

Ministerul Educației, Cercetării al Republicii Moldova
Universitatea Tehnică a Moldovei
Departamentul Alimentații cu Căldură, Apă și Gaze, Protecția Mediului

Admis la susținere

Șefă de departament: conf.univ., dr. Natalia CIOBANU

„_____” _____ 2026

ANALIZA METODELOR DE PROTECȚIE ANTICOROZIVĂ A GAZODUCTELOR SUBTERANE

Teză de master

Student: **Zavtur Roman,**
st.gr. 241M

Conducător: **Leu Vasile,**
conf. univ., dr.

Conducător: **Putiveț Sergei,**
lect. univ.

Chișinău 2026

АННОТАЦИЯ

Завтур Роман. Анализ методов антикоррозионной защиты подземных газопроводов, Кишинёв 2026.

Дипломная работа включает: введение, три главы, выводы и рекомендации, библиографию из 37 источников, 82 страниц основного текста, 28 рисунков, 7 таблиц.

Ключевые слова: газопроводы, коррозия, катодная станция, антикоррозионная защита, подземные трубопроводы, безопасность.

Область исследования: методы антикоррозионной защиты подземных газопроводов и оценка их эффективности в условиях эксплуатации городской инфраструктуры.

В первой главе рассматривается техническое состояние подземных газопроводов и основные факторы, влияющие на развитие коррозионных процессов. Показана значимость систем газораспределения и необходимость их защиты для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации.

Во второй главе выполнен анализ основных технологий антикоррозионной защиты подземных газопроводов, включая пассивные и активные методы. Рассмотрены катодная защита, использование жертвенных анодов, а также современные методы диагностики и мониторинга состояния трубопроводов. Отмечены преимущества применения анодных заземлителей на основе проводящих полимерных композитов.

Третья глава посвящена внедрению современных методов антикоррозионной защиты в газораспределительных сетях предприятия ООО «CHIȘINĂU-GAZ». Проведена оценка технико-экономической эффективности предложенных решений, показано снижение эксплуатационных затрат и повышение надежности системы газоснабжения.

На основании проведенного анализа сделан вывод о целесообразности внедрения современных систем антикоррозионной защиты, в частности катодной защиты с применением полимерных анодных заземлителей, как эффективного направления повышения долговечности и безопасности подземных газопроводов.

SUMMARY

Zavtur Roman. Analysis of corrosion protection methods for underground gas pipelines, Chişinău 2026.

The thesis includes: an introduction, three chapters, conclusions and recommendations, a bibliography of 37 sources, 82 pages of main text, 28 figures, and 7 tables.

Keywords: gas pipelines, corrosion, cathodic protection, corrosion protection systems, underground pipelines, polymer anodes, electrochemical protection, safety.

Study Domain: analysis and evaluation of modern corrosion protection methods for underground gas pipelines, with a focus on cathodic protection systems using conductive polymer anode grounding materials.

The first chapter analyzes the technical condition of underground gas pipelines and the main factors influencing corrosion processes in urban environments. The evolution of gas distribution infrastructure in the Republic of Moldova is considered, with emphasis on the increasing impact of aging pipelines, soil aggressiveness, stray currents, and degradation of protective coatings. The importance of timely maintenance and effective protection systems for ensuring the safety and reliability of gas supply networks is highlighted.

The second chapter is dedicated to the analysis of corrosion protection technologies for underground gas pipelines. Passive protection methods based on anti-corrosion coatings and active electrochemical methods, including cathodic protection with external current sources, are examined. Special attention is given to modern anode grounding systems made of conductive polymer composites, which provide improved electrical stability, higher corrosion resistance, and extended service life compared to traditional solutions. Additional protection methods, such as sacrificial anodes and electrical drainage systems, as well as modern monitoring and diagnostic technologies for pipeline condition assessment, are also analyzed.

