5-904627-16-4

23. Классификация и определение размеров поверхностных дефектов трубопроводов на основе результатов комплексной диагностики ультразвуковым, вихретоковым, визуальным и измерительным методами неразрушающего контроля / Н. В. Крысько, С. В. Скрынников, Н. А. Щипаков, Д. М. Козлов, А. Г. Кусый // Дефектоскопия. 2023. № 12. С. 69–78.

24. Умбетов С. В., Пронин С. П. Классификация и анализ средств контроля коррозионных повреждений внутренних поверхностей подземного металлического трубопровода // Вестник Югорского государственного университета. 2020. № 2 (57). С. 27–38.

25. Xing X. Q. (2021) Effect of environment-assisted cracking on the premature fatigue failure of high-strength valve springs. Engineering Failure Analysis, vol. 126, p. 105466. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105466>

## References

1. Kushnarenko V.M., Repyakh V.S., Tavtilov I.Sh., Reshetov S.Yu. (2020) [Causes of damage to tubing couplings]. *News of higher educational institutions, Volga region, Technical sciences*, no. 4, pp. 122-134 (in Russ.). DOI: 10.21685/2072-3059-2020-4-10

2. Zhirnov B.S., Makhmutov R.A., Efimovich D.O. (2021) *Neftegazovoe tehnologicheskoe oborudovanie: spravochnik remontnika* [Oil and gas technological equipment: a directory of a repairman]. Moscow, Vollogda, Infra-Engineering Publ., 356 p. (in Russ.).

3. Pirogov S.P., Chuba A.Yu. (2022) Development of the theory of oscillations of manometric tubular springs [Electron. resource]. *AgroEcoInfo: Electronic Research and Production Journal*, no. 3 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51419/202123304>

4. Olkhovsky A.N. (2021) [Method of non-mounting control of metrological characteristics of pressure gauges with elastic sensitive elements during operation]. *Vestnik metrologa*, no. 1, pp. 27-29 (in Russ.).

5. Que Z., Ahonen M., Virkkunen I., Nevasmaa P., Rautala P., Reinvald H. (2022) Study of cracking and microstructure in Co-free valve seat hardfacing. *Nuclear Materials and Energy*, vol. 31, p. 101202.

6. Mambetov R.F., Khafizov F.Sh., Kushnarenko V.M., Khafizov I.F., Sorokin L.V. (2023) [Improvement of the method of fire safety of pipeline transport of hydrogen sulfide-containing oil and gas media]. *Neftegazovoe delo*, no. 1, pp. 84-106 (in Russ.).

7. Mitrofanov A.V., Lomantsov V.A., Voronin S.P. (2023) [Analysis of the causes of damage to the long-term pipeline of wet hydrogen sulfide-containing natural gas]. *Neftegazovoe delo*, no. 6, pp. 109-133 (in Russ.).

8. Vagapov R.K. (2021) [Corrosion destruction of steel equipment and pipelines at gas field facilities in the presence of aggressive components]. *Tehnologija metallorov*, no. 3, pp. 47-54 (in Russ.).

9. Sokov V.N., Shuvalova E.A., Zemlyanko A.S. (2020) [Corrosion under insulation as one of the factors in reducing the service life of industrial pipelines]. *Izvestiya vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*, vol. 10, no. 2, pp. 264-273 (in Russ.).

10. Gabelchenko N.I., Karpova E.Yu., Gabelchenko A.I., Ryzhko A.P. (2020) [Study of metal working in media causing hydrogen sulfide cracking]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*, no. 7, pp. 28-33 (in Russ.). DOI: 10.35211/1990-5297-20-4-242-28-33

11. Botvina L.R. (2022) *Osnovy fraktodiagnostiki* [Fundamentals of fractodiagnosics]. Moscow, Tehnosfera Publ., 394 p. (in Russ.). ISBN 978-5-94836-637-1

12. Tupitsin M.A., Trishkina I.A., Storozheva E.I. (2023) [On the causes of premature destruction of the springs of safety valves at primary oil processing plants]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, vol. 89, no. 7, pp. 51-60 (in Russ.).

13. Laptev A.B., Zakirova L.I., Zagorsky O.A., Pavlov M.R., Gorbovets M.A. (2022) [Formation of passive films and hydrogen sulfide cracking of steels]. *Trudy VIAM*, no. 5, pp. 138-146 (in Russ.).



