

**"NEFT KÁNLERI QUDIQLARINIŇ ISLEP SHÍGÁRIW DINAMIKASIN BASQARIW SHI
USILLARDI JETILISTIRIW HÁM ESAPLAW ALGORITMI JÁNE PROGRAMMALIQ TÁMIYNATTI
ISLEP SHÍGIW"**

*O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi
NUKUS DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
Kompyuter injiniringi kafedrası Informatika fakulteti
Kompyuter muhandisligi mutaxassisligi 2-kurs magistranti talabasi
Kalauatdinova Dinara Janayevna
kalauatdinovadinara@gmail.com+99891371-51-55*

Annotaciya: *Bul maqalada neft kánlerinde qudıqlardıń islep shıǵarıw dinamikasını boljaw hám basqarıw ushın jańa usıl hám esaplaw algoritmi usınıs etiledi. Dástúriy statistikalıq hám analitikalıq usıllardıń sheklewleri tallanıp, olardıń ornına waqıt qatarların tallaw (ARIMA, Prophet), mashina úyreniwi (gradient boosting, LSTM) hám optimallastırıw (genetikalıq algoritm, Bayes optimallastırıwı) elementlerin birlestirgen kombinaciyalanǵan kózqaras islep shıǵılǵan. Usı tiykarda óndiris dinamikasını real waqıt rejiminde basqarıw imkaniyatın beretuǵın Python tilindegi programmalıq támiynattıń prototipi jaratılǵan. Programmalıq qural maydan maǵlıwmatları (neft, gaz, suw aǵısınıń tezligi, qudıq basımı, nasos tezligi hám basqalar) tiykarında qısqa múddetli prognozlar beredi hám optimal rejim parametrlerin usınıs etedi. Sınawlar nátiyjesinde óndiris nátiyjeliligi ortasha 8-12% ke artqanlıǵı anıqlanǵan.*

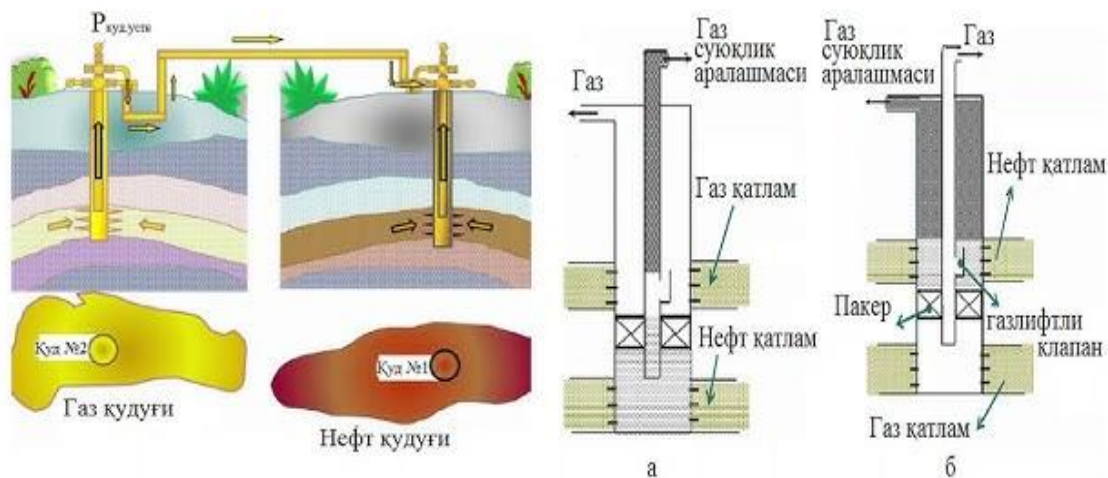
Tayanish sózler: *neft qudıqları dinamikası, óndiristi basqarıw, waqıt qatarları prognozi, mashinalıq úyreniw, LSTM, optimallastırıw, bagdarlamalıq támiynat, algoritm.*

KIRISIW

Neft hám gaz kánlerin islep shıǵarıw procesinde qudıqlardıń islep shıǵarıw dinamikasını anıq boljaw hám oǵan sáykes túrde texnologiyalıq rejimdi basqarıw áhmietli wazıypa bolıp tabıladı. Dástúriy kózqaraslar - material balansı teńlemeleri, filtrlew modelleri (mısalı, Dupui formulası) yamasa ápiwayı regressiyalar - kóp jaǵdaylarda ózgeriwsheń geologiyalıq sharayatlar hám texnologiyalıq faktorlardı (nasos jumıs rejimi, klapan jaǵdayı, kollektor qásietleriniń waqıt boyınsha ózgeriwi) tolıq esapqa almaydı.

