

# AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

*Əlyazma hüququnda*

## **HETEROGEN SERVERLİ XİDMƏT ŞƏBƏKƏLƏRİNİN TƏDQIQI ÜÇÜN ƏDƏDİ ÜSULLAR**

İxtisas: 1203.01- Kompüter elmləri

Elm sahəsi: Texnika

İddiaçı: **Esmira Vidadi qızı Mehbaliyeva**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün  
təqdim edilmiş dissertasiyanın

### **AVTOREFERATI**

**BAKI – 2022**

Dissertasiya işi Sumqayıt Dövlət Universitetinin “Riyazi analiz və funksiyalar nəzəriyyəsi” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

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

Rəsmi opponentlər: texnika elmləri doktoru, professor  
**Rövşən Ağakışi oğlu Quliyev**

texnika elmləri doktoru  
**Mütəllim Mirzəəhməd oğlu Mütəllimov**

texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent  
**Nərmin Eldar qızı Rzayeva**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının AMEA İdarəetmə Sistemləri İnstitutunun 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  
**Fəhrad Həydər oğlu Paşayev**

## **İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI**

**Problemnin aktuallığı.** Kütləvi xidmət (növbə) sistemlərinin klassik modellərinin təhlili göstərdi ki, onlar real kompüter şəbəkələrində, telekommunikasiya sistemlərində və heterogen serverləri olan digər mürəkkəb sistemlərdə sorğuların emalı proseslərinin kifayət qədər adekvat riyazi modelləri rolunu oynaya bilməz. Xidmət sistemlərinin klassik modelləri ilə mürəkkəb sistemlərdə sorğuların emalının real prosesləri arasındakı uyğunsuzluq onunla izah olunur ki, klassik modellərdə, bir qayda olaraq, sistemdəki müxtəlif tipli serverlərin xidmət tarifləri arasında əhəmiyyətli fərqlərə diqqət yetirilmir. Digər tərəfdən, müxtəlif növ sorğulara göstərilən xidmət keyfiyyəti tələblərindəki fərqlər nəzərə alınmır. Bu da heterogen serverli və müxtəlif növ sorğuları olan kifayət qədər geniş xidmət sistemlərini ayırmağı zəruri edir.

Mövcud ədəbiyyatın təhlili göstərir ki, hazırda heterogen serverlər və müxtəlif növ sorğuları olan növbə sistemlərinin hesablanması və optimallaşdırılması problemlərini həll etməyə imkan verən kifayət qədər səmərəli modellər və üsullar yoxdur. Problem real sistemlərin, bir qayda olaraq, böyük ölçüyə malik olması ilə daha da qəlizləşir, buna görə də klassik hesablama və optimallaşdırma üsulları bu problemlərin həlli üçün məqbul sayılmır. Bu faktlar əsasında bu dissertasiya işində heterogen serverləri və müxtəlif növ (tip) sorğuları olan növbə sistemlərinin riyazi modelləri təklif olunmuş və tədqiq edilmişdir. Bu faktlar tədqiqat işinin mövzusunun aktuallığını izah edir.

**Tədqiqatın məqsəd və məsələləri.** İşin məqsədi heterogen serverləri və müxtəlif növ sorğuları olan növbə sistemlərinin təhlili və optimallaşdırılmasına imkan verən modellərin və metodların işlənilib hazırlanmasıdır. Bu məqsədlə dissertasiya işində aşağıdakı məsələlər həll olunur:

- heterogen serverləri və müxtəlif növ sorğuları olan xidmət sistemləri üçün mövcud modellərin və metodların təhlili;
- müasir informasiya emalı sistemlərinin işini adekvat təsvir edən heterogen serverlərə və müxtəlif tipli sorğulara malik xidmət sistemlərinin modellərinin işlənilib hazırlanması;

- heterogen serverləri və müxtəlif növ sorğuları olan prioritetli xidmət sistemlərinin hesablanması və optimallaşdırılması üsullarının işlənilib hazırlanması.

**Tədqiqat üsulları.** Bu məqsədə nail olmaq üçün çox selli növbə sistemləri nəzəriyyəsi metodlarından, qraflar nəzəriyyəsindən, çoxölçülü Markov zəncirləri nəzəriyyəsindən (MZ) və riyazi modelləşdirmə və ədədi optimallaşdırma metodlarından istifadə edilmişdir.

**Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar.** Müəllif aşağıdakı müddəaları müdafiyyə təqdim edir.

1. Müxtəlif giriş sxemlərinin istifadəsi və bufersiz heterogen serverləri növbə sistemlərinin riyazi modellərini.

2. Heterogen serverləri, sonlu və sonsuz ölçülü buferləri və sıçrayışlı prioritetli (Jump Priorities, JP) növbə sistemlərinin riyazi modelləri olan ikiölçülü MZ-lərin stasionar ehtimallarının hesablanması üçün ədədi üsullarını.

3. Heterogen serverli, sonlu və sonsuz ölçülü buferli, təsadüfi N-sxemli növbə sistemlərinin riyazi modelləri olan ikiölçülü MZ-lərin stasionar ehtimallarının hesablanması üçün ədədi üsullarını.

4. Heterogen serverli xidmət sistemlərinin xarakteristikalarını optimallaşdırmaq üçün sıçrayışlı prioritetlərin və təsadüfi N-sxemin parametrlərinin müvafiq qiymətlərini seçməklə optimallaşdırılması məsələlərinin həlli alqoritmlərini.

**Tədqiqatın elmi yeniliyi.** Müdafiyyə aşağıdakı **nəticələr** təqdim edilir:

1. Ən çox istifadə edilən üç server seçim sxemindən istifadə etməklə heterogen serverlərə malik bufersiz və eyni tipli sorğuları olan sistemlərinin riyazi modelləri işlənilib hazırlanmışdır: təsadüfi giriş, "əvvəlcə ən sürətli server" (Fast Server First, FSF) və "əvvəlcə yavaş (leng) server" (Slow Server First, SSF). Hər bir sxemdən istifadə edərkən tədqiq olunan modellərin xarakteristikalarını tapmaq üçün dəqiq düsturlar alınmışdır.