14. Fellows J., ed. (1982) *Fraktografija i atlas fraktogramov : spravochnoe izdanie* [Fractography and atlas of fractograms: reference edition]. Moscow, Metallurgija Publ., 489 p. (in Russ.).
15. Bernstein M.L., ed. (1979) *Atlas defektov stali* [Atlas of steel defects]. Moscow, Metallurgija Publ., 188 p. (in Russ.).
16. Tyzhnov G.I. (1963) [Methodology for studying residual stresses in tubular pressure springs]. *Izvestija TPI im. S. M. Kirova*, vol. 107, pp. 126-133 (in Russ.).
17. Pirogov S.P., Ustinov I.I. (2012) [Mathematical model of the stress-deformable state of a pressure tube spring with a variable wall thickness along the perimeter of the section]. *Vestnik TjumGU. Fiziko-matematicheskie nauki. Informatika*, no. 4, pp. 119-124 (in Russ.).
18. Potapkin D.V., Chuba A.Yu. (2021) [Classification of tubular springs of variable cross-section]. *Mir innovacij*, no. 3, pp. 7-13 (in Russ.).
19. Das S., Taukdar S., Solanki V., Kumar A., Mukhopadhyay G. (2020) Breakege of spring steel during manufacturing: A Metallurgical investigation. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, no. 20, pp. 2462-1469.
20. Khayatazad M., De Pue L., De Waele W. (2020) Detection of corrosion on steel structures using automated image processing. *Developments in the Built Environment*, no. 3, p. 100022.
21. Ravibharath R., Muthupandi V., Bala Srinivasan P., Devakumaran K. (2020) Characterization of Solidification Cracking in 304HCu Austenitic Stainless Steel Welds, The Indian Institute of Metals - IIM, pp. 2345-23531.
22. Kushnarenko V.M. (2012) *Defekty i povrezhdenija detalej i konstrukcij* [Defects and damages of parts and structures]. Orenburg, Russervis Publ., 531 p. (in Russ.) ISBN 978-5-904627-16-4
23. Krysko N.V., Skrynnikov S.V., Shchipakov N.A., Kozlov D.M., Kusy A.G. (2023) [Classification and determination of the dimensions of surface defects of pipelines based on the results of comprehensive diagnostics by ultrasonic, eddy current, visual and measuring methods of non-destructive]. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, no. 12, pp. 69-78 (in Russ.).
24. Umbetov S.V., Pronin S.P. (2020) [Classification and Analysis of Corrosion Damage Control Means for Internal Surfaces of Underground Metal Pipeline]. *Vestnik Jugorskogo gosudarstvennogo universiteta*, no. 2, pp. 27-38 (in Russ.).
25. Xing X.Q. (2021) Effect of environment-assisted cracking on the premature fatigue failure of high-strength valve springs. *Engineering Failure Analysis*, vol. 126, p. 105466. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105466>

### Causes of Damage to the Pressure Gauge Installed on the Process Pipeline

V.S. Repyakh, PhD in Engineering, Associate Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia  
 S.Yu. Reshetov, PhD in Engineering, Associate Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia  
 G.A. Kleshchareva, PhD in Engineering, Associate Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia  
 E.V. Kushnarenko, PhD in Engineering, Orenburg State University, Orenburg, Russia

*During the operation of technological pipelines and equipment the transporting and processing media contain aggressive components, such as hydrogen sulfide dissolved in reservoir water, damage often occurs causing significant material problems, such as hydrogen sulfide cracking, hydrogen embrittlement, delamination, ulcers, pitting and others. Moreover, such damage can be observed not only on the main, but also on auxiliary and monitoring equipment, which failure can lead to significant material and environmental consequences. In particular, this article discusses the main causes of pressure gauge spring destruction, leading to failure of pressure gauge control the technological process of supplying hydrocarbon raw materials on the process pipeline. The results of damage studies of a tubular pressure gauge spring are presented in order to determine the causes of its destruction. To this end, the following measures were carried out: visual and measuring control (VIC); fractographic and metallographic studies, microhardness measurement of the spring metal, as well as spectral analysis of the chemical composition of the manometric spring metal. The conducted research allowed us to formulate the main conclusions about the destruction causes of a pressure gauge spring having a plane-oval cross-section: firstly, the chemical composition of the spring and pressure gauge holder materials fully comply with the declared by the enterprise operating it; secondly, the microhardness of the spring material itself does not meet the requirements of the NACE MR0175 standard; and thirdly, based on the first two conclusions and guided by the results of fractographic studies, it was found that stress concentrators are the cause of the destruction of the manometric spring under study, namely corrosion ulcers, which, during operation of the manometric spring in a complex stress state and exposure to hydrogen sulfide-containing working medium, led to the nucleation of microcracks and hydrogen sulfide cracking of the manometric spring metal, which has increased hardness and sensitivity to stress concentration.*

**Keywords:** visual and measuring control, fracture, fractographic studies, spectral analysis, cracks, pittings, corrosion ulcers.

Получено 22.02.2024

**Образец цитирования**

Причины повреждения манометра, установленного на технологическом трубопроводе / В. С. Репях, С. Ю. Решетов, Г. А. Клещарева, Е. В. Кушнarenко // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2024. Т. 27, № 1. С. 63–72. DOI: 10.22213/2413-1172-2024-1-63-72

**For Citation**

Repyakh V.S., Reshetov S.U., Kleshchareva G.A., Kushnarenko E.V. (2024) [Causes of Damage to the Pressure Gauge Installed on the Process Pipeline]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2024, vol. 27, no. 1, pp. 63-72 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2024-1-63-72