

Код МРНТИ 52.47.15

*Ж.С. Сарқұлова¹, Г.А. Исенгалиева¹, А.Г. Гусманова², А.А. Ибжанова³¹Aktobe regional university named after K. Zhubanov (Ақтөбе қ., Қазақстан),²Caspian University of Technology and Engineering named after S. Yesenov (Ақтау қ., Қазақстан),³Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin (Астана қ., Қазақстан)

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ НЕГІЗІНДЕ ГОРИЗОНТАЛЬДЫ БАҒЫТТАЛҒАН БҰРҒЫЛАУ ПРОЦЕСТЕРІН МОНИТОРИНГ ЖАСАУ МЕН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Аннотация. Бұл мақала көлденең бағытталған бұрғылауда жасанды интеллект (ЖИ) технологияларын қолданудың теориялық және практикалық аспектілерін қарастырады. Зерттеу нақты уақыттағы датчик деректерін жинау, өңдеу және талдауға негізделеді. Машиналық және терең оқыту алгоритмдері арқылы бұрғылау параметрлерін болжау, технологиялық режимдерді бейімдеу және ұңғы траекториясын оңтайландыру жолдары ұсынылады. Цифрлық егіздер виртуалды модельдеуді, тәуекелдерді бағалауды және шешім қабылдауды жетілдіруге мүмкіндік береді. IoT интеграциясы және техникалық күйді болжау жүйелері бұрғылау дәлдігі мен қауіпсіздігін арттырады, шығындар мен экологиялық тәуекелдерді азайтады. ЖИ жүйелерін енгізу бұрғылау процесін автоматтандыруға, өндірістік тиімділікті арттыруға және жабдық ресурстарын тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: көлденең бағытталған бұрғылау, интеллектуалды бақылау, бұрғылау жұмыстарын оңтайландыру, машиналық оқыту, цифрлық егіздер, параметрлерді бақылау, траекторияны оңтайландыру.

Monitoring and optimization of horizontal directional drilling processes based on artificial intelligence

Abstract. This article explores the theoretical and practical aspects of applying artificial intelligence (AI) technologies in industrial processes. The study is based on the real-time analysis and interpretation of sensor data. Particular attention is given to predicting key operational parameters, adapting technological regimes, and optimizing process performance using machine learning and deep learning algorithms. Furthermore, the implementation of digital twin technology enhances virtual modeling capabilities, improves risk assessment, and supports more effective decision-making. The integration of Internet of Things (IoT) systems with predictive maintenance approaches significantly increases operational efficiency and safety, while reducing costs and minimizing environmental risks. Overall, the adoption of AI-driven solutions enables the automation of production processes, improves productivity, and ensures more efficient utilization of resources.

Key words: horizontal directional drilling, intelligent surveillance, optimization of drilling operations, machine learning, digital twins, parameter control, trajectory optimization.

Мониторинг и оптимизация процессов горизонтально-направленного бурения на основе искусственного интеллекта

Аннотация. В этой статье рассматриваются теоретические и практические аспекты использования технологий искусственного интеллекта (ИИ) в горизонтально-направленном бурении. Исследование основано на сборе, обработке и анализе данных датчиков в реальном времени. Предложены способы прогнозирования параметров бурения, адаптации технологических режимов и оптимизации траектории бурения с помощью алгоритмов машинного и глубокого обучения. Цифровые близнецы позволяют совершенствовать виртуальное моделирование, оценку рисков и принятие решений. Системы интеграции IoT и прогнозирования технического состояния повышают точность и безопасность бурения, снижают затраты и экологические риски. Внедрение систем ИИ позволит автоматизировать процесс бурения, повысить эффективность производства и эффективно использовать ресурсы оборудования.

Ключевые слова: горизонтально-направленное бурение, интеллектуальное наблюдение, оптимизация буровых работ, машинное обучение, цифровые близнецы, контроль параметров, оптимизация траектории.

Кіріспе

Ұңғымаларды бұрғылау процесі мұнай-газ жұмыстарының өте қымбат кезеңі болып табылады. Бұл көмірсутектерді өндірудің өзіндік құнына байланысты. Асқинуына байланысты тау жыныстарын жоюдың бұл процесі ескі кен орындарының сарқылуына және қажеттілігіне қарай, шығарылуы қиын қорларды әзірлеу, жаңа технологияларды қолдану қажеттілігі туындайды.

Күрделі ұңғымаларды салу. Бүгінгі таңда бұрғылау тиімділігін арттыруға болады мысалы, үлкен деректерді талдау (Big Data), заттар интернеті (Internet of Things, IoT) жасанды интеллект (Artificial intelligence, AI) сияқты цифрлық технологияларды тарту арқылы болады. Атап айтқанда, Машиналық оқыту (Machine Learning) өте жылдам қарқынмен қолданыла бастады, соңғы жылдары жасанды интеллект технологиясы мен деректер ғылымының қиылысында пайда болған ғылым саласы ретінде үлкен дамуға ие болды [1].

