

УДК 621.643.03: 620.179.18

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ МОНТАЖА КЛЕЕСВАРНОЙ МУФТЫ НА МАГИСТРАЛЬНОМ ТРУБОПРОВОДЕ

Тымчик Г.С., Подолян А.А.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина
e-mail: a.podolian@i.ua

Предложен алгоритм расчета оптимального давления запрессовки самоотвердеющего вещества в подмуфтовое пространство клеесварной муфты, учитывающий геометрические и прочностные параметры усиливаемого трубопровода, муфты и самоотвердеющего вещества, а также технологические параметры формирования подмуфтового слоя. Создание оптимального давления при формировании подмуфтового слоя позволяет обеспечить максимальную эффективность муфтового усиления трубопровода.

Ключевые слова: муфта, неразрушающий контроль, магистральный газопровод.

Введение

Магистральные трубопроводы, находящиеся на позднем этапе эксплуатации, характеризуются повышенным риском отказов и аварий из-за снижения прочности стенок участков трубопроводов ввиду появления коррозионных и усталостных дефектов. Использование традиционных методов ремонта, предусматривающих замену дефектных или подлежащих усилению участков (например, при необходимости перевода трубопровода в более высокую категорию), оказывается малоэффективным из-за вынужденного простоя трубопровода, неизбежных потерь определенных объемов газа и высокой стоимости ремонтных работ.

Наиболее распространенным и эффективным методом усиления участков трубопровода является установка на них бандажей, герметичных муфт, а также муфт с внутренним наполнением [1, 2]. Бандажи, иногда называемые полноохватывающими муфтами, не имеют жесткого крепления к телу трубы и используются, как правило, в качестве временной меры усиления стенки трубопровода при наличии продольно ориентированных дефектов. В отличие от них, герметичные муфты имеют крепление с трубопроводом, что обеспечивает снижение не только кольцевых, но и продольных напряжений. Однако метод усиления участков

трубопроводов с помощью бандажей или герметичных муфт имеет существенные ограничения, связанные с необходимостью существенного снижения давления в трубопроводе во время проведения работ и сложностью плотного обжатия муфтой ремонтируемой трубы при использовании конструкций с большой толщиной стенки. Наиболее эффективным методом усиления действующего трубопровода является использование муфт с внутренним наполнением, для формирования подмуфтового слоя которых используется полимерное самоотвердеющее вещество [3–5]. От правильности монтажа муфт зависит эффективность, безопасность эксплуатации, надежность и долговечность ремонтируемого магистрального трубопровода высокого давления.

Целью данной статьи являлась разработка алгоритма обработки данных системы контроля монтажа клеесварной муфты на магистральном трубопроводе.

Параметры клеесварной муфты, подлежащие контролю

Монтаж клеесварной муфты на трубопроводе выполняется в несколько этапов: непосредственно изготовление деталей узлов, составляющих конструктив муфты; последовательный монтаж составных частей муфты на

усиливаемой трубе и скрепление их между собой; формирование подмуфтового слоя. Технические операции контроля качества элементов муфты и их соединений хорошо изучены [6]. Наиболее важный этап монтажа муфты на трубопроводе – формирование подмуфтового слоя. Подмуфтовый слой предназначен для передачи части нагрузки с усиливаемой трубы на внешнюю оболочку муфты. От его параметров зависит качество всей муфтовой конструкции. При некорректно выбранных прочностных параметрах подмуфтового слоя или технологических параметрах его формирования эффективность усиления трубопровода в лучшем случае будет низкой. В экстремальных случаях не исключен вариант физического разрушения трубопровода. Очевидно, что при формировании подмуфтового слоя из материала, имеющего большую сжимаемость (например, воздуха), муфтовая конструкция свои функции выполнять не будет. Создание повышенного давления в подмуфтовом пространстве частично или даже полностью разгрузит усиливаемую трубу при фиксированном давлении в трубопроводе, но может вызвать недопустимые напряжения в стенке трубы при изменении рабочего давления. Неучтенная усадка (расширение) материала подмуфтового слоя в процессе твердения может также привести как к снижению эффективности ремонта в целом, так и к появлению недопустимых напряжений в усиливаемой трубе. В связи с этим процесс монтажа муфты на действующий трубопровод должен контролироваться, при этом особому контролю должен подвергаться этап формирования подмуфтового слоя. Система контроля качества монтажа клеесварной муфты должна в ходе выполнения работ проводить сравнение текущих значений информационных параметров, характеризующих фактическое состояние трубопровода, усиленного муфтовой конструкцией, со значениями, обеспечивающими максимальную эффективность муфтового ремонта [6, 7].

