

# AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

*Əlyazması hüququnda*

## **MANCANAQ DƏZGAHIN TEZLİKLƏ İDARƏ OLUNAN DƏYİŞƏN CƏRƏYAN ELEKTRİK İNTİQALI**

İxtisas: 3340.01 “Elektrotexniki sistemlər və komplekslər”

Elm sahəsi: Texnika

İddiaçı: **Yaşar Sabir oğlu Əkbərov**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş  
dissertasiyanın

### **AVTOREFERATI**

**BAKI-2021**

Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin  
“Elektromexanika” kafedrasında yerinə yetirilmişdir

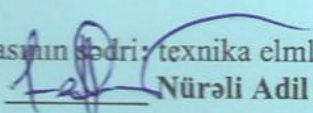
Elmi rəhbər: texnika elmləri doktoru, professor  
**Eldar Mehdi oğlu Fərhadzadə**

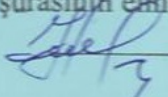
Rəsmi opponentlər: texnika elmləri doktoru, professor  
**Qədir Ağa oğlu Əbdülrəhmanov**

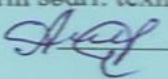
texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent  
**Elşən Fəxrəddin oğlu Sultanov**

texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent  
**Nadir Mirzəbala oğlu Hacıbalayev**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya  
Komissiyasının Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti  
nəzdində fəaliyyət göstərən ED2.04 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:  texnika elmləri doktoru, professor  
**Nürəli Adil oğlu Yusifbəyli**

Dissertasiya şurasının elmi katibi: texnika elmlər məmuru, dosent  
 **Şükür Nəriman oğlu Nəsirov**

Elmi seminarın sədri: texnika elmləri doktoru, professor  
 **Yaşar Ruhulla oğlu Abdullayev**

## İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

### **İşin aktuallığı:**

Yeni neft yataqlarının işlənməsi ilə yanaşı, köhnə neft yataqlarının effektiv istismarının yüksəldilməsi, həmin quyularda uzunmüddətli neft hasilatının stabilləşdirilməsinə nail olmaq bu gün ən aktual məsələlərdəndir.

Belə quyuların istismarı üçün dərinlik nasos qurğularının (DNQ) işinin optimal rejimlərinin təyini məqsədilə sistemli tədqiqatlar aparmaq tələb olunur.

DNQ-nin tənzimlənən elektrik intiqalları yüklənmə xarakterindən və iş şəraitindən asılı olaraq aşağıdakı tələblərə cavab verməlidir:

1. Böyük işəburaxma momentinə malik olmalıdır.
2. İşəburaxma cərəyanı az olmalıdır.
3. Elektrik mühərriki cərəyanının sinusoidalığı təmin olunmalıdır.
4. Elektrik mühərrikinin qidalanma gərginliyinin tezliklə səlis tənzimi təmin edilməlidir (1:20 diapazonunda).
5. Elektrik intiqalı etibarlı və sadə idarəetmə sisteminə malik olmalıdır.
6. Yüksək energetik və iqtisadi göstəricilərə malik olmalıdır.
7. Qidalanma gərginliyinin tezliyinin istənilən qanunla dəyişilməsi təmin edilməlidir.

Yuxarıda göstərilən problemlərin həlli üçün “elektrik intiqalı-mancaq dəzgağı-ştanqlı dərinlik nasos qurğuları” (Eİ-MD-ŞDNQ) sisteminin elektrotexniki hissəsinin təkmilləşdirilməsini və həmçinin avadanlıqların enerji tələbatının aşağı düşməsinə, onların xidmət müddətinin artırılmasını təmin edən yeni üsulların işlənilməsi aktual və perspektivli istiqamətlərdən sayılır. Belə tələblərə cavab verən elektrik intiqalları azdebitli və ortadebitli quyularda tətbiq olunduqda onlardan daha yüksək iqtisadi göstəricilər əldə etmək olar.

Hal-hazırda neft çıxarma sənayesində neftin yer səthinə çıxarılması üçün ən çox yayılmış və istifadə olunan ŞDN qurğularıdır. Bu üsulla ümumi çıxarılan neft 50% təşkil edir. Bəzi hallarda bu rəqəm 80%-ə çatır<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Вагапов С.Ю. Скважинные насосные установки для добычи нефти

Ona görə də hal-hazırda ŞDN qurğular vasitəsilə neft hasilatına böyük əhəmiyyət verilir. Bu məqsədlə qurğunun istismar xarakteristikalarının yaxşılaşdırılması, elektrik enerjisi sərfiyyatının aşağı salınması və avadanlıqların xidmət müddətinin artırılması kimi qarşıya çoxlu məsələlər qoyulur.

Ştanqlı dərinlik nasos qurğuları (ŞDNQ) əsasən yüksək özlülüyə malik neftin çıxarılmasında tətbiq olunur. Bunun üçün əsasən balansır tipli mancanaq dəzğahlarından (MD) istifadə olunur.

Bu üsulla neft çıxarılmasında ştanqlı dərinlik qurğularında tezliklə tənzimlənən elektrik intiqalının tətbiqi məqsədə uyğun sayılır. Hansı ki, sürətin geniş diapazonunda MD-nin çarxqolunun fırlanan valının ani və orta sürətlərinin səliss tənzimlənməsi mümkünlüyü, nəticə etibarlı ilə qurğunun enerji qənaətliliyinin təminatına çox yaxşı imkan yaradır. Bütün sadaladığımız üstünlüklərə baxmayaraq tezliklə tənzimlənən elektrik intiqalı (TTEİ) hal-hazırda da ştanqlı dərinlik qurğularının intiqalı timsalında geniş tətbiq olunmamışdır. Tezliklə tənzimlənən elektrik intiqallarının bu qurğularda tətbiq olunmamasının əsas səbəbi mancanaq dəzğahı-ştanqlı dərinlik qurğusu sistemində cərəyan edən kinematik, dinamik və energetik proseslərinin kompleks tədqiqinin çox az araşdırılması kimi izah olunur. Ona görə neft hasilatı sənayesində tezliklə tənzimlənən elektrik intiqalının ştanqlı dərinlik nasos qurğularının intiqalı timsalında geniş tətbiq olunması ən aktual məsələlərdəndir.

Müasir TÇ-in həm qiymətinin aşağı olması və həm də onlarda yeni tipli İGBT tranzistorlarının tətbiqi, bu tip TÇ-nin istehsalatın müxtəlif sahələrində, o cümlədən neftçıxarılmasında da geniş yayılmasına imkan yaranmışdır.

### **İşin məqsədi:**

Tezliklə tənzimlənən elektrik intiqalı-mancanaq dəzğahı-ştanqlı dərinlik nasos qurğusu (TTEİ-MD-ŞDNQ) sisteminin avtomatik idarəetməsinin və avadanlığın energetik effektivliyinin yüksəldilməsini təmin edən metod, sistem və alqoritmlərin işlənməsi və araşdırılması.

**Qoyulmuş məqsədə müvafiq olaraq dissertasiya işində aşağıdakı əsas məsələlər həll olunmuşdur:**

1. Tezliklə idarə olunan elektrik intiqalı - mancanaq dəzğahı – ştanqlı dərinlik nasos qurğusu sisteminin kinematik, dinamik,

elektromexanik proseslərinin riyazi modelinin işlənməsi.

2. Mancanaq dəzğahının balansirinin yellənməsi dövrü ərzində qurğunun elektrik mühərrikinin valının fırlanma tezliyinin ani dəyişməsi şəraitində sistemin elementlərində baş verən proseslərin təhlili.

3. Tezliklə idarə olunan elektrik intiqalının köməyi ilə ştanq asılqanı nöqtəsinin qanunlarının energetik və dinamik xarakteristikalarının tədqiqi.

4. Mancanaq dəzğahında sürət və təcilin əlavə qiymətlərində, çarx-qolunun vəziyyətinin proqramlı idarəetmə əsasında ştanq asılqanı nöqtəsi (ŞAN) hərəkətinin verilən qanununu minimum xəta ilə təmin edilməsi.

5. ŞAN hərəkətinin verilən qanunları ilə sürtünmə, ətalət, uzununa rəqslər hesabına yaranan qüvvələrin maksimal qiymətlərinin aşağı düşməsinə təmin etməklə qurğunun elementlərində maksimal yükün aşağı salınmasına və elektrik mühərrikinin yük diaqrammasının hamarlanmasına nail olunması.

### **İşin elmi yeniliyi:**

1. Tezliklə tənzimlənən elektrik intiqalı - mancanaq dəzğahı – ştanqlı dərinlik nasos qurğusu sisteminin dinamiki və energetik xarakteristikalarının qiymətləndirilməsinə imkan verən riyazi və fiziki modelləri işlənməmişdir.

2. Ştanqlı dərinlik nasos qurğusu ilə neft çıxarılması rejiminin optimal idarə edilməsinə imkan verən tezlik çeviricisi vasitəsilə birbaşa momentlə vektorla idarəedilmənin riyazi modeli işlənməmişdir.

### **Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:**

Müasir ŞDNQ elektrik intiqalı tiplərinin və onların idarəetmə sistemlərinin müqayisəli təhlillərinin aparılması.

2. Tezliklə tənzimlənən elektrik intiqalı-mancanaq dəzğahı-ştanqlı dərinlik nasos qurğusu sisteminin elementlərində baş verən kinematik, dinamik və elektromexanik prosesləri nəzərə alan riyazi modellərin araşdırılması.

