

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

MÜXTƏLİF TIPLİ SORĞULARI OLAN XİDMƏT- EHTİYATLANMA SİSTEMLƏRİNİN RİYAZİ MODELLƏRİNİN VƏ ANALİZİ ÜSULLARININ İŞLƏNMƏSİ

İxtisas: 3338.01 – “Sistemli analiz, idarəetmə və informasiyanın işlənməsi”

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **İsmayıl Ələkbər oğlu Əliyev**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

BAKİ – 2022

Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin Tətbiqi riyaziyyat və kibernetika fakültəsinin "İnformasiya texnologiyaları və proqramlaşdırma" kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: AMEA-nın müxbir üzvü, texnika elmləri doktoru, professor
Ağasi Zərbəli oğlu Məlikov

Elmi məsləhətçi: texnika elmləri doktoru, professor
Leonid Anatolyeviç Ponomarenko

Rəsmi opponətlər: texnika elmləri doktoru, professor
Ramin Rza oğlu Rzayev

texnika elmləri doktoru, dosent
Lətafət Abbas qızı Qardaşova

texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Fərhad Firudin oğlu Yusifov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının AMEA-nın İdarəetmə Sistemləri institutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.20 Dissertasiya Şurası.

Dissertasiya şurasının sədri: akademik, texnika elmləri doktoru, professor

Əli Məhəmməd oğlu Abbasov

Dissertasiya şurasının elmi katibi:  texnika elmləri doktoru, professor
Nailə Fuad qızı Musayeva

Elmi seminarın sədri:  texnika elmləri doktoru, dosent
Fərhad Heydər oğlu Paşayev

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Son illərdə sorğuların xidmət müddəti müsbət təsadüfi kəmiyyət olan xidmət-ehtiyatlanma sistemləri (XES) intensiv şəkildə tədqiq edilir. Qeyd olunan sistemlərdə daxil olan sorğuların növbəsinin əmələ gəlməsi mümkündür və onlarda ehtiyatların səviyyəsi yalnız sorğuların xidməti başa çatdıqdan sonra azalır. Bu sistemlərlə yanaşı, klassik ehtiyatların idarəetmə sistemləri (EİS) də intensiv şəkildə öyrənilir, yəni XES-lərdən fərqli olaraq, EİS-də sistemin ehtiyatlarının səviyyəsi sorğunun daxil olması anında azalır.

Mövcud ədəbiyyatın təhlili göstərdi ki, tədqiqatların böyük əksəriyyətində sorğuları eyni tipli olan XES və EİS modelləri tədqiq edilir. Lakin real həyatda tədarükçülər öz müştərilərini müəyyən faktorlara görə fərqləndirirlər, məsələn, müştərilər müxtəlif həcmdə ehtiyat tələb edə bilirlər; onlar daimi və ya epizodik ola bilirlər; bəzi müştərilər eyni məhsul üçün digər müştərilərdən daha çox pul ödəyə bilər və s. Belə hallarda, müştəriləri təsnifatlandırmaq üçün tədarükçülər müxtəlif prioritet sxemlərdən istifadə edirlər.

Müxtəlif tipli sorğuları olan XES və EİS-ləri real həyatda tez-tez rast gəlinməsinə baxmayaraq, mövcud ədəbiyyatda onlar çox az öyrənilmişdir. Bu faktlara əsaslanaraq, dissertasiya işində müxtəlif tipli sorğuları olan XES və EİS-lərin riyazi modelləri hazırlanmış və tədqiq edilmişdir. Bu faktlar dissertasiya işinin mövzusunun aktuallığını izah edir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. İşin məqsədi müxtəlif tipli sorğuları olan XES və EİS-lərin riyazi modellərini işləyib hazırlamaq və tədqiq etməkdir. Bu məqsədə əsaslanaraq, işdə aşağıdakı məsələlər həll edilmişdir:

-müxtəlif tipli sorğuları olan EİS və XES-in riyazi modellərinin işlənilib hazırlanması;

- müxtəlif tipli sorğuları olan XES və EİS xarakteristikalarının hesablanması və optimallaşdırılması üçün metodların və alqoritmlərin işlənilib hazırlanması.

Tədqiqatın obyektı və mövzusu. Dissertasiya işinin obyektı müxtəlif tipli sorğuları olan xidmət-ehtiyatlanma sistemləridir.

Tədqiq olunan obyektlərin xarakteristikalarının tapılması və yaxşılaşdırılması üsullarının yaradılması dissertasiya işinin predmetidir.

Tədqiqat metodları. Qarşıya qoyulmuş məqsədə nail olmaq üçün ehtiyatların idarə edilməsi nəzəriyyəsi, kütləvi xidmət sistemləri nəzəriyyəsi, qraflar nəzəriyyəsi, çoxölçülü Markov zəncirləri nəzəriyyəsi, riyazi modelləşdirmə və ədədi optimallaşdırma üsullarından istifadə edilmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar. Müəllif aşağıdakı müddəaları müdafiə edir.

1. Ehtiyatların deterministik və təsadüfi (random) doldurma siyasətlərindən istifadə edilərkən iki tip təkrarlanmayan sorğuları olan EİS-lərin riyazi modellərini.

2. Aşağı prioritetli sorğuları təkrarlanan EİS-lərdə orbitdən və kənarından daxil olan sorğuların qəbulu zamanı sistemin cari ehtiyat səviyyəsinin qiymətinə əsaslanan yeni prioritetli xidmət sxemlərini.

3. Sonlu və sonsuz növbənin mövcudluğunda sorğuların prioritetləri müxtəlif tip sorğuların sayından və ya sistemin ehtiyatlarının cari səviyyəsindən asılı olaraq müəyyən edilən XES-lərin riyazi modellərini.

4. Ehtiyatların doldurulmasının müxtəlif siyasətlərindən istifadə edildikdə öyrənilən EİS və XES modellərinin xidmət keyfiyyəti göstəricilərinin hesablanması və optimallaşdırılmasının üsulları və alqoritmlərini.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Dissertasiya işində alınan əsas elmi yeniliklər aşağıdakılardır:

1. Ehtiyatların artırılması üçün dörd deterministik və bir təsadüfi strategiyadan istifadə edərək iki tip sorğusu və təkrar sorğuları olmayan EİS-nin riyazi modelləri işlənilib hazırlanmışdır. Sorğuların qəbulu zamanı sistemin cari ehtiyat səviyyəsinə əsaslanan və müxtəlif tip sorğulara prioritetli xidmət göstərilməsi sxemi müəyyən edilmişdir. Hər bir ehtiyatların artırılması strategiyasından (EAS) istifadə edərkən öyrənilən EİS-nin xarakteristikalarını tapmaq üçün düsturlar təklif olunmuşdur.

2. Müxtəlif EAS-dan istifadə edərək iki tip sorğuları və aşağı prioritetli sorğuları təkrarlanan EİS-də sorğuların prioritetli xidmətinin yeni sxemi təklif olunmuşdur. Aşağı prioritetli sorğular sistemə daxil olduqda ehtiyatların səviyyəsi müəyyən kritik səviyyədən aşağı olarsa, Bernulli sxeminə uyğun olaraq həmin sorğular ya orbitə çıxıb bilər ya da sistemi tərk edə bilər. Orbitdən sorğunun gəldiyi anda ehtiyatların səviyyəsi yenidən kritik səviyyədən aşağı olarsa, Bernulli sxeminə uyğun olaraq təkrar sorğu ya orbiti tərk edir, ya da orbitdə qalır. Göstərilmişdir ki, tədqiq olunan EİS-nin riyazi modelləri müvafiq ikiölçülü Markov zəncirləridir və yaradılmış zəncirlərin erqodikliyi üçün zəruri və kafi şərtlər tapılmışdır. Tədqiq olunan sistemlərin xarakteristikalarının dəqiq və təqribi hesablanması üçün düsturlar təklif olunmuşdur.

3. Sonlu və ya sonsuz növbəli XES-də sorğulara prioritetli xidmət göstərmək üçün iki sxem təklif olunmuşdur. Bu modellərdə fərz olunur ki, xidmət başa çatdıqdan sonra bəzi sorğular ehtiyatları almır. Hər iki sxemdə, növbədə ən azı bir boş yer olduqda, yüksək prioritetli sorğular qəbul edilir, lakin bir sxemdə aşağı prioritetli sorğular, yalnız sistemdəki sorğuların ümumi sayı müəyyən həddən aşağı olduqda qəbul edilir. Başqa bir sxemdə, aşağı prioritetli sorğular, yalnız sistemin ehtiyatlarının səviyyəsi müəyyən kritik qiymətdən yuxarı olduqda qəbul edilir.

