

МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІ НЕГІЗІНДЕ МҰНАЙ-ГАЗ САЛАСЫНДАҒЫ РЕГРЕССИЯЛЫҚ ЕСЕПТЕРДІ ШЕШУ ТӘСІЛІ

Жақсылықов Әділет Қайратұлы
adilet.zhaksylykov.2002@gmail.com

7M06101 - «Ақпараттық жүйелер» білім беру бағдарламасының
2-курс магистранты,

Шангытбаева Гүлмира Асауғалиқызы
PhD докторы
shangytbaeva@mail.ru

Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ, Қазақстан Республикасы

Аңдатпа: Машиналық оқыту және жасанды нейрондық желі әдістері мұнайдың тұтқырлығын өлшеу мәселесін жаңа деңгейге көтеруде. Мұнайдың тұтқырлығын өлшеу кен орның жобалау және мұнай тасымалы үшін маңызды болып табылады. Есептеу модельдеуі мұнайдың тұтқырлығын, температура және сұйықтық араласуын ескере отырып сәйкестендіруге арналған тиімді әдіс болып табылады. Бұл зерттеуде ауыр мұнайдың тұтқырлығын әртүрлі технологиялық параметрлер мен мұнай қасиеттеріне байланысты болжау үшін жасанды нейрондық желі моделі қолданылды. Бұл әдістер Қазақстандағы мұнай кен орындарынан алынған ауыр мұнай үлгілерінің тұтқырлығын бағалау үшін қолданылды.

Негізгі сөздер: машиналық оқыту, жасанды нейрондық желі, мұнайдың тұтқырлығы, әдістер, технологиялық параметрлер.

Мұнайдың ұңғымада, құбырларда және өңдеу жүйелерінде мұнай ағысын модельдеу үшін оның тұтқырлығы маңызды рөл атқарады. Бұл модельдеудің дәлдігі тұтқырлықты анықтаудың нақтылығына тікелей байланысты. Сондықтан, әртүрлі мұнай көздері үшін (мысалы, шикі мұнай) тұтқырлықты бағалай алатын сенімді және дәл модельдер қажет. Мұнайдың тұтқырлығын дұрыс болжау өте маңызды, өйткені шынайы емес модельдер кен орындарындағы мұнай ағынын модельдеуде қателіктерге әкелуі мүмкін.

Соңғы 20 жылда шикі мұнайға ғаламдық сұраныс айтарлықтай артты [1]. Дәстүрлі жеңіл шикі мұнай өндірісінің төмендеуі және өсіп келе жатқан сұраныс ауыр шикі мұнай қорларын пайдалануға итермелейді, мұнда өндірістен тасымалдау мен қайта өңдеуге дейінгі барлық кезеңдерде техникалық қиындықтар кездеседі. Бұл шикі мұнайларды өңдеу қиын, себебі олардың жоғары тлық нүктелері мен тұтқырлығы жоспарланбаған тоқтаулар мен қайта іске қосу оқиғаларына әкеледі [2]. Жер қойнауындағы қабаттан жер бетіне көмірсутекті шикі мұнайды қауіпсіз және тиімді жеткізу – ағынды қамтамасыз етудің ең маңызды құрамдас бөлігі.

Тұрақты күйдегі реологияның температура мен ағу жылдамдығына тәуелділігі динамикалық реологиялық сынақтар арқылы жақсырақ көрінеді, мұнда шикі мұнай құрамындағы микроструктуралық тордың қалыптасуы да расталады.

