I-EDU GROUP

Article

Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishni o‘qitishda raqamli egizak va sun’iy intellekt yordamchisiga asoslangan 3D virtual laboratoriya

I.X. Yaxshimurodov [1]*

[1] “Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy tadqiqot universiteti, “Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va boshqarish” kafedrasi doktoranti
Iyaxshimurodov0699@gmail.com (I.Ya)
* Correspondence: Iyaxshimurodov0699@gmail.com (I.Ya)

Annotatsiya: Maqolada “Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va boshqarish” yo‘nalishi talabalari uchun RU-DRIVE CCS 05 laboratoriya stendining raqamli modeli asosida yaratilgan veb-brauzerda ishlovchi 3D virtual laboratoriya tavsiflanadi. Laboratoriya nasos stansiyasining gidravlik-elektr modeli, SCADA dispetcherlik ekrani, uchta o‘quv qo‘llanmadan tuzilgan bilimlar bazasiga ega 3D kutubxona, sun’iy intellekt (SI) yordamchisi va savol-javob banki bilan o‘quv markazini yagona muhitda birlashtiradi. SI yordamchi javoblarni faqat kutubxonadan BM25 algoritmi bilan topilgan bo‘limlarga tayangan holda, manbani ko‘rsatib shakllantiradi (RAG yondashuvi). Tizimning texnik ko‘rsatkichlari, nasos agregatining chastotaviy rostlash tavsiflari va bilimlar bazasidagi qidiruv aniqligi bo‘yicha natijalar keltirilgan.

Kalit so‘zlar: virtual laboratoriya; raqamli egizak; SCADA; nasos stansiyasi; chastota o‘zgartirgich.

Iqtibos: I.X. Yaxshimurodov. Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirishni o‘qitishda raqamli egizak va sun’iy intellekt yordamchisiga asoslangan 3D virtual laboratoriya. **2026**, 4, 1, 6. https://doi.org/10.35938/AY-2026-4-00006

Olingan: 10.10.2026
Tuzatilgan: 18.10.2026
Qabul qilingan: 05.11.2026
Nashr qilingan: 18.11.2026

Copyright:

OPEN ACCESS

Check for updates

Аннотация: В статье описана браузерная 3D-виртуальная лаборатория, созданная на основе цифровой модели лабораторного стенда RU-DRIVE CCS 05 для студентов направления «Автоматизация и управление технологическими процессами». Лаборатория объединяет гидравлико-электрическую модель насосной станции, диспетчерский SCADA-экран, 3D-библиотеку с базой знаний из трёх учебных пособий, ИИ-ассистента и учебный центр с банком вопросов. ИИ-ассистент формирует ответы только на основе разделов, найденных алгоритмом BM25, с указанием источника (подход RAG). Приведены технические показатели системы, характеристики частотного регулирования насосного агрегата и точность поиска по базе знаний.

Ключевые слова: виртуальная лаборатория; цифровой двойник; SCADA; насосная станция; преобразователь частоты.

Abstract: The paper presents a browser-based 3D virtual laboratory built on a digital model of the RU-DRIVE CCS 05 laboratory test bench (Stand 1.8) for students of the “Automation and Control of Technological Processes” programme. The laboratory combines a hydraulic-electrical model of a pumping station, a SCADA operator screen, a 3D library with a knowledge base compiled from three textbooks, an AI assistant and a study centre with a question bank. The AI assistant answers only from library sections retrieved with the BM25 algorithm and cites the source (retrieval-augmented generation). Technical performance of the system, variable-frequency pump characteristics and retrieval accuracy on the knowledge base are reported.

Keywords: virtual laboratory; digital twin; SCADA; pumping station; variable frequency drive.

1 Kirish

Mamlakatimizda oliy ta’limni raqamlashtirish va o‘quv jarayoniga zamonaviy axborot texnologiyalarini joriy etish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. 2022–2026

yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasida oliy ta’lim sifatini oshirish va kadrlar tayyorlashni ishlab chiqarish ehtiyojlariga moslashtirish vazifasi belgilangan [1]. Oliy ta’lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasi o‘quv jarayoniga raqamli texnologiyalar va masofaviy ta’lim shakllarini keng joriy etishni nazarda tutadi [2]. “Raqamli O‘zbekiston – 2030” strategiyasi [3] hamda Sun’iy intellekt texnologiyalarini 2030 yilgacha rivojlantirish strategiyasi [4] esa aholining, jumladan, talabalarning sun’iy intellektdan foydalanish ko‘nikmalarini shakllantirishni alohida vazifa sifatida qo‘yadi.

Muhandislik ta’limida laboratoriya mashg‘ulotlari nazariy bilimni amaliy ko‘nikmaga aylantiruvchi asosiy bo‘g‘in hisoblanadi [5]. Biroq real laboratoriya stendlari qimmat, soni cheklangan va noto‘g‘ri ulanish yoki avariya rejimini sinab ko‘rishga yo‘l qo‘ymaydi. Shu sababli virtual laboratoriyalar real stendning o‘rnini bosuvchi emas, balki unga tayyorlovchi va uni to‘ldiruvchi vosita sifatida keng tarqalmoqda [6].

“Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy tadqiqot universitetining “Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va boshqarish” kafedrasida RU-DRIVE CCS 05 laboratoriya stendi o‘rnatilgan. Stend nasos stansiyasini SCADA orqali boshqarish, chastota o‘zgartirgich bilan nasos tezligini rostlash hamda sarf, bosim va harorat o‘lchash asboblarini o‘rganishga mo‘ljallangan. Stend yagona nusxada bo‘lgani uchun bir mashg‘ulotda uni faqat bir necha talaba bevosita boshqaradi, guruhning qolgan qismi esa kuzatuvchi bo‘lib qoladi.

Talabalarda stend bilan ishlashdan oldin uni xavfsiz sinab ko‘radigan, nazariy materialni tez topadigan va mustaqil tayyorlanadigan muhit yetishmaydi. Mavjud virtual laboratoriyalarning aksariyati maxsus dastur o‘rnatishni talab qiladi, o‘zbek tilidagi o‘quv adabiyotiga bog‘lanmagan va o‘qituvchining baholash jarayoni bilan integratsiyalashmagan.

T. de Jong va hammualliflari jismoniy va virtual laboratoriyalarni taqqoslab, ularning har biri o‘ziga xos afzallikka ega ekanini va aralash qo‘llash eng yaxshi natija berishini ko‘rsatgan [5]. V. Potkonjak va boshqalar fan, texnika va muhandislik ta’limidagi virtual laboratoriyalarni tizimli tahlil qilib, ularning asosiy afzalligi sifatida xavfsizlik, arzonlik va istalgan vaqtda foydalanish imkonini qayd etgan [6]. R. Heradio va boshqalarning bibliometrik tahlili virtual va masofaviy laboratoriyalar bo‘yicha nashrlar soni barqaror o‘sib borayotganini tasdiqlaydi [7]. J. Brinson empirik tadqiqotlar sharhida virtual va masofaviy laboratoriyalardagi o‘quv natijalari an’anaviy laboratoriyalarnikidan past emasligini, ko‘p hollarda esa yuqoriroq ekanini aniqlagan [8].

J. Radianti va boshqalar oliy ta’limda immersiv virtual reallik ilovalarini tizimli ko‘rib chiqib, ularning ko‘pchiligi pedagogik nazariyaga yetarli tayanmaganini ta’kidlagan [9]. G. Makransky va hammualliflarining tajribasida VR shlem “hozirlik” hissini oshirgan, lekin kognitiv yuklama ortgani sababli o‘zlashtirish pasaygan [10]. Bu natija muhitning realistikligi emas, balki o‘quv vazifasining tuzilishi hal qiluvchi ekanini ko‘rsatadi.

Raqamli egizak g‘oyasi M. Grieves va J. Vickers tomonidan fizik obyekt, uning virtual nusxasi va ular orasidagi ma’lumot almashinuvi uchligi sifatida shakllantirilgan [11]. W. Kritzinger va boshqalar ma’lumot oqimining avtomatlashganlik darajasiga ko‘ra raqamli model, raqamli soya va raqamli egizakni farqlaydi [12]. F. Tao va boshqalar sanoatda raqamli egizakdan loyihalash, ekspluatatsiya va o‘qitishda foydalanish holatini umumlashtirgan [13]. C. Terkowsky va hammualliflari jarayon muhandisligi ta’limi uchun o‘yin dvigatelida virtual ejektor nasos laboratoriyasini yaratib, Industry 4.0 kompetensiyalari yaxshilanganini qayd etgan [14].

E. Kasneci va boshqalar katta til modellarining ta’limdagi imkoniyatlari bilan birga noto‘g‘ri ma’lumot berish (“gallyutsinatsiya”) va akademik halollik xavflarini ko‘rsatgan [15]. G. Kestin va hammualliflarining randomizatsiyalangan tajribasida pedagogik tamoyillar asosida sozlangan SI-tyutor bilan o‘qigan talabalar auditoriyadagi faol o‘qitishga nisbatan qisqa vaqtda yuqoriroq natija ko‘rsatgan [16]. Gallyutsinatsiyani kamaytirishning samarali usuli — javobni tashqi bilim manbasidan topilgan matnga tayantirish (retrieval-augmented generation, RAG) bo‘lib, u P. Lewis va boshqalar tomonidan taklif etilgan [17]. Hujjatlarni qidirishda esa S. Robertson va H. Zaragoza tavsiflagan BM25 ehtimoliy modeli hozirgacha kuchli bazaviy usul hisoblanadi [18].

Nasos stansiyalari va gidromeliorativ tizimlar avtomatikasi bo‘yicha o‘zbek tilidagi asosiy o‘quv adabiyotlari — P.I. Kalandarovning darsligi [19], R.T. Gazievaning avtomatik tizimlarni loyihalash bo‘yicha qo‘llanmasi [20] va N.R. Yusupbekov va hammualliflarining texnologik jarayonlarni nazorat

qilish va avtomatlashtirish darsligi [21] — asosan bosma shaklda mavjud va virtual laboratoriya bilan bog‘lanmagan.

Ko‘rib chiqilgan ishlarda (1) brauzerda o‘rnatishsiz ishlovchi, (2) aniq stendning raqamli modeliga asoslangan, (3) o‘zbek tilidagi darsliklarga bog‘langan va (4) javobini manba bilan asoslovchi SI yordamchiga ega virtual laboratoriya uchramadi. Ushbu maqola shu bo‘shliqni to‘ldirishga qaratilgan.