4. Hər iki daxilolma sxemlərindən və müxtəlif deterministik EAS-dən istifadə etməklə tədqiq edilmiş XES-nin işini təsvir edən ikiölçülü Markov zəncirləri qurulmuşdur. Müxtəlif tipli sorğuların növbəsi sonsuz uzunluqlu olduqda, bu sistemlərin erqodikliyi üçün zəruri və kafi şərtlər tapılmışdır. Sonlu və sonsuz növbəli XES-nin öyrənilməsi üçün ümumi yanaşma təklif olunmuşdur. Onların xarakteristikalarının hesablanması üçün dəqiq və təqribi düsturlar tapılmış və onların mənfəətini maksimuma çatdırmaq məsələləri həll edilmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Təklif olunan riyazi modellər maddi resurslarla təminat sistemlərinin, o cümlədən mürəkkəb logistik şəbəkələrin geniş sinfinin işini daha adekvat təsvir edirlər. Əldə edilmiş düsturlar və hazırlanmış təbii

proqramlar paketi bu sistemlərin xarakteristikalarını hesablamağa və yaxşılaşdırmağa imkan verir.

Aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiya işinin əsas elmi və praktiki nəticələri aşağıdakı elmi konfranslarda müzakirə edilmişdir:

▪ Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXII Respublika elmi konfransı, Bakı, Azərbaycan, noyabr, 2018;

▪ “İnformasiya texnologiyaları və riyazi modelləşdirmə” (Информационные технологии и математическое моделирование) XVII və XVIII Beynəlxalq konfrans, Tomsk, Rusiya, sentyabr 2018 və iyun 2019;

▪ “İqtisadiyyatda və Təhlükəsizlikdə İnformasiyalaşdırmanın Müasir Problemləri” («Modern Informatization Problems in Economics and Safety») XXV beynəlxalq açıq elmi konfrans, Yelm, WA, ABŞ, yanvar 2020;

▪ “İnternet, Təhsil, Elm” (Интернет, Образование, Наука) XII Beynəlxalq elmi-praktiki konfrans, Vinnisa, Ukrayna, may 2020.

▪ Bakı Dövlət Universitetinin “Tətbiqi Riyaziyyat və Kibernetika” fakültəsinin “İnformasiya Texnologiyaları və Proqramlaşdırma” kafedrasının və AMEA-nın İdarəetmə Sistemləri İnstitutunun seminarlarında.

Dissertasiya işinin nəticələri OFFICE LINES şirkətinin mövcud sistemində istifadə edilmiş və reallaşdırılmışdır.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin Tətbiqi Riyaziyyat və Kibernetika fakültəsinin “İnformasiya Texnologiyaları və Proqramlaşdırma” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Dərc edilmiş elmi məqalələrin sayı. Tədqiqatın nəticələrinə görə ümumilikdə 12 əsər çap olunmuşdur: 7 elmi məqalə, o cümlədən 6 - xaricdə, bunlardan Web-Science və SCOPUS arxivlərindən beynəlxalq elmi istinad göstəriciləri olan 3 məqalə və konfranslarda 5 məruzə tezisi.

Dissertasiya işinin həcmi və strukturu. Dissertasiya işi giriş, 4 fəsil, nəticə, istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından və əlavədən ibarətdir. Dissertasiya işi 26 şəkil, 9 cədvəl, 107 istinad olmaqla 165

səhifədən ibarətdir. Dissertasiya işinin ümumi və struktur bölmələrinin işarə ilə həcmi təqribi olaraq aşağıdakı qaydada paylanmışdır: Ümumi - 170 000 işarə, Mündəricat – 2 000 işarə, Giriş – 14 000 işarə, Birinci fəsil – 34 500 işarə, İkinci fəsil – 31 500 işarə, Üçüncü fəsil - 26 000 işarə, Dördüncü fəsil – 58 000 işarə, Nəticə - 4 000 işarə

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə həyata keçirilən tədqiqatların aktuallığı göstərilmiş, dissertasiyanın məqsəd və vəzifələri formalaşdırılmış, müdafiyyə təqdim edilən əsas müddəalar və elmi yeniliklər sadalanmış, işin praktiki əhəmiyyəti göstərilmiş və işin nəticələrinin dərc olunduğu elmi forumların siyahısı təqdim edilmişdir. Burada, həmçinin dissertasiyanın hər bir fəslinin xülasəsi təqdim edilmişdir.

Birinci fəsilə göstərilir ki, kütləvi xidmət sisteminin klassik nəzəriyyəsində fərz edilir ki, sistemdə təsadüfi vaxtlarda daxil olan sorğulara xidmət prosesini yerinə yetirmək üçün nəzərdə tutulmuş stasionar kanalların (serverlər, cihazlar, xətlər və s.) müəyyən miqdarı vardır.

Kütləvi xidmət sisteminin nəzəriyyələri ilə bağlı işlərdə əsas fərziyyə ondan ibarətdir ki, kütləvi xidmət sistemləri stasionar kanallardan başqa, həm də qeyri-məhdud ehtiyatlara malikdir. Buna görə də sorğuların itkisi yalnız boş (məşğul olmayan) kanalın və/və ya boş yerin olmaması, həmçinin növbədə sorğuların səbirsizliyi ilə əlaqələndirilir. Eyni zamanda, bir sıra real kütləvi xidmət sistemlərində daxil olan sorğuya xidmət göstərmək üçün təkə boş kanalın olması kifayət deyil, həm də sistemin müəyyən resurslarının (ehtiyatlarının) olması tələb edilir. Çünki onlarda sorğuya xidmət daxil olan sorğuya uyğun müəyyən məhsulların buraxılması (satılması) ilə əlaqələndirilir. Qeyd etmək vacibdir ki, korlanma nəticəsində də ehtiyat səviyyələrinin azaldığı sistemlər var. Belə sistemlər xarab olan ehtiyatlara malik sistemlər adlanır. Amma burada yalnız xarab olmayan ehtiyatları olan sistemləri nəzərdən keçirəcəyik, yəni ehtiyatların ömrünün sonsuz olduğunu fərz edəcəyik.

Kütləvi xidmət sisteminin klassik nəzəriyyəsi A.N. Kolmoqorovun, A.Y. Xinçinin, B.V. Qnedenkonun, Palmın, Koksun və bir sıra başqa alimlərin fundamental əsərlərində inkişaf etdirilmişdir. Sonradan bu nəzəriyyə G.P.Başarin, V.S. Korolyuk, I.N. Kovalenko, B.V. Sevastyanov, L. Kleynrok, K. Ross və bir sıra başqa məşhur alimlərin əsərlərində inkişaf etdirilmişdir. Son illərdə kütləvi xidmət sistemi nəzəriyyəsinə V.M. Vişnevski, V.V. Rıkov, A.M. Gortsev, A.A. Nazarov, A.N. Dudin, K.E. Samuylov və onların çoxsaylı tələbələri əhəmiyyətli töhfələr daxil etdilər.

Sorğulara xidmət göstərmək üçün boş serverdən əlavə müəyyən ehtiyatların da tələb olunduğu kütləvi xidmət sistemləri *xidmət-ehtiyatlanma sistemləri* adlanır. Bu sistemlər həm də tələb olunan miqdarda sistem ehtiyatlarının mövcud olduğu halda sorğuların növbəsinin formalaşdırılması imkanını nəzərə almayan klassik ehtiyat idarəetmə sistemləri baxımından da nəzərdən keçirilə bilər, yəni sistemdə tələb olunan ehtiyatın buraxılması üçün sonsuz sayda kanalların olduğunu fərz edirlər. Başqa sözlə, sorğulara xidmət müddətinin sıfıra bərabər olduğu hesab edilir. Buna görə də, EİS sorğulara ani xidmət göstərən XES kimi təqdim edilə bilər, yəni EİS-də sorğuların qəbulu zamanı sistemin ehtiyat səviyyəsi azalır.

Bu fəsilə EİS və XES-in əsas spesifik xüsusiyyətləri göstərilir. Qeyd olunur ki, EİS nəzəriyyəsi kifayət qədər dərin tarixə malikdir, XES nəzəriyyəsi isə təxminən otuz il əvvəl yaradılıb. Göstərilir ki, XES nəzəriyyəsinin baniləri amerikalı alimlər Siqman və Simç-Levi ilə yanaşı azərbaycanlı alim A.Z. Məlikov sayılır. Burada EİS və XES modellərinin tədqiqinə həsr olunmuş işlərin icmalının ətraflı təhlili verilmişdir. Qeyd olunur ki, məlum işlərdə əsasən eyni sorğuları olan sistem modelləri öyrənilir. Müxtəlif tipli sorğularla EİS və XES modellərinin tədqiqinin vacibliyi qeyd olunur. Bu zaman, müxtəlif tipli sorğular ilə EİS və XES modellərinin öyrənilməsinin mürəkkəbliyinin artması göstərilir, çünki sorğuların müxtəlif tipliliyi faktının nəzərə alınması çoxöçlü Markov zəncirləri modellərinin öyrənilməsi zərurətinə səbəb olur. Bu modellərin müəyyən təsnifatları aparılmış və tədqiq olunan sistemlərin əsas xüsusiyyətləri göstərilmişdir. İki növ sorğuya malik modellərin üç sinfi fərqləndirilir: iki sinif sistemlər

EİS tipinə, üçüncü sinif isə XES-ə aiddir. Birinci sinif təkrar sorğularsız EİS-dir; ikinci sinif təkrar sorğuları olan EİS, üçüncü sinif isə daxil olan sorğuların növbəsinin mümkün olduğu XES-dir. Bu sistemlərin struktur sxemləri verilmiş və onların əsas xarakteristikaları müəyyən edilmişdir. Burada, həmçinin öyrənilən sistemlərin riyazi modellərinin qurulması mərhələlərinin ətraflı təsviri təqdim edilir.

