

Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21, № 3. С. 123-132. ISSN 2073-0128 (print)

Petroleum Engineering. 2023. Vol. 21. No. 3. P. 123-132. ISSN 2073-0128 (print)

Научная статья

УДК 622

DOI: 10.17122/ngdelo-2023-3-123-132

ПОЛИЭТИЛЕНОВЫЕ ГАЗОПРОВОДЫ: ПРОБЛЕМЫ И ОПЫТ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Сергей Николаевич Мартыненко, Вадим Валерьевич Захаров

АО «Гипрониигаз», Саратов, Россия

Автор, ответственный за переписку

Сергей Николаевич Мартыненко, niigaz@niigaz.ru

Аннотация. Все чаще и чаще в различных отраслях промышленности полимерные материалы приходят на смену конструкциям из металла. Не является исключением и газовая отрасль, одним из направлений развития которой стало внедрение полиэтиленовых труб взамен традиционных стальных. Этот процесс начался более полувека назад, и по данным на начало 2023 года на долю полиэтиленовых труб приходится около 49,5 % протяженности всех подземных газопроводов сетей газораспределения.

Основным очевидным преимуществом полиэтиленовых труб перед стальными является коррозионная стойкость, что позволяет эксплуатировать их без применения защитных антикоррозионных покрытий и средств электрохимической защиты. Прочностные свойства полиэтиленовых труб допускают возможность их эксплуатации при давлении газа вплоть до 1,2 МПа, что позволяет практически полностью обеспечить потребности сферы газораспределения. Технологии сварки полиэтиленовых труб хорошо отработаны, стандартизированы и автоматизированы.

Существенной проблемой для длительно эксплуатирующихся полиэтиленовых газопроводов является оценка их технического состояния и определение остаточного ресурса. Несмотря на имеющуюся потребность в работах подобного рода (к примеру, в 2022 г. только на территории Саратовской области требовалось проведение технического диагностирования 8 газопроводов общей протяженностью 39,86 км.), экспертные организации не располагают на сегодняшний день необходимым инструментом для реализации этой задачи. Хотя механизм старения полиэтилена хорошо известен, какие-либо общепринятые нормы оценки работоспособности полиэтиленовых газопроводов, основанные на комплексном учёте влияния факторов старения, определяющих их техническое состояние, отсутствуют.

Целью данной статьи является освещение опыта АО «Гипрониигаз» по техническому диагностированию полиэтиленовых газопроводов, а также привлечение внимания специалистов как газовой отрасли, так и академической науки к проблеме разработки методики технического диагностирования полиэтиленовых газопроводов.

Ключевые слова

полиэтиленовые газопроводы;
техническое диагностирование;
требования безопасности;
критерии оценки материала труб;
физико-механические свойства;
срок службы

Для цитирования

Мартыненко С.Н., Захаров В.В. Полиэтиленовые газопроводы: проблемы и опыт технического диагностирования // Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21, № 3. С. 123-132. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2023-3-123-132>.

Original article

POLYETHYLENE GAS PIPELINES: PROBLEMS AND EXPERIENCE OF TECHNICAL DIAGNOSTICS

Sergey N. Martynenko, Vadim V. Zakharov

Giproniigaz JSC, Saratov, Russia

Corresponding author

Sergey N. Martynenko, niigaz@niigaz.ru

Abstract. More and more often in various industries, polymer materials are replacing metal structures. The gas industry is no exception, one of the areas of development of which was the introduction of polyethylene pipes to replace traditional steel pipes. This process began more than half a century ago, and according to data at the beginning of 2023, polyethylene pipes account for about 49.5 % of the length of all underground gas pipelines of gas distribution networks.

The main obvious advantage of polyethylene pipes over steel pipes is corrosion resistance, which allows them to be operated without the use of protective anticorrosive coatings and electrochemical protection means. The strength properties of polyethylene pipes allow their operation at gas pressure up to 1.2 MPa, which makes it possible to almost fully meet the needs of the gas distribution sphere. The welding technologies of polyethylene pipes are well developed, standardized and automated.

An important problem for long-term operating polyethylene gas pipelines is the assessment of their technical condition and determination of the residual life. Despite the existing need for work of this kind (for example, in 2022 only in the territory of the Saratov region it was required to carry out technical diagnostics of 8 gas pipelines with a total length of 39.86 km), expert organizations do not have the necessary tool for implementing this task today. Although the mechanism of aging of polyethylene is well known, there are no generally accepted standards for assessing the performance of polyethylene gas pipelines based on a comprehensive accounting of the influence of aging factors that determine their technical condition.