3. Ştanq asılqanı nöqtəsinin hərəkət qanununun təyini ilə ştanqlı dərinlik nasos qurğusunun (ŞDNQ) elementlərində qüvvələrin maksimal qiymətlərinin aşağı salınmasının təmin olunması.

4. Qurğunun elementlərində qüvvələrin maksimal qiymətlərinin zəiflədilməsi və habelə quyu debiti ilə nasosun məhsuldarlığının

qorunması üçün quyuda neftin dinamik səviyyəsinin verilmiş səviyyədə saxlanması məqsədilə ştanq asılqanı nöqtəsinin tələb olunan hərəkət qanununun təminatını ödəyən ŞDNQ-nin tezliklə tənzimlənən elektrik intiqalı idarəetmə sisteminin araşdırılması və tədqiqi.

5. Ştanq asılqanı nöqtəsinin hərəkətinin parametrlərinin və manca naq dəzğahının balansirinin əyilmələrinin bucaq qiymətlərinin idarəetmə sistemlərində (ştanq asılqanı nöqtəsinin vəziyyətlərinə görə) əks rəbitənin təşkili ilə araşdırılması.

6. Texnoloji parametrlərlə idarəetmə sistemində əks əlaqənin təşkili üçün quyuda neftin dinamik səviyyəsinin təyini metodlarının araşdırılması.

### **Əsaslandırılma və dürüstlük:**

Dissertasiya işi fundamental dəyişən cərəyan elektrik maşınları nəzəriyyəsi, avtomatlaşdırılmış elektrik intiqalı nəzəriyyəsi, nəzəri mexanika, maşın və mexanizmlər nəzəriyyəsi bazasından istifadə edilərək təstiqini tapmışdır. Bununla yanaşı riyazi və imitasiya modelləşmələrin nəticələrinin laboratoriya stendində və sənaye obyektində (mədəndə) eksperimental tədqiqatların nəticələri ilə uyğun gəlməsi də təsdiqlənmişdir.

### **İşin praktiki dəyəri:**

1. ŞDNQ - TTEİ ştanq asılqanı nöqtəsinin hərəkət qanunlarını təmin edən idarəetmə sisteminin işlənməsi.

2. Tədqiqatın metodunun seçilməsi, “elektrik intiqalı-manca naq dəzğahı-ştanqlı dərinlik nasos qurğusu” sistemi elementlərinin riyazi və imitasiya modellərinin işlənməsi.

3. ŞDNQ dinamik və energetik xarakteristikalarının tədqiqi.

4. TTEİ -ŞDNQ-nın idarəetmə alqoritmi və sistemlərinin tədqiqi.

### **İşin aprobasiyası:**

-“Azərbaycan 2020: neft-qaz sənayesinin inkişaf perspektivləri” adlı elmi-praktiki konfransın materialları, (Bakı, ADNA, 2013)

-Azərbaycan Neft və Sənaye Universitetində keçirilmiş “Bərpa olunan enerji mənbələri” adlı Beynəlxalq elmi konfransın materialları,(Bakı, 2018)

### **Nəşrlər:**

Dissertasiya işi üzrə müəllif tərəfindən 9 məqalə (onlardan ikisi xaricdə) və 3 konfrans materialı dərc olunmuşdur.

## İşin strukturu və həcmi:

Dissertasiya işi 135 səhifə mətn hissədən, o cümlədən girişdən, dörd fəsildən, nəticələrdən və əlavələrdən ibarətdir. Bura həmçinin 38 şəkil, bir cədvəl və 121 adda ədəbiyyat siyahısı daxildir.

## İŞİN QISA MƏZMUNU

Dissertasiyanın girişində mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatın əsas məqsədi və məsələləri müəyyən edilmiş, işin elmi yeniliyi, praktik əhəmiyyəti, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar və dissertasiyanın əsas bölmələrinin qısa məzmunu verilmişdir.

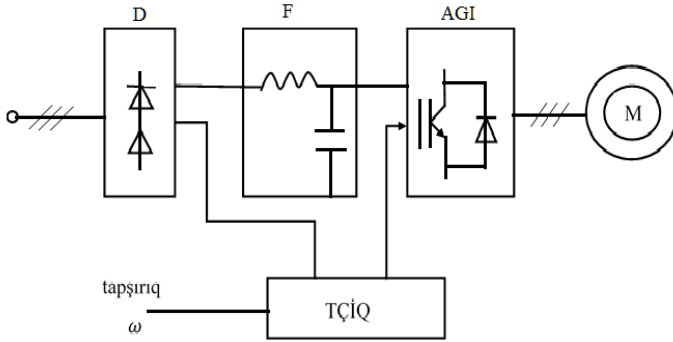
**Birinci fəsil**ə müasir dərinlik nasos qurğuları elektrik intiqallarının müqayisəli təhlili və onlar haqqında geniş məlumat verilmişdir. Yükün növündən asılı olaraq gərginlik və tezliyin idarəetmə qanunları müxtəlif formada olur. Məsələn, sabit yük momentində ( $M_s = const$ )  $\frac{U_1}{f_1} = const$  formasını alır. Gücün sabit halında  $\frac{U_1^2}{f_1} = const$ , “ventilyator” yüküdə isə  $\frac{U_1}{f_1^2} = const$  olur. Beləliklə, asinxron mühərrikin tezliklə idarəedilməsi prinsipini həyata keçirmək üçün, verilən qanunlara uyğun olaraq və yükün növünü nəzərə alaraq mühərrikin statoruna verilən gərginliyini idarə etmək lazımdır, bu isə öz növbəsində qidalanma tezliyinin dəyişməsi ilə qarşılıqlı əlaqəlidir [11]. Bu məqsədlə tezliklə tənzimlənən asinxron mühərriklərin mexaniki xarakteristikaları, onların idarə etmə metodları və üstünlükləri təhlil edilmişdir. Mühərrikin yük dəyişmə qabiliyyətini qoruyub saxlayan tezlik çeviricisi-asinxron mühərriki (TÇ-AM) intiqalının mexaniki xarakteristikalarının təhlili göstərir ki, energetik göstəricilərinin tənzimini və mexaniki xarakteristikaların optimallığını təmin etmək üçün tezliklə tənzimlənən elektrik intiqalının (TTEİ) strukturunu TÇ və sabit cərəyan aralığı bəndi olması əsasında seçmək lazımdır (şək.1).

Qoyulmuş çıxış gərginliyi yüksək harmonik tezliyi EİM-tezliyi ilə təyin edilir<sup>2</sup>. Ona görə də AGİ-nin gərginliyinin yüksək harmonik amplitudasının xeyli pilləvari olmasına baxmayaraq, aktiv-induktiv

---

<sup>2</sup> Уланов Р.В., Шумяцкий В.М., Способы формирования напряжения в непосредственных преобразователях частоты

yükün cərəyanı praktiki olaraq sinusoidal forma alır.



Şək. 1. Tezliklə tənzimlənən elektrik intiqalı D-düzləndirici, F-filtr, AGİ-avtonom gərginlik invertoru, TÇİQ-tezlik çeviricisinin idarəetmə qurğusu.

Mancanaq dəzgahının tənzimlənən dəyişən cərəyan elektrik intiqalının idarəedilməsi işini asanlaşdırmaq məqsədilə idarəetmə stansiyası quraşdırılır ki, bu da öz növbəsində dərinlik nasos qurğusunun avtomatik idarə edilməsini təmin edir. İdarəetmə stansiyası ştanqlı dərinlik nasos qurğularının (ŞDNQ) texnoloji avadanlıqlarının istisnar xarakteristikalarından və quyunun parametrlərindən asılı olaraq dəyişən cərəyan elektrik mühərrikinin (mancanaq dəzgahı intiqalı) valının idarəedilməsi, mühafizəsi və fırlanma tezliyinin səliss tənzimi üçün hazırlanmışdır. Mancanaq dəzgahının işi bir yellənmə ardıcılığına bərabər tsikl müddəti və yükün dəyişmə qrafiki ilə xarakterizə olunur. Yük qrafikinin çox böyük nahamarlığı nəticəsində gücün maksimum və ortakvadratik qiyməti artır, bu işə elektrik mühərrikinin qoyulmuş gücünün artmasına və onun energetik göstəricilərinin pisləşməsinə səbəb olur.

Dinamiki xarakterli yükün əmələ gəlməsinin əsas səbəbi, plunjerin aşağı və yuxarı hərəkətinin başlanğıc momentində yaranan ştanq vibrasiyaları və maye sütunu yükünün tez-tez dolması və boşalmasıdır. Ona görə də statik yük şəraitində ŞAN-dəki dinamogramma dinamiki yük şəraitində təhrif olunur.

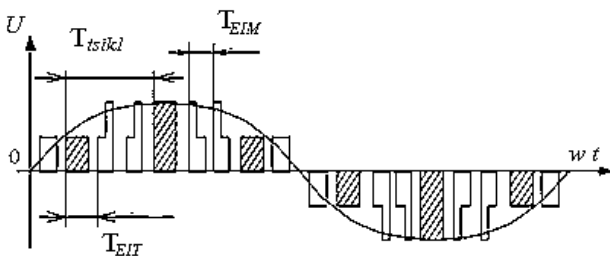


Boşalma periodunun qurtarması zamanı, aşağı hərəkətdə deforma-siyanın sonunda dinamiki xarakterli əlavə yüklərin olması ştanqlara düşən yüklərin minimumlaşmasına gətirib çıxarır.