2. Yüksək sürətli serverlərdə yüksək prioritetli sorğulara, aşağı sürətli serverlərdə isə aşağı prioritetli sorğulara xidmət göstərildiyi, heterogen serverləri olan, bufersiz və müxtəlif növ müştərilərə malik növbə sistemində təsadüfi girişin yeni sxem təklif olunmuşdur.

Müvafiq qruplardakı bütün serverlərin məşğul olduğu hallarda, gələn sorğuya başqa qrupda xidmət göstərilməsi mümkündür, yenidən təyinetmə ehtimalları isə müvafiq qrupdakı məşğul serverlərin sayından asılıdır. Bu sistemin xarakteristikalarını dəqiq və təqribi analizi və optimallaşdırılması üsulları işlənib hazırlanmışdır.

3. Heterogen serverləri, məhdud və qeyri-məhdud ölçülü buferləri (ayrıla bilən və ümumi) olan sıçrayışlı prioritetli növbə sistemlərinin yeni modelləri hazırlanmışdır. Sıçrayışlı prioritetlərin müəyyən edilməsi üçün iki sxem təklif olunur: bir sxemdə aşağı və yüksək prioritetli sorğular arasındakı fərqdən asılı olaraq sıçrayışlı prioritetləri müəyyən edilir; başqa bir sxemdə, sıçrayışlı prioritetlər hər bir tip sorğuların sayından asılıdır. Bu modellərin xarakteristikalarının hesablanması dəqiq və təqribi üsulları işlənib hazırlanmış və onların stasionar paylanması və xarakteristikalarının hesablanması üçün hazırlanmış təqribi düsturların yüksək dəqiqliyi göstərilmişdir.

4. Məhdud və ya qeyri-məhdud ölçülü buferin mövcudluğunda iki heterogen server, eyni tipli sorğular ilə növbə sistemində yavaş işləyən serverə imkan verən təsadüfi N-sxemi təklif olunur. Hesab edilir ki, sorğu növbəsinin uzunluğu müəyyən bir  $N, N < \infty$ , qiymətinə çatdıqda, yavaş server müəyyən bir ehtimalla işə salınır. Qeyri-məhdud buferli sistemlər üçün onların erqodikliyi üçün şərt tapılır. Məhdud və qeyri-məhdud növbəli sistemlərin vəziyyətlərinin ehtimal paylanmasının hesablanması üçün ədədi üsullar işlənib hazırlanmışdır.

**Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.** İşin nəzəri əhəmiyyəti heterogen serverli növbə sistemlərinin yeni riyazi modellərinin yaradılmasından və onların xarakteristikalarının müəyyən olunması problemlərinin həllindən ibarətdir. İşin praktiki əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, təklif olunan riyazi modellər müxtəlif xarakteristikaya malik kompüterlərdən istifadə edən kompüter və rabitə şəbəkələri, çağrı mərkəzləri və s. daxil olmaqla, heterogen serverlərlə xidmət sistemlərinin geniş sinfinin işini daha adekvat təsvir edir. Alınan düsturlar bu sistemlərin xarakteristikalarını hesablamağa və təkmilləşdirməyə imkan verir.

**İşin aprobasiyası.** İşin əsas elmi və praktiki nəticələri Doktorantların və Gənc Tədqiqatçıların XXII Respublika Elmi Konfransında, Bakı, Azərbaycan, 22-23 noyabr 2018-ci il; “İnformasiya texnologiyaları və riyazi modelləşdirmə” XVIII Beynəlxalq Konfransında, Tomsk, Rusiya, 26-30 iyun 2019-cu il; "İnternet, Təhsil, Elm" (ION-2020) XII Beynəlxalq Elmi-Praktik Konfransında, Vinnitsa, 26-29 may 2020-ci il; “Riyaziyyatın tətbiqi problemləri və yeni informasiya texnologiyaları” IV Respublika Elmi Konfransında, Sumqayıt, 9-10 dekabr 2021-ci il, məruzə edilmiş və müzakirə olunmuşdur.

**Nəşrlər.** Dissertasiyanın mövzusu üzrə 12 elmi məqalə çap olunub, onlardan elmi jurnallarda 3 məqalə və 5 tezis olmaqla 8-i həmmüəllifsizdir.

**Dissertasiya mövzusu üzrə tədqiqat aparılan elmi müəssisənin adı.** Dissertasiya işinə müəllifin 2018-ci ildən Sumqayıt Dövlət Universitetində əldə etdiyi nəticələr daxildir.

**Dissertasiyanın quruluşu.** Dissertasiya işi 143 səhifə mətn, 19 şəkil 20 cədvəl və 86 adda ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Dissertasiyanın titullu səhifəsi - 388, mündəricat – 3495, giriş - 10800, birinci fəsil - 27408, ikinci fəsil - 26251, üçüncü fəsil-48330, dördüncü fəsil- 48330, nəticə - 5343 işarədən və 86 adda olan ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Dissertasiya işinin ümumi həcmi isə 158676 işarədən ibarətdir.

## **Dissertasiyanın əsas məzmunu**

Dissertasiyanın giriş hissəsində aparılan tədqiqatın aktuallığı, məqsəd və vəzifələri formalaşdırılır, əsas və yeni elmi nəticələr sadalanır, işin nəzəri və praktiki əhəmiyyəti göstərilir. Burada dissertasiyanın hər bir fəslinin xülasəsi verilmişdir.