Tadqiqot maqsadi — RU-DRIVE CCS 05 stendining raqamli modeli asosida brauzerda o‘rnatishsiz ishlaydigan, o‘zbek tilidagi bilimlar bazasi va manbaga tayangan sun’iy intellekt yordamchisi bilan birlashtirilgan 3D virtual laboratoriyani ishlab chiqish va uning texnik hamda funksional ko‘rsatkichlarini baholash.

2 Materiallar va metodlar

2.1 Tadqiqot obyekti

Tadqiqot obyekti — RU-DRIVE CCS 05 nasos stansiyasi avtomatikasi stendi (Stend 1.8). Uning tarkibida rezervuar, ikkita markazdan qochma nasos agregati (N1 chastota o‘zgartirgich PCh1 orqali, N2 to‘g‘ridan-to‘g‘ri ulanadi), BP1 va BP2 bosim datchiklari (4–20 mA), PF1 va PF2 sarf o‘lchagichlari, Belimo elektr yuritmali YV1 rostlovchi krani, YA1 baypas klapani hamda PLC va SCADA bilan aloqa interfeysi mavjud.



1-rasm. RU-DRIVE CCS 05 laboratoriya stendining umumiy ko‘rinishi

Kritzinger tasnifiga ko‘ra [12] ishlab chiqilgan tizim real stend bilan avtomatik ma’lumot almashmaydi, shu sababli u raqamli model darajasiga mansub; tizim arxitekturasi esa keyinchalik real stend bilan Modbus orqali ulanib, raqamli egizak darajasiga o‘tishga imkon beradi.

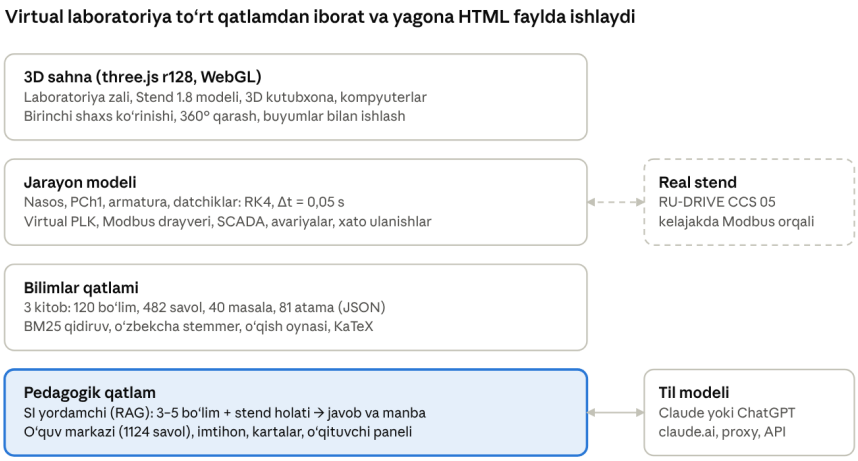
2.2 Tizim arxitekturasi

Tizim arxitekturasi to‘rt qatlamdan iborat (2-rasm): 3D sahna, jarayon modeli, bilimlar qatlami va pedagogik qatlam. Barcha qatlamlar bitta HTML faylda joylashgan va brauzerda o‘rnatishsiz ishlaydi. 3D sahna WebGL asosidagi three.js r128 kutubxonasida qurilgan [22].

2.3 Jarayon modeli

Gidravlik tarmoq holat tenglamalari to‘rtinchi tartibli Runge–Kutta usuli bilan $\Delta t = 0{,}05$ s qadamda integrallanadi. Nasosning 50 Hz dagi napor tavsifi $H_{50}(Q)$ pasport egri chizig‘i bo‘yicha jadval ko‘rinishida berilgan, boshqa tezliklarga esa o‘xshashlik qonunlari orqali o‘tkaziladi [19,23]:

$$H(Q,n) = n^2\, H_{50}\left(\frac{Q}{n}\right), \qquad n = \frac{f}{50}, \tag{1}$$



2-rasm. Virtual laboratoriyaning tizim arxitekturasi (uzuq chiziq — rejalashtirilgan aloqa)

bu yerda f — PCh1 chiqish chastotasi, Hz; n — nisbiy aylanish tezligi; Q — sarf, l/min. Nasos iste’mol qiladigan quvvat quyidagicha modellashtirilgan:

$$N(Q,n) = N_0 \max\left(0{,}3;\ 1 - 0{,}35\,\frac{Q}{Q_{\max}\,n}\right) n^3, \tag{2}$$

bu yerda N_0 = 620 W; Q_{max} = 40 l/min. Modelda chastota o‘zgartirgich rampasi, dvigatel inersiyasi, kranning 90 s lik yurish vaqti, datchiklar inersiyasi va shovqini, kavitatsiya, qizish hamda noto‘g‘ri ulanishlar (qisqa tutashuv, saqlagich kuyishi, 4–20 mA zanjir uzilishi) hisobga olingan. Bu talabaga real stendda sinab bo‘lmaydigan avariya holatlarini xavfsiz o‘rganish imkonini beradi [6].

2.4 Bilimlar bazasi (virtual laboratoriyaga o‘rnatilgan ktibolar)

Bilimlar bazasi uchta o‘zbek tilidagi o‘quv adabiyotidan [19–21] tuzilgan va JSON formatida saqlanadi (1-jadval). Har bir bo‘lim matn, kalit so‘zlar, formulalar, betlar, bog‘liq stend va laboratoriya ishlari bilan birga yoziladi.

