

**ФАН ВА ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ТАРАҚҚИЁТИ**
**РАЗВИТИЕ НАУКИ И
ТЕХНОЛОГИЙ**



4
2025



Тахририят ҳайъати раиси:

СИДДИҚОВА С.Ғ. –

Бухоро давлат техника университети ректори

Муовини:

НИЗАМОВ А.Б. –

БухДТУ илмий ишлар ва инновациялар бўйича проректори

Тахрир ҳайъати:

МУҚИМОВ К.М. – ЎзР ФА академиги (ЎЗМУ)

ЖАЛИЛОВ А.Т. – ЎзР ФА академиги (Тошкент кимё-технология ИТИ)

НЕГМАТОВ С.Н. – ЎзР ФА академиги (“Фан ва тараққиёт” ДУК)

БАҲОДИРОВ Ғ.А. – т.ф.д., профессор, ЎзР ФА бош илмий котиби

ХАМИДОВ О.Х. – иқтисод фанлари доктори, профессор (БухДУ)

ЖАЛИЛОВ Т.Қ. – иқтисод фанлари доктори (DSc) (ТКТИ)

МУХТАРОВ Н.Ш. – техника фанлари доктори (DSc) (“Ўзбекнефтгаз” АЖ)

ТУХСАНОВ Х.А. – иқтисод фанлари доктори (DSc) (“Ўзбекнефтгаз” АЖ)

МАДИЕВ Р.Х. – техника фанлари доктори (DSc) (“Шуртан ГКМ” МЧЖ)

АДИЗОВ Б.З. – техника фанлари доктори (DSc), к.и.х., ЎзРФА УНКИ

ХУРМАМАТОВ А.М. – техника фанлари доктори, профессор, ЎзРФА УНКИ

СОБИРОВА Н.К. – филология фанлари номзоди, доцент, ЎЗМУ

ҒАФУРОВ Д.О. – Бухоро ДТУ ёшлар масалалари ва маънавий- маърифий ишлар бўйича биринчи проректори ф.ф.д (PhD)

ҚУРБОНОВ Ж.М. – техника фанлари доктори, профессор (Самарқанд ИСИ)

САИДОВ С.Б. – Бухоро ДТУ молия ва иқтисод ишлари бўйича проректори

ШАРИПОВ М.З. – физика-математика фанлари доктори (DSc), профессор

АСТАНОВ С.Х. – физика-математика фанлари доктори, профессор

РАХМОНОВ Х.Қ. – техника фанлари доктори, профессор

ВОХИДОВ М.М. – техника фанлари доктори, профессор

ЖЎРАЕВ Х.Ф. – техника фанлари доктори, профессор

САДУЛЛАЕВ Н.Н. – техника фанлари доктори (DSc), профессор

МАЖИДОВ Қ.Х. – техника фанлари доктори, профессор

ФОЗИЛОВ С.Ф. – техника фанлари доктори, профессор

ИСАБАЕВ И.Б. – техника фанлари доктори, профессор

АБДУРАҲМОНОВ О.Р. – техника фанлари доктори, профессор

НИЗОМОВ А.Б. – иқтисод фанлари доктори, профессор

ЖУМАЕВ М.Р. – физика-математика фанлари доктори (DSc), профессор

ЮНУСОВА Г.С. – фалсафа фанлари доктори (DSc), профессор

ЖЎРАЕВА М.М. – филология фанлари доктори (DSc), профессор

ТЎХТАЕВА З.Ш. – техника фанлари доктори (DSc), профессор

МАХМУДОВ М.Ж. – техника фанлари доктори (DSc), профессор

ХАЙИТОВ Р.Р. – техника фанлари доктори (DSc), к.и.х.

БОЗОРОВ Ғ.Р. – техника фанлари доктори (DSc), профессор

БОЛТАЕВ З.И. – физика-математика фанлари доктори (DSc), профессор

ОЛТИЕВ А.Т. – техника фанлари доктори, (DSc)

ЖАЛИЛОВ Р.Б. – техника фанлари доктори (DSc), профессор

МАХМУДОВ М.И. – техника фанлари доктори (DSc), профессор

МАЖИДОВА Н.Қ. – техника фанлари доктори (DSc), профессор

АХМЕДОВ В.Н. – кимё фанлари номзоди, профессор

МАХМУДОВ Р.А. – техника фанлари доктори (DSc), профессор

ПУЛАТОВА М.И. – физика-математика фанлари номзоди, профессор

Бош муҳаррир:

ДЎСТОВ Ҳ.Б. – кимё фанлари доктори, профессор

Муҳаррирлар:

БАРАКАЕВА Д.Ф., ОРТИҚОВА С.Ж., ИСТАМОВА Г.Х.

Мусахҳиҳ:

АРТИКОВА М.М.

ФАН ВА ТЕХНОЛОГИЯЛАР

ТАРАҚҚИЁТИ

ИЛМИЙ – ТЕХНИКАВИЙ ЖУРНАЛ

РАЗВИТИЕ НАУКИ И

ТЕХНОЛОГИЙ

НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Журнал Ўзбекистон матбуот ва ахборот агентлиги Бухоро вилояти бошқармасида 2014 йил 22-сентябрда № 05-066-сонли гувоҳнома билан рўйхатга олинган

Муассис:

Бухоро давлат техника университети

Журнал Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги ОАК Раёсатининг 2017 йил 29-мартдаги №239/5-сонли қарори билан диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрлар рўйхатига киритилган. 2019 йилда Ўзбекистон Республикаси ОАК Раёсатининг қарорлари билан қайта рўйхатдан ўтказилган.

Тахририят манзили:

200100, Бухоро шаҳри, Қ. Муртазоев кўчаси, 15-уй, Бухоро давлат техника университети

Тел: 0(365) 223-92-40

Факс: 0(365) 223-78-84

Электрон манзил:

E-mail: fantt_jurnal@umail.uz

Журналнинг тўлиқ электрон варианты билан

<https://journal.bmti.uz/>

сайти орқали танишиши мумкин.

