UO‘K 378.147:622.276

SANOAT 5.0 TAMOYILLARI ASOSIDA BO‘LAJAK NEFT-GAZ MUHANDISLARINING LOYIHALASH KOMPETENSIYASINI RIVOJLANTIRISH METODIKASI

To‘raqulova Marjona Qiyom qizi,
Buxoro davlat texnika universiteti dotsenti, (PhD),
marjonaturakulova79@gmail.com
Salimova Zarnigor Sa’dullayevna,
Buxoro davlat texnika universiteti o‘qituvchi-stajyori

Maqolada Sanoat 5.0 konsepsiyasining inson markaziyligi, barqarorlik va rezilyentlik tamoyillari asosida bo‘lajak neft-gaz muhandislarining loyihalash kompetensiyasini rivojlantirish metodikasi ilmiy-metodik jihatdan asoslangan. Neft-gaz sanoatida sun’iy intellekt, raqamli egizak, IoT, simulyatsiya va kiber-fizik tizimlarning jadal qo‘llanilishi muhandisning nafaqat texnik hisob-kitoblarni bajarishi, balki murakkab obyektlarni inson xavfsizligi, ekologik barqarorlik, iqtisodiy samaradorlik va texnologik ishonchlilik mezonlari asosida loyihalashini talab etadi. Tadqiqotda tizimli, kompetensiyaviy, faoliyatga yo‘naltirilgan va loyiha asosida o‘qitish yondashuvlari, qiyosiy tahlil, kontent-tahlil va pedagogik modellashtirish metodlaridan foydalanildi. Natijada motivatsion-diagnostik, nazariy-analitik, amaliy-loyihaviy hamda refleksiv-integrativ bosqichlardan iborat metodik model taklif etildi. Model tarkibiga real ishlab chiqarish muammosi, raqamli model, muqobil yechim, xavfsizlik va ekologik ekspertiza, virtual prototip hamda refleksiv baholash ketma-ketligi kiritildi. Taklif etilgan yondashuv neft-gaz ta’limida kasbiy-amaliy, raqamli va loyihaviy kompetensiyalarni integrativ rivojlantirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: *Sanoat 5.0, neft-gaz muhandisligi, loyihalash kompetensiyasi, raqamli egizak, sun’iy intellekt, loyiha asosida ta’lim, barqarorlik, rezilyentlik, inson markaziyligi, raqamli transformatsiya.*

METHODOLOGY FOR DEVELOPING THE DESIGN COMPETENCE OF FUTURE OIL AND GAS ENGINEERS BASED ON INDUSTRY 5.0 PRINCIPLES

The article substantiates a methodology for developing the design competence of future oil and gas engineers on the basis of the core Industry 5.0 principles: human-centricity, sustainability and resilience. The growing use of artificial intelligence, digital twins, the Internet of Things, simulation and cyber-physical systems in the oil and gas sector requires engineers not only to perform technical calculations but also to design complex facilities in terms of human safety, environmental sustainability, economic efficiency and operational reliability. Systems, competency-based, activity-based and project-based approaches, comparative analysis, content analysis and pedagogical modelling were applied. A methodological model consisting of motivational-diagnostic, theoretical-analytical, practical-design and reflective-integrative stages was developed. The model links a real industrial problem with digital modelling, generation of alternative solutions, safety and environmental assessment, virtual prototyping and reflective evaluation. Its implementation can support the integrated development of professional, digital and project competences and prepare students for multidisciplinary engineering decision-making in the Industry 5.0 environment.

Keywords: *Industry 5.0, oil and gas engineering, design competence, digital twin, artificial intelligence, project-based learning, sustainability, resilience, human-centricity, digital transformation.*

МЕТОДИКА РАЗВИТИЯ ПРОЕКТНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ ИНДУСТРИИ 5.0

В статье в научно-методическом аспекте обоснована методика развития проектной компетентности будущих инженеров нефтегазовой отрасли на основе ключевых принципов Индустрии 5.0: человекоцентричности, устойчивости и резильентности. Расширение применения искусственного интеллекта, цифровых двойников, Интернета вещей, симуляционных и киберфизических систем требует от инженера не только выполнения технических расчётов, но и проектирования сложных объектов с учётом безопасности человека, экологической устойчивости, экономической эффективности и надежности. Использованы системный, компетентностный, деятельностный и проектный подходы, сравнительный анализ, контент-анализ и педагогическое моделирование. Предложена методическая модель, включающая мотивационно-диагностический, теоретико-аналитический, практико-проектный и рефлексивно-интегративный этапы. В модели

объединены производственная проблема, цифровое моделирование, разработка альтернативных решений, оценка безопасности и экологичности, виртуальное прототипирование и рефлексивная оценка. Предложенный подход ориентирован на интегративное развитие профессиональных, цифровых и проектных компетенций будущих инженеров.

