

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В РАБОТЕ УСТАНОВКИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

Тутаев Г.М., Сысоев Я.А.

*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарёва, Саранск*

Ключевые слова: бестраншейный метод, горизонтальное направленное бурение, буровая установка, буровая головка, электропривод, породоразрушающий инструмент, грунт, автоматизация, роботизация, пример.

Аннотация. В статье рассматриваются основные методы бестраншейной прокладки коммуникаций под землёй. Подробно изучаются этапы проведения буровых работ. Исследуется принцип работы установки горизонтального направленного бурения. Особое внимание уделяется функционированию отдельных частей буровой установки. Приводятся основные проблемы, возникающие при проведении буровых работ. Предлагается свести проблемы бурения к трём вопросам: замене гидропривода электроприводом, внедрению искусственного интеллекта в систему управления буровой установки, повышению мощности и помехоустойчивости системы локации. Проводится сравнение гидропривода и электропривода, используемых в установках горизонтального направленного бурения. Анализируются конструкция и принцип работы буровой головки. Исследуются виды и назначения породоразрушающих инструментов. Рассматриваются основные вопросы, связанные с буровыми растворами, используемыми при бурении скважин. Предлагается провести автоматизацию и роботизацию буровой установки посредством внедрения в её работу искусственного интеллекта. Подробно изучается процесс расширения скважины при помощи римера.

MAIN PROBLEMS IN THE OPERATION OF HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING RIG

Tutaev G.M., Sysoev Ya.A.

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk

Keywords: trenchless method, horizontal directional drilling, drilling rig, drilling head, electric drive, rock-cutting tool, soil, automation, robotization, reamer.

Abstract. The article discusses the main methods of trenchless laying of underground communications. The stages of drilling operations are studied in detail. The operating principle of a horizontal directional drilling rig is investigated. Particular attention is paid to the functioning of individual parts of the drilling rig. The main problems arising during drilling operations are given. It is proposed to reduce drilling problems to three issues: replacing the hydraulic drive with an electric drive, introducing artificial intelligence into the drilling rig control system, increasing the power and noise immunity of the location system. A comparison of the hydraulic drive and electric drive used in horizontal directional drilling rigs is carried out. The design and operating principle of the drill head are analyzed. The types and purposes of rock-cutting tools are studied. The main issues related to drilling fluids used in well drilling are considered. It is proposed to automate and robotize the drilling rig by introducing artificial intelligence into its work. The process of expanding a well using a reamer is studied in detail.

Введение. В настоящее время стремительное развитие городов и других населенных пунктов требует наличия высокоразвитой инфраструктуры и различных систем жизнеобеспечения, таких как электроснабжение, оптоволоконные линии связи, водоснабжение, газоснабжение и т.д. Для этого необходима прокладка коммуникаций – различных связей между инфраструктурными объектами.

Традиционным методом прокладки коммуникаций является траншейный метод. Он заключается в создании траншеи – открытой протяжённой по длине выемки в земле, в которую закладывается та или иная коммуникация [1]. Траншея раскапывается специальной техникой, чаще всего экскаватором. После прокладки коммуникаций вырытый из траншеи грунт возвращается на первоначальное место. Траншейный метод имеет ряд недостатков, в числе которых трудоёмкость процесса, нанесение ущерба окружающей среде.

В связи с этим всё большее распространение получают бестраншейные методы прокладки коммуникаций. Они исключают раскапывание открытой траншеи, поэтому являются более эффективными. Существует несколько бестраншейных методов прокладки коммуникаций.

Виды бестраншейных методов. Плужный метод состоит в перемещении плуга и протягивании прикрепленной к нему системы коммуникации. Плуг при этом движется с помощью тягача. Данный способ подходит для прокладки трубопроводов диаметром до 300 мм на глубине до 1,8 м.

Метод прокола используется, когда нужно проложить трубопровод малого диаметра на небольшое расстояние. Прокол осуществляется с помощью специального породоразрушающего инструмента, к которому присоединяется коммуникация.

Метод продавливания используется при прокладке стальных труб. Они должны обязательно состоять из высокопрочного материала, так как выполняют роль режущего инструмента. После окончания работ в трубопроводе остаётся грунт, который удаляется с помощью гидроразмыва.

