

RAQAMLI TA'LIM MUHITIDA TARMOQ TEXNOLOGIYALARINI O'QITISHNING ZAMONAVIY DASTURIY-METODIK TA'MINOTI: QIYOSIY TAHLIL VA RIVOJLANISH TENDENSIYALARI

I.Odil¹

Mas'ul muallif: Odil Islomov,
Osiyo Xalqaro universiteti Aniq
fanlar va raqamli texnologiyalari
kafedrası o'qituvchisi.

Accepted: 13 Sentabr 2026

Published: 13 Sentabr 2026

Copyright: © 2026 by the
author(s). Licensee Buxoro xalqaro
universiteti ilmiy axborotnomasi.

Iqtibos uchun: Odil, I. RAQAMLI
TA'LIM MUHITIDA TARMOQ
TEXNOLOGIYALARINI
O'QITISHNING ZAMONAVIY
DASTURIY-METODIK TA'MINOTI:
QIYOSIY TAHLIL VA RIVOJLANISH
TENDENSIYALARI / I. Odil //
Buxoro xalqaro universiteti ilmiy
axborotnomasi. — 2026. — T. 9, №
1. — B. 158–164.

1. Osiyo Xalqaro universiteti Aniq fanlar va raqamli texnologiyalari kafedrası o'qituvchisi

Annotatsiya. Ushbu maqolada raqamli ta'lim muhitida tarmoq texnologiyalarini o'qitishda qo'llanilayotgan zamonaviy dasturiy-metodik ta'minotlarning pedagogik va funksional imkoniyatlari qiyosiy tahlil qilingan. Tadqiqot doirasida tarmoq infratuzilmasini modellashtirish va virtual laboratoriya mashg'ulotlarini tashkil etishda keng qo'llaniladigan Cisco Packet Tracer, GNS3, EVE-NG hamda MikroTik CHR platformalari o'rganilgan. Mazkur dasturiy vositalar virtual laboratoriya tashkil etish, tarmoqni modellashtirish, amaliy ko'nikmalarni shakllantirish, interaktivlik, foydalanish qulayligi, mustaqil ta'limni tashkil etish va ta'lim jarayoniga integratsiyalash imkoniyatlari kabi mezonlar asosida baholangan. Tadqiqot jarayonida qiyosiy tahlil, tizimlashtirish, umumlashtirish va baholash metodlaridan foydalanilgan. Tahlil natijalari mavjud platformalar talabalarida tarmoq qurilmalarini sozlash, tarmoq topologiyalarini yaratish va boshqarish bo'yicha amaliy kompetensiyalarni rivojlantirish uchun keng imkoniyatlarga ega ekanligini ko'rsatdi. Aynan shu, dasturiy vositalarni metodik materiallar, o'quv topshiriqlari, baholash va monitoring mexanizmlari bilan yaxlit integratsiyalash borasida ayrim cheklovlar mavjudligi aniqlandi. Tadqiqot natijasida tarmoq texnologiyalarini o'qitishning dasturiy-metodik ta'minotini takomillashtirishga qaratilgan asosiy metodik talablar va rivojlanish tendensiyalari belgilab berildi.

Kalit so'zlar: raqamli ta'lim muhiti, tarmoq texnologiyalari, dasturiy-metodik ta'minot, Cisco Packet Tracer, GNS3, EVE-NG, MikroTik CHR, virtual laboratoriya, tarmoq simulyatsiyasi, raqamli ta'lim, amaliy kompetensiya.

СОВРЕМЕННОЕ ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБУЧЕНИЯ СЕТЕВЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ В ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ педагогических и функциональных возможностей современного программно-методического обеспечения, применяемого при обучении сетевым технологиям в цифровой образовательной среде. В рамках исследования рассмотрены широко используемые платформы Cisco Packet Tracer, GNS3, EVE-NG и MikroTik CHR, предназначенные для моделирования сетевой инфраструктуры и организации виртуальных лабораторных занятий. Программные средства оценивались по таким критериям, как возможности организации виртуальных лабораторий, моделирования компьютерных сетей, формирования практических навыков, интерактивность, удобство использования, поддержка самостоятельного обучения и интеграция в образовательный процесс. В исследовании использованы методы сравнительного анализа, систематизации, обобщения и оценки. Результаты анализа показали, что рассматриваемые платформы обладают значительными возможностями для развития практических компетенций обучающихся в области создания сетевых топологий, настройки и администрирования сетевого оборудования. Вместе с тем выявлены отдельные ограничения, связанные с комплексной интеграцией программных средств с методическими материалами, учебными заданиями, механизмами оценивания и мониторинга образовательных результатов. На основе проведенного анализа определены основные методические требования и перспективные тенденции совершенствования программно-методического обеспечения обучения сетевым технологиям в цифровой образовательной среде.

Ключевые слова: цифровая образовательная среда, сетевые технологии, программно-методическое обеспечение, Cisco Packet Tracer, GNS3, EVE-NG, MikroTik CHR, виртуальная лаборатория, моделирование сетей, цифровое обучение, практическая компетентность.

MODERN SOFTWARE AND METHODOLOGICAL SUPPORT FOR TEACHING NETWORK TECHNOLOGIES IN A DIGITAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT: COMPARATIVE ANALYSIS AND DEVELOPMENT TRENDS

Abstract. This article presents a comparative analysis of modern software and methodological support used in teaching network technologies in a digital educational

environment. The study focuses on the pedagogical and functional capabilities of widely used network simulation and virtualization platforms, including Cisco Packet Tracer, GNS3, EVE-NG, and MikroTik CHR. The platforms are analyzed according to a set of criteria, such as the possibilities for organizing virtual laboratory activities, network modeling, practical skills development, interactivity, usability, independent learning, and integration into the educational process. The study employs comparative analysis, systematization, generalization, and evaluation methods to identify the advantages and limitations of existing software solutions. The results indicate that current platforms provide effective opportunities for developing students' practical competencies in network configuration and administration; however, their integration with methodological materials, learning tasks, assessment, and monitoring mechanisms remains limited. Based on the comparative analysis, key trends and methodological requirements for improving software and methodological support for teaching network technologies in a digital educational environment are identified.

Keywords: digital educational environment, network technologies, software and methodological support, Cisco Packet Tracer, GNS3, EVE-NG, MikroTik CHR, virtual laboratory, network simulation, digital learning, practical competence.