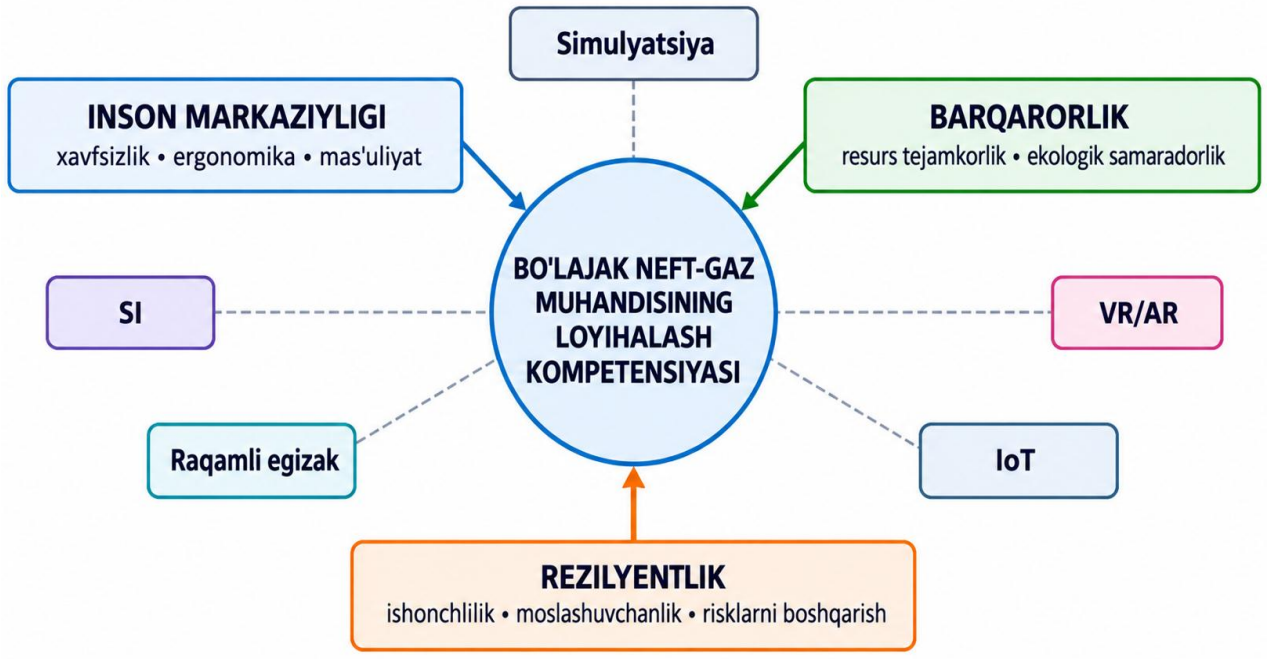
Ключевые слова: *Индустрия 5.0, нефтегазовая инженерия, проектная компетентность, цифровой двойник, искусственный интеллект, проектное обучение, устойчивость, резильентность, человекоцентричность, цифровая трансформация.*

Kirish. Raqamli transformatsiya jarayoni sanoatning texnologik bazasini yangilash bilan bir qatorda muhandis kadrlarni tayyorlash mazmuniga ham yangi talablarni qo‘ymoqda. Sanoat 4.0 avtomatlashtirish, robotlashtirish, katta ma’lumotlar, IoT va kiber-fizik tizimlar orqali ishlab chiqarish samaradorligini oshirishga yo‘naltirilgan bo‘lsa, Sanoat 5.0 ushbu texnologik imkoniyatlarni inson manfaatlari, ekologik mas’uliyat va tizimlarning tashqi ta’sirlarga bardoshliligi bilan uyg‘unlashtiradi. Yevropa Komissiyasi Sanoat 5.0 ning uchta asosiy ustunini inson markaziyligi, barqarorlik va rezilyentlik sifatida belgilaydi [1, 2].