**Birinci fəsildə** heterogen serverlərə malik xidmət sistemlərinin əsas spesifik xüsusiyyətləri göstərilir. Qeyd olunur ki, son illərdə yeni tele-trafik sistemlərinin (naqillli və naqilsiz) yaranması ilə əlaqədar növbə sistemləri nəzəriyyəsi daha intensiv öyrənilir. Eyni zamanda, əsasən homogen serverlərə malik sistemlərin modelləri öyrənilir. Bununla belə, real həyatda, məsələn,

kompyuter və telekommunikasiya şəbəkələrində, çağrı mərkəzlərində, eləcə də xidmət prosesində maşınların deyil, insanların iştirak etdiyi istehsal sistemlərində çox vaxt bir-birinə bənzəməyən qurğular (serverlər) olan sistemlər mövcuddur. Buna görə də belə sistemlərin riyazi təhlili üçün heterogen serverlərə və müxtəlif növ sorğulara malik növbə sistemlərinin modellərindən istifadə etmək lazımdır. Müxtəlif amillər əsasında heterogen serverlərlə növbə sistemlərinin modellərinin təsnifatı aparılır və sistemlərin iki sinfi fərqləndirilir: bufersiz sistemlər və buferli sistemlər. Bildirilir ki, sistemdəki mövcud vəziyyəti nəzərə almaqla, müxtəlif növ proqramlara effektiv (məüyyən mənadada) çıxışın təşkili üsullarını hazırlamaq lazımdır. Bununla əlaqədar olaraq, tədqiq olunan sistemlərin səmərəliliyinin artırılması probleminin həlli üçün sıçrayışlı prioritetlərin tətbiqinin məqsədəuyğunluğu qeyd olunur. Heterogen serverlərə malik növbə sistemlərinin əsas xarakteristikaları məüyyən edilmiş və onların hesablanması üçün birölçülü və iki ölçülü Markov zəncirləri nəzəriyyəsinin aparatını tətbiq etmək lazım olduğu göstərilir. Müvafiq Markov zəncirlərinin stasionar paylanmalarının hesablanması əsasında nəzərdən keçirilən sistemlərin xarakteristikalarını tapmaq üçün üsul verilmişdir.

**İkinci fəsildə** sorğuları gözləmək üçün buferlərin olmadığı halda, heterogen serverli növbə sistemlərinin modelləri öyrənilir. Belə bir model üçün daxil olan sorğuya xidmət etmək məqsədiylə ayrılmış serveri məüyyən etmək üçün ən çox istifadə edilən üç sxem təklif olunur: (1) “Bir qrup serverin təsadüfi seçimi”; (2) “Ən yüksək xidmət sürəti olan server birinci seçilir”; (3) “Əvvəlcə ən aşağı xidmət sürəti olan server seçilir”. Hər bir sxemdən istifadə etməklə sistemin xarakteristikalarının hesablanması üçün aşkar düsturlar hazırlanmış və onların əsasında bu xarakteristikalarını hesablanması və optimallaşdırılması üçün ədədi eksperimentlər aparılmışdır.

Bundan əlavə, aşağıdakı model iki növ sorğuların mövcudluğunda öyrənilir. Tədqiq olunan sistem yüksək sürətli (F-serverlər) və yavaş sürətli (S-serverlər) ehtiva edir. Sistem iki növdən sadə axınları (Puasson axınlarını) qəbul edir: yüksək prioritetli (H-sorğu) və aşağı prioritetli (L-sorğu), onların intensivliyi isə müvafiq

olaraq  $\lambda_H$  və  $\lambda_L$  kəmiyyətlərinə bərabərdir. Müxtəlif növ sorğulara xidmət aşağıdakı qaydalara uyğun həyata keçirilir:

- əgər H-sorğularının (L-sorğuların) daxil olduğu anda F-serverlər (S-serverlər) qrupunda ən azı bir boş server varsa, bu sorğulara dərhal həmin qruplarda xidmət göstərilməyə başlanılır;

- H və ya L sorğularının daxil olduğu anda hər iki qrupdakı bütün serverlər məşğuldursa, onda onlar vahid ehtimalla itir;

- Əgər H sorğusu daxil olduğu zaman bütün F-serverləri məşğuldursa və məşğul S-serverlərin sayı  $i$ ,  $0 \leq i \leq N_S - 1$ , kəmiyyətinə bərabədirsə, o zaman daxil olan H-sorğuya ya istənilən boş S-serverdə  $\alpha(i)$ ,  $0 < \alpha(i) \leq 1$ , ehtimalla xidmət edilməyə başlayır ya da itir;

- Əgər L sorğusunun daxil olduğu an, bütün S-serverlər məşğuldursa və məşğul F-serverlərin sayı  $j$ ,  $0 \leq j \leq N_F - 1$ , kəmiyyətinə bərabədirsə, o zaman daxil olan L-sorğuya hər hansı bir boş F-serverdə  $\beta(j)$ ,  $0 < \beta(j) \leq 1$ , ehtimalla xidmət göstərilməyə başlayır və ya  $1 - \beta(j)$  ehtimalla sistemi tərk edir.

Məsələn müxtəlif qruplarda məşğul olan serverlərin sayının birgə paylanması, həmçinin sistemin xarakteristikalarını tapmaqdır: F-serverlərin ( $C_F$ ) və S-serverlərin ( $C_S$ ) istifadə əmsalı; H-sorğuların ( $PB_H$ ) və L-sorğuların ( $PB_L$ ) itmə ehtimalları; ( $R_{HS}$ ) S-serverlərində xidmət göstərilən H-sorğuların intensivliyi və ( $R_{LF}$ ) F-serverlərində xidmət göstərilən L-sorğuların intensivliyi.

Modelin vəziyyətlər fəzası belə təyin olunur:  
 $E = \{0, 1, \dots, N_F\} \times \{0, 1, \dots, N_S\}$ .