Машиналық оқыту-бұл жасанды интеллектті дамытуға және зерттеуге арналған ғылымның бір саласы, ол өз кезегінде әртүрлі компьютерлерді қамтиды. Бұл жүйе адамның ойлауына еліктеуге мүмкіндік беретін жүйелер. Бұл ұғымдар бір контексте жиі қолданылады және кейде бір-бірін алмастырады, бірақ сонымен бірге олар әртүрлі мағынаға ие. Сонымен, Машиналық оқыту әрқашан жа-

санды интеллектті қолдануға негізделген, ал жасанды интеллект әрқашан машиналық оқытуды қамтымайды.

Машиналық оқыту кез-келген деректерді зерттеу үшін математикалық модельдер құрумен айналысады. Осы модельдердің теңшелетін параметрлерін бақыланатын деректерді көрсету үшін бейімдеуге болады, осылайша бағдарлама деректерден үйрене бастайды. Қолда бар бақылау деректері бойынша оқуды аяқтағаннан кейін модельдерді келесі бақылаулардың деректерін болжау үшін пайдалануға болады [2].

Машиналық оқыту алгоритмдерінің көмегімен бірнеше негізгі категорияларды шешуге болады:

1) *регрессия міндеті-әртүрлі объектілерді іріктеу негізінде болжам жасау белгілері. Нәтижесінде нақты сан алынады, мысалы, бір жыл ішінде күтілетін дебит немесе өнімді қабаттың пайда болу тереңдігі.*

2) *жіктеу міндеті-категориялық белгілердің белгілі бір жиынтығына негізделген қорытынды жауап. Геологиялық барлау мәліметтері бойынша пайдалы қазбалар кен орындарын болжау сияқты оң немесе теріс жауап алуға мүмкіндік береді.*

3) *кластерлеу міндеті – қолда бар деректерді топтарға бөлуді жүргізу, мысалы, қабаттарды немесе қабаттар топтарын игерудің пайдалану объектісіне біріктіру.*

4) өлшемділікті азайту міндеті-белгілердің үлкен санын көбірек азайту деректерді жазықтықта немесе 3D форматында кейіннен визуализациялауды қолдану ыңғайлылығы үшін қысылған көрініс.

Нәтижелер

Методологиялық негіз мыналарды қамтиды: 2019–2024 жылдар аралығындағы жарияланымдарға салыстырмалы-талдамалық шолу; бұрғылау үдерісіне жасанды интеллектті (ЖИ) енгізу бойынша индустриялық кейстерді талдау; әдістерді міндеттеріне қарай құрылымдау, атап айтқанда параметрлерді мониторингтеу, апаттық жағдайларды болжау және траекторияны оңтайландыру.

Зерттеу барысында машиналық және терең оқыту алгоритмдері (регрессиялық модельдер, ансамбльдік әдістер, нейрондық желілер), сондай-ақ гидромеханиканың физикалық модельдерін сенсорлық деректермен біріктіретін гибриді цифрлық егіздер қарастырылды.

Эмпирикалық база ретінде әдебиетте сипатталған тәжірибелер пайдаланылды (оның ішінде автоматтандырылған бұрғылау, предиктивті техникалық қызмет көрсету, бұлтты IoT-платформалармен интеграция), сондай-ақ тиімділіктің жалпыланған нәтижелері (мысалы, бұрғылау жылдамдығының (ROP) артуы, тоқтап қалу уақыттарының азаюы және траекторияны дәл ұстап тұрудың жақсаруы).

Салыстыру критерийлері ретінде тәсілдердің қайта өндірілу мүмкіндігі, олардың көлденең бағытталған бұрғылауға (ГНБ) қолданбалылығы және технико-экономикалық көрсеткіштерге әсері алынды.

Нәтижелерді талдау

Нәтижелер жасанды интеллектті (ЖИ) көлденең бағытталған бұрғылау (КББ) процестеріне біріктіру операциялардың тиімділігі мен қауіпсіздігінің өсуін қамтамасыз ететінін растайды. Жарияланымдар мен өндірістік жағдайларды талдау негізінде AI жүйелері сенсорлардың ағындық деректерін нақты уақыт режимінде өңдеуге, өзгерістерді болжауға қабілетті екендігі анықталды. Бұрғылау параметрлері және жабдықтың жұмысын автоматты түрде реттеу. Іске асырудың негізгі бағыттарының бірі-өріс деректерімен синхрондалатын технологиялық процестің динамикасын көрсететін виртуалды модельдердің бұрғылау қондырғыларының цифрлық егіздерін құру. Мұндай шешімдер операторға жүйенің күйін қадағалап қана қоймай, сонымен қатар жылдамдық, тұрақтылық және қуат тұтыну критерийлері бойынша оңтайлы параметрлерді таңдай отырып, балама бұрғылау сценарийлерін модельдеуге мүмкіндік береді.

ЖИ интеграциясы бұрғылау қондырғыларының «цифрлық егіздерін» құру перспективаларын ашады. Сандық егіз-өріс деректерімен синхрондалған бұрғылау бағанасы мен қашаудың төменгі орналасуының виртуалды моделі; ол процестің динамикасын болжауға және сценарийлік талдауды орындауға мүмкіндік береді. AI нақты уақыт режимінде бұрғылау параметрлерін бақылауды және болжауды қамтамасыз етеді, бұл автоматтандырылған бұрғылау стратегияларын жүзеге асыру үшін қажет.