Kütləvi xidmət sisteminin nəzəriyyəsində olduğu kimi, burada da XES və EİS-in müəyyən təsnifatlarını təqdim etmək mümkündür. Bu təsnifatlar müxtəlif amillərə əsaslanırlar. Onların arasında ən mühümləri aşağıdakı amillərdir: sistem ehtiyatlarının istifadə müddəti; daxil olan axınlar üçün paylama funksiyalarının növləri və onların xidmət müddəti; sorğuların tipləri; sistemin ehtiyatları olmadıqda sorğuların davranışı; xidmət başa çatdıqdan sonra sorğuların davranışı; ehtiyatların doldurulması siyasəti; sifarişli ehtiyatların yerinə yetirilməsində gecikmə vaxtının paylanma funksiyalarının növləri; xərclər funksiyasının və gəlirin növləri.

İkinci fəsildə iki tip sorğuları olan EİS modelləri öyrənilir. Onlarda müxtəlif EAS-dən istifadə mümkündür.

Burada iki tip sorğuların Puasson axınlarının təmin edildiyi EİS modelləri öyrənilir: adi sorğuların intensivliyi (birinci tip sorğuların axını) λ_1 -ə, prioritetli sorğuların intensivliyi (ikinci tip sorğuların axını) isə λ_2 -yə bərabərdir. Bütün modellərdə müxtəlif tipli sorğulara xidmət göstərmək üçün aşağıdakı sxem qəbul edilir.

- Prioritetli sorğunun gəldiyi anda ehtiyat səviyyəsi sıfırdan böyükdürsə, o, ehtiyatı qəbul edir və sistemi tərk edir.

- Əgər adi sorğunun daxil olması zamanı ehtiyat səviyyəsi sistemin anbarının kritik ölçüsünü ifadə edən s kəmiyyətindən böyükdürsə, $s < S/2$, o zaman o da ehtiyatı alır və sistemi tərk edir. Burada S sistemin anbarının maksimal ölçüsünü bildirir.

- Adi sorğunun daxil olması zamanı sistemin ehtiyat səviyyəsi s -dən kiçik və ya ona bərabər olarsa, bu sorğu Bernulli sxeminə görə ya α ehtimalı ilə ehtiyat alır və sistemdən çıxır, ya da $1 - \alpha$ ehtimalı ilə ehtiyat almadan sistemi tərk edir.

Sistemdə deterministik EAS-in aşağıdakı dörd tipindən biri istifadə edilə bilər:

- İki səviyyənin siyasəti, yəni (s, S) -siyasət. Bu onu bildirir ki, ehtiyatların tədarükü üçün sifariş onların səviyyəsi $s, s < S/2$ kəmiyyətinə düşdükdə verilir, sifarişin həcmi isə sabit kəmiyyətdir və $S - s$ qiymətinə bərabərdir;

- Sifarişlərin dəyişən həcmi siyasəti (Variable Order Size, VOS), yəni ehtiyatların tədarükü üçün sifariş onların səviyyəsi $s, s < S/2$ kəmiyyətinə düşdükdə verilir, bu halda sifarişin həcmi dəyişən $S - m$ kəmiyyətinə bərabərdir, burada m ehtiyatların göndərilməsi zamanı ehtiyatların səviyyəsidir;

- $(S - 1, S)$ -siyasət, yəni ehtiyatların tədarükü üçün sifariş (vahid ölçüdə) hər bir ehtiyatın buraxılışı aktından sonra verilir;

- “Up to S ”-siyasəti, yəni sistemdə ehtiyat səviyyəsi sıfırdırsa, o zaman anbarı maksimum səviyyəyə qədər doldurmaq üçün sifariş verilir.

EAS-nin bütün tiplərində ehtiyatların doldurulması sifarişləri üçün icra vaxtları $\nu > 0$ parametri ilə ümumi eksponensial paylama funksiyasına malik təsadüfi dəyişənlərdir.

Göstərilir ki, müxtəlif EAS-lərdən istifadə vaxtı tədqiq olunan sistemlərin riyazi modelləri biröçülü Markov zəncirləridir (MZ). Zamanın ixtiyari anında göstərilən MZ-nin vəziyyətləri sistemin ehtiyatlarının cari səviyyəsini göstərən m skalyar kəmiyyəti ilə təsvir olunur, $m=0, 1, \dots, S$.

Bütün modellərdə sistemin aşağıdakı xarakteristikalarının hesablanması üçün aaşkar düsturlar tapılmışdır: ehtiyatların orta səviyyəsi (S_{av}) ; sifarişlərin orta intensivliyi (RR) ; sistemə daxil olarkən hər tip sorğular üçün xidmətdən imtina ehtimalları (PB_1, PB_2)

Beləliklə, ehtiyatların doldurulmasının (s, S) -siyasətindən istifadə vaxtı sistemin xarakteristikalarını hesablamaq üçün aşağıdakı düsturlar əldə edilmişdir:

$$S_{av} = \sum_{m=1}^S mp(m); \quad (1)$$

$$RR = \lambda p(s+1); \quad (2)$$

$$PB_1 = (1-\alpha) \sum_{m=0}^s p(m); \quad (3)$$

$$PB_2 = p(0). \quad (4)$$

(1)-(4) düsturlarındaki $p(m)$ kəmiyyətləri ehtiyat səviyyəsinin $m, m = 0, 1, \dots, S$ olması ehtimallarını göstərir və aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

$$p(m) = \begin{cases} a_m p(s+1), & 0 \leq m \leq s, \\ p(s+1), & s+1 \leq m \leq S-s, \\ b_m p(s+1), & S-s+1 \leq m \leq S, \end{cases}$$

$$\text{burada } p(s+1) = \left(\sum_{m=0}^s a_m + S-s + \sum_{m=S-s+1}^S b_m \right)^{-1};$$

$$a_m = \prod_{i=m+1}^{s+1} \frac{x_i}{v + x_{i-1}}, \quad x_0 = 0; \quad x_m = \begin{cases} \lambda_1 \alpha + \lambda_2, & 1 \leq m \leq s, \\ \lambda, & s+1 \leq m \leq S; \end{cases}$$

$$b_m = \frac{v}{\lambda} \sum_{i=m-S+s}^s a_i.$$

Burada, həmçinin EİS modeli də aşağıdakı kimi müəyyən edilən təsadüfi (random) edilmiş EAS-dən istifadə edərək tədqiq edilmişdir.

Sorğuların xidməti sistemin anbarı boş olana qədər davam edir, sistem anbarı boş olduqda isə $m, m = 1, 2, \dots, S$ həcm ehtiyatları

$\sigma(m)$ ehtimalla sifariş edilir, burada $\sum_{m=1}^S \sigma(m) = 1, \sigma(S) > 0$.

Bu model üçün vəziyyətlərin ehtimalları aşağıdakı kimi hesablanır:

$$p(m) = \begin{cases} \frac{v}{\tilde{\lambda}} \left(1 - \sum_{i=1}^{m-1} \sigma(i) \right) p(0), & 1 \leq m \leq s, \\ \frac{v}{\lambda} \left(1 - \sum_{i=1}^{m-1} \sigma(i) \right) p(0), & s+1 \leq m \leq S, \end{cases} \quad \text{burada}$$

$$p(0) = \left(1 + \nu \left(\frac{1}{\tilde{\lambda}} \sum_{m=1}^s \left(1 - \sum_{i=1}^{m-1} \sigma(i) \right) + \frac{1}{\lambda} \sum_{m=s+1}^S \left(1 - \sum_{i=1}^{m-1} \sigma(i) \right) \right) \right)^{-1}.$$

Bu modelin axtarılan xarakteristikaları belə hesablanır:

$$S_{av} = \sum_{m=1}^S mp(m) = \nu p(0) \left(\frac{1}{\tilde{\lambda}} \sum_{m=1}^s \left(1 - \sum_{i=1}^{m-1} \sigma(i) \right) + \frac{1}{\lambda} \sum_{m=s+1}^S \left(1 - \sum_{i=1}^{m-1} \sigma(i) \right) \right);$$

$$RR = \tilde{\lambda} p(1) = \nu p(0);$$

$$PB_1 = (1 - \alpha) \sum_{m=0}^s p(m) = (1 - \alpha) \left(1 + \frac{\nu}{\tilde{\lambda}} \sum_{m=1}^s \left(1 - \sum_{i=1}^{m-1} \sigma(i) \right) \right) p(0);$$

$$PB_2 = p(0).$$

İşdə modellərin hesablanması üzrə ədədi eksperimentlərin nəticələri təqdim olunur. Ehtiyatların doldurulmasının (s, S) -siyasətindən istifadə vaxtı sistem üçün ədədi eksperimentlərin bəzi nəticələri Şəkil 1-də göstərilmişdir; burada qəbul edilir ki,