Qurulmuş iki ölçülü MZ-nin generatorunun elementlərinin hesablanması alqoritmi verilmişdir. Stasionar rejimdə  $(k_F, k_S) \in E$  olma ehtimalı  $p(k_F, k_S)$  təyin edilir. Vəziyyətlərin ehtimallarının tapılması üçün balans tənlikləri sistemi (BTS) hazırlanmışdır. Göstərilir ki, alınan BTS-in yeganə həlli var və onun həlli tapıldıqdan sonra sistemin tələb olunan xarakteristikaları aşağıdakı kimi hesablanır:



$$C_x = \tilde{N}_x / N_x, x \in \{F, S\}, \quad (1)$$

Burada  $\tilde{N}_F$  и  $\tilde{N}_S$  müvafiq olaraq F-serverlər və S-serverlər qruplarında məşğul olan serverlərin ortalama sayını göstərir, yəni

$$\tilde{N}_F = \sum_{k_F=1}^{N_F} k_F \sum_{k_S=0}^{N_S} p(k_F, k_S); \quad \tilde{N}_S = \sum_{k_S=1}^{N_S} k_S \sum_{k_F=0}^{N_F} p(k_F, k_S); \quad (2)$$

$$PB_H = p(N_F, N_S) + \sum_{k_S=0}^{N_S-1} (1 - \alpha(k_S)) p(N_F, k_S); \quad (3)$$

$$PB_L = p(N_F, N_S) + \sum_{k_F=0}^{N_F-1} (1 - \beta(k_F)) p(k_F, N_S). \quad (4)$$

Geyd edilir ki, BTS-in istifadəsinə əsaslanan (1)-(4) xarakteristikalarının hesablanması üçün hazırlanmış yanaşma orta ölçülü modellər üçün asanlıqla həyata keçirilir. Bununla belə, hər qrupda heterogen serverlərin sayı artdıqca, onun tətbiqi uzun icra müddəti tələb edir və məlum matris-həndəsi üsulların bir sıra çatışmazlıqları var. Bu faktlara əsasən, əvvəllər A.Z Məlikovun tədqiqatlarında işlənmiş səmərəli təqribi üsuldan istifadə olunur və iki ölçülü MZ-nin vəziyyətlərinin faza genişlənməsi ideyalarına əsaslanır. Bu metoddan istifadə edərək, axtarılan xarakteristikalar aşkar düsturlarla hesablanır:

$$PB_H \approx \rho_{N_S}(N_F) \pi(< N_S >) + E_B(v_H, N_F) \sum_{i=0}^{N_S-1} (1 - \alpha(i)) \pi(< i >);$$

$$(5) PB_L \approx \pi(< N_S >) \left( \rho_{N_S}(N_F) + \sum_{i=0}^{N_F-1} (1 - \beta(i)) \rho_{N_S}(i) \right); \quad (6)$$

$$R_{HS} \approx \lambda_H E_B(v_H, N_F) \sum_{i=0}^{N_S-1} \alpha(i) \pi(< i >); \quad (7)$$

$$R_{LF} \approx \lambda_L \pi(< N_S >) \sum_{i=0}^{N_F-1} \rho_{N_S}(i) \beta(i). \quad (8)$$

$$\tilde{N}_F \approx (1 - \pi(< N_S >)) \sum_{i=1}^{N_F} i \rho(i) + \pi(< N_S >) \sum_{i=1}^{N_F} i \rho_{N_S}(i); \quad (9)$$

$$\tilde{N}_S \approx \sum_{j=1}^{N_S} j \pi(< j >). \quad (10)$$

(5)-(10) düsturlarına daxil olan parametrlər belə hesablanır:

$$\rho_j(i) = \frac{v_H^i}{i!} \left/ \sum_{j=0}^{N_F} \frac{v_H^j}{j!} \right., \quad i = \overline{0, N_F}, \quad \text{где } v_H = \lambda_H / \mu_F;$$

$$\rho_{N_S}(i) = \frac{1}{i! \mu_F^i} \prod_{j=0}^{i-1} \tilde{\lambda}_H(j) \rho_{N_S}(0), \quad i = \overline{1, N_F};$$

$$\tilde{\lambda}_H(j) = \lambda_H + \lambda_L \beta(j), \quad j = \overline{0, N_S - 1}; \quad \sum_{j=0}^{N_F} \rho_{N_S}(j) = 1;$$

$$\pi(< j >) = \frac{1}{j! \mu_S^j} \prod_{i=0}^{j-1} \tilde{\lambda}_L(i) \pi(< 0 >), \quad j = \overline{1, N_S};$$

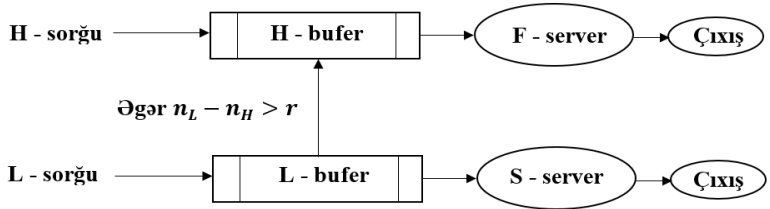
$$\tilde{\lambda}_L(j_1) = \lambda_L (1 - E_B(v_H, N_F)) + (\lambda_L + \lambda_H \alpha(j_1)) E_B(v_H, N_F), \quad j_1 = \overline{0, N_S - 1}; \quad \sum_{j=0}^{N_S} \pi(< j >) = 1;$$

$$E_B(\rho_x, N_x) = \frac{\rho_x^{N_x}}{N_x!} \left/ \sum_{k=0}^{N_x} \frac{\rho_x^k}{k!} \right.$$

Ədədi eksperimentlərin nəticələri təqdim olunmuşdur. Bu eksperimentlərdə sistemin xarakteristikalarının modelin ilkin parametrlərindən asılılıqları öyrənilmiş və onların köməyi ilə təklif olunan təqribi düsturların yüksək dəqiqliyi göstərilmişdir.