Көптеген зерттеулер құрылымдық бұрғылау деректерін өңдеу үшін мұғаліммен оқытуды (регрессия, нейрондық

желілер) және мұғалімсіз оқытуды (кластерлеу, дискриминантты талдау) қолданады [3]. Деректерді қатаң өңдеу және модельдерді кросс-тексеру (cross validation) ЖИ шешімдерінің тұрақтылығы мен жалпылануын қамтамасыз етеді. Нәтижесінде заманауи ЖИ жүйелері әртүрлі мәселелерді шешуге мүмкіндік береді: бұрғылау ерітіндісінің қасиеттерін және ұңғыманың жылдамдығын болжаудан бастап ақауларды жіктеуге дейін (айналымның жоғалуы, құбырды төсеу және т. б.).

Көлденең бағытталған бұрғылауда цифрлық егіз тұжырымдаманы дамыту тек нақты деректерді жинауды ғана емес, сонымен қатар процестер физикасы мен машиналық оқытуды біріктіретін көп қабатты модельдерді құруды қажет етеді. Іс жүзінде бұл гибриді цифрлық егіздер түрінде жүзеге асырылады, онда гидродинамика мен тау жыныстарының механикасының классикалық теңдеулеріне нейрондық желіні болжау алгоритмдері рұқсат береді.

Бұл тәсіл сызықтық емес әсерлерді ескеруге мүмкіндік береді, мысалы, қашаудың әртүрлі тау жыныстарымен өзара әрекеттесуі немесе ауыспалы қысым жағдайында бұрғылау ерітіндісінің әрекеті. Гибриді егіздерді қолдану әсіресе тығыз қалалық құрылыстың астындағы жолдарды жобалауда тиімді, мұнда кез келген ауытқулар коммуникацияларға немесе төтенше жағдайларға зақым келтіруі мүмкін.

Сонымен қатар, цифрлық егіздер «what-if» талдау тұжырымдамасын жүзеге асырудың платформасына айналады. Оператор әртүрлі сценарийлерді алдын ала модельдей алады – ерітінді беру жылдамдығының өзгеруі, қашау жүктемесінің өзгеруі немесе бұрғылау құралының басқа түрін қолдану – және болжамды нәтижені бақылай алады [3]. Бұл бұрғылау кезеңіндегі қателіктердің ықтималдығын едәуір азайтуға және дизайн шешімдерінің сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Өзекті бағыттардың бірі-сандық егіздерді AR жүйелерімен біріктіру, мұнда нақты уақыттағы оператор бұрғылау басының орналасуы және берілген траекториядан ықтимал ауытқулар туралы көрнекі түсінік алады.

ЖИ бұрғылаудың ағымдағы көрсеткіштерін бақылау және ықтимал проблемаларды ерте анықтау үшін белсенді қолданылады. Жабдықтағы сандық сенсорлар қашау салмағы, көлбеу бұрышы, айналу жылдамдығы және геомагниттік деректер сияқты параметрлерді түсіреді. ЖИ жүйелері бұл кірістерді Тарихи модельдермен және физикалық заңдармен салыстыру арқылы талдайды. Мысалы, Halliburton интеллектуалды платформалары ағындық датчиктерді бұрғылау қозғалтқышының физикалық моделімен және қашаудың сандық егізімен (Digital twin) біріктіреді [4]. Бұл қашаудың мінез-құлқындағы тенденцияларды анықтауға және бұрғылау траекториясын уақтылы реттеуге мүмкіндік береді.

Әдебиеттерде Машиналық оқыту арқылы төтенше жағдайлар мен сәтсіздіктерді болжау мысалдары сипатталған. Мысалы, бір шолуда үш жағдай келтірілген: бұрғылау ерітінділерінің реологиялық қасиеттері мен сүзілуін болжау, бұрғылау бағанасы мен сынама деректеріне негізделген бұрғылау жылдамдығын болжау (ROP) және бұрғылау параметрлерінің үлкен массивіне негізделген циркуляцияны жоғалту жағдайларын жіктеу [5]. Әр жағдайда мұғалім-

мен оқыту модельдері (нейрондық желілер, регрессиялық әдістер) бұрғылау тарихында оқығаннан кейін болжаудың жоғары дәлдігін көрсетті. Бұл төтенше жағдайлар басталғанға дейін бұрғылау ерітіндісінің құрамын немесе бұрғылау параметрлерін уактылы өзгертуге мүмкіндік береді. Сол сияқты, нейрондық желі модельдері созылу күштерін және басқа да маңызды жүктемелерді болжау үшін қолданылады. Эксперименттік зерттеулерде гибриді әдістер (мысалы, RBF-нейрондық желілер) қашау жүктемесінің болашақ ауытқуын болжай отырып, бірнеше секундқа алға қарау қабілетін көрсетті. Мұндай тәсілдер кептелудің алдын алуға көмектеседі және жуу сұйықтығының жұмысын оңтайландыру.

