

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

PETRİ ŞƏBƏKƏSİNİN TƏTBİQİ İLƏ NEFT BAZALARININ TEXNOLOJİ PROSESLƏRİNİN MODELƏŞDİRİLMƏSİ VƏ İDARƏ OLUNMASININ MODEL VƏ ALQORİTMLƏRİNİN İŞLƏNMƏSİ

İxtisas: 3337.01 - İnformasiya-ölçmə və idarəetmə
sistemləri (neft sənayesi)

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Könül Əsvər qızı Allahverdiyeva**

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı - 2025

Dissertasiya işi Sumqayıt Dövlət Universitetinin “Elektronika və kompüter texnikası” kafedrasında yerinə yetirilmişdir

Elmi rəhbər:

texnika elmləri doktoru, professor
Valeh Azad oğlu Mustafayev

Rəsmi opponentlər:

texnika elmləri doktoru, professor
Tofiq İbrahim oğlu Süleymanov

texnika elmləri doktoru, professor
Kəmalə Rafiq qızı Əliyeva

texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
İmran Alı oğlu Yolçuyev

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.04 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya şurasının sədri:

texnika elmləri doktoru, professor
Nurəli Adil oğlu Yusifbəyli

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Vahid Qara oğlu Fərhadov

Elmi seminarın sədri:

texnika elmləri doktoru, dosent
Məzahir Məhəmməd oğlu İsayev

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Neft bazaları neft və neft məhsullarının qəbulu, saxlanması, daşınması, istehlakçılara xidmət üçün nəzərdə tutulmuş tikinti və qurğular kompleksindən ibarət olan müəssisədir. Neft bazalarının əsas funksiyası, sənaye müəssisələrini, nəqliyyat vasitələrini, kənd təsərrüfatı sahələrini və digər istehlakçıları lazımi miqdarda və çeşiddə neft və neft məhsulları ilə fasiləsiz təhizatını təmin etmək, neft məhsullarının qəbulu, saxlanması və daşınması zamanı itkilərin miqdarını maksimum dərəcədə aradan qaldırmaqdan ibarətdir.

Neft məhsullarının rezervuarda saxlanması zamanı əsasən aşağıdakı parametrlər dəyişir: temperatur - ətraf mühitin temperaturunun sutkalıq temperatur normasına uyğun olaraq dəyişməsi və ya soyuq fəsillərdə neftin qızdırılması nəticəsində; sıxlıq - yüngül fraksiyaların buxarlanması nəticəsində; səviyyə - buxarlanma, temperatur və sıxlığın dəyişməsi nəticəsində; təzyiq - qaz məkanında təzyiqin artması zamanı.

Müəyyən bir temperaturda neft məhsulunun axtarılan sıxlığı, neft məhsulunun 20°C temperaturdakı sıxlığı və sıxlığın dəyişməsinin temperatur əmsalının orta qiyməti ilə təyin olunur. Sıxlığın nisbi qiyməti olaraq suyun 4°C temperaturda sıxlığına nisbət götürülür. Nisbi sıxlığın dəyişməsinin temperatur əmsalı həm də temperatur düzləndiricisi adlanır və temperaturu 1°C dəyişdikdə neft məhsulunun nisbi sıxlığının dəyişməsi kimi qiymətləndirilir. Bu zaman izafi təzyiqin parametrləri və neft məhsullarının səviyyəsinin hündürlüyü nəzərə alınmır. Bu isə, neft məhsullarının sıxlığının təyin edilməsinin müasir metodlarının yaradılması üçün rezervuarlarda müxtəlif prosesləri təsvir edən modellərin işlənilməsi və hazırlanması və dəqiqləşdirilməsini zəruri edir. Odur ki, işlənmiş empirik və ekspert modellər eksperimentlərlə simulyasiya şərtləri daxilində alınan yeni təcrübi verilənlərin alınmasını, toplanmasını, dürüstləşdirilməsini və tamamlanmasını təmin etməlidir. Bu baxımdan yeni hesablama və informasiya texnologiyalarından, modelləşdirmə aparatlarından və süni intellekt texnologiyalarından istifadə olunmaqla qeyri-müəyyən

mühitdə neft məhsullarının temperaturunun təyini və tənzimlənməsi, sıxlığının hesablanması və logistikası modellərinin işlənməsi aktual elmi-texniki məsələdir.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Dissertasiya işində tədqiqat obyektı və tədqiqatların predmeti neft bazalarında rezervuarlarda saxlanılan neft məhsullarının qeyri-müəyyən mühitdə temperatur, təzyiq və sıxlığının ölçülməsi nəticələrini toplayıb emal edərək, onun kommersiya uçuğunu və logistikasına nəzarəti təmin edən informasiya-ölçmə sistemidir.

Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri. Dissertasiya işinin məqsədi neft bazalarında Petri şəbəkəsinin genişlənmələrinin tətbiqi ilə texnoloji proseslərin modelləşdirilməsi, idarə olunması, logistikasının model və alqoritmlərinin işlənməsidir.

Dissertasiya işinin əlavə məqsədi qeyri-müəyyən mühitdə neft bazalarında rezervuarlarda saxlanılan neft məhsullarının kommersiya uçuğu və logistikasına nəzarət edəcək informasiya-ölçmə sisteminin təkmilləşdirilməsidir.

Tədqiqat üsulları. Qoyulmuş məsələlərin həlli zamanı Petri şəbəkəsi ($P\mathcal{S}$ -i) nəzəriyyəsi, kütləvi xidmət sistemləri nəzəriyyəsi, matrislər nəzəriyyəsi, qraflar nəzəriyyəsi, qeyri-səlis çoxluqlar nəzəriyyəsi, formal dillər nəzəriyyəsi, süni intellektin müasir konsepsiya və metodları istifadə edilmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

- neft və neft məhsullarının qəbulu, saxlanması, daşınması üçün istifadə olunan neft bazaları təsnif olunaraq, texnoloji proseslərin əsas parametrlərinin sistemləşdirilməsi;
- qeyri-müəyyən mühitdə rezervuarda neft məhsullarının temperaturunun təyini və tənzimlənməsi üçün qeyri-səlis $P\mathcal{S}$ -i və C_f tipli qeyri-səlis $P\mathcal{S}$ -i şəklində şəbəkə modelləri;
- qeyri-müəyyən mühitdə rezervuarlarda neft məhsullarının temperaturunun tənzimlənməsi və sıxlığının təyini üçün qərar qəbul etmə modelləri;

➤ MATLAB/Simulink mühitində neft məhsullarının temperaturunun tənzimlənməsi və sıxlığının təyini modellərinin realizasiyası;

➤ rezervuarda neft məhsullarının sıxlığının avtomatlaşdırılmış hesablanması algoritmi;

➤ paylayıcı neft bazalarında neft məhsullarının logistikası üçün nəqliyyat vasitələrinin yerdəyişmə modeli;

➤ paylayıcı neft bazalarında nəqliyyat vasitələrinin «Nəqliyyat vasitələri - neft bazaları - yanacaq doldurma məntəqələri» yerdəyişməsinin logistik modelini;

qeyri-müəyyən mühitdə rezervuarda neft məhsullarının temperaturunun tənzimlənməsi və sıxlığının təyin edilməsinin proqram təminatı.

Elmi yeniliklər. Dissertasiya işinin elmi yenilikləri aşağıdakılardan ibarətdir:

➤ qeyri-müəyyən mühitdə rezervuarda neft məhsullarının temperaturunun təyini modeli qeyri-səlis PŞ-si şəklində, rezervuarda temperaturun tənzimlənməsi modeli C_f tipli qeyri-səlis PŞ-si şəklində işlənmişdir;

➤ qeyri-müəyyən mühitdə rezervuarda neft məhsulunun temperaturunun tənzimlənməsi və neft məhsulunun sıxlığının təyini üçün qərar qəbul etmə modelləri işlənmişdir;

➤ rezervuarda neft məhsullarının sıxlığının avtomatlaşdırılmış hesablanması algoritmi təklif edilmiş və işlənmişdir;

➤ rezervuarda neft məhsullarının temperaturunun tənzimlənməsi və sıxlığın təyini modelləri Fuzzy və PID inteqrasiya sistemində işlənmişdir;

➤ paylayıcı neft bazalarında neft məhsullarının logistikası üçün nəqliyyat vasitələrinin yerdəyişmə modeli rəngli PŞ-i şəklində işlənmişdir;

➤ paylayıcı neft bazalarında nəqliyyat vasitələrinin «Nəqliyyat vasitələri - neft bazaları - yanacaq doldurma məntəqələri» yerdəyişməsinin logistik modeli zaman PŞ-i şəklində işlənmişdir. İşlənmiş logistika modelinin fəaliyyəti və idarə olunmasının

produksiya qaydalar bazası yaradılmışdır.

İşin nəzəri və praktiki əhəmiyyəti və nəticələrin tətbiqi. Dissertasiya işinin nəzəri və praktiki əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, alınmış elmi-praktiki nəticələr, təklif olunmuş yanaşma, alqoritm, işlənmiş qərar qəbuletmə və logistika modelləri paylayıcı neft bazalarında texnoloji proseslərin idarə olunmasında, rezervuar parkının kommersiya uçotu və ölçmə sisteminin təkmilləşdirilməsində, süni intellekt texnologiyasında, qeyri-müəyyən mühitdə neft məhsullarının logistika modellərinin tədqiqində istifadə oluna bilər.

İşin aprobasiyası. Dissertasiyanın əsas nəticələri aşağıdakı Respublika və beynəlxalq elmi-texniki konfranslarda müzakirə edilmişdir: Международная научная конференция Наука, технология, производство-2017 «Прикладная наука как инструмент развития нефтехмических производств» (Салават, 22 май, 2017); XXI Республиканская научная конференция докторантов и молодых исследователей (Баку, 24 октябрь, 2017); I Международная научная конференция «Информационные системы и технологии: достижение и перспективы» (Сумгаит, 15-16 ноября, 2018); XXII Республиканская научная конференция докторантов и молодых исследователей (Баку, 22-23 ноябрь, 2018); XXXII международная научная конференция «Математические методы в технике и технологиях» (Санкт-Петербург, 3-7 июнь, 2019); XIII Международная научная конференция «Фундаментальные и прикладные проблемы математики и информатики» (Махачкала, 16-20 сентября, 2019); I Beynəlxalq elmi-praktik konfransı «Müasir informasiya, ölçmə və idarəetmə sistemləri: problemlər və perspektivlər (MİÖİS: MPP 2019)» (Bakı, 01-02 iyul, 2019); XXII Международная конференция «Вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2021)» (Алушта, 04-13 сентября, 2021); II Beynəlxalq elmi konfransı «İnformasiya sistemləri və texnologiyalar: nailiyyətlər və perspektivlər» (Sumqayıt, 09-10 iyul, 2020); XIV Международная научная конференция

«Фундаментальные и прикладные проблемы математики и информатики» (Махачкала, 16-19 сентября, 2021); IV Respublika elmi konfransı «Riyaziyyatın tətbiqi məsələləri və yeni informasiya texnologiyaları» (Sumqayıt, 09-10 dekabr, 2021); III Beynəlxalq elmi konfransı «İnformasiya sistemləri və texnologiyalar nailiyyətlər və perspektivlər» (Sumqayıt, 08-09 dekabr, 2022).

Çap olunmuş elmi əsərlər. Dissertasiya işi üzrə 20 elmi iş: onlardan 7 məqalə, 13 iş elmi-praktik konfransların materiallarında nəşr olunmuşdur.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. İş Sumqayıt Dövlət Universitetində yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın həcmi və strukturu. Dissertasiya işi girişdən, dörd fəsildən, əsas nəticələrdən, 107 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından, əlavələrdən və ixtisarlara siyahısından ibarətdir. İşin ümumi həcmi 174 səhifə, əsas həcmi isə 16 cədvəl, 26 şəkil daxil olmaqla 141 (198 007 işarə) səhifə təşkil edir. 1-ci fəsil - 35077, 2-ci fəsil - 31353, 3-cü fəsil - 75683, 4-cü fəsil - 37494 işarədən ibarətdir.