The purpose of this article is to highlight the experience of Giproniigaz JSC in technical diagnostics of polyethylene gas pipelines, as well as to draw the attention of specialists from both the gas industry and academic science to the problem of developing a methodology for technical diagnostics of polyethylene gas pipelines.

Keywords

polyethylene gas pipelines; technical diagnostics; safety requirements; Pipe material valuation criteria physical and mechanical properties; service life

For citation

Martynenko S.N., Zakharov V.V. Polietilenovye gazoprovody: problemy i opyt tekhnicheskogo diagnostirovaniya [Polyethylene gas pipelines: problems and experience of technical diagnostics] // *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2023, Vol. 21, No. 3. pp. 123-132. [in Russian]. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2023-3-123-132>.

Техническое диагностирование длительно эксплуатируемых сетей газораспределения является одним из ключевых элементов системы обеспечения промышленной безопасности. Обязательность проведения технического диагностирования полиэтиленовых газопроводов сетей газораспределения, являющихся опасными производственными объектами, продиктована требованиями Федерального закона № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [1]. Понимая опасность при-

родного газа, как транспортируемого по газопроводам продукта, газораспределительные организации, несущие ответственность за безопасную эксплуатацию объектов сетей газораспределения, заинтересованы в принятии обоснованных решений о возможности, продолжительности и условиях дальнейшей безопасной эксплуатации полиэтиленовых газопроводов всех категорий давления. Экспертные организации, проводящие техническое диагностирование полиэтиленовых газопроводов, принимают на себя ответственность за

объективность выводов, формируемых по его результатам. При наличии обязательных нормативных требований о необходимости проведения технического диагностирования полиэтиленовых газопроводов, осознании всей полноты ответственности со стороны газораспределительных и экспертных организаций за объективность принятых решений, основным препятствием на пути выполнения поставленной задачи является отсутствие единой научно-обоснованной методики.

В сложившейся ситуации АО «Гипрониигаз» была разработана «Методика оценки технического состояния стальных и полиэтиленовых газопроводов», утвержденная в качестве стандарта организации СТО Газпром газораспределение 2.11-2020 [2]. При разработке данного документа использовались сведения от газораспределительных организаций об опыте эксплуатации полиэтиленовых газопроводов, а также экспертные оценки ведущих специалистов в области газораспределения. Данная методика не позволяет количественно определить остаточный ресурс полиэтиленового газопровода, а дает лишь возможность качественно оценить его техническое состояние с учетом сведений о технических характеристиках, условиях прокладки газопровода и его повреждениях в ретроспективный период.

Таким образом, на сегодняшний день общепризнанные критерии оценки технического состояния и прогнозирование его изменения не определены, что в итоге затрудняет объек-

тивную оценку остаточного срока службы находящихся в эксплуатации полиэтиленовых газопроводов. Несмотря на имеющийся научно-технический потенциал предприятий-изготовителей полимерной продукции, научно-исследовательских институтов, вузов, экспертных организаций, по нашему мнению, развитию научных основ технического диагностирования полиэтиленовых газопроводов уделяется недостаточное внимание.

Занимаясь техническим диагностированием полиэтиленовых газопроводов по индивидуальным программам, АО «Гипрониигаз» предпринимает попытки накопления и систематизации имеющегося опыта с целью формирования базы для последующих исследований, направленных на решение обозначенной проблемы. Рассмотрим некоторые результаты технического диагностирования действующих газопроводов, позволяющие сформировать предположения о механизмах динамики изменения физических и эксплуатационных свойств полиэтиленовых труб.

В 2022 г. выполнены работы по техническому диагностированию двух достаточно протяженных полиэтиленовых межпоселковых газопроводов, введенных в эксплуатацию на территории Красноармейского района Саратовской области в 1985 и 1988 гг. (таблица 1).

В связи с отсутствием стандартизированных методик экспертные работы по исследованию эксплуатационной надежности газопроводов проводились по специальным про-

Таблица 1. Данные об объектах технического диагностирования

Table 1. Data on technical diagnostics objects

Характеристика газопровода	Наименование газопровода	
	Красноармейск — Ваулино	Луганское — Мордовое
Дата приемки в эксплуатацию	сентябрь 1985	октябрь 1988
Срок эксплуатации до проведения технического диагностирования, лет	37	34
Тип труб	160 «Т» (SDR11)	110 «Т» (SDR11)
Стандарт на трубы	ГОСТ 18599-73 [3]	ТУ 6-19-051-538-85 [4]
Изготовитель труб	ПО «Оргсинтез» (г. Казань)	Завод пластмассовых изделий (г. Вильнюс)
Дата изготовления труб	1984	июль 1986
Период строительства	май — сентябрь 1985	июль — октябрь 1988
Протяженность, км	8,331	13,090
Давление газа, максимальное проектное, МПа	0,60	0,60
Давление газа, фактическое, МПа	0,40	0,30