Метод горизонтального направленного бурения (ГНБ) заключается в управляемом создании подземной скважины при помощи породоразрушающего инструмента, который подключается к буровой установке. Метод ГНБ позволяет производить бурение скважин в местностях, где траншейное бурение невозможно, например, под водоёмами, железными дорогами, объектами инфраструктуры [2].

Пример профиля и плана скважины представлен на рисунке 1. Отметки земли пронумерованы. Расстояние между двумя отметками называется шагом. В данном случае он равен 3 м. Для каждой отметки указаны глубина скважины и угол её наклона. На графике отмечены подземные коммуникации. Водопровод радиусом 500 мм находится на отметке 21 м на глубине 1,5 м. Газопровод радиусом 800 мм находится на отметке 39 м на глубине 0,7 м. На графике приведено наземное препятствие – железнодорожные пути, расположенные между отметками 27 м и 33 м.

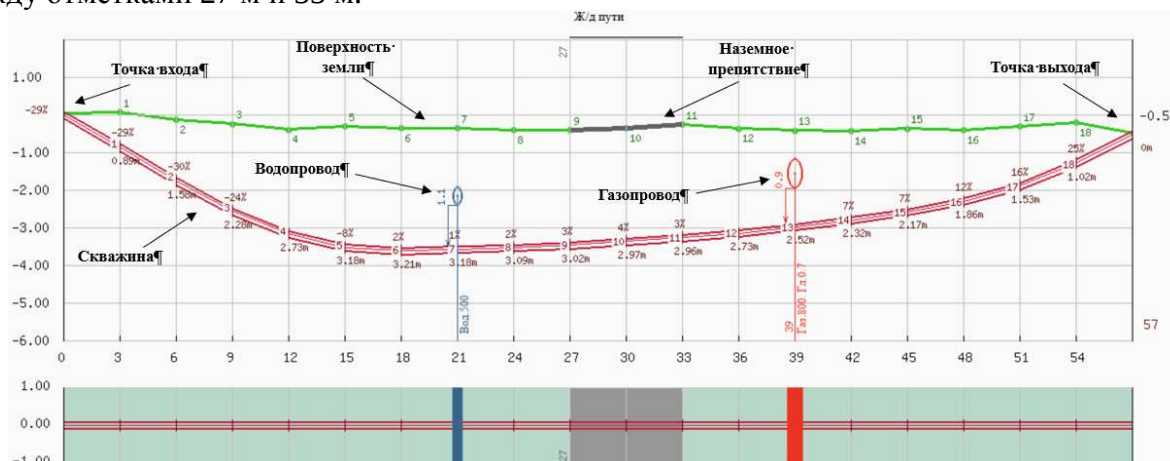


Рис. 1. Профиль и план скважины

Описание установки ГНБ. Буровые установки представлены на рисунках 2 и 3. Они включают в себя ходовую часть, анкерную плиту, буровую головку, расширитель, кассету со штангами, каретку с редуктором, кабину оператора и силовой привод.

В процессе работы буровой установки возникает ряд проблем, которые можно свести к трём основным вопросам: замене гидропривода электроприводом, внедрению искусственного интеллекта в систему управления буровой установки, повышению мощности и помехоустойчивости системы локации.

Источником энергии буровой установки является силовой привод, в качестве которого может быть использованы дизельный, электрический, дизель-электрический и дизель-гидравлический приводы. В настоящее время чаще всего используется дизель-гидравлический привод, основным достоинством которого является высокая мощность.

Однако он имеет ряд недостатков: большие габариты, высокая стоимость, риск утечек, сложность обслуживания [3]. Замена гидропривода электроприводом позволит устранить эти недостатки. Основными достоинствами электропривода являются простота конструкции, низкие затраты на обслуживание, энергоэффективность. Однако он обладает более низкой мощностью по сравнению с гидроприводом [4]. Повышение мощности электропривода в буровых установках – одна из задач, стоящая в настоящее время перед производителями бурового оборудования.

Процесс ГНБ состоит из пяти этапов.