Sońǵı jılları úlken kólemdegi baqlaw maǵlıwmatların qayta islew imkaniyatları, sensordı keńnen qollanıw (Real-Time Monitoring) hám jasalma intellektiń rawajlanıwı neft sanaatında maǵlıwmatlarǵa tiykarlanǵan basqarıw usılların engiziw imkaniyatın berdi. Bul maqalada qudıqlardıń óndiris dinamikasını basqarıwdıń jetilistirilgen usılı, onıń esaplaw algoritmi hám ámeliy programmalıq támiynattı islep shıǵıw basqıshları keltirilgen.

Қудуқ ичи компрессорсиз газлифт схемаси



Мақаланың тиықарғы илимий жаңалығы – waқытқа қатарлары прогнозы (ARIMA, Prophet, LSTM) һәм параметрлерди optimallastыrw (генетикалық алгоритм) нı биргеликте қолланыw және real waқыт rejиминде интеллектуал usыныслар беретуғын modulli программалық архитектураны жаратыw болып табылады.

2. Mashqalanıń qoyılıwı.

Нефт кáнлері қудықларының óндiris динамикасы degende, waқыт óтиwi menen қудықтан shıғып атырған нефт (yaki суюықлық) муғдары, газ факторы, суw kesiliwi, қудық basımı, насостыń электр энергиya tutınıwı сыyaқлы параметрлердиń óзgeriwi túsiniledi. Bul dinamikanı basqarıw tómendegi tiықарғы қыынshılıqlарға ie:

- Кóp факторlılıқ һәм óз ара baylanıslılıқ: Rejim параметрлериниń óзgeriwi (máselen, насос aylanıwлар sanı) нефт alıwға tikkeley tásir etedi, biraq bul tásir keshigiw menen һәм eksponenciallıқ ózgeredi.

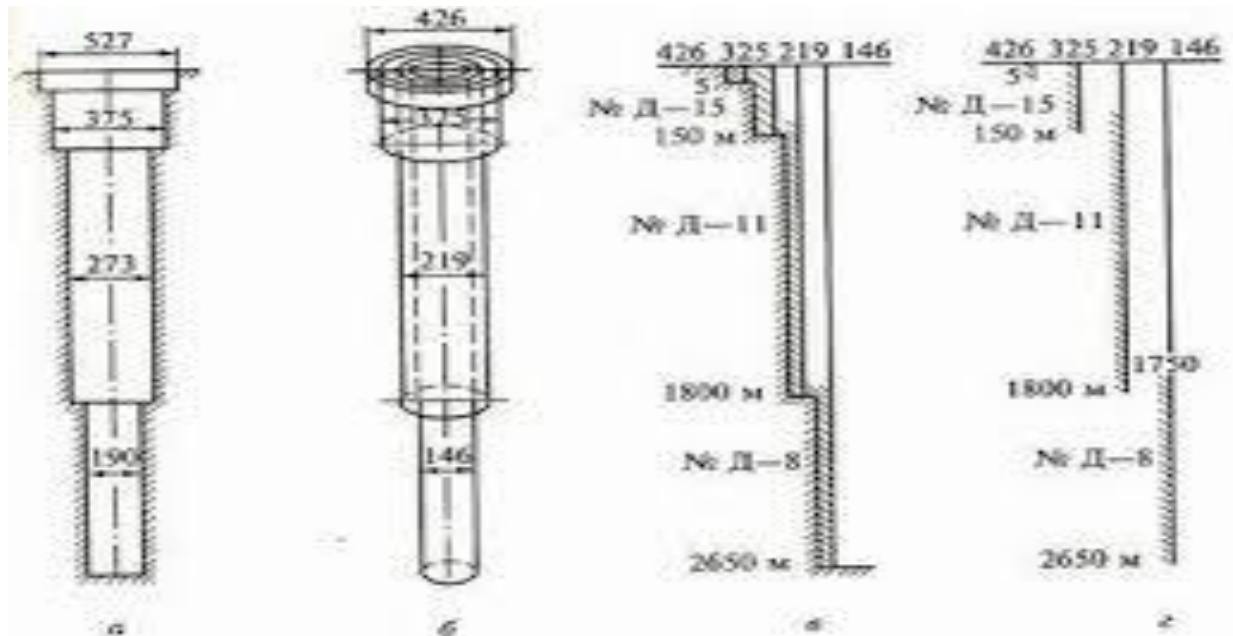
Deterministlik һәм stoxastikalıқ компонентлер: Kollektor қásiyetлериниń bir tekli emesligi, profilaktika jumısları, hawa rayı sharayatları (jer ústi қудықлары ushın) tosınнан terbeliwlerdi keltirip shıғaradı.