Qarşıya qoyulan əsas məsələ neft çıxarılmasının stabiləşdirilməsi, iş rejiminin optimallaşdırılması, ştanqlı dərinlik nasos qurğularının avadanlıqlarının təmir arası müddətinin çoxaldılması, mancanaq dəz-gahı elektrik intiqalının yük qrafikinə yetərincə hamarlaşdırılması və beləliklə də eyni zamanda ştanqlara düşən maksimum yükün və onun amplitudasının məhdudlaşdırılmasını təmin etməkdir. Bu bütün tipli mancanaq dəzqahları və digər neftçıxarılma rejimləri üçün eyni olan xüsusi qurğunun köməyi ilə həyata keçirilir. Qarşıya qoyulan məsələni həll etmək üçün bu qurğu bir idarəetmə formasında olub, həm ştanqlardakı güc funksiyalarının əks əlaqəsinin tətbiqini, həm də mü-hərrikin yük cərəyanının və mancanaq dəzqahının hərəkətinin tezlik çeviricisi sistemində vericilərin idarə olunmasını təmin edir.

**İkinci fəsildə** Tezlik çeviricisi - elektrik intiqalı - mancanaq dəzga-hı (TÇ-Eİ-MD) sisteminin riyazi modeli verilmişdir. Bunun üçün əvvəlcə asinxron mühərrikin (AM) riyazi modeli təyin edilmişdir.

Sonra vektor idarəetməsi haqqında araşdırma aparılmış, tezlik çə-viricisi (TÇ) çıxış gərginliyinin formalaşdırılmasının təhlili verilmiş-dir. Eninə impuls tənzimləyicisi (EİT) və eninə impuls modulyasiya-sının (EİM) birlikdə tətbiqində hər iki üsulun üstünlüklərindən istifadə edilir. EİT-də yüksək tezliklərdə, EİM-də isə əksinə, aşağı tezliklərdə yaxşı keyfiyyətli çıxış gərginliyi alınır. EİT və EİM-in birlikdə tətbi-qinin iş prinsipi şəkil 2-də aydınlaşır.



Şək. 2. EİT və EİM -in birlikdə tətbiqi ilə birlikdə iş prinsipi.

Çıxış tezliyinin yenidən qurulması  $T_{EİT}$  -in dəyişməsi və  $T_{EİM}$  -in periodlar sayının bir tsikl ərzində dəyişmələri hesabına həyata keçirilir. Bunun üçün belə bir şərt qəbul olunur. Çıxış gərginliyinin hər periodunun tsikli tam  $T_{EİM}$  intervalı ilə dolur, qalan tsikl isə  $T_{EİT}$  məsafə intervalı ilə təyin olunur. Araşdırmaların nəticələrinə görə ən çox istifadəyə yararlı olan EİT və EİM -in birlikdə tətbiqi metodu daha səmərəli üsul sayılır.

Müasir tezliklə tənzimlənən elektrik intiqalları (TTEİ) q.q.rotorlu asinxron mühərrikindən (AM) və sabit cərəyan aralıq bəndi olan statik tezlik çeviricisindən (TÇ) ibarətdir. TÇ sabit gərginliyi sabit cərəyan aralıq bəndi vasitəsilə tezliyi və amplitudası dəyişilə bilən gərginliyə çevirir. Gərginliyin tezliyini və amplitudasını dəyişməklə statorun maqnit sahəsinin fırlanma tezliyini dəyişmək mümkün olur ki, bu da son nəticədə elektrik mühərrikinin valının fırlanma tezliyinin dəyişməsinin mümkünlüyünə gətirib çıxara bilər. Hal-hazırda q.q.rotorlu AM-in tezliklə idarədilməsinin aşağıdakı qanunları mövcuddur: - Skalyar idarəetmə; - Vektor idarəetmə (ing.FOC);- Birbaşa momentlə idarəetmə (ing.DTC).

Müasir TÇ-ləri elektrik mühərrikinin idarədilməsinin bir neçə qanunları ilə işləmək qabiliyyətinə malikdirlər. Bunun üçün onlarda proqramlı çeviricilər quraşdırılıb.

Geniş yayılmış idarəetmə üsullarından biri skalyar idarəetmədir. Bu metod əsasən kompressor, ventilyator, nasos və bir çox başqa mexanizmlərdə tətbiq olunur. Belə ki, bu mexanizmlərdə əsasən sürətin ya da ki, başqa bir texnoloji parametrin müəyyən bir səviyyədə saxlanması vacibliyi tələb olunur. Skalyar idarəetmə sayəsində gərginliyin tezliyinin dəyişməsindən asılı olmayaraq, AM-in artıq yüklənmə qabiliyyətinin sabitliyini təmin etmək olur. Buna baxmayaraq kiçik tezliklərdə mühərrikin momentinin aşağı düşməsi baş verir. Skalyar idarəetmədə elektrik mühərrikinin fırlanma tezliyinin tənzimi diapazonunun maksimal qiyməti (müqavimət momentinin itkisini nəzərə almadan) 1:10 qiymətini aşmır. AM-in skalyar idarədilməsi iki çatışmamazlığa malikdir. Birincisi-əgər valda verici quraşdırılmayıbsa, onda sürətin tənzimi mümkün olmur. İkincisi- mühərrikin valındakı momentin qiymətinin tənzim olunmamasıdır. Bundan başqa skalyar idarəetmədə həm sürətin tənzimi həm də momentin tənzimi eyni

zamanda mümkün deyil. Ona görə də texnoloji tələbatdan asılı olaraq, bu iki parametrdən biri tənzim olunur.

Müasir elektrik intiqallarının idarəetmə sistemləri özündə mühərrikin riyazi modelini cəmləşdirir. Bu riyazi model həm fırlanma tezliyinin, həm də momentin hesabətını verir. Lazım olunan vericilər əvəzinə isə, yalnız bir verici – mühərrikin statorunun faz cərəyan vericisi quraşdırılır.

Xüsusi hazırlanmış idarəetmə sisteminin strukturu əsas parametrlərin – valın momentinin və valın fırlanma tezliyinin tənzimlənməsini təmin edir.

Bu gün AM-in vektor idarəedilməsinin aşağıdakı sistemləri mövcuddur:

- Vericilərsiz – mühərrikin valında sürət vericisi olmayan sistem.
- Sürətə görə əks əlaqəsi olan sistem.

Vektor idarəetmə metodu tətbiq olunma yerinə görə təyin olunur. Əgər sürətin ölçmə diapazonu 1:100 həddini aşmırsa və dəqiqliyə görə tələbat  $\pm 1,5\%$  - dirsə onda vericisiz idarəetmə sistemi tətbiq olunur. Əgər sürət diapazonu 1:10000-dən çox həddindədirsə, dəqiqlik səviyyəsi isə  $\pm 2\%$  (1Hs həddində fırlanma tezliyində), yaxud valdakı momentin tənziminin aşağı tezliklərdə həyata keçirilməsi tələb olunursa, onda sürətə görə əks əlaqəli sistem tətbiq olunur.

Mikroprosessor texnikasının və güc elektronikasının element bazasının inkişafı sayəsində Direct Torque Control (DTC) – birbaşa momentlə idarəetmənin (BMİ) həyata keçməsinə səbəb oldu.

Asinxron mühərrikin birbaşa momentlə idarəsi (BMİ) araşdırılmışdır. BMİ sisteminin həyata keçməsi funksional sxemi şəkil 3-də verilmişdir. Bu sxem iki idarəetmə kanalına malikdir:  $\omega^*$ -fırlanma tezliyi və statorun  $|\Psi_1|^*$ -selişişməsi modulu.

Sürət kanalı kimi idarəetmədə intensiv tapşırıq verən (İT) qoyulmuşdur. Bu kanal qovma zamanı təcilin çoxalması və azalmasını məhdudlaşdırır. Təcilin məhdudlaşdırılması avtonom gərginlik invertorunda (AGİ) yükün azaldılması üçün hökmən lazımdır. Sürət artanda İT, AGİ-də cərəyanı məhdudlaşdırır, sürət aşağı düşəndə isə enerjini səpələyir yaxud mənbəyə qaytarır. Həddindən artıq tənzimləməni aradan qaldırmaq üçün İT-nin çıxışında F filtri qoymaq məqsədəuyğundur.



eyniləşdirilməsidir. Belə ki, bu kəmiyyət sonrakı bütün hesabatlarda istifadə olunur. Bu kəmiyyət inteqrallamadan təyin olunur. Bu əməliyyat isə prinsip etibarı ilə səhvlərin üst-üstə yığılmasına gətirib çıxarır. İndiki halda səhvlərin əmələ gəlməsi mənbəyi statorun aktiv müqaviməti  $r_1$ -in qeyri-dəqiq təyin olunmasıdır. Bu isə əsasən AM-in iş prosesində qızma təsirindən əmələ gəlir və DTC sisteminin iş qabiliyyətinin 10% itkisinə səbəb olur.

Tədqiqata əsasən müəyyən olunmuşdur ki, asinxron mühərrikin birbaşa momentlə idarədilməsi metodunun üstünlüyü yüksək dinami-ki xarakteristikaların qorunması ilə TÇ-nin çıxışında ən yaxşı, keyfiyyətli parametrlərin alınmasının təmin edilməsidir<sup>3</sup>.

BMİ metodunun ən başlıca ideyası ondan ibarətdir ki, hesabatın hər addımında inverter gərginliyinin optimal vəziyyəti təyin olunur. Bu isə öz növbəsində həm momentin dəyişməsinə, həm də statorun selişişməsinin lazımı istiqamətdə dəyişməsinə təsir edir. Nəticədə AM-in momentinin və selinin iki idarəetmə kanallarına bölünməsinə nail olunur. Bu idarəetmə üsulu gərginliyə uyğun olaraq cərəyanın və maqnit selinə görə momentin idarədilməsi prinsipinə əsaslanır.