Подготовка к проведению буровых работ. Первый этап заключается в подготовительных работах. Проводится тщательная инспекция трассы бурения: собирается информация о наземных и о подземных объектах, проводится разведка состава грунта. По результатам инспекции составляется график планируемой скважины. Перед началом работ на объект доставляется буровая установка и другое необходимое оборудование.

Важной частью подготовительных работ является обездвижение буровой установки с целью обеспечения её устойчивости. Для этого проводится якорение анкерной плиты при помощи винтовых опор, внедряемых в толщу земли на определенную глубину [5].

Бурение пилотной скважины. Второй этап заключается в бурении пилотной скважины. Бурение осуществляется буровой головкой, которая представляет металлическое устройство в форме цилиндра с наконечником. Наконечником является породоразрушающий инструмент, который может быть либо буровой лопаткой (для мягких грунтов), либо режущими коронками (для любого вида грунта). Для очень жёстких грунтов используются шарошечные долота и долота с поликристаллическими алмазными элементами, называемые также PDC-долота (англ. Polycrystalline Diamond Bits) [6]. Буровые лопатки и режущие головки имеют скос, называемый направляющей плоскостью. У долот эта плоскость отсутствует. Кроме этого, на породоразрушающем инструменте находятся специальные сопла, называемые дюзами, через которые под сильным напором поступает в скважину буровой раствор. Все виды породоразрушающих инструментов приведены на рисунке 4.

Буровая головка управляется оператором бурения, который находится в кабине буровой установки. Существует два режима работы: режим бурения и режим толкания [7]. В режиме бурения головка осуществляет разрушение грунта. При этом движение головки складывается из двух видов движения: поступательного в заданном оператором бурения направлении и вращательного вокруг своей оси. В режиме толкания головка не разрушает грунт, а изменяет своё направление, то есть угол наклона. При этом вращение отсутствует, головка движется поступательно в зависимости от расположения направляющей плоскости. Например, если направляющая плоскость обращена вверх (к поверхности земли), то головка двигается вниз. Отсутствие у долот направляющей плоскости позволяет их применять только для прямолинейного бурения.



Рис. 2. Буровая установка Гидрофоб УГНБ-4М2



Рис. 3. Буровая установка Ditch Witch JT24



Рис. 4. Породоразрушающие инструменты: а – буровая лопатка, б – режущие коронки, в – шарошечное долото, г – PDC-долото

Буровая головка соединяется с буровой колонной, которая представляет последовательное сцепление специальных труб – буровых штанг (рис. 5). Буровая колонна крепится непосредственно к буровой установке, находящейся на поверхности земли. Изначально все штанги находятся внутри контейнера, называемого кассетой. Устройство свинчивания-развинчивания обеспечивает соединение буровых штанг друг с другом при бурении и их разъединение после окончания работ [8].



Рис. 5. Буровые штанги

В движение буровую колонну приводит редуктор. Каретка с редуктором прикрепляется к последней буровой штанге.

Буровая установка оснащена ходовой частью, которая чаще всего представлена гусеницами. Они используются для маневрирования установки по площадке производства работ.

Через буровую колонну к головке поступает буровой раствор под давлением от насоса. Раствор имеет несколько функций: охлаждение буровой головки, снижение трения колонны о грунт, укрепление стенок скважины за счёт образования фильтрационной корки, размыв грунта, удаление шлама (грунтовых отходов) из скважины. Характеристики и химический состав раствора рассчитывается исходя из состава грунта [9]. Основным параметром насоса является давление бурового раствора. Этот параметр контролируется оператором бурения.

Определённый ряд проблем связан с грунтовыми рисками, к которым относится, например, резкий переход от одного типа грунта к другому или столкновение с подземным мусором. При переходе от более жёсткого грунта к более мягкому, тяговое усилие буровой установки становится избыточным, что приводит к отклонению головки от намеченной траектории. При переходе от более мягкого грунта к более жёсткому или при столкновении с мусором высокой твёрдости возможно увеличение трения головки, что приводит к повышению её температуры [10]. Возможным решением этих проблем является внедрение в работу буровой установки искусственного интеллекта с предсказанием изменения состава грунта.

В процессе буровых работ необходимы два человека: оператор бурения, находящийся в кабине буровой установки и управляющий движением головки, и оператор лоатора, следующий за головкой над ней по поверхности земли и принимающий сигнал от радиозонда, который вмонтирован в неё. Радиозонд передаёт информацию о текущих

параметрах головки. Повышение мощности и помехоустойчивости системы локации входит в число задач, решаемых производителями буровых установок.