Neft-gaz tarmog‘ida mazkur yondashuv alohida dolzarblik kasb etadi. Quduqlarni burg‘ilash va ishlatish, neft va gazni tayyorlash, quvurlar orqali uzatish hamda texnologik qurilmalarni boshqarish yuqori bosim, harorat, portlash-yong‘in xavfi va ekologik tavakkalchilik bilan bog‘liq. Shu sababli zamonaviy muhandis tayyor texnologik reglamentni bajaruvchi mutaxassis bo‘lib qolmasdan, real jarayonni tahlil qiladigan, raqamli model yaratadigan, bir nechta loyiha variantini taqqoslaydigan va yakuniy qarorni texnik, xavfsizlik, ekologik hamda iqtisodiy mezonlar asosida asoslaydigan mutaxassis bo‘lishi zarur.

Muhandislik ta’limi bo‘yicha zamonaviy tadqiqotlarda Sanoat 5.0 sharoitida transdissiplinar ta’lim, barqaror va inson markaziy dizayn, ma’lumotlar bilan ishlash, inson–mashina hamkorligi va uzluksiz o‘rganish muhim yo‘nalishlar sifatida ko‘rsatilgan [3]. CDIO Standards 3.0 ham muhandislik ta’limida mahsulot, jarayon va tizimning butun hayotiy siklini Conceive–Design–Implement–Operate ketma-ketligida o‘rgatish, barqarorlik va raqamlashtirishni integratsiyalashni tavsiya etadi [4, 5].

Tadqiqotning dolzarbligi neft-gaz ta’limida mavjud fan bilimlari, zamonaviy raqamli texnologiyalar va loyiha faoliyatining ko‘pincha alohida o‘qitilishi bilan izohlanadi. Bunday fragmentar yondashuv talabaning real ishlab chiqarish muammosiga nisbatan kompleks muhandislik qarorini ishlab chiqish qobiliyatini yetarli darajada shakllantirmaydi. Shu bois Sanoat 5.0 tamoyillari asosida loyihalash kompetensiyasini maqsadli rivojlantirish metodikasini ishlab chiqish pedagogik va amaliy jihatdan muhimdir.



1-rasm. Sanoat 5.0 tamoyillari va bo‘lajak neft-gaz muhandisining loyihalash kompetensiyasi o‘rtasidagi bog‘liqlik

Tadqiqot maqsadi – Sanoat 5.0 ning inson markaziyligi, barqarorlik va rezilyentlik tamoyillarini neft-gaz muhandisligi ta’limiga integratsiyalash orqali bo‘lajak mutaxassislarning loyihalash kompetensiyasini rivojlantirishga qaratilgan metodik modelni ishlab chiqish va uning tarkibiy qismlarini ilmiy asoslash.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilarda namoyon bo‘ladi: bo‘lajak neft-gaz muhandisining loyihalash kompetensiyasi Sanoat 5.0 qiymatlari bilan integratsiyalashgan holda aniqlashtirildi; kompetensiyaning motivatsion-maqsadli, kognitiv-texnologik, loyihaviy-amaliy va refleksiv-baholash komponentlari tizimlashtirildi; “muammo → raqamli model → muqobil yechim → xavfsizlik va ekologik ekspertiza → virtual prototip → refleksiv baholash” algoritmi ishlab chiqildi; loyiha asosida ta’lim, CDIO, Design Thinking, Reverse Engineering hamda raqamli egizak va SI vositalarini birlashtiruvchi metodik mexanizm taklif etildi.

Tadqiqot obyekti va qo‘llanilgan metodlar. Tadqiqot obyekti sifatida oliy ta’lim muassasalarida bo‘lajak neft-gaz muhandislarini kasbiy tayyorlash jarayoni, tadqiqot predmeti sifatida esa Sanoat 5.0 tamoyillari asosida ularning loyihalash kompetensiyasini rivojlantirishning mazmuni, metodlari, vositalari va pedagogik shart-sharoitlari belgilandi.