Kirish. Raqamli texnologiyalarning ta'lim jarayoniga keng joriy etilishi o'qitish mazmuni, shakllari va metodlarini zamonaviy talablar asosida takomillashtirishni talab etmoqda. Raqamli ta'lim muhiti elektron resurslardan foydalanish bilan cheklanmaydi. U nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan bog'lash, mustaqil ta'limni tashkil etish, virtual tajribalarni o'tkazish va o'quv natijalarini muntazam kuzatib borish uchun zarur pedagogik hamda texnologik imkoniyatlarni birlashtiradi. Bu axborot-kommunikatsiya texnologiyalariga oid fanlarni o'qitishda zamonaviy dasturiy vositalardan foydalanish bilan birga, ularni o'qitish metodikasi bilan uyg'unlashtirish ham muhim hisoblanadi. Tarmoq texnologiyalari axborot-kommunikatsiya texnologiyalari sohasida mutaxassis tayyorlashda muhim o'rin tutadi. Fanni o'zlashtirish uchun nazariy bilimlar bilan birga amaliy ko'nikmalarni ham shakllantirish talab etiladi. Amaliy mashg'ulotlar jarayonida ta'lim oluvchilar tarmoq topologiyalarini loyihalash, kommutator va marshrutizatorlarni sozlash, IP-manzillash, tarmoq protokollari faoliyatini tahlil qilish hamda tarmoqdagi nosozliklarni aniqlash bo'yicha ko'nikmalarni egallaydilar. Shu bois tarmoq texnologiyalarini o'qitishda nazariy bilimlarni real tarmoq qurilmalari yoki ularga yaqinlashtirilgan virtual laboratoriya muhiti orqali amaliyot bilan bog'lash zarur. Real tarmoq qurilmalari asosida tashkil etilgan laboratoriya mashg'ulotlari amaliy ko'nikmalarni shakllantirishda samarali hisoblanadi. Biroq bunday laboratoriyalarni tashkil etish va ulardan muntazam foydalanish bir qator tashkiliy hamda texnik qiyinchiliklarni keltirib chiqaradi. Xususan, router, kommutator, server va boshqa tarmoq qurilmalarini yetarli miqdorda xarid qilish, ularni muntazam yangilash va texnik xizmat ko'rsatish qo'shimcha moliyaviy xarajatlarni talab qiladi. Laboratoriya jihozlari sonining cheklanganligi har bir ta'lim oluvchining individual ishlashi, turli tarmoq konfiguratsiyalarini takroran sinab ko'rish va mustaqil mashq qilishi uchun yetarli imkoniyat yaratmaydi. Shu sababli an'anaviy laboratoriya mashg'ulotlarini raqamli simulyatsiya va virtualizatsiya vositalari bilan qo'llab-quvvatlash tarmoq texnologiyalarini o'qitishda amaliy yechimlardan biri sifatida qaraladi. Virtualizatsiya, simulyatsiya va emulyatsiya texnologiyalari real tarmoq qurilmalariga bog'liq bo'lmagan laboratoriya mashg'ulotlarini tashkil etish imkonini kengaytirdi. Virtual laboratoriyada ta'lim oluvchi fizik tarmoq qurilmalaridan foydalanmasdan turli topologiyalarni yaratishi va qurilmalarni konfiguratsiya qilishi mumkin. Shuningdek, bunday muhit tarmoq protokollari ishlashini kuzatish, konfiguratsiyadagi xatolarni aniqlash va ularni bartaraf etish bo'yicha amaliy tajribalar o'tkazishga imkon beradi. Bunday muhitda amaliy mashg'ulotlarni takroran bajarish, turli konfiguratsiyalarni sinab ko'rish va yo'l qo'yilgan xatolarning oqibatlarini xavfsiz sharoitda kuzatish mumkin. Bu jarayonda ta'lim oluvchi nazariy bilimlarini amalda sinab ko'radi, yuzaga kelgan muammolarni tahlil qiladi va ularning yechimini mustaqil izlaydi.

Bugungi kunda tarmoq texnologiyalarini o'qitishda Cisco Packet Tracer, GNS3, EVE-NG va MikroTik CHR singari turli dasturiy vositalardan foydalanilmoqda. Ularning har biri tarmoq infratuzilmasini modellashtirish va amaliy mashg'ulotlarni tashkil etishda o'ziga xos imkoniyatlarga ega. Platformalar texnik talablari, real tarmoq muhitiga yaqinligi va o'quv jarayonida qo'llash xususiyatlari jihatidan bir-biridan farq qiladi. Ayrim platformalar tarmoq tushunchalarini vizual tarzda o'rganish va soddalaboratoriya topshiriqlarini bajarish uchun qulay. Boshqalari esa real qurilmalar ishiga yaqin muhit yaratib, murakkab tarmoq ssenariylarini amalda sinab ko'rish imkonini beradi.

Bu yerda dasturiy vosita bilan dasturiy-metodik ta'minot o'rtasidagi farqni aniqlashtirib olish zarur. Dasturiy vosita tarmoq jarayonlarini modellashtirish, emulyatsiya qilish yoki virtual muhitda bajarishga xizmat qiladi. Dasturiy-metodik ta'minot esa dastur imkoniyatlari bilan cheklanmay, undan o'quv jarayonida qanday foydalanish, laboratoriya va mustaqil topshiriqlarni qanday tashkil etish, shuningdek, natijalarni nazorat qilish va baholash usullarini ham qamrab oladi. Dasturiy platformaning texnik imkoniyatlari yuqori bo'lishining o'zi yetarli emas. Undan kutilgan pedagogik natijaga erishish uchun platforma imkoniyatlarini o'quv maqsadlari va tegishli metodik yondashuvlar bilan bog'lash zarur. Mavjud platformalar tarmoq topologiyalarini yaratish, qurilmalarni sozlash va virtual laboratoriya mashg'ulotlarini bajarish uchun yetarli texnik imkoniyatlarga ega. Ammo bu imkoniyatlarni o'qitish metodikasi bilan bir tizimda tashkil etish masalasi hali to'liq hal etilmagan. Asosiy muammo amaliy topshiriqlar, mustaqil ta'lim, baholash va monitoring jarayonlarining yagona muhitda o'zaro bog'lanmaganidadir. Bunday muhitda topshiriqlar o'quv maqsadlariga mos ravishda bosqichma-bosqich berilishi, bajarilgan ishlar baholanishi va o'zlashtirish natijalari asosida metodik tavsiyalar shakllantirilishi kerak. Mavjud platformalarni baholashda ularning texnik xususiyatlari bilan cheklanib qolmaslik kerak. Platformaning o'quv jarayonidagi o'rni va pedagogik-metodik imkoniyatlarini ham hisobga olish lozim. Shu muammodan kelib chiqib, tarmoq texnologiyalarini o'qitishda qo'llaniladigan dasturiy vositalarni aniq mezonlar asosida o'zaro qiyoslash maqsadga muvofiq. Qiyoslashda virtual laboratoriya tashkil etish, tarmoq jarayonlarini modellashtirish, real tarmoq muhitiga yaqinlik,