- Real waқыт rejiminde basqarıwdıń zárúrligi: Búgingi kúnde қудықларdıń telemexanikalıқ sistemaları һár minutта maғlıwmatlardı uzatadı, sonlıqtan keshigiwli statikalıқ modeller nátiyjesiz.

Ámeldegi basqarıw usılları - rejim kartaları, operator tájiriybesi, ápiwayı trend sıyıqları - kóbinese subektiv һәм keshiktiriletuғын qararlarға sebep boladı. Sonıń ushın tómendegi talaplarға juwap беретuғын jańa usıl һәм программалық támiynattı islep shıғıw áhmietli болып esaplanadı:

1. Waқыт қатарларынıń máwsimligi, tendenciyası һәм qaldıqların modellestiriw;

2. Birneshe qudıqtıń maǵlıwmatların parallel qayta islew;
 3. Optimal shárttı tabıw (maksimal neft aliw yaki minimal energiya sarplanıwı) sheklewler menen;
 4. Paydalanıwshıǵa túsınikli grafik hám keste kórinisinde usınıslar beriw.
3. Usınıs yetilgen usıl hám yesaplaw algoritmi
- 3.1 Usıldıń uluwma arxitekturası.



Usınılıp atırǵan basqarıw usılı úsh basqıshlı arxitekturalardan ibarat:

1. Maǵlıwmatlardı aldınnan qayta islew - shawqımlardı tazalaw, pauzkalı maǵlıwmatlardı interpolycıyalaw, normalizacıyalaw.
2. Prognozlaw moduli - birneshe mashinalıq úyreniw modelleri (ARIMA, Prophet, LSTM) treningi ótkeriledi hám yeń anıq model tańlanadı (ansambl yamasa dawsız beriw).
3. Optimallastırıw moduli - tańlangan prognoz modelinen keleshekтегі óndirislik mánislerdi bahalap, onnan keyin basqarılatuǵın ózgeriwshiler (nasos jiyiligi, drossel dárejesi) boyınsha optimal rejim genetikalıq algoritm járdeminde tabıladı.

3.2 Maǵluwmatlar strukturası hám kiriwshi parametrler.

Kirisiw maǵlıwmatları waqıt boyınsha tegis qádemlerde (máselen, hár 15 minutta) tómendegi baǵanalardı óz ishine aladı:

- waqıt belgisi
- oil_rate - neft aliw tezligi, m3/saat;
- water_rate - suw aliw tezligi.
- gaz_rate - gaz aliw, mın m3/saat;
- wellhead_pressure - qudıq bası basımı, atm.
- pump_frequency - elektr oraydan qashıwshı nasostıń jiyiligi, Gc.
- choke_size - drossel ashılıw procenti.
- temperatura - ónim temperaturası.

Rejim parametrlerin basqarıw ushın basqarılatuǵın ózgeriwshiler: pump_frequency hám choke_size. Maqset funkciyası oil_rate di maksimallastırıw, biraq suw hám gaz alıwdıń artıp ketiwinen saqlanıw (sheklew sipatında).

3.3 Prognozlaw algoritmi (LSTM - uzaq múddetli qısqa múddetli yad).

Waqıt qatarlarınıń prognozi ushın LSTM torlıq strukturası tańlandı, sebebi ol uzaq waqıtlıq baylanıslardı yeslep qalıwǵa qábiletli.