граммам, разработанным с целью оценки степени изменения полимерным материалом своих физико-химических и механических свойств, характеризующих способность труб противостоять разрушающим факторам старения и их достаточности для обеспечения дальнейшей эксплуатации. Основной упор делался на использование разрушающих испытаний, поскольку существующие методы неразрушающего контроля неприменимы для определения характеристик полиэтиленовых труб, за исключением геометрических параметров.

Проведенные исследования показали совершенно различные результаты прогнозирования срока службы, обусловленные изначальными характеристиками труб по ГОСТ 18599-73 и ТУ 6-19-051-538-85, из которых были построены эти газопроводы.

Так, в результате проведенных работ по газопроводу из труб по ТУ 6-19-051-538-85 (от АГРС села Луганское до села Мордовое) было установлено, что эти трубы не только сохранили свои изначально высокие физико-механические характеристики, но даже заметно улучшили свои пластические свойства. Показатель относительного удлинения при разрыве в среднем стал лучше на 26 % при одновременном снижении предела текучести приблизительно на 12 %. Высокие показатели пластичности позволяют полиэтиленовым трубам эффективно противостоять возможности хрупкого разрушения, что подтверждается отсутствием аварий на данном газопроводе за все время эксплуатации. Проведенные испытания на длительную гидростатическую прочность с определением величины разрушающего напряжения (σ_{LTHS}), показали, что нижняя граница предела надёжности (σ_{LCL}) исследованных труб ПВП по ТУ 6-19-051-538-85 при сроке эксплуатации 34 года труб находится на отчетливом расстоянии от минимально допустимого значения длительной гидростатической прочности 6,3 МПа (рисунок 1). Проверка прочности от совместного действия всех нагрузок силового и деформационного воздействий, проведенная по [5], подтвердила возможность продления срока дальнейшей безопасной эксплуатации газопровода на 10 и более лет.

Иные результаты показали использованные при строительстве газопровода от города Красноармейска до села Ваулино трубы общетехнического назначения по ГОСТ 18599-73.

Трубы отличались нехарактерной для качественной продукции изменчивостью показателей относительного удлинения и предела текучести. В то же время, динамика изменения этих физико-механических свойств в сторону ухудшения если и имела место, то была слабозаметна. Скорее всего, на возможность продемонстрировать лучшие результаты повлияла дефектность материала труб — в объеме полимера выявлены многочисленные продольные трещины и поры длиной от 1,0 до 5,0 мм, возникшие, по-видимому, в процессе производства из-за нарушения технологии экструзии. Такие внешне не выявляемые дефекты, являющиеся зонами концентрации напряжений, ставили под сомнение эксплуатационную безопасность газопровода.

В ходе испытаний трубы из ПВП по ГОСТ 18599-73 продемонстрировали недостаточную сопротивляемость медленному развитию трещин, характеризующую долговечность газопровода. Склонность к хрупкому разрушению при наличии сосредоточенных воздействий на газопровод нагрузок от каменных включений грунта явилась причиной трех аварий с утечкой газа, произошедших на газопроводе в результате появления сквозных продольных трещин в теле труб.

Проведенными поверочными расчетами по допустимым продольным осевым напряжениям и по коэффициенту запаса прочности от максимального внутреннего давления было установлено, что при давлении газа 0,6 МПа трубы по ГОСТ 18599-73 не удовлетворяют необходимым требованиям безопасности. Полученная экспериментально-расчетным путем нижняя граница предела надёжности (σ_{LCL}) исследуемых труб не достигала 6,3 МПа (см. рисунок 1), что не позволяло говорить о приемлемых прочностных свойствах труб. Дополнительно проведенная качественная оценка технического состояния, выполненная по методике СТО Газпром газораспределение 2.11-2020 [2] показала ограниченно работоспособное состояние газопровода. В этом случае нормативными требованиями оговаривается необходимость реконструкции (перекладки) газопровода в возможно короткие сроки.