Ушбу журналда чоп этилган материаллар тахририятнинг ёзма рухсатисиз тўлиқ ёки қисман чоп этилиши мумкин эмас. Тахририятнинг фикри муаллифлар фикри билан ҳар доим ҳам мос тушмаслиги мумкин. Журналда ёритилган материалларнинг ҳаққонийлиги учун мақолаларнинг муаллифлари ва реклама берувчилар масъулдирлар.

МУНДАРИЖА - СОДЕРЖАНИЕ – CONTENT

ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИЯ ВА ЖИҲОЗЛАР	
Беккулов Ж.Ш., Тураев О.А. Математическое и имитационное моделирование усовершенствованной системы виртуального анализа и контроля качества готовой продукции в технологическом процессе сушки хлорида калия.....	4
Imomov Sh.J., Komilov O.S., Shodiyev E.B., Majitov J.A., Ziyoyev D.A. Biogaz qurilmasining issiqlik-texnik va geometrik parametrlarini asoslash.....	10
Ахмедов Ю., Мурадов Ш.М., Хабибов Ф.Ю. Основные свойства функции текучести оболочек предельного равновесия.....	16
Bafoyev D.X. Yeyilishga chidamli qattiq qoplamalarni qo'llash asosida sirpanishdagi ishqalanish sirtlarini ishlov berish texnologiyasi.....	22
Бердиев Д.М., Константинов В.М., Юсупов А.А., Сайдумаров Б.М. Влияние структуры доэвтектоидных конструкционных сталей при различных режимах термоциклической обработки.....	30
Уринов Ж.Р., Абдуллаев Р.С. Динамическая прочность неавтоклавногo газозолобетона.....	35
Худойбердиев А. Биогаз қурилмаси параметрларини оптималлаштиришда асосий кўрсаткичлар тахлили.....	39
Ахмедов Ю., Мурадов Ш. Конструктивные особенности плит перекрытий в зданиях, возводимых методам подъёма.....	47
КИМЁ ВА КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯЛАР	
Baxshilloev N.K., Umirov F.E., Maxmudov R.A. Natriy xlorid, kaliy xlorid, magniy sulfatlarga boy bo'lgan tuzlar tarkibini tadqiq qilish.....	52
Bokiyeva Sh.K. O'simlik chiqindilari asosida olingan uglerodli adsorbentlar.....	56
Maxmudov M.J., Svaykosov S.O., Saloydinov A.A. Benzol saqlagan benzin fraksiyalarini gidroizomerizatsiyalash jarayonlari texnologiyalari va ularda qo'llaniluvchi katalizatorlarni tadqiq qilish.....	60
Sadullayev N.N., Murtazoyev F.F. Sanoatda tabiiy gazni qazib olish va uni qayta ishlashda energiya samaradorlikni oshirishning imkoniyatlari.....	67
Ziyadullayev O.E., Saliyeva M.K. SnCl ₂ ·2H ₂ O/Et ₃ N/Et ₂ O katalitik sistemasi ishtirokida atsetilen spirtlari sintezi.....	70
Umarov A.A., Ochilov A.A. Gazlarni haydovchi kompressor agregatlaridan foydalanishning tahliliy tamoyillari.....	79
Xolmuxammadiyev A.M., Toshev Sh.O. Burg'ilash eritmalari uchun mahalliy xomashyolar asosida ishlab chiqiladigan kimyoviy reagentlarning fizik-kimyoviy xossalarini tadqiq qilish.....	85
Nuriddinova G.A., Niyazov L.N. Anilin va gidrooksibenzoy kislotalar asosida birikmalar sintezi istiqbollari.....	90
Usmanova M.M. Noorganik matritsalar asosida ionitlarning olinish usullari va ularning xossalari.....	93
Oripov A.A. Silvinit rudasidan kaliy xlorid ishlab chiqarish jarayonida ajralib chiqadigan shlam chiqindisidan foydalanishning ilmiy asoslari.....	98
G'aybullayeva A.F., Mavlonov Sh.B., Mavlonov B.A., Saidov A.A. Rezina asosli elastomerlar bilan modifikatsiyalangan polimer-bitum kompozitsiyalarining fizik-mexanik xossalari va morfologik tahlili.....	102
Хакимов К.Ж., Ражабов Ш.Х. Сырья характеристика и основных технологических материалов хандизинского месторождения.....	110
Мухсинов С.С., Тожиев О.О., Зоирова А.И. Влияние выбора гидродинамической модели на прогноз добычи из трещиновато-поровых пластов.....	120