С целью повышения экономической эффективности и оптимизации трудовых затрат можно предложить провести автоматизацию и роботизацию буровых установок, а также внедрение нейронных сетей в систему управления установками. Это позволит исключить оператора бурения и оператора локатора из процесса буровых работ [11].

Второй этап заканчивается, когда буровая головка выходит на поверхность земли в точке выхода.

Расширение скважины. Третий этап заключается в расширении скважины. Поскольку пилотная скважина имеет диаметр меньший, чем диаметр прокладываемых коммуникаций, то необходимо его увеличение. Оно осуществляется с помощью специального устройства, которое называется расширителем или римером (от англ. reamer – расширитель). После выхода буровой головки на поверхность земли она отсоединяется от колонны, после чего к первой штанге присоединяется расширитель. Затем буровая установка протягивает колонну обратно, а ример увеличивает диаметр скважины [12].

Существуют расширители трёх видов: режущие, уплотняющие и режуще-уплотняющие (рис. 7). Режущие римеры срезают слои земли со стенок скважины. Они используются в грунтах, содержащих песок, гравий, корни деревьев, различные препятствия. Уплотняющие расширители вдавливают грунт по всему диаметру скважины. Они создают гладкий туннель, в котором практически отсутствует шлам, благодаря чему трение прокладываемой коммуникации о стенки скважины заметно уменьшается. Режуще-уплотняющие римеры сочетают свойства обоих видов расширителей. Чаще всего используются комбинированные римеры, представляющие последовательное соединение режущего и уплотняющего расширителей [13].

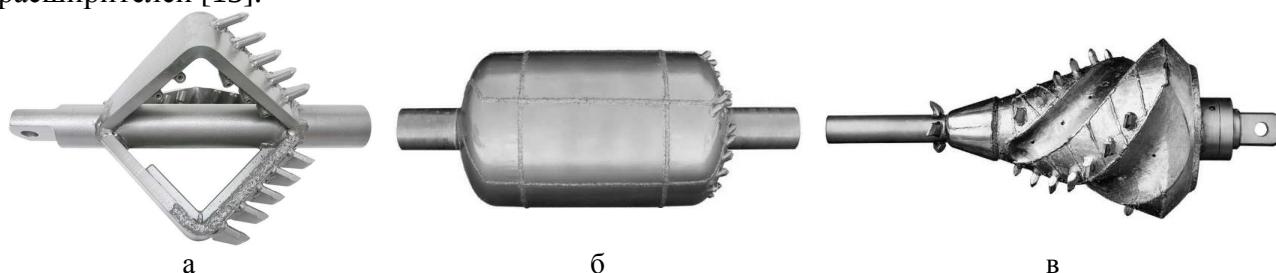


Рис. 7. Расширители: а – режущий, б – уплотняющий, в – режуще-уплотняющий

Из-за высокой нагрузки на ример процесс расширения проводится в несколько этапов. На каждом последующем этапе диаметр римера увеличивается на 100-150 мм. Таким образом, необходимо наличие нескольких расширителей [14]. В настоящее время проводится поиск способов снижения количества этапов расширения, так как меньшее их число позволяет снизить затраты как на приобретение большего числа римеров, так и на само проведение работ по расширению скважин.

В скальных грунтах наилучшего результата позволяют добиться шарошечные расширители (рис. 8). Однако при этом существуют две проблемы: быстрый износ шарошек и отсутствие центратора, из-за чего происходит смещение оси римера от намеченного направления. Это влечёт изгибающие нагрузки и возможный обрыв буровой колонны [15]. Возможным решением проблемы является использование автоматизированного регулирования центрации оси расширителя.