1-jadval. Bilimlar bazasining tarkibi

Manba	Bo‘limlar	Savollar	Masalalar	Atamalar
Kalandarov P.I., 2021 [19]	70	314	13	42
Gazieva R.T., 2018 [20]	29	97	14	20
Yusupbekov N.R. va boshq., 2011 [21]	21	71	13	19
Jami	120	482	40	81

Bazaning umumiy hajmi taxminan 1,0 mln belgini tashkil etadi. Unga yangi kitobni dastur kodini o‘zgartirmasdan JSON fayl ko‘rinishida qo‘shish mumkin.

2.5 Qidiruv algoritmi

Kutubxonada BM25 ehtimoliy modeli qo‘llangan [18]. q so‘rov va D bo‘lim uchun moslik bahosi:

$$\text{score}(D,q) = \sum_{t \in q} \text{IDF}(t)\,\frac{f(t,D)\,(k_1+1)}{f(t,D) + k_1\left(1 - b + b\,\dfrac{|D|}{\overline{|D|}}\right)}, \tag{3}$$

bu yerda f(t, D) — t atamaning bo‘limdagi og‘irlangan chastotasi (sarlavha ×3, kalit so‘zlar ×2, matn ×1); |D| — bo‘lim uzunligi; k_1 = 1,4; b = 0,75. O‘zbek tilining agglyutinativ tabiatini hisobga olib, so‘zlar 31 ta qo‘shimchani (-larining, -dagi, -ning va h.k.) kesuvchi soddalashtirilgan stemmer orqali o‘zakka keltiriladi.

2.6 Sun'iy intellekt yordamchisi

SI yordamchi RAG sxemasi bo‘yicha ishlaydi [17]: talaba savoliga BM25 bo‘yicha eng mos 3–5 bo‘lim tanlanadi va stendning joriy holati (chastota, sarf, bosim, faol signallar) bilan birga til modeliga kontekst sifatida uzatiladi. Modelga javobni faqat shu bo‘limlarga tayantirish va har bir da'vodan keyin [M1], [M2] ko‘rinishidagi manba belgisini qo‘yish ko‘rsatmasi beriladi. Interfeys bu belgilarni kitob, bob va betni ko‘rsatuvchi havolaga aylantiradi. Kutubxonada javob topilmasa, yordamchi "Bu ma'lumot kutubxona kitoblarida yo‘q, umumiy bilim asosida" degan ogohlantirish beradi. Bu yondashuv katta til modellarining noto‘g‘ri ma'lumot berish xavfini kamaytiradi [15].

Pedagogik cheklovlar quyidagicha: mashq rejimida to‘liq tushuntirish beriladi; nazorat rejimida faqat yo‘naltiruvchi savollar beriladi; kirish va yakuniy testlar vaqtida yordamchi bloklanadi; har bir murojaat jurnalga yoziladi va o‘qituvchi belgilagan jarima ballini kamaytirishi mumkin. Yordamchi uch xil ulanishda ishlaydi: claude.ai muhitida o‘rnatilgan model orqali, universitet serveridagi proxy orqali (API kalit serverda saqlanadi) va to‘g‘ridan-to‘g‘ri API orqali. Internet bo‘lmaganda u faqat kutubxona qidiruvi rejimiga o‘tadi.

2.7 O‘quv markazi

O‘quv markazi kitoblardagi savollar, raqamli masala shablonlari va sxema bo‘yicha savollardan yig‘ilgan yagona bankka (1124 ta savol va masala, 7 mavzu, 8 xil savol turi: bitta va bir nechta javobli test, to‘g‘ri/noto‘g‘ri, moslashtirish, bo‘sh joyni to‘ldirish, raqamli javob, sxema bo‘yicha va ochiq savol) tayanadi. Flesh-kartalar Leitner tizimi bo‘yicha 0, 1, 2, 4, 8 va 16 kunlik intervallar bilan takrorlanadi; bu faol eslab qolish samaradorligi haqidagi ma'lumotlarga asoslanadi [25]. Raqamli masalalarda har bir talaba uchun boshlang‘ich qiymatlar alohida generatsiya qilinadi.

2.8 Baholash usuli

Tizim uch yo‘nalishda baholandi: (1) jarayon modelining o‘xshashlik qonunlariga mosligi — YV1 kranining ikki holatida PCh1 chastotasi 15–50 Hz oralig‘ida 5 Hz qadam bilan o‘zgartirilib, har bir nuqtada 150 s modellashtirishdan keyingi barqaror qiymatlar yozildi; (2) qidiruv aniqligi — bilimlar bazasidagi 482 ta savolning har biri so‘rov sifatida berilib, u olingan bo‘limning natijalar ro‘yxatidagi o‘rni aniqlandi (Top-k va MRR ko‘rsatkichlari); (3) texnik ko‘rsatkichlar — fayl hajmi, internetsiz ishlash va yuklanish vaqti Chromium brauzerida avtomatlashtirilgan sinov bilan o‘lchandi.