Ibragimov Sh.R., Sharipov N.Z. Suyuq shishadan natriy silikat pentagidrat ishlab chiqarish qurilmasini muhandislik hisobi	125
Мухсинов С.С. Применение искусственного интеллекта в прогнозировании показателей разработки газового месторождения.....	130
МАШИНАСОЗЛИК ВА ЭНЕРГЕТИКА	
Maxmudov M. I., Timirov X.N. Kompressor stansiyalarini turli xil zamonaviy boshqarish usuli orqali energiya samaradorligini baholash.....	137
Xamroyev X.X., Isamov P.N., Savriyev Y.S. Metall keshish dastgohlarini oʻrnatish bilan bogʻliq yuzaga keladigan deformatsiyalar va ularni bartaraf etish usullari.....	142
Хошимов Ф.А., Кадиров К.Ш., Қарақулов Ш.Ю., Юсупалиева Х.У. Энергия самарадорлигини оширишда технологик жиҳозлар иш режимларининг ўрни.....	146
Садуллаев Н.Н., Нематов Ш.Н. Ўзбекистонда “яшил” энергиядан фойдаланиш самарадорлигини аниқлашдаги муаммолар ва унинг ечимлари.....	153
Tovboyev A.N., Togʻayev I.B. Konveyer tizimlarida elektr energiyasi samaradorligini oshirishning kompleks yondashuvlarini tahlil qilish.....	158
Usmonov Sh.Y., Sobirov M.N. Energiya samaradorligini oshirish maqsadida texnologik parametrlarni optimallashtirish: yogʻ-moy ishlab chiqarishda tizimli yondashuv.....	163
ИНФОРМАТИКА ВА АХБОРОТ – КОММУНИКАЦИОН ТИЗИМЛАР	
Savriyev Y.S., Azizov B.A., Xamroyev X.X. Improvement and mathematical modeling of the pressing process of oilseed fuza of cotton black oil.....	172
Hasanova D.B. Sogʻliqni saqlash sohasini raqamlashtirish istiqbollari.....	181
Murodova M.H. Muhandislik va kompyuter grafikasini oʻqitish xususiyatlari.....	186
Хабибов. Ф.Ю, Ахмедов Ю, Рамазонов А.Ч, Юсупов Ф.Ф. Автоматическая аппроксимация модели поверхности окончательной дистиллизации мисцелы растительного масла.....	189
ОЗИҚ-ОВҚАТ САНОАТИ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ	
Ganiyeva M.Oʻ., Djurayeva N.R. Amarant donining ozuqaviy va terapevtik potentsiali.....	193
Xaydarov Sh.X., Tairov B.B. “Oʻynoqi muskat” shampun vinosining yarim tayyor mahsulotini tayyorlash	133
Barakayev N.R., Kamolova M.X. Mahalliy oʻsimliklar tarkibidagi uglevodlarni innovatsion usullar bilan ajratish laboratoriya qurilmasi.....	203
Dehqonova N.A., Majidov K.X. Oʻsimlik moylarini ishqoriy rafinatsiyalashda elektromagnit faollashtirish taʼsirining xususiyatlarini oʻrganish.....	206
Рахмонов К.С. Применение пряно-ароматического сырья для повышения потребительской ценности ржаных сортов хлеба.....	209
Олтиев А.Т., Бозорова Д.Н. Совершенствование технологии переэтерификации жиров с использованием биокатализаторов нового поколения.....	216
ТЎҚИМАЧИЛИК ВА ЕНГИЛ САНОАТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ	
Vafayeva Z.S., Bozorova F.M. Tikuv mashinasiga tavsiya etilgan tarkibli moki gʻaltagida ip oʻramlar sonini uning burchak tezligiga taʼsirini tadqiq qilish.....	219
Хужаева М.Э., Гафурова Н.Т., Выбор и обоснование ткани для создания комплекта специальной одежды для прядильщиков.....	222
Rajabov A.I., Nodirova M.N. Yarim dagʻal qoʻy jun tolasini maxsus qurulma asosida shatish usullari.....	227

Пардаев Б.Ч., Абидова А.Р., Росулов Р.Х., Каримова Г.Т. Пахтани майда ифлосликлардан тозалашда такомиллаштирилган козиқли барабанларда пахта массасининг оқимини назарий тахлили.....	234
Қўшимов А.А., Муродов Р.М., Шодмонкулов А.М., Сайиткулов С.О., Салимов Ш.Х. Пневмотранспортлар ва уларда пахтани стационар узатиш конструкциясини тахлили.....	239
Ражабов А.И., Нодирова М.Н. Махаллий жун толасидан ишлаб чиқариладиган ип ҳажмини кўпайтириш ва сифатини ошириш.....	244
Хамроева М.Ф., Muxamedjanova S.F., Tuychiyev T.O., Xudayarova F.O. Turli kombinatsiyada joylashgan takomillashtirilgan qoziqchali plankali barabanlarning tahlili	247
Bozorova F.M., Vafoyeva Z.S. Tavsiya etilgan tepki uzelineing to'liq faktorli rejalash usuli bo'yicha rezina amortizatorli tishli reyka-tepki tizimini o'rganish.....	253
Мухамеджанова С.Ф., Хамроева М.Ф., Туйчиев Т.О., Худаярова Ф.О. Колосникли панжара ва аррачали барабан оралиқ масофасининг тозалаш жараёнига таъсири.....	258
Saparov M.K., Ro'zmetov R.I., Tuychiyev T.O., Axmedov M.X. Kolosnik qirrasini bilan baraban arra tishlari uchlari orasidagi masofani tozalash jarayoniga ta'siri.....	263
Hamroyeva M.F, Muxamedjanova S.F, Tuychiev T.O., Sayfullayev S.S., Xudayarova F.O. Turli kombinatsiyada joylashgan takomillashtirilgan qoziqchali plankali barabanlarning tahlili.	268
Ortiqova K.I., Umarov A.A. xorijiy va mahalliy linter mashinalarining taqqosiy tahlili.....	275
Мусаев С.С., Аслонов А.М. Исследование устойчивости полимерных подошв специальной обуви для работников агропромышленных кластеров к воздействию масел, различных растворителей и старению.....	278
Saparov M.K., Ro'zmetov R.I., Tuychiyev T.O. Kolosnikli panjara o'lchamlarining tozalash jarayoniga ta'siri.....	286
Sayidova M.H. Quyosh batareyalarini maxsus kiyimda qo'llashning nazariy asoslari.....	291
Barakayeva D.F., Gafurova N.T. Energetiklar uchun maxsus ish kiyim yaratishda zamonaviy estetik va xavfsizlik talablarni shakllantirish	295
Худайбердиев М.Р., Очилов Т.А., Хамроева С.А., Нурбоев Р.Х. Тола таркиби турлича бўлган костюмбоп матоларнинг механик хоссаларини тадқиқоти ва тахлили.....	300
АНИҚ ВА ИЖТИМОЙ-ИҚТИСОДИЙ ФАНЛАР	
Казакова Д.Г. Проблемы перевода терминов и их решения	305
Авлякулова Ш.Б. Аппроксимация орнаментов резьбы по дереву кубическими сплайнами.....	308
Hikmatov N.I. Zamonaviy qurilishda energiya tejankor va samarador texnologiyalardan foydalanish.....	314
Xaitov B.U., Avlyakulova Sh.B. CAM tizimlarida geometrik modelashtirish asoslari.....	318
Рабиев Ғ.Б. Юртимизнинг шаҳар-қишлоқларида автотураргоҳлар ташкил этишнинг долзарб масалалари.....	323
Sadirov S.S. Buxoro viloyatida investitsiyaviy muhitni tahlil qilish: mavjud holat va istiqbollar..	326
Sharipov A.A. Kasbiy ta'lim tashkilotlarida o'quvchilarni amaliyotga yo'naltirishning pedagogik shart-sharoitlari.....	330