Tadqiqot metodologiyasi tizimli, kompetensiyaviy, faoliyatga yo‘naltirilgan va loyiha asosida o‘qitish yondashuvlariga tayandi. Nazariy bosqichda Sanoat 5.0, muhandislik ta’limi, raqamli egizak, neft-gaz sanoatini raqamlashtirish va CDIO bo‘yicha 2016–2026-yillarda chop etilgan ilmiy manbalar qiyosiy va mazmuniy tahlil qilindi. Pedagogik modellashtirish orqali maqsad, bosqich, vosita, metod, topshiriq va baholash mezonlari o‘rtasidagi funksional aloqalar aniqlandi. Kasbiy-amaliy mazmunni ishlab chiqishda case-study, Problem-Based Learning, Project-Based Learning, Design Thinking va Reverse Engineering elementlari birlashtirildi.

Neft-gaz sanoatining raqamlashtirish bo‘yicha sharhlarida raqamli egizak real obyektning holatini uzluksiz kuzatish, prognozlash, prediktiv texnik xizmat va samaradorlikni baholash imkonini berishi qayd etiladi [6]. Shu bilan birga bulutli va edge-hisoblash, ma’lumotlar sifati, axborot xavfsizligi va modelning verifikatsiyasi muhim shartlar sifatida ko‘rsatiladi. Bu omillar ta’lim jarayonida ham talabaning “model natijasiga ko‘r-ko‘rona ishonish” emas, balki ma’lumot va modelning ishonchliligini tahlil qilish ko‘nikmasini shakllantirish zarurligini ko‘rsatadi.

1-jadval.

Sanoat 5.0 tamoyillarining loyihalash kompetensiyasi mazmuniga ta’siri

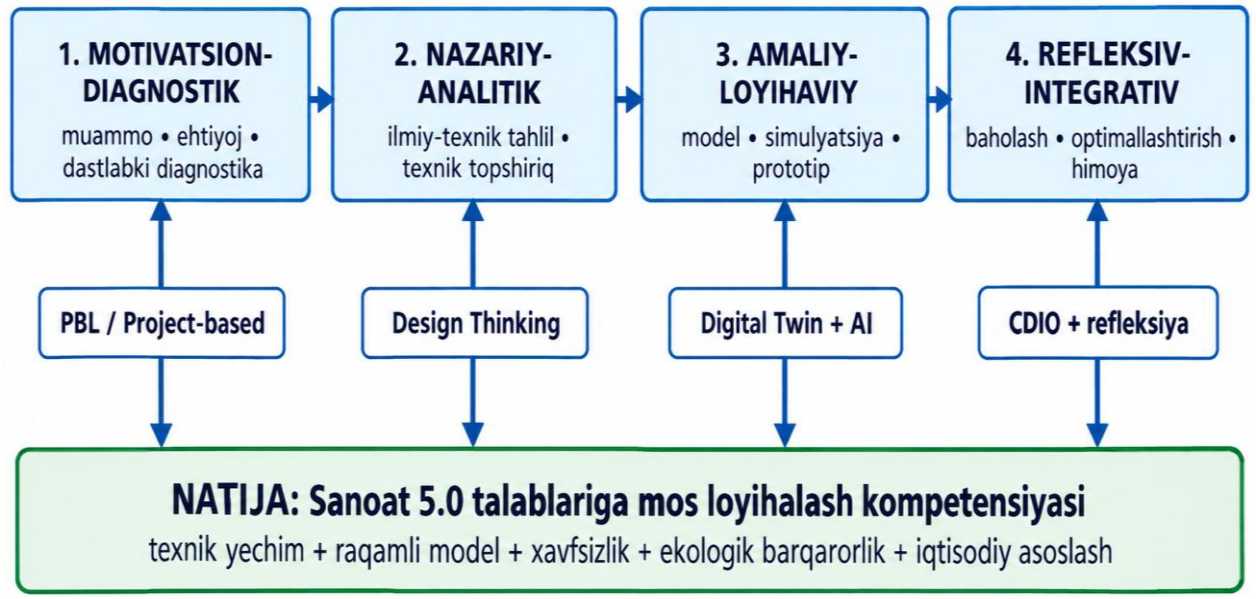
Tamoyil	Neft-gaz sohasidagi mazmun	Ta’lim natijasi
Inson markaziyligi	Operator xavfsizligi, ergonomika, inson xatosini kamaytirish	Inson omilini hisobga olgan loyiha yechimini asoslaydi
Barqarorlik	Energiya, suv va xomashyo sarfini kamaytirish; emissiyalarni nazorat qilish	Resurs va ekologik mezonlarni loyiha hisobiga kiritadi
Rezilyentlik	Avariya, uzilish va tashqi o‘zgarishlarga bardoshlilik	Risklarni baholaydi va zaxira ssenariylarini ishlab chiqadi
Raqamlashtirish	SI, IoT, raqamli egizak, simulyatsiya	Virtual model yaratadi va natijani verifikatsiya qiladi
Tizimli integratsiya	Texnik, iqtisodiy, ekologik va ijtimoiy mezonlarni uyg‘unlashtirish	Ko‘p mezonli muhandislik qarorini qabul qiladi

