

СПОСОБ РЕМОНТА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ ПУТЕМ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

METHOD FOR REPAIRING WELDED JOINTS OF LONG-OPERATED OIL AND GAS PIPELINES WITH RESTORATIVE THERMAL TREATMENT

А.С. Снарский¹, А.Н. Янушонок²

Andrey S. Snarskiy¹, Alexander N. Yanushonok²

¹ Белорусский национальный технический университет, 220013, г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: snarskibntu@gmail.com

² Полоцкий государственный университет, 211440, г. Новополоцк, Республика Беларусь
E-mail: alex_mil@bk.ru

¹ Belarusian National Technical University, 220013, Minsk, Republic of Belarus
E-mail: snarskibntu@gmail.com

² Polotsk State University, 211440, Novopolotsk, Republic of Belarus
E-mail: alex_mil@bk.ru

Резюме: Возрастная структура системы магистральных нефтегазопроводов Республики Беларусь свидетельствует о ее значительном старении. Процессы старения в первую очередь проявляются в снижении ударной вязкости, что особенно характерно для сварных соединений, разрушение которых является наиболее частой причиной аварий и отказов. Приведены сведения о способе ремонта магистральных трубопроводов, проработавших длительное время в условиях Республики Беларусь, за счет восстановительной термической обработки их сварных соединений. Определен режим восстановительной термической обработки сварных соединений нефтегазопроводов, проработавших длительное время, и представлена экспериментально-статистическая модель прироста ударной вязкости металла сварных соединений нефтегазопроводов при производстве ремонтных работ путем специальной термической обработки в зависимости от температуры и времени выдержки.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, способ ремонта, сварное соединение, механические свойства, термическая обработка.

Для цитирования: Снарский А.С., Янушонок А.Н. Способ ремонта сварных соединений длительно эксплуатируемых нефтегазопроводов путем восстановительной термической обработки // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2019. № 5-6. С. 30–33.

DOI: 10.24411/0131-4270-2019-10606

Abstract: Belarus oil and gas pipelines have been in operation for a long time. Impact toughness decreases due to aging, which is especially characteristic of welded joints. Destruction of welded joints of oil and gas pipelines is the most common cause of accidents and failures. Given the information about the method of repairing trunk pipelines that have worked for a long time in the conditions of the Republic of Belarus due to reductive heat treatment of their welded joints. The regime of recovery heat treatment of welded joints of oil and gas pipelines that have worked for a long time is determined. Presented an experimental-statistical model of the increase in impact strength of metal of welded joints of oil and gas pipelines during repair work by special heat treatment depending on the temperature and holding time.

Keywords: oil and gas pipelines, method of repairing, welded joint, heat treatment, mechanical properties.

For citation: Snarskiy A.S., Yanushonok A.N. METHOD FOR REPAIRING WELDED JOINTS OF LONG-OPERATED OIL AND GAS PIPELINES WITH RESTORATIVE THERMAL TREATMENT. Transport and Storage of Oil Products and Hydrocarbons. 2019, no. 5-6, pp. 30–33.

DOI: 10.24411/0131-4270-2019-10606

Трубопроводный транспорт углеводородных энергоносителей играет значительную роль в экономике Беларуси и России. Развитая система магистральных трубопроводов обеспечивает поставки углеводородного сырья как внутренним потребителям, так и в страны Европейского союза. Большинство магистральных трубопроводов Беларуси были построены в 60–80-е годы XX века и являлись частью общей трубопроводной системы СССР. Характерной общей чертой указанных объектов трубопроводного транспорта является их прогрессирующее старение. Как видно из табл. 1, срок эксплуатации большей части магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов, за исключением некоторых участков, где произведена полная замена труб во время

проведения капитального ремонта, превышает нормативный и составляет 40–50 лет.

Также на территории Республики Беларусь находится разветвленная сеть магистральных газопроводов, которые эксплуатируются ОАО «Газпром трансгаз Беларусь». Протяженность магистральных газопроводов диаметром от 50 до 1400 мм в однопоточном исчислении составляет около 7900 км, из которых более 2500 км предназначены для осуществления транзитных поставок природного газа в страны Европейского союза.