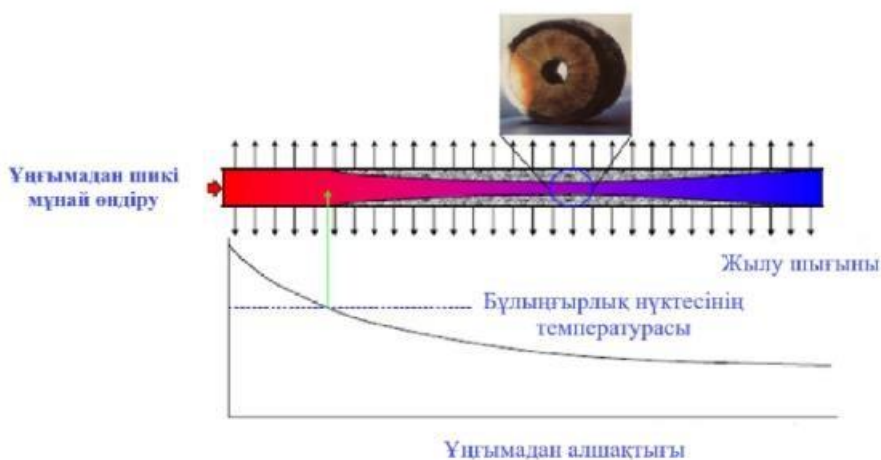
Мұнай өндіру өнеркәсібінде құбырлар арқылы тасымалдау кезінде парафин шөгінділері мен парафин тығындарының түзілуі ағынды қамтамасыз ету мәселелерінің өзегі болып табылады. Парафинді мұнайдың құрамында 50%-ға дейін парафинді балауыз болуы мүмкін. Тіпті аз мөлшердегі парафиндер парафинді мұнайдың кату температурасын жоғарылатады, бұл сұйықтық пен қоршаған орта арасындағы температура градиентінің әсерінен құбырлардың ерте бітелуіне әкелуі мүмкін [3]. Парафиндердің шөгуі олардың кристалдануына, тұнуына және гель түзілуіне әкеліп, құбырларда ағынның толық бітелуіне және мұнай кен орындарында өндірістің тоқтауына себеп болады.

Парафинді мұнайды тасымалдайтын құбыр қабырғаларында гель түзілуі сұйықтықтың температурасы балауыздың пайда болу температурасынан төмендеген кезде басталады. Тұнба түзуі ақырында гель түзілуіне әкеледі, ал мұндай гель түзілуіне дейін парафинді мұнай үш фазалы өзгерістен өтеді: преципитация, тұнба түзу және геляция. Балауыздың үздіксіз тұнуы, ақырында, құбырды толық бітелген гельге айналдырып, құбыр жүйесінің кенеттен тоқтауына әкеледі.



Сурет 1 – Құбыр ішіндегі шикі мұнайдың парафин тығындарының түзілуі

Балауыздың тұнуы негізінен балауыз құрамы мен молекулалық салмағына, ығысу тарихына, жылу тарихына, парафин құрамына, асфальтендер құрамына және ағынды жақсартатын қоспаларға тәуелді. Айежіна және т.б. зерттегендей, балауыздың тұнуы – құрамына, қысым мен температураға, жылу және масса алмасу процестеріне, сондай-ақ қатты-қатты және қатты-сұйық фазалар арасындағы өзара әрекеттесуге байланысты күрделі құбылыс болып табылады.



Сурет 2 – Бұлттану нүктесінен төмен температурада құбыр ішіндегі балауыз тұнуы

Тұтқырлықты азайтудың тиімді әдістерінің бірі – ауыр мұнайды жеңіл мұнаймен араластыру болып табылады. Дегенмен, сұйылтылған ауыр мұнайдың тұтқырлығын анықтау көп уақытты талап етеді немесе дәл нәтиже бермеуі ықтимал. Осы зерттеу жұмысының мақсаты – машиналық оқыту әдістерін пайдалана отырып, сұйылтылған ауыр мұнайдың тұтқырлығын нақтырақ болжайтын модель құру.

Ауыр мұнайдың жеңіл мұнаймен араласқан кездегі тұтқырлығын болжау мақсатында көпқабатты нейрондық желі қолданылды. Модельді үйрету барысында температура, жеңіл мұнай тұтқырлығы, ауыр мұнай тұтқырлығы және сұйылту коэффициенті сияқты кіріс параметрлері пайдаланылды. Модельді әзірлеу барысында әртүрлі ауыр мұнай кен орындарынан жиналған деректер жиынтығы негіз болды.

Мұнайдың әртүрлі көздерінен алынған тұтқырлықты бағалайтын әмбебап модельдерді әзірлеу күрделі міндет болып табылады. Бұл мақсат үшін машиналық оқыту (ML) сияқты жетілдірілген әдістерді қолдануға болады. Мұнайдың құрамдық деректері негізінде тұтқырлықты болжауға арналған машиналық оқыту әдістері әлі де шектеулі, сондықтан бұл салада зерттеу қажет.

Қазіргі уақытта аналитикалық әдістер машиналық оқыту (ML) технологияларының үлкен мүмкіндіктеріне байланысты ғылым саласында өз позицияларын жоғалтуда. Жасанды нейрондық желілердің (ANN) әртүрлі нұсқалары, модельдер және басқа да сызықтық және сызықты емес алгоритмдер осы әдістердің мысалдары болып табылады. Бүгінде машиналық оқыту кез келген мәселеде бастапқы параметрлер мен күтілетін нәтижелер жиынтығын талдай алады [4].