Olingan natijalar va ularning tahlili. Loyihalash kompetensiyasi mazmuni. Tadqiqot natijasida bo‘lajak neft-gaz muhandisining loyihalash kompetensiyasi real texnologik muammoni aniqlash, texnik topshiriqni shakllantirish, zarur ma’lumotlarni tanlash, muqobil variantlarni yaratish, ularni raqamli muhitda modellashtirish, xavfsizlik va ekologik ta’sirni baholash, iqtisodiy samaradorlikni asoslash hamda loyiha yechimini refleksiv takomillashtirish qobiliyatlarining integrativ majmui sifatida talqin qilindi.

Mazkur kompetensiya to‘rtta o‘zaro bog‘liq komponentni qamrab oladi. Motivatsion-maqsadli komponent kasbiy mas’uliyat, innovatsiyaga qiziqish va xavfsiz-barqaror yechim yaratishga yo‘nalganlikni; kognitiv-texnologik komponent neft-gaz texnologiyasi, jarayon va apparatlar, avtomatlashtirish, modellashtirish, SI va ma’lumotlar tahlili bo‘yicha bilimlarni; loyihaviy-amaliy komponent texnik topshiriq, hisob, sxema, virtual model va prototip yaratishni; refleksiv-baholash komponenti esa loyiha natijalarini verifikatsiya qilish, risk va cheklovlarni aniqlash, loyiha variantini qayta ko‘rib chiqish ko‘nikmalarini ifodalaydi.

Metodik modelning birinchi – motivatsion-diagnostik bosqichida talabaga real yoki realga yaqin neft-gaz ishlab chiqarish muammosi taqdim etiladi. Masalan, quduq mahsuldorligining pasayishi, quvur liniyasida bosim yo‘qotilishining ortishi, separator energiya sarfining yuqoriligi, kompressor vibratsiyasining me’yordan chiqishi yoki avariya ehtimolining oshishi. Talaba muammoni ishlab chiqarish, inson xavfsizligi

va ekologik oqibatlar nuqtayi nazaridan tavsiflaydi; mavjud bilim va ko‘nikmalar diagnostika qilinadi; loyiha maqsadi va mezonlari belgilanadi.



2-rasm. Sanoat 5.0 asosida loyihalash kompetensiyasini rivojlantirishning metodik modeli

Ikkinchi – nazariy-analitik bosqichda ilmiy-texnik va patent axborotlari o‘rganiladi, obyektning fizik-texnologik mohiyati tahlil qilinadi, kirish va chiqish parametrlarining bog‘lanishi aniqlanadi hamda texnik topshiriq ishlab chiqiladi. Ushbu bosqichda talabaga “qaysi dasturdan foydalanish” emas, “qanday model va ma’lumot muammoni ishonchli ifodalaydi” degan savol markaziy didaktik vazifa sifatida qo‘yiladi.

Uchinchi – amaliy-loyihaviy bosqichda hisob-kitob, CAD/CAE, texnologik simulyatsiya, raqamli egizak yoki SI asosidagi prognoz vositalari qo‘llanadi. Raqamli egizakdan foydalanish real obyektga aralashmasdan turib turli ish rejimlari, favqulodda ssenariylar va parametrlar o‘zgarishini sinash imkonini beradi. Zamonaviy tadqiqotlar raqamli egizakni muhandislik ta’limiga integratsiyalash fanlararo bilim, qaror qabul qilish va loyiha ko‘nikmalarini rivojlantirish uchun istiqbolli ekanini ko‘rsatadi [7].

2-jadval.

