

**Шуланбаева Лаура Таргыновна\*<sup>1</sup>**,

кандидат технических наук,

Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет,  
Уральск, Казахстан, [Sh.laurai@mail.ru](mailto:Sh.laurai@mail.ru), ORCID ID: 0009-0003-7838-7217

**Кадиралиев Абылай Кабибуллаевич<sup>2</sup>**

магистр технических наук,

Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет,  
Уральск, Казахстан, [abylai91@mail.ru](mailto:abylai91@mail.ru), ORCID ID: 0009-0004-1221-2366

## **КОМПЛЕКСНЫЙ ПРОГНОЗ СОСТОЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВНУТРИТРУБНОЙ ДИАГНОСТИКИ**

**Аннотация.** Основные элементы управления безопасности магистральных трубопроводов являются диагностика, анализ результатов диагностики, расчёты прочности и остаточного ресурса, прогнозирование, принятие практических решений, ремонтно-восстановительные работы, контроль технологических параметров в процессе эксплуатации. Все эти элементы в той или иной мере развиваются по разному: некоторые быстрее, другие с отставанием.

Кроме того, в каждом трубопроводе встречаются разные дефекты. Они могут быть металлургическими (расслоения, неметаллические включения), строительными (вмятины, неровности, дефекты сварки) или эксплуатационными (коррозия, механические повреждения). Все эти недостатки хорошо видны при проведении внутритрубной диагностики.

Но наиболее актуальной проблемой после проведения внутритрубной диагностики стала правильная оценка опасности выявленных дефектов и принятие хорошо обоснованных планов ремонта. Здесь важно добиться максимальной эффективности: нельзя оставлять без внимания действительно опасные дефекты, но и ремонтировать безопасные повреждения тоже нецелесообразно, так как это приводит к лишним расходам. Поэтому объём ремонтных работ должен точно соответствовать характеру дефектов и условиям эксплуатации трубопровода. Таким образом для безопасной и безотказной перекачки нефти на нефтепроводах должны проводиться прогнозирование безопасности трубопроводов методом проведения внутритрубной диагностики. При этом важно помнить, что трубопроводы, как и многие другие крупные промышленные объекты, могут представлять опасность для окружающей среды. Поэтому вопросы безопасности систем трубопроводного транспорта остаются актуальными и требуют постоянного анализа и совершенствования. В данной статье не ставится цель окончательно решить все проблемы в этой области, однако предпринята попытка рассмотреть и предложить пути решения части из них.

**Ключевые слова.** трубопровод, дефект, коррозия, диагностика, безопасность.

**Шуланбаева Лаура Таргыновна\*<sup>1</sup>**

техника ғылымдарының кандидаты,  
Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті,  
Орал, Қазақстан, [Sh.laura@mail.ru](mailto:Sh.laura@mail.ru), ORCID ID: 0009-0003-7838-7217

**Кадиралиев Абылай Кабибуллаевич<sup>2</sup>**

техника ғылымдарының магистрі,  
Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті,  
Орал, Қазақстан, [abylai91@mail.ru](mailto:abylai91@mail.ru), ORCID ID: 0009-0004-1221-2366

## **ҚҰБЫРІШЛІК ДИАГНОСТИКА НӘТИЖЕЛЕРІ БОЙЫНША МАГИСТРАЛЬДЫҚ ҚҰБЫРЖОЛДАРДЫҢ ЖАЙ-КҮЙІН КЕШЕНДІ БОЛЖАУ**

*Аңдатпа.* Магистральдық құбырлардың қауіпсіздігін басқарудың негізгі элементтері диагностика, диагностика нәтижелерін талдау, беріктік пен қалдық ресурсты есептеу, болжау, практикалық шешімдерді қабылдау, жөндеу-қалпына келтіру жұмыстары, пайдалану процесінде технологиялық параметрлерді бақылау болып табылады. Бұл элементтердің барлығы қандай да бір дәрежеде әр түрлі дамиды: кейбіреулері жылдам, кейбіреулері артта қалумен.

Бұдан басқа, әрбір құбырда әртүрлі ақаулар кездеседі. Олар металлургиялық (қатпарлану, металл емес қосылулар), құрылыс (майысу, тегіс емес, дәнекерлеу ақаулары) немесе пайдалану (тоттану, механикалық зақымдану) болуы мүмкін. Бұл кемшіліктердің барлығы құбырыштік диагностика жүргізу кезінде анық көрінеді.

