

техника и оборудование, которые должны использоваться при аварии на этом участке, планы производства работ, вопросы охраны труда и т.д.

Сегментирование трассы нефтепровода позволяет условно рассматривать нефтепровод как совокупность самостоятельных и независимых опасных производственных объектов. Выявление внутри автономных участков локальных отрезков трассы позволяет осуществлять обоснованный выбор технологических процессов и технических средств, используемых для проведения в конкретных условиях работ по предотвращению загрязнения водных объектов, локализации и сбору разлившейся нефти.

Данный способ сегментирования применим не только к существующим нефтепроводам, но и должен использоваться при разработке планов строительства новых объектов.

Модели для оценки и прогнозирования загрязнений водосборных бассейнов находят применение не только в научных исследованиях, но и в инженерной практике. Развитие природоохранного законодательства и возросшее экологическое сознание общества требуют при освоении территории принимать во внимание не только экономическую целесообразность проектов, но и оценивать их возможное влияние на экологическое состояние водных объектов, на водосборах которых планируется строительство.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Черняев, В.Д. Ликвидация аварий на подводных переходах / В.Д. Черняев, К.А. Забела // Трубопроводный транспорт нефти. – 1995. – № 3 – С. 6 – 10.
2. Безопасность пересечений трубопроводами водных преград / К.А. Забела, [и др.]; под общ. ред. К.А. Забелы. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 195 с.
3. Чеботарев, А.И. Общая гидрология (вода суши) / А.И. Чеботарев. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 543 с.

УДК 621.7:621.64(476)

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПУТЕМ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

**М.В. ДРОЗДЕЦКИЙ**

(Представлено: А.Н. ЯНУШОНОК)

*Представлена общая характеристика магистральных трубопроводов Республики Беларусь. Исследовано их состояние, рассмотрены основные мероприятия по поддержанию прочности трубопроводов, существующие на данный момент. Также предложен новый эффективный способ поддержания прочности трубопроводов методом восстановительной термической обработки.*

Проведенный анализ показал, что в Республике Беларусь эксплуатируется в однократном исчислении 11381,5 км магистральных трубопроводов. Из них 66,5 % (7490 км) – магистральные газопроводы, 6,9 % (781,5 км) – магистральные нефтепродуктопроводы, 26,6 % (2996,5 км) – магистральные нефтепроводы. Пик их сооружения пришелся на начало семидесятых годов, что определило возрастную структуру современной системы (рис. 1).

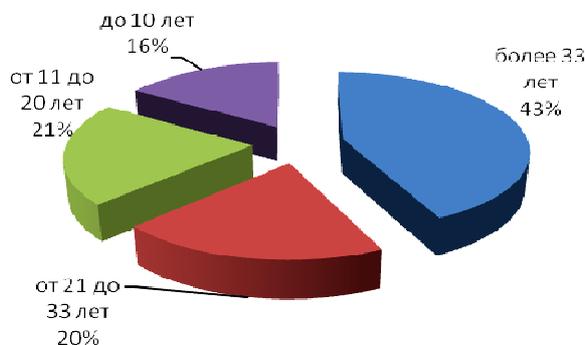


Рис. 1. Возрастная структура магистральных трубопроводов Республики Беларусь

Установлено, что 80 % эксплуатируемых в Республике Беларусь магистральных трубопроводов, транспортирующих жидкие углеводороды, и более 25 % магистральных газопроводов работают за пре-

делами расчетного ресурса. Еще 25 % магистральных газопроводов вплотную подошли к данному возрасту. При этом часть магистральных трубопроводов построены в начале 60-х годов XX века и срок их эксплуатации приближается к 50 годам. Таким образом, характерной чертой эксплуатируемой системы транспорта углеводородов является ее прогрессирующее старение, что увеличивает вероятность аварии и требует оценки фактического состояния металла труб с целью обеспечения дальнейшей безопасной эксплуатации.