3 Natijalar

3.1 Virtual muhit va SCADA dasturi

Talaba laboratoriya zaliga birinchi shaxs ko‘rinishida kiradi, sichqoncha bilan 360° atrofga qaraydi va klaviatura bilan harakatlanadi (3-rasm, a). Stend 1.8 ning raqamli modelida boshqaruv shkafi, quvurlar, armatura, manometrlar va nasos agregatlari real stend joylashuviga mos ravishda berilgan (3-rasm, b). Ekranning o‘ng tomonidagi "Jonli ko‘rsatkichlar" paneli ta'minot zanjiri holatini (QS → QF1 → BP 24 V → PCh1) va asosiy o‘lchanadigan kattaliklarni real vaqtda ko‘rsatadi.

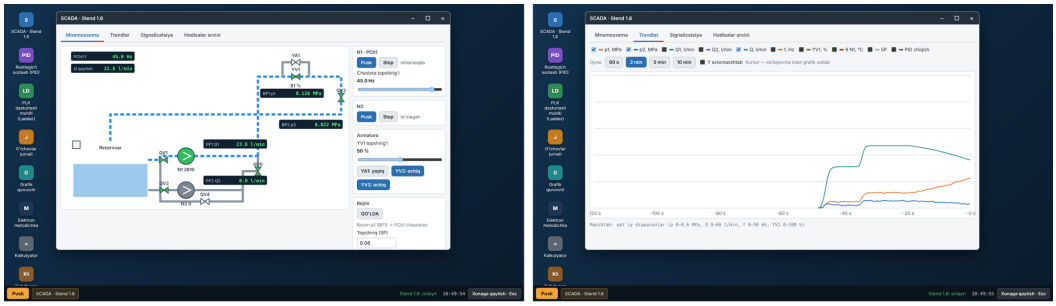


a) b)

3-rasm. Virtual laboratoriya: a) laboratoriya zalining umumiy ko‘rinishi; b) Stend 1.8 raqamli modeli ishlash rejimida (PCh1 = 45 Hz, Q1 = 28,3 l/min)

Ish o‘rni kompyuterida SCADA dasturi stend bilan virtual Modbus RTU aloqasi o‘rnatilgandan keyin ishga tushadi. Mnemosxemada nasoslar holati, armatura, BP1 va BP2 bosimlari, PF1 sarfi ko‘rsatiladi va boshqaruv elementlari joylashgan (4-rasm, a). "Trendlar" sahifasida PCh1 chastotasi

30 Hz dan 45 Hz ga oshirilganda sarfning pog‘onasimon o‘sishi, so‘ngra YV1 kranining 50 % ga yopilishida sarf kamayib, bosim ortishi ko‘rinadi (4-rasm, b). Kranning sekin yopilishi Belimo yuritmasining 90 s lik yurish vaqti modelga kiritilganini tasdiqlaydi.

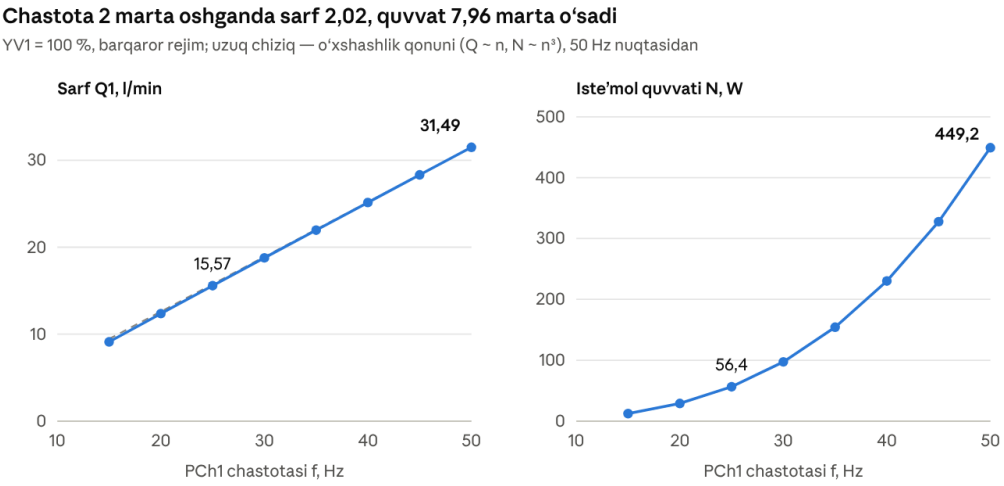


a) b)

4-rasm. SCADA dasturi: a) mnemosxema; b) p1, p2 bosimlari va umumiy sarf Q ning trendlari

3.2 Jarayon modelining tekshiruvi

YV1 krani to‘liq ochiq bo‘lganda PCh1 chastotasi 25 Hz dan 50 Hz ga oshirilganda sarf 15,57 dan 31,49 l/min gacha (2,02 marta), nasos quvvati esa 56,4 dan 449,2 W gacha (7,96 marta) o‘sdi (5-rasm). Bu nisbatlar o‘xshashlik qonunlaridagi Q ∼ n va N ∼ n³ bog‘lanishlariga (2 va 8 marta) mos keladi [23]. Bosim esa 4,5 marta oshdi: bu n² ga xos 4 martadan biroz yuqori va tarmoqdagi statik bosim ulushi bilan tushuntiriladi.