Материалдар мен әдістер

Деректерді жинау Бұл зерттеу ауыр мұнайдың жеңіл мұнаймен сұйылтылған кездегі тұтқырлығын дәл анықтайтын модель әзірлеуге бағытталған. Бұл мақсатқа жету үшін жасанды нейрондық желілерге (ANN) негізделген әдіс қолданылып, әртүрлі мұнай кен орындарынан алынған зертханалық тәжірибелер нәтижесінде жинақталған деректер пайдаланылды.

Әрбір ауыр мұнай үлгісі жеңіл мұнаймен түрлі мөлшерлік қатынаста араластырылды. Алынған қоспа Anton Paar Monowave 50 құрылғысында 1 сағат бойы біркелкі күйге келтіріліп, қажетті температураға дейін қыздырылды. Кейіннен үлгілер тұрақтандырылып, олардың тұтқырлығы Anton Paar SVM 2001 вискозиметрі арқылы анықталды.

Пайдаланылған негізгі параметрлерге ауыр және жеңіл мұнайдың тұтқырлығы, сұйылту коэффициенті, температура және алынған қоспаның тұтқырлығы жатады. Сұйылту коэффициентінің мәні 0,1-ден 0,7 аралығында өзгерсе, температура 10°C-тан 100°C-қа дейінгі диапазонда болды.



Сурет 3 – Anton Paar Monowave 50 араластырғышы



Сурет 4 – Anton Paar SVM 2001 вискозиметрі

Жасанды нейрондық желіні құру және оңтайландыру

Жасанды интеллект – компьютерлерге немесе компьютерге негізделген жансыз объектілерге адамдар сияқты ойлауға немесе әрекет етуге көмектесетін технология. Жасанды интеллект зерттеулері адамның миы қалай ойлайтынын, үйренетінін, шешім қабылдайтынын және мәселелерді қалай шешетінін зерттеуге бағытталған. Жасанды интеллект – ақылды машиналарды жасауға ұмтылатын кең ауқымды сала.

Машиналық оқыту (ML) – әртүрлі деректер жиынтығындағы заңдылықтарды тануға және үйренуге мүмкіндік беретін жасанды интеллекттің бір тармағы. Анықтама бойынша, машиналық оқыту – жүйелерге автоматты түрде үйренуге және тәжірибе арқылы жетілдіруге мүмкіндік беретін, алдын ала нақты бағдарламаланбайтын жасанды интеллект қосымшасы.

Машиналық оқытуда жиі қолданылатын алгоритмдерге нейрондық желілер, қолдау векторлық машиналары, шешімдер ағашы, кездейсоқ орман, логистикалық регрессия және басқа да көптеген әдістер жатады.

Жасанды нейрондық желі – бұл үлгілерді анықтау, болжау жасау және деректерді талдау үшін қолданылатын алгоритмдер жиынтығы. Ол адам миының жұмыс істеу принциптерін еліктейді. Нейрондық желі өзара байланысқан түйіндерден (nodes) тұратын қабаттардан құралады, ал әрбір түйін перцептрон (perceptron) деп аталады.

Перцептрон бірнеше кіріс мәндерін қабылдап, оларды өңдеу нәтижесінде бір ғана шығыс мәнін шығарады. Алғашқы қабаттағы перцептрондар алынған мәліметтер негізінде шешім қабылдайды, ал келесі қабаттағы (екінші, үшінші және т.б.) перцептрондар бұл нәтижелерді пайдалана отырып, күрделірек есептеулер жүргізеді.