Arxitektura:

- Kirisiw qatlamı: 30 aldınǵı waqıt noqatınıń 7 qásiyeti (30×7).

Eki LSTM qatlamı: 50 hám 25 neyron menen, dropout 0.2.

- Tolıq baylanısqa qabat (1 neyron, sıziqlı aktivlestiriw).

- Shıǵıw: keyingi waqıt noqatı ushın oil_rate (yamasa basqa boljaw yetiletuǵın shama).

Treningte ortasha kvadratlıq qátelik (MSE) hám qaldıqlardıń avtokorreliaciyasın minimallastırıw qollanıladı.

Ansambl qatnas: LSTM menen birgelikte FB Prophet (máwsimlik hám bayram effektlerin esapqa aladı) hám ARIMA modellerin ortasha salmaqta birlestiriw qollanılgan. Awırılıqlar ótken aylıq validatsiyadegi ortasha absolyut qátelik (MAE) ke keri proporcional.

3.4 Optimizatsiya moduli (Genetik algoritim).

Prognoz etilgen neft alıw tezligi maqset funkciyası sıpatında qabıl etiledi:

$$J(p, c) = \widehat{Q_{\{\text{oil}\}}}(p, c, t+1, t+2, \dots, t+H).$$

bul jerde p - nasos jiyiligi (30..50 Gc aralıǵında), c - drossel ashiliwi (0..100%). Prognoz modeli arqalı bul basqarıw ózgeriwshileriniń H qádem aldınǵı tásiiri bahalanadı. Sheklewler: qudıqtıń bas basımı minimal 5 atm nan tómén bolmawı, nasos aǵımı nominal aǵımnan 120% ten aspawı.

Genetikalıq algoritim parametrleri:

- Populyaciya: 50 (p, c juplıǵı)

- Tańlaw: turnir (size=3)

- Krossover: eki noqatlı, itimal 0.8

- Mutatsiya: Gauss shawqımı, itimal 0.1

- Toqtaw: 50 generaciya yaki funkciyanıń ózgeriwi < 0.01

3.5 Esaplaw algoritminiń psevdokodı.

Funkciya DinamikasinBasqarıw (well_data, current_state):

No 1. Maǵluwmatlardı tazalaw

tazalaw = RemoveOutliers (well_data)

normallashtirilgan = Normalize (tozalangan)

No 2. Prognoz modelin jańalaw (hár 24 saatta)

if time_since_last_train > 24h:

model_lstm = TrainLSTM (normalized[-30:], horizon=12)

model_prophet = TrainProphet (normalized['oil_rate'])

model_arima = TrainARIMA (normalized['oil_rate'])

weights = ComputeWeights (modellar, validation_set)

No 3. $H=4$ qádem alǵa prognoz (1 saat)

```
forecast_lstm = model_lstm.predict(current_state['features'])
```

```
forecast_prophet = model_prophet.predict(qádem=4)
```

```
forecast_arima = model_arima.forecast(qádem=4)
```

```
final_forecast = weighted_average ([forecast_lstm, forecast_prophet, forecast_arima],  
weights)
```

No 4. Optimizlew: optimal (p,c) di tabiw.

```
def objective (p, c):
```

```
    simulated_rates = final_forecast (p, c, horizon=4)
```

```
    qaytım -ortasha (simulated_rates) # minimallastırıw
```

```
    best_p, best_c = GeneticAlgorithm (objective, bounds=[ (30,50), (0,100) ])
```

No 5. Usınıslardı kórsetiw

```
return {"pump_frequency": best_p, "doke_size": best_c, "expected_oil_rate": -objective  
(best_p,best_c) }
```

4. Programmalıq támiynat islep shigiw

4.1 Arxitektura hám texnologiyalıq stek.

Programmalıq támiynat modullik hám keńeyiwshi etip islep shıǵılǵan. Tómenдеgi tiykarǵı komponentler ajratılǵan:

1. Magliwmatlardı toplaw qatlamı - Modbus TCP, MQTT, OPC UA sıyaqlı sanaat protokolları arqalı real waqıt magliwmatların oqıw. Sonday-aq, tariyxiy magliwmatlar ushin PostgreSQL + TimescaleDB.