5-rasm. YV1 = 100 % da nasos sarfi va iste’mol quvvatining PCh1 chastotasiga bog‘liqligi (virtual laboratoriyada modellashtirish natijasi)

Ikki rostlash usuli bir xil sarf uchun taqqoslandi (2-jadval). Drossellashda nasos 50 Hz da ishlaydi va sarf YV1 kranini 50 % ga yopish bilan kamaytiriladi; chastotaviy rostlashda kran to‘liq ochiq qoladi va PCh1 chastotasi kamaytiriladi.

2-jadval. Q ≈ 11,7 l/min sarfni ta’minlashning ikki usuli (modellashtirish natijasi)

Rostlash usuli	PCh1, Hz	YV1, %	Q1, l/min	p1, MPa	N, W
Drossellash (kran bilan)	50	50	11,72	0,303	556,4
Chastotaviy rostlash	19	100	11,71	0,010	24,8

Modelda chastotaviy rostlash bir xil sarfda quvvatni 95 % ga kamaytirdi.

3.3 Kutubxona va qidiruv aniqligi

Laboratoriyadan yo‘lak orqali 3D kutubxonaga o‘tiladi. Unda kitoblar mavzuli javonlarga joylashtirilgan, katalog shkafi va elektron katalog kompyuteri mavjud (6-rasm, a). Kitobni javondan olib ochganda o‘qish oynasi ochiladi. Unda mundarija, matn ichida va barcha kitoblar bo‘yicha qidiruv, xatcho‘plar, belgilashlar va KaTeX yordamida chiqariladigan formulalar mavjud (6-rasm, b).



a) b)

6-rasm. Bilimlar qatlami: a) 3D kutubxona; b) kitob o‘qish oynasi (Kalandarov P.I. darsligi, 2.15.2-bo‘lim “Rostlash qonunlari”)

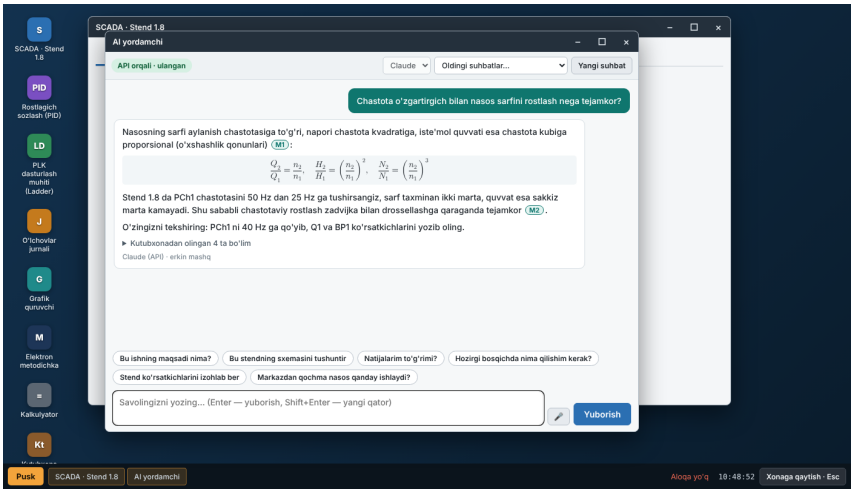
Qidiruv aniqligi 3-jadvalda keltirilgan. Barcha 482 ta savol bo‘yicha to‘g‘ri bo‘lim 56,0 % hollarda birinchi o‘rinda, 75,5 % hollarda dastlabki uchtalikda va 83,0 % hollarda dastlabki beshtalikda topildi. SI yordamchi kontekstga aynan 3–5 ta bo‘lim olgani uchun Top-5 ko‘rsatkichi muhim hisoblanadi.

3-jadval. BM25 qidiruvining bilimlar bazasidagi aniqligi

Kitob	Savollar	Top-1, %	Top-3, %	Top-5, %	MRR
Kalandarov P.I. [19]	314	51,6	71,3	80,6	0,623
Gazieva R.T. [20]	97	62,9	81,4	87,6	0,728
Yusupbekov N.R. va boshq. [21]	71	66,2	85,9	87,3	0,749
Jami	482	56,0	75,5	83,0	0,663

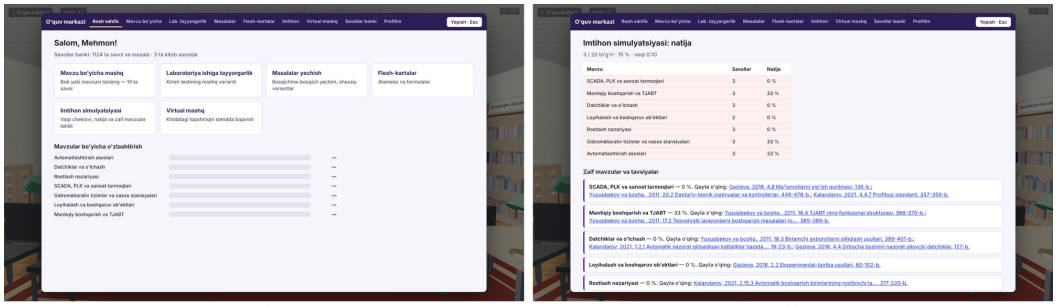
3.4 SI yordamchi va o‘quv markazi interfeysi

Yordamchi oynasida ulanish holati, model tanlovi, suhbatlar tarixi, tavsiya etilgan savollar va ovozli kiritish tugmasi joylashgan (7-rasm). Javobdagi [M1], [M2] belgilari bosilganda tegishli kitob bo‘limi o‘qish oynasida ochiladi, formulalar esa KaTeX bilan chiqariladi. Javob ostida kontekstga olingan bo‘limlar ro‘yxati va ish rejimi (“erkin mashq” yoki “nazorat”) ko‘rsatiladi.