Бірақ құбырыштік диагностика жүргізгеннен кейін анықталған ақаулардың қауіптілігін дұрыс бағалау және жақсы негізделген жөндеу жоспарларын қабылдау аса өзекті проблема болды. Бұл жерде барынша тиімділікке қол жеткізу маңызды: шын мәнінде қауіпті ақауларды назардан тыс қалдыруға болмайды, бірақ қауіпсіз зақымдануларды жөндеу де тиімсіз, өйткені бұл артық шығындарға әкеледі. Сондықтан жөндеу жұмыстарының көлемі ақаулардың сипатына және құбырларды пайдалану шарттарына дәл сәйкес келуі тиіс. Осылайша мұнай құбырларында мұнайды қауіпсіз және тоқтаусыз айдау үшін құбырыштік диагностика жүргізу әдісімен құбырлардың қауіпсіздігін болжау жүргізілуі тиіс. Бұл ретте құбырлар басқа да ірі өнеркәсіптік объектілер сияқты қоршаған ортаға қауіп төндіруі мүмкін екенін есте сақтау маңызды. Сондықтан құбыр көлігі жүйелерінің қауіпсіздігі мәселелері өзекті болып қалуда және тұрақты талдау мен жетілдіруді талап етеді. Бұл бапта осы саладағы барлық проблемаларды түпкілікті шешу мақсаты қойылмайды, алайда олардың бір бөлігін қарау және шешу жолдарын ұсынуға әрекет жасалды.

*Кілт сөздер.* құбыр, ақау, тоттану, диагностика, қауіпсіздік.

**Shulanbaeva Laura Targynovna\*<sup>1</sup>,**

Candidate of Technical Sciences, West Kazakhstan Innovation and Technology University,  
Uralsk, Kazakhstan, [Sh.laura@mail.ru](mailto:Sh.laura@mail.ru), ORCID ID: 0009-0003-7838-7217

**Kadiraliyev Abylay Kabibullaevich<sup>2</sup>**

Master of Technical Sciences, West Kazakhstan Innovation and Technology University,  
Uralsk, Kazakhstan,  
[abylai91@mail.ru](mailto:abylai91@mail.ru), ORCID ID: 0009-0004-1221-2366

## COMPREHENSIVE FORECAST OF THE CONDITION OF TRUNK PIPELINES BASED ON THE RESULTS OF IN-PIPE DIAGNOSTICS

**Abstract.** The main elements of the main pipeline safety control are diagnostics, analysis of diagnostic results, calculations of strength and residual life, forecasting, making practical decisions, repair and restoration work, monitoring of technological parameters during operation. All these elements develop in one way or another in different ways: some faster, others with a lag.

In addition, there are different defects in each pipeline. They can be metallurgical (laminations, non-metallic inclusions), construction (dents, irregularities, welding defects) or operational (corrosion, mechanical damage). All these disadvantages are clearly visible during in-line diagnostics.

But the most urgent problem after in-line diagnostics was the correct assessment of the danger of the identified defects and the adoption of well-grounded repair plans. It is important to achieve maximum efficiency here: you cannot ignore really dangerous defects, but it is also impractical to repair safe damage, as this leads to unnecessary costs. Therefore, the scope of repair work must exactly match the nature of the defects and the operating conditions of the pipeline. Thus, for safe and trouble-free pumping of oil on oil pipelines, the safety of pipelines must be predicted by the method of in-line diagnostics. It is important to remember that pipelines, like many other large industrial facilities, can pose a danger to the environment. Therefore, the safety issues of pipeline transport systems remain relevant and require constant analysis and improvement. This article does not aim to finally solve all problems in this area, but an attempt has been made to consider and propose ways to solve some of them.

**Keywords.** pipeline, defect, corrosion, diagnostics, safety.

**Введение.** Одной из важнейших стратегических задач нашей страны является поддержание магистральных трубопроводных систем в исправном и безопасном состоянии. Срок службы трубопроводов растет, а вместе с ним и увеличивается износ и количество дефектов, при этом все требования к безопасности увеличиваются. На первый взгляд кажется невозможным повысить надёжность стареющих трубопроводов: металл и изоляция со временем теряют свойства, накапливаются повреждения. Однако задача поставлена, и её необходимо решать.