Основным критерием эффективности муфтового усиления трубопровода является степень снижения напряжений в усиливаемой тру-

бе (степень усиления трубопровода) $\frac{\sigma_{Tp}}{\sigma_{T0}}$ при равномерном распределении нагрузки между трубой и муфтой, где σ_{T0} – кольцевые напряжения растяжения в стенке трубы без муфты

при рабочем давлении P_p ; σ_{Tp} – кольцевые напряжения растяжения в стенке трубы с установленной муфтой при рабочем давлении P_p . Максимальное значение данного критерия эффективности достигается при выполнении условия:

$$P_{MV0} = \frac{P_y}{k} + \Delta P, \quad (1)$$

где P_{MV0} – давление в подмуфтовом пространстве на момент окончания запрессовки самотвердеющей массы; P_y – давление в трубопроводе на момент окончания запрессовки в подмуфтовое пространство самотвердеющей массы; k – коэффициент связи; ΔP – величина снижения давления в подмуфтовом пространстве из-за усадки или расширения самотвердеющей массы в процессе твердения.

В работах [6, 8] приведен вывод выражения для коэффициента связи k , которое может быть представлено в упрощенном виде:

$$k = 1 + \frac{4 \cdot \delta_T \cdot \delta_{III} \frac{E_M}{E_{III}}}{1 - \mu_{III}^2 \cdot D_T^2} + \frac{D_M^2 \cdot \delta_T}{D_T^2 \cdot \delta_M} \cdot \frac{1}{1 - 3\mu_{III}^2}. \quad (2)$$

где D_T – внутренний диаметр трубопровода (рисунок 1); $E_M \approx E_T$ – модуль упругости материала муфты и трубы; E_{III}, μ_{III} – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала подмуфтового слоя; δ_T – толщина стенки трубы; δ_M – толщина стенки бандажа; δ_{III} – толщина подмуфтового слоя, которая определяется установочной глубиной подмуфтового пространства δ_{IIIH} и давлением P_{MV} запрессовки самотвердеющего вещества в подмуфтовое пространство:

$$\delta_{III} = \delta_{IIIH} + \frac{P_{MV}}{4 \cdot E_T} \times \left(\frac{D_T^2}{\delta_T} + \frac{(D_T + 2 \cdot \delta_T + 2 \cdot \delta_{IIIH})^2}{\delta_M} \right). \quad (3)$$