Если проанализировать возраст газопроводов, то 60% из них эксплуатируется за пределами установленного срока эксплуатации или вплотную подходит к этому сроку

(табл. 2). В течение ближайших 10 лет практически вся газотранспортная система Республики Беларусь перейдет рубеж в 33 года, включая относительно новые отводы к внутренним потребителям, построенные по программе газификации в постсоветский период и имеющие относительно небольшую производительность и диаметр, в частности магистральный газопровод Ямал-Европа диаметром 1400 мм. Срок эксплуатации некоторых газопроводов уже превышает 50 лет, а активной замены или сооружения новых газопроводов в настоящее время не ведется.

При длительной эксплуатации в металле магистральных трубопроводов протекают процессы старения – деградация его свойств, способная привести к разрушению даже при напряжениях, не превышающих максимально допустимые. В результате проведенного литературного анализа выявлено, что наиболее характерным проявлением старения трубных сталей является снижение ударной вязкости металла [1, 2]. Процессы старения наиболее интенсивно протекают в структурно-неоднородных участках, таких как сварные соединения [3]. За 30–50 лет эксплуатации ударная вязкость в зависимости от срока эксплуатации снижается в 3–5 и более раз (см. рис. 1) [2], и ее значения могут оказаться ниже уровня, установленного СНиП 2.05.06.

Снижение ударной вязкости приводит к росту вероятности возникновения и роста трещин, что может вызвать аварийное разрушение магистрального трубопровода. Это подтверждается и статистическими данными по эксплуатационным отказам. Так, например, 80% всех аварийных ситуаций на магистральных нефтепроводах Республики Беларусь, эксплуатируемых РУП «Гомельтранснефть «Дружба», связано с разрушением труб по сварным соединениям [4]. Разрушение происходило практически всегда при установившемся постоянном давлении от 4,0 до 6,0 МПа по зоне влияния заводского продольного сварного соединения на конце труб. Также имелись случаи разрушения и по кольцевым сварным соединениям.

В связи с этим актуальной задачей для системы магистральных трубопроводов Республики Беларусь является разработка и внедрение

Таблица 1

Основные характеристики магистральных нефтепроводов (НП) и нефтепродуктопроводов (НПП)

| Наименование трубопровода | Основные характеристики | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------|--------------------------|
| | протяженность трубопровода, км | протяженность коридора, км | диаметр, мм | год ввода в эксплуатацию |
| НП Унеча–Мозырь I | 183 | 183 | 820 | 1966 |
| НП Унеча–Мозырь II | 183 | | 1020 | 1972 |
| НП Речица–Мозырь | 85 | | 530 | 1970 |
| НПП Унеча–Стальной Конь (345–527 км) | 183 | | 530 | 1966 |
| НПП Унеча–Стальной Конь (527–559 км) | 32 | 32 | 530 | 1966 |
| НП Мозырь–Броды I | 32 | | 720 | 1973 |
| НП Мозырь–Броды II | 32 | | 720 | 1973 |
| НП Мозырь–Брест I | 441 | 441 | 630 | 1966 |
| НП Мозырь–Брест II | 441 | | 720 | 1972 |
| НП Мозырь–Брест III | 441 | | 820 | 1978–2000 |
| НП Унеча–Полоцк I | 380 | 380 | 820 | 1964 |
| НП Унеча–Полоцк II | 380 | | 820 | 1974 |
| НПП Унеча–Полоцк (53–433 км) | 380 | | 530 | 1964 |
| НПП Унеча–Полоцк (433–455 км) | 22 | 112,5 | 530 | 1964 |
| НП Полоцк–Вентспилс* | 112,5 | | 720 | 1968 |
| НП Полоцк–Биржай–Мажейкяй* | 112,5 | | 720 | 1977 |
| НПП Дисна–Илуксте | 90,5 | | 530 | 1974 |
| НП Сургут–Полоцк | 83 | 83 | 1020 | 1981 |
| НПП Полоцк–Минск* | 278 | 278 | 426 | 1987–1990 |
| НПП Новополоцк–Фаниполь | 292 | 292 | 273 | 2017 – по наст. время |

* В настоящий момент полость трубопровода не заполнена нефтью/нефтепродуктом и перекачка не ведется.