Диагностике магистральных трубопроводов всегда уделялось большое внимание. Историю её развития условно можно разделить на два этапа: «до» и «после» начала широкого внедрения внутритрубной диагностики. Этот метод стал переломным в контроле состояния трубопроводов, так как по информативности ему нет равных. В то же время внутритрубная диагностика не является абсолютной в том смысле, что не заменяет собой все остальные. Необходимость других методов сохраняется. Среди них следует отметить следующие [1,2]:

- гидроиспытания отдельных переходов и участков;
- метод акустической эмиссии;
- контактные методы неразрушающего контроля (ультразвук, рентген, магнитные методы, твердметрирование и др.);
- механические испытания образцов (для определения прочностных свойств материалов труб и сварных соединений);
- электрометрические методы контроля изоляции;

— бесконтактные магнитные методы контроля напряжений и дефектов;

— измерение плано-высотных координат и расчётные методы оценки напряжений и деформаций и др.

Во-первых, часть трубопроводов до сих пор технически не приспособлена для внутритрубной диагностики. Во-вторых, даже после её проведения отдельные дефекты требуют уточнения в шурфах. Поэтому традиционные (не внутритрубные) методы диагностики не потеряли актуальности [3].

**Материалы и методы исследований.** В данной статье приводятся сведения о дефектах, которые получены для трубопровода, выбранного в качестве примера для проведения исследований. Эти сведения практически полностью характеризуют возможности современной внутритрубной диагностики.

Сегодня внутритрубная диагностика стала обязательной для всех новых магистральных трубопроводов, а старые постепенно дооборудуют для её применения. Если раньше дефекты находили случайно, то теперь появились современные и эффективные методы. Но вместе с этим возникла новая проблема: объём выявленных дефектов оказался огромным. Сначала ремонтировали всё подряд, затем стало ясно, что ресурсов не хватает. Тогда начали устранять только самые опасные повреждения. Степень опасности сначала определяли сами, затем оценку стали поручать специализированным организациям. Но при этом всегда оставались дефекты и вместе с ними – неуверенность по поводу их безопасности. С появлением системы экспертизы промышленной безопасности стали привлекать экспертные организации. Часть ответственности взяли на себя эксперты [4].

Так, во-первых, ответственность распределилась между эксплуатационными службами, экспертами и научными центрами. Во-вторых, проблему стали решать подготовленные эксперты, обладающие фундаментальными научными знаниями и методами. В третьих, в решение проблем остаточного ресурса были подключены ведущие научные центры, где был поставлен ряд экспериментов по гидроциклическим испытаниям труб, вырезанных из трубопровода по результатам внутритрубной диагностики. Постепенно менялось и отношение к самим дефектам: стало ясно, что дефекты были и будут всегда (например, как микробы), но далеко не все из них представляют опасность.

Изучались статистические характеристики дефектов. Исследования показали, что в среднем на каждые 10 метров трубопровода приходится 1 – 2 таких же дефектов, которые находили раньше методом шурфовки и которые в совокупности приводили к демонтажу трубопровода. Теперь мысль об остановке трубопроводов не возникает. Даже наоборот, часто стоит вопрос – как поднять производительность перекачки, имея в наличии десятки тысяч дефектов [5].

Обнаружилось, что полностью бездефектных трубопроводов не существует – ни в Казахстане, ни в других странах. Чем совершеннее средства диагностики, тем больше дефектов удаётся обнаружить. Ликвидировать их практически невозможно. Поэтому остаётся только одно - изучать их безопасность в фактических условиях эксплуатации с учётом динамики развития дефектов, затем по результатам изучения отбирать для ремонта опасные дефекты и назначать соответствующие методы ремонта. А это – новая большая актуальная задача. Она ещё не решена в достаточной мере, хотя подходы уже наметились. Покажем это на примере настоящей работы.