Suyuq shisha 166 sekund vaqt davomida 145 °C temperatura bo'yicha kristall holatga o'tadi. 1,78 kg suyuq shishadan 1,068 kg natriy silikat pentagidrat olinadi. Har bir sekundda $1,068/166=0,006433$ kg kristall mahsulot olinadi. Jami bir soatda 23 kg ni tashkil etadi.

Shundan so'ng bir soat vaqt mobaynida mahsulotni isitish uchun ketadigan energiya miqdorini aniqlash kerak. Buning uchun energiya miqdorini hisoblash talab etiladi.

$$Q_b = c_{Na_2SiO_3 \cdot nH_2O} \cdot m_b \cdot \Delta t_b = 2948 \cdot 1,78 \cdot (145 - 60) = 446032,4 \text{ J} \approx 446 \text{ kJ}$$

Bunda barabanni isitish uchun beriladigan quvvat miqdori quyidagicha aniqlanadi,

$$P_b = \frac{Q_b}{t_b} = \frac{446032,4}{166} \approx 2687 \text{ Wt}$$

Bu jarayon uchun, standart 1,5 kVt lik 2 ta IQ lampadan foydalaniladi.

Barabanni aylantirish uchun ko'p kuch sarflanmasligini inobatga olib, $P_d = 0,5 \text{ kVt}$ ga ega elektrodvigatel tanlaymiz. Bundan tashqari avtomatika nazorat o'lchov asboblari uchun zaxirasi bilan $P_a = 0,5 \text{ kVt}$ energiya sarflanishini hisobga olamiz.

Yuqorida hisoblangan quvvatlarni hammasini quyidagi formulaga muvofiq hisoblaymiz,

$$P_{um} = P_s + P_b + P_d + P_a = 2 + 3 + 0,5 + 0,5 = 6 \text{ kVt}$$

Xulosa. Kristallanish jarayonini amalga oshirish uchun kristallizator qurilmasini tayyorlashda "08X18H10" markali AISI 304 zanglamaydigan po'lat materiali standart talablarga javob berishi aniqlandi. Jarayondagi xomashyoning sarfiga asosan vannaning o'lchamlari 1200x550x250 mm ga teng bo'ldi. Xomashyoni qizdirish uchun sarflanadigan energiya miqdoriga asosan 2 kVt lik elektr isitish elementi tanlandi. Kristallash jarayoni uchun sarflanadigan issiqlik miqdorining hisobidan, ikkita 1,5 kVt lik IQ lampa yetarli bo'lishi aniqlandi. Silindrik barabanni aylantirish uchun 0,5 kVt lik elektrodvigatel tanlandi. Jarayonga sarflanadigan umumiy energiya miqdori 6 kVt ni tashkil etdi.

Фойдаланилган адабиётлар

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 dagi PF-60-son «2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida»gi Farmoni
2. https://meteko-spb.ru/catalog/ms-08kh18n10/trubs_259/#tab=tab_detail
3. N.R.Yusupbekov, H.S.Nurmuhamedov, S.G.Zokirov Kimyoviy texnologiya asosiy jarayon va qurilmalar. – T.: "Fan va texnologiya", 2015, 848 bet.
4. А.Г.Касаткин Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. – 10-е изд. стереотипное, доработанное. Перепеч. с изд. 1973 г. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753 с.
5. З.Салимов Кимёвий технологиянинг асосий жараёнлари ва қурилмалари.: Олий ўқув юрти талабалари учун дарслик. Т.2. – Т.: Ўзбекистон, 1995. – 240 бет.

Ibragimov Shohruh Ramazon o'g'li – Buxoro davlat texnika universiteti "Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish" kafedrasida katta o'qituvchisi. Tel.: (+99893) 651-32-32. E-mail: ass.ishr@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗРАБОТКИ ГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.

Мухсинов С.С.

Бухарский государственный технический университет.

Аннотация. Искусственный интеллект активно применяется для решения различных задач в нефтегазовой промышленности. В данной работе рассматривается использование рекуррентной нейронной сети типа LSTM для прогнозирования ключевых параметров разработки газового месторождения на основе геофизических и промысловых данных. Обучение, проверка и тестирование модели проводились на исторических данных, полученных из гидродинамического моделирования по всем скважинам месторождения. Результаты показали высокую точность предсказаний основных показателей разработки.

Ключевые слова: разработка газового месторождения, искусственный интеллект, машинное обучение, рекуррентная нейронная сеть LSTM.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN FORECASTING GAS FIELD DEVELOPMENT PARAMETERS

Muxsinov S.S.

Bukhara state technical university.

Abstract. Artificial intelligence is increasingly used as an effective tool for addressing complex challenges in the oil and gas sector. This study explores the application of a Long Short-Term Memory (LSTM) recurrent neural network to forecast key development indicators of a gas field using geophysical and production data. The model was trained, validated, and tested on historical datasets derived from a hydrodynamic simulation covering all wells. The findings demonstrate the model's high accuracy in predicting critical parameters of field development.