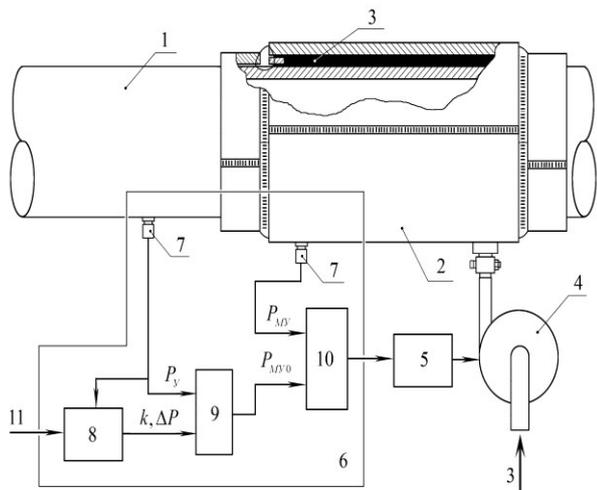


Рисунок 1 – Функциональная схема системы формирования подмуфтового слоя: 1 – трубопровод; 2 – оболочка муфты; 3 – самотвердеющее вещество; 4 – нагреватель; 5 – система управления; 6 – система контроля; 7 – датчики давления; 8 – вычислитель текущих значений; 9 – вычислитель значения оптимального давления в подмуфтовом пространстве; 10 – анализатор; 11 – данные о параметрах муфтовой конструкции

Таким образом, из выражений (1–3) оптимальное давление заполнения подмуфтового пространства определяется, в первую очередь, давлением внутри трубопровода на момент монтажа муфты и величиной коэффициента связи. Вместе с тем величина коэффициента связи зависит от глубины подмуфтового пространства, которая, в свою очередь, зависит от давления запрессовки самотвердеющего вещества в подмуфтовое пространство [6–8].

Алгоритм контроля монтажа клееварной муфты

Организация контроля качества монтажа муфты по результатам замеров давлений поясняется функциональной схемой системы [6], представленной на рисунке 1.

В вычислителях системы контроля 6, функционально включающих вычислитель 8 значений ΔP и k и вычислитель 9 значения оптимального давления в подмуфтовом пространстве, осуществляется решение взаимосвязанных уравнений (1–3). Алгоритм обработки данных представлен на рисунке 2.

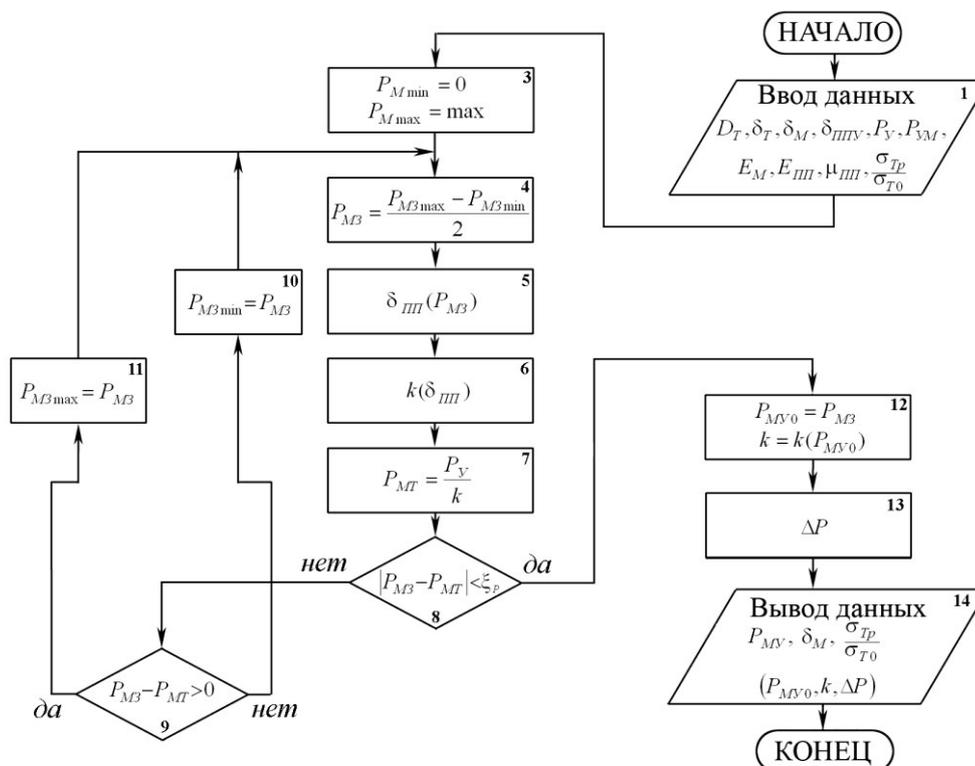


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма оценки эффективности ремонта и расчета основных технологических параметров запрессовки самотвердеющего вещества в подмуфтовое пространство