Процесс внутритрубной диагностики сегодня выполняют специализированные компании. Сначала на трубопроводе проводят подготовительные работы, включающие

обустройство камер запуска и приема снарядов, очистку внутренней полости трубопровода до необходимого уровня, ликвидацию сужений и так далее. Затем по трубопроводу пропускается несколько типов диагностических снарядов, использующих разные физические явления, и чувствительных к разным типам дефектов. Полученная информация обрабатывается специалистами и выдаётся заказчику в виде отчёта. Отчёт состоит из нескольких разделов, который содержит:

- описание примененных снарядов и их характеристики;
- сведения об организации диагностики (какие снаряды, сколько пропусков, как менялось давление и т.д.);
- журнал дефектов, где приводится список обнаруженных дефектов, их координаты и параметры;
- результаты расчётов допустимых нагрузок;
- рекомендации по объёму и способам ремонта.

**Результаты и их обсуждение.** Не подвергая сомнению предыдущие пункты, рассмотрим только самый последний, имеющий практическое значение. При этом в качестве примера рассмотрим предложения по ремонту МНП “Актау — Жетыбай — Узень”.

При диагностике МНП “Актау — Жетыбай — Узень ” на расстоянии 214 км всего обнаружено 43318 дефектов. Из них 15370 дефектов требуют ремонта, в том числе:

- риски – 207 шт.;
- коррозионные дефекты – 3464;
- вмятины и гофры глубиной 1 – 3,5 % от диаметра – 629;
- вмятины и гофры глубиной более 3,5 % от диаметра – 17;
- вмятины и гофры с дополнительным дефектом – 19;
- расслоения – 2;
- дефекты сварки – 11012;
- недопустимые ремонтные конструкции (заплаты) – 20.

По срокам, методам и объемам ремонта даны следующие рекомендации (таблица 1):

Таблица 1 – Сводная таблица по методам и срокам ремонта (по количеству дефектов)

Метод ремонта	мене е 1 года	1-2 года	2-3 года	3-4 года	4-5 лет	5-7 лет	7-10 лет	более 10 лет	При кап. ремонте
(П1) композитная муфта типа КМТ	95	14	15	23	69	233	1319	670	1966
(П3) ГМ для стыков			23			3	25	7	7288
П6 удл. для гофр	13								
Врезка катушки			1	46	43	7	5		4
Заварка (наплавка)					2	4	567	66	
Замена участка	2		1	5	4	24	26	1	

Шлифование								79	
Суммы (%)	110	14	40	74	116	271	1942	823	9258
	354 (2,8 %)					2213 (17,5 %)		10081 (79,7 %)	

Эти данные подтверждают сказанное выше, но все же возникают дополнительные вопросы:

Для ремонта выделяется слишком много дефектов, при этом более 97 % из них откладываются на срок свыше 5 лет. Непонятно: их не ремонтируют сразу, потому что они ещё не опасны, или просто не хватает времени и ресурсов?

Слишком большое внимание уделяется ремонтным муфтам типа КМТ, хотя они неудобны и малоэффективны в данных климатических условиях.

Заплаты полностью исключены из списка допустимых методов ремонта, независимо от формы и размера.

Заварку (наплавку) предлагают применять только через 5–10 лет. Но за это время коррозионные дефекты могут увеличиться настолько, что заварка уже не поможет.

Рекомендации по замене участка через 10 лет выглядят нелогичными: если участок опасен, зачем ждать? если неопасен — зачем менять?

Таким образом, несмотря на успехи в диагностике, планирование ремонта и управление безопасностью трубопроводов пока остаются недостаточно развитыми. Как ни парадоксально, что чем больше дефектов выявляют современные приборы, тем труднее управлять безопасностью в условиях ограниченных материально-финансовых средств. Ремонтить все найденные повреждения невозможно — приходится выбирать только самые опасные и подбирать оптимальные методы ремонта. Условия определяются следующими факторами:

- размеры трубопровода (диаметр, толщина стенки) и материалы;
- проектное давление, фактическое рабочее давление, цикличность нагружения;
- состав дефектов и их расположение по трассе;
- финансовые возможности для ремонтного обслуживания;
- климатические условия.

Так же важно понимать, какой минимальный объём финансирования необходим для обеспечения безопасной эксплуатации. В любом случае (и в прямой, и в обратной задачах) сталкиваемся с минимизацией-максимизацией, т.е. стремлением достичь максимальной безопасности при минимальном финансировании. Но существующие нормы в основном рассчитаны на новые трубы и не учитывают специфику старых трубопроводов, в которых дефектов много. Оставаясь в рамках требований действующих государственных стандартов и строительных норм, изначально ориентированных на изготовление новых труб и строительство новых трубопроводов (а не на эксплуатацию), эффективно решать задачи такого типа невозможно[6].