Таблица 2

Возрастная структура магистральных газопроводов Республики Беларусь (по данным отдела эксплуатации ОАО «Газпром трансгаз Беларусь». Состояние на январь 2019 года)

| Срок ввода в эксплуатацию года | Протяженность газопроводов по диаметрам, км | | | | | | % от общей протяженности |
|--------------------------------|---|--------|--------|--------|-------|---------------|--------------------------|
| | Dy1400 | Dy1200 | Dy1000 | Dy700 | Dy500 | Dy400 и менее | |
| до 10 лет | 0,6 | 20,5 | 0 | 247,4 | 52,8 | 149,8 | 6 |
| 11–20 лет | 578,6 | 0 | 1,3 | 62,3 | 106,8 | 1631,4 | 30,1 |
| 21–30 лет | 364,9 | 207,8 | 211,5 | 190,0 | 135,4 | 832,5 | 24,6 |
| 31–40 лет | 0 | 813,5 | 91,9 | 357,3 | 125,2 | 370,8 | 22,3 |
| Свыше 40 лет | 0 | 829,2 | 8,3 | 187,5 | 221,6 | 102,5 | 17,1 |
| Итого | 944,1 | 1871,0 | 313,0 | 1044,5 | 641,8 | 3087,0 | 100 |

эффективных методов их ремонта, в первую очередь направленного на восстановление ударной вязкости сварных соединений. Выполнение ремонтных работ по восстановлению ударной вязкости сварных соединений может производиться во время проведения капитального ремонта магистрального трубопровода с заменой изоляции. Одним из наиболее простых методов восстановления ударной вязкости является проведение специальной термической обработки [5]. В полевых условиях данные работы могут производиться с помощью гибких индукционных подогревателей.

В связи с этим специалистами Белорусского национального технического университета и Полоцкого государственного университета ведутся исследования в данном направлении. Для определения технологических параметров проведения ремонтных работ сварных соединений длительно эксплуатируемых трубопроводов с помощью восстановительной термической обработки была проведена серия экспериментов на образцах, вырезанных из магистральных нефтепродуктопроводов Участок № 41 (Брянск–Дисна) Участок № 42 (Стальной Конь–Запад) ЧУП Запад–Транснефтепродукт. Термическая обработка проводилась в печи ПЛ 5/12,5. Образцы выдерживались при температуре 580, 630, 680 и 730 °С в течение 15, 30 и 60 минут с последующим охлаждением на спокойном воздухе. Дополнительный контроль температуры осуществлялся с помощью контрольной термопары. Исследования характеристик сопротивления хрупкому разрушению сварных соединений проводились на образцах с U-образным надрезом при помощи маятникового копра МК-30А согласно ГОСТ 9454, ГОСТ 6996.

Математическая обработка результатов проводилась в соответствии с рекомендациями [6]. Для описания связей между технологическими параметрами термической обработки (температура и время выдержки) и изменением ударной вязкости использовались методы математического моделирования, в частности методы многофакторного экспериментально-статистического моделирования. Для построения экспериментально-статистических моделей влияния параметров термической обработки на изменение ударной вязкости в исследуемой области применялся регрессионный анализ с использованием метода наименьших квадратов. Адекватность полученной модели оценивалась по критерию Фишера при 5%-м уровне значимости. Для построения математической модели была использована система статистической обработки результатов STATISTICA.

В результате регрессионного анализа получена полиномиальная экспериментально-статистическая модель прироста ударной вязкости ΔKCU в зависимости от температуры и времени выдержки образцов сварных соединений, которая описывается уравнением 1 и визуально представлена в виде трехмерной поверхности на рис. 2:

Рис. 1. Изменение ударной вязкости трубных сталей классов прочности К60 (а) и К52 (б) при эксплуатации трубопроводов [2]