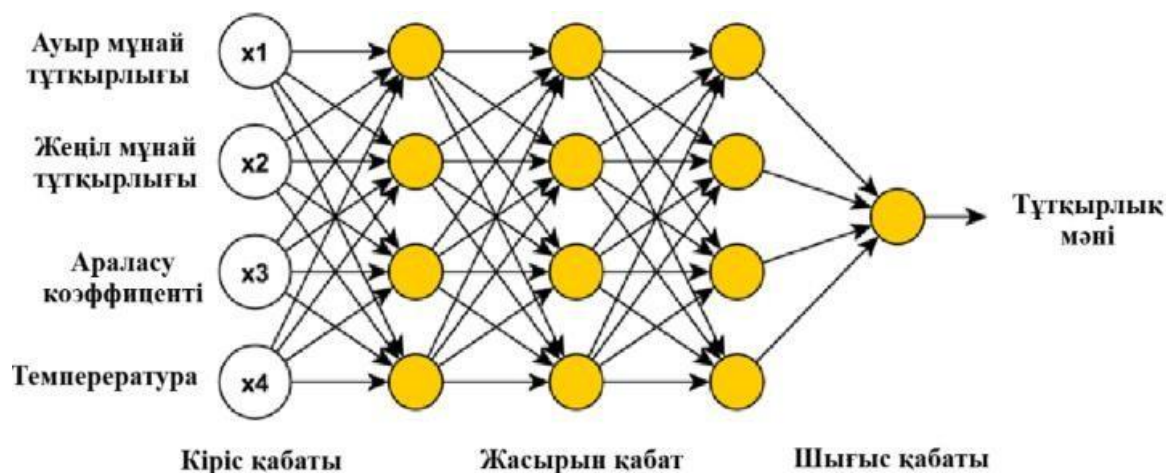
Желінің жұмысын қажетті нәтижеге жеткізу үшін салмақ коэффициенттерін (weights) және элементтер арасындағы шекті мәндерді өзгертуге болады. Осылайша, желі шығыс мәнін мақсатты мәнге барынша жақындатып, тиімділігін арттырады [5].

Модельдің жалпылау қабілетін арттыру мақсатында тұтқырлыққа қатысты мәліметтер ғылыми әдебиеттерден алынды. Бұл деректер кездейсоқ екі бөлікке бөлінді: 80%-ы нейрондық желіні оқыту үшін, ал қалған 20%-ы желінің болжау дәлдігін бағалау үшін қолданылды.

Ауыр мұнайдың, жеңіл мұнайдың және сұйылтылған мұнайдың тұтқырлығы тәжірибелік әдістер арқылы алынған және әртүрлі диапазондарға ие болғандықтан, алдымен барлық деректерді нормализациялау қажет болды. Бұл үшін олар $[-1, 1]$ аралығына келтірілді. Мұндай тәсіл көрсеткіштер арасындағы өлшемдік және сандық айырмашылықтарды жоя отырып, модельдің тиімділігі мен дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді.

Модель бес қабатты нейрондық желі негізінде құрылды, оның құрамына бір кіріс қабаты, үш жасырын қабат және бір шығыс қабаты кірді.

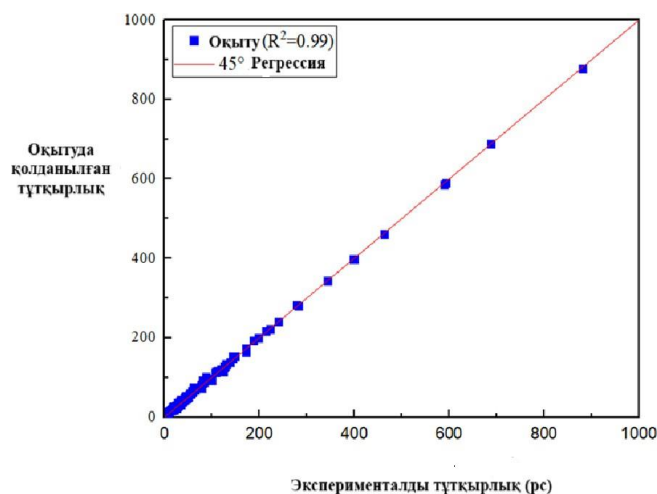
Белгілі болғандай, температураның жоғарылауы тұтқырлықтың күрт төмендеуіне әсер етеді. Сонымен қатар, ауыр мұнайдың тұтқырлығы, жеңіл мұнайдың тұтқырлығы және сұйылту коэффициенті сұйылтылған мұнайдың тұтқырлығына айтарлықтай ықпал етеді. Осы факторларды ескере отырып, жасанды нейрондық желі (ANN) төрт кіріс параметрінен және бір шығыс параметрінен құрылды