Mancanaq dəzgahi (MD) asinxron mühərrikinin (AM) mexaniki və elektromexaniki xarakteristikalarının qurulması üçün MD-nın riyazi modelini cərəyan və momentin düsturlarına əsasən MATLAB proqramının Simulink altpaketindəki blokların köməyi ilə qurulmuşdur.

$$\dot{I} = U_{1n}\gamma \sqrt{\frac{a^2 + (1 + \tau_2)^2 S_m^2}{(b^2 + c^2 f_*^2) S_m^2 + 2r_1 r_2' f_* S_m + (d^2 + e^2 f_*^2) r_2'^2}} = 220 \cdot \gamma \times$$

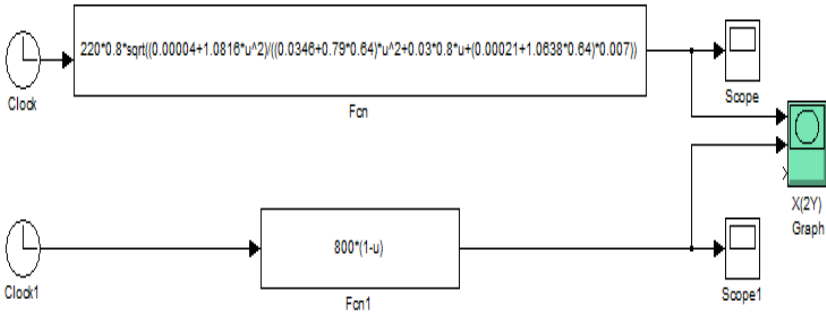
$$\times \sqrt{\frac{0.00686^2 + (1 + 0.04_2)^2 S_m^2}{(0.186^2 + 0.89^2 f_*^2) S_m^2 + 2 \cdot 0.179 \cdot 0.084 \cdot f_* S_m + (0.0146^2 + 1.0314^2 f_*^2) \cdot 0.084^2}}$$

Yuxarıdakı düstur Matlab/Simulink proqramı üçün belə ifadə edilir:

$$220 * \gamma * \text{sqrt}((0.00004 + 1.0816 * u^2) / ((0.0346 + 0.79 * f_*^2) * u^2 + 0.03 * f_* * u + (0.00021 + 1.0638 * f_*^2) * 0.007))$$

<sup>3</sup> Терехин В.Б. Моделирование систем электропривода в симулинк (Matlab 7.0.1.)

Bu ifadədəki qiymətləri Matlab/Simulinkdə nəzərə almaqla riyazi model qurulmuşdur (şək. 4). Hər dəfə gərginliyin nisbi qiymətini və mühərrikin fırlanma sürətinin qiymətlərini dəyişməklə, bir koordinat sistemində elektromexaniki xarakteristikalarının müxtəlif formalarını almış olarıq. Hesabatlar altı variantda aparılmışdır.



Şək. 4. MATLAB proqramının Simulink altpaketində elektromexaniki xarakteristikalar üçün riyazi model

MD elektrik intiqalının mexaniki xarakteristikasını qurmaq üçün mexaniki xarakteristikanın düsturundan istifadə edilmişdir<sup>4</sup>.

$$M = \frac{3 \cdot U_{1n}^2}{\omega_{1n}} \cdot \gamma^2 \cdot \frac{r_2' \cdot S_m}{(b^2 + c^2 f_*^2) S_m^2 + 2r_1 r_2' f_* S_m + (d^2 + e^2 f_*^2) r_2'^2} = 1387 \cdot \gamma^2 \times$$

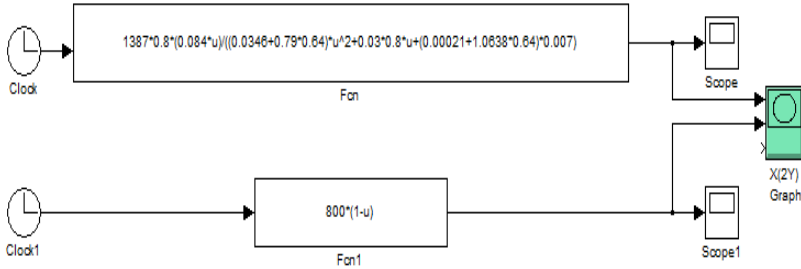
$$\times \frac{0.084 \cdot S_m}{(0.186^2 + 0.89^2 f_*^2) S_m^2 + 2 \cdot 0.179 \cdot 0.084 \cdot f_* S_m + (0.0146^2 + 1.0314^2 f_*^2) \cdot 0.084^2}$$

Yuxarıdakı düstur Matlab/Simulinkdə belə ifadə edilmişdir:

$$1387 * \gamma^2 * (0.084 * u) / ((0.0346 + 0.79 * f_*^2) * u^2 + 0.03 * f_* * u + (0.00021 + 1.063 * f_*^2) * 0.007)$$

<sup>4</sup> Терехин В.Б. Моделирование систем электропривода в симулинк (Matlab 7.0.1.)

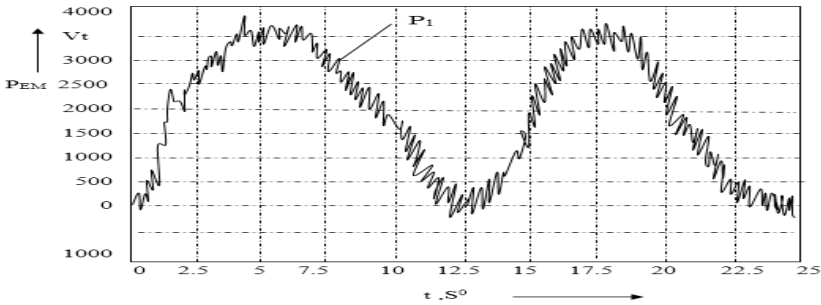
Bu qiymətləri Matlab/Simulinkdə qurduğumuz sxemdə yerinə yazıb yeni model və mühərrikin mexaniki xarakteristikaları alınmışdır (şək.5).



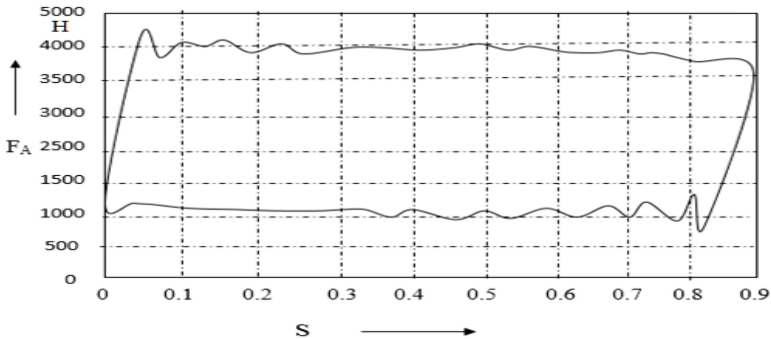
Şək. 5. MATLAB proqramının Simulink altpaketində mexaniki xarakteristikalar üçün riyazi model

Ştanqlı dərinlik nasos quğusunun iş prosesində əsas nəzarətdə olan parametrlər dinamoqramma və vattmetroqrammadır. Dinamoqramma yükün quyuağzındakı ştokun gediş uzunluğundan asılılıq diaqrammasıdır. Nəzəri dinoqramma real şəraitdə olan sürtünmə, ətalət və dinamiki qüvvələri nəzərə almıyan ideal bir dinomaqrammadır. Bu qüvvələrin hesabına nəzəri dinamoqrammanın düz xəttləri real dinamoqrammaya xas olan dalğa şəkilli bir əyriyə çevrilir. Bundan başqa nəzəri dinamoqrammada ştanq nasosu silindrinin tam dolması ehtimal olunur, yəni nasosun dolma əmsalı 1-ə bərabər götürülür. Hansı ki, real şəraitdə bu heç vaxt belə olmur (nasusun dolma əmsalı həmişə 1-dən kiçik olur). Vattmetroqramma isə ştanqlı dərinlik nasos qurğusunun gücünün ştanqların vəziyyətindən asılılığıdır. Dinamoqrammadan fərqli olaraq vattmetroqramma xüsusi vericilərin tətbiqi ilə əlaqəli deyil. Bunun üçün yalnız cərəyana və gərginliyə nəzarət etmək kifayətdir. Vattmetroqramma metodunun köməkliyi ilə aşağıdakıları təyin etmək olar: nasosun işçi vəziyyətini, mancañaq dəzgahının tarazsızlaşma dərəcəsini, mənfi qüvvələrin əmələ gəlməsini, hansı ki, reduktorun vaxtından qabaq sıradan çıxmasına səbəb olur, mancañaq dəzgahının ayrı-ayrı elementlərinin vəziyyəti və yeyimə dərəcəsi, qayış ötürməsinin vəziyyətini, elektrik mühərrikinin yüklənmə dərəcəsi.

cəsini<sup>5</sup>. Ona görə də riyazi imitasiya modelləri arasındakı uyğunluğu yoxlamaq üçün eksperimental vattmetroqramma və dinamoqramma ilə onların quyudakı ölçü ilə götürülmüş hesabi qiymətlərinin müqayisəsini həyata keçirmək lazımdır. Bunun üçün mədəndə işlək quyuda dinamoqramma və vattmetroqrammanın eksperimental qiymətləri götürülmüşdür. Şəkil (6, 7) – də dinamoqramma və vattmetroqrammanın eksperimental qiymətləri üçün qrafikləri verilmişdir.