**Üçüncü fəsil**də heterogen serverləri, məhdud və qeyri-məhdud ölçülü buferləri (ayrıla bilən və paylaşılan) və sıçrayışlı prioritetləri olan növbə sistemlərinin modelləri öyrənilir. Əvvəlcə məhdud ölçülü və ayrıla bilən buferləri olan modellər öyrənilir. Sistemin sxemi şəkil 1-də göstərilmişdir. Növbədə sorğuları gözləmək üçün sonlu ölçülü ayrıca (separat) buferlər var, H-sorğular üçün buferin ölçüsü (H-bufer)  $K_H - 1$ , bərabərdir və L-sorğular üçün müvafiq bufer (L-bufer)  $K_L - 1$  ölçüyə malikdir. Növbədəki L-sorğularının “yaşlanmasının” qarşısını almaq üçün təsadüfi sıçrayışlı

prioritetlər aşağıdakı kimi müəyyən edilir. Daxil olan H-sorğular həmişə H-buferə əlavə olunur və L- sorğular sistemin vəziyyətindən asılı olaraq H-buferə gedə bilirlər; sistemin hər andakı vəziyyəti iki ölçülü vektorla verilir  $(n_H, n_L)$ , burada  $n_H$  və  $n_L$  sistemdə müvafiq olaraq H və L sorğularının sayını göstərir. L-sorğu daxil olan anda onlardan biri  $J(n_H, n_L)$ ,  $0 < J(n_H, n_L) \leq 1$ , ehtimalla H-buferə keçir (əgər boş yer varsa) yaxud  $1 - J(n_H, n_L)$  ehtimalla ya L-buferə keçir (əgər boş yer varsa), ya da sistemi tərk edir (əgər boş yer yoxdursa). Əgər L-sorğu H-buferə keçirsə, o zaman ona H-sorğu kimi xidmət göstərilir.



Şək. 1. Separat buferlərə malik sistemin struktur sxemi.

Burada təsadüfi JP  $J(n_H, n_L)$  aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$J(n_H, n_L) = \begin{cases} \alpha, & \text{əgər } n_L - n_H \geq r, \\ 0 & \text{başqa halda.} \end{cases} \quad (11)$$

Əgər (11) münasibətində hesab etsək ki  $\alpha = 1$ , onda deterministik JP-lər alınır, yəni hər dəfə L-sorğuların sayı ilə H-sorğuların arasındakı fərq  $r$ -dən az olmadıqda növbənin əvvəlində gözləyən L-sorğuları H-sorğularının növbəsinə goşulur.

Məsələ yuxarıda göstərilən sistemlərdə heterogen sorğuların sayının birgə paylanmasını tapmaq və onların aşağıdakı xarakteristikalarının hesablanması üsullarını hazırlamaqdan ibarətdir:

H-sorğuların itmə ehtimalı  $(PB_H)$ :

$$PB_H = \sum_{n_L=0}^{K_L} p(K_H, n_L). \quad (12)$$

$L$ -sorghuların itmə ehtimalı ( $PB_L$ ):

$$PB_L = (1 - \alpha) \sum_{n_H=0}^{\min(K_L-r, K_H-1)} p(n_H, K_L) + \sum_{n_H=K_L-r+1}^{K_H} p(n_H, K_L). \quad (13)$$

$L$ -sorghuların  $H$ - buferə atılmasının orta intensivliyi ( $RJ_{LH}$ ):

$$RJ_{LH} = \lambda_L \alpha \sum_{n_L=r}^{K_L} \sum_{n_H=0}^{n_L-r} p(n_H, n_L). \quad (14)$$

$H$ -sorghuların ( $N_H$ ) ı  $L$ -sorghuların ( $N_L$ ) sistemdə ortalama sayı:

$$N_H = \sum_{n_H=1}^{K_H} n_H \sum_{n_L=0}^{K_L} p(n_H, n_L); \quad (15)$$

$$N_L = \sum_{n_L=1}^{K_L} n_L \sum_{n_H=0}^{K_H} p(n_H, n_L). \quad (16)$$

(12)-(16) xarakteristikalarının dəqiq qiymətlərinin hesablanması üçün yaradılmış iki ölçülü MZ-nin vəziyyətlərinin ehtimalları üçün BTS qurulması üsulu göstərilmişdir. Qeyd olunur ki, böyük modellər üçün yuxarıda göstərilən təqribi metoddan istifadə etmək məqsədəuyğundur. Bu üsuldən istifadə edərək, ayrı növbələri olan sistemin (12)-(16) xarakteristikalarının təqribi qiymətlərini hesablamaq üçün aşkar düsturlar tapılmışdır:

$$PB_H \approx \sum_{l=0}^{K_L} \rho_l(K_H) \pi(< l >); \quad (17)$$

$$PB_L \approx \pi(< K_L >) \left( (1 - \alpha) \sum_{h=0}^{K_L-r} \rho_{K_L}(h) + \sum_{h=K_L-r+1}^{K_H} \rho_{K_L}(h) \right); \quad (18)$$

$$RJ_{LH} \approx \lambda_L \alpha \sum_{l=r}^{K_L} \pi(< l >) \sum_{h=0}^{l-r} \rho_l(h); \quad (19)$$

$$N_H \approx \sum_{h=1}^{K_H} h \sum_{l=0}^{K_L} \rho_l(h) \pi(< l >); \quad (20)$$

$$N_L \approx \sum_{l=1}^{K_L} l \pi(< l >). \quad (21)$$

(17)-(21) düsturlarına daxil olan parametrlər belə hesablanır:

$0 \leq l \leq r-1$  üçün:

$$\rho_l(h) = v_H^h (1 - v_H) / (1 - v_H^{K_H+1}), \quad h = \overline{0, K_H}, \quad v_H = \lambda_H / \mu_F;$$

$r \leq l \leq K_L$  üçün:

$$\rho_l(h) = \begin{cases} (v_H + \alpha b)^h \rho_l(0), & \text{əgər } 0 \leq h \leq l - r + 1, \\ v_H^h (1 + \alpha c)^{l-r+1} \rho_l(0), & \text{əgər } l - r + 1 \leq h \leq K_H, \end{cases}$$

$$\sum_{h=0}^{K_H} \rho_l(h) = 1, \quad r \leq l \leq K_L; \quad b = \lambda_L / \mu_F, \quad c = \lambda_L / \lambda_H;$$

$$\pi(< l >) = \begin{cases} v_L^l \pi(< 0 >), & \text{əgər } 0 \leq l \leq r, \\ \left(\frac{v_L}{\tilde{v}_L}\right)^r \tilde{v}_L^l \pi(< 0 >), & \text{əgər } r + 1 \leq l \leq K_L, \end{cases}$$

$$v_L = \lambda_L / \mu_S, \quad \tilde{v}_L = \tilde{\lambda} / \mu_S;$$

$$\tilde{\lambda}_L = \lambda_L \left( (1 - \alpha) \sum_{h=0}^{l-r} \rho_{l_1}(h) + \sum_{h=l-r+1}^{K_H} \rho_{l_1}(h) \right); \quad \sum_{l=0}^{K_L} \pi(< l >) = 1.$$

Tədqiqat işində üç məqsədi olan hesablama eksperimentlərinin nəticələri təqdim olunur: 1) tədqiq olunan sistemlərin vəziyyətlərinin stasionar ehtimallarının və xarakteristikalarının hesablanması üçün təklif olunan təqribi düsturların dəqiqliyini qiymətləndirmək; 2) bu xarakteristikaların sıçrayışlı prioritetlərin həddi parametrinin qiymətindən asılılığını öyrənmək; 3) bu xarakteristikaların optimallaşdırılması məsələlərini həll etmək.