7-rasm. Ish o‘rni kompyuteridagi SI yordamchi oynasi (javob formatini ko‘rsatish uchun namuna)

O‘quv markazi mavzu bo‘yicha mashq, laboratoriya ishiga tayyorgarlik, bosqichma-bosqich masala yechish, flesh-kartalar, imtihon simulyatsiyasi va stenddagi virtual mashq rejimlarini birlashtiradi (8-rasm, a). Imtihon yakunida tizim mavzular bo‘yicha natijani hisoblaydi va har bir zaif mavzu uchun kitobning aniq bo‘limi va betiga havola beradi (8-rasm, b).



8-rasm. O‘quv markazi: a) bosh sahifa; b) imtihon simulyatsiyasi hisobotining ko‘rinishi (interfeys namoyishi uchun tasodifiy javoblar bilan)

3.5 Texnik ko‘rsatkichlar

Barcha kutubxonalar ichiga joylashtirilgan yakuniy HTML fayl hajmi 3,6 MB ni tashkil etadi va tarmoqsiz ochiladi. Videokartasiz dasturiy renderlash rejimida (Chromium, SwiftShader) sahifa 4,5 s da yuklandi, 3D sahna sekundiga 20–24 kadr tezlikda chizildi. Bitta BM25 so‘rovi o‘rtacha 4,5 ms da bajarildi. Videokartali oddiy kompyuterda bu ko‘rsatkichlar yuqoriroq bo‘lishi kutiladi.

4 Muhokama

Olingan natijalar virtual laboratoriya real stendning o‘rnini bosuvchi emas, balki unga tayyorlovchi va uni to‘ldiruvchi vosita ekanligi haqidagi xulosalarga mos keladi [5,6,8]. Makransky va hammualliflarining tajribasida o‘zlashtirish uchun muhitning realistikligi emas, balki o‘quv vazifasining tuzilishi hal qiluvchi bo‘lgan [10]. Shu sababli ishlab chiqilgan tizimda 3D muhit laboratoriya ishiga tayyorgarlik, bosqichma-bosqich masala yechish va nazorat rejimlari bilan birgalikda qo‘llaniladi.

Modelda chastotaviy rostlash bir xil sarfda quvvatni 95 % ga kamaytirgan bo‘lsa-da, real nasos stansiyalarida tejash darajasi tarmoqdagi statik napor ulushiga bog‘liq va odatda kamroq bo‘ladi [24]. Biroq talaba bu farqni stendda ikki tajriba o‘tkazib, o‘z qo‘li bilan aniqlaydi. Natijada energiya tejash tamoyili nazariy formuladan amaliy xulosaga aylanadi.

Kalandarov darsligida ko‘rsatkich pastroq. Buning sababi — bo‘limlar soni ko‘p (70 ta) va qo‘shni bo‘limlar mazmuni yaqin, masalan, 2.7 “TJABTlarida rostlash qonunlari” va 2.15.2 “Rostlash qonunlari”. Shuni ta’kidlash kerakki, savollar shu kitoblar matnidan tuzilgan. Shu sababli talabalarning erkin shakldagi savollarida aniqlik pastroq bo‘lishi mumkin va bu alohida tekshirishni talab qiladi. Javobni kutubxonadan topilgan bo‘limlarga tayantirish (RAG) katta til modellarining noto‘g‘ri ma’lumot berish xavfini kamaytiradi [15,17].

Kritzinger tasnifiga ko‘ra [12] ishlab chiqilgan tizim hozircha raqamli model darajasida, chunki real stend bilan avtomatik ma’lumot almashmaydi. Bundan tashqari, virtual laboratoriyaning o‘zlashtirishga ta’siri pedagogik tajribada hali baholanmagan. Ushbu cheklovlar keyingi tadqiqotlar yo‘nalishini belgilaydi.

Xulosalar

1) RU-DRIVE CCS 05 stendining raqamli modeli asosida brauzerda o‘rnatishsiz va internetsiz ishlovchi 3D virtual laboratoriya ishlab chiqildi. U jarayon modeli, SCADA, 3D kutubxona, SI yordamchi va o‘quv markazini 3,6 MB hajmdagi yagona faylda birlashtiradi.

2) Nasos agregatining jarayon modeli o‘xshashlik qonunlariga mos natija berdi: chastota ikki marta oshganda sarf 2,02 marta, quvvat 7,96 marta oshdi. Bu modeldan chastotaviy rostlash va drossellashni taqqoslovchi laboratoriya ishlarida foydalanish imkonini beradi.

3) Uchta o‘zbek tilidagi o‘quv adabiyotidan 120 bo‘lim, 482 savol, 40 masala va 81 atamadan iborat bilimlar bazasi yaratildi. O‘zbek tili uchun moslashtirilgan BM25 qidiruvi to‘g‘ri bo‘limni 83,0 % hollarda dastlabki beshtalikda topdi (MRR = 0,663).