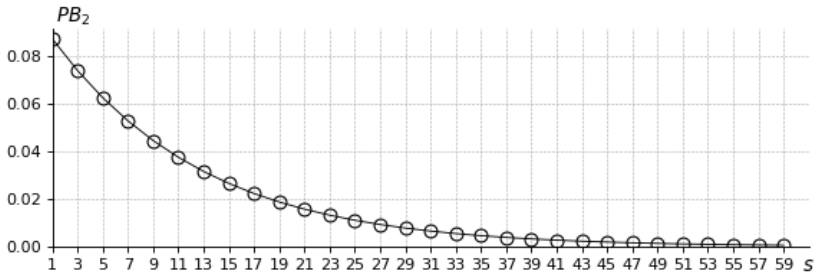
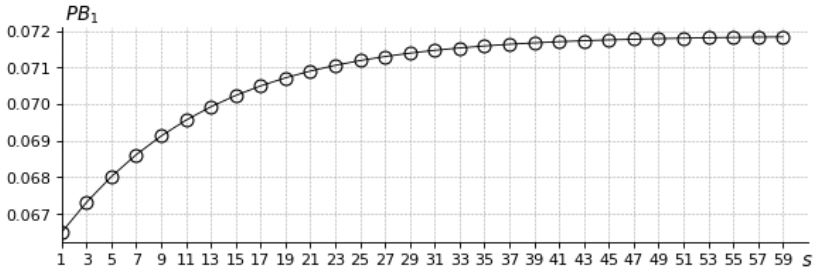
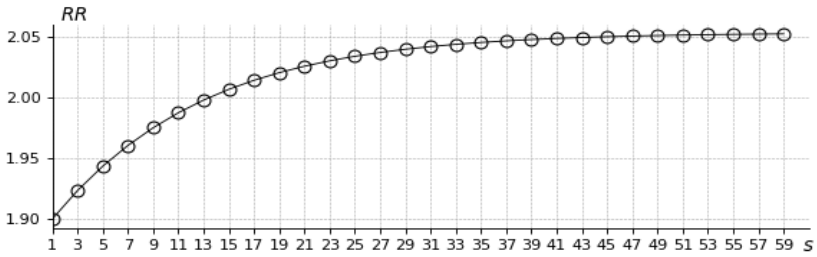
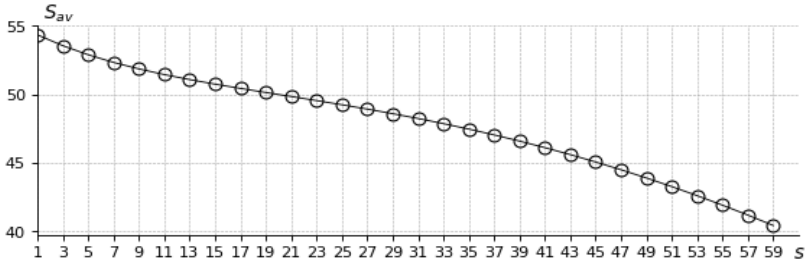
$$S = 120, \lambda_1 = 50, \lambda_2 = 200, \nu = 20, \alpha = 0.3.$$

Bu fəsilə, həmçinin müxtəlif ehtiyatların doldurulması siyasətlərindən istifadə vaxtı sistemin mənfəətini artırmaq məsələləri də həll edilir: hər bir ehtiyatların doldurulması siyasəti üçün kritik ehtiyat səviyyəsinin müvafiq qiymətlərini s seçməklə sistemin mənfəətini $(PT(s))$ maksimuma çatdırmaq tələb olunur, yəni aşağıdakı məsələnin həll edilməsi tələb olunur:

$$s^* = \arg \max_s PT(s), \quad (5)$$

burada $PT(s) = RV(s) - TC(s)$. Sistemin gəlirləri (RV) ehtiyatların satışından formalaşdırılır, yəni

$$RV(s) = (\lambda_1 (1 - PB_1(s))) C_{rev}^1 + \lambda_2 (1 - PB_2(s)) C_{rev}^2,$$



Şəkil 1. Ehtiyatların doldurulmasının (s, S) -siyasətindən istifadə edərkən sistemin xarakteristikalarının s parametrindən asılılığı.

burada C_{rev}^k – k -cı, $k = 1, 2$ tipli sorğular üzrə ehtiyat vahidinin satışı hesabına sistem gəliridir. Sistemdə ümumi cərimələr (TC) aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

$$TC(s) = (K + c_r V_{av}(s)) RR(s) + c_h S_{av}(s) + c_l^1 \lambda_1 PB_1(s) + c_l^2 \lambda_2 PB_2(s),$$

burada K – bir sifarişin qeyd edilmiş qiyməti; c_r – sifarişin həcm vahidinin qiyməti; c_h – vaxt vahidinə görə ehtiyatların həcm vahidinin saxlanılmasının qiyməti; c_l^k – k -cı tipli bir sorğunun itirilməsinə görə cərimə.

Qeyd edək ki, (5) məsələsinin həmişə həlli var, çünki mümkün həllər çoxluğu $\{0 \leq s \leq \lceil S/2 \rceil\}$ sonlu və diskretdir. Bu fəsilə hər bir EAS üçün (5) məsələsinin həllinin nəticələri təqdim olunur.

Üçüncü fəsilə iki tip sorğu və təkrarlanan aşağı prioritetli sorğuları olan EİS-nin prioritetli modelləri təklif edilmişdir. Sorğuların prioritetli xidməti aşağıdakı sxemə uyğun olaraq həyata keçirilir: əgər yüksək prioritetli sorğunun daxil olması anında ehtiyatların səviyyəsi sıfırdan böyükdürsə, onda o ehtiyatı alır və sistemi tərk edir; əgər aşağı prioritetli sorğunun daxil olması anında ehtiyatların səviyyəsi $s, s < S/2$ kritik səviyyəsindən yüksəkdirsə, o zaman o da ehtiyatı alır və sistemdən çıxır; əks halda, yəni aşağı prioritetli sorğunun alınması zamanı sistemin ehtiyat səviyyəsi s -dən azdırsa və ya ona bərabərdirsə, bu sorğu Bernulli sxeminə uyğun olaraq ya qəbul sorğusunu təkrarlamaq üçün α ehtimalla orbitə çıxır, ya da əlavə bir ehtimalla ehtiyat almır və sistemdən ayrılır. Burada sonlu və sonsuz orbit ölçüləri olan modellər öyrənilir. Sonsuz orbit ölçüsü olan bir model üçün birinci növə aid hər hansı bir sorğu orbitə qəbul edilə bilər. Orbitin məhdud ölçüsü olduqda, orbitə göndərilən birinci tip sorğu, orada ən azı bir boş yer olduqda orbitə qəbul edilə bilər; əks halda o, vahid ehtimalla itir.

Orbitdən gələn sorğular $\eta, 0 < \eta < \infty$ parametrlə eksponensial paylanmaya malik olan təsadüfi vaxtlarda bir-birindən asılı olmayaraq sorğuları təkrarlayır. Bu halda, əgər təkrar sorğunun alınması zamanı ehtiyatların səviyyəsi kritik səviyyədən artıq olarsa, o, dərhal tələb olunan ehtiyatı alır və orbiti tərk edir; əks

halda (yəni, bu anda sistemin ehtiyat səviyyəsi s -dən az və ya ona bərabər olarsa) o, Bernulli sxeminə görə, ya β ehtimalla orbiti tərk edir, ya da əlavə ehtimalla orbitdə qalır.

Ehtiyatların doldurulması üçün sifarişlərin $\nu > 0$ parametrlilik eksponensial paylanması olan müəyyən təsadüfi gecikmələrlə yerinə yetirildiyi hesab edilir.

Sistemdə aşağıdakı ehtiyatların doldurulması siyasətlərindən biri istifadə edilə bilər: (1) (s, S) -siyasət, (2) VOS-siyasəti və (3) $(S-1, S)$ -siyasət.

Burada məsələ sistemin ehtiyat səviyyəsinin və orbitdəki sorğuların sayının birgə paylanmasını tapmaqdır.