Vəziyyətlərin ehtimalların təqribi qiymətlərinin dəqiqliyi aşağıdakı yaxınlıq ölçülərindən istifadə etməklə qiymətləndirilir:

Kosinus bənzərliyi:

$$\|N\|_1 = \sum_{n \in E} p(n) \tilde{p}(n) / \left( \sum_{n \in E} (p(n))^2 \right)^{1/2} \left( \sum_{n \in E} (\tilde{p}(n))^2 \right)^{1/2}; \quad (22)$$

maksimal fərq:

$$\|N\|_2 = \max_{n \in E} |p(n) - \tilde{p}(n)|; \quad (23)$$

Dəqiq və təqribi yanaşmalar üçün ehtimalların müqayisəli analizinin nəticələri Cədvəl 1 göstərilmişdir. Burada modelin ilkin parametrləri aşağıdakı kimi seçilir:  $\mu_F = 50, \mu_S = 30, \alpha = 0.2$ ; iki cüt

bufer ölçüsü üçün  $(K_H, K_L) = (5, 5)$  və  $(K_H, K_L) = (10, 5)$  hədd parametrinin qiyməti  $r = 3$ ,  $(K_H, K_L) = (10, 10)$  üçün isə  $r = 8$  seçilmişdir. Cədvəl 1-dən görünür ki, yaxınlıq dərəcəsi (22) demək olar ki, vahidə bərabərdir və, həmçinin eksperimentlərin böyük əksəriyyətində vəziyyətlərin ehtimallarının dəqiq və təqribi qiymətləri ən pis hallarda onluq nöqtədən sonra üçüncü onluq yerində fərqlənir; başqa sözlə desək, yaradılmış təqribi düsturların dəqiqlik dərəcəsinin yüksək olmasını yaxınlıq dərəcəsi (23) də göstərir. Aparılan ədədi eksperimentlər də sistemin öarakteristikaları üçün işlənilib hazırlanmış təqribi düsturların yüksək dəqiqliyini göstərdi (bax Cədvəl 2 və 3).

Şəkil 2-də ayrı növbəli modeldə sistem xüsusiyyətlərinin  $r$  parametrindən asılılıqları göstərilir, sistemin ilkin parametrləri isə aşağıdakı kimi seçilir:

$$\lambda_H = 50, \lambda_L = 30, \mu_F = 40, \mu_S = 20, K_H = K_L = 10.$$

Burada sistemin işləməsi ilə bağlı ümumi cərimələrin (Total Cost, TC) minimuma endirilməsi məsələsi həll edilir. Fərz edilir ki, buferlərin ölçüləri, eləcə də sistemin yük parametrləri sabit kəmiyyətlərdir və yeganə optimallaşdırma parametri hədd parametridir, yəni  $r$ . Ümumi cərimələr aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

$$TC(r) = c_{JP}RJ(r) + \lambda_H c_{LH}PB_H(r) + \lambda_L c_{LL}PB_L(r) + c_{WH}N_H(r) + c_{WL}N_L(r), \quad (24)$$

Burada  $c_{JP}$  –  $L$ -növbədən  $H$ -növbəyə bir atlamanın qiymətidir;  $c_{LH}$  ( $c_{LL}$ ) – bir  $H$ -sorgunun ( $L$ -sorgunun) itməsindən yaranan cərimədir;  $c_{WH}$  ( $c_{WL}$ ) – bir  $H$ -sorgunun ( $L$ -sorgunun) sistemdə vahid zamanda olmasından yaranan cərimədir. Optimallaşdırma məsələsi formal olaraq belə yazılır:

$$r^* = \arg \min_r TC(r). \quad (25)$$

Cədvəl 1. Separat növbəli model üçün müxtəlif yaxınlıq normaları ilə ehtimallarının hesablanması və dəqiqliyinin qiymətləndirilməsi.

$(\lambda_H, \lambda_L)$	$(K_H, K_L)$	Norma dəyərləri	
		(22)	(23)
(45, 30)	(5, 5)	0.98107	0.01635

	(10, 5)	0.97716	0.00924
	(10, 10)	0.97258	0.00806
(45, 35)	(5, 5)	0.99305	0.00740
	(10, 5)	0.98431	0.00634
	(10, 10)	0.97095	0.00553
(50, 30)	(5,5)	0.98420	0.01243
	(10, 5)	0.97538	0.00729
	(10, 10)	0.97556	0.00504
(50, 35)	(5, 5)	0.99333	0.00603
	(10, 5)	0.97559	0.00910
	(10, 10)	0.96838	0.00431
(55, 30)	(5, 5)	0.98663	0.00939
	(10, 5)	0.97735	0.00953
	(10, 10)	0.97738	0.00402
(55, 35)	(5, 5)	0.99331	0.00729
	(10, 5)	0.97310	0.01211
	(10, 10)	0.96655	0.00485

Cədvəl 2. Separat növbəli sistemin xarakteristikalarının hesablanması dəqiqliyinin qiymətləndirilməsi.