Keywords: gas field development, artificial intelligence, machine learning, LSTM recurrent neural network.

GAZ KONINI RIVOJLANTIRISH KO'RSATKICHLARINI BASHORAT QILISHDA SUN'IY INTELLEKTDAN FOYDALANISH.

Muxsinov S.S.

Buxoro davlat texnika universiteti.

Annotatsiya. Sun'iy intellekt neft va gaz sohasidagi turli muammolarni hal qilishda zamonaviy vosita hisoblanadi. Ushbu ishda gaz konini geofizik va sanoat ma'lumotlari asosida asosiy rivojlanish ko'rsatkichlarini bashorat qilish uchun LSTM turidagi rekurrent neyron tarmog'idan foydalanish ko'rib chiqilgan. Modelni o'qitish, tekshirish va sinovdan o'tkazish ishlari barcha quduqlar fondi bo'yicha gidrodinamik modeldan olingan tarixiy ma'lumotlar asosida amalga oshirildi. Tadqiqot natijalari rivojlanishning asosiy ko'rsatkichlarini yuqori aniqlikda bashorat qilish imkonini berganini ko'rsatdi.

Kalit so'zlar: gaz konini rivojlantirish, sun'iy intellekt, mashinaviy o'qitish, LSTM rekurrent neyron tarmog'i.

Введение. Использование методов машинного обучения (МО) в разработке нефтегазовых месторождений становится всё более востребованным ввиду растущей сложности добычи и необходимости оптимизации технологических процессов. Традиционные способы анализа данных, такие как эмпирические подходы и аналитические модели, зачастую не справляются с обработкой больших объёмов информации, возникающей в ходе эксплуатации месторождений. Машинное обучение позволяет не только автоматизировать анализ масштабных данных [1], но и выявлять скрытые закономерности и взаимосвязи между параметрами, которые трудно обнаружить традиционными методами [2]. Это особенно актуально в условиях повышения требований к точности прогнозов и экономической эффективности добычи. Помимо этого, растущая цифровизация нефтегазовой отрасли создаёт дополнительные возможности для применения МО. Алгоритмы машинного обучения используются для оптимизации режимов работы скважин [3,4], прогнозирования дебита и давления [5], оценки обводнённости [6], а также моделирования пластовых процессов. Внедрение этих технологий способствует увеличению коэффициента извлечения углеводородов, снижению затрат и уменьшению рисков аварийных ситуаций. Таким образом, применение машинного обучения становится важным стратегическим инструментом для повышения конкурентоспособности компаний и обеспечения устойчивого развития отрасли.

Методы. Машинное обучение (МО) предлагает разнообразные методы для анализа и прогнозирования показателей разработки газовых месторождений. Рассмотрим основные из них:

1. Линейная и нелинейная регрессия. Эти методы используются для выявления взаимосвязей между входными параметрами (например, давление в пласте, температура, характеристики скважины) и выходными показателями (суточный дебит, устьевое давление). Линейная регрессия подходит для задач с простыми зависимостями между переменными, тогда как нелинейные модели применимы для более сложных отношений. В одном из исследований рассматривается использование множественной линейной регрессии для

прогнозирования параметров разработки нефтяных месторождений. Несмотря на свою простоту, данный метод доказал свою эффективность в моделировании и прогнозировании ключевых показателей [7].

2. Методы опорных векторов (SVM). SVM применяются для задач классификации и регрессии. В контексте прогнозирования показателей разработки нефтегазовых месторождений SVM помогает анализировать большие объёмы данных и выявлять сложные зависимости между параметрами. В одном из исследований представлена модель прогнозирования добычи нефти и газа, основанная на методе опорных векторов наименьших квадратов (LS-SVM), оптимизированная с помощью алгоритма роя частиц (PSO). Полученные результаты показали высокую сходимость, точность прогнозирования и скорость обучения модели. Использование PSO для настройки параметров LS-SVM позволило повысить производительность модели и улучшить точность прогнозов добычи нефти и газа [8].

3. Деревья решений и их ансамбли. Такие модели, как Random Forest и Gradient Boosting, являются мощными инструментами для прогнозирования благодаря высокой точности и устойчивости к выбросам в данных, что делает их востребованными в нефтегазовой отрасли. Например, метод Random Forest применяется для прогнозирования пластового давления в процессе разработки нефтяных месторождений [5]. В одном из исследований была разработана непараметрическая многомерная модель на основе случайного леса, учитывающая динамику эксплуатационных показателей скважин во времени. Предложенная модель продемонстрировала высокую корреляцию между прогнозируемыми значениями пластового давления и фактическими данными, полученными из гидродинамических исследований. Метод случайного леса показал более высокую точность прогнозирования по сравнению с традиционными линейными регрессионными моделями.

4. Искусственные нейронные сети (ANN). Нейронные сети широко используются для моделирования сложных нелинейных процессов. В частности, рекуррентные нейронные сети (RNN) и сети с долговременной кратковременной памятью (LSTM) эффективны для анализа временных рядов, таких как изменение дебита и давления во времени. В одном из исследований рассмотрена возможность применения LSTM для прогнозирования режимов работы добывающих скважин в условиях нестационарного заводнения. Обучение и прогнозирование проводились на данных, полученных с помощью гидродинамического моделирования участка, включающего 10 добывающих и 8 нагнетательных скважин. Результаты показали, что при наличии качественной обучающей выборки можно с высокой точностью прогнозировать режимы работы скважин на срок до 7,5 лет [9].

Кроме того, в другом исследовании были представлены продвинутые модели глубокого обучения для прогнозирования временных рядов добычи нефти. Авторы разработали модели на основе LSTM и одномерных сверточных нейронных сетей (1-D CNN), которые были протестированы на данных нефтяного месторождения Volve. Результаты показали, что модель на базе LSTM обеспечивает более точные прогнозы добычи нефти по сравнению с 1-D CNN, с средним абсолютным отклонением (MAE) 111,16 и коэффициентом детерминации (R^2) 0,98 [10].