İŞİN MƏZMUNU

Girişdə aparılan tədqiqatların aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqata cəlb olunan məsələlər, tədqiqat obyekti və predmeti, tədqiqatın məqsədi və vəzifələri, tədqiqat üsulları, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, tədqiqat nəticəsində əldə olunan elmi yeniliklər, işin nəzəri və praktiki dəyəri, işin aprobeasiyası, çap olunmuş elmi işlər, dissertasiyanın həcmi və strukturu təqdim edilmişdir.

Birinci fəsildə, funksional təyinatına görə neft bazaları qruplaşdırılmışdır. Əməliyyatların xarakterinə, istehlakçılara göstərilən xidmətin keyfiyyəti, sanitariya və yanğın normalarına uyğun, avtonəqliyyat vasitələrinin hərəkətinin mütləq şəkildə minimallaşdırılması nəzərə alınmaqla neft bazalarının yerləşdirilməsinin məqsədəuyğunluğu göstərilmişdir. Bütün növ neft bazalarının iş prinsipi təhlil edilmişdir və göstərilmişdir ki, paylayıcı neft bazalarının əsas funksiyası neft məhsullarının saxlanılmasını,

paylanması, istehlakçılara maksimum operativliklə, minimum itki və daşınma xərcləri ilə çatdırılmasını təmin etməlidir.

Rezervuarlarda neft və neft məhsullarının kommersiya uçotu və idarəedilməsi üçün müasir ölçmə sistemləri analiz edilmişdir. Analiz nəticəsində göstərilmişdir ki, sistemin bir hissəsi kimi ölçmə cihazlarından sıxlığın hesablanması üçün istifadə zamanı, bu parametrlərdən birinin daha az dəqiqliklə ölçülməsi həcm və kütlə hesablanmalarının dəqiqliyini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır.

Paylayıcı neft bazalarının tədqiqi, idarə olunmasının modelləşdirilməsinin müasir vəziyyəti analiz edilmişdir. Göstərilmişdir ki, neft bazalarında saxlanılan neft məhsullarının qəbulu, keyfiyyəti, saxlanması, daşınması və idarə olunması üçün əsas parametrlərin modelləşdirilməsi və hesablanması metodlarının təkmilləşdirilməsi müasir texnologiyalara əsaslanan modellərin yaradılmasını zəruri edir. Bununla əlaqədar olaraq müasir süni intellekt texnologiyalarından istifadə olunmaqla neft məhsullarının əsas parametrlərinin - temperaturun, sıxlığın, səviyyənin, təzyiqin qiymətləndirilməsi və hesablanması üçün yeni yanaşmaların, alqoritmlərin və modellərin işlənilməsi əsaslandırılmışdır.

İkinci fəsil neft bazalarında rezervuar parkının kommersiya uçotu və idarə edilməsi üçün ölçmə sistemlərin təsnifatına, sıxlığın və qeyri müəyyənliklərin hesablanmasına həsr edilmişdir. Göstərilmişdir ki, rezervuar parkının kommersiya uçotu və idarə edilməsi neft məhsullarının parametrlərinin ölçmə dəqiqliyindən asılı olur. Bu məqsədlə yüksək dəqiqliyə malik temperatur, səviyyə, təzyiq ölçmə çeviriciləri, radar antenalar ilə təhciz edilmiş simli və simsiz texnologiyaları dəstəkləyən sənaye standartlı sistemlərin iş prinsipi təhlil olunmuş, onların üstünlükləri və çatışmamazlıqları göstərilmişdir. İkinci paragrafda neft və neft məhsullarının cari sıxlığının avtomatlaşdırılmış hesablanması alqoritminin işlənməsinə baxılmışdır. İşlənmiş alqoritmin tətbiqi ilə sınaq olunan neft məhsulunun nisbi sıxlıq diapozonu və diapozana uyğun temperatur düzləndiricisinin avtomatlaşdırılmış hesablanması neft məhsulunun cari sıxlığının verilmiş dəqiqliyə uyğunluğunu təmin edir. İşlənmiş

proqram əsasında kompüter eksperimentləri aparılmış, sınaq olunan neft məhsullarının hesablanmış cari qiymətləri təyin edilmişdir.

Neft və neft məhsullarının sıxlığı temperatur artdıqca azalır və temperatur azaldıqca artır. Bu asılılıq xətti xarakter daşıyır və aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$S_4^t = S_4^{20} - \alpha(t - 20),$$

burada, S_4^t -sınaq temperaturu üçün neft məhsulunun nisbi sıxlığıdır; S_4^{20} -20°C temperatur üçün suyun 4°C temperaturu üçün neft məhsulunun nisbi sıxlığıdır; α -sıxlığın dəyişməsinin orta temperatur düzləndiricisidir; t - sınaq temperaturudur. Verilmiş cari temperatur üçün neft məhsulunun sıxlığının hesablanması aşağıdakı mərhələlərin yerinə yetirilməsini əhatə edir: 1. 20°C temperatur üçün neft məhsulunun pasportdan sıxlığı tapılır; 2. neft məhsulunun saxlanıldığı rezervuarda məhsulun orta temperaturu ölçülür; 3. neft məhsulunun orta temperaturu ilə 20°C temperatur arasındakı fərqi hesablanır; 4. neft məhsulunun 20°C temperaturda sıxlığı üçün tapılmış qiymətə uyğun pasportdan 1°C temperatur düzləndiricisinin qiyməti tapılır; 5. hesablanmış temperatur fərqi ilə tapılmış temperatur düzləndiricisinin hasili hesablanır; 6. 20°C temperatur üçün neft məhsulunun pasportdan tapılmış sıxlığı ilə beşinci bənddə hesablanmış qiymətin fərqi hesablanır.

Bu prosesin mürəkkəbliyi və yerinə yetirilməsi ardıcılığı neft məhsulunun sıxlığının hesablanması cari sıxlığın xətasını artırır. Bu baxımdan neft və neft məhsullarının sıxlığının avtomatlaşdırılmış hesablanması algoritmi işlənilmişdir.

Neft məhsullarının cari sıxlığının avtomatlaşdırılmış hesablanması algoritmi

Alqoritmin başlanğıcı

Addım 1. $x_{min} = x_1$; $i = 2$; qəbul edilir.

Addım 2. Əgər $x_{min} > x_i$ şərti ödənərsə, onda $x_{min} = x_i$ qəbul edilir, əks halda $i = i + 1$ hesablanır.

Addım 3. Əgər $i \leq n$ şərti ödənərsə, onda addım 2-yə keçid olur.

Addım 4. $x_{max} = x_1$; $i = 2$; qəbul edilir.

Addım 5. Əgər $x_{max} \leq xx_i$ şərti ödənərsə, onda $x_{max} = xx_i$ qəbul edilir, əks halda $i = i + 1$ hesablanır.

Addım 6. Əgər $i \leq n$ şərti ödənərsə, onda addım 5-ə keçid olur.

Addım 7. Neft məhsulunun sıxlığının $20^{\circ}C$ temperatur üçün aşağı və yuxarı sərhəddi təyin edilir: $a = x_{min}$; $b = x_{max}$.

Addım 8. Neft məhsulunun cari sıxlığının yeni diapazonunun hesablanması əmsalı təyin edilir: $k1 = 0.0100$.

Addım 9. Neft məhsulunun cari sıxlığının yeni diapazonunun hesablanması üçün temperatur düzləndirilməsi əmsalı təyin edilir: $k2 = 0.000013$.

Addım 10. $1^{\circ}C$ temperatūra üçün neft məhsulunun temperatur düzləndirilməsi əmsalının başlanğıc qiyməti təyin edilir: $TP = 0.000962$.

Addım 11. Ölçmə üçün neft məhsulunun sıxlıq diapazonunun sayğacının başlanğıc qiyməti: $k = 0$ qəbul edilir.

Addım 12. Densimetrin yuxarı şkalasının PT (neft məhsulunun sıxlığı) və aşağı şkalasının T (neft məhsulunun temperaturu) qiymətləri təyin edilir.

Addım 13. Neft məhsulunun cari sıxlığının yeni diapazonun sərhəd qiymətləri hesablanır: $a_1 = a + k_1 \cdot k$; $b_1 = b + k_1 \cdot k$.

Addım 14. Əgər $k > 24$ şərti ödənərsə, onda alqoritmin sonuna keçid olur.

Addım 15. Əgər $a_1 \leq PT \leq b_1$ şərti ödənərsə, onda neft məhsulunun cari sıxlığı hesablanır: $TP = TP - k_2 \cdot k$; $P = PT - TP \cdot (T - 20)$.

Alqoritmin sonuna keçid edilir.

Addım 16. Neft məhsulunun sıxlıq diapazonunun sayğacının qiyməti $k = k + 1$ qəbul edilir və addım 13-ə keçid olur.

Addım 17. Neft məhsulunun cari sıxlığı təyin edilir.

Alqoritmin sonu.

Kompüter eksperimenti nəticəsində nümunə üçün avtomobil benzininin hesablanmış cari sıxlığı cədvəl 1-də verilmişdir.

**Cədvəl 1. Sınaq olunan neft məhsulu: avtomobil benzini
(0.71 - 0.76)**

<i>Ölçmələr</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>PT</i>	<i>TP</i>	<i>P</i>
1.	0.7100	0.7199	0.7150	0.000884	0.7230
2.	0.7100	0.7199	0.7190	0.000884	0.7261
3.	0.7200	0.7299	0.7260	0.000871	0.7321
4.	0.7200	0.7299	0.7280	0.000871	0.7332
5.	0.7300	0.7399	0.7320	0.000858	0.7363
6.	0.7300	0.7399	0.7370	0.000858	0.7353
7.	0.7400	0.7499	0.7460	0.000845	0.7426
8.	0.7400	0.7499	0.7480	0.000845	0.7429
9.	0.7500	0.7599	0.7510	0.000832	0.7443
10.	0.7500	0.7599	0.7530	0.000832	0.7455

Paraqraf 2.3-də rezervuar parkının kommersiya uçuotu üçün ölçmələrin qeyri-müəyyənliyinin hesablanmasına baxılmışdır. Ölçmələrin əsas kəmiyyət verilənlərini ifadə edən standart qeyri-müəyyənlik, onun *A* və *B* tipli hesablama üsulları üçün empirik düsturlar verilmişdir.

Üçüncü fəsil qeyri-müəyyən mühitdə neft məhsullarının temperaturunun tənzimlənməsi və sıxlığının təyini üçün qərar qəbuletmə modellərinin işlənməsinə həsr edilmişdir. Birinci paraqrafda rezervuarda neft məhsulunun temperaturunun təyini modeli qeyri-səlis PŞ-si şəklində işlənməmişdir. Modelin strukturu matris şəklində təsvir edilmiş, verilmiş başlanğıc qiymətdən icazəli keçidlərin yerinə yetirilməsi ardıcılığının trayektoriyası tapılmış, qraf-sxemi qurulmuşdur.

Rezervuarda saxlanılan və buraxılan neft məhsullarının texnoloji proseslərin idarəedilməsi üçün məhsulun temperaturunun təyini modelinin mövqe və keçidlər çoxluğu təyin edilmişdir.

Mövqələr çoxluğu: p_1 - neft məhsulunun saxlanılması üçün rezervuar; p_2 - neft məhsulunun temperaturu diapazonu həddə uyğundur; p_3 - neft məhsulunun temperaturu diapazonu həddən aşağıdır; p_4 - neft məhsulunun temperaturu diapazonu həddən yuxarıdır; p_5 - neft məhsulunun səviyyəsinin hündürlüyü diapazonu həddə uyğundur; p_6 - neft məhsulunun səviyyəsinin hündürlüyü

diapazonu həddən aşağıdır; p_7 - neft məhsulunun səviyyəsinin hündürlüyü diapazonu həddən yuxarıdır; p_8 - neft məhsulunun sıxlığı diapazonu həddə uyğundur; p_9 - neft məhsulunun buraxılması kalonu (sütunu); p_{10} - neft məhsulunun rezervuarda qızdırılması; p_{11} - neft məhsulunun rezervuarda soyudulması.