interaktivlik va foydalanish qulayligi asosiy mezonlar sifatida olindi. Shuningdek, amaliy kompetensiyalarni shakllantirish, mustaqil ta'limni qo'llab-quvvatlash, metodik materiallar bilan integratsiya, nazorat va monitoring imkoniyatlari ham hisobga olindi. Platformalarni shu mezonlar asosida qiyoslash ularning qaysi o'quv vazifalarida samaraliroq ekanini va qanday metodik cheklovlariga ega ekanini aniqlashga yordam beradi. Tadqiqotning maqsadi — raqamli ta'lim muhitida tarmoq texnologiyalarini o'qitishda qo'llaniladigan zamonaviy dasturiy vositalarning funksional va pedagogik-metodik imkoniyatlarini qiyosiy tahlil qilish, ularning afzallik va cheklovlarini aniqlash hamda dasturiy-metodik ta'minotni rivojlantirish yo'nalishlarini belgilash. Tadqiqotda Cisco Packet Tracer, GNS3, EVE-NG va MikroTik CHR platformalari belgilangan mezonlar asosida o'zaro qiyoslandi. Ularning ta'lim jarayonidagi imkoniyatlari va mavjud cheklovlar tahlil qilinib, dasturiy-metodik ta'minotni takomillashtirish bo'yicha tegishli xulosalar ishlab chiqildi. Adabiyotlar tahlili va metod. Tarmoq texnologiyalarini o'qitishda simulyatsiya, emulyatsiya va virtual laboratoriyalardan foydalanishga oid tadqiqotlar so'nggi yillarda ko'payib bormoqda. Bunday vositalar nazariy bilimlarni amaliy tajriba bilan bog'lash imkonini bergani sababli kompyuter tarmoqlarini o'qitishda keng qo'llanilmoqda. Real tarmoq qurilmalari bilan laboratoriya mashg'ulotlarini tashkil etish katta moddiy xarajat va tegishli texnik infratuzilmani talab qiladi. Shu bois ilmiy tadqiqotlarda virtual va simulyatsion muhitlardan an'anaviy laboratoriyalarga muqobil yoki ularni to'ldiruvchi vosita sifatida foydalanishga alohida e'tibor qaratilgan. Asadi va hammualliflar kompyuter va tarmoq fanlarini o'qitishda simulyatsiyaga asoslangan ta'lim bo'yicha tizimli adabiyotlar tahlili va bibliometrik tadqiqot o'tkazganlar. Tadqiqotda simulyatsiya vositalari murakkab kompyuter va tarmoq ko'nikmalarini xavfsiz muhitda takroran mashq qilishga yordam berishi qayd etilgan. Shuningdek, mualliflar vizualizatsiya va tarmoq simulyatorlarining o'quv jarayonidagi amaliy ahamiyatiga e'tibor qaratib, simulyatsion ta'limdan foydalanishga ta'sir qiluvchi pedagogik va foydalanuvchiga bog'liq omillarni tizimlashtirish zarurligini ta'kidlaganlar [1].

Podsadnikov, Rozov va Kratov maxsus laboratoriya jihozlari mavjud bo'lmagan sharoitda tarmoq simulyatorlaridan foydalanishni tahlil qilib, Cisco Packet Tracer, GNS3, NS-3, EVE-NG va OMNeT++ dasturiy vositalarini sakkizta mezon bo'yicha qiyoslaganlar. Mualliflarning fikricha, tarmoq fanlarini o'qitishda dasturiy vositani tanlash uning texnik imkoniyatlarigagina emas, balki bajariladigan o'quv vazifalariga qanchalik mos kelishiga ham bog'liq [2].

Sun Liangxu va Li Linlin tarmoq simulyatsiyasi asosida tashkil etilgan amaliy mashg'ulotlarning o'quv jarayonidagi imkoniyatlarini o'rganganlar. Mualliflar virtual muhitda tarmoq konfiguratsiyalarini yaratish va ularni takroran sinab ko'rish nazariy bilimlarni amaliyot bilan bog'lashda muhim ekanini qayd etganlar. Shuningdek, bunday mashg'ulotlarni o'quv maqsadlariga mos topshiriqlar bilan tashkil etish zarurligiga e'tibor qaratilgan [3].

Mwansa va hammualliflar virtual laboratoriyalardan kompyuter tarmoqlarini o'qitishda foydalanish tajribasini o'rganganlar. Tadqiqot natijalariga ko'ra, virtual laboratoriyalar ta'lim oluvchilarga tarmoq qurilmalari bilan ishlash va turli konfiguratsiyalarni amalda sinab ko'rish uchun qulay muhit yaratadi. Mualliflar bunday laboratoriyalarning samaradorligi faqat dasturiy vositaning imkoniyatlariga emas, balki mashg'ulotlarning qanday tashkil etilishi va metodik jihatdan qo'llab-quvvatlanishiga ham bog'liq ekanini ta'kidlaganlar [4]. Runtuwene va hammualliflar tarmoq texnologiyalarini o'qitishda virtual laboratoriyalardan foydalanish imkoniyatlarini tahlil qilganlar. Ularning tadqiqotida virtual muhit amaliy mashg'ulotlarni real qurilmalarga to'liq bog'lanmagan holda tashkil etish va tarmoq konfiguratsiyalarini takroran sinab ko'rish imkonini berishi qayd etilgan. Mualliflar virtual laboratoriyalardan foydalanishda amaliy topshiriqlarning mazmuni va ularni bajarish ketma-ketligini to'g'ri tashkil etishga alohida e'tibor qaratganlar [5].

Amran va Syaharani Cisco Packet Tracerdan tarmoq texnologiyalarini o'qitishda foydalanishni o'rganganlar. Tadqiqotda ushbu dastur tarmoq topologiyalarini yaratish, qurilmalarni sozlash va turli konfiguratsiyalarni virtual muhitda sinab ko'rish uchun qulay vosita sifatida baholangan. Mualliflar Cisco Packet Tracerdan foydalanish nazariy mavzularni amaliy mashg'ulotlar bilan bog'lashga yordam berishini qayd etganlar [6].