4) SI yordamchi javobni kutubxonadan topilgan bo‘limlarga tayantiradi, manbani kitob, bob va bet aniqligida ko‘rsatadi hamda nazorat vaqtida bloklanadi. Bu katta til modellaridan ta’limda foydalanishdagi noto‘g‘ri ma’lumot va akademik halollik xavflarini kamaytiradi.

Takliflar:

– virtual laboratoriyani “Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va boshqarish” yo‘nalishida real stenddagi mashg‘ulotdan oldingi majburiy tayyorgarlik bosqichi sifatida joriy etish;
– tajriba va nazorat guruhlarida pedagogik tajriba o‘tkazib, virtual laboratoriyaning o‘zlashtirishga ta’sirini statistik baholash;
– talabalarning erkin shakldagi savollaridan test to‘plami tuzib, qidiruv aniqligini qayta baholash va BM25 ni semantik qidiruv bilan to‘ldirish;
– tizimni real stend PLC si bilan Modbus orqali ulab, raqamli model darajasidan raqamli egizak darajasiga o‘tkazish.

Adabiyotlar

[1] O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining PF-60-son Farmoni, 2022. 2022–2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida (28.01.2022). https://lex.uz.

[2] O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining PF-5847-son Farmoni, 2019. O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida (08.10.2019). https://lex.uz.

[3] O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining PF-6079-son Farmoni, 2020. “Raqamli O‘zbekiston – 2030” strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida (05.10.2020). https://lex.uz.

[4] O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining PQ-358-son qarori, 2024. Sun’iy intellekt texnologiyalarini 2030 yilgacha rivojlantirish strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risida (14.10.2024). https://lex.uz/docs/7159258.

[5] de Jong, T., Linn, M.C., Zacharia, Z.C., 2013. Physical and virtual laboratories in science and engineering education. Science 340(6130), 305–308. https://doi.org/10.1126/science.1230579.

[6] Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., et al., 2016. Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. Computers & Education 95, 309–327. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002.

[7] Heradio, R., de la Torre, L., Galan, D., et al., 2016. Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis. Computers & Education 98, 14–38. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.03.010.

[8] Brinson, J.R., 2015. Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. Computers & Education 87, 218–237. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.07.003.

[9] Radianti, J., Majchrzak, T.A., Fromm, J., Wohlgenannt, I., 2020. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. Computers & Education 147, 103778. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778.

[10] Makransky, G., Terkildsen, T.S., Mayer, R.E., 2019. Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. Learning and Instruction 60, 225–236. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007.

[11] Grieves, M., Vickers, J., 2017. Digital Twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In: Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. Springer, Cham, 85–113. https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4.

[12] Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., Sihn, W., 2018. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC-PapersOnLine 51(11), 1016–1022. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474.

[13] Tao, F., Zhang, H., Liu, A., Nee, A.Y.C., 2019. Digital Twin in industry: State-of-the-art. IEEE Transactions on Industrial Informatics 15(4), 2405–2415. https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873186.

[14] Terkowsky, C., Boettcher, K., Grünendahl, S., Brandner, D., 2025. Redesign of a virtual jet pump laboratory for higher process engineering education. International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE) 21(9), 4–26. https://doi.org/10.3991/ijoe.v21i09.55005.

[15] Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., et al., 2023. ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. Learning and Individual Differences 103, 102274. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274.

[16] Kestin, G., Miller, K., Klales, A., Milbourne, T., Ponti, G., 2025. AI tutoring outperforms in-class active learning: an RCT introducing a novel research-based design in an authentic educational setting. Scientific Reports 15, 17458. https://doi.org/10.1038/s41598-025-97652-6.
[17] Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., et al., 2020. Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks. Advances in Neural Information Processing Systems 33, 9459–9474.
[18] Robertson, S., Zaragoza, H., 2009. The probabilistic relevance framework: BM25 and beyond. Foundations and Trends in Information Retrieval 3(4), 333–389. https://doi.org/10.1561/1500000019.
[19] Kalandarov, P.I., 2021. Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish: darslik. "TIQXMMI" MTU, Toshkent, 403 b.
[20] Gazieva, R.T., 2018. Avtomatik tizimlarni loyihalash: o'quv qo'llanma. Toshkent, 176 b.
[21] Yusupbekov, N.R., Muhamedov, B.E., G'ulomov, Sh.M., 2011. Texnologik jarayonlarni nazorat qilish va avtomatlashtirish: darslik. O'qituvchi, Toshkent, 576 b. ISBN 978-9943-02-455-7.
[22] Dirksen, J., 2023. Learn Three.js: Program 3D animations and visualizations for the web with JavaScript and WebGL, 4th ed. Packt Publishing, Birmingham.
[23] Gülich, J.F., 2014. Centrifugal Pumps, 3rd ed. Springer, Berlin, Heidelberg.
[24] Saidur, R., Mekhilef, S., Ali, M.B., Safari, A., Mohammed, H.A., 2012. Applications of variable speed drive (VSD) in electrical motors energy savings. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16(1), 543–550. https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.020.
[25] Karpicke, J.D., Roediger, H.L., 2008. The critical importance of retrieval for learning. Science 319(5865), 966–968. https://doi.org/10.1126/science.1152408.

Disclaimer of liability/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications belong exclusively to individuals.The authors and participants, and the editors. The journal and the editors are not responsible for any damage caused to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products mentioned in the content.