Keçidlər çoxluğu: t_1 - rezervuarda neft məhsulunun temperaturunun təyin edilməsi; t_2 - rezervuarda neft məhsulunun səviyyəsinin hündürlüyünün təyin edilməsi; t_3 - rezervuarda neft məhsulunun sıxlığının təyin edilməsi; t_4 - neft məhsulunun buraxılması prosesinin icrası; t_5 - elektrik qızdırıcısının ventili bir qədər sol küncə nizamlanması; t_6 - elektrik qızdırıcısının ventili bir qədər sağ küncə nizamlanması.

Şəbəkənin Qram matrisinin və diaqonal uyğunluq vektorunun elementləri hesablanır. Kompüter eksperimenti nəticəsində μ_0 başlanğıc markerləməsindən keçidlərin $\tau_1 = (t_1, t_2, t_3, t_4)$, $\tau_2 = (t_1, t_5, t_1)$, $\tau_3 = (t_2, t_6, t_2)$ yerinə yetirilməsi ardıcılığı alınmışdır.

Paraqraf 3.2-də rezervuarda neft məhsulunun temperaturunun tənzimlənməsi üçün qərar qəbuletmə modeli işlənmişdir¹. Modelin qeyri-səlis produksiyalar sisteminə əsaslanan qaydalar bazası yaradılmışdır. Qaydalar bazasına daxil olan giriş və çıxış linqvistik dəyişənlərin term çoxluqlarının elementləri təyin edilmişdir.

Rezervuarlarda neft məhsulunun temperaturunun tənzimlənməsi üçün qeyri-səlis məntiqi nəticə çıxarma qaydalarını formalaşdırmaq üçün aşağıdakı linqvistik dəyişənlər təyin edilir:

A - giriş linqvistik dəyişəni “*rezervuarda neft məhsulunun temperaturu*” və bu dəyişən üçün term çoxluq kimi $T_A = \{\text{aşağı həddə uyğundur; həddə uyğundur; yuxarı həddə uyğundur}\}$ çoxluqlarından istifadə olunur.

B - giriş linqvistik dəyişəni “*rezervuarda temperaturun dəyişmə*

¹ Мустафаев, В. А. Модель принятия решений для регулирования температуры нефтепродукта в условиях неопределенности / В. А. Мустафаев, К. А. Аллаhverдиева // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2022. - Т. 18, № 1. - С. 29-35. - DOI 10.36622/VSTU.2022.18.1.003. - EDN JBMTKM. <https://elibrary.ru/item.asp?id=48007172>

sürəti” və bu dəyişən üçün term çoxluq kimi $T_B = \{ \text{mənfi; sıfır, müsbət} \}$ çoxluqlarından istifadə olunur.

C - çıxış linqvistik dəyişəni “*rezervuarın qızdırıcı tənzimləyicisinin ventili*” və bu dəyişən üçün term çoxluq kimi $T_C = \{ \text{böyük sol küncə; kiçik sol küncə; olduğu kimi saxlamaq; kiçik sağ küncə; böyük sağ küncə} \}$ çoxluğundan istifadə olunur.

Qeyri-səlis məntiqi nəticə çıxarma sisteminin qaydalar bazası aşağıdakı kimidir:

Qayda 1. ƏGƏR rezervuarda neft məhsulunun temperaturu aşağı həddə uyğundursa $[-20, -20, 15]$, **VƏ** rezervuarda temperaturun dəyişmə sürəti mənfidirsə $[-10, -10, -1]$, **ONDA** rezervuarın tənzimləyici ventilini böyük sağ küncə çəkmək lazımdır $[70, 90, 90]$;

Qayda 2. ƏGƏR rezervuarda neft məhsulunun temperaturu aşağı həddə uyğundursa $[-20, -20, 15]$, **VƏ** rezervuarda temperaturun dəyişmə sürəti sıfıra yaxındırsa $[-3, 0, 3]$, **ONDA** rezervuarın tənzimləyici ventilini kiçik sağ küncə çəkmək lazımdır $[50, 65, 80]$;

Qayda 3. ƏGƏR rezervuarda neft məhsulunun temperaturu aşağı həddə uyğundursa $[-20, -20, 15]$, **VƏ** rezervuarda temperaturun dəyişmə sürəti müsbətdirsə $[1, 10, 10]$, **ONDA** rezervuarın tənzimləyici ventilini kiçik sağ küncə çəkmək lazımdır $[50, 65, 80]$;

Qayda 4. ƏGƏR rezervuarda neft məhsulunun temperaturu həddə uyğundursa $[-9.814, 15.185, 40.185]$, **VƏ** rezervuarda temperaturun dəyişmə sürəti mənfidirsə $[-10, -10, -1]$, **ONDA** rezervuarın tənzimləyici ventilini olduğu kimi saxlamaq lazımdır $[40, 50, 60]$;

Qayda 5. ƏGƏR rezervuarda neft məhsulunun temperaturu həddə uyğundursa $[-9.814, 15.185, 40.185]$, **VƏ** rezervuarda temperaturun dəyişmə sürəti sıfıra yaxındırsa $[-3, 0, 3]$, **ONDA** rezervuarın tənzimləyici ventilini olduğu kimi saxlamaq lazımdır $[20, 35, 50]$;

Qayda 6. ƏGƏR rezervuarda neft məhsulunun temperaturu həddə uyğundursa $[-9.814, 15.185, 40.185]$, **VƏ** rezervuarda

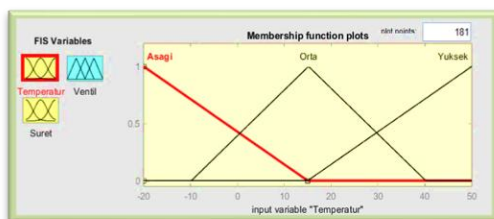
temperaturun dəyişmə sürəti müsbətdirsə $[1, 10, 10]$, **ONDA** rezervuarın tənzimləyici ventili olduğu kimi saxlamaq lazımdır $[40, 50, 60]$;

Qayda 7. ƏGƏR rezervuarda neft məhsulunun temperaturu yuxarı həddə uyğundursa $[15, 50, 50]$, **VƏ** rezervuarda temperaturun dəyişmə sürəti mənfidirsə $[-10, -10, -1]$, **ONDA** rezervuarın tənzimləyici ventili kiçik sol küncə çəkmək lazımdır $[20, 35, 50]$;

Qayda 8. ƏGƏR rezervuarda neft məhsulunun temperaturu yuxarı həddə uyğundursa $[15, 50, 50]$, **VƏ** rezervuarda temperaturun dəyişmə sürəti sıfıra yaxındırsa $[-3, 0, 3]$, **ONDA** rezervuarın tənzimləyici ventili kiçik sol küncə çəkmək lazımdır $[20, 35, 50]$;

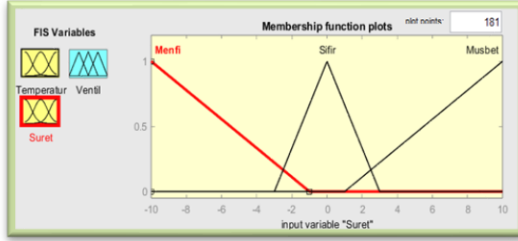
Qayda 9. ƏGƏR rezervuarda neft məhsulunun temperaturu yuxarı həddə uyğundursa $[15, 50, 50]$, **VƏ** rezervuarda temperaturun dəyişmə sürəti müsbətdirsə $[1, 10, 10]$, **ONDA** rezervuarın tənzimləyici ventili böyük sol küncə çəkmək lazımdır $[0, 0, 30]$.

A linqvistik dəyişənin şərtlərinin fəzifikasiyası üçün $X = [-20, 50]$ universiumunda üçbucaqşəkilli qeyri-səlis ədəd mənsubiyyət funksiyası (şəkil 1) seçilmiş və aşağıdakı qeyri-səlis çoxluqlar təyin edilmişdir: $\widetilde{A}_1 = [-20, -20, 15]$ - aşağı həddə uyğundur; $\widetilde{A}_2 = [-9.814, 15.185, 40.185]$ - həddə uyğundur; $\widetilde{A}_3 = [15, 50, 50]$ - yuxarı həddə uyğundur.



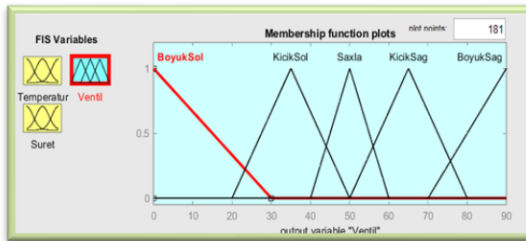
Şəkil 1. Rezervuarda neft məhsulunun temperaturu giriş linqvistik dəyişənin mənsubiyyət funksiyasının qrafik təsviri

B linqvistik dəyişəninin şərtlərinin fəzzifikasiyası üçün $Y = [-10, 10]$ universiumunda üçbucaq qeyri-səlis ədəd mənsubiyyət funksiyası (şəkil 2) seçilmiş və aşağıdakı qeyri-səlis çoxluqlar təyin edilmişdir: $\widetilde{B}_1 = [-10, -10, -1]$ - mənfi; $\widetilde{B}_2 = [-3, 0, 3]$ - sıfır, sıfıra yaxın; $\widetilde{B}_3 = [1, 10, 10]$ - müsbət.



Şəkil 2. Rezervuarda neft məhsulunun temperaturunun dəyişmə sürəti giriş linqvistik dəyişəninin mənsubiyyəti funksiyasının qrafik təsviri

C linqvistik dəyişəninin şərtlərinin fəzzifikasiyası üçün $C = [0, 90]$ universiumunda üçbucaq qeyri-səlis ədəd mənsubiyyət funksiyası (şəkil 3) seçilmiş və aşağıdakı qeyri-səlis çoxluqlar təyin edilmişdir: $\widetilde{C}_1 = [0, 0, 30]$ - böyük sol küncə; $\widetilde{C}_2 = [20, 35, 50]$ - kiçik sol küncə; $\widetilde{C}_3 = [40, 50, 60]$ - olduğu kimi saxlamaq; $\widetilde{C}_4 = [50, 65, 80]$ - kiçik sağ küncə; $\widetilde{C}_5 = [70, 90, 90]$ - böyük sağ küncə.