Saud va hammualliflar tarmoq texnologiyalarini o'qitishda simulyatsiya vositalaridan foydalanishning amaliy jihatlarini o'rganganlar. Tadqiqotda bunday vositalar yordamida ta'lim oluvchilar turli tarmoq ssenariylarini yaratishi, konfiguratsiyalarni sinab ko'rish va yuzaga kelgan xatolarni tahlil qilishi mumkinligi qayd etilgan. Mualliflar simulyatsiya muhitidan foydalanish amaliy mashg'ulotlarni tashkil etish imkoniyatlarini kengaytirishini ta'kidlaganlar [7]. Simanjuntak va hammualliflar Cisco Packet Tracerdan foydalanishga asoslangan laboratoriya mashg'ulotlarini tahlil qilganlar. Tadqiqotda ushbu platforma orqali tarmoq topologiyalarini yaratish va qurilmalarni sozlash bo'yicha amaliy ko'nikmalarni shakllantirish imkoniyatlari ko'rib chiqilgan. Mualliflar Cisco Packet Tracer o'quv jarayonida nazariy bilimlarni amaliy topshiriqlar bilan bog'lash uchun qulay vosita ekanini qayd etganlar [8]. Murakkab tarmoq ssenariylarini virtual muhitda tashkil etishda GNS3 platformasidan keng foydalaniladi. Yurmanalis, Khairuddin, Musril va Derta GNS3 asosidagi virtual laboratoriya samaradorligini kvazi-eksperimental dizayn asosida o'rganganlar. Tadqiqot natijalariga ko'ra, real tarmoq jihozlari cheklangan sharoitda GNS3 amaliy mashg'ulotlarni virtual muhitda tashkil etish uchun samarali yechim sifatida baholangan [9].

Widodo, Aziezah va Wicaksono GNS3 asosida virtual tarmoq laboratoriyasini tashkil etish tajribasini o'rganganlar. Mualliflarning ta'kidlashicha, katta guruhlarda real tarmoq jihozlarining yetishmasligi amaliy mashg'ulotlarni tashkil etishni qiyinlashtiradi. GNS3 asosidagi virtual laboratoriya esa nisbatan kam xarajat bilan amaliy mashg'ulotlar ko'lamini kengaytirish imkonini beradi [10].

Harahus, Čavojský, Bugár va Pleva EVE-NG platformasining ta'lim jarayonida qo'llash imkoniyatlarini o'rganganlar. Tadqiqotda EVE-NG Cisco Packet Tracer va GNS3 bilan tizim talablari, qo'llab-quvvatlanadigan platformalar, veb-interfeys, konsolga kirish, topologiyalarni boshqarish hamda murakkab laboratoriya funksiyalari bo'yicha qiyoslangan. Natijalarda

EVE-NG murakkab tarmoq ssenariylarini modellashtirish uchun keng imkoniyatlarga ega ekani, shu bilan birga moslik, barqarorlik va ishlash unumdorligi bilan bog'liq ayrim cheklovlari ham mavjudligi qayd etilgan [11].

Sholeha, Jaya, Supriyanto va Utomo 2025-yilda EVE-NG va GNS3 platformalarini funksional hamda texnik ko'rsatkichlar asosida qiyoslaganlar. Bir xil topologiyalarda throughput, delay, jitter, packet loss, convergence time, CPU, RAM va disk I/O ko'rsatkichlari o'lgangan. Natijalarda EVE-NG yuqori yuklamali va murakkab tarmoq ssenariylarida barqarorroq ishlagani, GNS3 esa resurslardan tejankorroq foydalanishi va nisbatan sodda o'quv vazifalari uchun qulayligi aniqlangan. Shundan kelib chiqib, tarmoq simulyatorini tanlashda yagona "eng yaxshi platforma"ni izlashdan ko'ra, uning ta'lim maqsadi va bajariladigan vazifalarga mosligini hisobga olish muhim [12].

Virtual ta'lim muhitini tarmoq fanlarini o'qitish jarayoniga integratsiya qilish Santyadiputra va hammualliflarining tadqiqotida ham ko'rib chiqilgan. Ularning 2024-yilda chop etilgan, "Vilans" nomli virtual ta'lim tizimiga bag'ishlangan tadqiqotida uch xil o'quv muhiti: an'anaviy virtual ta'lim muhiti, Cisco Packet Tracerdan foydalanishga asoslangan oraliq darajadagi muhit va virtual tarmoq laboratoriyasi integratsiyalangan ilg'or muhit o'zaro qiyoslangan. 58 nafar talaba ishtirok etgan tadqiqotda virtual laboratoriya elementlarini o'quv jarayoniga kengroq integratsiya qilishning kompyuter tarmoqlari fanidagi o'quv natijalariga ta'siri o'rganilgan [13]. Arifin va hammualliflar 2025-yilda kompyuter tarmoqlari kursida talabalarining tarmoq virtualizatsiyasi tushunchalarini o'zlashtirish jarayonini o'rganaganlar. Tadqiqotda ularning nazariy bilimlari, texnik ko'nikmalari va simulyatsiya vositalariga munosabati o'zaro bog'liq holda tahlil qilingan. Mualliflar virtualizatsiya tushunchalarini o'rgatishda dasturiy muhit bilan bir qatorda tegishli metodik qo'llab-quvvatlash ham muhim ekanini qayd etganlar [14].

Ko'rib chiqilgan tadqiqotlarning umumiy tahlili shuni ko'rsatadiki, mavjud ilmiy ishlarda tarmoq simulyatorlarining texnik imkoniyatlari, moddiy xarajatlarni kamaytirish, amaliy ko'nikmalarni shakllantirish va virtual laboratoriyalarni tashkil etish jihatlari yetarlicha o'rganilgan. Cisco Packet Tracer bo'yicha pedagogik samaradorlikka bag'ishlangan tadqiqotlar nisbatan ko'p bo'lsa, GNS3 va EVE-NG bo'yicha tadqiqotlarda texnik imkoniyatlar, emulyatsiya sifati va murakkab topologiyalarni tashkil etish masalalari ustunlik qiladi.

Biroq tahlil qilingan manbalarda dasturiy vositalarni o'quv mazmuni, metodik ko'rsatmalar, laboratoriya topshiriqlari, mustaqil ta'lim, nazorat, baholash va monitoring bilan yagona dasturiy-metodik tizim doirasida birlashtirish masalasiga yetarlicha e'tibor qaratilmagan. Shuningdek, Cisco Packet Tracer, GNS3, EVE-NG va MikroTik CHR platformalarini texnik, pedagogik va metodik mezonlar asosida birgalikda qiyoslashga bag'ishlangan tadqiqotlar soni cheklangan. Mazkur holat ushbu tadqiqotda e'tibor qaratiladigan ilmiy bo'shliqni belgilaydi.

Mazkur tadqiqotda tizimli adabiyotlar tahlili, qiyosiy tahlil, kontent-tahlil, tizimlashtirish, mezonli baholash va umumlashtirish metodlaridan foydalanildi. Ilmiy manbalarni tanlashda asosan 2021–2026-yillarda nashr etilgan, kompyuter tarmoqlarini o'qitish, tarmoq simulyatorlari, virtual laboratoriyalar, Cisco Packet Tracer, GNS3 va EVE-NG bilan bog'liq tadqiqotlarga ustuvorlik berildi.