Şək. 6. Eksperimental vattmetroqramma



Şək.7. Eksperimental dinamoqramma

Aparılmış təhlilin gedişi göstərir ki, eksperimental dinamoqrammanın qiymətinin hesabi qiymətdən orta kənara çıxması 4,7%, maksimal kənara çıxması isə 8,1% təşkil edir. Sığəcdən keçmiş eksperimental

<sup>5</sup> Дунаев И. В. Диагностика контроль состояния скважинной штанговой насосной установки на основе динамометрирования и нейросетовых технологий: автореф. дис. канд. техн. наук



vattmetroqrammanın hesabidən orta kənara çıxması 5,4%, maksimal kənara çıxması isə - 11,9% təşkil edir. Bu isə işlənmiş riyazi və imitasiya modellərinin uyğun olmasına dəlalət edir.

**Üçüncü fəsil**də tezlik çeviricisinin tətbiqi ilə əlaqədar əldə olunan konkret nəticələr alınmışdır. Əvvəldə qeyd etdiyimiz kimi hal hazırda neft sənayesində işəburaxma momentinin aşağı olması səbəbindən ştanqlı dərinlik nasos qurğuları (ŞDNQ) elektrik intiqallarında gücü daha çox olan elektrik mühərrikləri tətbiq olunur.

Qumlu quyularda və onların uzunmüddətli təmirə dayanması ilə əlaqədar ŞDN-nun işəburaxma rejimi çox ağır yerinə yetirilir. İşəburaxma zamanı böyük yük momentinin öhdəsindən gəlmək üçün 2,0÷2,5 aralığından az olmayan işəburaxma momentinə malik elektrik mühərriki tələb olunur.

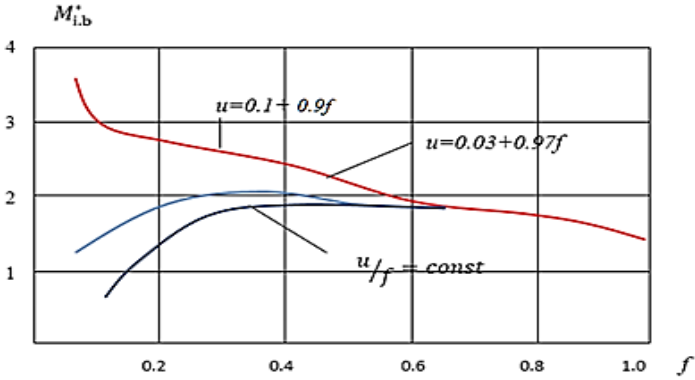
Hal-hazırda neft sənayesində işəburaxma momentinin dəfəliyi 1,5÷1,8 olan asinxron mühərrikləri tətbiq olunur. Bu isə ŞDN-da elektrik göstəricilərinin aşağı düşməsinə səbəb olur

Lakin tezliklə tənzimlənən elektrik intiqallarının tətbiqi ilə əlaqədar işəburaxma momentinin üç dəfəyədək artması hesabına gücü daha az olan elektrik mühərriklərinin istifadəsi ilə energetik göstəricilərin yaxşılaşdırılmasına nail olmaq olur (şək.8). Tədqiqatlar əsasında müəyyən olunmuşdur ki, ümumi enerji itkiləri TÇ tətbiqindən əvvəl və sonra yalnız yük ayrıləri forma əmsalının qiymətində bərabər olurlar ( $k_f=1,6$ ). TÇ tətbiqindən sonra  $\Delta P_{\text{üm}}$  ümumi itkiləri orta hesabla 25 % azalır (şək.9).

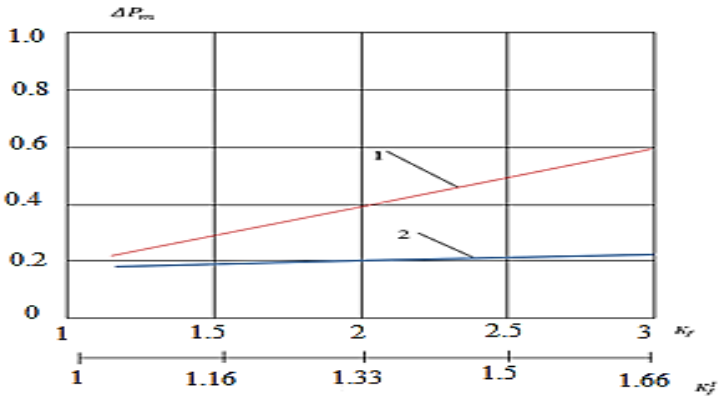
$k_f=1,2$ -dən  $k_f=1,6$  ya qədər aralıqda bu itkilər çox az artır (orta hesabla 11,1 %). Lakin  $k_f=1,6$ -dan  $k_f=3$ -ə qədər aralıqda ümumi itkilər əhəmiyyətli dərəcədə azalır (orta hesabla 30 %).

Mancanaq dəzgahı elektrik mühərrikinin yük momenti dəqiqədə 10-30 dəfə təkrar olunmaqla dövrü ayrılərə malik forma alır. Bu plunjerin 5-15 gedişinə uyğun gəlir, belə ki, mühərrikin bir yellənmə ərzində yükünün dəyişməsi əyrisi 2 maksimuma və 2 minimuma malik olur.

Elektrik mühərrikinin yükünün dəyişmə əyrilərinin xarakterinə başqa faktorlar da təsir edir. Buna nasosun tam dolmamasını, borularda ştanqların hərəkətinə olan müqaviməti və s. misal göstərmək olar.



Şək. 8. AO2-52-4 tipli AM-in işəburaxma momentinin  $f$  tezliyi funksiyasının, gərginliyinin amplitudası və tezliyi arasında müxtəlif asılılıqları.



Şək. 9. TÇ tətbiqindən əvvəl və sonra ümumi enerji itkiləri, 1-mövcud avadanlıqla, 2-TÇ tətbiqi ilə.

ŞDN qurğusu elektrik mühərrikinin yük momenti Furiye sırası ilə düzələ bilər:

$$M_s = M_0 + M_1 \sin(\Omega_m t + \Psi_1) + M_2 \sin(2\Omega_m t + \Psi_2) + \dots$$

burada,  $\Omega_m = 2\Omega$  valdakı momentin dəyişməsinin dövrü tezliyi,  $\Omega$  - çarxqolunun dövrü fırlanma tezliyi.

Tarazlaşdırılmış mancanaq dəzgahları üçün toxunan güclərin (qüvvələrin) dəyişmə qrafiklər ədəbiyyatda göstərilmişdir. Bu qrafiklər təcrübi və hesabat yolu ilə alınmışdır. Furye sırasının birinci harmonikası ilə bu əyrilərin müqayisəsi, onların arasındakı və sinusoida ilə fərqlənmələr 10%-dən çox deyil. Bu isə mühəndis hesabatları üçün qəbulolunandır.

Mancanaq dəzgahı elektrik intiqalının dinamik rejimlərinin hesabı üçün yük momentinin ifadəsini aşağıdakı kimi vermək olar:

$$M_s = M_0 + M_1 \sin\left(\frac{2\varphi}{i} + \varphi_0\right) + \dots$$

burada,  $\varphi$ - elektrik mühərriki valının dönmə bucağı;  $i$ -elektrik mühərrikin valı və çarxqolu arasında ümumi ötürmələrin sayı;  $\varphi_0$ - çarxqolunun başlanğıc dönmə bucağı;  $M_0$ - yükün sabit saxlanma momenti;  $M_1$ - yükün dəyişən saxlanma momentinin amplitudası;

Statik momentin maksimal və minimal qiymətləri 1,4÷1,9 aralığında dəyişir.

Elektrik intiqalının dinamik rejimlərinin mühəndis hesabatları üçün təkcə sabit saxlanma ətalət momentini nəzərə almaq olar. Bununla əlaqədar MD elektrik intiqalının ümumi hərəkət tənliyi aşağıdakı kimi olar:

$$M_{em} = M_0 + M_1 \sin\left(\frac{2\varphi}{i} + \varphi_0\right) + I_0 \frac{d^2\varphi}{dt^2}$$

Mancanaq dəzgahı elektrik intiqalı mühərrikinin yük əyrilərinin forması, forma əmsalı ilə xarakterikdir. Hansı ki, bu, orta kvadratik gücün qurğunun bir tsikli ərzində orta gücə münasibətini təzahür edir.

Forma əmsalı  $k_f$ -in qiyməti ŞDN qurğusunun parametrlərindən asılıdır. Plunjerin gediş uzunluğunun və balansirin yellənmə sayının artması və dərinlik nasosunun diametrinin kiçilməsi ilə əlaqədar forma əmsalının qiyməti böyüyür.

Yükün tsiklik xarakteri elektrik mühərrikinin energetik göstəricilərinin qiymətlərinə əhəmiyyətli təsir edir. Elektrik mühərrikinin f.i.ə və  $\cos\varphi$ - si tsiklik yükdə yük əyrisi  $k_f$ -nin qiymətindən asılıdır. Neft

sənayesində güc əmsalı  $\cos\varphi$  0,4÷0,7 aralığında tapılır. TÇ tətbiq etməklə elektrik mühərrikinin yük əmsalı artacaqdır. Buna səbəb az güclü elektrik mühərrikinin tətbiqidir.