Şəkil 3. Neft məhsulunun sıxlığı çıxış linqvistik dəyişəninin mənsubluc funksiyasının qrafik təsviri

A linqvistik dəyişəninin term çoxluğunun elementlərinə uyğun qeyri-səlis çoxluqlar aşağıdakı kimi təsvir edilir:

$$\begin{aligned}\tilde{A}(x_1) &= \{(1/-20), (0.857/-15), (0.714/-10), (0.571/-5), (0.428/0), (0.285/5), (0.142/10), (0/15)\}; \tilde{A}(x_2) = \\ &= \{(0.785/-9.814), (0.400/0.186), (0.800/10.186), (0.799/20.186), (0.399/30.186), (0/40.185)\}; \tilde{A}(x_3) = \{(0/15), (0.142/20), (0.225/25), (0.425/30), (0.571/35), (0.714/40), (0.857/45), (0/50)\}.\end{aligned}$$

B linqvistik dəyişəninin term çoxluğunun elementlərinə uyğun qeyri-səlis çoxluqlar aşağıdakı kimi təsvir edilir:

$$\begin{aligned}\tilde{B}(x_1) &= \{(1/-10), (0.889/-9), (0.778/-8), (0.667/-7), (0.556/(-6)), (0.444/-5), (0.333/-4), (0.222/-3), (0.111/-2), (0/-1)\}; \tilde{B}(x_2) = \{(0/-3), (0.333/-2), (0.667/-1), (1/0), (0.667/1), (0.333/2), (0/3)\}; \tilde{B}(x_3) = \{(0/1), (0.111/2), (0.222/3), (0.333/4), (0.444/5), (0.556/6), (0.667/7), (0.778/8), (0.889/9), (1/10)\}.\end{aligned}$$

C linqvistik dəyişəninin term çoxluğunun elementlərinə uyğun qeyri-səlis çoxluqlar aşağıdakı kimi təsvir edilir:

$$\begin{aligned}\tilde{C}(x_1) &= \{(1/0), (0.5/15), (0/30)\}; \tilde{C}(x_2) = \{(0/20), (0.333/25), (0.667/30), (1/35), (0.667/40), (0.333/45), (0/50)\}; \tilde{C}(x_3) = \{(0/40), (0.5/50), (0/60)\}; \tilde{C}(x_4) = \{(0/50), (0.333/55), (0.667/60), (1/65), (0.667/70), (0.333/75), (0/80)\}; \tilde{C}(x_5) = \{(0/70), (0.5/80), (1/90)\}.\end{aligned}$$

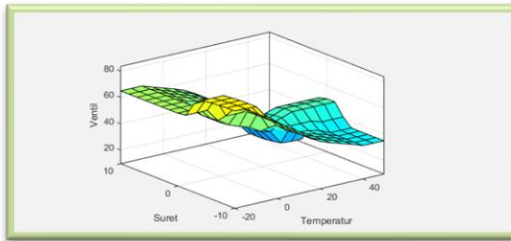
Linqvistik dəyişənin termlərinin mənsubiyyət funksiyalarının qiymətləri nəzərə alınmaqla qaydalar bazasının bütün alt şərtləri hesablanır və aşağıdakı qiymətlər alınır:

$$\begin{aligned}\mu_{\tilde{A}_1}(x) &= 0.285; \mu_{\tilde{A}_2}(x) = 0.600; \mu_{\tilde{A}_3}(x) = 0; \mu_{\tilde{B}_1}(y) = 0.444; \\ \mu_{\tilde{B}_2}(y) &= 0; \mu_{\tilde{B}_3}(y) = 0.\end{aligned}$$

Çıxış linqvistik dəyişəninin defazifikasiyası nəticəsində aşağıdakı qiymət alınır:

$$x = \frac{(30 \cdot 0.285 + 50 \cdot 0.444)}{(0.285 + 0.444)} = \frac{(8.55 + 22.2)}{0.729} = \frac{30.75}{0.729} \approx 42.17$$

Neft məhsulunun temperatur tənzimlənməsi üçün işlənmiş qərar qəbuletmə modelində qeyri-səlis çıxışın səthi vizuallaşdırılmışdır (şəkil 4).



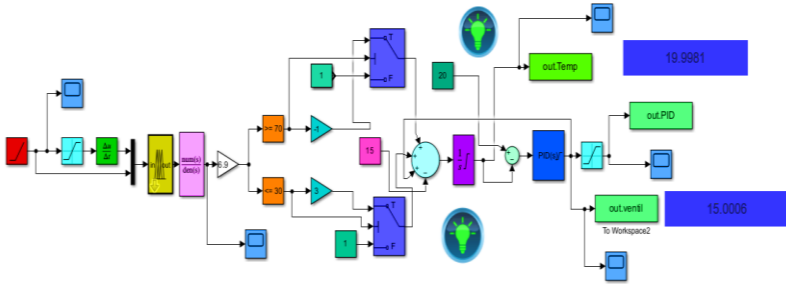
Şəkil 4. Rezervuarda istilik tənzimləyicisinin ventili çıxış linqvistik dəyişənlərinin defazifikasiyasının nəticəsinin qrafik təsviri

Paraqraf 3.3-də neft məhsulunun temperatur tənzimlənməsinə yönəlmiş Fuzzy və PID nəzarət sistemlərinin integrasiyası əsasında yaradılmış idarəetmə modeli təklif olunur. Model MATLAB/Simulink mühitində hazırlanmış və real fiziki sistemin dinamikasını nəzərə alan ötürmə funksiyası ilə təchiz edilmişdir.

Sənaye mühitində, xüsusilə neft məhsullarının temperatur tənzimlənməsi kimi mürəkkəb və qeyri-müəyyənliklərlə müşahidə olunan proseslərdə, klassik determinik idarəetmə üsulları kifayət etmədiyindən, hibrid yanaşmalar tətbiq olunur. Bu baxımdan, Fuzzy nəzarət sistemləri qeyri-səlis şəraitdə qərar qəbuletmədə üstünlük qazandığı halda, PID tənzimləyiciləri dəqiq riyazi əsaslandırmaya malik analoq idarəetmə alqoritmlərini təqdim edir (şəkil 5).

Modeldə temperatur signalı xətti şəkildə artan *Ramp* funksiyası ilə verilmişdir: $T(t) = T_0 + a \cdot t$, burada, $T_0 = 0$ -başlanğıc temperatur; $a = 1$ -Ramp əmsalıdır (slop).

$$T(20) = 0 + 1 \cdot 20 = 20^{\circ}\text{C}.$$



Şəkil 5. Simulink mühitində rezervuarlarda neft məhsulunun temperatur tənzimlənməsi üçün Fuzzy və PID nəzarət sistemlərinin integrasiyası əsasında qurulmuş idarəetmə modeli

Ramp funksiyası temperaturun sabit sürətlə artdığını modelləşdirir. Bu artımın sürətini ifadə edən diferensial, yəni temperaturun zaman üzrə dəyişmə sürəti $\frac{dT}{dt} = a = 1^{\circ}C/s$ olaraq qəbul edilmişdir. Bu isə temperaturun hər saniyədə $1^{\circ}C$ artdığını göstərir, yəni temperatur signalı xətti artım xarakteri daşıyır və sistemin reaksiyası bu dəyişkənlik əsasında tənzimlənilir. İdarəetmə modelində Fuzzy nəzarət sistemi iki giriş signalı əsasında - temperatur $T(t)$ və temperaturun dəyişmə sürəti $\frac{dT}{dt}$ -ventelin açılma dərəcəsini təyin edir. Bu qərar qəbulətmə prosesində linqvistik dəyişənlər və qeyri-səlis qaydalar bazası istifadə olunur. Fuzzy çıxış funksiyası aşağıdakı şəkildə formalaşır: $U_{fuzzy} = f\left(T, \frac{dT}{dt}\right)$, burada, U_{fuzzy} -Fuzzy nəzarətçinin çıxış signalı; T -real temperatur qiyməti; $\frac{dT}{dt}$ -temperaturun dəyişmə sürəti; f -Fuzzy integrasiya sistemi (fis) tərəfindən müəyyən olunan xəritələndirmə funksiyasıdır. Fuzzy sistemində istifadə olunan qaydalar bazası 9 qayda üzərində qurulmuşdur. Hər qayda aşağıdakı kimi ifadə olunur: $\text{əgər } T = A_i \text{ Və } \frac{dT}{dt} = B_j \text{ Onda } U_{fuzzy} = C_k$, burada, A_i, B_j -giriş dəyişənlərinə Fuzzy termlər ($T_1 - T_9$) mənimsədilir; C_k -çıxış dəyişəninə Fuzzy nəticəsidir (ventel dərəcəsi). Çıxış qiymətinə Mamdani tipli inferensiya metodu əlavə edilir və ağırlıq mərkəzi (centroid) defffazifikasiya üsulu tətbiq olunur:

$$U_{fuzzy} = u_f = \frac{\int_{\mu(x)>0} \mu(x) \cdot x dx}{\int_{\mu(x)>0} \mu(x) \cdot dx}.$$

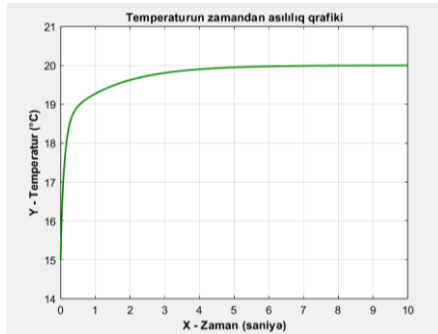
İdarəetmə modelində əsasən, Fuzzy çıxış qiyməti simulyasiya nəticəsində $U_{fuzzy} = 15.0006$ alınmışdır və nəticədə bu qiymət Transfer Function (ötürmə funksiyası) blokuna ötürülərək real sistemin reaksiyasını formalaşdırır. Modeldə Fuzzy çıxışına əlavə olaraq PID tənzimləyici tətbiq edilmiş və Fuzzy signal üzərində düzəliş məqsədilə istifadə olunur. PID nəzarətçi klassik idarəetmə prinsiplərinə əsaslanaraq xəta signalına cavab verir. PID signalı aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$U_{PID}(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t) dk + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt},$$

burada, $e(t) = T_{ref} - T_{out}$ - istənilən və referans temperatur arasındakı xəta; K_p – *proporsional əmsal*, K_i – *integral əmsalı*, K_d – *törəmə əmsalıdır*. Simulyasiyada istifadə olunan PID parametrləri aşağıdakı kimidir: $K_p = 9.78$; $K_i = 6$; $K_d = 0.03$; $e(t) = 0.0019$. $\int e(t) dt \approx e \cdot t = 0.0019 \cdot 20 = 0.038$;

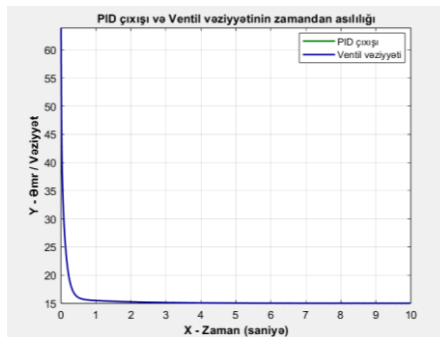
$$U_{PID} = 1.0019 + 0.1 \cdot 0.038 = 0.0019 + 0.038 = 0.0057.$$

Simulyasiya nəticələrinin vizual təhlili məqsədilə modelə əlavə olunmuş Scope blokları vasitəsilə həm temperaturun zamana görə dəyişməsi, həm Fuzzy+PID çıxışının (ventel açılma səviyyəsinin) davranışı müşahidə olunmuşdur (şəkil 6).



Şəkil 6. Temperatur signalının zamana görə dəyişməsi qrafiki

Bu qrafik Fuzzy və PID nəzarət sistemlərinin sinxron tətbiqi nəticəsində sistemin temperatur reaksiyasını əks etdirir. Qrafikdən aydın görünür ki, başlanğıc temperatur $\approx 15^{\circ}C$ -dir. Temperatur 0 – 3 *saniyyə* aralığında sürətlə yüksələrək $15^{\circ}C$ – ə yaxınlaşır və 5 – *ci saniyyədən* sonra isə temperatur istinad qiymətinə yaxın $19.9981^{\circ}C$ səviyyəsində sabitləşir. Sistem overhoot (artıq təsir) göstərmədən, hamar keçid ilə sabit vəziyyətə gəlir. Bu nəticə göstərir ki, Fuzzy çıxışı real sistemin əsas davranışını təyin edir, PID isə xəta signalı əsasında dəqiqlik əlavə edir. $T(t) = T_f - (T_f - T_0) \cdot e^{-kt}$, burada $T(t)$ -zaman üzrə temperatur signalı; $T_0 = 15^{\circ}C$ -başlanğıc temperatur; $T_f = 20^{\circ}C$ - son sabit temperatur; k - sistemin tənzimləmə sürətinə bağlı zaman sabiti; t – *zaman* (s). Beləliklə qeyd etmək olar ki, temperatur eksponensial şəkildə $20^{\circ}C$ -yə yaxınlaşır $T(t) \xrightarrow{t \rightarrow \infty} 20^{\circ}C$ (şəkil 7).