Сурет 5 – Нейрондық желі архитектурасы

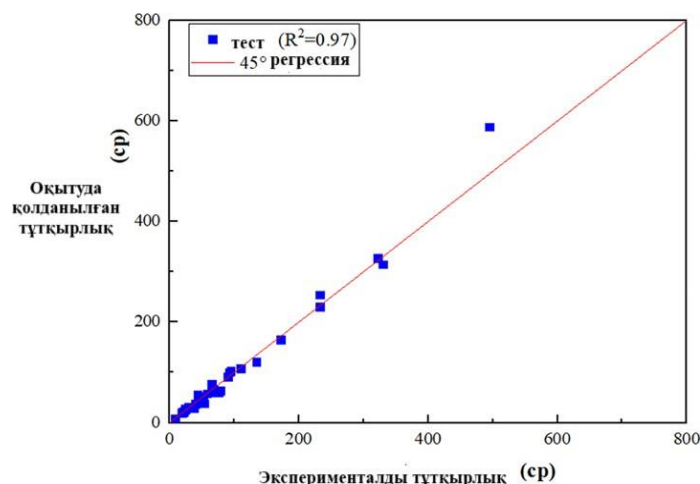
Осылайша, осы жұмыстың оңтайлы нейрондық желі топологиясы 5-суретте көрсетілген.

Нәтижелер. Машиналық оқыту барысында алынған ANN нәтижелері жеңіл мұнаймен сұйылтылған ауыр мұнайдың тұтқырлығын болжау дәлдігін тексеру мақсатында оқыту және эксперименттік деректер ретінде 6-суретте ұсынылған.



Сурет 6 – Эксперименттік және оқытылған тұтқырлықтың регрессиялық графигі.

Статистикалық талдауға сәйкес, оқыту барысында алынған барлық тұтқырлық мәндері 45° сызығына өте жақын орналасып, олар тәжірибелік деректермен үйлесімді екенін көрсетеді. Сонымен қатар, ANN моделінің көмегімен болжаған тұтқырлық көрсеткіштері мен эксперименттік мәндер арасындағы анықтау коэффициенті (R²) 0.99 құрады.



Сурет 7 – Эксперименттік және тексерілген тұтқырлықтың регрессиялық графигі.

Тест деректері мен тәжірибелік мәндер арасындағы өзара байланысты бейнелейтін регрессиялық график 7-суретте берілген; онда тест нәтижелері де 45° сызығына жақын орналасып, олардың анықтау коэффициенті (R^2) 0.97 екені байқалады. Осылайша, ANN моделі жоғары сәйкестік дәрежесіне ие болып, сұйылтылған мұнайдың тұтқырлығын дәл болжай алады.

Осы мақалада мұнайдың тұтқырлығын алдын-ала анықтауға арналған, машиналық оқыту әдістерін қолданатын модель ұсынылды. Модельдің тиімділігін бағалау мақсатында статистикалық қателік талдауы жүргізілді. Машиналық оқыту әдістерінің артықшылықтары төмендегідей қорытындыланды:

1. Модель нәтижелерін талдау барысында абсолюттік орташа салыстырмалы қате 10,45%, стандартты ауытқу 8,45%, ал детерминация коэффициенті (R^2) 0,95 деңгейіне жетті. Бұл көрсеткіштер машиналық оқыту алгоритмдерінің жоғары дәлдігі мен сенімділігін дәлелдейді.

2. Жаңа модель дәстүрлі эмпирикалық әдістермен салыстырғанда болжау дәлдігін елеулі түрде арттырды, өйткені машиналық оқыту әдістері деректерден жасырын заңдылықтарды тиімді анықтай білді.

Машиналық оқыту әдістерін қолдану күрделі деректерді өңдеуге, үдерістерді оңтайландыруға және болжамдардың нақтылығын арттыруға мүмкіндік берді. Болашақта деректер жиынтығын кеңейту және басқа машиналық оқыту алгоритмдерін зерттеу арқылы модельдің өнімділігін одан әрі жетілдіру жоспарланып отыр.

Қолданылған әдебиеттер тізімі:

1. S.W. Hasan et al. Heavy crude oil viscosity reduction and rheology for pipeline transportation Fuel, 2010.
2. P. Luo et al. Effects of asphaltene content on the heavy oil viscosity at different temperatures Fuel, 2007.
3. Y. Lei, S. Han, J. Zhang, Effect of the dispersion degree of asphaltene on wax deposition in crude oil under static conditions, Fuel Process. Technol, 2016. Pp. 20–28.
4. J.A. Ajiienka, C.U. Ikoku, The effect of temperature on the rheology of waxy crude oils, Soc. Petrol. Eng. 1991. SPE-23605-MS.
5. C. Bai, J. Zhang, Effect of carbon number distribution of wax on the yield stress of waxy oil gels, Ind. Eng. Chem. Res., 2013, pp. 2732–2739.