Кесте 1

Halliburton платформасын пайдалану кезінде бұрғылаудың негізгі көрсеткіштерін арттыру [5]

Table 1

Improving core drilling performance when using the Halliburton platform [5]

Таблица 1

Повышение основных показателей бурения при использовании платформы Halliburton [5]

Параметр	ЖИ-мен жақсарту
Ұңғыма жылдамдығы (ROP)	+33%
Құбыр тізбегін отырғызу жылдамдығы	+15-45%

1-кестеден ЖИ-мен автоматтандырылған бұрғылау айтарлықтай артықшылық бергенін көруге болады: қашау тау жыныстарынан әлдеқайда жылдам өтіп, құбырларды ауыстыру және орнату уакыты қысқарды. Мұндай жақсартуларға деректерді үнемі талдау және адаптивті басқару арқылы қол жеткізілді. Мониторингтен басқа, ЖИ бұрғылау алгоритмдерін оңтайландыру және траекторияларды жобалау үшін қолданылады. Заманауи оңтайландыру алгоритмдері автоматтандырылған шешімдерді ұсынады. Сонымен, Jin және Wei (2022) жетілдірілген радиалды оңтайландыру алгоритмін қолдана отырып, бұрғылау траекторияларын автоматты түрде жобалау және оңтайландыру әдісін жасады. Бұл геология мен техникалық шектеулерді ескере отырып, бұрғылаудың оңтайлы жолын алдын-ала есептеуге мүмкіндік береді.

Нақты уакыт режимінде ЖИ жүйелері бұрғылау кезінде бұрғылау траекториясын реттеуге көмектеседі. Мысалы, Halliburton автоматтандырылған геоштурман модулі бар LOGIX жүйесін құрды, онда геологиялық барлау деректері мен қосымша сенсорлар сайттың интерактивті моделін құрайды. Бір жағдайда бүкіл жүйе көлденең ұңғыманы адамның араласуынсыз 87% қашықтыққа бұрғылауға мүмкіндік берді [6]. Машиналық оқыту алгоритмдері бұрғылау кезіндегі каротаж деректеріне (LWD) негізделген геологиялық кадрдың өзгеруін талдады және мақсатты траекторияны автоматты түрде қайта есептеді [6]. Тәжірибе көрсеткендей, біріктірілген ЖИ + адам операторы жүйелері жоспарланған күрделілік индексі (DDI) ұстап

тұра алады және қолмен бірдей траектория дәлдігіне қол жеткізе алады.

Көлденең бағытталған бұрғылау процестеріне ЖИ енгізудің негізгі артықшылығы жүйелердің өзін-өзі оқыту қабілеті болып табылады. Адамның үнемі түзетуін қажет ететін дәстүрлі сараптамалық жүйелерден айырмашылығы, терең оқытудың заманауи алгоритмдері жаңа деректерді жинақтау кезінде болжамдарын автоматты түрде жақсарты алады. Бұл әсіресе бұрғылау үшін өте маңызды, мұнда әр жоба ерекше: геологиясы, тереңдігі, тау жыныстарының тығыздығы, бұрғылау ерітіндісінің құрамы және жабдықтың дизайны әр түрлі.

Нақты жағдайларда адаптивті оқыту жүйелері траекториялық ауытқуларды дәлірек болжау және тәуекелдерді ерте анықтау арқылы маңызды оқиғалардың санын шамамен 40% төмендету мүмкіндігін көрсетті [7]. Бірнеше Машиналық оқыту модельдерін қамтитын ансамбльдік әдістерді қолдану болжамдардың сенімділігін арттырады, өйткені әрбір модель басқалардың әлсіз жақтарын «өтейді». Бұл тәсіл әсіресе ұңғыма қабырғаларының құлау қаупі едәуір жоғары тұрақсыз топырақтарда бұрғылауға сұранысқа ие.

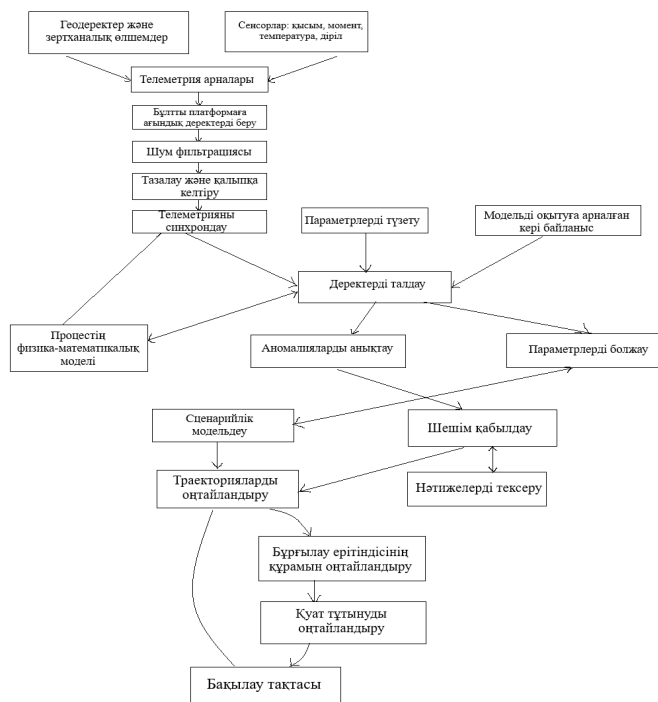
Қолданудың қосымша бағыты-электр қуатын тұтыну тұрғысынан бұрғылау режимдерін интеллектуалды оңтайландыру. ЖИ жүйелері, айналу моменті мен айналу жиілігін талдай отырып, қажетті жылдамдықты ұстап тұратын және энергия шығынын азайтатын жұмыс режимін ұсына алады. Осылайша, жасанды интеллект тек техникалық тиімділікті ғана емес, сонымен қатар жобалардың экологиялық тұрақтылығын арттыру құралына айналады.