Şəkil 7. PID çıxışı və ventel çıxış signalının qrafik təsviri

Qrafik təsvir Fuzzy nəzarət sisteminin ventel açılmasına verdiyi reaksiyanı göstərir. Müşahidələrə əsasən, sistemin əvvəlki halında ventel çıxışı təxminən 70 səviyyəsindən başlayır (maksimum açılış) və ilk 2 *saniyyə* ərzində çıxış qiyməti sürətlə azalaraq 15 *saniyyə* səviyyələrinə yaxınlaşır. 3 – cü *saniyyədən* sonra isə sistem 15.0006 ətrafında sabit qalır. Bu azalma Fuzzy qərar sisteminin temperatur və temperaturun dəyişmə sürətinə verdiyi uyğulaşdırılmış cavab nəticəsində baş verir. Nəticədə ventel çıxışı sərt dəyişiklik olmadan, hamar və sabit şəkildə real istilik tələblərinə uyğun tənzimlənir.

Ventelin açılma səviyyəsi isə başlanğıcda yüksək olub sonradan sabit qiymətə enməsi eksponensial azalma funksiyası ilə modelləşdirilir: $V(t) = V_0 \cdot e^{-kt} + V_{ss}$, burada $V(t)$ -ventel açılma səviyyəsi; $V_0 \approx 55$ -başlanğıc əlavə açılış (70 – 15); k - azalma sürətini təyin edən sabit; t - zaman; V_{ss} - sabit rejim qiyməti və ya stasionar vəziyyət səviyyəsi (steady-state value) adlanır. Bu düstürdən görünür ki: $V(t) \xrightarrow{t \rightarrow \infty} 15$. Yəni Fuzzy nəzarətçi temperatur yüksəldikcə ventillə açılışını azaldır və sistemin sabit vəziyyətə keçməsinə təmin edir. Fuzzy nəzarətçi temperatur artdıqca ventili tədricən bağlayır və sistemi sakit, sabit bir rejimə keçirir. Bu davranış idarəetmə sistemlərinin əsas məqsədini - sistemi sabit, balanslı və dayanıqlı saxlamağı əks etdirir. Yəni sistem kəskin və sərt reaksiya vermir, əksinə, ağıllı və yumşaq şəkildə cavab verir.

Paraqraf 3.4-də neft məhsulunun temperaturunun tənzimlənməsi modeli C_f tipli qeyri-səlis PŞ-si şəklində işlənmişdir. Mövqelər, keçidlər çoxluğu, doğruluq, və həyəcanlanma həddi funksiyaları vektorlarının elementləri təsvir edilmiş, modelin strukturu alınmışdır. Verilmiş başlanğıc vəziyyətdən həyəcanlanmış keçidlər ardıcılığının trayektoriyası tapılmış, modelin qraf-sxemi qurulmuşdur.

Rezervuarda neft məhsulunun sıxlığının təyini üçün qərar qəbul etmə modeli işlənmişdir². Modelin qeyri-səlis produksiyalar şəklində qaydalar bazası yaradılmışdır.

Neft məhsulunun sıxlığının təyini üçün giriş linqvistik dəyişənləri kimi aşağıdakı dəyişənlərdən istifadə olunur: *neft məhsulunun temperaturu*; *neft məhsulunun izafi təzyiqi*; *neft məhsulunun səviyyəsinin hündürlüyü*.

A - giriş linqvistik dəyişəni **“rezervuarda neft məhsulunun temperaturu (ətraf mühitin temperaturunun sutkalıq temperatur**

² Атаев, Г. Н. Модель принятия решений для определения плотности нефтепродукта в условиях неопределенности / Г. Н. Атаев, Н. М. Кязимов, К. А. Аллахвердиева // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. - 2018. - № 4(114). - С. 110-120. - DOI 10.17122/ntj-oil-2018-4-110-120. - EDN XTUVVR. <https://elibrary.ru/item.asp?id=35290059>

normasına uyğun olaraq dəyişməsi və ya soyuq fəsillərdə neftin qızdırılması nəticəsində)” və bu dəyişən üçün term çoxluq kimi $T_A = \{ \text{həddən maksimum aşağı; həddən əhəmiyyətli dərəcədə aşağı; həddən aşağı; bir qədər aşağı; normal həddə uyğun; həddən bir qədər yüksək; həddən yüksək; həddən əhəmiyyətli dərəcədə yüksək; həddən maksimum yüksək} \}$ elementlərindən istifadə olunur.

B - giriş linqvistik dəyişəni “rezervuarda neft məhsulunun səviyyəsinin hündürlüyü (buxarlanma, temperatur və sıxlığın dəyişməsi nəticəsində)” və bu dəyişən üçün term çoxluq kimi $T_B = \{ \text{sıfır yaxın-çox aşağı; aşağı; bir qədər aşağı ; orta; normal həddə uyğun; bir qədər yüksək; yüksək; çox yüksək; maksimum yüksək} \}$ çoxluqlarından istifadə olunur.

C - giriş linqvistik dəyişəni “neft məhsulunun izafi təzyiqi (qaz məkanında təzyiqin artması zamanı)” - və bu dəyişən üçün term çoxluq kimi $T_C = \{ \text{çox aşağı; aşağı; orta aşağı; orta; normal; orta yüksək; yüksək; çox yüksək; maksimum yüksək} \}$ çoxluqlarından istifadə olunur.

D - çıxış linqvistik dəyişəni “neft məhsulunun sıxlığı (yüngül fraksiyaların buxarlanması nəticəsində)” və bu dəyişən üçün term çoxluq kimi $T_D = \{ \text{çox aşağı-nəzarət sisteminə daxil edilir-1; aşağı - nəzarət sisteminə daxil edilir-1; orta aşağı - nəzarət sisteminə daxil edilmir; normal - nəzarət sisteminə daxil edilmir; orta yüksəkdir - nəzarət sisteminə daxil edilmir; yüksək - nəzarət sisteminə daxil edilmir; çox yüksək - nəzarət sisteminə daxil edilir-2; həddən yüksək - nəzarət sisteminə daxil edilir-2; maksimum yüksək-nəzarət sisteminə daxil edilir-2} \}$ çoxluqlarından istifadə olunur.

Qeyri-səlis məntiqi nəticə çıxarma sisteminin qaydalar bazası aşağıdakı kimidir:

Qayda 1. ƏGƏR neft məhsulunun temperaturu həddən maksimum aşağıdırsa (**T1**) $[-20, -20, -17, -12]$, **VƏ** neft məhsulunun səviyyəsi sıfır yaxın, çox aşağıdırsa (**S1**) $[0, 0, 1, 2]$, **VƏ** neft məhsulunun izafi təzyiqi çox aşağıdırsa (**P1**) $[0, 0, 0.1, 0.2]$, **ONDA** neft məhsulunun sıxlığı çox aşağı hesab olunur və nəzarət sisteminə daxil edilir-1 (**D1**) $[700, 700, 710, 720]$;

Qayda 2. ƏGƏR neft məhsulunun temperaturu normal həddə uyğundursa (**T5**) [9, 14, 19, 24], **VƏ** neft məhsulunun səviyyəsi normal həddə uyğundursa (**S5**) [11, 12, 13, 14], **VƏ** neft məhsulunun izafi təzyiqi normaldırsa (**P5**) [0.7, 0.8, 0.9, 1], **ONDA** neft məhsulunun sıxlığı normal hesab olunur - nəzarət sisteminə daxil edilmir (**D4**) [750, 760, 765, 770];

Qayda 3. ƏGƏR neft məhsulunun temperaturu həddən maksimum yüksəkdirsə (**T9**) [47, 50, 50, 50], **VƏ** neft məhsulunun səviyyəsi maksimum yüksəkdirsə (**S9**) [19, 20, 20, 20], **VƏ** neft məhsulunun izafi təzyiqi maksimum yüksəkdirsə (**P9**) [1.45, 1.5, 1.5, 1.5], **ONDA** neft məhsulunun sıxlığı maksimum yüksəkdir - nəzarət sisteminə daxil edilir-2 (**D9**) [799, 800, 800, 800];

Qayda 4. ƏGƏR neft məhsulunun temperaturu həddən əhəmiyyətli dərəcədə aşağıdırsa (**T2**) [-17, -12, -9, -4], **VƏ** neft məhsulunun səviyyəsi bir qədər aşağıdırsa (**S3**) [4, 6, 8, 10], **VƏ** neft məhsulunun izafi təzyiqi orta aşağıdırsa (**P3**) [0.3, 0.4, 0.5, 0.6], **ONDA** neft məhsulunun sıxlığı orta aşağıdır - nəzarət sisteminə daxil edilmir (**D3**) [730, 740, 750, 760];

Qayda 5. ƏGƏR neft məhsulunun temperaturu həddən bir qədər yüksəkdirsə (**T6**) [19, 24, 29, 34], **VƏ** neft məhsulunun səviyyəsi ortadırsa (**S4**) [8, 10, 11, 12], **VƏ** neft məhsulunun izafi təzyiqi orta yüksəkdirsə (**P6**) [0.9, 1, 1.1, 1.2], **ONDA** neft məhsulunun sıxlığı yüksəkdir - nəzarət sisteminə daxil edilmir (**D5**) [765, 770, 775, 780];

Qayda 6. ƏGƏR neft məhsulunun temperaturu həddən aşağıdırsa (**T3**) [-9, -4, -1, 4], **VƏ** neft məhsulunun səviyyəsi aşağıdırsa (**S2**) [1, 2, 4, 6], **VƏ** neft məhsulunun izafi təzyiqi aşağıdırsa (**P2**) [0.1, 0.2, 0.3, 0.4], **ONDA** neft məhsulunun sıxlığı bir qədər yüksəkdir - nəzarət sisteminə daxil edilmir (**D5**) [765 770 775 780];

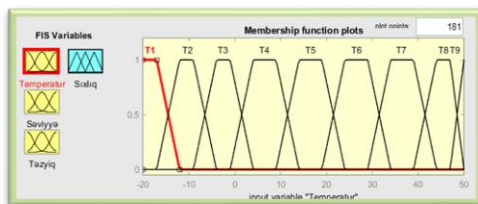
Qayda 7. ƏGƏR neft məhsulunun temperaturu həddən yüksəkdirsə (**T7**) [29, 34, 39, 44], **VƏ** neft məhsulunun səviyyəsi yüksəkdirsə (**S7**) [15, 16, 17, 18], **VƏ** neft məhsulunun izafi təzyiqi yüksəkdirsə (**P7**) [1.1, 1.2, 1.3, 1.4], **ONDA** neft

məhsulunun sıxlığı çox yüksəkdir - nəzarət sistemində daxil edilir-2 (**D7**) [785, 790, 795, 797];

Qayda 8. ƏGƏR neft məhsulunun temperaturu həddən bir qədər aşağıdırsa (**T4**) $[-1, 4, 9, 14]$, **VƏ** neft məhsulunun səviyyəsi bir qədər yüksəkdirsə (**S6**) $[13, 14, 15, 16]$, **VƏ** neft məhsulunun izafi təzyiqi ortadırsa (**P4**) $[0.5, 0.6, 0.7, 0.8]$, **ONDA** neft məhsulunun sıxlığı aşağıdır – nəzarət sistemində daxil edilir-1 (**D2**) $[710, 720, 730, 740]$;

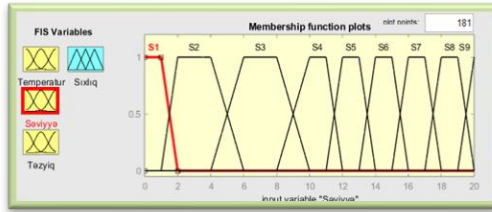
Qayda 9. ƏGƏR neft məhsulunun temperaturu həddən əhəmiyyətli dərəcədə yüksəkdirsə (**T8**) $[39, 44, 47, 50]$, **VƏ** neft məhsulunun səviyyəsi çox yüksəkdirsə (**S8**) $[17, 18, 19, 20]$, **VƏ** neft məhsulunun izafi təzyiqi çox yüksəkdirsə (**P8**) $[1.3, 1.4, 1.45, 1.5]$, **ONDA** neft məhsulunun sıxlığı həddən çox yüksəkdir - nəzarət sistemində daxil edilir-2 (**D8**) $[795, 797, 799, 800]$.