The final chapter presents the implementation of modern corrosion protection systems within the gas distribution networks of the enterprise “CHIŞINĂU-GAZ”. A technical and economic evaluation of the proposed solutions is carried out, demonstrating reduced operating costs, improved system reliability, and increased service life of underground pipelines. Comparative aspects of corrosion protection approaches used in CIS and European countries are also considered, highlighting the trend toward digitalization and continuous monitoring of pipeline integrity.

Based on the conducted analysis, it is concluded that the implementation of modern corrosion protection systems, in particular cathodic protection with polymer anode grounding systems, represents an effective solution for increasing the durability, reliability, and operational safety of underground gas pipeline.

СОДЕРЖАНИЕ:

ВВЕДЕНИЕ.....	11
1. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ:	
1.1. Описание системы распределения природного газа в муниципии Кишинёв.....	13
Рисунок 1.1. Количество абонентов, обслуживаемых SRL “Chişinău-Gaz” в период 2015-2023 г.....	17
Рисунок 1.2. Плотность газовых сетей в мун. Кишинев SRL “Chişinău-Gaz” период 2015-2026.....	17
Рисунок 1.3. Плотность катодных станций в мун. Кишинёв (синий, желтый квадрат) SRL “Chişinău-Gaz” период 2015-2026 (390 единиц)	17
1.2. Анализ технического состояния и степени износа системы антикоррозионной защиты мун. Кишинэу.....	18
1.3. Описание системы антикоррозионной защиты подземных газопроводов в мун. Кишинэу.....	24
1.4. Анализ требований нормативных актов к системе антикоррозионной защиты.....	26
1.5. Классификация дефектов антикоррозионной защиты.....	29
1.6. Факторы риска, связанные с антикоррозионной защитой и меры по их снижению.....	31
1.7. Выводы и задачи по защите подземных газопроводов.....	35
2. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ:	
2.1. Классификация коррозионных процессов.....	38
Рисунок 2.1 Измерительные приборы для оценки агрессивности грунта.....	39
Рисунок 2.2 Классификация коррозионных процессов.....	41
Рисунок 2.3 последствия биокоррозии при разрушении металла.....	43
2.2. Метод пассивной защиты: изоляционные антикоррозийные покрытия.....	43
Рисунок 2.4. Пассивная изоляция.....	44
2.3. Метод активной защиты: катодная защита с внешним источником тока.....	46
Рисунок 2.5. Схема основных элементов системы катодной защиты.....	47
Рисунок 2.6. Преобразователи типа «Элкон», «Радиал»	47
Рисунок 2.7. Преобразователи типа «CSP» , «CSS».....	48
Рисунок 2.8. Преобразователь типа “Галацан1500” 1 поколение.....	48
Рисунок 2.9. Преобразователь типа “Галацан1500” 2 и 3 поколение.....	48
Рисунок 2.10. Преобразователь типа “Галацан1500” 4 поколении.....	49

Рисунок 2.11. Медносульфатный электрод сравнения.....	51
Таблица 2.1. Преимущества и недостатки.....	52
Рисунок 2.12. Полимерные композитные аноды.....	55
Таблица 2.2. Преимущества и недостатки.....	56
2.4. Метод защиты с использованием жертвенных анодов.....	57
Рисунок 2.13. Схема защиты газопровода с использованием жертвенного анода.....	58
Таблица 2.3. Преимущества и недостатки.....	59
2.5. Метод электрического дренажа.....	59
Рисунок 2.14. Схема метода электрического дренажа для защиты стальных газопроводов.....	60
Таблица 2.4. Преимущества и недостатки.....	61
2.6. Современные методы диагностики и мониторинга коррозии.....	61
Рисунок 2.15. Методы диагностики и мониторинга коррозии.....	61
Рисунок 2.16. Внутритрубные роботы (Pigging).....	62
Рисунок 2.17. Эдди-ток (вихретоковый контроль)	63
Таблица 2.5. Преимущества и недостатки современных методов.....	63
2.7. Система телеметрии параметров станций катодной защиты.....	63
Рисунок 2.18. Схема структуры системы Телеметрического Контроля Станций катодной Защиты газопроводов на платформе Windows Server.....	67
Рисунок 2.19. Схема структуры системы телеметрического контроля станций катодной Защиты газопроводов на платформе WEB SERVER.....	70
Рисунок 2.20. СКЗ последнего поколения, страна производства Молдова.....	71
Рисунок 2.21. Блок телеметрии.....	71
Рисунок 2.22. Стартовая страница системы мониторинга и просмотра параметров СКЗ.....	72
Рисунок 2.23. Мониторинг параметров станций катодной защиты.....	72
Рисунок 2.24. Динамический анализ параметров станций катодной защиты.....	72
2.8. Комбинированные системы защиты.....	74
Рисунок 2.25. Схема комбинированной системы защиты газопроводов.....	75
Таблица 2. 6. Преимущества и недостатки комбинированных систем.....	76
2.9. Сравнительный анализ методов защиты подземных газопроводов.....	76
Таблица 2. 7. Сравнительный анализ методов защиты.....	77
2.10. Вывод.....	78

3. ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДА АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ В РАМКАХ СЕТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА в ООО «CHIȘINĂU-GAZ»:

3.1. Обоснование необходимости внедрения современных методов антикоррозионной защиты при эксплуатации подземных газопроводов.....	79
3.2. Теоретические основы и принцип действия выбранного метода антикоррозионной защиты с анодными заземлителями на основе проводящих полимерных композитов.....	80
3.3. Техничко-экономическая оценка эффективности внедрения метода антикоррозионной защиты с анодными заземлителями на основе проводящих полимерных композитов.....	82
3.4. Сравнительный анализ принципов антикоррозионной защиты в странах СНГ и Европы.....	84
3.5. Вывод.....	85
Общие выводы и рекомендации.....	87
Библиография.....	89

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения надежной, бесперебойной и безопасной эксплуатации подземных газопроводов в условиях интенсивного развития городской инфраструктуры и возрастающих требований к промышленной и экологической безопасности. Подземные газораспределительные сети, эксплуатируемые на территории Республики Молдова, в том числе в муниципии Кишинёв, подвергаются длительному воздействию агрессивных факторов окружающей среды, в том числе обусловленные высокой плотностью прилегающих коммуникации, что приводит к риску и развитию коррозионных процессов и постепенной деградации металлоконструкций. Значительная часть газопроводов была введена в эксплуатацию десятки лет назад, что увеличивает риск повреждений, утечек газа и аварийных ситуаций. Основными причинами снижения долговечности трубопроводов являются почвенная коррозия, влияние блуждающих токов, нарушение целостности защитных покрытий и порой недостаточная эффективность систем электрохимической защиты. В условиях плотной городской застройки аварии на подземных газопроводах могут повлечь серьезные социальные, экономические и экологические последствия. Поэтому совершенствование методов антикоррозионной защиты и внедрение современных технологий мониторинга состояния трубопроводов является приоритетной задачей для обеспечения устойчивого функционирования газораспределительной системы.

Цель работы

Целью данной работы является анализ и оценка современных методов защиты подземных стальных газопроводов от коррозии с учетом условий эксплуатации в городской среде, а также разработка рекомендаций по повышению их эффективности и надежности.

Задачи исследования

Для достижения поставленной цели поставлены следующие задачи:

- анализ факторов, влияющих на развитие коррозии подземных газопроводов;
- исследование существующих пассивных методов защиты (изоляционные покрытия, защитные оболочки);
- изучение активных методов электрохимической защиты (катодная, протекторная, дренажная);
- сравнительная оценка эффективности различных систем антикоррозионной защиты;
- разработка рекомендаций по совершенствованию защиты газопроводов в условиях городской инфраструктуры.

Объект исследования

Объектом исследования являются подземные газораспределительные сети муниципия Chişinău.