В блоке 1 в программу вводятся данные о геометрических и прочностных параметрах трубопровода и муфты, данные о характеристиках самотвердеющего вещества, данные о давлениях в трубопроводе, при которых осуществляется монтаж муфты и заполнение ее подмуфтового пространства. В блоках 3–12 осуществляется расчет коэффициента связи и оптимального давления запрессовки самотвердеющего вещества в подмуфтовое пространство без учета ее усадки или расширения при твердении. Оптимальное давление запрессовки самотвердеющей массы в подмуфтовое пространство P_{MVO} рассчитывается по формуле (1), которая, наряду со значением давления в трубопроводе, при котором производится заполнение подмуфтового пространства, учитывает и коэффициент связи. В свою очередь, коэффициент, рассчитываемый в блоке 6 по формуле (2), зависит от глубины подмуфтового пространства, определяемого в блоке 5 по формуле (3), и от показателя сжимаемости самотвердеющего вещества, которые, в свою очередь, зависят от давления в подмуфтовом пространстве. В связи с взаимозависимостью значений коэффициента, глубины подмуфтового пространства и оптимального давления в подмуфтовом пространстве, их расчет проводится в результате многочисленных итераций методом половинчатого разбиения (блоки 4, 9, 10, 11) до момента, когда погрешность вычислений не станет меньше некоторого заранее заданного значения (блок сравнения 8). В блоках при расчетах используются промежуточные заданные и текущие значения давления в подмуфтовом пространстве P_{M3max} , P_{M3min} , P_{M3} , P_{MT} .

Учет усадки (расширения) самотвердеющего вещества в процессе твердения проводится в блоке 13 предлагаемого алгоритма. В блоке 14 потребителю выдаются данные о величине оптимального давления запрессовки самотвердеющего вещества в подмуфтовое пространство и значение обеспечиваемой степени снижения механических кольцевых напряжений в стенке усиливаемой трубы $\frac{\sigma_{Tp}}{\sigma_{T0}}$ при заданных параметрах трубопровода, муфты и подмуфтового слоя.

Заключение

Предложен алгоритм обработки данных в вычислителе системы контроля качества монтажа клеесварной муфты на магистральном трубопроводе высокого давления, позволяющий рассчитать оптимальные параметры формирования подмуфтового слоя, обеспечивающие максимальную эффективность муфтового усиления трубопровода.

Список использованных источников

1. ВБН В.3.1-00013741-07 Магистральные нефтепроводы. Методы ремонта дефектных участков. – К. : НАК «Нефтегаз Украины», 2007. – 110 с.
2. Гумеров, А.Г. Аварийно-восстановительный ремонт магистральных нефтепроводов / А.Г. Гумеров [и др.] ; под ред. А.Г. Гумерова. – М. : Недра-Бизнесцентр, 1998. – С. 88–91.
3. Pat. GB 2210134 United Kingdom, UK CL (Edition J) F16L55/18 Method of repairing a pipe / William Pallan ; date of filing 21.09.1987 ; date of A publication 01.06.1989.
4. Пат. на винахід 81895 Україна, МПК (2006) F16L 55/18. Спосіб ремонту трубопроводу в умовах експлуатації / В.С. Бут [та ін.]. – опубл. 11.02.2008, бюл. № 3.
5. Пат. на изобретение 2451233 Российская Федерация, МПК (2006) F16L 55/175. Способ ремонта действующего трубопровода (варианты) / В.С. Бут [и др.]. – опубл. 20.05.2012, бюл. № 14.
6. Тымчик, Г.С. Система контроля качества монтажа клеесварной муфты на магистральном газопроводе высокого давления газопроводов / Г.С. Тымчик, А.А. Подолян // Научные вести национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». – Киев : Издательство НТУУ «КПИ», 2012. – Вып. 6. – С. 138–144.
7. Тымчик, Г.С. Экспериментальные исследования эффективности усиления участка трубопровода высокого давления муфтой с внутренним наполнением / Г.С. Тымчик, А.А. Подолян, С.В. Пудрий // Сборка в машиностроении, приборостроении. – М. : Машиностроение, 2013. – Вып. 4. – С. 35–39.
8. Пат. на винахід 98440 Україна, МПК (2006) F16L 55/175. Спосіб ремонту діючого трубопроводу за допомогою муфт з внутрішнім заповненням / І.В. Ориняк [та ін.]. – опубл. 10.05.2012, бюл. № 18.