Göstərilir ki, orbitin sonlu ölçüsü (R) olan bir sistemin işləməsi (m, n) şəklində vəziyyətləri olan iki ölçülü Markov zənciri ilə təsvir olunur, burada m sistemin ehtiyatları səviyyəsi, n orbitdəki sorğuların sayıdır. Vəziyyətlər fəzası iki çoxluğun Dekart hasilini kimi müəyyən edilir, yəni $E = \{0, 1, \dots, S\} \times \{0, 1, \dots, R\}$. (s, S) -siyasətindən istifadə vaxtı vəziyyətlərin $p(m, n)$ ehtimalları üçün *tarazlıq tənlikləri sistemi* (TTS) işlənilib hazırlanmışdır:

$s < m \leq S$ halında:

$$(\lambda + n\eta)p(m, n) = \lambda p(m+1, n) + (n+1)\eta p(m+1, n+1) + \nu p(m-S+s, n).$$

$0 \leq m \leq s$ halında:

$$(\lambda_2 I(m > 0) + \lambda_1 \alpha + n\eta\beta + \nu)p(m, n) = \lambda p(s+1, n)\delta(m, s) + \lambda_2 p(m+1, n)I(m < s) + \lambda_1 \alpha p(m, n-1)I(n > 0) + (n+1)\eta\beta p(m, n+1).$$

$$\sum_{(m,n) \in E} p(m, n) = 1.$$

Nəticədə $(S+1)(R+1)$ ölçülü xətti cəbri tənliklər sistemi (XCTS) alınmışdır. TTS-ni həll etmək üçün mövcud tətbiqi proqram paketlərindən (TPP) istifadə edilə bilər. Sonra sistemin xarakteristikaları hesablanır: ehtiyatların orta səviyyəsi

$$S_{av} = \sum_{m=1}^S m \sum_{n=0}^R p(m, n);$$

sifarişlərin orta intensivliyi

$$RR = \lambda \sum_{n=0}^R p(s+1, n);$$

sorğuların hər tipi üçün xidmətdən imtina ehtimalı

$$PB_1 = (1 - \alpha) \sum_{m=0}^s \sum_{n=0}^{R-1} p(m, n) + \sum_{m=0}^s p(m, R);$$

$$PB_2 = \sum_{n=0}^R p(0, n);$$

orbitdə sorğuların orta sayı

$$L_o = \sum_{m=0}^s \sum_{n=1}^R np(m, n);$$

orbitdən sorğuların uğurlu təkrarlanmasının orta intensivliyi

$$RSR = \eta \sum_{m=s+1}^S \sum_{n=1}^R np(m, n);$$

orbitdən sorğuların uğursuz təkrarlanmasının ($RuSR$) orta intensivliyi

$$RuSR = \eta\beta \sum_{m=0}^s \sum_{n=1}^R np(m, n).$$

Burada sonsuz orbit ölçüsünə malik model də öyrənilir. Göstərilmişdir ki, bu sistemin riyazi modeli sonsuz vəziyyətlər fəzasına malik ikiölçülü MZ-dir. Alınmış zəncir vəziyyətlərinin ehtimallarının təqribi qiymətlərinin hesablanması üçün A.Z. Məlikov tərəfindən işlənib hazırlanmış ikiölçülü MZ vəziyyətlərinin fəza iriləşdirilməsi metodundan istifadə olunur. Sonra, sistemin xarakteristikalarının təqribi qiymətləri standart şəkildə hesablanır:

$$S_{av} = \sum_{m=1}^S m\rho(m);$$

$$RR = \lambda\rho(s+1);$$

$$PB_1 = (1 - \alpha) \sum_{m=0}^s \rho(m);$$

$$PB_2 = \rho(0);$$

$$L_o = \Psi;$$

$$RSR = \eta \Psi \sum_{m=s+1}^s \rho(m);$$

$$RuSR = \eta \beta \Psi \sum_{m=0}^s \rho(m).$$

Son düsturlarda parametrlər aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

$$\rho(m) = \begin{cases} a_m \rho(s+1), & 0 \leq m \leq s \text{ olduqda,} \\ \rho(s+1), & s+1 \leq m \leq S-s \text{ olduqda,} \\ b_m \rho(s+1), & S-s+1 \leq m \leq S \text{ olduqda,} \end{cases}$$

burada

$$\rho(s+1) = \left(S - 2s + \sum_{m=0}^s a_m + \sum_{m=S-s+1}^S b_m \right)^{-1};$$

$$a_m = \left(\frac{\lambda_2}{\nu + \lambda_2} \right)^{s+1-m}; \quad b_m = \frac{\nu}{\lambda} \sum_{i=m-S+s}^s \left(\frac{\lambda_2}{\nu + \lambda_2} \right)^{s+1-i};$$

$$\Psi = \Lambda/M, \text{ где } \Lambda = \lambda_1 \alpha \sum_{m=0}^s \rho(m); \quad M = \eta \left(\sum_{m=s+1}^S \rho(m) + \beta \sum_{m=0}^s \rho(m) \right).$$

Modellər digər EAS-lər üçün də oxşar şəkildə öyrənilir. Modellərin hesablanması üçün ədədi eksperimentlər aparılmış və müxtəlif ehtiyatların doldurulması siyasətlərindən istifadə etməklə tədqiq olunan sistemlərin mənfəətinin maksimuma çatdırılması məsələləri həll edilmişdir.

Dördüncü fəsildə müxtəlif EAS-lərdən istifadə edən iki tipli sorğuya malik XES-lərin ikiölçülü Markov modelləri təklif olunur. Müxtəlif tip sorğuların prioritetli xidmətinin təşkili üçün iki sxem

nəzərdən keçirilir. Hər iki sxemdə yüksək prioritetli sorğulara giriş üçün heç bir məhdudiyət yoxdur. Bununla belə, birinci sxemdə aşağı prioritetli sorğular yalnız sistemdəki sorğuların ümumi sayı verilmiş hədd qiymətindən az olduqda qəbul edilir. İkinci sxemdə aşağı prioritetli sorğular yalnız cari ehtiyat səviyyəsi müəyyən kritik qiymətdən yuxarı olduqda qəbul edilir.

Əvvəlki fəsillərdə tədqiq edilmiş EİS modellərindən fərqli olaraq, burada xidmət başa çatdıqdan sonra bəzi sorğuların müxtəlif səbəblərə, məsələn, ehtiyatın keyfiyyətsizliyinə, onun yüksək qiymətinə və s. görə ehtiyat ala bilməyəcəyi nəzərə alınır. Bu cür halları nəzərə almaq üçün burada hesab edilir ki, hər hansı bir tip müraciət xidməti başa çatdıqdan sonra $\sigma_1 > 0$ ehtimalla ehtiyat almır və əlavə $\sigma_2 = 1 - \sigma_1$ ehtimalla ehtiyat alır. Hər iki tip sorğu üçün xidmət müddəti onun ehtiyatı alıb-almamasından asılıdır; hər iki halda bu kəmiyyət eksponensial paylama funksiyasına (p.f.) malikdir və əgər sorğu ehtiyatı qəbul etməyibsə, onda xidmət vaxtının orta qiyməti μ_1^{-1} , əks halda μ_2^{-1} -ə bərabərdir.

Burada müxtəlif tipli sorğuların sonlu və sonsuz ümumi növbəsi olan modellər tədqiq olunur. Sonlu növbə vəziyyətində, hər iki növ sorğular maksimum $N, N < \infty$ uzunluqda növbə gözləyir. Birinci prioritetli xidmət sxemi aşağıdakı kimi müəyyən edilir: yüksək prioritetli sorğunun qəbulu zamanı ehtiyat səviyyəsi müsbətdirsə, o, sistemə qəbul edilir, növbə boş olduqda isə bu sorğu xidmətə qəbul edilir; əks halda, o, ən azı bir boş yer olduqda növbəyə qəbul edilir. Amma, aşağı prioritetli sorğu yalnız onun gəlişi zamanı növbənin ümumi uzunluğu müəyyən edilmiş həddən $r, 1 \leq r \leq N - 1$ az olduqda qəbul edilir. Sonsuz növbəli modeldə ikinci tip sorğular itirilmir, sonlu növbəli modeldə isə bu sorğular yalnız növbə dolu olduqda itirilir.

Burada hesab edilir ki, hər hansı tip sorğunun qəbulu anında ehtiyat səviyyəsi sıfıra bərabədirsə, o zaman φ_1 ehtimalla növbəyə qoşulur, $\varphi_2 = 1 - \varphi_1$ ehtimalla isə sistemdən çıxır. Bundan başqa, burada sorğuların səbirsizliyi də nəzərə alınır. Bu o deməkdir ki, əgər onlar növbədə gözləyərkən sistemin ehtiyat səviyyəsi sıfır

qiymətinə enirsə, yəni əgər növbə olduqda sistemin ehtiyat səviyyəsi sıfır qiymətinə enirsə, onda hər bir tipin sorğusu $\tau > 0$ parametrlı eksponensial p.f. olan təsadüfi vaxtdan sonra sistemi tərk edir.