Научная новизна исследования

Научная новизна работы заключается в:

1. Комплексной оценке эффективности современных методов антикоррозионной защиты с учетом специфики городской среды.
2. Анализе возможности адаптации инновационных защитных покрытий и систем электрохимической защиты к локальным условиям эксплуатации.
3. Разработке практических рекомендаций по повышению долговечности и безопасности подземных газопроводов.

Практическая значимость

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения полученных результатов для модернизации системы защиты подземных газопроводов, продления срока их службы, снижения риска аварий и повышения уровня промышленной и экологической безопасности.

Методология исследования

Методология исследования включает:

- анализ нормативной и технической документации;
- изучение научных публикаций по проблеме коррозии трубопроводов;
- сравнительный анализ методов антикоррозионной защиты;
- оценку технической и экономической эффективности различных решений;
- формирование рекомендаций по совершенствованию системы защиты газопроводов.

БИБЛИОГРАФИЯ:

- [1] Закон Республики Молдова №108/2016 «О природном газе». — Электронный ресурс. — URL: https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=105945&lang=ro (дата обращения: 22.04.2026).
- [2] Закон Республики Молдова №174/2017 «Об энергетике». — Электронный ресурс. URL: <https://www.premierenergydistribution.md/sites/default/files/inline-files/tarife-si-reglementari/legislatie-si-reglementare/legislatia-primara/Legea-cu-privire-la-energetica-nr.174-din-21.09.2017.pdf> (дата обращения: 22.04.2026).
- [3] Закон Республики Молдова №151/2022 от 09.06.2022 «О безопасном функционировании потенциально опасных производственных объектов и технических установок». — Электронный ресурс. — URL: https://balti-gaz.md/wp-content/uploads/2021/02/zakon_-151_ot_09_06_2022_o_bezopasnom_funktsionirovanii_potentsialno.pdf (дата обращения: 22.04.2026).
- [4] Закон Республики Молдова №186/2008 «О безопасности и охране труда». — Электронный ресурс. — URL: <https://contabilitate.md/ro/always-at-hand/baza-juridica/dreptul-muncii/legi/translate-to-rom-zakon-ob-okhrane-zdorovja-i-bezopasnosti-truda-no-186/2008> (дата обращения: 22.04.2026).
- [5] Постановление Правительства Республики Молдова №552 от 12.07.2017 «Об утверждении минимальных требований безопасности при эксплуатации распределительных сетей горючих природных газов». — Электронный ресурс. — URL: <https://www.chisinaugaz.md/storage/files/Legislatie/01102025-1410-NS/552-2017%20RO.pdf> (дата обращения: 22.04.2026).
- [6] Постановление Правительства Республики Молдова №1104 от 14.11.2018. — Электронный ресурс. — URL: https://balti-gaz.md/wp-content/uploads/2021/02/1104_ru.pdf (дата обращения: 22.04.2026).
- [7] NCM G.05.01:2014 «Sisteme de distribuție a gazelor». — Электронный ресурс. — URL: <https://ednc.gov.md/ncm-g-05-012014/> (дата обращения: 15.04.2026).
- [8] CP G.05.01-2014 «Dispoziții generale de proiectare și construcție a sistemelor de distribuție a gazelor». — Электронный ресурс. — URL: <https://ednc.gov.md/cp-g-05-01-2014> (дата обращения: 15.04.2026).
- [9] CP G.05.02-2014 «Proiectarea și construcția conductelor de gaze din țevi de metal». — Электронный ресурс. — URL: <https://ednc.gov.md/cp-g-05-02-2014> (дата обращения: 15.04.2026).