Жабдықты болжамды басқару маңызды бағыт болып табылады. ЖИ модельдері құралдардың тозуын және жөндеу қажеттілігін болжау үшін дірілді, температураны және машинаның басқа параметрлерін талдайды. Бұл жоспардан тыс аялдамаларды жояды, сенімділікті арттырады және ресурстарды үнемдейді. Мұндай модельдердің егжей-тегжейлі ерекшелігі жеке зерттеулерді қажет етсе де, жалпы болжамды техникалық қызмет көрсету тәсілдері қазіргі бұрғылауда стандартқа айналуға.

Көлденең бағытталған бұрғылау ЖИ жүйелері қазірдің өзінде энергетикалық коммуникацияларды төсеу жобаларында қолданылуда. Мысалы, Кречович (2021) КББ тәуекелдерін бағалау үшін ЖИ модельдерін (логистикалық регрессия және нейрондық желілер) ұсынды [8]. Бұл модельдердің дамуы жобадағы әртүрлі сәтсіздіктердің пайда болуын болжауға және қолданыстағы инфрақұрылымның зақымдану қаупін алдын-ала азайтуға мүмкіндік берді. Жұмыс нәтижелері бойынша модельдер сәтсіздіктерді жіктеудің жоғары дәлдігін көрсетті, бұл тәуекелді бағалаудағы интеллектуалды тәсілдің артықшылықтарын растады.

Мақалада ұсынылған бағытталған бұрғылау сызбасы жасанды интеллект негізінде жеңілдетілген, теориялық түрде, яғни тегіс және идеалдандырылған траектория ретінде көрсетілген. Алайда нақты өндірістік жағдайда ұңғыма траекториясы мұндай түрде болмайды. Іс жүзінде бағытталған бұрғылау траекториясы инклинометриялық өлшеулер нәтижелері бойынша кезең-кезеңімен қалып-

тастырылады және өлшеу қателіктерін, бұрғылау құралдарының (ВНА) жұмыс режимдерін, сондай-ақ геологиялық жағдайлардың өзгергіштігін ескеретін дискретті нүктелер жиынтығы түрінде сипатталады.



Сурет 1. КББ процестерінде жасанды интеллектті қолданудың құрылымдық схемасы.

Figure 1. Block diagram of the application of artificial intelligence in HDD processes.

Рис. 1. Структурная схема применения искусственного интеллекта в процессах ГНБ.

Тағы бір мысал – көлденең ұңғымаларды бұрғылау кезінде мұнай өндіруде ЖИ қолдану. Жақында жүргізілген зерттеуде Пискун мен Давуди (2024) көлденең газ ұңғымаларының шығынын болжау үшін машиналық оқыту модельдерін (кездейсоқ орман және градиентті күшейту) жасады.

Модельдер дебитті өте дәл болжай алды: R^2 анықтау коэффициенті 0,991-ге жетті, бұл дәстүрлі модельдердің нәтижелерінен едәуір жоғары. Мұндай жетістік машиналық оқытудың ұқсас әдістерін КББ бұрғылау және пайдалану міндеттеріне ауыстыруға болатындығын, жобалардың тиімділігін арттыратындығын көрсетеді.

Бұлтты технологиялармен және заттар интернетімен (IoT) ЖИ интеграциясының перспективалық бағыты ерекше назар аударуға тұрарлық. Қазіргі заманғы жобаларда Бұрғылау жабдықтары ондаған датчиктермен жабдықталған, олар нақты уақыт режимінде деректерді бұлтты платформаға жібереді [9]. Онда ауқымды талдау мен ұжымдық қол жетімділікті қамтамасыз ететін үлкен деректерді өңдеу алгоритмдері (Big Data analytics) жұмыс істейді. Нәтижесінде тапсырыс берушілер, инженерлер мен мердігерлер бұрғылау барысын қатар бақылай алады, бірлескен шешімдер қабылдай алады және стратегияны жедел реттей алады.

Кесме 2

КББ және онымен байланысты салаларда AI қолдану мысалдары

Table 2

Examples of AI applications in HDD and related fields (methods and results)

Таблица 2

Примеры применения ИИ в ГНБ и смежных областях

Қолдану саласы	Әдістері ЖИ/МЛ	Нәтиже
КББ жобаларының тәуекелдерін бағалау	Логистикалық регрессия, кездейсоқ орман алгоритмі, нейрондық желілер	Сәтсіздіктер мен үзілістердің нақты болжамы, шығындар мен тәуекелдердің төмендеуі
Траекторияны бақылау және басқару	МЛ-нақты уақыттағы Алгоритмдер	Бұрғылау жылдамдығын (ROP +33%) және корпуссты босату жылдамдығын (+15-45%) арттыру
Көлденең ұңғымалардың дебитін болжау	Кездейсоқ орман алгоритмі, градиентті күшейту	Кен орнын игеруді оңтайландыру үшін ұңғыманың шығынын дәл болжау ($R^2 \approx 0.99$)

IoT және ЖИ интеграциясы әр қондырғының (мысалы, сорғы немесе бұрғылау қозғалтқышы) өзіндік интеллектуалды агенті бар таратылған бұрғылауды басқару жүйелерін құру мүмкіндігін ашады. Бұл агенттер орталықтандырылмаған шешім қабылдау жүйесін құру үшін өзара әрекеттеседі. Бұл тәсіл орталық басқару модуліне жүктемені азайтады және жеке компоненттер істен шыққан жағдайда бүкіл жүйенің тұрақтылығын арттырады [9].