Sistemdə iki EAS-dən biri istifadə edilə bilər: (s, S)-siyasəti və ya VOS-siyasəti. Əvvəlcə, N ölçülü sonlu ümumi növbəsi olan model nəzərdən keçirilir. Hər iki EAS-dən istifadə vaxtı ümumi sonlu növbə ilə sistemin işi (m, n) tip vəziyyətlər ilə ikiölçülü MZ-lə təsvir edilir, burada m – sistemin ehtiyatlarının səviyyəsi, n – sistemdəki sorğuların ümumi sayı. Vəziyyətlər fəzası müəyyən edilir $E = \{0, 1, \dots, S\} \times \{0, 1, \dots, N\}$. (s, S) siyasətindən istifadə vaxtı vəziyyətlərin $p(m, n)$ ehtimalları üçün TTS işlənilib hazırlanmışdır:

$m = 0$ halında:

$$(\lambda_1 \varphi_1 I(n < N) + n\tau)p(0, n) = \lambda_1 \varphi_1 p(0, n-1)I(n > 0) +$$

$$(n+1)\varphi p(0, n+1) + \mu\sigma_2 p(1, n+1)I(n < N).$$

$0 < m < s$ halında:

$$(\lambda I(n < r) + \lambda_2 I(n \geq r) + \mu + \nu)p(m, n) = \lambda p(m, n-1)I(0 < n < r) +$$

$$+ \lambda_2 p(m, n-1)I(n \geq r) + \mu\sigma_1 p(m, n+1)I(n < N) +$$

$$+ \mu\sigma_2 p(m+1, n+1)I(n < N).$$

$m \geq s$ halında:

$$(\lambda I(n < r) + \lambda_2 I(n \geq r) + \mu)p(m, n) = \lambda p(m, n-1)I(0 < n < r) +$$

$$\lambda_2 p(m, n-1)I(n \geq r) + \mu\sigma_1 p(m, n+1)I(n < N) +$$

$$+ \mu\sigma_2 p(m+1, n+1)I(n < N) + \nu p(m-S+s, n).$$

Onlara normalaşdırılma şərti əlavə edilir:

$$\sum_{(m,n) \in E} p(m,n) = 1.$$

Alınmış TTS $(S+1)(N+1)$ ölçülü XCTS-i təşkil edir və bu sistemin həlli üçün məlum TPP istifadə edilə bilər. Göstərilir ki, hər iki EAS-dən istifadə vaxtı aşağıdakı münasibətlər doğru olur:

$$S_{av} = \sum_{m=1}^S m \sum_{n=0}^N p(m,n); \quad (6)$$

$$RR = \mu_2 \sigma_2 \sum_{n=1}^N p(s+1,n); \quad (7)$$

$$PB_1 = \sum_{m=1}^S \sum_{n=r}^N p(m,n) + \theta_1 \sum_{n=1}^N p(0,n) \frac{n\tau}{\lambda\varphi_1 + n\tau}; \quad (8)$$

$$PB_2 = \sum_{m=0}^S p(m,N) + \theta_2 \sum_{n=1}^N p(0,n) \frac{n\tau}{\lambda\varphi_1 + n\tau} \quad (9)$$

Son düsturlarda, $(m,n), n > 0$ tip vəziyyətlərində təsadüfi seçilmiş sorğunun müvafiq olaraq birinci və ikinci tip sorğu olması ehtimalını $\theta_1 = \eta_1 / (\eta_1 + \eta_2)$ və $\theta_2 = 1 - \theta_1$ parametrləri qiymətləndirir, burada η_1 və η_2 müvafiq olaraq sistemə qəbul edilmiş birinci və ikinci növ sorğuların intensivliyini ifadə edir. Göstərilir ki, $\eta_2 = \lambda_2$ və

$$\eta_1 = \sum_{k=1}^r k \cdot \frac{\lambda_1^k}{k!} e^{-\lambda_1} + r \sum_{k=r+1}^{\infty} \frac{\lambda_1^k}{k!} e^{-\lambda_1} = e^{-\lambda_1} \sum_{k=1}^r \frac{\lambda_1^k}{(k-1)!} + r \left(1 - e^{-\lambda_1} \sum_{k=0}^r \frac{\lambda_1^k}{k!} \right).$$

Sonsuz növbəli modeli öyrənmək üçün spektral genişlənmə metodundan, həmçinin faza iriləşdirilməsi metodundan istifadə olunur. Göstərilir ki, sonsuz növbəli bir modelin erqodikliyi üçün şərt aşağıdakı şərtin yerinə yetirilməsidir: $\lambda_2 < \mu_1 \sigma_1$. Bu şərt yerinə yetirildikdə sistemin xarakteristikaları aşağıdakı kimi hesablanır:

$$S_{av} \approx \sum_{m=1}^S m\pi(< m >);$$

$$RR \approx \mu_2 \sigma_2 \pi(< s + 1 >)(1 - \rho(0));$$

$$PB_1 \approx (1 - \pi(< 0 >)) \left(1 - \sum_{n=0}^{r-1} \rho(n) \right) + \theta_1 \pi(< 0 >) \sum_{n=1}^{\infty} \rho_0(n) \frac{n\tau}{\lambda\varphi_1 + n\tau};$$

$$PB_2 \approx \theta_2 \pi(< 0 >) \sum_{n=1}^{\infty} \rho_0(n) \frac{n\tau}{\lambda\varphi_1 + n\tau}.$$

Son düsturlarda aşağıdakı işarələr qəbul edilmişdir:

$$\rho(0) = \left(\sum_{n=0}^r \left(\frac{\lambda}{\mu_1 \sigma_1} \right)^n + \left(\frac{\lambda}{\mu_1 \sigma_1} \right)^r \frac{\lambda_2}{\mu_1 \sigma_1 - \lambda_2} \right)^{-1};$$

$$\rho_0(n) = \frac{a^n}{n!} e^{-a}, \quad n = 0, 1, \dots;$$

$$\pi(< m >) = \begin{cases} \alpha_m \pi(< s + 1 >), & 0 \leq m \leq s \text{ olduqda,} \\ \pi(< s + 1 >), & s + 1 \leq m \leq S - s \text{ olduqda,} \\ \beta_m \pi(< s + 1 >), & S - s + 1 \leq m \leq S \text{ olduqda,} \end{cases}$$

burada

$$\pi(< s + 1 >) = \left(S - 2s + \sum_{m=0}^s \alpha_m + \sum_{m=S-s+1}^S \beta_m \right)^{-1};$$

$$\alpha_m = \left(\frac{\mu_2 \sigma_2 (1 - \rho(0))}{\nu + \mu_2 \sigma_2 (1 - \rho(0))} \right)^{s-m+1}; \quad \beta_m = \frac{\nu}{\mu_2 \sigma_2 (1 - \rho(0))} \sum_{i=m-S+s}^s \alpha_i.$$

Bu modeli hesablamaq və optimallaşdırmaq üçün çoxlu sayda hesablama eksperimentləri aparılmışdır. Bu eksperimentlər göstərdi ki, sistemin vəziyyətlərinin ehtimallarının və xarakteristikalarının hesablanması üçün işlənib hazırlanmış təxmini alqoritmlərin dəqiqliyi kifayət qədər yüksək olur, eyni zamanda təxmini alqoritmlər icra müddəti baxımından öz dəqiq analoqlarını xeyli

üstələyir. Bu halda, təxmini alqoritmlərin dəqiqliyi iki yaxınlıq normasından istifadə etməklə qiymətləndirilir: fərqlərin maksimumu, yəni

$$\|N\|_1 = \max_{n \in E} |p(n) - \tilde{p}(n)|;$$

və kosinus oxşarlıqları:

$$\|N\|_2 = \frac{\sum_{n \in E} p(n)\tilde{p}(n)}{\left(\sum_{n \in E} (p(n))^2\right)^{\frac{1}{2}} \left(\sum_{n \in E} (\tilde{p}(n))^2\right)^{\frac{1}{2}}}.$$

Burada aşağıdakı optimallaşdırma məsələsi həll olunur: kritik ehtiyatlar səviyyəsinin müvafiq qiymətlərini və aşağı prioritetli sığmaların daxil olmasını tənzimləyən hədd parametri seçməklə sistemin mənfəətini maksimuma çatdırmaq tələb olunur, yəni aşağıdakı məsələni həll etmək tələb olunur:

$$(s^*, r^*) = \arg \max_{(s,r) \in X} PT(s, r), \quad (10)$$

burada

$PT(s, r) = RV(s, r) - TC(s, r)$. Göstərilmişdir ki,

$$RV(s, r) = (\lambda_1(1 - PB_1(s, r))C_{rev}^1 + \lambda_2(1 - PB_2(s, r))C_{rev}^2)PS(s, r),$$

burada

$$PS(s, r) = \frac{\mu_2 \sigma_2}{\lambda + \mu_1 \sigma_1 + \mu_2 \sigma_2} (1 - \rho(0))(1 - \pi(< 0 >));$$

$$TC(s, r) = (K + c_r V_{av}(s, r))RR(s, r) + c_h S_{av}(s, r) + c_i^1 \lambda_1 PB_1(s, r) + c_i^2 \lambda_2 PB_2(s, r).$$