Qiyosiy tahlil uchun Cisco Packet Tracer, GNS3, EVE-NG va MikroTik CHR platformalari tanlab olindi. Ularni baholashda quyidagi asosiy mezonlar qo'llanildi: virtual laboratoriya yaratish imkoniyati, tarmoq topologiyasini modellashtirish, real tarmoq muhitiga yaqinlik, ko'p ishlab chiqaruvchili qurilmalarni qo'llab-quvvatlash, interaktivlik, foydalanish qulayligi, amaliy kompetensiyalarni rivojlantirish, mustaqil ta'limni qo'llab-quvvatlash, metodik materiallar bilan integratsiya, nazorat va baholash hamda o'quv faoliyatini monitoring qilish. Bunday metodik yondashuv platformalarni faqat texnik ko'rsatkichlari bo'yicha emas, balki tarmoq texnologiyalarini o'qitish jarayonidagi pedagogik qiymati nuqtai nazaridan ham baholash imkonini beradi. Keyingi bosqichda platformalar ushbu mezonlar asosida qiyosiy tahlil qilindi va dasturiy-metodik ta'minotni rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlari aniqlandi.

Natijalar. Tarmoq texnologiyalarini o'qitishda qo'llaniladigan zamonaviy dasturiy vositalar qiyosiy tahlil qilindi. Tahlil davomida platformalarning ta'lim jarayonidagi vazifalari, ulardan foydalanish darajasi va amaliy mashg'ulotlarni tashkil etish imkoniyatlari bir-biridan farq qilishi aniqlandi. Tahlil natijalariga ko'ra, biror platformani mutlaq ustun deb baholash to'g'ri emas. Platformani tanlashda o'quv maqsadi, ta'lim oluvchilarning tayyorgarlik darajasi va laboratoriya topshiriqlarining murakkabligini hisobga olish lozim. MikroTik CHR mustaqil tarmoq simulyatori emas, balki RouterOSning virtual mashinalarda ishlashga mo'ljallangan yechim bo'lib, uning imkoniyatlari GNS3, EVE-NG yoki boshqa virtualizatsiya muhitlariga integratsiya qilinganda kengayadi. Qiyosiy tahlilda Cisco Packet Tracer, GNS3, EVE-NG va MikroTik CHR vositalari virtual laboratoriyani tashkil etish, tarmoq topologiyalarini modellashtirish, real tarmoq muhitiga yaqinlik, foydalanish qulayligi, interaktivlik, amaliy kompetensiyalarni shakllantirish, mustaqil ta'limni tashkil etish hamda metodik integratsiya imkoniyatlari bo'yicha baholandi. Olingan natijalar 1-jadvalda umumlashtirildi.

1-jadval.

Tarmoq texnologiyalarini o'qitishda
qo'llaniladigan dasturiy vositalarning qiyosiy tavsifi

Baholash mezonlari	Cisco Packet Tracer	GNS3	EVE-NG	MikroTik CHR
Tarmoq topologiyasini modellashtirish	Yuqori	Yuqori	Yuqori	Cheklangan
Virtual laboratoriya tashkil etish	Yuqori	Yuqori	Yuqori	Integratsiya orqali
Real tarmoq muhitiga yaqinlik	O'rta	Yuqori	Yuqori	Yuqori

Baholash mezonlari	Cisco Packet Tracer	GNS3	EVE-NG	MikroTik CHR
Interaktivlik	Yuqori	O'rta	O'rta	O'rta
Foydalanish qulayligi	Yuqori	O'rta	O'rta	O'rta
Boshlang'ich ta'lim uchun mosligi	Yuqori	O'rta	O'rta	O'rta
Murakkab tarmoq ssenariylari	O'rta	Yuqori	Yuqori	Integratsiya orqali
Ko'p platformali muhit yaratish	Cheklangan	Yuqori	Yuqori	Integratsiya orqali
Amaliy kompetensiyalarni rivojlantirish	Yuqori	Yuqori	Yuqori	Yuqori
Mustaqil mashg'ulot uchun imkoniyat	Yuqori	Yuqori	Yuqori	O'rta
Metodik materiallarni integratsiyalash	O'rta	Cheklangan	Cheklangan	Cheklangan
Avtomatik baholash imkoniyati	Qisman	Cheklangan	Cheklangan	Cheklangan
O'quv faoliyatini monitoring qilish	Qisman	Cheklangan	Cheklangan	Cheklangan

Izoh: Jadvaldagi baholar quyidagi shkala asosida berildi: "Yuqori" — mezon platformada to'liq va qo'shimcha sozlamalarsiz amalga oshiriladi; "O'rta" — mezon qisman yoki qo'shimcha sozlash orqali amalga oshiriladi; "Cheklangan" — mezon platformada standart holatda deyarli mavjud emas; "Qisman" — mezon platformaning ayrim funksiyalarida ifodalangan, ammo tizimli emas.

Qiyosiy tahlilda Cisco Packet Tracer foydalanish qulayligi, vizual modellash va boshlang'ich darajadagi tarmoq tushunchalarini amaliy o'zlashtirish imkoniyatlari bilan ajralib turdi. Ushbu platformada tarmoq topologiyalarini tez shakllantirish va paketlarning harakatini kuzatish mumkinligi uni tarmoq texnologiyalarini o'rganishning dastlabki bosqichlari uchun qulay vositaga aylantiradi. Biroq real tarmoq qurilmalari faoliyatini to'liq emulyatsiya qilish va turli ishlab chiqaruvchilarning qurilmalaridan iborat murakkab infratuzilmalarni tashkil etishda Cisco Packet Tracerning imkoniyatlari nisbatan cheklangan.

GNS3 real tarmoq muhitiga yaqin laboratoriya mashg'ulotlarini tashkil etish va turli virtual tizimlarni bitta topologiyada birlashtirish imkoniyatlari bilan ajralib turdi. Shu sababli GNS3dan asosiy tarmoq tushunchalari o'zlashtirilgandan keyin murakkabroq amaliy vazifalarni bajarishda foydalanish maqsadga muvofiq. Biroq platformani sozlash va undan samarali foydalanish uchun Cisco Packet Tracerga qaraganda yuqoriroq texnik tayyorgarlik talab qilinadi. EVE-NG murakkab va ko'p komponentli virtual tarmoq infratuzilmalarini shakllantirish imkoniyati bilan ajralib turadi. EVE-NG yuqori darajadagi laboratoriya mashg'ulotlarini tashkil etish, turli tizimlarning o'zaro ishlashini tekshirish va professional faoliyatga yaqin tarmoq ssenariylarini yaratish uchun samarali platforma hisoblanadi. Biroq EVE-NG yuqori texnik resurslarni talab qilishi va dastlabki sozlash jarayonining murakkabligi sababli tarmoq texnologiyalarini endigina o'rganayotgan ta'lim oluvchilar uchun asosiy platforma sifatida unchalik qulay emas. MikroTik CHRdan alohida simulyatsion platforma sifatida emas, balki virtual laboratoriya tarkibidagi tarmoq komponenti sifatida foydalanish samaraliroq. MikroTik CHRni GNS3 yoki EVE-NG bilan integratsiya qilish ta'lim oluvchilarga RouterOS asosidagi marshrutlash, DHCP, NAT, xavfsizlik devori va boshqa tarmoq xizmatlarini amaliy o'rganish imkonini beradi. Natijada ta'lim oluvchilar real tarmoq administratorligi faoliyatiga yaqin amaliy vazifalarni bajarish imkoniyatiga ega bo'ladilar.