**MONITORING SYSTEM DATA PROCESSING ALGORITHM OF WELD-BONDED
COUPLING INSTALLATION OF THE MAIN PIPELINES**

Tymchik G.S., Podolian A.A.

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»
Kyiv, Ukraine
e-mail: a.podolian@i.ua

Abstract. The algorithm for optimal press-in sessions calculations of self-hardening substance in weld-bonded coupling space, considering geometric and strength parameters of the strengthen pipe-line, coupling and self-hardening substance, as well as operational parameters of coupling space layer has been proposed. Optimal pressure creation white coupling space layer forming ensures maximum pipe-line coupling strengthening efficiency.

Keywords: coupling, nondestructive testing, gas pipeline.

References

1. VBN V.3.1-00013741-07 *Magistral'nyye nefteprovody. Metody remonta defektnykh uchastkov* [Trunk pipelines. Methods of repair of defective areas]. Kiev. National Joint Stock Company «Naftogaz of Ukraine», 2007, 110 p. (In Russian).
2. Gumerov A.G., Ahmetov H.A., Gumerov R.S., Vekshtejn M.G. *Avariyno-vosstanovitel'nyy remont magistral'nykh nefteprovodov* [Emergency recovery repair of main oil pipelines]. Moscow, Nedra-Biznescentr Publ., 1998. 272 p. (In Russian).
3. William Pallan. *Method of repairing a pipe*. Patent United Kingdom. no. 2210134 United Kingdom, 1989.
4. But V.S., Lokhman I.V., Andriishyn N.M., Rudko V.V., Boiko L.Y., Biakov O.M., Matiash V.I., Podolian A.A., Pudryi S.V., Tomashuk O.I. *Sposib remontu truboprovodu v umovah yekspluatacii'* [Method for repair of pipeline under conditions of operation]. Patent Ukraine, no. 81895, 2008.
5. But V.S., Lokhman I.V., Andriishyn N.M., Rudko V.V., Boiko L.Y., Biakov O.M., Matiash V.I., Drogomireckij M.N., Podolian A.A., Pudryi S.V., Tomashuk O.I. *Sposob remonta deystvuyushchego truboprovoda (varianty)* [Repair method of pipeline in operation (versions)]. Patent RF, no. 2451233, 2012.
6. Tymchik G.S., Podolian O.O. [The Quality Control System Installation Glued-Welded Joint on the Trunk Gas Pipeline Under the High Pressure]. *Research Bulletin of National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»*. Kiev, 2012, no. 6, pp.138–144 (In Russian).
7. Tymchik G.S., Podolian A.A., Pudryi S.V. [Experimental researches of the strengthening efficiency pipeline under the high pressure coupling with internal content]. *Assembly in mechanical engineering, instrument-making*. Moscow, 2013, no. 4, pp. 35–39 (In Russian).
8. Oryniak I.V., Podolian A.P., Pudrii S.V., Tymchik G.S., Podolian O.O., Oryniak A.I. *Sposib remontu diyuchogo truboprovodu za dopomogoyu mufti z vnutrishnim zapovnennyam* [Method for repair of operating pipeline by means of couplings with inner filling]. Patent Ukraine, no. 98440, 2012.

Поступила в редакцию 18.11.2013.