A lingvistik dəyişənin şərtlərinin fuzzifikasiyası üçün $X = [-20, 50]$ universumunda trapesiya şəkilli qeyri-səlis interval mənsubiyyət funksiyası (şəkil 5) seçilmiş və aşağıdakı qeyri-səlis çoxluqlar təyin edilmişdir: $\widetilde{A}_1 = [-20, -20, -17, -12]$ həddən maksimum aşağı (**T1**); $\widetilde{A}_2 = [-17, -12, -9, -4]$ həddən əhəmiyyətli dərəcədə aşağı (**T2**); $\widetilde{A}_3 = [-9, -4, -1, 4]$ həddən aşağı (**T3**); $\widetilde{A}_4 = [-1, 4, 9, 14]$ bir qədər aşağı (**T4**); $\widetilde{A}_5 = [9, 14, 19, 24]$ normal həddə uyğun (**T5**); $\widetilde{A}_6 = [19, 24, 29, 34]$ həddən bir qədər yüksək (**T6**); $\widetilde{A}_7 = [29, 34, 39, 44]$ həddən yüksək (**T7**); $\widetilde{A}_8 = [39, 44, 47, 50]$ həddən əhəmiyyətli dərəcədə yüksək (**T8**); $\widetilde{A}_9 = [47, 50, 50, 50]$ həddən maksimum yüksək (**T9**).



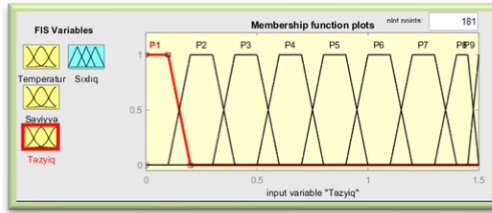
Şəkil 5. Neft məhsulunun temperaturu giriş lingvistik dəyişənin mənsubluq funksiyasının qrafik təsviri

B linqvistik dəyişəninin şərtlərinin fazifikasiyası üçün $Y = [0, 20]$ universiumunda trapesiya şəkilli qeyri-səlis interval mənsubiyyət funksiyası (şəkil 6) seçilmiş və aşağıdakı qeyri-səlis çoxluqlar təyin edilmişdir: $\widetilde{B}_1 = [0, 0, 1, 2]$ sıfıra yaxın-çox aşağı ($S1$); $\widetilde{B}_2 = [1, 2, 4, 6]$ aşağı ($S2$); $\widetilde{B}_3 = [4, 6, 8, 10]$ bir qədər aşağı ($S3$); $\widetilde{B}_4 = [8, 10, 11, 12]$ orta ($S4$); $\widetilde{B}_5 = [11, 12, 13, 14]$ normal həddə uyğun ($S5$); $\widetilde{B}_6 = [13, 14, 15, 16]$ bir qədər yüksək ($S6$); $\widetilde{B}_7 = [15, 16, 17, 18]$ yüksək ($S7$); $\widetilde{B}_8 = [17, 18, 19, 20]$ çox yüksək ($S8$); $\widetilde{B}_9 = [19, 20, 20, 20]$ maksimum yüksək ($S9$).



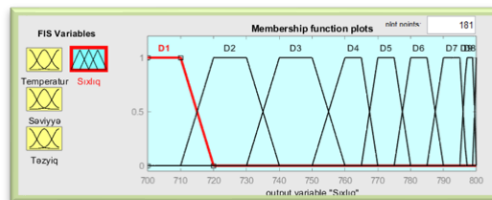
Şəkil 6. Neft məhsulunun səviyyəsinin hündürlüyü giriş linqvistik dəyişəninin mənsubluq funksiyasının qrafik təsviri

C linqvistik dəyişəninin şərtlərinin fazifikasiyası üçün $Z = [0, 1.5]$ universiumunda trapesiya şəkilli qeyri-səlis interval mənsubiyyət funksiyası (şəkil 7) seçilmiş və aşağıdakı qeyri-səlis çoxluqlar təyin edilmişdir: $\widetilde{C}_1 = [0, 0, 0.1, 0.2]$ çox aşağı ($P1$); $\widetilde{C}_2 = [0.1, 0.2, 0.3, 0.4]$ aşağı ($P2$); $\widetilde{C}_3 = [0.3, 0.4, 0.5, 0.6]$ orta aşağı ($P3$); $\widetilde{C}_4 = [0.5, 0.6, 0.7, 0.8]$ orta ($P4$); $\widetilde{C}_5 = [0.7, 0.8, 0.9, 1]$ normal ($P5$); $\widetilde{C}_6 = [0.9, 1, 1.1, 1.2]$ orta yüksək ($P6$); $\widetilde{C}_7 = [1.1, 1.2, 1.3, 1.4]$ yüksək ($P7$); $\widetilde{C}_8 = [1.3, 1.4, 1.45, 1.5]$ çox yüksək ($P8$); $\widetilde{C}_9 = [1.45, 1.5, 1.5, 1.5]$ maksimum yüksək ($P9$).



Şəkil 7. Neft məhsulunun izafi təzyiqi giriş linqvistik dəyişəninin mənsubluq funksiyasının qrafik təsviri

D linqvistik dəyişəninin şərtlərinin fazifikasiyası üçün $K = [700, 800]$ universiumunda trapesiya şəkilli qeyri-səlis interval mənsubiyyət funksiyası (şəkil 8) seçilmiş və aşağıdakı qeyri-səlis çoxluqlar təyin edilmişdir: $\widetilde{D}_1 = [700, 700, 710, 720]$ çox aşağı-nəzarət sisteminə daxil edilir-1 ($D1$); $\widetilde{D}_2 = [710, 720, 730, 740]$ aşağı - nəzarət sisteminə daxil edilir-1 ($D2$); $\widetilde{D}_3 = [730, 740, 750, 760]$ orta aşağı - nəzarət sisteminə daxil edilmir ($D3$); $\widetilde{D}_4 = [750, 760, 765, 770]$ normal - nəzarət sisteminə daxil edilmir ($D4$); $\widetilde{D}_5 = [765, 770, 775, 780]$ orta yüksəkdir - nəzarət sisteminə daxil edilmir ($D5$); $\widetilde{D}_6 = [775, 780, 785, 790]$ yüksək - nəzarət sisteminə daxil edilmir ($D6$); $\widetilde{D}_7 = [785, 790, 795, 797]$ çox yüksək - nəzarət sisteminə daxil edilir-2 ($D7$); $\widetilde{D}_8 = [795, 797, 799, 800]$ həddən yüksək - nəzarət sisteminə daxil edilir-2 ($D8$); $\widetilde{D}_9 = [799, 800, 800, 800]$ maksimum yüksək-nəzarət sisteminə daxil edilir-2 ($D9$).



Şəkil 8. Neft məhsulunun sıxlığı çıxış linqvistik dəyişəninin mənsubluq funksiyasının qrafik təsviri

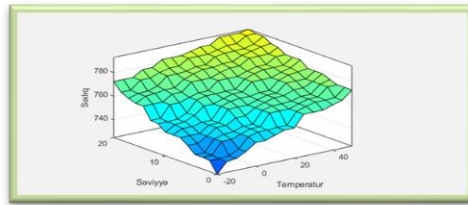
Hər bir produksiya qaydası üçün şərtlərin doğruluq dərəcəsi və aktivizasiya prosesinin nəticələri tapılmışdır. Aktiv qaydalar aşağıdakılardır:

$$\mu(p_1) = 0.0476; \mu(p_2) = \mu(p_3) = 0.1135; \mu(p_4) = 0.1190; \\ \mu(p_5) = \mu(p_6) = \mu(p_7) = \mu(p_8) = \mu(p_9) = 0.0952.$$

Çıxış linqvistik dəyişəninin defazifikasiyası nəticəsində aşağıdakı qiyməti alınır.

$$x = \frac{\sum \mu(p_i) \cdot d_i}{\sum \mu(p_i)} = \frac{590.8875}{0.7744} = 763.026214 \text{ kg/m}^3$$

Neft məhsulunun sıxlığının təyini üçün işlənmiş modeldə qeyri-səlis çıxışın səthi vizuallaşdırılmışdır (şəkil 9).

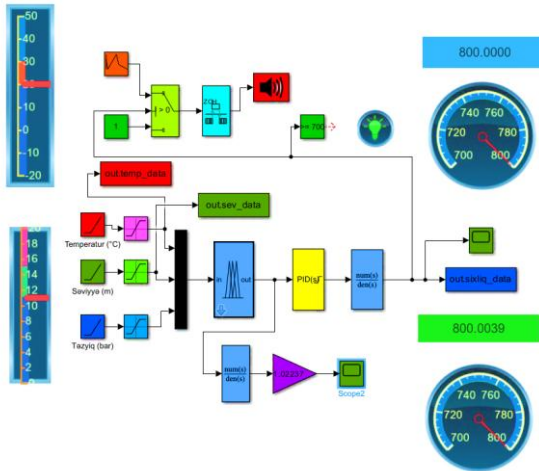


Şəkil 9. Neft məhsulunun sıxlığı linqvistik dəyişəninin məntiqi nəticə çıxarma grafik təsviri

Paraqraf 3.6-da işlənmiş model həm Fuzzy çıxışlı idarəetmə, həm də PID tənzimləyici ilə gücləndirilmiş idarəetmə yanaşmalarını özündə birləşdirərək iki fərqli nəticə təqdim edir. Struktur sxemindən də göründüyü kimi, model iki əsas hissədən ibarətdir: MATLAB/Simulink mühitində qurulmuş və prosesin dinamikasına uyğun şəkildə konfigurasiya olunmuş Fuzzy Logic Controller → Transfer Function zəncirindən ibarət klassik Fuzzy əsaslı idarəetmə modulu və bu modul ilə paralel şəkildə işləyən, Fuzzy Logic Controller → Transfer Function → PID Controller ardıcılığına əsaslanan təkmilləşdirilmiş idarəetmə modulu (şəkil 10).

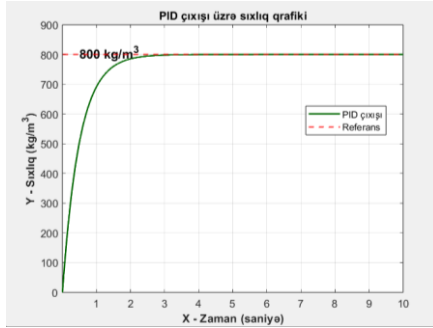
Simulink modeli, qeyri-müəyyən mühitdə neft məhsulunun sıxlığının yüksək dəqiqliklə təyini və tənzimlənməsi məqsədi ilə hazırlanmışdır. Model Fuzzy logic PID idarəetmə metodları ilə kombinə edilmişdir və sistem aşağıdakı prinsip üzrə işləyir: modelin başlanğıcında temperatur (°C), səviyyə (m) və təzyiq (bar) kimi əsas

fiziki dəyişənlər istifadəsindən və ya sensorlardan daxil edilir; bu siqnallar MUX blokunda birləşdirilərək Fuzzy logic idarəetməyə ötürülür; Fuzzy Logic Controller daxil olan temperatur, səviyyə və təzyiq qiymətlərini təhlil edərək sıxlıq siqnalına uyğun Fuzzy çıxış formalaşdırır; bu çıxış qeyri-xətti qaydalar əsasında “təxmin edilmiş sıxlıq” kimi işlənir.



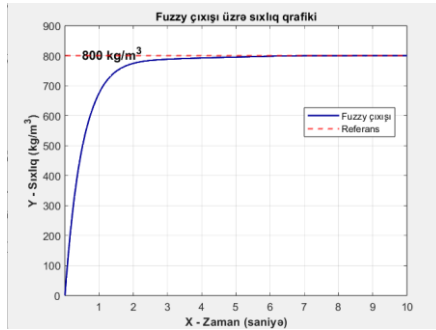
Şəkil 10. MATLAB/Simulink mühitində rezervuarlarda neft məhsulunun sıxlığının təyini üçün hibrid modelin struktur sxemi

Şəkil 11-də verilmiş qrafik Fuzzy-PID idarəetmə modelindən əldə olunan sıxlıq çıxış siqnalının zamanla dəyişməsinə təsvir edir. Qrafikdə sıxlıq siqnalı başlanğıcda 0-dan başlayaraq sürətlə yüksəlir və təqribən 2.5 saniyə ərzində 800 kg/m^3 istinad qiymətinə yaxınlaşaraq sabitlik rejiminə keçir. Bu cavab yüksək çeviklik və kritik dərəcədə az keçid anı ilə idarəetmə sisteminin operativliyini sübut edir. Sabit rejimdə siqnalın dalğalanmaması və sabit 800 qiymətində qalması PID tənzimləyicinin effektiv korreksiya qabiliyyətini nümayiş etdirir. Qrafik təsvir vizual olaraq göstərir ki, model istənilən sıxlıq dəyərinə maksimal dəqiqlik və minimal xəta ilə çatır, bu da nəzarət sisteminin praktik tətbiqlərdə mükəmməl uyğunluqla işlədiyini sübut edir.