Аналогичная ситуация имеет место и в системе магистральных нефтепроводов. Отличительные особенности нефтепроводов по сравнению с нефтепроводами состоят в следующем:

- протяженность нефтепроводов в 2,5...3 раза больше протяжённости нефтепроводов;
- диаметры нефтепроводов значительно больше (до 1220 мм);

- рабочие давления в нефтепроводах больше (до 10 МПа);
- объёмы перекачки нефтикратно больше;
- финансовые ограничения для поддержания безопасности нефтепроводов практически отсутствуют.

Актуальность проблемы эффективного управления безопасностью нефтепроводов стоит также остро, как и нефтепроводов.

Как известно, безопасность трубопроводов обеспечивается двумя составляющими: высокой конструкционной надёжностью трубопроводов и минимизацией ущерба от возможных аварий. В настоящей диссертационной работе рассматриваются элементы первой составляющей безопасности – надёжность, снижение вероятности отказов на линейной части трубопровода.

Известно также, что надёжность можно обеспечивать двумя путями:

- проведением ремонтных работ по ликвидации дефектов, ограничивающих прочность трубопровода;
- снижением рабочих давлений до безопасного уровня с учётом имеющихся дефектов.

Фактически применяют комбинированный подход, когда и ремонтируют трубопровод и корректируют рабочие давления. Эффективность подходов зависит от качества нормативной базы и квалификации специалистов и экспертов.

Несмотря на обилие нормативных документов, о высоком качестве их для решения данных задач говорить не приходится. В основном используются требования норм изготовления новых труб, проектирования и строительства новых трубопроводов. Специфические особенности трубопроводов, длительное время находящихся в эксплуатации и содержащих большое количество дефектов, не учитываются или учитываются половинчато и непоследовательно. Кроме того, нормативная база имеет слабые места. Например, не всегда учитываются явления водородной и стресс-коррозии, концентрация напряжений или деформационное старение металла. Некоторые дефекты, такие как расслоения, формально даже не относятся к «плоскостным», хотя фактически ими являются. Методы расчёта их опасности до сих пор остаются ненадёжными. В общем, в нормативной базе иногда встречаются весьма спорные положения.

Также важно понимать, что внутритрубная диагностика не выявляет все виды дефектов. Опасные повреждения, например проникновение агрессивных веществ в расслоения, могут остаться незамеченными. Проверить все обнаруженные расслоения на предмет проникновения агрессивной жидкости в щель расслоения, возможностей нет.

Методов ремонта существует много: заварка, заплаты, муфты разных типов, композитные оболочки, замена катушек и др. Но часть из них исключена из нормативов. При этом разные ситуации требуют разных решений, и излишнее ограничение арсенала снижает эффективность ремонта. Более того, иногда выполнение ремонта может даже снизить надёжность — например, если при заварке появляются новые сварочные дефекты. Себестоимость методов разная и меняется по мере совершенствования материалов и технологий. В одних условиях одни методы ремонта доступны, в других – другие. Стремление унифицировать методы ремонта за счёт ограничения их числа неизбежно приводит к снижению общей эффективности ремонта трубопровода.

Далее, можно по-разному планировать объёмы ремонта. Можно, например, назначить ремонт всех вмятин глубиной более 1 %, как этого требуют строительные нормы. Или назначить ремонт всех расслоений длиной более 80 мм. Но при этом можно затратить много сил и средств, а безопасность даже снизится. Потому что в процессе

ремонта появятся сварочные дефекты и конструктивные концентраторы напряжений, которые намного опаснее ремонтируемых дефектов.

Опыт последних лет показывает: чем больше информации о дефектах мы получаем, тем сложнее становится управлять безопасностью. Причины в том, что:

1. количество дефектов растёт с возрастом трубопровода, а требования к ним остаются как для новых;
2. нормативы не учитывают ряд ключевых явлений (стресс-коррозия, концентрация напряжений);
3. при оценке опасности чаще применяют старые методы сопротивления материалов, чем современные подходы механики разрушения.

Поэтому новые разрабатываемые методические подходы должны быть ориентированы на обеспечение реальной безопасности для конкретного трубопровода, находящегося в конкретных условиях, с учётом результатов диагностики и динамики изменения свойств материалов труб, сварных соединений, изоляционного покрытия.