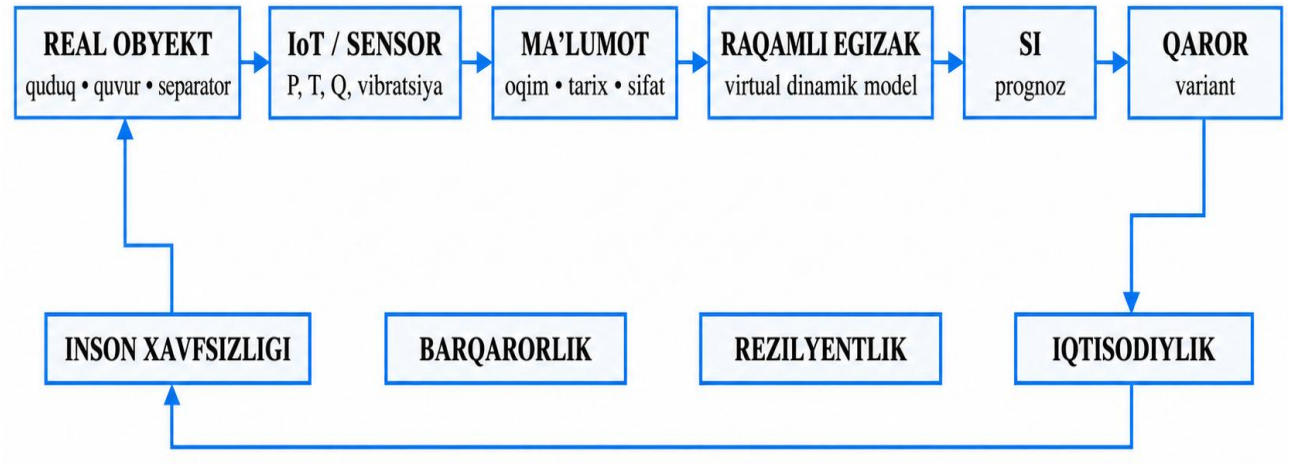
Neft-gaz ta’limida Sanoat 5.0 texnologiyalarini loyiha topshiriqlariga integratsiyalash

Texnologiya	Didaktik vazifa	Namunaviy loyiha topshirig‘i
Sun’iy intellekt	Prognoz, anomaliyani aniqlash, optimallashtirish	Quduq ish rejimini tarixiy ma’lumotlar asosida optimallashtirish
Raqamli egizak	Obyektning dinamik virtual modelini yaratish	Separator yoki quvur uchastkasining raqamli egizagini tuzish
IoT va sensorlar	Real vaqt ma’lumotini yig‘ish va interpretatsiya qilish	Bosim, harorat va sarf monitoringi arxitekturasini loyihalash
VR/AR	Xavfsiz virtual mashq va fazoviy tushunish	Burg‘ilash qurilmasidagi favqulodda vaziyat algoritmini mashq qilish
CAE/simulyatsiya	Variantlarni hisoblash va taqqoslash	Quvurdagi gidravlik yo‘qotishlarni turli diametrlarda modellashtirish
Kiber-fizik tizim	Fizik obyektda raqamli boshqaruv	Avtomatik nazorat

To‘rtinchi – refleksiv-integrativ bosqichda loyiha natijasi faqat texnik samaradorlik bilan emas, balki xavfsizlik, resurs tejamkorligi, ekologik ta’sir, ishonchlilik, moslashuvchanlik va iqtisodiy maqsadga muvofiqlik bilan baholanadi. Talaba modelning cheklovlari va noaniqligini ko‘rsatishi, muqobil variantlar orasidagi kompromisslarni izohlashi va qabul qilingan qarorni dalillar bilan himoya qilishi lozim. Shunday qilib, refleksiya loyiha ishining yakuniy “hisoboti” emas, balki optimallashtirishning majburiy sikli sifatida tashkil etiladi.

O‘qitish metodlari. Metodik modelni amalga oshirishda Project-Based Learning yakuniy muhandislik mahsulotini yaratishga, Problem-Based Learning muammoni mustaqil aniqlash va bilimga ehtiyojni yuzaga chiqarishga, Design Thinking inson ehtiyojlari va xavfsizlik omilini loyihaga kiritishga, Reverse Engineering mavjud qurilma yoki texnologik yechimni tahlil qilib takomillashtirishga xizmat qiladi. CDIO yondashuvi

esa g‘oya–loyiha–amalga oshirish–ekspluatatsiya mantiqini ta’lim jarayoniga olib kiradi. Bunda biror metod alohida dominant bo‘lmaydi; ularning tanlovi loyiha vazifasining murakkabligi va o‘quv natijasiga bog‘liq holda amalga oshiriladi.