(10) məsələsinin həmişə həlli var, çünki mümkün həllər çoxluğu $X = \{0 \leq s < S/2\} \times \{1 \leq r \leq N-1\}$ sonlu və diskretdir. Cədvəl 1-də (s, S) və $(m, S-m)$ siyasətli model üçün (10)

məsələsinin həllinin nəticələri göstərilir, burada $PT^* = PT(s, r)$ funksionalının maksimum qiymətini ifadə edir və

$$C_{rev}^1 = 5, C_{rev}^2 = 10, K = 0.2, c_r = 0.01, c_h = 0.2, c_l^1 = 0.2, c_l^2 = 0.6.$$

Cədvəl 1. (10) məsələsinin həllinin nəticələri; $\mu_1 = 55, \mu_2 = 15,$
 $\sigma_1 = 0.2, \varphi_1 = 0.3, \nu = 3, \tau = 2.$

(S, N)	(λ_1, λ_2)	(s, S) siyasət		$(m, S-m)$ siyasət	
		(s^*, r^*)	PT^*	(s^*, r^*)	PT^*
(30,45)	(45,8)	(14,39)	10.45	(1,41)	9.59
	(55,12)	(14,35)	6.52	(1,39)	5.97
	(60,15)	(14,7)	4.87	(1,4)	4.49
(30,50)	(45,8)	(14,44)	10.50	(1,46)	10.00
	(55,12)	(14,41)	6.55	(1,44)	6.24
	(60,15)	(14,36)	4.88	(1,41)	4.63
(40,45)	(45,8)	(19,38)	8.34	(1,41)	8.52
	(55,12)	(19,33)	4.40	(1,38)	4.87
	(60,15)	(19,8)	2.74	(1,4)	3.36
(40,50)	(45,8)	(19,43)	8.35	(1,46)	8.84
	(55,12)	(19,38)	4.41	(1,43)	5.08
	(60,15)	(19,32)	2.74	(1,40)	3.46

Sonra bu fəsilə müxtəlif tipli sorğuların girişinin ikinci sxemindən istifadə olunan, iki tipli sorğuları olan XES modeli öyrənilir. Birinci giriş sxemindən fərqli olaraq, burada daxil olan sorğunun taleyi ehtiyatların cari səviyyəsinə əsasən müəyyən edilir, eyni zamanda müxtəlif növ sorğuların ümumi sonlu və sonsuz növbəsi olan XES modelləri öyrənilir.

Fərz edək ki, müxtəlif tipli sorğular, maksimal ölçüsü $N, N < \infty$ olan ümumi buferdə gözləyir. Müxtəlif tip sorğuların sistemə daxil olması aşağıdakı kimi həyata keçirilir. Əgər ikinci tip sorğunun daxil olması anında bufer tam doldurulmayıbsa (yəni buferdə ən azı bir boş yer varsa), onda bu sorğu buferə qəbul edilir;

əks halda (yəni bufer tam dolu olduqda) o, itir. Aşağı prioritetli sörğü (yəni, birinci tip sörğular) yalnız sistemə daxil olan zaman ehtiyat səviyyəsi s -dən az olmadıqda buferə qəbul edilir. Bu o deməkdir ki, birinci tip sörğünün daxil olduğu anda ehtiyat səviyyəsi s -dən azdırsa, buferdə boş yerlərin olmasından asılı olmayaraq, o, vaid ehtimalla itir.

Qeyd edək ki, prioritetli sörğular sistemin ehtiyat səviyyəsi sıfır olduqda belə növbəyə qoşula bilər. Bu proses aşağıdakı kimi həyata keçirilir: ikinci tip sörğünün daxil olması anında sistemdə ehtiyat yoxdursa (yəni ehtiyat səviyyəsi sıfıra bərabərdirsə), onda bu sörğü φ_1 ehtimalla buferə qəbul edilir, əlavə $\varphi_2 = 1 - \varphi_1$ ehtimalla isə sistemi xidmət olunmadan tərkdir.

Sonlu növbə ilə sonuncu modelin işinin analizi göstərir ki, ehtiyatların orta səviyyəsi və sifarişlərin orta intensivliyi (6) və (7) ilə analoji şəkildə müəyyən edilir, lakin burada müxtəlif tipli sörğuların itirilməsi ehtimalları aşağıdakı kimi hesablanır:

$$PB_1 = \sum_{m=s}^S p(m, N) + \sum_{m=0}^{s-1} \sum_{n=0}^N p(m, n);$$

$$PB_2 = \sum_{m=0}^S p(m, N) + \sum_{n=1}^N p(0, n) \cdot \frac{n\tau}{\lambda_1 + n\tau}.$$

Ehtiyatların doldurulmasının üç siyasətindən istifadə vaxtı sonsuz növbəli sistemin modelinə baxılmışdır: (s, S) -siyasət, $(S-1, S)$ -siyasət və $(m, S-m)$ -siyasət. Göstərilir ki, bu modelin erqodikliyi üçün şərt, $\psi_2 < 1$ bərabərsizliyin yerinə yetirilməsidir, burada $\psi_2 = \lambda/\mu_1$.

Beləliklə, $(S-1, S)$ -siyasətdən istifadə vaxtı iriləşdirilmiş vəziyyətlərin ehtimalları aşağıdakı münasibətlərdən tapılır:

$$\pi(< m >) = \begin{cases} \frac{S!}{(S-m)!} \left(\frac{\nu}{\theta_1}\right)^m \pi(< 0 >), & 0 \leq m \leq s \text{ olduqda,} \\ \frac{S!}{(S-m)!} \left(\frac{\theta_2}{\theta_1}\right)^s \left(\frac{\nu}{\theta_2}\right)^m \pi(< 0 >), & s+1 \leq m \leq S \text{ olduqda,} \end{cases}$$

burada

$$\pi(<0>) = \left(\sum_{m=0}^s \frac{S!}{(S-m)!} \left(\frac{\nu}{\theta_1} \right)^m + \left(\frac{\theta_2}{\theta_1} \right)^s \sum_{m=s+1}^s \frac{S!}{(S-m)!} \left(\frac{\nu}{\theta_2} \right)^m \right)^{-1}.$$

Sonra bu siyasət üçün xarakteristikaların təqribi qiymətləri belə hesablanır:

$$S_{av} \approx \sum_{m=1}^s m \pi(<m>);$$

$$PB_1 \approx \sum_{m=0}^{s-1} \pi(<m>);$$

$$PB_2 \approx \pi(<0>) e^{-\omega} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\omega^n}{n!} \cdot \frac{n\tau}{\lambda_1 + n\tau}.$$

$$RR \approx \mu_2 \left(1 - \sum_{m=0}^s \rho_m(0) \pi(<m>) \right).$$

Son düsturlarda aşağıdakı işarələr qəbul edilmişdir:

$$\omega = \lambda_2 \varphi_1 / \tau; \quad \rho_0(n) = \frac{\omega^n}{n!} e^{-\omega}, \quad n \geq 0;$$

$$\psi_1 = \lambda_2 / \mu_1 \quad \forall \psi_2 = \lambda / \mu_1,$$

$$\rho_m(n) = \begin{cases} \psi_1^n (1 - \psi_1), & 1 \leq m \leq s, n \geq 0, \\ \psi_2^n (1 - \psi_2), & s+1 \leq m \leq S, n \geq 0. \end{cases}$$

Yuxarıda təsvir edilən modelə analoji olaraq, müxtəlif tipli sorğular üçün prioritetli girişin təşkilinin bu sxemi də öyrənilir və müvafiq hesablama eksperimentlərinin nəticələri təqdim olunur.

NƏTİCƏ

Dissertasiyada aparılan tədqiqatlar aşağıdakı nəticələri çıxarmağa imkan verir.