Полученные результаты исследований показали невозможность продления жизненного цикла газопровода от г. Красноармейска до с. Ваулино более чем на трехлетний период. В целях безопасности фактическое рабочее

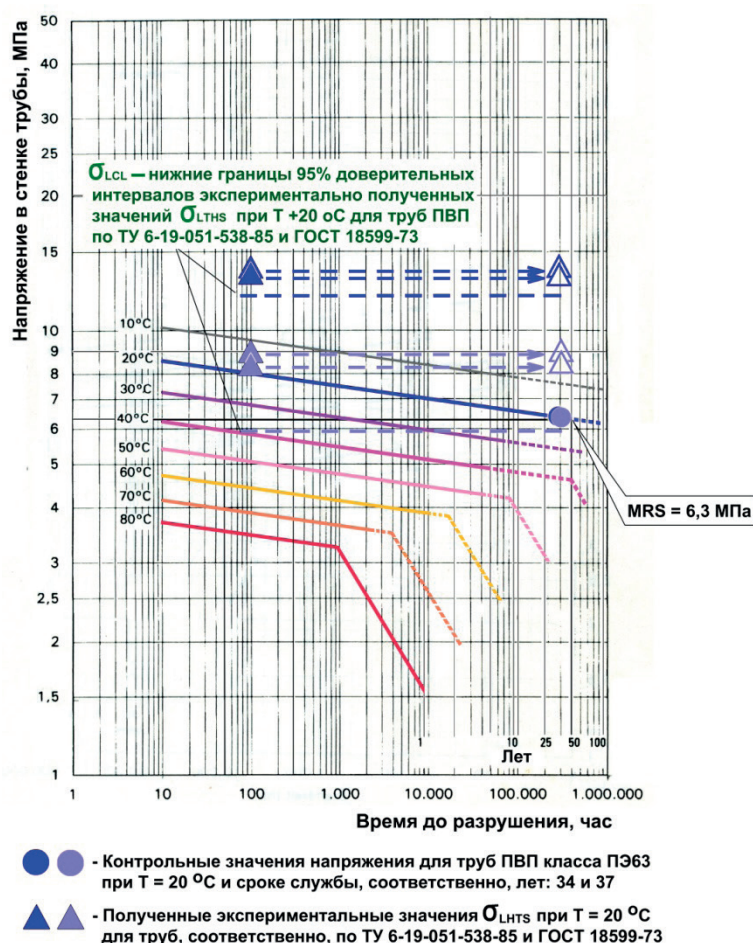


Рисунок 1. Результаты испытаний образцов труб ПВП по ТУ 6-19-051-538-85 и ГОСТ 18599-73 на стойкость к постоянному внутреннему давлению, наложенные на эталонные температурно-временные зависимости длительной прочности полиэтиленовых труб класса ПЭ63 по ГОСТ Р 52134-2003

Figure 1. Test results of BOP pipe samples as per TU 6-19-051-538-85 and State Standard 18599-73 for resistance to constant internal pressure imposed by for reference temperature-time dependencies long-term strength of polyethylene pipes of class PE63 as per State Standard R 52134-2003

давление в газопроводе было ограничено величиной 0,5 МПа, при которой мог быть обеспечен минимально необходимый запас прочности по продольным осевым и кольцевым напряжениям.

Приведенные лабораторные исследования материала труб обоих газопроводов позволили сделать предположение о влиянии природного газа на свойства полиэтилена. Наиболее заметно это влияние проявилось при испытании труб ПВП 110 мм по ТУ 6-19-051-538-85. Отмечены хорошо взаимосвязанные изменения свойств этих труб: повышение значений относительного удлинения при разрыве и (в умеренном соотношении) плотности при одновременном снижении показателей предела текучести и вязкости расплава. При исследованиях менее качественных труб ПВП 160 мм тип «Т» по ГОСТ 18599-73 зафиксиро-

вана аномально низкая вязкость расплава (таблица 2), что также может быть связано с диффузией природного газа.

Вязкостные свойства полиэтилена, зависящие от его молекулярной массы и молекулярно-массового распределения, характеризуют показателем текучести расплава (ПТР), численно равным количеству полимера в граммах, проходящему через стандартное сопло при регламентированных температуре и давлении. При оценке технического состояния газопровода ПТР можно использовать как одну из важных характеристик возможности сварки труб при ремонтных работах.