3-rasm. Raqamli egizak va sun’iy intellektni neft-gaz loyihalash faoliyatiga integratsiyalashning o‘quv arxitekturasi (talaba qarorni faqat texnik natija bo‘yicha emas, inson-ekologiya tizim mezonlari bo‘yicha tekshiradi)

Baholash tizimi. Loyihalash kompetensiyasini faqat tayyor loyiha fayli bo‘yicha baholash yetarli emas. Shu sababli kirish diagnostikasi, jarayon bo‘yicha formatif baholash, loyiha mahsuloti, taqdimot-himoya va refleksiv hisobotdan iborat kompleks baholash taklif etiladi. Mezonga asoslangan rubrikada muammoni qo‘yish sifati, muhandislik hisobining to‘g‘riligi, raqamli model adekvatligi, variantlilik, xavfsizlik va ekologik mezonlar, iqtisodiy asoslash, jamoaviy hamkorlik va refleksiya alohida kuzatiladi.

3-jadval.

Loyihalash kompetensiyasini baholash mezonlari va darajalari

Mezon	Asosiy indikator	Reproduktiv	Produktiv	Kreativ
Muammoni qo‘yish	Maqsad, cheklov va mezonlar	Tayyor topshiriqni takrorlaydi	Muammoni mustaqil aniqlashtiradi	Yashirin muammo va qarama-qarshiliklarni ochadi
Raqamli modellashtirish	Model tanlash va verifikatsiya	Tayyor modeldan foydalanadi	Model parametrlarini moslashtiradi	Yangi/kompleks model yaratadi va asoslaydi
Variantlilik	Muqobil yechimlar	Bitta yechim	2–3 variantni taqqoslaydi	Ko‘p mezonli optimallashtirishni amalga oshiradi
Sanoat 5.0 mezonlari	Xavfsizlik, barqarorlik, rezilyentlik	Alohida mezonni qayd etadi	Mezonlarni hisobga oladi	Mezonlar o‘rtasidagi kompromissni asoslaydi
Refleksiya	Cheklov va takomillashtirish	Natijani bayon qiladi	Kamchiliklarni aniqlaydi	Model va qarorni iterativ takomillashtiradi

Muhokama. Taklif etilgan metodikaning asosiy farqi loyihalash faoliyatini faqat konstruktorlik yoki hisoblash vazifasi sifatida emas, balki inson–texnologiya–atrof-muhit o‘rtasidagi tizimli muvozanatni ta’minlovchi faoliyat sifatida talqin qilishidadir. Sanoat 5.0 da samaradorlik muhim bo‘lib qoladi, ammo u yakka mezon emas. Texnik yechim operator uchun xavfsiz, resurs tejamkor, favqulodda ta’sirlarga moslashuvchan va ijtimoiy-ekologik jihatdan asoslangan bo‘lishi lozim [1, 2].

Neft-gaz sanoatida raqamli egizak va ma’lumotlarga asoslangan qaror qabul qilish imkoniyatlari kengaymoqda. Biroq raqamli modelni ta’limda qo‘llashning pedagogik qiymati dasturiy vositaning o‘zida emas, balki talabani modelning chegaralarini aniqlashga, kirish ma’lumotlari sifatini tekshirishga, fizik qonuniyat bilan raqamli natijani solishtirishga va yakuniy qaror uchun inson javobgarligini saqlashga o‘rgatishidadir. Shu nuqtayi nazardan Sanoat 5.0 yondashuvi sun’iy intellektni muhandisni almashtiruvchi emas, balki uning tahliliy imkoniyatini kengaytiruvchi vosita sifatida joylashtiradi.

Metodikaning amaliy joriy etilishi “Texnologik jarayonlarni loyihalash”, “Neft va gaz konlarini ishlatish”, “Neft-gaz sanoati jihozlari”, “Jarayonlarni modellashtirish va optimallashtirish”, “Avtomatlashtirish va boshqarish” kabi fanlarda fanlararo loyiha modullari orqali amalga oshirilishi mumkin. Har bir modul real korxona yoki virtual stend ma’lumotlariga yaqinlashtirilgan topshiriq bilan boshlanib, texnik topshiriq, hisob, raqamli model, xavfsizlik va barqarorlik auditi, loyiha himoyasi bilan yakunlanishi maqsadga muvofiq.