O'tkazilgan tahlil asosida tarmoq texnologiyalarini o'qitishda dasturiy vositalardan foydalanishning uch bosqichli modeli shakllantirildi. Birinchi, bazaviy bosqichda Cisco Packet Tracer yordamida tarmoqning asosiy tushunchalari, topologiyalar, IP-manzillash, kommutatsiya va marshrutlash bo'yicha ko'nikmalar shakllantiriladi. Ikkinchi, amaliy-professional bosqichda GNS3 yoki EVE-NG orqali real tizimlarga yaqin murakkab tarmoq ssenariylari bajariladi. Uchinchi, integratsion bosqichda esa MikroTik CHR kabi virtual tarmoq tizimlari GNS3 yoki EVE-NG muhitiga qo'shib, kompleks laboratoriya topshiriqlari tashkil etiladi. Qiyosiy tahlilda mavjud platformalarning metodik ta'minot, avtomatlashtirilgan baholash va o'quv faoliyatini monitoring qilish imkoniyatlari texnik simulyatsiya imkoniyatlariga nisbatan kamroq rivojlanganligi aniqlandi. Platformalar tarmoqni yaratish va konfiguratsiyalash uchun zarur texnik muhitni taqdim etadi. Biroq ularda o'quv maqsadlarini belgilash, individual topshiriqlarni shakllantirish, bajarilgan ishlarni avtomatik baholash, xatolar bo'yicha metodik tavsiyalar berish va ta'lim oluvchining rivojlanish dinamikasini kuzatish kabi pedagogik funksiyalar yaxlit holda mavjud emas.

Tahlil natijasida to'rtta asosiy komponent ajratildi. Birinchisi — simulyatsiya, emulyatsiya va virtualizatsiya vositalaridan iborat dasturiy-texnologik asos. Ikkinchisi — laboratoriya ishlari, topshiriqlar va o'quv ssenariylarini o'z ichiga olgan metodik komponent. Uchinchisi — bajarilgan ishlarni nazorat qilish va baholash mexanizmi. To'rtinchisi esa ta'lim oluvchining xatolari va o'zlashtirish dinamikasini kuzatib boruvchi monitoring tizimidir. Olingan natijalarga ko'ra, tarmoq texnologiyalarini o'qitishning zamonaviy dasturiy-metodik ta'minotini bitta simulyatorga asoslangan model bilan cheklash yetarli emas. Uni ko'p platformali va pedagogik jihatdan integratsiyalashgan model asosida tashkil etish maqsadga muvofiq. Bunday yondashuv dasturiy vositalarning texnik imkoniyatlarini o'quv maqsadi, metodik topshiriqlar, baholash va monitoring bilan yagona tizimda uyg'unlashtirishga xizmat qiladi.

Muhokama. Adabiyotlar tahliliga ko'ra, tarmoq texnologiyalarini o'qitishda dasturiy vositalarning samaradorligi faqat ularning texnik imkoniyatlariga bog'liq emas. Simulyatsiya va emulyatsiya muhitlarining ta'lim jarayonidagi pedagogik qiymati ularning o'quv maqsadlariga mosligi, amaliy topshiriqlarni bosqichma-bosqich tashkil etish imkoniyati, real tarmoq jarayonlarini aks ettirish darajasi, ta'lim oluvchining mustaqil faoliyatini qo'llab-quvvatlashi hamda nazorat va baholash mexanizmlari bilan integratsiyalashuviga bog'liq. Cisco Packet Tracer, GNS3, EVE-NG va MikroTik CHR platformalarining imkoniyatlari turlicha bo'lib, ularning har biri tarmoq texnologiyalarini o'qitishda ma'lum pedagogik vazifalarni bajarishga mos keladi.

Cisco Packet Tracer real tarmoq qurilmalarining barcha funksiyalarini to'liq emulyatsiya qilmaydi, chunki platforma simulyatsiya asosida ishlaydi. Biroq uning nisbatan sodda tuzilishi boshlang'ich bosqichdagi ta'lim oluvchilar uchun qulaylik yaratadi. Vizual interfeys orqali ta'lim oluvchi tarmoq qurilmalarini joylashtirish, ularni o'zaro bog'lash, IP-manzillarni belgilash, marshrutlash va kommutatsiya jarayonlarini sozlash hamda paketlarning tarmoq bo'ylab harakatini kuzatish imkoniyatiga ega bo'ladi. Oldingi tadqiqotlarda ham Cisco Packet Tracerning tarmoq tushunchalarini o'zlashtirish va amaliy ko'nikmalarni rivojlantirishdagi ijobiy imkoniyatlari qayd etilgan [4–8]. Biroq murakkab tarmoq konfiguratsiyalari, turli ishlab chiqaruvchilarning qurilmalarini birlashtirish yoki real operatsion tizimlarga yaqin muhitda ishlash talab etilganda platformaning imkoniyatlari cheklanadi. Cisco Packet Tracerdan barcha o'quv bosqichlarida yagona vosita sifatida foydalanish maqsadga muvofiq emas; uning imkoniyatlari boshlang'ich va o'rta darajadagi amaliy mashg'ulotlarga ko'proq mos keladi.