- [10] CP G.05.03-2014 «Proiectarea și construcția conductelor de gaze din țevi de polietilenă și reconstrucția conductelor uzate». — Электронный ресурс. — URL: <https://ednc.gov.md/cp-g-05-03-2014/> (дата обращения: 15.04.2026).
- [11] RG 35-04-29:2005 «Evaluarea stării tehnice a conductelor de gaze subterane». — URL: <https://www.ctsic.md/libview.php?id=133&idc=24&l=ro&t=/Documente-normative/RG-35-04-292005/> (дата обращения: 15.04.2026).
- [12] RG 35-04-25:2000 «Modul de cercetare și evidență a avariilor și accidentelor legate de utilizarea gazelor în sectorul comunal». — Электронный ресурс. — URL: <https://www.ctsic.md/libview.php?l=ru&idc=24&id=192&t=/Normative-documents/RG-35-04-252000/> (дата обращения: 15.04.2026).
- [13] ANRE. Hotărârea nr. 112/2019 din 19.04.2019 «cu privire la aprobarea Regulamentului privind racordarea la rețelele de gaze naturale și prestarea serviciilor de transport și de distribuție a gazelor naturale». — Электронный ресурс. — URL: <https://anre.md/acte-normative-3-243?nr=112> (дата обращения: 15.04.2026).
- [14] ANRE. Hotărârea nr. 113 din 19.04.2019 «cu privire la aprobarea Regulamentului privind furnizarea gazelor naturale». — Электронный ресурс. — URL: <https://anre.md/acte-normative-3-243?nr=113> (дата обращения: 15.04.2026).
- [15] ANRE. Hotărârea nr. 422 din 22.11.2019 «Regulamentul cu privire la calitatea serviciilor de transport și de distribuție a gazelor naturale». — Электронный ресурс. — URL: <https://anre.md/acte-normative-3-243?nr=422> (дата обращения: 15.04.2026).
- [16] ГОСТ 9.602–2016 «Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии». — Электронный ресурс. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136053> (дата обращения: 15.04.2026).
- [17] ISO 15589-1:2015. Нефтегазовая и нефтехимическая промышленность — Защита трубопроводных систем от коррозии катодной защитой. Часть 1: Наземные трубопроводы [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.iso.org/standard/54503.html> (дата обращения: 15.04.2026).
- [18] EN 12954:2019. General principles of cathodic protection of buried or immersed onshore metallic structures [Электронный ресурс]. — URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/b40affcc-5fd4-4dc9-a78c-cc73e1237bf9/en-12954-2019> (дата обращения: 15.04.2026).
- [19] NACE SP0169:2024. Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems [Электронный ресурс]. — URL: <https://content.ampp.org/standards/search-results?page=1&q=SP0169> (дата обращения: 22.04.2026).

- [20] DNV-RP-F103:2019 (amended 2021). Cathodic protection of submarine pipelines. [Электронный ресурс]. — Høvik: DNV (Det Norske Veritas). — URL: <https://standards.globalspec.com/std/14387478/DNV-RP-F103> (дата обращения: 15.04.2026).
- [21] ISO 22426:2020. Assessment of the effectiveness of cathodic protection based on coupon measurements [Электронный ресурс]. — Geneva: International Organization for Standardization. — Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/73167.html> (дата обращения: 15.04.2026).
- [22]. Корпорация ПСС (Российская Федерация). Официальный сайт. Электрохимическая защита и системы ЭХЗ: анодные заземлители. URL: <https://pss.ru/product/ekhz-katodnaya-zashchita/anodnye-zazemliteli/>
- [23] API RP 1160:2019. Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipelines [Электронный ресурс]. — Washington, D.C.: American Petroleum Institute. — Режим доступа: <https://www.api.org/products-and-services/standards/important-standards-announcements/recommended-practice-1160> (дата обращения: 15.04.2026).
- [24] Revie R.W., Uhlig H.H. *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering*. — 4th ed. — Hoboken: John Wiley & Sons, 2008. — DOI: 10.1002/9780470277270. — URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470277270> (дата обращения: 15.04.26).
- [25] Fontana M.G. *Corrosion Engineering*. — 3rd ed. — New York: McGraw-Hill Book Company, 1985. — ISBN 9780070214637. — URL: <https://www.abebooks.com/9780070214637/Corrosion-Engineering-Fontana-Mars-G-0070214638/plp> (дата обращения: 15.04.2026).
- [26] Baeckmann W. von, Schwenk W., Prinz W. *Handbook of Cathodic Corrosion Protection: Theory and Practice of Electrochemical Protection Processes*. — 3rd ed. — Houston: Gulf Professional Publishing, 1997. — ISBN 978-0-88415-056-5.
- [27] SA „Moldovagaz”. Raport anual 2023 [Электронный ресурс]. — URL: https://www.moldovagaz.md/pic/uploaded/docs/Report1_2023.pdf (дата обращения: 15.04.2026).
- [28] SRL „Chișinău-Gaz”. Rapoarte privind funcționarea sistemului de distribuție a gazelor naturale [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.chisinaugaz.md/ro/page/rapoarte> (дата обращения: 15.04.2026).
- [29] ANRE Republic of Moldova. Annual Reports [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.anre.md/index.php/raport-de-activitate-3-10> (дата обращения: 15.04.2026).
- [30] ENTSG. Gas Infrastructure Reports [Электронный ресурс]. — URL: [Annual Work Programme & Annual Reports | ENTSG](https://www.entsoe.eu/en/what-we-do/our-work/annual-work-programme-and-annual-reports) (дата обращения: 15.04.2026).