Сравнительные результаты испытаний труб по ТУ 6-19-051-538-85 продемонстрировали значительный рост ПТР материала — в среднем на 46 % относительно базовых показателей 1988 г. По своему значению он

Таблица 2. Показатель текучести расплава образцов полиэтиленовых труб 110 мм ПВП тип «Т» по ТУ 6-19-051-538-85 и ПВП 160 мм тип «Т» по ГОСТ 18599-73

Table 2. Melt flow index of samples of polyethylene pipes 110 mm PVP type «Т» as per TU 6-19-051-538-85 and PVP 160 mm type «Т» as per GOST 18599-73

№ п/п	Результат измерений ПТР 190/5, г/10 мин			
	Образцы труб 110 мм ПВП тип «Т» по ТУ 6-19-051-538-85		Образцы труб ПВП 160 мм тип «Т» по ГОСТ 18599-73	
	Данные 1988 г.	Данные 2022 г.	Данные 1984 г.	Данные 2022 г.
1	0,380	0,520	Оценка не проводилась	1,361
2	0,370	0,560		1,398
3	0,370	0,563		1,399
Средн.	0,373	0,548		1,386

вплотную приблизился к верхней границе типового диапазона для ПВП того времени (0,30–0,60 г/10 мин.). Вместе с тем, в процессе измерений не было отмечено появлений каких-либо нестабильностей при выходе расплава полимера из капиллярного канала вискозиметра или отклонений от обычной формы экструдированных образцов.

В инженерной практике по показателям текучести расплава косвенно оценивают изменения молекулярной массы и молекулярно-массового распределения. Поэтому рост значения ПТР, с одной стороны, можно расценивать как свидетельство возможного уменьшения средней молекулярной массы исследуемого полимера, т.е. процесса его старения. В то же время, неотъемлемой составляющей при потере молекулярной массы является изменение свойств, связанных с процессами разрыва и деформации твердого тела: показателя относительного удлинения при разрыве и характера разрушения при испытаниях на длительную гидростатическую прочность. Полученные экспериментальные данные по этим показателям (рисунок 2) не выявили явных признаков разрыва молекулярных связей и критических нарушений первоначальной структуры полиэтилена и противоречат предположению о возможном уменьшении средней молекулярной массы.

В опубликованных работах [6–9] обосновано предположение о накоплении в стенке труб абсорбированных компонентов природного газа, что приводит к изменению их первоначальных свойств. По своей природе полимеры не являются вакуумплотными даже при бездефектной структуре. Это способствует диффузии и насыщению микропустот молекулами природного газа, которые сохра-

няются в толстом слое образца длительное время. Диффундировавшие в полиэтилен компоненты природного газа, видимо, и оказывают пластифицирующее воздействие на материал труб, что проявляется, в том числе, в снижении вязкости расплава. Доводами в пользу такого влияния служат результаты работы [10], в которой также отмечена пластифицирующая роль природного газа в процессе эксплуатации полиэтиленовых газопроводов.

Вопрос о том, какие конкретно компоненты природного газа, проникшие в полиэтилен в процессе диффузии, влияют на изменение свойств последнего, является дискуссионным. По исследованиям, проведенным АО «Гипрониигаз», к улучшению пластических свойств материала, возможно, приводит абсорбция небольшого количества тяжелых алифатических углеводородов, присутствующих в природном газе в жидкой фазе и образующих газовый конденсат. По другим исследованиям [9] к этому приводит влияние серосодержащих соединений — меркаптанов.

Наибольшие вопросы вызывает необычно высокий показатель ПТР исследованных труб ПВП 160 мм по ГОСТ 18599-73. Ввиду отсутствия исходных данных по этому показателю за 1984 г. оценить изменение ПТР не представлялось возможным. Однако сложно предположить, что полимерный материал изначально обладал такой характеристикой, поскольку из полиэтилена высокой плотности с ПТР более 1,3 г/10 мин практически невозможно сформировать трубное изделие с сохранением требуемой геометрии поперечного сечения. Это косвенно подтверждается небольшими размерами и конфигурацией грата монтажного сварного соединения, вырезанного из газопровода (рисунок 3).



Рисунок 2. Образец трубы 110 мм ПВП тип «Т» по ТУ 6-19-051-538-85 после испытаний на стойкость к постоянному внутреннему давлению. Деформирование трубного образца с характерной зоной пластического выпучивания материала в зоне разрушения свидетельствует об отсутствии признаков значимых деструкционных изменений и ухудшения эксплуатационных качеств

Figure 2. Sample pipe 110 mm BOP type «Т» as per TU 6-19-051-538-85 after resistance tests to constant internal pressure. Deformation of a pipe specimen with a characteristic plastic zone material bulging in the destruction zone indicates that there are no signs of significant destruction changes and deterioration of performance