Cisco Packet Tracerdan farqli ravishda, GNS3 virtual mashinalar va turli tarmoq tizimlarini yagona laboratoriya topologiyasida birlashtirib, real tarmoq muhitiga yaqin sharoit yaratadi. Bu imkoniyat marshrutlash, tarmoq xizmatlarini sozlash, server va mijoz tizimlarini o'zaro bog'lash hamda murakkab tarmoq ssenariylarini o'rganishda ayniqsa muhimdir. Oldingi tadqiqotlarda GNS3 asosidagi laboratoriyalar real tarmoq jihozlari cheklangan sharoitda amaliy mashg'ulotlarni tashkil etish imkoniyatlarini kengaytirishi qayd etilgan [9–10]. GNS3ning real muhitga yaqinligi undan foydalanishni Cisco Packet Tracerga nisbatan murakkablashtiradi. Platformani dastlabki sozlash, kerakli virtual qurilmalar va operatsion tizimlarni tayyorlash, shuningdek, kompyuter resurslariga qo'yiladigan yuqori talablar o'qituvchi va ta'lim oluvchidan yetarli texnik tayyorgarlikni talab etadi. Murakkab dasturiy muhit o'quv maqsadiga xizmat qilishi kerak. Aks holda, ta'lim oluvchining asosiy e'tibori tarmoq tushunchalarini o'zlashtirishdan ko'ra platformani sozlash bilan bog'liq muammolarga qaratilib qolishi mumkin. Shu bois GNS3dan foydalanishda laboratoriya topshiriqlarini metodik jihatdan izchil tashkil etish muhim. Korporativ tarmoq sozlamalari yoki turli ishlab chiqaruvchilarning qurilmalarini bitta laboratoriya muhitida sinashda EVE-NG keng imkoniyatlarga ega. Platforma ko'p komponentli va murakkab virtual laboratoriyalarni tashkil etish imkonini beradi. EVE-NGning bunday imkoniyatlari yuqori bosqichdagi ta'lim oluvchilarga korporativ tarmoqlar, murakkab marshrutlash ssenariylari, tarmoq xavfsizligi va turli tizimlarning o'zaro ishlashini amaliy jihatdan o'rganish imkonini beradi. GNS3 va EVE-NGni qiyoslagan tadqiqotlarda platforma tanlashda bajariladigan vazifa va mavjud texnik resurslarni hisobga olish zarurligi ko'rsatilgan [12].

Tarmoq texnologiyalarini o'qitishda yagona "eng yaxshi dasturiy platforma"ni aniqlashdan ko'ra, o'quv maqsadiga mos platformani tanlash muhimroq. Masalan, tarmoq tushunchalarini dastlabki o'rganish va vizual modellashdagi foydalanish qulayligi muhim bo'lsa, murakkab professional ssenariylarda real tarmoq muhitiga yaqinlik va ko'p komponentli infratuzilmani yaratish imkoniyati asosiy mezonlardan biri hisoblanadi.

MikroTik CHRni yuqoridagi platformalar bilan bir xil turdagi dasturiy vosita sifatida baholash maqsadga muvofiq emas. Cisco Packet Tracer tarmoq simulyatori, GNS3 va EVE-NG esa virtual/emulyatsion laboratoriya muhitini tashkil etishga xizmat qilsa, MikroTik CHR RouterOSning virtual mashinalarda ishlashga mo'ljallangan yechim hisoblanadi. MikroTik CHRning pedagogik imkoniyatlaridan GNS3 yoki EVE-NG kabi laboratoriya muhitlariga integratsiya qilingan holda samarali foydalanish mumkin. Bunday yondashuv ta'lim oluvchiga RouterOS interfeysi va buyruqlari bilan ishlash, marshrutlash, NAT, DHCP, xavfsizlik devori va boshqa tarmoq xizmatlarini virtual muhitda amaliy o'rganish imkonini beradi.

Platformalarning qiyosiy tahlili shuni ko'rsatadiki, dasturiy platformaning o'zi to'laqonli dasturiy-metodik ta'minotni shakllantirish uchun yetarli emas. Virtual laboratoriyani texnik jihatdan muvaffaqiyatli tashkil etishning o'zi yetarli emas. Unda o'quv maqsadlari, topshiriqlar ketma-ketligi, bajarish algoritmlari, muammoli vaziyatlar, mustaqil mashqlar, nazorat mezonlari va natijalarni baholash mexanizmlari ishlab chiqilmasa, platformaning pedagogik imkoniyatlaridan to'liq foydalanish qiyinlashadi. Ayrim tadqiqotlarda simulyatorlarning ta'lim samaradorligi pedagogik model yoki metod bilan birgalikda o'rganilgani ham ushbu fikrni tasdiqlaydi [4], [7], [8]. Tarmoq texnologiyalari fanining dasturiy-metodik ta'minotini shakllantirishda bosqichlilik tamoyiliga amal qilish maqsadga muvofiq. Dastlabki bosqichda ta'lim oluvchilar tarmoq topologiyasi, IP-manzillash, kommutatsiya va marshrutlashning asosiy tushunchalarini Cisco Packet Tracer kabi vizual va foydalanishga qulay muhitda o'zlashtirishi mumkin. Keyingi bosqichlarda GNS3 va EVE-NG yordamida real tarmoq muhitiga yaqin murakkab ssenariylarni tashkil etish, zarur hollarda esa MikroTik CHR kabi virtual tarmoq qurilmalarini ushbu muhitlarga integratsiya qilish mumkin. Shu tariqa, platformalar o'rtasidagi farqlar ularning kamchiligi emas, balki ta'limning turli bosqichlarida bir-birini to'ldirish imkonini beruvchi xususiyat sifatida namoyon bo'ladi. Bundan tashqari, zamonaviy dasturiy-metodik ta'minot faqat laboratoriya mashg'ulotlarini bajarish bilan cheklanmasligi lozim. Dasturiy-metodik ta'minotda ta'lim oluvchining topshiriqni bajarish jarayoni va natijalarini qayd etish, xatolarni aniqlash, individual tavsiyalar berish hamda o'zlashtirish dinamikasini monitoring qilish imkoniyatlari ham bo'lishi lozim. Shuningdek, o'qituvchiga o'quv jarayoni bo'yicha tahliliy ma'lumotlarni taqdim etish ham muhimdir. Shu sababli tarmoq simulyatorlarini pedagogik boshqaruv va baholash mexanizmlari bilan integratsiya qilish muhim

ahamiyatga ega. Umuman olganda, tahlil qilingan platformalarning hech biri barcha pedagogik va texnologik vazifalarni to'liq qamrab oladigan universal vosita emas. Ularning samaradorligi o'quv maqsadi, ta'lim oluvchilarning tayyorgarlik darajasi, laboratoriya topshirig'ining murakkabligi, mavjud texnik resurslar va metodik ta'minot bilan belgilanadi. Shu bois tarmoq texnologiyalarini o'qitishning zamonaviy dasturiy-metodik ta'minotini rivojlantirishda ko'p platformali, bosqichli va pedagogik jihatdan integratsiyalashgan yondashuvdan foydalanish maqsadga muvofiq.