Көлденең бағытталған бұрғылау жобаларының экономикалық тиімділігін бағалау үшін ЖИ қолдану да маңызды бағыт болып табылады. Бұрғылау уақыты, материалдар шығыны, энергия шығыны және төтенше жағдайлардың ықтималдығы туралы мәліметтер негізінде Машиналық оқыту модельдері жобаның жалпы құнының болжамын құрайды. Бұл әр түрлі сценарийлерді жоспарлау кезінде салыстыруға және техникалық және экономикалық факторларды ескере отырып, ең жақсы нұсқаны таңдауға мүмкіндік береді.

Көлденең бағытталған бұрғылауға жасанды интеллектті енгізу процестерді бақылау мен басқаруда сапалы өзгеріске әкеледі. ЖИ жүйелері бұрғылау қондырғысының әрекетін болжау және оның жұмысын автоматты түрде реттеу үшін геодатчиктерден алынған деректерді, физикалық модельдерді және тарихи ақпаратты біріктіреді [10]. Нәтижесінде ұңғыманың жылдамдығы, траек-

торияның дәлдігі және операциялардың сенімділігі сияқты көрсеткіштер жақсарады [11]. Сонымен қатар, Машиналық оқыту төтенше жағдайларды болжау және бұрын есептеулерге көп уақытты қажет ететін бұрғылау параметрлерін оңтайландыру мәселелерін шешуге мүмкіндік береді. Тәсілдердің тиімділігі далалық жағдайлармен де (адамның қатысуынсыз траекторияның 87% автономды бұрғылау [11]), сондай-ақ ГНБ және мұнай-газ ұңғымаларының деректерінде сыналған модельдермен расталады [12]. Осылайша, ЖИ технологиялары КББ әдістерін белсенді түрде өзгертіп, оларды автоматтандырылған және үнемді етеді. Әрі қарайғы зерттеулердің болашағы терең оқыту алгоритмдерін жетілдірумен, бұрғылау қондырғыларының цифрлық егіздерін дамытумен және қосымша деректер көздерін (мысалы, геометриялық және лингвистикалық) біріктірумен байланысты, бұл осы саладағы интеллектуалды жүйелердің мүмкіндіктерін одан әрі кеңейтеді.

Қорытынды

Көлденең бағытталған бұрғылау (КББ) процестеріне жасанды интеллект (ЖИ) енгізу адаптивті және болжамды басқару модельдеріне көшуді қамтамасыз етеді. Сандық егіздерді, телеметриялық деректерді және ИОТ платформаларын біріктіру бұрғылау дәлдігін, ұңғыма жылдамдығын және Жабдықтың сенімділігін арттырады. ЖИ қолдану құралдардың тозуын және төтенше жағдайларды болжауға мүмкіндік береді, пайдалану тәуекелдері мен энергия шығындарын азайтады. Практикалық жағдайлар өнімділіктің 30-40% жоғарылауын, тоқтап қалудың төмендеуін және дизайн шешімдерінің сапасының өсуін көрсетеді.