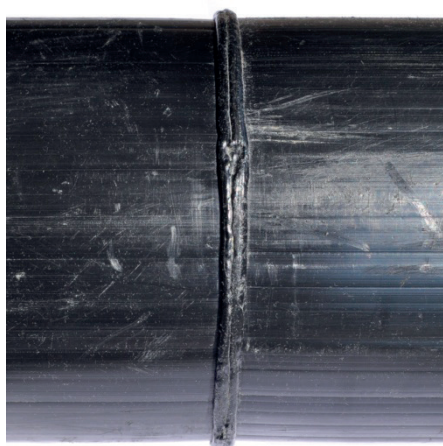


Рисунок 3. Сварочный грат монтажного сварного соединения труб ПВП 160 мм по ГОСТ 18599-73. Четко видимая линия сплавления и неискаженная форма и размеры валиков грата указывают на границы диапазона ПТР труб в пределах 0,30–0,60 г/10 мин.

Figure 3. Welding grate of installation welded joint of pipes BOP 160 mm as per State Standart 18599-73. Clearly visible splendline and undistorted shape and size of grate rollers indicate boundaries Pipe TPP range within 0.30–0.60 g/10 min.

Для изготовления труб по ГОСТ 18599-73 использовался гранулированный полиэтилен черного цвета марок 203-03 и 203-18 по ГОСТ 16338-77 высшего и первого сорта, ПТР которых после экструзионной переработки, как правило, не превышал 0,6 г/10 мин. Принимая во внимание газопроницаемость полиэтилена, среди возможных причин высокого уровня ПТР можно рассматривать выявленную высокую дефектность материала труб ПВП 160 мм, послужившую причиной накопления в нем больших объемов диффундировавшего природного газа, чем это имеет место при отсутствии макродефектов.

В ходе проведения исследований оценивалась величина индукционного периода окисления (ИПО), прямо связанная с содержанием антиоксидантов — стабилизаторов процессов старения материала труб.

Послойное определение величины ИПО показало, что ресурс антиоксидантов ни в од-

ном из слоев исследуемых труб по ТУ 6-19-051-538-85 и ГОСТ 18599-73 за время эксплуатации не исчерпан (таблица 3). Этот вывод не подтверждает результаты аналогичных исследований, опубликованных в работе [11], согласно которым к 50 годам весь стабилизатор внутреннего слоя трубы срабатывается. Наличие стабилизатора позволяет продлевать ресурс полиэтиленовых газопроводов и подтверждает возможность при необходимости осуществлять ремонтные работы с использованием стандартных технологий сварки.

Более подробно содержание и результаты проведенных АО «Гипрониигаз» работ изложены в [6, 7, 8]. Значение опубликованных работ заключается, в том числе, в поддержании интереса к развитию научных основ технического диагностирования полиэтиленовых газопроводов, которому уделяется недостаточное внимание.

Таблица 3. Результаты оценки термостабильности образцов п.э. труб из ПВП 160 мм тип «Т» по ГОСТ 18599-73 и 110 мм по ТУ 6-19-051-538-85

Table 3. Results of Evaluation of Thermal Stability of Samples, p.e. pipes from BOP 160 mm type «T» as per State Standart 18599-73 and 110 mm as per TR 6-19-051-538-85

№ обр.	Термостабильность, мин., труб ПВП 160 мм тип «Т» по ГОСТ 18599-73			Термостабильность, мин., труб ПВП 110 мм тип «Т» по ТУ 6-19-051-538-85		
	Внутренняя поверхность	Средний слой	Наружная поверхность	Внутренняя поверхность	Средний слой	Наружная поверхность
	Трубный обр. № 1			Трубный обр. № 1		
1	31,8	15,3	14,2	113,0	71,0	17,0
2	32,2	15,7	13,8	111,0	67,5	16,5
	Трубный обр. № 2			Трубный обр. № 2		
3	30,5	24,0	15,8	156,0	88,0	15,0
4	31,3	26,0	17,0	140,0	101,0	17,0
Сред.	31,5	20,3	15,2	130,0	81,9	16,4

Выводы

Как показали исследования, характеристики труб, изготовленных из полиэтилена высокой плотности первого поколения (до введения классификации по значению MRS), могут иметь кардинальные отличия, обусловленные свойствами исходного сырья, условиями его предварительной подготовки, отлаженностью технологического процесса extrusion труб, тщательностью выполнения необходимых строительных процедур и некоторых других факторов. Поэтому однозначно говорить о возможности продления срока службы эксплуатируемых полиэтиленовых газопроводов без каких-либо органичений и предварительного изучения свойств материала труб, не представляется возможным. Требуется интенсификация работ по данному направлению с использованием коллективных форм научных исследований. Данный вывод подтверждают результаты проведенных испытаний труб из указанных выше газопроводов.