Эти исследования демонстрируют высокий потенциал применения LSTM-моделей для точного прогнозирования показателей разработки нефтегазовых месторождений, что способствует повышению эффективности и оптимизации добывающих процессов.

5. Кластеризация. Методы кластеризации, такие как k-means и DBSCAN, позволяют группировать скважины по схожим характеристикам, что помогает выявлять закономерности в их поведении и оптимизировать управление эксплуатационными режимами [11].

6. Генетические алгоритмы и оптимизационные методы. Эти подходы применяются для оптимизации параметров разработки месторождений. В частности, генетические

алгоритмы используются для прогнозирования вероятности обнаружения углеводородных резервуаров на ранних этапах геологоразведки. Авторы отмечают, что сочетание генетических алгоритмов с другими методами способствует повышению точности прогнозов [12].

На рисунке 1 показаны ключевые алгоритмы машинного обучения, среди которых линейная и логистическая регрессия, методы опорных векторов, деревья решений и алгоритм случайного леса.

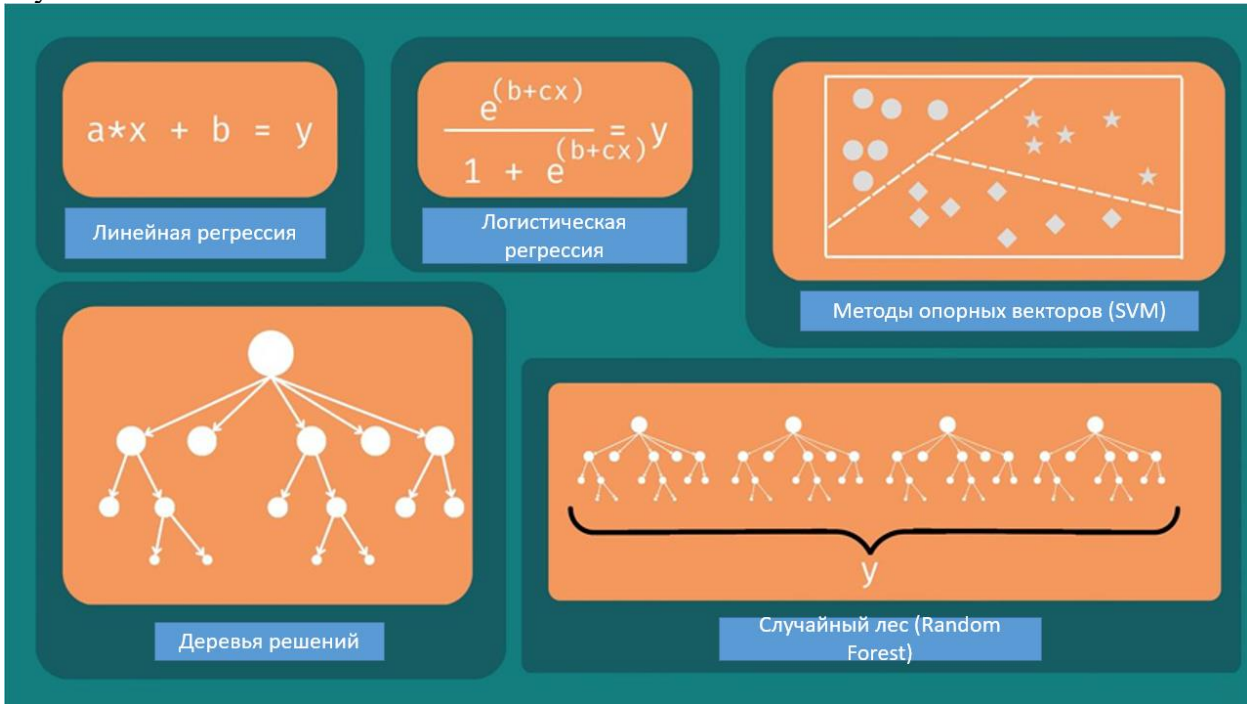


Рисунок 1 Обзор алгоритмов МО

Применяемая модель. С математической точки зрения обучение нейронной сети, направленное на выявление всех существенных физических зависимостей, сводится к задаче аппроксимации временных рядов. Для решения таких задач обычно используют специальные рекуррентные нейронные сети. Поскольку процессы фильтрации на реальных месторождениях обладают инерционностью, влияние одной скважины на другую может проявляться с временной задержкой [13].

Для подобных случаев оптимально подходит рекуррентная модель типа Long Short-Term Memory (LSTM) [14]. Благодаря своей архитектуре LSTM способны учитывать взаимосвязи между событиями, разделёнными неизвестными временными интервалами, и использовать эти зависимости для более точного прогнозирования [9], что иллюстрируется на рисунке 2.

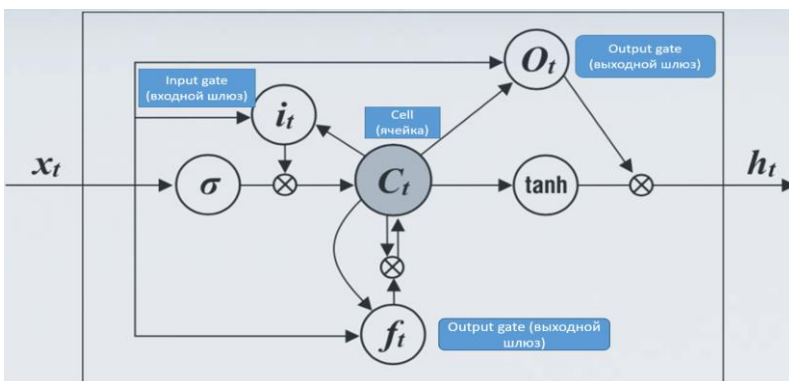


Рисунок 2 Функциональная ячейка LSTM [9]

x_t -входной вектор в текущий момент времени; h_t - выходной вектор скрытого состояния; σ - сигмоидная активация (функция активации); $\tanh$ - гиперболический тангенс (функция активации).