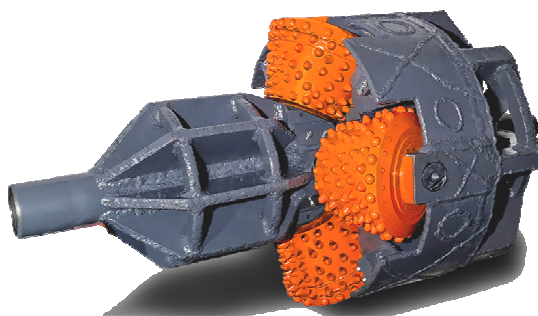


Рис. 8. Шарошечный расширитель

Четвёртый этап состоит в прокладке системы коммуникаций. Они присоединяются к последнему используемому римеру, после чего буровая установка протягивает назад колонну. Таким образом, вся длина коммуникации оказывается внутри скважины.

На пятом этапе производится демонтаж оборудования и уборка бурового шлама и остатков бурового раствора. Кроме этого, составляется отчёт о выполненных работах и строится график готовой скважины.

Закключение. Таким образом, в ходе исследования проведён обзор существующих методов прокладки коммуникаций, рассмотрены устройство и принцип работы установки ГНБ. Выделены проблемы в процессе работы буровых установок, а также приведены возможные способы их решения. Выявленные проблемные области в функционировании буровых установок предложено свести к трём основным вопросам: замене гидропривода электроприводом, внедрению искусственного интеллекта в систему управления буровой установки, повышению мощности и помехоустойчивости системы локации.

Список литературы

1. Кирсанова М.В. Развитие инженерной инфраструктуры города как важнейшего элемента городского хозяйства // Вестник Самарского института муниципального направления. – 2012. – №3(22). – С. 41-47.
2. Putri Arumsari, Elisa Tanuwijaya. Pipeline installation using horizontal directional drilling method (HDD) // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2021, vol. 794(1), p. 012009. DOI: 10.1088/1755-1315/794/1/012009.
3. Буриев Б.А., Акулов Д.В. Гидроприводы: обзор современного состояния и технического приложения в машинах и аппаратах // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Сборник материалов VIII международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики. В 3-х томах. – Красноярск: СибГУ им. академика М.Ф. Решетнёва, 2022. – Т. 1. – С. 258-260.
4. Бородин Д.С. Электропривод. достоинства, недостатки и способы улучшения // Мавлютовские чтения: Материалы XVIII Всероссийской молодёжной научной конференции. В 9-ти томах. – Уфа: УУНТ, 2024. – Т. 3. – С. 291-294.
5. Орлов В.А. Технологии бестраншейной прокладки и ремонта трубопроводов. – М.: МГСУ, 2012. – 210 с.
6. Галеев С.Х., Муртазин Р.Ш. О совершенствовании рабочих органов инструмента для горизонтального направленного бурения // Труды поволжского государственного технологического университета. Серия: технологическая. – 2021. – №9. – С. 36-43.
7. Отставнов А.А., Устюгов В.А., Примин О.Г., Хренов К.Е., Харькин В.А. Технология прокладки ПЭ-трубопроводов с использованием ГНБ // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2010. – №2(98). – С. 20-27.
8. Серебренников А.А., Серебренников Д.А. Средства для бестраншейной прокладки полиэтиленовых трубопроводов (конструкции, исследования, расчеты): монография. – Тюмень: ТИУ, 2016. – 112 с.
9. Ana Cecilia Soares, Fernando Artur Brasil Danziger, Gustavo Santos Domingos. An experimental study of Horizontal Directional Drilling (HDD) in sand in a large flexible calibration chamber // Tunneling and Underground Space Technology. 2023, vol. 141, p. 105295. DOI: 10.1016/j.tust.2023.105295.
10. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2020. – 38 с.
11. Загиров Р.Р., Батталова А.А. Возможности применения искусственного интеллекта при сопровождении бурения горизонтальных скважин // Актуальные вопросы экономики и управления в нефтегазовом бизнесе: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2021. – Т. 6. – С. 59-62.
12. Fernando Patino-Ramirez, Carrie Layhee, Chloe Arson. Horizontal directional drilling (HDD) alignment optimization using ant colony optimization // Tunneling and Underground Space Technology. 2020, vol. 103, p. 103450. DOI: 10.1016/j.tust.2020.103450.
13. СТО НОСТРОЙ 2.27.17 2011. Прокладка подземных инженерных коммуникаций методом горизонтального направленного бурения / Стандарт организации. – М.: БСТ, 2012. – 135 с.
14. Ramunas Jasevicius. Handbook of reamers for horizontal directional drilling [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.directional-drilling-store.com/post/handbook-of-reamers-for-horizontal-directional-drilling>.
15. Abramov I.L., Mkhoyan S.A. Application of horizontal directional drilling technology in the laying of underground utilities // Components of scientific and technological progress. 2021, no. 10(64), pp. 16-20.