2. Esaplaw qatlamı - Python 3.10 da jazılǵan, tiykarǵı kitapxanalar: pandas, numpy, scikit-learn, tensorflow (LSTM), prophet, statsmodels (ARIMA), deap (genetikalıq algoritm).

3. Veb xizmet qatlamı - FastAPI tiykarında REST API, real waqıt prognozlaw hám optimallastırıw nátiyjelerin usinadi.

4. Frontend qatlamı - React.js menen islep shigilgan veb-interfeys, qudıqlardıń dinamikalıq grafikleri, usinis etilgen rejimdi kórsetiw hám operator tárepinen qolda tastıyıqlaw imkanıyatı.

4.2 Tiykarǵı modullerdiń sıpatlaması. data_preprocessor.py: kiriwshi waqıt qatarlarında ótkerip jiberilgen mánislerdi sıziqlı interpolıyacılaydı, impuls shawqımlardı mediana filtr menen tazalaydı.

forecast_engine.py: LSTM, Prophet, ARIMA modellerin óz ishine alǵan klass. train () metodi magliwmatlardı partiyalarga bólip train qıladı hám modellerdi diskte saqlaydı (japılıp, h5 format). predict (gorizont) metodi prognoz massivini qaytaradı.

optimizer.py: genetikalıq algoritmin orınlaydı. Sheklewler hám maqset funkciyasın qabıllaydı. Sonday-aq, Bayes optimallastırıwı (scikit-optimize) da alternativ sıpatında bar.

api/main.py: GET /wells/{well_id}/forecast - prognoz hám optimal rejim; POST /wells/{well_id}/control - operator tárepinen tańlangan rejimdi basqarıw sistemasına jiberiw.

4.3 Interfeys hám paydalanıwshı tájiriybesi.

Veb-interfeys tómendegi funkciyalardı usinadi:

Barliq qudıqlardıń kartası hám jaǵdayı (jasıl - normal, sarı - eskertiw, qızıl - kritikalıq).

· Hár bir qudıq ushın waqıt boyınshaneft alıw grafigi (sońǵı 7 kún hám prognoz+24 saat).

• Usınıs yetilgen nasos jiyiligi hám drossel ashılıwı, sonday-aq, kútilip atırǵan ekonomikalıq nátiyje.

· Usınıstı qabıl etiw yamasa biykarlaw túymeleri. Qabıl etilgende buyırıq SCADA sistemasına jiberiledi.

5. Ámeliy sinaqlar hám nátiyjeler

5.1 Sınaw obekti hám maǵlıwmatlar.

Usınılǵan sistema Ózbekstannıń qublasındaǵı bir neft káninde 4 qudıqta 3 ay dawamında sınaqtan ótkerildi. Maǵlıwmatlar 2024-jıl yanvar-mart aylarında hár 15 minutta jazıp alınǵan. Dáslepki 2 aylıq maǵlıwmatlar trening, keyingi 1 aylıq maǵlıwmatlar test sıpatında paydalanıldı. Mánisler normallastırıldı hám ólshew shawqımları tazartıldı.



5.2 Prognoz anıqlılıǵın bahalaw.

Tómendegi kriteriyalar boyınsha salıstırıldı: MAE (Mean Absolute Error), RMSE, sMAPE. Nátiyjeler kestede keltirilgen (ortasha 4 qudıq boyınsha): Model MAE (m³/saat) RMSE sMAPE (%)