Şəkil 11. PID tənzimləyici ilə təkmilləşdirilmiş idarəetmə modulunda sıxlıq (kg/m^3) çıxış siqnalının zamandan (saniyə) asılılıq qrafiki

Şəkil 12-də Fuzzy logic əsaslı idarəetmə modelindən əldə edilən sıxlıq çıxış siqnalının zamanla dəyişməsi təsvir olunur. Çıxış siqnalı təqribən 1 saniyə ərzində sürətlə yüksələrək istinad qiyməti olan 800 kg/m^3 -ə yaxınlaşır və təxminən 3 saniyədə sabitlik rejiminə keçir. Qrafikdə çox kiçik amplitudada fərqi ilə 800.0039 kg/m^3 kimi təyin olunan çıxış Fuzzy modelin yüksək dəqiqliklə işlədiyini sübut edir. Lakin PID tənzimləyici ilə müqayisədə burada cəmi 0.0039 -luq mütləq xəta mövcuddur ki, bu da sistemin real vaxt tətbiqləri üçün praktik olaraq qənaətbəxş olduğunu göstərir. Yekunda, Fuzzy model mürəkkəb qeyri-səlis şərtləri nəzərə almaqla istənilən qiymətə çox yaxın nəticə verir və yüksək cavab sürəti ilə fərqlənir.



Şəkil 12. Fuzzy çıxışlı idarəetmə modulunda sıxlıq (kg/m^3) çıxış siqnalının zamandan (saniyə) asılılıq qrafiki

Aşağıda Fuzzy idarəetmə yanaşması ilə Fuzzy-PID kombinasiyasının göstəricilərinin müqayisə cədvəli verilmişdir (cədvəl 2). Bu cədvəl stabil rejimdə çıxış siqnalının istənilən qiymətə nə qədər yaxın olduğunu, xətlərin minimal səviyyəyə endirilib-endirilmədiyini aşkar şəkildə göstərir.

Cədvəl 2. Hibrid modelin müqayisəli təhlili

<i>Xəta</i>	<i>Fuzzy</i>	<i>Fuzzy+PID</i>
İSE (kvadratik xəta)	0.983205	0.0001065
İAE (modul xəta)	0.991533	0.0273
MSE (orta kvadratik xəta)	0.140458	0.00001521
MAE (orta modul xəta)	0.141648	0.0039
Mütləq xəta	0.0039	0.0000
Nisbi xəta %	0.0004875%	0.000000%
İstənilən qiymət	800	800
Çıxış qiyməti	800.0039	800.000

Dördüncü fəsil neft məhsullarının nəql olunması üsulları, xüsusiyyətləri və avtomatlaşdırılmış logistikası modellərinin işlənməsinə həsr edilmişdir. Bu məqsədlə neft məhsullarının nəql olunması üçün paylayıcı neft bazalarının xüsusiyyətləri və daşınma üsullarının üstünlükləri və çatışmazlıqları, kəmiyyət və keyfiyyət itkilərinin göstəriciləri analiz olunmuşdur. Paraqraf 4.2-də neft məhsullarının logistikasında nəqliyyat vasitəsinin yerdəyişmə modeli rəngli PŞ-si şəklində işlənmişdir. Mövqələr, keçidlər çoxluqları, keçidlərin giriş və çıxış mövqələrində rənglərin paylanma funksiyası vektorunun elementləri təsvir edilmiş, modelin struktur elementləri vektorlar və matrislər şəklində formalaşmış, şəbəkənin qraf sxemi qurulmuşdur. Verilmiş başlanğıc vəziyyətdən icazəli keçidlərin yerinə yetirilməsi ardıcılığı trayektoriyası tapılmışdır. *NV-nin* yerdəyişmə modeli rəngli PŞ-si şəklində təsvir olunur.

Mövqələr çoxluğu: P_1 - avtoparkda standart uyğun boş nəqliyyat vasitəsi var; P_2 - neft bazasında standart uyğun boş nəqliyyat vasitəsi var; P_3 - neft bazasının rezervuarı boş nəqliyyat vasitəsinə neft

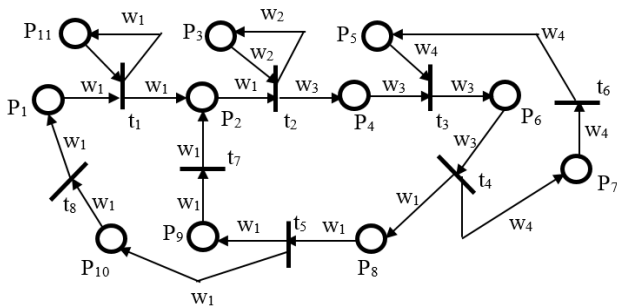
məhsulu ilə doldurmaq rejimindədir; P_4 - neft bazasında neft məhsulu ilə doldurulmuş nəqliyyat vasitəsi var; P_5 - yanacaq doldurma məntəqəsi neft məhsulunu qəbuletmə rejimindədir; P_6 - yanacaq doldurma məntəqəsində neft məhsulu ilə doldurulmuş nəqliyyat vasitəsi var; P_7 - neft məhsulu yanacaq doldurma məntəqəsində neft məhsulunun saxlanması sisteminə boşaldıldı; P_8 - yanacaq doldurma məntəqəsində boş nəqliyyat vasitəsi var; P_9 - nəqliyyat vasitəsinin xidmət müddəti başa çatmamışdır; P_{10} - nəqliyyat vasitəsinin xidmət müddəti başa çatmışdır; P_{11} - yanacaq doldurma məntəqəsinin neft məhsuluna tələbatı var.

Yerdəyişmə modelində mümkün hadisələr aşağıdakı keçidlər çoxluğu ilə təsvir edilir.

Keçidlər çoxluğu: t_1 - standart uyğun boş nəqliyyat vasitəsinin neft bazasına yerdəyişməsi prosesi icra edilir; t_2 - rezervardan neft məhsulunun standart uyğun boş nəqliyyat vasitəsinə doldurulması prosesi icra edilir; t_3 - neft məhsulu doldurulmuş nəqliyyat vasitəsinin yanacaq doldurma məntəqəsinə qəbulu prosesi icra edilir; t_4 - nəqliyyat vasitəsinin sisternindən yanacaq doldurma məntəqəsinin çəninə neft məhsulunun boşaldılması prosesi icra edilir; t_5 - yanacaq doldurma məntəqəsində boş nəqliyyat vasitəsinin iş rejiminin tənzimlənməsi prosesi icra edilir; t_6 - yanacaq doldurma məntəqəsinin neft məhsuluna tələbatının müəyyənəşdirilməsi prosesi icra edilir; t_7 - boş nəqliyyat vasitəsinin təkrar neft bazasına yerdəyişməsi prosesi icra edilir; t_8 - boş nəqliyyat vasitəsinin avtoparka qayıtması prosesi icra edilir.

Tədqiq edilmiş modeldə dörd rəng $\mathcal{W} = (w_1, w_2, w_3, w_4)$ verilmişdir: w_1 -standarta uyğun boş NV ; w_2 - NB -nin rezervuarı; w_3 -neft məhsulu ilə doldurulmuş NV ; w_4 -tələbatı olan YDM .

Şəkil 13-də NV -nin yerdəyişmə modelinin qraf-sxemi verilmişdir. Kompüter simulyasiyası nəticəsində başlanğıc μ_0 vəziyyətindən $\tau = (\mu^1, \mu^2, \mu^3, \mu^4, \mu^5, \mu^6, \mu^7, \mu^8)$ matrislər toplusu şəklində keçidlər ardıcılığı tapılmışdır.



Şəkil 12. NV-nin yerdəyişmə modelinin qraf-sxemi

Paraqraf 4.3-də ANP-NB-YDM yerdəyişməsinin logistik modeli zaman PŞ-i şəklində işlənmişdir. Modelin strukturu matris şəklində təsvir edilmiş, verilmiş başlanğıc vəziyyətdən icazəli keçidlərin yerinə yetirilməsi ardıcılığının trayektoriyası tapılmış, qraf-sxem qurulmuşdur. Mövqələr və keçidlər çoxluğu aşağıdakı kimi təyin edilmişdir.

Mövqələr çoxluğu: P_1^1 -NB-də yanacaq daşıyan - paylayan standart uyğun boş tutumlu NV1 gözləmə rejimindədir; P_2^1 -NB-də rezervuar 1-in doldurma kolonunun mövqesində yanacaq dolu yanacaq daşıyan - paylayan NV1 gözləmə rejimindədir; P_3^1 -NB-nin rezervuar 1-in doldurma kolonunun mövqesindən yanacaq dolu yanacaq daşıyan - paylayan NV1 yerdəyişmə rejimindədir; P_4^1 -NB-yə təhkim olunmuş ANP-də boş tutumlu standart uyğun yanacaq daşıyan-paylayan NV1 gözləmə rejimindədir; P_5^1 - Rezervuar 1-in kolonu yanacaq daşıyan-paylayan NV-yə xidmət tələbini yerinə yetirmə rejimindədir; P_6 -NB-yə təhkim olunmuş YDM yanacaq tələbat rejimindədir; P_1^2 -NB-də yanacaq daşıyan-paylayan standart uyğun boş tutumlu NV 2 gözləmə rejimindədir; P_2^2 -NB-də rezervuar 1-in doldurma kolonunun mövqesində yanacaq dolu yanacaq daşıyan - paylayan NV2 gözləmə rejimindədir; P_3^2 -NB-nin rezervuar 1-in doldurma kolonunun mövqesindən yanacaq dolu yanacaq daşıyan-paylayan NV2 yerdəyişmə rejimindədir; P_4^2 -NB-yə təhkim olunmuş ANP-də boş tutumlu standart uyğun yanacaq daşıyan-paylayan NV2 gözləmə rejimindədir; P_5^2 - Rezervuar 2-nin kolonu

yanacaq daşıyan-paylayan NV -yə xidmət tələbini yerinə yetirmə rejimindədir;

P_1^3 - NB -də yanacaq daşıyan-paylayan standartda uyğun boş tutumlu $NV3$ gözləmə rejimindədir; P_2^3 - NB -də rezervuar 2-nin doldurma kolonunun mövqesində yanacaq dolu yanacaq daşıyan - paylayan $NV3$ gözləmə rejimindədir; P_3^3 - NB -də rezervuar 1-in doldurma kolonunun mövqesindən yanacaq dolu yanacaq daşıyan-paylayan $NV 3$ yerdəyişmə rejimindədir; P_4^3 - NB -yə təhkim olunmuş ANP -də boş tutumlu standartda uyğun yanacaq daşıyan-paylayan $NV3$ gözləmə rejimindədir; P_1^4 - NB -də yanacaq daşıyan-paylayan standartda uyğun boş tutumlu $NV4$ gözləmə rejimindədir; P_2^4 - NB -də rezervuar 2-nin doldurma kolonunun mövqesində yanacaq dolu yanacaq daşıyan-paylayan $NV4$ gözləmə rejimindədir; P_3^4 - NB -də rezervuar 2-nin doldurma kolonunun mövqesindən yanacaq dolu yanacaq daşıyan-paylayan $NV4$ yerdəyişmə rejimindədir; P_4^4 - NB -yə təhkim olunmuş ANP -də boş tutumlu standartda uyğun yanacaq daşıyan - paylayan $NV4$ gözləmə rejimindədir.