Bu yük əmsalı ilə olan elektrik mühərrikinin f.i.ə və güc əmsalı aşağıdakı qiymətləri alır:

$$\eta_{\varepsilon} = 0,88 \text{ və } \cos\varphi_{\varepsilon} = 0,833$$

Tezliklə idarə olunmada yük cərəyanına görə əks əlaqəsi olan asinxron elektrik mühərrikinin yük ayrılarını müəyyən dərəcədə hamarlamağa imkan yaranır.

Gərginliyin amplitudası və tezliyi arasında xətti asılılıq sabit ( $U/f=\text{const}$ ) olarsa, elektrik mühərrikinin iş rejimi aşağı tezliklərdə selin azalması səbəbindən pisləşir. Hesabat göstərir ki, asinxron elektrik mühərrikinin fırlanma, kritik və işəburaxma momentləri stator cərəyanı tezliyinin aşağı düşməsi ilə azalmağa başlayır. Bu hava aralığında selin azalması ilə izah olunur. Bu isə stator dolağının aktiv müqavimətinin artması ilə əlaqələndirilir.

Aşağı tezliklərdə xarakteristikanı yaxşılaşdırmaq üçün statorun çıxışındakı gərginliyi artırmaq lazımdır. Deməli statorun aktiv müqavimətində gərginlik düşgüsünü  $U/f=\text{const}$  qanununa uyğun kompensasiya etmək vacibdir.

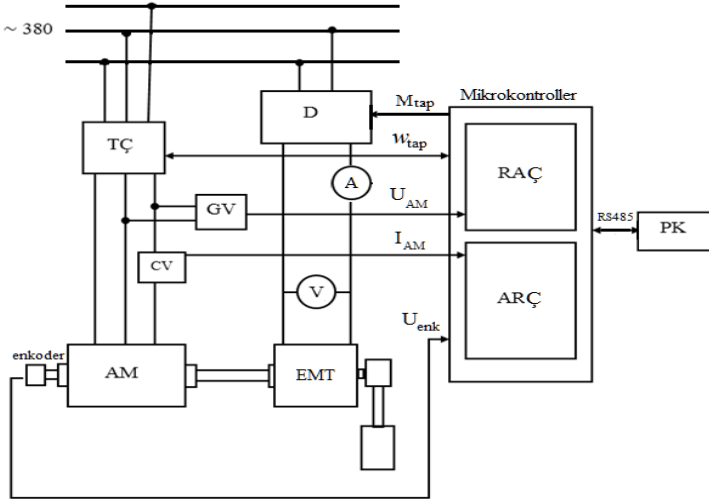
**Dördüncü fəsil**də optimal idarəetmənin müasir nəzəriyyəsinin riyazi modelindən istifadə edərək ŞDN elektrik intiqalının idarə edilməsinin optimal qanunlarının təyini ilə avadanlıqların iş şəraitinin optimallaşdırılmasına, məhsuldarlığın artırılmasına və bununla da çıxarılan neftin maya dəyərinin aşağı salınmasına imkan verən metodlar işlənmişdir.

ATS-in ani fırlanma tezliyinin tədqiqi üçün laboratoriya maketində eksperimental tədqiqat işi aparılmışdır. Bunun struktur sxemi şəkil 10-də verilmişdir. Laboratoriya maketinin xarici görünüşü isə şəkil 11-də verilmişdir.

Sürətin verilən qiyməti ilə eksperimental osilloqrama ilə alınan ani fırlanma tezliyi arasındakı maksimum fərq 2% təşkil edir.

Laboratoriya maketi birbaşa momentlə idarəetmə (BMİ) alqo-ritmli tezlik çeviricisi ilə (TÇ) idarə olunan asinxron mühərriki (AM) əsasında qurulmuşdur. Cərəyan vericisi (CV) və gərginlik vericisi (GV) vasitəsi ilə AM dövrəsində cərəyan və gərginlik ölçülür. Cərə-

yanın və gərginliyin ölçülmüş qiymətləri mikrokontrollərə ötürülür. Enkoder vasitəsi ilə AM-in fırlanma tezliyi ölçülür. Mikrokontrollerdən cərəyan, gərginlik və sürətin cari qiymətləri RS485 interfeysi vasitəsi ilə personal kompyutərə (PK) ötürülür. Burada daxil olan informasiyalar həm yadda saxlana bilirlər, həm də emal oluna bilirlər.



Şək. 10. Laboratoriya maketinin struktur sxemi



Şək. 11. Laboratoriya maketlərinin xarici görünüşləri

Elektromaqnit tormoz vasitəsi ilə asinxron mühərrikə verilən yük modelləşir. Bu yük MD elektrik mühərrikinə verilən yükə uyğunlaşdırılır. Elektromaqnit tormoz düzləndirici körpü sxemi vasitəsi ilə sabit cərəyanla qidalandırılır. Bu sabit cərəyana  $A_1$  -ampermetri və  $V_2$  – voltmetri vasitəsi ilə nəzarət olunur.

RS485 interfeysi vasitəsi ilə personal kompyuterdən mikrokontrollerin girişinə moment və sürətə görə tapşırıqlar daxil olur. Burada analoq siqnallar formalaşır və düzləndircinin və TÇ-nin girişlərinə analoq siqnalları daxil olurlar.

Ani fırlanma tezliyinin ATS-in eksperimental tədqiqi sürtünmə qüvvəsinin maksimal qiymətinin aşağı düyməsini təmin edən ŞAN-ın hərəkət qanununa tapşırıq verilməsi zamanı aparılmışdır.

Ümumiləşdirilmiş elektrik maşınının riyazi modelini təmsil edən tənliklər sistemi, koordinat sisteminin seçimi və onun fırlanma tezliyi ilə təyin olunur.

Bizim üçün “1-2” koordinat sistemini seçmək daha məqsədəuyğundur. Məlumdur ki, bu koordinat sistemində EM-nin hava aralığında fırlanma tezliyi maqnit sahəsinin fırlanma tezliyinə bərabərdir. Onda ümumiləşdirilmiş q.q.rotorlu AM-in riyazi modeli (1) tənliklər sistemi şəklində olar.

Əgər “1-2” fırlanan koordinat sistemində “1” oxunun istiqaməti rotorun  $\Psi_r$  selilişməsi fəza vektorunun istiqamətilə üst-üstə düşərsə, onda (1) tənliklər sistemində bəzi ifadələr sadələşəcək. Ona görə ki,  $\Psi_{r2}$  – sıfıra bərabər olacaq (məhz buna görə “1-2” koordinat sistemi seçilmişdir).

A-B-C” üçfazlı koordinat sistemində statorun cərəyan və gərginliklərinin ani qiymətlərini almaq üçün əvvəlcə cərəyan və gərginliklərin ani qiymətlərinin “1-2” koordinat sistemindən “ $\alpha$ - $\beta$ ” tərپənməz koordinat sisteminə keçirilməsi lazımdır. Sonra isə “ $\alpha$ - $\beta$ ” koordinat sistemindən üçfazlı “A-B-C” koordinat sisteminə keçirtmək lazımdır.

Yenidən cərəyan və gərginliklərin ani qiymətlərini “A-B-C” koordinat sistemindən “1-2” koordinat sisteminə keçirilməsi üçün analoji olaraq ardıcılıığı gözləməklə həmən əməliyyatı yerinə yetirmək lazımdır<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока

$$\left[ \begin{array}{l}
U_{S1} = R_S \cdot i_{S1} + \frac{d\Psi_{S1}}{dt} - P_n \cdot \omega_0 \cdot \Psi_{S2} \\
U_{S2} = R_S \cdot i_{S2} + \frac{d\Psi_{S2}}{dt} + P_n \cdot \omega_0 \cdot \Psi_{S1} \\
0 = R_r \cdot i_{r1} + \frac{d\Psi_{r1}}{dt} - P_n \cdot (\omega_0 - \omega_{em}) \cdot \Psi_{r2} \\
0 = R_r \cdot i_{r2} + \frac{d\Psi_{r2}}{dt} + P_n \cdot (\omega_0 - \omega_{em}) \cdot \Psi_{r1} \\
\Psi_{S1} = L_S \cdot i_{S1} + L_{Sr} \cdot i_{r1} \\
\Psi_{S2} = L_S \cdot i_{S2} + L_{Sr} \cdot i_{r2} \\
\Psi_{r1} = L_r \cdot i_{r1} + L_{Sr} \cdot i_{S1} \\
\Psi_{r2} = L_r \cdot i_{r2} + L_{Sr} \cdot i_{S1} \\
M_{em} = P_n \cdot \frac{L_{Sr}}{L_r} \cdot (i_{S2} \cdot \Psi_{r1} - i_{S1} \cdot \Psi_{r2})
\end{array} \right. \quad (1)$$

Statorun cərəyan və gərginliklərinin ani qiymətlərinin “1-2” koordinat sistemindən “ $\alpha$ - $\beta$ ” tərپənməz koordinat sisteminə yaxud əksinə keçirilməsi üçün (2) tənliklər sistemi tərtib olunmuşdur. (2) tənliklər sistemində  $x$  –in yerinə statorun gərginliyinin yaxud cərəyanının qiyməti qoyulur. Bu ifadələrdən istifadə edərkən rotorun  $\Psi_r$  selilişməsinin fəza vektorunun istiqamətinin ( $t=0$  momenti zamanında)  $\alpha$  oxu istiqaməti ilə üst-üstə düşməsinə qəbul edilir.

$$\left[ \begin{array}{l}
x_{s\alpha} = x_{s1} \cdot \cos(P_n \omega_0 \cdot t) - x_{s2} \cdot \sin(P_n \omega_0 \cdot t) \\
x_{s\beta} = x_{s1} \cdot \sin(P_n \omega_0 \cdot t) + x_{s2} \cdot \cos(P_n \omega_0 \cdot t) \\
x_{s1} = x_{s\alpha} \cdot \cos(P_n \omega_0 \cdot t) + x_{s\beta} \cdot \sin(P_n \omega_0 \cdot t) \\
x_{s2} = -x_{s\alpha} \cdot \sin(P_n \omega_0 \cdot t) + x_{s\beta} \cdot \cos(P_n \omega_0 \cdot t)
\end{array} \right. \quad (2)$$

Statorun cərəyan və gərginliklərinin ani qiymətlərinin “ $\alpha$ - $\beta$ ” koordinat sistemindən standart üçfəzlı “A-B-C” koordinat sistemə yaxud əksinə keçirilməsi (3) tənliklər sistemində həyata keçirilir.