Наиболее характерной особенностью проявления старения трубных сталей является снижение ударной вязкости металла, в значительной мере определяющей надежность магистральных трубопроводов. Качественные зависимости указанного снижения практически одинаковы для основных отечественных трубных сталей: через 30 лет эксплуатации ударная вязкость снижается в 3–5 раз и ее значения могут оказаться ниже требуемого уровня установленного СНиП 2.05.06. При этом указанные изменения наиболее существенны для металла сварных соединений. Из-за значительного снижения уровня ударной вязкости увеличивается потенциальная возможность возникновения и роста трещин, а, следовательно, возрастает вероятность аварийного разрушения.

В настоящее время основными мероприятиями по поддержанию прочностной надежности линейной части магистральных трубопроводов являются: испытания повышенным давлением, выборочный ремонт по результатам диагностических обследований и замена существующих трубопроводов. Однако каждый из перечисленных методов имеет ряд существенных недостатков. Кроме того, применение данных методов не позволяет решить проблему сохранения надежности магистральных трубопроводов исходя из критерия поддержания требуемого уровня значений ударной вязкости, а тотальная замена линейной части требует, значительных капиталовложений и не всегда целесообразна.

Для определения технологических параметров (время и температура) восстановительной термической обработки магистральных трубопроводов, подвергшихся длительной эксплуатации, были изготовлены образцы размером 55×10×2 мм, которые подвергались термической обработке отдельными партиями при температуре 580, 630, 680 и 730 °С в течение 15, 30 и 60 минут, и охлаждению на спокойном воздухе. Исследования характеристик сопротивления ударному воздействию сварных соединений проводились на образцах с U-образным надрезом при помощи маятникового копра МК-30А согласно ГОСТ 9454 и ГОСТ 6996.

Выявлено, что время выдержки незначительно влияет на повышение ударной вязкости: в целом с увеличением продолжительности термической обработки наблюдается увеличение ударной вязкости сварного соединения. Наиболее существенный прирост происходит при увеличении времени выдержки с 15 до 30 минут. Дальнейшее увеличение до 60 минут при росте энергозатрат на проведение восстановительной термической обработки приводит к меньшему росту ударной вязкости, а в некоторых случаях и к незначительному снижению по сравнению с 30 минутной обработкой.

Постепенное увеличение температуры ведет к более интенсивному повышению значений ударной вязкости, по сравнению с увеличением времени выдержки и достигает своего максимума при температуре 680 °С. Дальнейшее повышение температуры до 730 °С приводит к ее снижению. На рисунке 2 представлена зависимость изменения значений ударной вязкости сварного соединения при низком отжиге в зависимости от температуры и времени термической обработки.

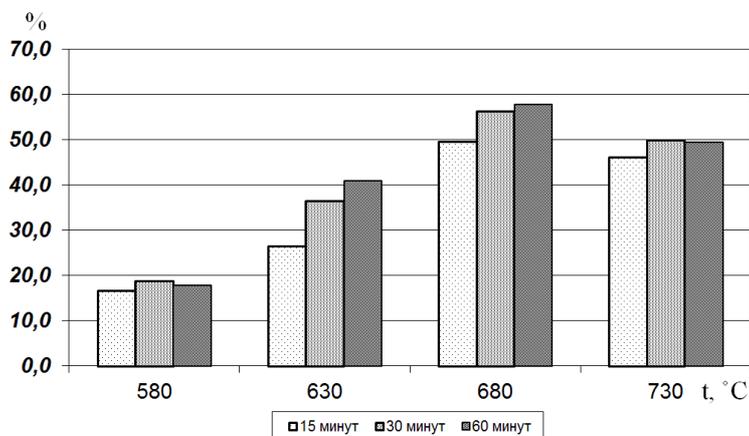


Рис. 2. Изменение значений ударной вязкости сварного соединения при низком отжиге

Контроль твердости и испытания на статическое растяжение плоских образцов сварных соединений до и после проведения восстановительной обработки в соответствии с ГОСТ 6996 показали, что вос-

становительная термическая обработка приводит к незначительному снижению значений твердости и предела прочности (типичные значения представлены в таблице). При этом изменение значений предела прочности невелико и может не учитываться в прочностных расчетах.