- [31] LEU Vasile, VÎRLAN Andrei. Modelarea regimurilor hidraulice de funcționare a sistemului de alimentare centralizată cu energie termică din Municipiul Chișinău. In: *Probleme actuale în urbanism și arhitectură*, 15-17 noiembrie 2022, Chișinău. Chișinău: Universitatea Tehnică a Moldovei, 2022, Ediția 11, pp. 70-80. ISBN 978-9975-45-947-1 https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/185724
- [32] Valentin Arion, Viorica Hlusuov, Mihai Sanduleac, Vasile Leu, Constantin Borosan. Evaluation of the optimal solar fraction for a district heating system. EMERG. Volume VIII, Issue 4/2022, pp 71–92, DOI: 10.37410/EMERG.2022.4.01. ISSN 2668-7003. <https://emerg.ro/files/evaluation-of-the-optimal-solar-fraction-for-a-district-heating-system/>
- [33] Vasile Leu, Mihail Cernei. District Heating Systems in Republic of Moldova: Reality and Perspectives. *Problemele energiei regionale* 1-3 (42) 2019, pag. 46-52. ISSN 1857-0070. https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/88527
- [34] Leu Vasile, Cernei Mihail. Centralized district heating systems: Reality and perspectives. 11th International conference on electromechanical and power systems (SIELMEN). 11 October, Iasi, Romania/12-13 October, Chisinau, Republic Moldova, 2017, pag. 571-574 DOI: <https://doi.org/10.1109/SIELMEN.2017.8123389>
- [35] Cernei Mihail, Vasile Leu. Problemele generale ale sistemelor centralizate de încălzire în Republica Moldova. *Problemele energiei regionale* 1(30) 2016, p.84-88. ISSN1857-0070 https://journal.ie.asm.md/assets/files/07_01_30_2016.pdf
- [36] Arion V., **Leu V.**, Hlusuov V. Republic of Moldova: Assessment of energy poverty. *JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCE*, 30(1), 85–98. pISSN 2587-3474, eISSN 2587-3482 [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2023.30\(1\).07](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2023.30(1).07)
- [37] Mihail Cernei, **Vasile Leu**, Inesa Brumă. Cogenerarea și încălzirea centralizată în Republica Moldova. Forumul Regional al Energiei din Europa Centrală și de Est – FOREN 2018, cu tema „Central And Eastern Europe in The New Era of Energy Transition: Challenges, Investment Opportunity and Technological Innovations”, 10 – 14 iunie 2018, Costinești, România. Energy. Environment. Efficiency. Resources. Globalization. EMERG-7, 2018, publicație semestrială editată de AGIR și CNR-CME, pag. 51-59. <https://emerg.ro/wp-content/uploads/2019/03/EMERG-7-Cogenerarea-%C8%99i-%C3%AEenc%C4%83lzirea-centralizat%C4%83-%C3%AEen-Republica-Moldova.pdf>