AM- nin (3) ifadələrindəki riyazi modelinin giriş və çıxış dəyişənləri həmişə müxtəlif olacaq. Ona görə ki, ştanqlı dərinlik nasos qurğusu elektrik intiqallarının tədqiqi zamanı onun tipindən asılı olaraq bu intiqalların tənzim olunmayan yaxud tezliklə tənzimlənən elektrik intiqalı (TTEİ) olması şərti həmişə önəm daşıyır. Bundan başqa, tezlik çeviricisi ilə birbaşa momentlə idarəetmədə rotorun selilişməsinin sabit qiymətinin həmişə nominal qiymətdə qorunub saxlanması

təmin olunur. Onda TTEİ-də AM-in riyazi modelində yeni bir giriş dəyişənindən – rotorun selilişməsi  $\Psi_{\text{r nom}}$  -dən istifadə etmək lazımdır.

$$\left[ \begin{array}{l} x_{s\alpha} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot x_{sA} - \sqrt{\frac{1}{6}} \cdot x_{sB} - \sqrt{\frac{1}{6}} \cdot x_{sC} \\ x_{s\beta} = \sqrt{\frac{1}{2}} \cdot x_{sB} - \sqrt{\frac{1}{2}} \cdot x_{sC} \\ x_{sA} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot x_{s\alpha} \\ x_{sB} = -\sqrt{\frac{1}{6}} \cdot x_{s\alpha} + \sqrt{\frac{1}{2}} \cdot x_{s\beta} \\ x_{sC} = -\sqrt{\frac{1}{6}} \cdot x_{s\alpha} - \sqrt{\frac{1}{2}} \cdot x_{s\beta} \end{array} \right. \quad (3)$$

Bunun üçün (1) tənliklər sistemində  $\Psi_{r1}$  selilişməsi sabit qiymətdə qalacaq və rotorun selilişməsinin nominal qiyməti  $\Psi_{r \text{ nom}}$  -a bərabər olacaq. Bu TTEİ-nin riyazi modelinin MATLAB/Simulink imitasiya modelləşdirilməsini çox asanlaşdırır. Bu bir daha “1-2” koordinat sisteminin istifadəsinin üstünlüyünü təsdiqləyir. Hesaba alsaq ki,  $\Psi_{r1} = \text{const}$ ,  $\frac{d\Psi_{r1}}{dt} = 0$ ,  $i_r = 0$  və  $i_{s1} = \text{const}$ , (1) tənliklər sistemində  $i_{s1}$ ,  $i_{s2}$ ,  $U_{s1}$ ,  $U_{s2}$  və  $\omega_0$  dəyişənlərini  $\Psi_{r1}$ ,  $M_{em}$  və  $\omega_{em}$  dəyişənlərinə görə həll etsək, onda (4) tənliklər sistemini alırıq. (4) tənliklər sistemindən görünür ki,  $i_{s1}$ ,  $i_{s2}$ ,  $U_{s1}$ ,  $U_{s2}$  və  $\omega_{t\zeta}$  dəyişənlərini təyin etmək üçün  $\Psi_{r1}$ ,  $M_{em}$ ,  $\frac{dM_{em}}{dt}$  və  $\omega_{em}$  dəyişənlərinin qiymətinin verilməsi kifayət edir.

$$\left[ \begin{array}{l} i_{s1} = \frac{\omega_{r1}}{L_{sr}}; \\ i_{s2} = \frac{L_r}{P_n \cdot L_{sr}} \cdot \frac{1}{\Psi_{r1}} \cdot M_{em} \\ \omega_{t\zeta} = \omega_{em} + \frac{R_r \cdot L_{sr}}{P_n \cdot L_r} \cdot \frac{1}{\Psi_{r1}} \cdot i_{s2} \\ U_{s1} = R_s \cdot i_{s1} - \omega_{t\zeta} \cdot P_n \cdot \left( L_s - \frac{L_{sr}^2}{L_r} \right) \cdot i_{s2} \\ U_{s2} = R_s \cdot i_{s2} + P \cdot \left( L_s - \frac{L_{sr}^2}{L_r} \right) \cdot i_{s2} + \omega_{t\zeta} \cdot P_n \cdot L_s \cdot i_{s1} \end{array} \right. \quad (4)$$



(4) tənliklər sistemi (2) tənliklər sistemi ilə birlikdə gərginlik və cərəyanların ani qiymətlərini, və həmçinin ideal TÇ-nin çıxışındakı gərginliyin tezliyini təyin etməyə imkan verir. Bu isə öz növbəsində MD balansirinin yellənməsi periodu ərzində elektrik mühərriki valındakı yük momentinin verilən qanunla dəyişməsi şəraitində, elektrik mühərrikinin valının fırlanma tezliyinin mütləq dəqiq tənzimini təmin edir. Bu zaman gərginliyin, cərəyanın və maqnit selinin ayrılmasının sinusoidallığı təmin olunur. Bu işdə TÇ-nin çıxış gərginliyinin və cərəyanının qeyri – sinusoidallığına baxılmamışdır. Dərinlik nasos avadanlıqlarının iş rejiminin seçimi və layihələndirilməsi zamanı plunjerin yerdəyişməsinin həqiqi qiymətləri qurğunun müvafiq məhsuldarlığını təyin edən ən vacib göstəricilərdəndir.

Quyunun dərinliyi artdıqca ştanq və borularda yaranan digər deformasiyaların nəticəsində plunjerin yerdəyişməsi (nasosun asılma dərinliyi məsafəsinin artması hesabına) ştanq asılqanı nöqtəsinin yerdəyişməsindən daha çox fərqlənir.

Çarxqolunun fırlanma tezliyinin artması ilə ştanqların hərəkətləri təcilinin artması nəticəsində onlarda yaranan əlavə deformasiyalar hesabına plunjerin hərəkət qanunu pozulur. Bununla əlaqədar ştanqların müstəqil aşağı və yuxarı hərəkəti zamanı ştanq sütunlarının müvafiq olaraq nisbi sıxılması və dartılması baş verir. Yuxarı və aşağı hərəkətin sonunda da çarxqolunun fırlanma tezliyinin artması ilə plunjerin müstəqil olaraq yerdəyişməsi baş verə bilər. Çarxqolunun fırlanma tezliyinin müəyyən qanunlarına əsasən plunjerin müstəqil yerdəyişməsi ilə əlaqədar onun həqiqi gediş uzunluğu, ştanq asılqanı nöqtəsinin yerdəyişmə qiymətinə bərabər və hətta ondan böyük ola bilər. Plunjerin gediş uzunluğunun artması və müvafiq olaraq dərinlik nasos qurğusunun məhsuldarlığının yüksəlməsini təmin edən mühərrikin (çarxqolunun) fırlanma tezliyinin dəyişmə qanununun təyini mühüm maraq kəsb edir.

Araşdırmalar göstərir ki, plunjerin və ştanq asılqanı nöqtəsinin gediş yolları fərqlinin minimumlaşdırılması zamanı çarxqolunun fırlanma tezliyi harmonik qanunla dəyişir. Fırlanma tezliyi ilə müqayisədə plunjerin və ştanq asılığının nöqtəsinin hərəkət sürəti həm aşağı, həm də yuxarı periodlarda artır. Beləliklə, dərinlik nasos qurğularında plunje-

rin yerdəyişməsinin həqiqi qiymətlərini optimallaşdırmaqla qurğunun məhsuldarlığını yüksəltmək olar.

Tənzim olunan elektrik intiqalının tətbiqi, MD işinin bir tsikli ərzində çarxqolunun fırlanma tezliyini dəyişməklə, ştanqlardakı maksimal qüvvələrin aşağı salınmasını təmin edir. Bu isə öz növbəsində dərinlik nasos quyularının xidmət müddətini çoxaldır və intiqal mühərrikinin qoyuluş gücünün aşağı salınmasına imkan yaradır. Optimal idarəetmə nəzəriyyəsinə tətbiq etməklə mühərrikin fırlanma tezliyinin dəyişməsinin optimal qanununu tapmaq olar ki, bu da ştanq asılqanı nöqtəsinə təsir edən maksimal yükləri minimumlaşdırmağa imkan verir.

## ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Tənzim olunmayan elektrik intiqalları ilə tezliklə tənzimlənən elektrik intiqallarının müqayisəli təhlil aparılmış və tənzim olunan elektrik intiqallarında energetik göstəricilərin çox yüksək olması müəyyən edilmişdir. Tezlik çeviricisinin tətbiqi qurğunun energetik göstəricilərini yüksəltməklə yanaşı, həm də onun etibarlılığını, uzunömürlü olmasını, sadə və kompakt olmasını da təmin edir [2,7].