Mazkur maqola nazariy-metodik xarakterga ega bo‘lib, tajriba-sinovning statistik natijalari keltirilmagan. Keyingi bosqichda taklif etilgan modelni tajriba va nazorat guruhlarida sinash, kompetensiya komponentlari bo‘yicha diagnostik ko‘rsatkichlarni aniqlash va o‘zgarishlarning statistik ishonchliligini baholash zarur. Bu yondashuv metodik modelning amaliy samaradorligini empirik jihatdan asoslash imkonini beradi.

Xulosa. Sanoat 5.0 tamoyillari bo‘lajak neft-gaz muhandisini tayyorlashda texnik bilim, raqamli vosita, inson xavfsizligi, ekologik barqarorlik va tizimning rezilyentligini yagona loyihalash jarayonida integratsiyalashni talab qiladi. Shu asosda loyihalash kompetensiyasi muammoni aniqlashdan tortib raqamli model yaratish, muqobil variantlarni baholash, xavfsizlik va ekologik ekspertiza o‘tkazish hamda yechimni refleksiv takomillashtirishgacha bo‘lgan kompleks faoliyat sifatida aniqlashtirildi**.**

Taklif etilgan to‘rt bosqichli metodik model – motivatsion-diagnostik, nazariy-analitik, amaliy-loyihaviy va refleksiv-integrativ bosqichlar – loyiha asosida ta’lim, CDIO, Design Thinking, Reverse Engineering, raqamli egizak va sun’iy intellekt vositalarini yagona didaktik mantiqqa birlashtiradi. Modelning asosiy pedagogik natijasi talabani tayyor algoritm ijrochisidan ko‘p mezonli muhandislik qarorini mustaqil ishlab chiqadigan va uning oqibatlari uchun professional mas’uliyatni anglaydigan subyektga aylantirishdir.

Mazkur metodika neft-gaz yo‘nalishidagi fanlarda real ishlab chiqarish vaziyatlariga yaqin loyiha topshiriqlarini tashkil etish, kasbiy-amaliy va raqamli kompetensiyalarni birgalikda rivojlantirish hamda kelajakdagi Sanoat 5.0 muhitiga mos muhandislarni tayyorlash uchun ilmiy-metodik asos sifatida foydalanilishi mumkin.

Adabiyotlar:

1. Breque M., De Nul L., Petridis A. Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation. Brussels, 2021.

2. European Commission. Industry 5.0: A Transformative Vision for Europe. Governing Systemic Transformations Towards a Sustainable Industry. Brussels, 2022.

3. Broo D.G., Kaynak O., Sait S.M. Rethinking engineering education at the age of Industry 5.0. Journal of Industrial Information Integration. 2022;25:100311. https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100311.

4. Worldwide CDIO Initiative. CDIO Standards 3.0. Conceive–Design–Implement–Operate framework for engineering education. Updated framework, 2020–2022.

5. Malmqvist J., Edström K., Rosén A. CDIO Standards 3.0 – updates to the CDIO framework. Proceedings of the International CDIO Conference, 2020.

6. Knebel F.P., Trevisan R., Nascimento G.S., Abel M., Wickboldt J.A. A study on cloud and edge computing for the implementation of digital twins in the Oil & Gas industries. Computers & Industrial Engineering. 2023;182:109363. https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109363.

7. Hazrat M.A., Hassan N.M.S., Chowdhury A.A., Rasul M.G., Taylor B.A. Developing a Skilled Workforce for Future Industry Demand: The Potential of Digital Twin-Based Teaching and Learning Practices in Engineering Education. Sustainability. 2023;15(23):16433. https://doi.org/10.3390/su152316433.

8. Al-Rbeawi S. A Review of Modern Approaches of Digitalization in Oil and Gas Industry. Upstream Oil and Gas Technology. 2023;11:100098. https://doi.org/10.1016/j.upstre.2023.100098.

9. Motaei E., Ganat T. Smart proxy models art and future directions in the oil and gas industry: A review. Geoenergy Science and Engineering. 2023;227:211918. https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.211918.

10. Korotkova N., Benders J., Mikalef P., Cameron D. Maneuvering between skepticism and optimism about hyped technologies: Building trust in digital twins. Information & Management. 2023;60(4):103787. https://doi.org/10.1016/j.im.2023.103787.

11. Nasurov H.Sh., Dukuzov A.-M.S. A multidisciplinary model for developing competencies in the use of artificial intelligence in industrial engineering education. 2025. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2025.12.16.025.