Типичные значения изменения твердости  
и предела прочности сварных соединений труб магистральных трубопроводов

№	Режим термообработки		$\sigma_b$ , МПа		Твердость (сварной шов/ЗТВ), НВ	
	температура, °С	время выдержки, мин	до термообработки	после термообработки	до термообработки	после термообработки
1.	680	15	495	450	157/146	153/144
2.	680	30	467	447	168/177	156/166
3.	680	60	530	521,5	175/173	160/156

Эффективность термической обработки основного металла труб по предложенному режиму не много меньше по сравнению с термической обработкой сварных соединений (прирост ударной вязкости составил 50–55 % – для сварных соединений и 35–45 % для основного металла).

Исследования микроструктуры методом световой микроскопии с увеличениями  $100\times$ ,  $400\times$  и  $1000\times$  выявили отсутствие изменений размера зерна основного металла после проведения низкого отжига. Структура корневого и заполняющих слоев кольцевого сварного соединения в процессе сварки подвергаются рекристаллизации и имеют структуру близкую к равноосной, которая практически не изменяется при низком отжиге. На участке зоны термического влияния, подвергшемся в процессе сварки нормализации, значительных изменений после термической обработки в геометрии структурных составляющих не наблюдается. Особенности кристаллизации облицовочного слоя сварного шва приводят к образованию дендритной структуры наплавленного металла, обладающей относительно низкими механическими свойствами. В результате термической обработки в этой области протекают процессы дробления дендритов и образования более энергетически выгодной и обладающей более высоким комплексом механических свойств ферритно-перлитной структуры. Зоны термического влияния основного металла представляют собой узкий участок перегрева (видманштеттова структура) переходящий в участок нормализации. Феррит и цементит на участке перегрева образует длинные иглы. Данные структуры обладают низкими пластическими и вязкими свойствами, т.е. склонны к хрупкому разрушению. Под воздействием высокой температуры наблюдается исправление этой структуры (закругление игл), что приводит к возрастанию ударной вязкости.

Реализация подобной термической обработки в производстве ремонтных работ выглядит следующим образом: специальный нагревательный элемент, представляющий собой манжету, покрывает интересующее сечение трубопровода, предварительно раскопанного и очищенного от изоляции с целью проведения ремонтных работ. Далее следует нагрев сечения с вышеописанными временными параметрами.

Таким образом, предложенный метод позволяет эффективно повысить параметры сварочных швов и металла трубы в случае, когда труба находилась в длительной эксплуатации. Такие меры особенно перспективны для применения в Республике Беларусь в связи с текущим состоянием трубопроводной системы. Однако требуется дополнительное изучение негативных явлений, возникающих при подобной термической обработке, в частности требуется оценка величины напряжений, возникающих в металле трубы при температурном расширении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мазур, И.И. Конструктивная надёжность и экологическая безопасность трубопроводов / И.И. Мазур, О.М. Иванцов, О.И. Молдованов. – М.: Недра, 1990. – 264 с.
2. Трещиностойкость металла труб нефтепроводов / А.Г. Гумеров [и др.]. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 231 с.
3. Липский, В.К. Методика восстановительной термической обработки магистральных трубопроводов, основанная на неразрушающей оценке фактического уровня механических свойств металла / В.К. Липский, А.Н. Янушонок, А.С. Снарский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Прикладные науки. – 2006. – № 12. – С. 93–96.
4. Методика исследования фактических дефектов элементов труб, выявленных по результатам диагностики магистральных нефтепродуктопроводов ОАО «АК «Транснефтепродукт» и определение их влияния на остаточный ресурс нефтепродуктопроводов: СО 11-04-АКТНП-008-2007. – М., 2007.