В качестве входных параметров для обучения нейронной сети использовались: суточный дебит, устьевое давление, координаты забоя по осям X и Y, радиус дренирования скважины, верхние и нижние границы интервалов перфорации и другие параметры.

Целевые переменные — суточный дебит и устьевое давление — а также числовые признаки были нормализованы в диапазоне $[0, 1]$ для повышения стабильности обучения модели. Данные были упорядочены по дате с целью учёта временных зависимостей и разделены на три выборки:

- *Обучающая выборка:* 70% данных (67 557 записей)
- *Валидационная выборка:* 10% данных (9 600 записей) для промежуточной проверки модели
- *Тестовая выборка:* 20% данных (18 840 записей) для оценки качества итоговой модели

Для обучения LSTM входные данные были преобразованы в временные окна длиной $\text{time_steps} = 5$, что позволило модели учитывать последние 5 временных шагов (наблюдений) при прогнозировании следующего значения целевой переменной.

Обучение модели проводилось на тренировочной выборке с контролем метрик на валидационной выборке. Для предотвращения переобучения использовалась ранняя остановка по валидационной ошибке.

Результаты и обсуждение

Для оценки качества работы алгоритмов применялись следующие метрики: среднеквадратичная ошибка (MSE), средняя относительная ошибка (MRPE) и коэффициент детерминации (R^2).

Оценка точности метода на тестовой выборке, сравнивающая фактические и прогнозные значения, представлена на рисунке 3. Как видно из графика, данные распределены достаточно плотно и практически не содержат выбросов

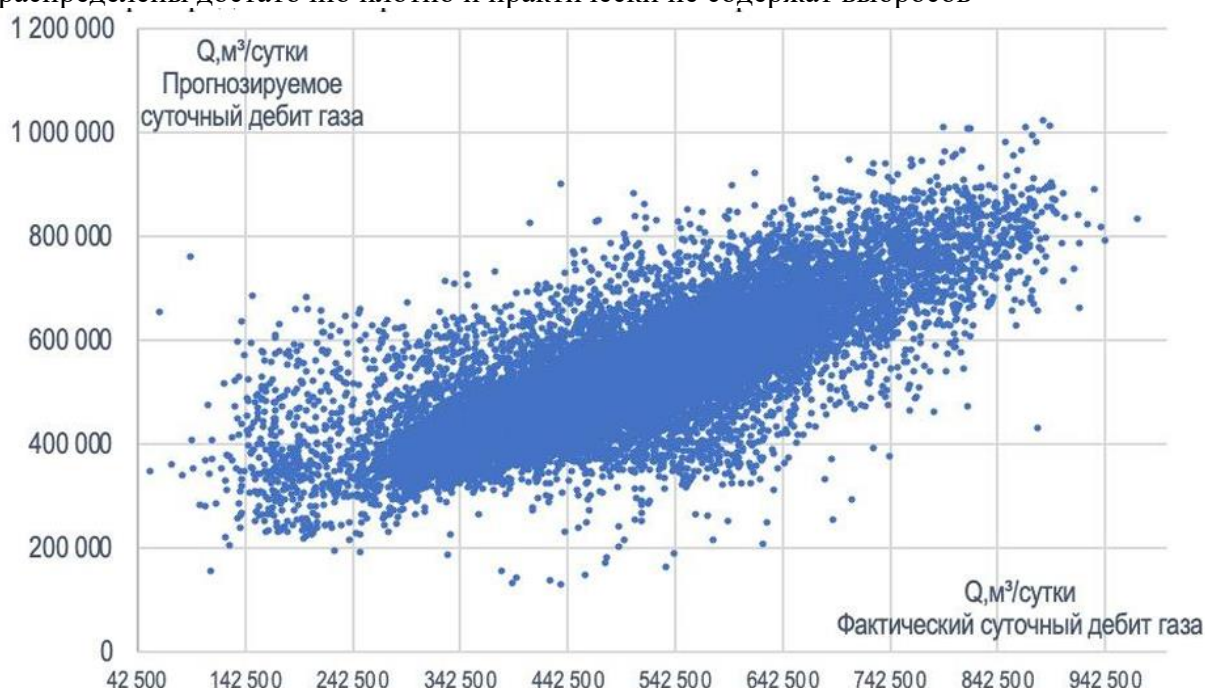


Рисунок 3. Поле корреляции между фактическими и прогнозными значениями суточного Дебита

На рисунках 4 и 5 представлены сравнительные графики фактических и прогнозных значений среднего суточного дебита и среднего устьевого давления на тестовой выборке.

В большинстве случаев средняя относительная ошибка (MRPE) по отдельным скважинам не превышает 8% для суточного дебита и 4% для устьевого давления.

Максимальное значение MRPE составляет не более 11%, что свидетельствует о высокой точности модели.