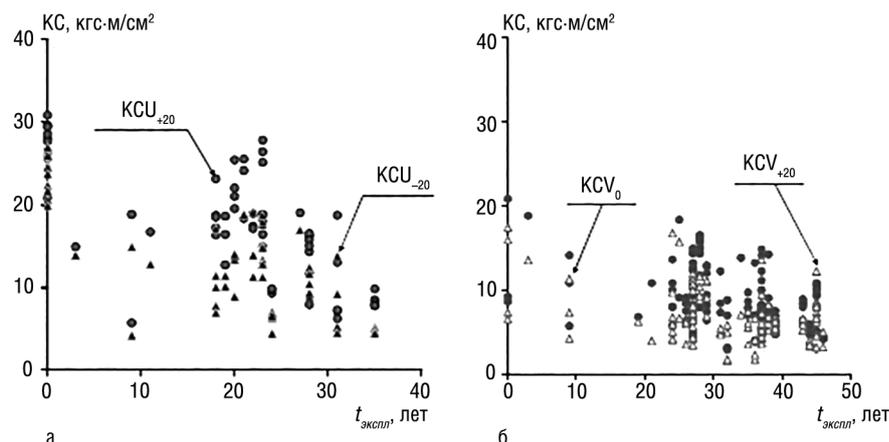
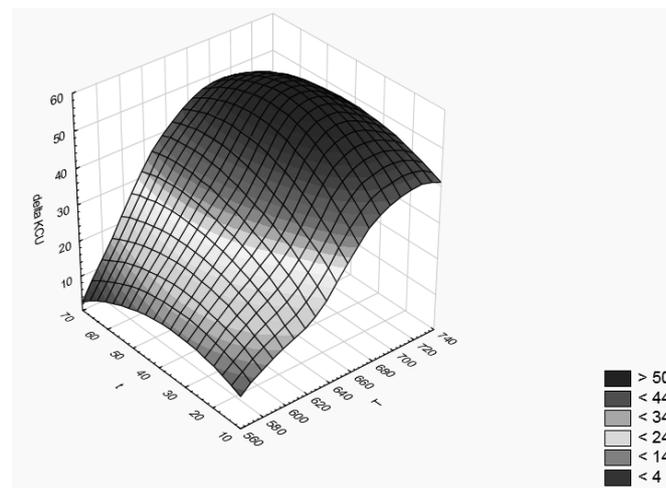


Рис. 2. Трехмерная поверхность зависимости прироста ударной вязкости от температуры и времени выдержки



$$\Delta KCU = -898,682 + 261,227 \cdot \frac{T}{100} - 18,267 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^2 + 0,734 \cdot t - 0,008t^2, \quad (1)$$

где T – температура термообработки, °С; t – время обработки, мин.

Как видно из представленного графика, максимальная эффективность выполнения ремонтных работ (по критерию повышения ударной вязкости сварных соединений магистральных трубопроводов) будет достигаться в случае их выдержки при температуре 680–700 °С в течение 40–50 минут. При этом рост ударной вязкости может достигать 50%, а качество проведения ремонтных работ в основном определяется температурой термической обработки, а не продолжительностью ее проведения.

Несколько меньший эффект от термической обработки по предложенному режиму заметен и для основного металла труб. В результате проведения ремонтных работ ударная вязкость металла труб возрастет на 35–45%, что положительно скажется на надежности магистрального трубопровода в целом.

Контроль твердости и испытания на статическое растяжение плоских образцов сварных соединений показали, что проведение ремонта способом термической обработки приводит к незначительному снижению значений твердости и предела прочности (менее 10%). Значения расчетных величин при этом остаются в пределах требований нормативных правовых актов. Изменения механических свойств подтверждаются изменениями микроструктуры и микротвердости структурных составляющих. При этом наиболее значительные изменения микроструктуры

наблюдаются в наиболее охрупченных областях металла сварных соединений.