То обстоятельство, что материал труб одного из обследованных газопроводов показал лучшие характеристики пластичности по сравнению с теми, которые были зафиксированы перед началом эксплуатации, не является объективным основанием возможности распространения отмеченного фактора на другие объекты. На результатах двух проведенных исследований не следует делать далеко идущие выводы и ожидать большего, чем они могли дать, а именно: возможны отдельные случаи, когда пластические свойства транспортирующих природный газ труб из

полиэтилена высокой плотности улучшаются в процессе эксплуатации при сохранении приемлемого значения MRS, что позволяет им эффективно противостоять возможности хрупкого разрушения и сохранять свои эксплуатационные свойства.

Авторы придерживаются мнения, что продление эксплуатации полиэтиленовых газопроводов с большой долей вероятности возможно только в случае, если оцениваемые трубы изначально имели высокие и стабильные физико-механические характеристики, т.е. были изготовлены из специализированных газопроводных марок сырья по отлаженному технологическому процессу. Однако для подтверждения этих выводов требуется проведение дополнительных исследований с привлечением потенциала предприятий-изготовителей полиэтиленовых труб и академической науки.

Что касается вопроса эксплуатационного ресурса, то специфика гидравлических испытаний делает их неудобными для оперативной оценки фактического технического состояния полиэтиленовых газопроводов. В силу этой причины, построение прогнозов долговечности по результатам испытаний труб на стойкость при постоянном внутреннем давлении, является не лучшим вариантом для практического применения. Наличие указанной проблемы подчеркивает необходимость скорейшей глубокой и всесторонней научной проработки альтернативных возможностей, поиска и математического обоснования более прогрессивного варианта решения этой важнейшей инженерной задачи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный закон от 21.07.1997 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» // КонсультантПлюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/ (дата обращения: 15.04.2023).

2. СТО Газпром газораспределение 2.11-2020. Методика оценки технического состояния стальных и полиэтиленовых газопроводов. СПб.: Газпром, 2016 18 с.

3. ГОСТ 18599-73. Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1981.

4. ТУ 6-19-051-538-85. Трубы из полиэтилена низкого давления для газопроводов. Технические условия.

5. СП 42-103-2003. Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов. М.: Полимергаз, 2004.

6. Мартыненко С.Н., Зубаилов Г.И. Опыт и актуальные вопросы технического диагностирования подземных полиэтиленовых газопроводов при проведении экспертизы промышленной безопасности. Часть 1 // Газовая промышленность. 2023. № 2. С. 84-90. EDN: GSWPFW.

7. Мартыненко С.Н., Зубаилов Г.И. Опыт и актуальные вопросы технического диагностирования подземных полиэтиленовых газопроводов при проведении экспертизы промышленной безопасности. Часть 2 // Газовая промышленность. 2023. № 3. С. 80-87. EDN: AEZGVO.

8. Мартыненко С.Н., Зубаилов Г.И. Полиэтиленовые газопроводы: практические возможности технического диагностирования // Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21, № 1. С. 125-137. DOI: 10.17122/ngdelo-2023-1-125-137. EDN: AFAJKL.

9. Дементьева А.Г. и др. Исследование роста эластичности в газовых полиэтиленовых трубах при длительном старении // Пластические массы. 2022. № 11-12. С. 51-52. DOI: 10.35164/0554-2901-2022-11-12-51-52. EDN: KBVHAL.

10. Кузнецова О.В. и др. Полимерные газопроводы служат долго // Полимерные трубы. 2007. № 4 (18). С. 50-55. EDN: VRJDQI.

11. Тарасов В.В. и др. Возможность технического диагностирования полиэтиленовых газопроводов, эксплуатирующихся более 40 лет // Газ России. 2015. № 4. С. 50-55. EDN: VEBYBN.

REFERENCES

1. *Federal'nyi zakon ot 21.07.1997 116-FZ «O promyshlennoi bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov»* [Federal Law No. 116-FZ of 21.07.1997 «On Industrial Safety of Hazardous Production Facilities»]. Konsul'tanPlyus. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/ (accessed 15.04.2023). [in Russian].

2. *СТО Газпром газораспределение 2.11-2020. Metodika otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya stal'nykh i polietilenovykh gazoprovodov* [STO Gazprom gazoraspreделение 2.11-2020. Methodology for Assessing the

Technical Condition of Steel and Polyethylene Gas Pipelines]. St. Petersburg, Gazprom Publ., 2016 18 p. [in Russian].