2. Asinxron mühərrikin faz gərginliklərinin ani qiymətləri üçün fırlanan koordinat sistemi üçün tərtib edilmiş tənliklər sistemi əsasında riyazi model qurulmuşdur. Skalyar və vektor idarəetməsi metodları araşdırılmışdır. Vektorla idarəetmədə birbaşa momentlə idarəetmə (DTC) üsulunun üstünlüyü qənaətinə gəlinmişdir. Belə ki, bu idarəetmədə həm momentin və həm də stator selilişməsinin eyni zamanda tənzim olunmasına və həm də və sürətin çox aşağı qiymətlərində momentin qiymətinin qorunub saxlanmasına nail olmaq mümkündür. Tezlik çeviricisinin çıxışında keyfiyyətli gərginliyin alınması üçün 4 üsul araşdırılmış və eninə impuls tənzimləyicisi (EİT) və eninə impuls modulyasiyasının (EİM) birlikdə tətbiqi üsulu ən məqbul sayılmışdır [1,3,8].

3. Asinxron mühərrik - tezlik çeviricisi sisteminin fiziki modeli və Matlab/Simulink proqramında müxtəlif xarakteristikaların tez və dəqiq alınmasına imkan verən riyazi imitasiya modeli qurulmuşdur. Ştanqlı dərinlik nasoslarının əsas nəzarət parametrləri olan dinamoqrammanın və vattmetroqrammanın eksperimental və real quyudan

götürülmüş qiymətlərin müqayisəli təhlili aparılmış və əldə edilmiş nəticələrin buraxıla bilən hədd daxilində olması müəyyənləşdirilmişdir [4,5,11].

4. Asinxron mühərrikinin tezliklə işə buraxılması zamanı işəburaxma momentinin qiymətinin üç dəfə artmasına nail olunmuşdur ki, bu da qoyuluş gücü daha az olan mühərrikdən istifadə edilməsinə imkan verir. Nəticədə ümumi enerji itkiləri əhəmiyyətli dərəcədə aşağı düşməsi təmin edilir [6,7,12].

5. Mancanaq dəzgahının təyin edilmiş optimal kinematik göstəricilərinin qiymətinin yüksəldilməsi əsasında onun ölçülərinin və çəkisinin kiçildilməsinə imkan yaranır [6,9,10].

**Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıda dərc olunmuş məqalələrdə öz əksini tapmışdır:**

1. Əkbərov Y.S. Qeyri xəttiliyin modelləşdirilməsi, Azərbaycan 2020: neft-qaz sənayesinin inkişaf perspektivləri adlı elmi praktiki konfransın materialları, ADNA, Bakı 2013 s.162-164

2. Paşayev R.Ə., Əkbərov Y.S. Avtonom mənbədən bəslənən dəyişən cərəyan elektrik intiqallarının idarəsi. Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının elmi əsərləri jurnalı №2, ADDA, Bakı, 2013 s.10-14.

3. Paşayev R.Ə., Əkbərov Y.S. Sinxron elektrik intiqalının təsirlənmə dövrəsindəki sıfırı çıxarılmış çevirici ilə birlikdə keçid prosesləri Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin Xəbərləri, №1, ADNA, Bakı, 2015 s.49-53

4. Fərhadzadə E.M., Əkbərov Y.S., Mancanaq dəzgahi elektrik intiqalının optimal idarə edilməsi. Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin Xəbərləri, №1, ADNA, Bakı, 2015. S.42-44.

5. Акберов Я.С. Определение оптимального управления электропривода станка качали. Energetikanın problemləri, №4, Elm, Bakı, 2017, s.54-58

6. Пашаев Р.А., Акберов Я.С. Некоторые вопросы исследования работы станка качалки при максимальном снижении усилий в его конструктивных узлах. Научно-технический журнал «Нефтепромышленное дело» №9, Москва, ОАО»ВНИИОЭНГ, 2017 с.41-45

7. Əkbərov Y.S., Mustafayev R.X. Tənzimlənən elektrik intiqalının

köməyi ilə dərinlik nasos qurğusu avadanlığının effektiv işinin tədqiqi Energetikanın problemləri, №1, Elm, Bakı, 2018, s. 57-60

8. Əkbərov Y.S. Çıxış gərginliyinin formalaşdırılması üsulları. Energetikanın problemləri, №2, Elm, Bakı, 2018. s. 68-70

9. Акберов Я.С. Определение оптимального закона управления электропривода станка качали. Научно-технический журнал «Нефтепромысловое дело» №7, Москва, ОАО» ВНИИОЭНГ, 2018, с.67-70

10. Fərhadzadə E.M., Əkbərov Y.S., Texnoloji avadanlıqların idarəetmə sistemlərində səmərəliliyin artırılması. Bərpa olunan enerji mənbələri beynəlxalq elmi konfrans. ADNSU, Bakı 2018. s. 87.

11. Paşayev R.A, Əkbərov Y.S., İbrahimova O.B. Mancanaq dəzgahının tezlik çeviricisi ilə idarə olunması. Bərpa olunan enerji mənbələri beynəlxalq elmi konfrans. ADNSU, Bakı 2018, s.14.

12. Paşayev R.A, Əkbərov Y.S., İbrahimova O.B. Kompresorun elektrik intiqalının avtomatik idarəsi. Energetikanın problemləri, №2, Elm, Bakı, 2019, s. 94-96.

**АКБЕРОВ ЯШАР САБИР оғлы**  
**ЧАСТОТНО УПРАВЛЯЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД**  
**ПЕРЕМЕННОГО ТОКА СТАНКА КАЧАЛКИ**

**РЕЗЮМЕ**

Диссертационная работа посвящена исследованию и разработке оптимального управления штанговым глубинно насосным установкам с внедрением системы частотно регулируемого электропривода переменного тока.

Система с применением регулируемого электропривода дает возможность плавного пуска скважины с целью устранения воздействия песка, который негативно влияет на забойную скважину образуя пробки, регулирование числа качания станка качалки с целью сохранения производительности скважины при ее усталости, снижает негативные силы на конструктивных узлах установки в течение рабочего периода.

Система частотно регулируемый электропривод увеличивая межремонтный период обеспечивает снижение стоимости нефти и увеличивает добычи нефти.

Возможность регулировки скорости в широком диапазоне позволяет плавно регулировать скорость вращающегося вала кривошипа станка качалки, что в конечном итоге повышает энергоэффективность устройства.

## **ƏKBƏROV YAŞAR SABİR oğlu MANCANAQ DƏZGAHIN TEZLİKLƏ İDARƏ OLUNAN DƏYİŞƏN CƏRƏYAN ELEKTRİK İNTİQALI**

### **XÜLASƏ**

Dissertasiya işi intiqal mühərrikinin tezliklə tənzimlənən dəyişən cərəyan elektrik intiqalı sisteminin tətbiq edilməsi ilə ştanqlı dərinlik nasos qurğusunun işinin optimal idarə edilməsinin tədqiqi və araşdırılmasından ibarətdir.

Tədqiq edilən elektrik intiqalı sistemi ştanqlı dərinlik nasos qurğusunun işinə mənfi təsir edən quyu dibi qumun təsirini azaltmaq məqsədilə yaranan tıxacların aradan qaldırılması üçün quyuların səlis işə buraxılmasına, quyular köhnəldikcə quyu məhsuldarlığının qorunub saxlanması üçün mancanaq dəzqahının yellənmələr sayının tənzim edilməsinə, iş dövrü ərzində qurğunun konstruktiv hissələrinə düşən qüvvələrin azaldılmasına imkan verir.

Tezliklə tənzimlənən elektrik intiqalı sistemi mancanaq dəzqahı ilə neft çıxarılmasında qurğunun təmir arası müddətinin çoxaldılmasını, maya dəyərinin azaldılması ilə neft hasilatının artırılmasını təmin edir.

Sürətin geniş diapazoda tənzimlənməsinin mümkünlüyü MD-nın çarxqolunun fırlanan valının ani və orta sürətlərinin səlis tənzimlənməsinə imkanlar yaradır ki, bu da nəticə etibarı ilə qurğunun enerji qənaətliliyinin təminatını yaxşılaşdırır.

**YASAR SABİR AKBAROV**  
**FREQUENCY CONTROLLED ELECTRIC DRIVE AC**  
**MOVING PUMPING UNIT**

**SUMMARY**

Dissertation is a study and investigation of the optimal control of the (PU) with the introduction of a rapidly adjustable current transmitter.

The study of the electrically driven system has a negative impact on the operation of the shaft depth unit, the molding of the wells to eliminate the gutters to reduce the impact of the sand, the adjustment of the number of rotation of the manhole countertops for the well production of wells as well as reducing the impacts on the structural components during the working period allows.

The rapidly adjustable electrically driven system enables the increase of oil extraction time by increasing the oil extraction from the crushing machine, increasing oil extraction by increasing the cost of the fuel.

The possibility of adjusting speed across the wide range allows for the smooth adjustment of the speed and speed of the rotating valve of the PU shaft, which ultimately improves the energy efficiency of the unit

Dissertasiyanın müdafiəsi **16 iyun 2021-ci** il tarixində saat **14:00**-da Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.04 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Bakı səh. Azadlıq prospekti 20, ADNSU-nun əsas binası, otaq №250

Dissertasiya ilə ADNSU-nun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları ADNSU-nun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat **11 may 2021-ci** il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 11.05. 2021  
Kağızın formatı: A5  
Həcm: 38708  
Tiraj: 100