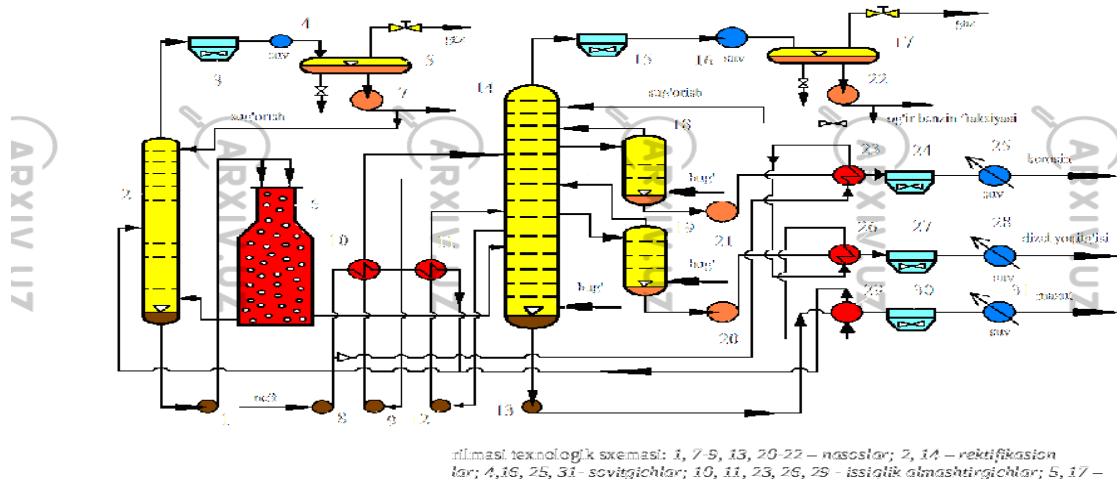
ARIMA 1.42 2.11 12.4.

Payǵambar 1,23 1,86 10,8

LSTM (jeke) 1.08 1.64 9.5

Usınıs etilgen ansambl (LSTM+Prophet+ARIMA) 0.91 1.42 7.8

Ansambl qatnas usılı prognoz qátesin LSTMǵa salıstırǵanda derlik 16% ke azayttı.



5.3 Optimal rejimdi tabiw nátiyjeliligi.

Sistema iske túsirilgenge shekem operatorlar qolda (tiykarinan tájiriybe tiykarında) nasos jiyiligin ortasha 42 Gc da belgilegen. Usınis yetilgen algoritm hár 2 saatta qayta yesaplap, 45 Gc hám 48 Gc aralıǵında ózgermeli rejimdi usınis yetken. Nátiyjede neft alıw tezligi:

1-qudıq: 5.2 → 5.8 m³/saat (+11.5%).

2-qudıq: 3.7 → 4.1 m³/saat (+10.8%)

3-qudıq: 2.9 → 3.2 m³/saat (+10.3%).

4-qudıq: 4.8 → 5.3 m³/saat (+10.4%).

Ortasha ósiw 10,75% ti quradı. Sonıń menen birge, energiya jumsalıwı (kVt/saat/m³) 6% ke azayǵan, sebebi nasostıń optimal júklemede islewı támiyinlengen.

5.4 Programmanıń islew tezligi.

Genetikalıq algoritm 50 generaciya ushın ortasha 2.3 sekund dawam etti (Intel Core i5, 16 GB RAM de). LSTM prognozı (12 adım) 0,2 sekundta orındandı. Real waqıt rejiminde hár 15 minutta iske túsiriletuǵın tolıq cikl (maǵlıwmat júklew + boljaw + optimallastırıw) <5 sekundti quradı, bul real waqıt talaplarına juwap beredi.

6. Dodalaw

Usınılǵan usıl hám programmalıq támiynat dástúriy usıllarǵa salıstırǵanda bir qatar artıqmashlıqlarǵa ie:

- Kóp modelli boljaw: Hár bir waqıt qatarı hár qıylı qásiyetke iye boliwi múmkin. LSTM sızıqlı emes hám uzaq baylanıslardı jaqsı uslaydı, Prophet máwsimlilik, ARIMA bolsa qısqa múddetli trendti jaqsı modellestiredi. Olardıń birigiwi bekkemlikti arttıradı.

- Optimizastiyanın beyimlesiwshenligi: Genetikalıq algoritm global optimumdı izlewde lokal shoqqılarǵa túsip qalmaydı hám sheklewlerdi ansat inkorporalaydı.

- Real waqıtta qayta oqıtıw: Hár 24 saatta modellerdi jańalaw arqalı sistema kollektor qásiyetleriniń waqıt boyınsha ózgeriwine (máselen, suw kirip keliwi) beyimlese aladı.