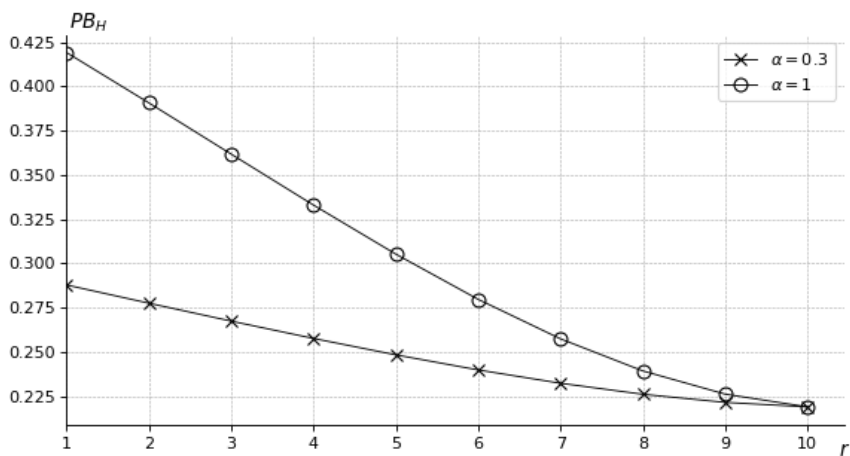
$(\lambda_H, \lambda_L)$	$(K_H, K_L)$	$PB_H$		$PB_L$		$RJ_{LH}$	
		dəqiq	təqribi	dəqiq	təqribi	dəqiq	təqribi
(45, 30)	(5, 5)	0.11881	0.11657	0.14669	0.10453	1.88413	1.38154
	(10, 5)	0.06333	0.04084	0.15415	0.11490	1.25283	1.00849
	(10, 10)	0.04114	0.04028	0.08278	0.05163	0.75563	0.45316
(45, 35)	(5, 5)	0.11976	0.11883	0.14842	0.15651	1.89222	1.79899
	(10, 5)	0.06785	0.04142	0.15607	0.17099	1.23767	1.30213
	(10, 10)	0.04135	0.04087	0.08324	0.11174	0.75783	0.85095
(50, 30)	(5,5)	0.15776	0.15471	0.14937	0.10894	1.76281	1.30443
	(10, 5)	0.10764	0.07532	0.15817	0.12214	0.92926	0.78534
	(10, 10)	0.07625	0.07468	0.08510	0.05517	0.58096	0.35471
(50, 35)	(5, 5)	0.15884	0.15698	0.15104	0.16261	1.76915	1.70360
	(10, 5)	0.11373	0.07598	0.15998	0.18083	0.91205	1.01543
	(10, 10)	0.07658	0.07535	0.08556	0.11870	0.58240	0.66653
	(5, 5)	0.19844	0.19465	0.15180	0.11302	1.62298	1.21308

(55, 30)	(10, 5)	0.15924	0.11958	0.16105	0.12806	0.64989	0.57480
	(10, 10)	0.12133	0.11897	0.08700	0.05808	0.41913	0.26068
(55, 35)	(5, 5)	0.19961	0.19683	0.15345	0.16820	1.62789	1.58922
	(10, 5)	0.16632	0.12020	0.16275	0.18881	0.63443	0.74500
	(10, 10)	0.12177	0.11961	0.08745	0.12436	0.42001	0.49072

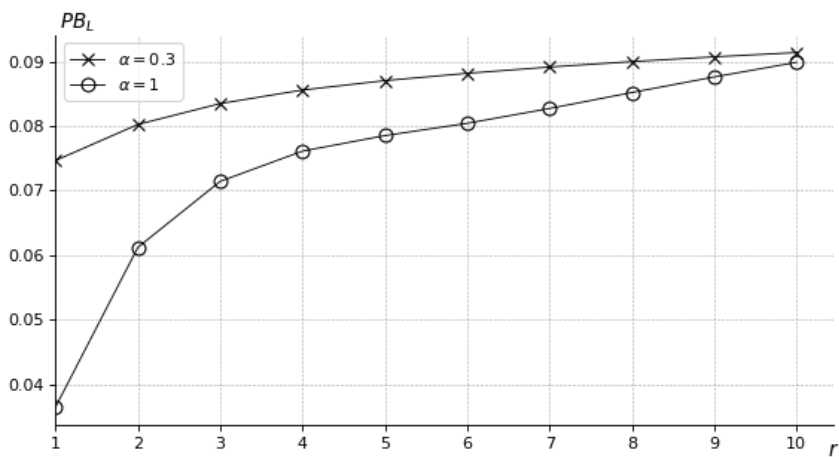
Cədvəl 3. Separat növbəli sistemin xarakteristikalarının hesablanması üçün dəqiqliyinin qiymətləndirilməsi.

$(\lambda_H, \lambda_L)$	$(K_H, K_L)$	$N_H$		$N_L$	
		dəqiq	təqribi	dəqiq	təqribi
(45, 30)	(5, 5)	2.11021	2.14099	2.50324	2.20164
	(10, 5)	4.06072	3.69311	2.50675	2.23510
	(10, 10)	3.62392	3.64854	5.00139	4.28145
(45, 35)	(5, 5)	2.11428	2.17261	2.51378	2.63391
	(10, 5)	4.13853	3.73762	2.51656	2.67306
	(10, 10)	3.62573	3.69415	5.00713	5.76926
(50, 30)	(5,5)	2.41348	2.43558	2.50392	2.21611
	(10, 5)	5.11320	4.67430	2.50569	2.25744
	(10, 10)	4.62511	4.63850	5.00337	4.30395
(50, 35)	(5, 5)	2.41774	2.46313	2.51389	2.65067
	(10, 5)	5.19698	4.71011	2.51461	2.69851
	(10, 10)	4.62761	4.67537	5.00896	5.80187
(55, 30)	(5, 5)	2.69103	2.70563	2.50421	2.22916
	(10, 5)	6.05095	5.60473	2.50355	2.27515
	(10, 10)	5.57604	5.57883	5.00519	4.32193
(55, 35)	(5, 5)	2.69530	2.72911	2.51382	2.66570
	(10, 5)	6.12994	5.63073	2.51181	2.71850
	(10, 10)	5.57895	5.60568	5.01085	5.82767