Рисунок 4 Сравнительный график суточного дебита

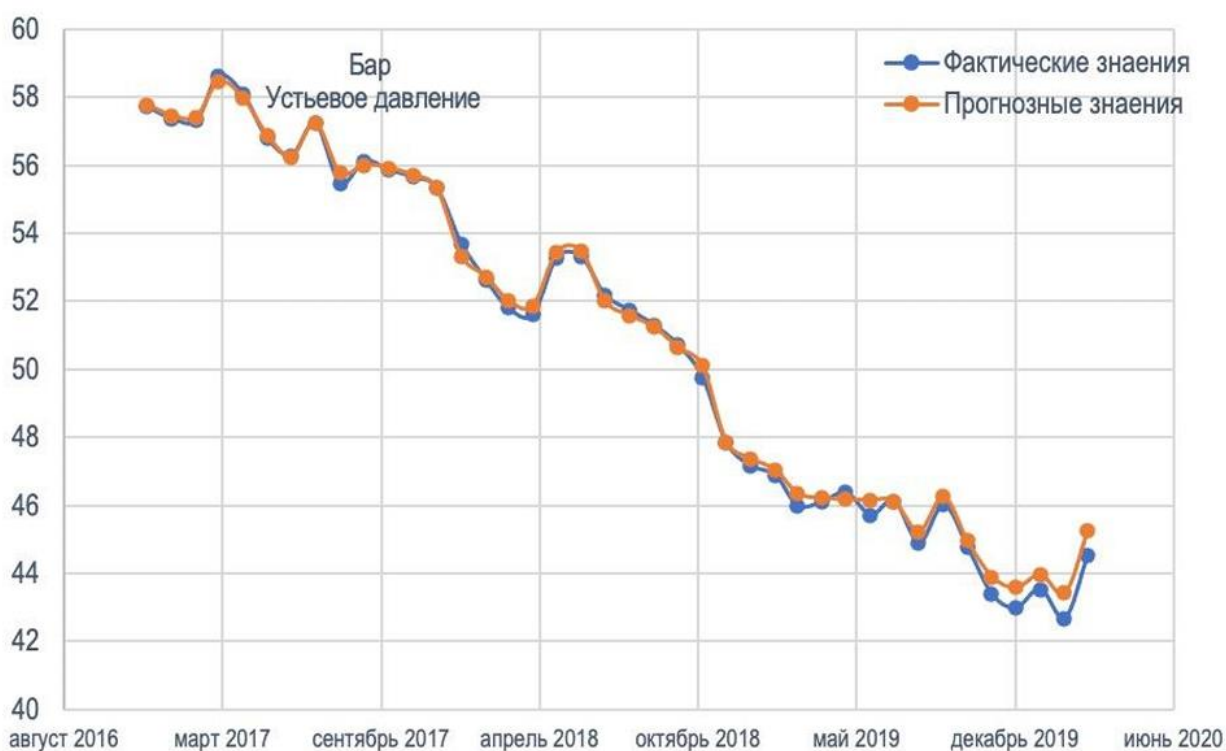


Рисунок 5 Сравнительный график устьевого давления

Заключение. Применение методов машинного обучения для прогнозирования ключевых показателей разработки газовых месторождений открывает новые возможности повышения эффективности и сокращения затрат как временных, так и финансовых. Современные алгоритмы позволяют не только повысить точность прогнозов, но и выявлять

скрытые закономерности, которые сложно обнаружить с помощью традиционных методов анализа.

В работе изучена эффективность рекуррентной нейронной сети LSTM на основе реальных данных работы скважин для прогнозирования основных параметров — суточного дебита и устьевое давления. Разработанная модель может быть применена для планирования добычи и оптимизации эксплуатационных процессов газовых месторождений.

Литература:

1. Горбань А.Н. Обучение нейронных сетей. М.: Изд. СССР-США СП «ParaGraph», 1990. 160 с.
2. Artun E. (2016) Characterizing reservoir connectivity and forecasting waterflood performance using data-driven and reduced-physics models. In SPE Western Regional Meeting.
3. Бриллиант Л.С., Дулкарнаев М.Р., Данько М.Ю., Елишева А.О., Набиев Д.Х., Хуторная А.И., Мальков И.Н. Управление добычей нефти на основе нейросетевой оптимизации режимов работы скважин на участке опытно-промышленных работ пласта ЮВ1 Ватъеганского месторождения ТПП «Повхнефтегаз» // Георесурсы. 2022. Т. 24. №. 1. С. 3-15.
4. Вершинин В.Е., Пурицкис Я. В. Нейросетевой анализ, прогнозирование и оптимизация газлифтного способа эксплуатации скважин // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2024. №7 (151). С. 22-27.
5. Мартюшев Д.А., Пономарева И.Н., Захаров Л.А., Шадров Т.А. Применение машинного обучения для прогнозирования пластового давления при разработке 439 нефтяных месторождений // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. №. 10. С. 140-149.
6. Abdrakhmanov I.R., Kanin E.A., Boronin S.A., Burnaev E.V., Osiptsov A.A. (2021). Development of deep transformer-based models for long-term prediction of transient production of oil wells. SPE Russian Petroleum Technology Conference. SPE.
7. Ле Т. Н. С., Бондарев, А.В., Бондарева, Л.И., Монакова, А.С., Баршин, А.В. Применение алгоритмов машинного обучения в прогнозе результата пиролитического анализа // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. Т. 63. №. 6. С. 8-19.
8. Qiao Y., Peng J., Ge L., Wang H. (2017) Application of PSO LS-SVM forecasting model in oil and gas production forecast / IEEE 16th International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing, pp. 470-474.
9. Вершинин В.Е., Пономарев Р.Ю. Нейросетевое моделирование. Прогнозирование показателей добычи скважин в условиях нестационарного заводнения // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2022. № 5-6(125-126). С. 26-32.
10. Hosseini S., Akilan T. (2023). Advanced deep regression models for forecasting time series oil production // arXiv preprint arXiv:2308.16105.
11. Mabadeje A.O., Salazar J.J., Ochoa J., Garland L., Pyrcz M. J. (2024). A Machine Learning Workflow to Support the Identification of Subsurface Resource Analogs. Energy Exploration & Exploitation, 42(2), 603-625.
12. Ivlev D. (2023). Generalization with Reverse-Calibration of Well and Seismic Data Using Machine Learning Methods for Complex Reservoirs Predicting During Early-Stage Geological Exploration Oil Field. arXiv preprint arXiv:2304.03048.
13. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. — М.: Недра, 1984. 211 с.
14. Шолле Ф. Глубокое обучение на Python — СПб.: Питер, 2018. 400 с.