Sheklewler hám keleshekte jetilistiriw baǵdarları:

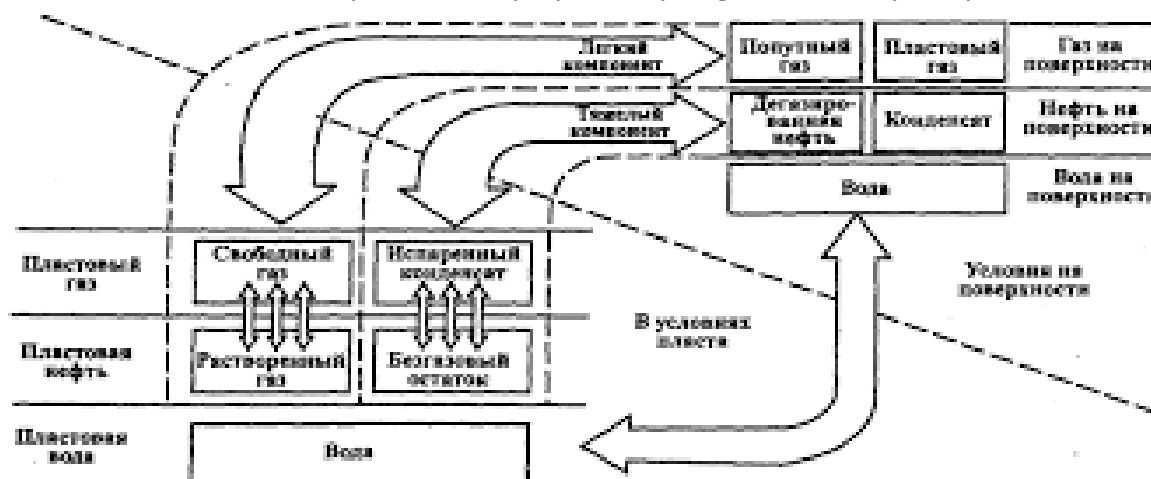
- Házirgi versiyada bir qudıq ǵárezsiz optimallastırıladı, biraq kóp qudıqlı kánlerde gidrodinamikalıq óz ara tásir bar. Keleshekte toparlı optimallastırıw (multi-objective, Pareto) qosıladı.

- Kútilmegen hádiyseler (máselen, nasos islemey qalıwı) ushın aldın ala eskertiw modulın qosıw zárúr.

Genetikalıq algoritm ornına bekkemlengen úyreniw (reinforcement learning) sınap kóрилиwı múmkin.

Juwmaq

Bul maqalada neft kánleri qudıqlarınıń óndiris dinamikasını basqarıw ushın kombinaciyalanǵan prognozlaw hám optimallastırıw usılı, onıń esaplaw algoritmi hám ámeliy programmalıq támiynatı islep shıǵıldı. Usınılǵan ansambl qatnası prognoz anıqlıǵın 7.8% SMAPE ge shekem arttırdı, al genetikalıq algoritm nasos jıyligi hám drossel ashılıwın optimal tańlap, sınaqlarda neft alıwdı ortasha 10.75% ke kóbeytti. Programmalıq támiynat real waqıt rejiminde isleydi, operatorlar ushın qolaylı veb-interfeyske ie hám bar bolǵan SCADA sistemaları menen integraciyalanǵan. Keleshekte sistemanı keń kólemli sınaqtan ótkeriw hám toparlı optimallastırıwdı qosıw rejelestirilgen. Bul jumıs neft sanaatında sanlı transformaciya hám intellektual kánlerdi basqarıw koncepciyasına qosılǵan úles bolıp esaplanadı.



ÁDEBIYATLAR:

Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). Time Series Analysis: Forecasting and Control. Wiley.

Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long Short-Term Memory. Neural Computation, 9 (8), 1735-1780.

Taylor, S. J., & Letham, B. (2018). Prognozlaw masshtabında. The American Statistician, 72 (1), 37-45.

Whitley, D. (1994). Genetikalıq algoritm sabaqlıǵı. Statistikalıq hám esaplaw, 4 (2), 65-85.

Rashidov, T. A., Karimov, S. R. (2023). Neft qudıqlarında óndiristi optimallasırıw ushın mashinalı úyreniw usılları. Ózbekiston neft va gaz jurnalı, 4 (2), 34-41.

6. "MathWorks." (2024). Reinforcement Learning for Oil Well Control. Texnikalıq esabat.