References

1. Kirsanova M.V. Development of the city's engineering infrastructure as the most important element of the urban economy // Bulletin of the Samara Institute of Municipal Direction. 2012, no. 3(22), pp. 41-47.
2. Putri Arumsari, Elisa Tanuwijaya. Pipeline installation using horizontal directional drilling method (HDD) // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2021, vol. 794(1), p. 012009. DOI: 10.1088/1755-1315/794/1/012009.
3. Buriev B.A., Akulov D.V. Hydraulic drives: a review of the current state and technical application in machines and devices // Actual problems of aviation and cosmonautics: Collection of materials of the VIII international scientific

and practical conference dedicated to Cosmonautics Day. In 3 volumes. – Krasnoyarsk: SibSU n.a. academician M.F. Reshetnev, 2022. – Vol. 1. – P. 258-260.

4. Borodin D.S. Electric drive. advantages, disadvantages and ways of improvement // Mavlyutov readings: Materials of the XVIII All-Russian youth scientific conference. In 9 volumes – Ufa: UUNiT, 2024. – Vol. 3. – P. 291-294.
5. Orlov V.A. Technologies of trenchless laying and repair of pipelines. – M.: MUOE, 2012. – 210 p.
6. Galeev S.Kh., Murtazin R.Sh. On the improvement of the working bodies of the tool for horizontal directional drilling // Transactions of the Volga State Technological University. Series: technological. 2021, no. 9, pp. 36-43.
7. Otstavnov A.A., Ustyugov V.A., Primin O.G., Khrenov K.E., Kharkin V.A. Technology of laying PE pipelines using HDD // Plumbing, heating, air conditioning. 2010, no. 2(98), pp. 20-27.
8. Serebrennikov A.A., Serebrennikov D.A. Means for trenchless laying of polyethylene pipelines (designs, research, calculations): monograph. – Tyumen: TIU, 2016. – 112 p.
9. Ana Cecília Soares, Fernando Artur Brasil Danziger, Gustavo Santos Domingos. An experimental study of Horizontal Directional Drilling (HDD) in sand in a large flexible calibration chamber // Tunneling and Underground Space Technology. 2023, vol. 141, p. 105295. DOI: 10.1016/j.tust.2023.105295.
10. GOST 25100-2020. Soils. Classification. – M.: Standartinform, 2020. – 38 p.
11. Zagirov R.R., Battalova A.A. Possibilities of using artificial intelligence in supporting the drilling of horizontal wells // Actual issues of economics and management in the oil and gas business: Proceedings of the VI All-Russian scientific and practical conference. – Ufa: Ufa State Petroleum Technological University, 2021. – Vol. 6. – P. 59-62.
12. Fernando Patino-Ramirez, Carrie Layhee, Chloe Arson. Horizontal directional drilling (HDD) alignment optimization using ant colony optimization // Tunneling and Underground Space Technology. 2020, vol. 103, p. 103450. DOI: 10.1016/j.tust.2020.103450.
13. STO NOSTROY 2.27.17 2011. Laying underground utilities using horizontal directional drilling / Organization standard. – M.: BST, 2012. – 135 p.
14. Ramunas Jasevicius. Handbook of reamers for horizontal directional drilling [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.directional-drilling-store.com/post/handbook-of-reamers-for-horizontal-directional-drilling>.
15. Abramov I.L., Mkhoyan S.A. Application of horizontal directional drilling technology in the laying of underground utilities // Components of scientific and technological progress. 2021, no. 10(64), pp. 16-20.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Тутаев Геннадий Михайлович – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой электроники и электротехники	Tutaev Gennady Mikhailovich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Electronics and Electrical Engineering
Сысоев Ярослав Алексеевич – аспирант	Sysoev Yaroslav Alekseevich – postgraduate student
sysoevyar0@yandex.ru	

Получена 12.08.2025