Заключение

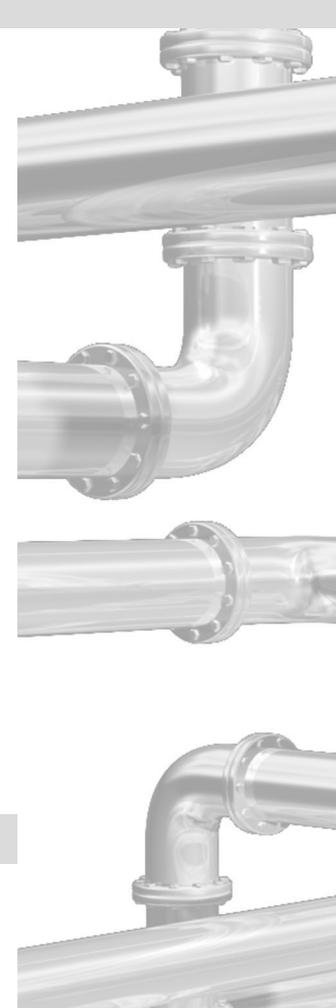
Предложен способ ремонта магистральных трубопроводов, находящихся в длительной эксплуатации, за счет восстановления ударной вязкости металла сварных соединений путем восстановительной термической обработки (по критерию гарантированного повышения ударной вязкости до нормативных значений).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванцов О.М. Надежность и безопасность магистральных трубопроводов России // Трубопроводный транспорт. 1997. № 10. С. 26–31.
2. Нохрин А.В., Чувильдеев В.Н. Старение сталей труб магистральных газопроводов // Вестник Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. 2010. № 5 (2). С. 171–180.
3. Гумеров А.Г., Зайнуллин Р.С., Ямалеев К.М. и др. Старение труб нефтепроводов. М.: Недра, 1995. 218 с.
4. Бордовский А.М., Воробьев В.В., Сосновский Л.А. Прочностная надежность линейной части нефтепровода. Гомель: НПО ТРИБОФАТИКА. 2004. 114 с.
5. Патент Республики Беларусь № 18468 МПК C21D 9/50, C21D 9/08, C21D 9/14, B23P 6/00 Способ восстановления ударной вязкости кольцевого сварного соединения магистрального трубопровода / Снарский А.С., Янушонок А.Н. Опубл. 30.08.2014. Афіцыйны бюлетэнь № 4.
6. Никитин В.И. Моделирование и вычислительный эксперимент в строительно-технологических задачах: учеб. пособие. Брест: БГТУ. 2001. 167 с.

REFERENCES

1. Ivantsov O.M. Reliability and safety of the main pipelines of Russia. *Truboprovodnyy transport*, 1997, no. 10, pp. 26–31 (In Russian).
2. Nokhrin A.V., Chuvil'deyev V.N. Aging of steel pipes of gas pipelines. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*, 2010, no. 5 (2), pp. 171–180 (In Russian).
3. Gumerov A.G., Zaynullin R.S., Yamaleyev K.M. *Stareniye trub nefteprovodov* [Aging of oil pipelines]. Moscow, Nedra Publ., 1995. 218 p.
4. Bordovskiy A.M., Vorob'yev V.V., Sosnovskiy L.A. *Prochnostnaya nadezhnost' lineynoy chasti nefteprovoda* [Strength reliability of the linear part of the pipeline]. Gomel, NPO TRIBOFATIKA Publ., 2004. 114 p.
5. Snarskiy A.S., Yanushonok A.N. *Sposob vosstanovleniya udarnoy vyazkosti kol'tseвого svarnogo soyedineniya magistral'nogo truboprovoda* [A method for restoring the toughness of an annular welded joint of a trunk pipeline]. Patent BR, no. 18468, 2014.
6. Nikitin V.I. *Modelirovaniye i vychislitel'nyy eksperiment v stroitel'no-tekhnologicheskikh zadachakh* [Modeling and computational experiment in construction and technological problems]. Brest, BGTU Publ., 2001. 167 p.



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Снарский Андрей Станиславович, к.т.н., доцент, начальник Центра развития инженерного образования и организации учебного процесса, Белорусский национальный технический университет.

Янушонок Александр Николаевич, ст. преподаватель кафедры трубопроводного транспорта и гидравлики, Полоцкий государственный университет.

Andrey S. Snarskiy, Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof., Head of the Center for the Development of Engineering Education and the Organization of the Educational Process, Belarusian National Technical University.

Alexander N. Yanushonok, Senior Lecturer of the Department of Pipeline Transport and Hydraulics, Polotsk State University.