Зерттеулердің одан әрі дамуы терең оқыту алгоритмдерін жетілдірумен, көп сенсорлық жүйелерді кеңейтумен және цифрлық егіздердің интероперабельділігін арттырумен байланысты. Мұның бәрі жаңа буынның интеллектуалды, энергияны үнемдейтін және экологиялық тұрақты бұрғылау кешендерін құруға негіз болады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Вуд Д.А. Жасанды интеллект әдістерін қолдана отырып, нақты уақыт режимінде бұрғылау өнімділігін бақылау және оңтайландыру: шолу. *Тұрақты табиғи газ бұрғылау: Амстердам: Elsevier, 2024. Б. 169–210 (ағылшын тілінде)*
2. Аббас А.К., Баших А.А., Мұхаммед Х.Х.К. Машиналық оқыту негізінде бұрғылау ерітіндісінің жоғалуын тоқтату немесе азайту бойынша интеллектуалды шешімдер // *Energy. 2019. Т. 183. Б. 104–113 (ағылшын тілінде)*
3. Хан М., Ахмед С., Рехман А. бұрғылау қондырғыларында болжамды техникалық қызмет көрсетуге арналған Жасанды интеллект // *Табиғи газ туралы ғылым және инженерия журналы. 2021. Т. 96. Б. 259–272 (ағылшын тілінде)*
4. Пискунов С.А., Давуди Ш. Машиналық оқыту моделін қолдана отырып, көлденең ұңғымалардың дебитін болжау // *Томск политехникалық университетінің жаңалықтары. Георесурстарды жобалау. 2024. Т. 335. № 5. Б. 45–56 (орыс тілінде)*
5. Халибуртон жасанды интеллектке негізделген толық автоматтандырылған технологияны қолдана отырып бұрғыланған алғашқы көлденең ұңғыма. *Кейс-стади. Хьюстон: Halliburton Sperry ұңғымаларын бұрғылау, 2024. Б. 25 (ағылшын тілінде)*
6. Ли Х, Ван П, Чжао Т. көлденең бағытталған бұрғылау кезінде терең оқыту негізінде траекторияны болжау // *Автоматтандыру құрылыста. 2022. Т. 141. Б. 442–456 (ағылшын тілінде)*
7. Чен Ю., Ли Х., Чжан Дж. Бұрғылау процесін оңтайландыруға арналған гибриді цифрлық Қос модельдер: физикалық және деректерге негізделген тәсілдердің үйлесімі // *Мұнай ғылымы және инженерия журналы. 2023. Т. 225. Б. 372–385 (ағылшын тілінде)*
8. Мохазег С.Д. Мұнай өнеркәсібінде жасанды интеллект пен деректерді өндіруді қолдану // *Мұнай ғылымы және инжиниринг журналы. 2020. Т. 186. Б. 682–695 (ағылшын тілінде)*
9. Аль-Хамиди А., Данн-Норман С., Алкинани Х. Нақты уақыт режимінде бұрғылау мен шешім қабылдауды оңтайландыру үшін машиналық оқытуды қолдану // *Energy. 2020. Т. 13. № 22. С. 54–68 (ағылшын тілінде)*
10. Кречович М., Кречович А. Машиналық оқытуды пайдалана отырып, көлденең бағытталған бұрғылау әдісімен энергетикалық инфрақұрылым объектілеріндегі тәуекелдерді бағалау // *Energy. 2021. Т. 14. № 2. Б. 289–302 (ағылшын тілінде)*
11. Цзинь Л., Вэй Дж. Көлденең бағытталған траекторияны жобалау және оңтайландыруды зерттеу жетілдірілген радиалды қозғалысты оңтайландыруды қолдана отырып бұрғылау // *Қолданбалы ғылымдар. 2022. Т. 12. № 23. Б. 207–220 (ағылшын тілінде)*
12. Ву Х., Сун Дж., Тан Ю. Интеллектуалды бұрғылау жұмыстарына арналған заттар интернеті мен жасанды интеллекттің бұлтты интеграциясы // *Таза өндіріс журналы. 2024. Т. 430. Б. 139–144 (ағылшын тілінде)*

REFERENCES

1. Wood D.A. Monitoring and optimization of drilling performance in real time using Artificial Intelligence Methods: an overview. *Sustainable Natural Gas Drilling. Amsterdam: Elsevier, 2024. 169–210 pp. (in English)*
2. Abbas A.K., Bashikh A.A., Mohammed H.H.K. Intelligent solutions for stopping or reducing drilling mud losses based on machine learning // *Energy. 2019. V. 183. 104–113 pp. (in English)*

3. Khan M., Ahmed S., Rehman A. Artificial intelligence for predictive maintenance in drilling rigs // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2021. V. 96. 259–272 pp. (in English)
4. Piskunov S.A., Davudi S. Prognozirovanie debita gorizont'al'nyh skvazhin s primeneniem modeli ma shinnogo obuchenija [Forecasting the flow rate of horizontal wells using a machine learning model], *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering]*. 2024. V. 335. No. 5. 45–56 pp. (in Russian)
5. Halliburton. The first horizontal well drilled using fully automated technology based on artificial intelligence. Case study. Houston: Halliburton Sperry Drilling, 2024. 25 p. (in English)
6. Li H., Wang P., Zhao T. Deep learning-based trajectory prediction in horizontal directional drilling // *Automation in Construction*. 2022. V. 141. 442–456 pp. (in English)
7. Chen Y., Li X., Zhang J. Hybrid digital twin models for drilling process optimization: Combining physics-based and data-driven approaches // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2023. V. 225. 372–385 pp. (in English)
8. Mohaghegh S.D. Application of artificial intelligence and data mining in the petroleum industry // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2020. V. 186. 682–695 pp. (in English)
9. Al-Hameedi A., Dunn-Norman S., Alkinani H. Application of machine learning for drilling optimization and real time decision making // *Energy*. 2020. V. 13. No. 22. 54–68 pp. (in English)
10. Krechovich M., Krechovich A. Risk assessment at energy infrastructure facilities by horizontal directional drilling using machine learning // *Energy*. 2021. V. 14. No. 2. 289–302 pp. (in English)
11. Jin L., Wei J. Investigation of the design and optimization of the trajectory of horizontal directional drilling using advanced radial motion optimization // *Applied Sciences*. 2022. V. 12. No. 23. 207–220 pp. (in English)
12. Wu X., Sun J., Tang Y. Cloud-based IoT and AI integration for smart drilling operations // *Journal of Cleaner Production*. 2024. V. 430. 139–144 pp. (in English)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вуд Д.А. Мониторинг и оптимизация производительности бурения в реальном времени с использованием методов искусственного интеллекта: обзор. Устойчивое бурение на природном газе: Амстердам: Elsevier, 2024. С. 169–210 (на английском языке)
2. Аббас А.К., Баших А.А., Мохаммед Х.Х.К. Интеллектуальные решения по остановке или уменьшению потерь бурового раствора на основе машинного обучения // *Energy*. 2019. Т. 183. С. 104–113 (на английском языке)
3. Хан М., Ахмед С., Рехман А. Искусственный интеллект для прогнозирования технического обслуживания буровых установок // *Журнал науки и техники о природном газе*. 2021. Т. 96. С. 259–272 (на английском языке)
4. Пискунов С. А., Давуди Ш. Прогнозирование дебита горизонтальных скважин с применением модели машинного обучения // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2024. Т. 335. № 5. С. 45–56 (на русском языке)
5. Халибуртон. Первая горизонтальная скважина, пробуренная с использованием полностью автоматизированной технологии, основанной на искусственном интеллекте. Тематическое исследование: Хьюстон: Бурение скважин Halliburton Sperry, 2024. С. 25 (на английском языке)
6. Ли Х., Ван П., Чжао Т. Прогнозирование траектории на основе глубокого обучения при горизонтально-направленном бурении // *Автоматизация в строительстве*. 2022. Т. 141. С. 442–456 (на английском языке)
7. Чен Ю., Ли Х., Чжан Дж. Гибридные цифровые модели-двойники для оптимизации процесса бурения: сочетание физических подходов и подходов, основанных на данных // *Журнал нефтяной науки и техники*. 2023. Т. 225. С. 372–385 (на английском языке)
8. Мохегг С.Д. Применение искусственного интеллекта и интеллектуального анализа данных в нефтяной промышленности // *Журнал нефтяной науки и техники*. 2020. Т. 186. С. 682–695 (на английском языке)
9. Аль-Хамиди А., Данн-Норман С., Алкинани Х. Применение машинного обучения для оптимизации бурения и принятия решений в режиме реального времени // *Энергия*. 2020. Т. 13. № 22. С. 54–68 (на английском языке)
10. Кречович М., Кречович А. Оценка рисков на объектах энергетической инфраструктуры методом горизонтально-направленного бурения с использованием машинного обучения // *Energies*. 2021. Т. 14. № 2. С. 289–302 (на английском языке)
11. Цзинь Л., Вэй Дж. Исследование проектирования и оптимизации траектории горизонтально-направленного бурения с использованием усовершенствованной оптимизации радиального перемещения // *Прикладные науки*. 2022. Т. 12. № 23. С. 207–220 (на английском языке)