Zaman $P\dot{S}$ -si şəklində işlənmiş logistika modelinin fəaliyyəti və idarə olunmasının produksiya qaydalar bazası işlənmişdir.

Dissertasiya işinin nəticələri

Dissertasiya işində Petri şəbəkəsinin tətbiqi ilə neft bazalarında texnoloji proseslərin modelləşdirilməsi və idarə olunmasının model və alqoritmləri işlənmişdir. Aşağıdakı nəticələr alınmışdır:

1. Neft və neft məhsullarının qəbulu, saxlanması, daşınması üçün istifadə olunan neft bazaları təsnif edilərək, texnoloji proseslərin əsas parametrləri təyin edilərək onların idarə olunmasının modelləşdirmə aparatlarının seçilməsi əsaslandırılmışdır.

2. Qeyri-müəyyən mühitdə rezervuarda neft məhsullarının temperaturunun təyini və tənzimlənməsi üçün qeyri-səlis $P\dot{S}$ -i və C_f tipli qeyri-səlis $P\dot{S}$ -i şəklində qərar qəbulətmə modelləri təklif edilmiş və işlənmişdir.

3. Qeyri-müəyyən mühitdə rezervuarlarda neft məhsullarının sıxlığının təyini üçün qərar qəbulətmə modeli işlənmişdir. Modelin qeyri-səlis produksiyalar sisteminə əsaslanan qaydalar bazası yaradılmış, *Mamdani alqoritm*i əsasında məntiqi nəticə çıxarma mexanizmi işlənmişdir.

4. Rezervuarda neft məhsullarının temperaturunun tənzimlənməsi və sıxlığının təyini modelləri Fuzzy və PID inteqrasiya sistemlərində işlənmiş, MATLAB/Simulink mühitində simulyasiyası reallaşdırılmışdır.

5. Rezervuarda neft məhsullarının sıxlığının avtomatlaşdırılmış hesablanması alqoritmi təklif edilmiş və işlənmişdir. Alqoritmın tətbiqi ilə kompüter eksperimenti nəticəsində sınaq olunan müxtəlif növ neft məhsullarının sıxlığı hesablanmışdır.

6. Paylayıcı neft bazalarında neft məhsullarının logistikası üçün nəqliyyat vasitələrinin yerdəyişmə modeli rəngli *PŞ-i* şəklində işlənmişdir.

7. Paylayıcı neft bazalarında nəqliyyat vasitələrinin «Nəqliyyat vasitələri - neft bazaları - yanacaq doldurma məntəqələri» yerdəyişməsinin logistik modeli zaman *PŞ-i* şəklində işlənmişdir. İşlənmiş logistika modelinin fəaliyyəti və idarə olunmasının produksiya qaydalar bazası yaradılmışdır.

8. Qeyri-müəyyən mühitdə rezervuarda neft məhsullarının temperaturunun tənzimlənməsi və sıxlığının təyin edilməsinin proqram təminatı *MATLAB mühitində Fuzzy Logic Toolbox* genişləndirilmiş proqram paketinin tətbiqi ilə reallaşdırılmışdır.

DİSSERTASIYANIN ƏSAS MÜDDƏALARI AŞAĞIDAKI ELMİ İŞLƏRDƏ DƏRC EDİLMİŞDİR:

1. Кязимов, Н.М., Аллахвердиева, К.А., Краткий обзор автоматизации технологических процессов нефтебаз // - Сумгаит: «Научные известия» СГУ, Естественные и технические науки, - 2016. Том 16, №2, - с. 82-88.
https://www.sdu.edu.az/userfiles/file/scientific_publications/sp_14.df
2. Кязимов, Н.М., Аллахвердиева, К.А. Особенности технологических процессов распределительных нефтебаз при транспортировке нефти и нефтепродуктов //- Сумгаит: «Научные известия» СГУ, Естественные и технические науки, - 2017. Том 17, №2, - с. 73-76.
https://www.sdu.edu.az/userfiles/file/scientific_publications/EX%202-17T.pdf
3. Атаев, Г. Н. Кязимов, Н.М. Аллахвердиева, К.А. Модель принятия решений для определения плотности нефтепродукта в условиях неопределенности // - Уфа:

- Проблемы-сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. Научно-технический журнал, - 2018. №4 (114), - с. 110-120. <https://elibrary.ru/item.asp?id=35290059>
4. Kazımov, N.M., Allahverdiyeva, K.Ə. Neft məhsullarının logistikasında nəqliyyat vasitəsinin yerdəyişmə modeli // - Bakı: Azərbaycan Texniki Universiteti, Elmi əsərlər. - 2019. cild 19, №1, - s. 97-104.
http://aztu.edu.az/azp/elmi_tedqiqat/scientific_research/az/file/s/journal-2019-1.jsp
 5. Allahverdiyeva, K.Ə. Neft məhsullarının cari sıxlığının avtomatlaşdırılmış hesablanması alqoritmi // - Sumqayıt: Sumqayıt Dövlət Universiteti, Elmi xəbərlər. Texnika və təbiət elmlər bölməsi, - 2021. cild 21, №2, - s. 69-74.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=46287066>
 6. Allahverdiyeva, K.Ə. Qeyri-müəyyən mühitdə neft məhsullarının sıxlığının təyin edilməsinin proqram təminatının realizasiyası // Sumqayıt Dövlət Universiteti, Elmi xəbərlər. Texnika və təbiət elmlər bölməsi, - 2021. Cild 21, №3, - s. 72-78. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47176426>
 7. Mustafayev, V.A., Allahverdiyeva, K.Ə. Rezervuar parkının kommersiya uçuotu üçün ölçmələrin qeyri-müəyyənliyinin hesablanması // İnformasiya sistemləri və texnologiyalar nailiyyətlər və perspektivlər, III Beynəlxalq elmi konfransının materialları, - Sumqayıt: -08-09 dekabr, - 2022, - s. 39-41.
https://www.ssuconferenceproceedings.edu.az/pdf/muhendislik_2022.pdf
 8. Аллахвердиева, К.А. Анализ технологических процессов распределительных нефтебаз // - Уфа: Наука, технология, производство-2017 «Прикладная наука как инструмент развития нефтехмических производств» 22 май, - 2017. - с. 177-179. <http://slv.rusoil.net/b/page/nauka-i-innovacii>
 9. Аллахвердиева, К.А. Временная диаграмма работы системы массового обслуживания при отпуска нефтепродуктов автомобильным транспортом // Материалы XXI Республиканской научной конференции докторантов и молодых исследователей, - Баку: - 24 октябрь, - 2017. - с. 20-22.
 10. Kazımov, N.M., Allahverdiyeva, K.Ə. Paylayıcı neft bazasının ümumiləşdirilmiş arxitekturası // İnformasiya sistemləri və

texnologiyalar nailiyyətlər və perspektivlər, I Beynəlxalq elmi konfransının materialları, - Sumqayıt: -15-16 noyabr, -2018, -s. 81-82.

https://www.sdu.edu.az/userfiles/file/conferences/15-16%20noyabr%202018-ci_il%20Beyn%C9%99lxalq%20elmi%20konfrans%C4%B1nC4%B1n%20material%C4%B1.pdf

11. Атаев, Q.N., Аллаhverдиева, K.A. Алгоритм вычисление плотности нефтепродукта на основе экспериментальных данных // Материалы I Международной научной конференции «Информационные системы и технологии: достижение и перспективы». - Сумгаит: - 15-16 ноября, - 2018, - с. 426-427.
https://www.sdu.edu.az/userfiles/file/conferences/15-16%20noyabr%202018-ci_il%20Beyn%C9%99lxalq%20elmi%20konfrans%C4%B1nC4%B1n%20material%C4%B1.pdf
12. Kazımov, N.M., Allahverdiyeva, K.Ə. Avtonəqliyyat vasitəsilə neft məhsullarının paylanması texnoloji prosesinin modelləşdirilməsi // Müasir informasiya, ölçmə və idarəetmə sistemləri: problemlər və perspektivlər, I beynəlxalq elmi-praktik konfransının materialları (MIÖİS: MPP 2019), Bakı: - 01 - 02 iyul, - 2019, - s. 242-243.
13. Allahverdiyeva, K.Ə. Neft məhsullarının cari sıxlığının avtomatlaşdırılmış hesablanması algoritmi // İnformasiya sistemləri və texnologiyalar nailiyyətlər və perspektivlər, Beynəlxalq elmi konfransının materialları, - Sumqayıt: - 09-10 iyul, - 2020, - s. 55-57. <https://elibrary.ru/item.asp?id=45636737&pff=1>
14. Allahverdiyeva, K.Ə. Neft məhsulunun temperaturunun tənzimlənməsinin şəbəkə modeli // Riyaziyyatın tətbiqi məsələləri və yeni informasiya texnologiyaları, IV Respublika elmi konfransı, - Sumqayıt: - 09-10 dekabr, - 2021, - s. 212-215.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=48408251&pff=1>
15. Аллаhverдиева, K.A. Продукционная модель принятия решения для определения плотности нефтепродукта в условиях неопределенности // Материалы XXXII международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях», - Санкт-Петербург: 3-7 июнь, - 2019. - с. 11-16.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=41065846>
16. Аллаhverдиева, K.A. Реализация программного обеспечения для определения плотности нефтепродукта в условиях неопределенности // Материалы двадцать второй

Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2021), Москва: Изд-во МАИ, Алупшта: - 04-13 сентября, - 2021, - с. 101-103.

<https://elibrary.ru/item.asp?id=47453386>

17. Аллаhverдиева, К.А. Сетевая модель логистики нефтепродуктов в условиях неопределенности // Материалы XIV международной научной конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы математики и информатики», Махачкала: - 16-19 сентября, - 2021, - с. 13-15.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=47154309>
18. Аллаhverдиева, К.А. Создание база правил для определения плотности нефтепродуктов в условиях неопределенности // Материалы XXII Республиканской научной конференции докторантов и молодых исследователей, - Баку: - 22-23 ноябрь, - 2018. - с. 207-208.
19. Кязимов, Н.М., Аллаhverдиева, К.А. Модель передвижения транспортных средств для логистики нефтепродуктов // Материалы XIII международной научной конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы математики и информатики», Махачкала: - 16-20 сентября, - 2019, - с. 90-92. <https://elibrary.ru/item.asp?id=41691082>
20. Мустафаев В.А., Аллаhverдиева, К.А. Модель принятия решений для регулирования температуры нефтепродукта в условиях неопределенности // - Воронеж: Вестник Воронежского государственного технического университета, - 2021. Т.18. №1, -с.29-35. <https://elibrary.ru/item.asp?id=48007172>

Müştərək müəlliflərlə yerinə yetirilən işlərdə müəllifin şəxsi rolu

[5, 6, 8, 9, 13, 14, 15, 16, 17, 18] - sayılı işlər iddeaçı tərəfindən müstəqil şəkildə yerinə yetirilmişdir.

[1, 2, 3, 4, 10, 11, 12, 19] - sayılı işlər müəlliflər arasında aparılmış birgə müzakirələrin nəticəsi olaraq, problemin nəzəri tərəflərinin əhatəli şəkildə öyrənilməsi və mənimsənilməsi məqsədilə elmi rəhbərin tövsiyələri əsasında yazılmışdır.

[7, 10] - Məsələnin qoyuluşu elmi rəhbər V.A.Mustafayevə, tədqiqatın aparılması, alınan nəticələrin təhlili və şərhı K.Ə.Allahverdiyevaya məxsusdur.



Dissertasiyanın müdafiəsi 31.10.2025-ci il tarixdə saat 12⁰⁰-da Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED2.04 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Bakı şəhəri, Hüseyn Cavid prospekti, 25

Dissertasiya ilə Azərbaycan Texniki Universitetin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Texniki Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 29 sentyabr 2025-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 26.09.2025-ci il
Kağız formatı: 60x84/ ¹/₁₆
Həcm: 39 991
Tiraj: 100