Xulosa. Raqamli ta'lim muhitida tarmoq texnologiyalarini samarali o'qitish nazariy bilimlarni amaliy faoliyat bilan uyg'unlashtirish, ta'lim oluvchilarning mustaqil ishlash imkoniyatlarini kengaytirish hamda real tarmoq jarayonlariga yaqin laboratoriya muhitini shakllantirishni talab etadi. Qiyosiy tahlil natijalariga ko'ra, Cisco Packet Tracer, GNS3, EVE-NG va MikroTik CHR tarmoq texnologiyalarini o'qitishda o'ziga xos funksional va pedagogik imkoniyatlarga ega. Cisco Packet Tracer foydalanish qulayligi, tarmoq jarayonlarini vizual modellashtirish va boshlang'ich amaliy ko'nikmalarni shakllantirish uchun qulay. GNS3 va EVE-NG esa real tarmoq muhitiga yaqin, murakkab va ko'p komponentli laboratoriya ssenariylarini tashkil etish imkoniyatlari bilan ajralib turadi. MikroTik CHR esa virtual laboratoriya muhitlariga integratsiya qilinganda RouterOS asosidagi tarmoq xizmatlarini amaliy o'rganish imkoniyatlarini kengaytiradi. Ushbu platformalarni o'zaro raqobat qiluvchi vositalar sifatida emas, balki ta'limning turli bosqichlarida bir-birini to'ldiruvchi vositalar sifatida qo'llash maqsadga muvofiq. Tahlil natijasida tarmoq texnologiyalarini o'qitishda bazaviy, amaliy-professional va integratsion bosqichlardan iborat ko'p platformali yondashuvdan foydalanish taklif etildi. Bunda dastlabki bosqichda tarmoq tushunchalari va asosiy konfiguratsiyalarni o'zlashtirish, keyingi bosqichda murakkab virtual laboratoriya ssenariylarini bajarish, integratsion bosqichda esa turli virtual tarmoq tizimlarini yagona laboratoriya muhitida birlashtirish nazarda tutiladi.

Mavjud platformalarning asosiy imkoniyatlari tarmoqni modellashtirish, konfiguratsiyalash va virtual laboratoriyalarni tashkil etishga qaratilgan. Biroq metodik materiallar, individual topshiriqlar, avtomatlashtirilgan baholash va o'quv faoliyatini monitoring qilish mexanizmlarini yagona muhitda tashkil etish imkoniyatlari nisbatan cheklangan. Shu jihatdan tarmoq texnologiyalarini o'qitishning zamonaviy dasturiy-metodik ta'minoti faqat dasturiy platformalar majmuasi sifatida emas, balki dasturiy-texnologik, metodik, nazorat-baholash va monitoring-tahliliy komponentlarni o'zaro integratsiyalovchi yaxlit tizim sifatida shakllantirilishi lozim. Kelgusida ushbu yondashuv asosida tarmoq texnologiyalariga oid laboratoriya topshiriqlarini yagona raqamli muhitda boshqarish, ta'lim oluvchilarning amaliy faoliyatini avtomatik baholash va monitoring qilish hamda individual metodik tavsiyalarni shakllantirish mexanizmlarini ishlab chiqish maqsadga muvofiq. Bu tarmoq texnologiyalarini o'qitishning dasturiy-metodik ta'minotini takomillashtirish va ta'lim oluvchilarning amaliy kompetensiyalarini izchil rivojlantirishga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

- [1] Asadi S., Allison J., Khurana M., Nilashi M. Simulation-Based Learning for Computer and Networking Teaching: A Systematic Literature Review and Bibliometric Analysis // *Education and Information Technologies*. – 2024. – Vol. 29. – P. 15655–15690.
- [2] Podsadnikov A.V., Rozov K.V., Kratov S.V. Applying Network Simulation Tools in Learning Process // *Informatics and Education*. – 2021. – Vol. 36, No. 1. – P. 47–56.
- [3] Sun L., Li L. Research on Virtual Simulation Experiment Platform for Network Engineering Major // *Experiment Science and Technology*. – 2023. – Vol. 21, No. 2. – P. 34–38.
- [4] Mwansa G., Ngandu M.R., Dasi Z.S. Enhancing Practical Skills in Computer Networking: Evaluating the Unique Impact of Simulation Tools, Particularly Cisco Packet Tracer, in Resource-Constrained Higher Education Settings // *Education Sciences*. – 2024. – Vol. 14, No. 10. – Article 1099.
- [5] Runtuwene S.J., Abdulgani A.N., Pakan O.M.L., Pinontoan F.C.G., Mangaronda D.I., Kambey T.N. Network Simulation Using Cisco Packet Tracer in Computer Network Learning in Higher Education // *Jurnal Syntax Admiration*. – 2024. – Vol. 5, No. 11. – P. 5099–5106.
- [6] Amran A., Syaharani H. Implementation of Cisco Packet Tracer as Network Simulation in Educational Environment at SMK Tarbiyatul Banin-Banat Montong School // *Jurnal Mandiri IT*. – 2024. – Vol. 13, No. 1. – P. 161–170.
- [7] Saud A.S., Adhikari B., Piya S. Evaluating the Effectiveness of Cisco Packet Tracer for Teaching Networking Concepts at the Undergraduate Level // *Perspectives on Higher Education*. – 2025. – Vol. 15, No. 1. – P. 123–136.
- [8] Simanjuntak H.G.I., Bachri B.S., Maureen I.Y. Pengaruh Case Based Learning Menggunakan Cisco Packet Tracer Terhadap Kemampuan Berpikir Kreatif Siswa Kelas XI di SMAK Untung Suropati Krian // *EDUKASIA: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*. – 2024. – Vol. 5, No. 1. – P. 1149–1156.
- [9] Yurmanalis Y., Khairuddin K., Musril H.A., Derta S. Efektivitas Laboratorium Virtual Menggunakan GNS3 di SMK N 04 Payakumbuh // *Jurnal Pendidikan dan Konseling (JPDK)*. – 2022. – Vol. 4, No. 4. – P. 4288–4293.
- [10] Widodo B., Aziezah N., Wicaksono A. Pengembangan Model Laboratorium Jaringan Virtual Menggunakan GNS3 Di SMKs Bhinneka Karya 5 Boyolali // *Nusantara: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*. – 2023. – Vol. 3, No. 2.
- [11] Harahus M., Čavojský M., Bugár G., Pleva M. Interactive Network Learning: An Assessment of EVE-NG Platform in Educational Settings // *Acta Electrotechnica et Informatica*. – 2023. – Vol. 23, No. 3. – P. 3–9.
- [12] Sholeha E.W., Jaya D.Y., Supriyanto A., Utomo H.S. Komparasi Fungsionalitas EVE-NG dan GNS3: Simulasi Protokol Jaringan // *Algoritma: Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika*. – 2025. – Vol. 9, No. 1. – P. 1–8.