**Заключение.** В настоящее время в трубопроводном транспорте наиболее острой проблемой является обеспечение безопасности с учётом последствий старения. Эта проблема наиболее актуальна для магистральных нефтепродуктопроводов, срок эксплуатации которых наибольший и достигает до 70 лет.

С одной стороны, магистральные трубопроводы имеют значительный возраст, а с другой – действуют жёсткие современные требования к промышленной безопасности. Эти факторы вступают в противоречие, что делает необходимым совершенствование подходов к оценке безопасности, продлению ресурса и выбору способов ремонта.

Внутритрубная диагностика, являясь самым эффективным методом диагностики магистральных трубопроводов, имеет следующие ограничения:

- часть комбинированных дефектов выявляется очень приближённо;
- вид и размеры большинства сварочных дефектов не определяется;
- дефекты типа “потеря металла + расслоение”, опасность которых растёт при длительной эксплуатации трубопроводов, не фиксируются.

Объём опасных дефектов, выявляемых при внутритрубной диагностике, составляет порядка 70...80 % от их общего количества на трубопроводе.

На основе математического моделирования разработана программа ремонта на 5, 10 и 15 лет вперёд. В ней учитываются реальные режимы работы трубопроводов, динамика развития дефектов и вероятность аварийных ситуаций, включая возможные отказы запорной арматуры и рост давления на конечных участках.

Для повышения надёжности требуется комплексный подход: сочетание внутритрубной диагностики с другими методами контроля и экспертной оценкой. Такой подход позволит снизить аварийность, оптимизировать затраты на ремонт и обеспечить безопасную эксплуатацию трубопроводов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барканов, Е. Н., Думитреску, А., Паринов, И. А. (ред.). Неразрушающий контроль и ремонт трубопроводов. – Шам : Springer, 2018. – 451 с.
2. Тимашев, С., Бушинская, А. Диагностика и надёжность трубопроводных систем. – Шам : Springer, 2016. – 407 с.
3. Окиере, М. С. Защита от коррозии в нефтегазовой промышленности: трубопроводы, подводное оборудование и сооружения. – Бока-Ратон : CRC Press, 2019. – 186 с.

4. Амайя-Гомес, Р., Бастидас-Артеага, Э., Санчес-Сильва, М., Шёфс, Ф., Муньос, Ф. Коррозия и оценка надежности обследованных трубопроводов. – Шам : Springer, 2024. – 285 с.

5. Лу, Х., Сюй, Чж.-Д., Айсли, Т., Пэн, Х., Фу, Л. Технологии инспекции и мониторинга состояния трубопроводов: ключ к управлению их целостностью. – Сингапур : Springer, 2023. – 285 с.

6. Болзон, Г., Габетта, Г., Никифорчин, Г. (ред.). Оценка деградации и предотвращение отказов трубопроводных систем. – Шам : Springer, 2021. – 252 с. – (Лекции по гражданскому строительству).

#### REFERENCES

1. Barkanov, E. N., Dumitrescu, A., Parinov, I. A. (ред.). Non-destructive Testing and Repair of Pipelines. – Cham : Springer, 2018. – 451 s. – (In Rus)

2. Timashev, S., Bushinskaya, A. Diagnostics and Reliability of Pipeline Systems. – Cham : Springer, 2016. – 407 s. – (In Rus)

3. Okyere, M. S. Corrosion Protection for the Oil and Gas Industry: Pipelines, Subsea Equipment, and Structures. – Boca Raton : CRC Press, 2019. – 186 s. – (In Rus)

4. Amaya-Gómez, R., Bastidas-Arteaga, E., Sánchez-Silva, M., Schoefs, F., Muñoz, F. Corrosion and Reliability Assessment of Inspected Pipelines. – Cham : Springer, 2024. – 285 s. – (In Rus)

5. Lu, H., Xu, Z.-D., Iseley, T., Peng, H., Fu, L. Pipeline Inspection and Health Monitoring Technology: The Key to Integrity Management. – Singapore : Springer, 2023. – 285 s. – (In Rus)

6. Bolzon, G., Gabetta, G., Nykyforchyn, H. (ред.). Degradation Assessment and Failure Prevention of Pipeline Systems. – Cham : Springer, 2021. – 252 s. – (Lecture Notes in Civil Engineering). – (In Rus)