3. *State Standart 18599-73. Truby napornye iz polietilena. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 18599-73. Pipes Pressure Head from Polyethylene. Specifications]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1981. [in Russian].

4. *TR 6-19-051-538-85. Truby iz polietilena nizkogo davleniya dlya gazoprovodov. Tekhnicheskie usloviya* [TU 6-19-051-538-85. Pipes from Polyethylene of Low Pressure for Gas Pipelines. Specifications]. [in Russian].

5. *SP 42-103-2003. Proektirovanie i stroitel'stvo gazoprovodov iz polietilenovykh trub i rekonstruksiya iznoshennykh gazoprovodov* [SP 42-103-2003. Design and Construction of Gas Pipelines from Polyethylene Pipes and Reconstruction of Worn-Out Gas Pipelines]. Moscow, Polimergaz Publ., 2004. [in Russian].

6. Martynenko S.N., Zubailov G.I. Opyt i aktual'nye voprosy tekhnicheskogo diagnostirovaniya podzemnykh polietilenovykh gazoprovodov pri provedenii ekspertizy promyshlennoi bezopasnosti. Chast' 1 [Background and Challenges of Technical Diagnostics of Underground Polyethylene Gas Pipelines as Part of the Industrial Safety Expert Review. Part 1]. *Gazovaya promyshlennost' — GAS Industry of Russia*, 2023, No. 2, pp. 84-90. EDN: GSWPFW. [in Russian].

7. Martynenko S.N., Zubailov G.I. Opyt i aktual'nye voprosy tekhnicheskogo diagnostirovaniya podzemnykh polietilenovykh gazoprovodov pri provedenii ekspertizy promyshlennoi bezopasnosti. Chast' 2 [Background and Challenges of Technical Diagnostics of Underground Polyethylene Gas Pipelines as Part of the Industrial Safety Expert Review. Part 2]. *Gazovaya promyshlennost' — GAS Industry of Russia*, 2023, No. 3, pp. 80-87. EDN: AEZGVO. [in Russian].

8. Martynenko S.N., Zubailov G.I. Polietilenovye gazoprovody: prakticheskie vozmozhnosti tekhnicheskogo diagnostirovaniya [Polyethylene Gas Pipelines: Practical Possibilities Technical Diagnostics]. *Neftgazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2023, Vol. 21, No. 1, pp. 125-137. DOI: 10.17122/ngdelo-2023-1-125-137. EDN: AFAJKL. [in Russian].

9. Dement'eva A.G. Issledovanie rosta elastichnosti v gazovykh polietilenovykh trubakh pri dlitel'nom starenii [Investigation of the Growth of Elasticity in Gas Polyethylene Pipes During Long-Term Aging]. *Plasticheskie massy — Plasticheskie Massy*, 2022, No. 11-12, pp. 51-52. DOI: 10.35164/0554-2901-2022-11-12-51-52. EDN: KBVHAL. [in Russian].

10. Kuznetsova O.V. Polimernye gazoprovody sluzhat dolgo [Polymer Gas Pipelines Last a Long Time]. *Polimernye truby — Plastic Pipes*, 2007, No. 4 (18), pp. 50-55. EDN: VRJDQI. [in Russian].

11. Tarasov V.V. Vozmozhnost' tekhnicheskogo diagnostirovaniya polietilenovykh gazoprovodov, ekspluatiruyushchikhsya bolee 40 let [Technical Diagnostics Capability for Polyethylene Pipelines Which Have Been Being Operated for Over 40 Years]. *Gaz Rossii — Gas of Russia*, 2015, No. 4, pp. 50-55. EDN: VEBYBN. [in Russian].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ
INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Сергей Николаевич Мартыненко, начальник управления технического диагностирования и экспертизы промышленной безопасности, АО «Гипрониигаз», Саратов, Россия

Sergey N. Martynenko, head of the Technical diagnostics and expertise of industrial safety department, Giproniigaz JSC, Saratov, Russia

Вадим Валерьевич Захаров, кандидат технических наук, начальник научно-исследовательской лаборатории, управление научных и следований и разработок, АО «Гипрониигаз», Саратов, Россия,

Vadim V. Zakharov, candidate of technical sciences, head of research laboratory, Scientific and research and development department, Giproniigaz JSC, Saratov, Russia,

niigaz@niigaz.ru

Статья поступила в редакцию 18.03.2023; одобрена после рецензирования 03.04.2023; принята к публикации 30.05.2023.

The article was submitted 18.03.2023; approved after reviewing 03.04.2023; accepted for publication 30.05.2023.