1. EİS və XES-in öyrənilməsinə həsr edilmiş işlərin böyük əksəriyyətində əsas fərziyyə ondan ibarətdir ki, sorğular eynidir. Bu fərziyyə məlum modellərin adekvatlığını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. İşdə göstərilir ki, EİS və XES modellərinin adekvatlığını artırmaq üçün daxil olan sorğuların müxtəlif tipliliyini nəzərə almaq lazımdır. EİS və XES-də sorğuların təsnifatının əsas əlamətləri verilmişdir.
2. Deterministik və təsadüfi (random) doldurma siyasətindən istifadə edərkən, iki tip sorğuları olan və təkrar sorğuları olmayan EİS-lərin riyazi modelləri təklif olunur. Göstərilmişdir ki, göstərilən EAS-dən istifadə vaxtı bu sistemlərin riyazi modelləri birölcülü Markov zəncirləridir. Hər bir MZ-nin generatorları qurulur və bu zəncirin vəziyyətlərinin ehtimallarını hesablamaq üçün düsturlar alınır. Öyrənilən EİS-nin xarakteristikalarını - hər bir tip sorğuların itirilməsi ehtimalını və sistemin ehtiyatlarının orta səviyyəsini hesablamaq üçün dəqiq düsturlar təklif olunur.
3. İki tip sorğuları olan və yalnız aşağı prioritetli sorğuların təkrarlandığı EİS-lərin riyazi modelləri təklif olunur. Fərz olunur ki, əgər aşağı prioritetli sorğuların daxil olduğu anda sistemin ehtiyatlarının səviyyəsi müəyyən (hədd) kəmiyyətdən azdırsa, onlar təkrarlanır. Hesab edilir ki, sistemdə deterministik EAS-lərin üç növündən biri istifadə oluna bilər. Bu cür sorğular üçün sonlu və sonsuz orbit ölçüləri olan modellər nəzərdən keçirilir. Öyrənilən sistemlərin xarakteristikalarının - sistemin orta ehtiyat səviyyəsinin, orbitdə təkrarlanan sorğuların orta sayının və müxtəlif tipli daxil olan sorğuların itirilməsi ehtimallarının, habelə təkrar sorğuların intensivliyinin hesablanması üçün dəqiq və təxmini üsullar işlənib hazırlanmışdır. Onların optimallaşdırması məsələləri həll edilmişdir.

4. Ehtiyatların doldurulmasının iki siyasətindən istifadə vaxtı sonlu və sonsuz növbəli və iki tip sorğuları olan XES-lərin riyazi modelləri işlənib hazırlanmışdır: bir siyasətdə tədarük olunan ehtiyatların miqdarı sabit, digər siyasətdə isə dəyişən kəmiyyətdir. Hesab edilir ki, xidmət başa çatdıqdan sonra hər iki tipdən olan sorğuların müəyyən hissəsi ehtiyatları almaqdan imtina edə bilər, bu zaman ehtiyatları qəbul edən sorğular üçün xidmət müddəti ehtiyatları qəbul etməyən sorğuların xidmət müddətindən fərqlənir.
5. İki tipli sorğuları olan XES-lərdə prioritetli xidmətin təşkili üçün iki sxem təklif olunur. Hər iki sxemdə yüksək prioritetli sorğular istənilən ehtiyat səviyyəsində və gözləmə buferində ən azı bir boş yer varsa qəbul edilir (sonsuz növbəli modeldə bu sorğular həmişə sistemə qəbul edilir). Bir sxemdə aşağı prioritetli sifarişlər yalnız ehtiyat səviyyəsi müəyyən (hədd) kəmiyyətdən yuxarı olduqda qəbul edilir, digərində isə belə sorğular yalnız ümumi növbə uzunluğu müəyyən (hədd) kəmiyyətdən az olduqda qəbul edilir.
6. Göstərilir ki, iki tip sorğuya malik XES modelləri iki ölçülü Markov zəncirləridir. Uyğun Markov zəncirlərinin doğuran matrislərinin qurulması üçün alqoritmlər işlənib hazırlanmış və onların stasionar paylanmalarını tapmaq üçün TTS alınmışdır. Tədqiq olunan XES-lərin xarakteristikalarını hesablamaq üçün düsturlar tapılır - hər bir tip sorğunun itirilməsi ehtimalı, sistem ehtiyatlarının orta səviyyəsi və sistemdəki sorğuların orta sayı.
7. Böyük ölçülü vəziyyətlər fəzası olan ikiölçülü EİS və XES modellərinin öyrənilməsi üçün vahid yanaşma təklif edilmişdir. O, vəziyyətlərin fəza iriləşdirilməsi metoduna əsaslanır və yuxarıda qeyd olunan ehtiyatların doldurulması siyasətlərindən istifadə etməklə bu sistemlərin tələb olunan xarakteristikalarını tapmaq üçün sadə təqribi düsturlar tapmağa imkan verir.
8. EİS və XES-in bütün modelləri üçün ədədi eksperimentlərin nəticələri nümayiş etdirilir. Müxtəlif EAS-lərin istifadəsi vaxtı

tədqiq olunan sistemlərin xarakteristikalarının müqayisəli analizinin nəticələri verilmişdir.

Dissertasiya işinin elmi və praktik nəticələrinin etibarlılığı və əsaslılığı ehtiyatların idarə edilməsi və kütləvi xidmət nəzəriyyələrinin nəticələrinin düzgün tətbiqi ilə təsdiqlənir.

Ədəbiyyat siyahısı xidmət-ehtiyatlanma sistemlərinin və ehtiyatların idarəetmə sistemlərinin modellərinin tədqiq olunduğu əsas işlərin adlarını özündə saxlayır.

Əlavələrdə nəticələrin istifadəsi haqqında Akt təqdim edilir.

Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıdakı elmi məqalələrdə dərc edilmişdir:

1. Алиев, И.А. Об одной модели системы обслуживания-запасания с двумя типами заявок // - Баку: Вестник Бакинского Университета, - 2017. №4, - С. 105-110.
2. Melikov, A.Z., Ponomarenko, L.A., Aliyev, I.A. Analysis and Optimization of Models of Queuing-Inventory Systems with Two Types of Requests // - USA: Journal of Automation and Information Sciences. Begell House, - 2018. Vol.50, №12, - P. 34-50. (**Scopus**)
3. Melikov, A.Z., Ponomarenko, L.A., Aliyev, I.A. Markov Models of Systems with Demands of Two Types and Different Restocking Policies // - USA: Cybernetics and Systems Analysis. Springer, - 2018. Vol.54, №6, - P. 900-917. (**Web of Science**)
4. Алиев, И.А. Модель системы обслуживания-запасания с разнотипными заявками // Материалы XVII Международной конференции «Информационные технологии и математическое моделирование», - Томск: - 10-15 сентября, - 2018, - С. 274-280.
5. Алиев, И.А. Модель системы запасания с разнотипными заявками и мгновенным обслуживанием // Doktorantların

- və gənc tədqiqatçıların XXII Respublika elmi konfransının materialları, - Bakı: - 22-23 noyabr, - 2018, - S. 218-219.
6. Melikov, A.Z., Ponomarenko, L.A., Aliyev, I.A. Markov Models of Queuing-Inventory Systems with Different Types of Retrial Customers // - USA: Journal of Automation and Information Sciences. Begell House, - 2019. Vol.51, №8, - P. 1-15. **(Scopus)**
 7. Алиев, И.А. Расчет характеристик системы обслуживания-запасания с разнотипными заявками и конечной орбитой для повторных заявок // Материалы XVIII международной конференции «Информационные технологии и математическое моделирование», - Томск: - 26-30 июня, - 2019, - С. 115-120.
 8. Aliyev, I.A. Mathematical models of resource management systems with instant service and two types of applications // Proceedings of the XXV-th International Open Science Conference “Modern Informatization Problems in Economics and Safety”, - Yelm, WA, USA: - January, - 2020, - P. 4-9.
 9. Алиев, И.А. Расчет модели системы обслуживания с различными политиками пополнения запасов // Материалы XII международной научно-практической конференции «Интернет–Образование-Наука» (ИОН-2020), - Винница: - 26-29 мая, - 2020, - С. 120-122.
 10. Алиев, И.А. Численное исследование и оптимизация системы управления запасами с мгновенным обслуживанием и двумя типами заявок // - Воронеж: Системы управления и информационные технологии, - 2020. №2 (80), - С. 28-34. **(ВАК Российской Федерации)**
 11. Алиев, И.А. Управления запасами одной системы с разнотипными заявками // - Воронеж: Системы управления и информационные технологии, - 2021. №1 (83), - С. 4-8. **(ВАК Российской Федерации)**
 12. Алиев, И.А. Модель системы с мгновенным обслуживанием и рандомизированной политикой пополнения запасов // - Киев: Проблемы информатизации

и управления, - 2021. Том 2, №66, - С. 4-10. (**ВАК Украины**)

Birgə nəşr olunmuş işlərdə [2, 3, 6], müəllifin şəxsi töhfəsi, qurulmuş çoxölçülü Markov zəncirlərinin stasionar paylanmalarının hesablanması üçün alqoritmlərin və düsturların işlənilib hazırlanmasından, ədədi eksperimentlərin aparılmasından və onların nəticələrinin analizindən ibarətdir.

Dissertasiyanın müdafiəsi 30 sentyabr 2022-ci il tarixində saat 14⁰⁰-da AMEA-nın İdarəetmə Sistemləri institutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.20 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Azərbaycan, Bakı, B.Vahabzadə küç., 68, AZ1141

Dissertasiya ilə AMEA-nın İdarəetmə Sistemləri institutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları AMEA-nın İdarəetmə Sistemləri institutunun (<http://www.isi.az>) rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 26 avqust 2022-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 13.07.2022

Kağızın formatı: A5

Həcm: 36596

Tiraj: 30