12. Ву Х., Сун Дж., Тан Ю. Облачная интеграция Интернета вещей и искусственного интеллекта для интеллектуальных буровых работ // Журнал более чистого производства. 2024. Т. 430. С. 139–144 (на английском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Сарқұлова Ж.С., Ph.D доктор, қауымдастырылған профессор, Қ. Жұбанов атындағы АӨУ «Мұнай газ ісі» кафедрасының оқытушысы (Ақтөбе қ., Қазақстан), zhadi_0691@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8539-1802>

Исенғалиева Г.А., т. ғ. к., қауымдастырылған профессор, Қ. Жұбанов атындағы АӨУ «Экология» кафедрасының оқытушысы (Ақтөбе қ., Қазақстан), isengul@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-8742-6378>

Гусманова А.Г., т. ғ. к., Ph.D доктор, профессор, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инженерия университеті оқытушысы (Ақтау қ., Қазақстан), aigul.gusmanov@yu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-3163-153X>

Ибжанова А.А., Ph.D доктор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті оқытушысы (Астана қ., Қазақстан) ibzhanovaaainur@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-6768-3262>

Information about the authors:

Sarkulova Zh.S., Ph.D doctor, Associate Professor, K. Zhubanov University, lecturer of the Department of «Oil and Gas Business» (Aktobe, Kazakhstan)

Issengaliyeva G.A., candidate of Technical Sciences, Associate Professor, lecturer of the Department of «Ecology» (Aktobe, Kazakhstan)

Gusmanova A.G., candidate of Technical Sciences, professor, lecturer of the Caspian University of Technology and Engineering named after S. Yesenov (Aktau, Kazakhstan)

Ibzhanova A.A., Ph.D doctor, docent, lecturer of the Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin (Astana, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Сарқұлова Ж.С., Ph.D доктор, ассоциированный профессор, К. Zhubanov University, преподаватель кафедры «Нефтегазовое дело» (г. Актобе, Казахстан)

Исенғалиева Г.А., к. т. н., ассоциированный профессор, К. Zhubanov University, преподаватель кафедры «Экология» (г. Актобе, Казахстан)

Гусманова А.Г., к. т. н., профессор, преподаватель, Каспийский университет технологий и инженерии им. Ш. Есенова (г. Актау, Казахстан)

Ибжанова А.А., Ph.D доктор, доцент, преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина (г. Астана, Казахстан)



Планирование подземных горных работ, продуманное до мельчайших деталей

Micromine Advance — специализированное решение для планирования подземных рудников, помогающее инженерам создавать реалистичные и выполнимые планы с учетом всех деталей. Благодаря современным технологиям и инструментам система точно моделирует сложные подземные условия и поддерживает фундаментальный подход к планированию.

micromine

ТОО «МАЙКРОМАЙН Центральная Азия»

Казахстан, г. Алматы, 050062

Ул. Кабдолова, 16, корпус 1, офис 501

Тел.: +7 727 339 51 45, e-mail: mmkz@micromine.com

micromine.kz