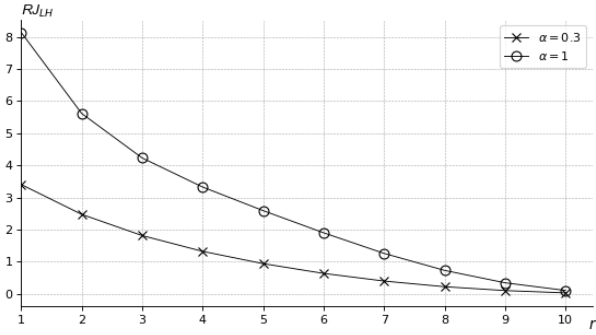




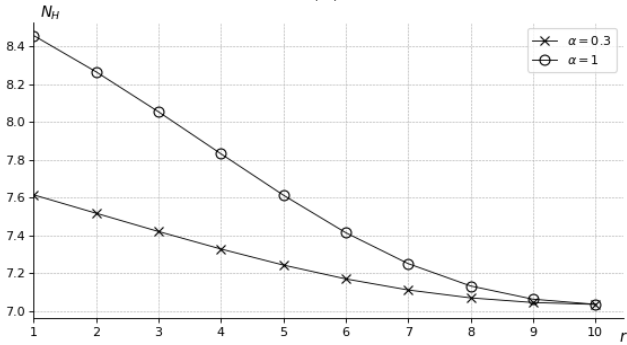
(a)



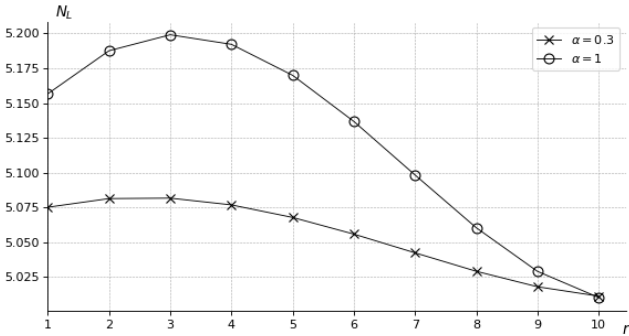
(b)



(v)



(q)



(d)

Şək. 2. Sistemin xüsusiyyətlərinin ayrı növbəli modeldəki parametr  $r$  dən asılılığı:  $PB_H$  (a),  $PB_L$  (b),  $RJ_{LH}$  (v),  $N_H$  (q),  $N_L$  (d).

Giriş parametrlərinin istənilən qiymətləri üçün (25) məsələnin həlli var, çünki mümkün həllər çoxluğu diskret və sonludur. Cədvəl 4-də aşağıdakı ilkin verilənlər üçün hər iki modeldə (25) məsələsinin həllinin nəticələri göstərilmişdir.

$$\lambda_H = 25, \lambda_L = 35, \mu_H = 30, \mu_L = 20, \alpha = 0.7.$$

(24)-də əmsallar belə seçildi:

$$c_{JP} = 0.5, c_{LH} = 3, c_{LL} = 2, c_{WH} = 0.7, c_{WL} = 0.2.$$

Cədvəl 4. (25) məsələsinin həllinin nəticələri;  $TC^*$  - məqsəd funksiyasının minimum dəyəri.

Ayrı növbəli sistem			Ümumi növbəli sistem		
$(K_H, K_L)$	$r^*$	$TC^*$	$K$	$r^*$	$TC^*$
(10,10)	9	11.1721	5	4	27.7911
(10,15)	12	9.6307	10	9	18.0297
(10,20)	17	9.2884	15	14	13.9413
(15,10)	9	12.9474	20	19	11.9985
(15,15)	13	8.9484	25	24	11.0320
(15,20)	17	8.4315	30	29	10.5712
(20,10)	9	25.9872	35	34	10.3989
(20,15)	14	9.4386	40	39	10.4040
(20,20)	18	8.2969	45	44	10.5251

Bundan əlavə, oxşar şəkildə heterogen sorğular üçün ümumi buferi olan bir model öyrənilir. Başqa bir modeldə, sıçrayışlı prioritetlərin müxtəlif növ sorğuların saylarının fərqindən deyil, hər bir növ sorğuların sayından asılı olduğu fərz edilir. Eyni zamanda qeyri-məhdud buferli modellər tədqiq edilir və onların erqodikliyi müəyyən edilir.

**Dördüncü fəsil**də iki heterogen serverləri, məhdud və ya qeyri-məhdud ölçülü buferə malik və eyni tipli sorğuları olan növbə sistemlərinin modelləri öyrənilir. Ləng (və ya sürətli) serveri aktivləşdirmək üçün yeni təsadüfi  $N$ -sxemi təklif olunur. Birinci halda hesab edilir ki, F-server həmişə aktivdir və S-server yalnız sorğu növbəsinin uzunluğu müəyyən  $N, N < \infty$ , kəmiyyətindən

(həddindən) az olmadıqda işə düşə bilər  $N, N < \infty$ . S-serverin aktivləşdirilməsi və söndürülməsi sxemləri aşağıdakı kimi müəyyən edilir. Əgər sorğunun daxil olma zamanı növbə uzunluğu  $N$ -dən az deyilsə, S-server  $\alpha, 0 < \alpha < 1$ , ehtimalla işə salınır və bu serverdə xidmət üçün növbədən bir sorğu seçilir;  $1 - \alpha$  ehtimal ilə yuxu rejimində qalır (yəni söndürülmüş vəziyyətdə) qalır. S-serverdə sorğuya xidmət göstərilməsi başa çatdıqdan sonra o, hazırda növbə uzunluğu  $N$ -dən böyükdürsə, xidmət üçün növbədən bir sorğu seçir; əks halda, S-server yuxu rejiminə keçir.

Məsələ sistemdə sorğuların sayının və S-serverin statusunun birgə paylanmasını tapmaq, həmçinin onun xarakteristikalarının hesablanması üsullarını hazırlamaqdır. Bu halda, sistemin əsas xarakteristikaları aşağıdakılardır: sistemdəki sorğuların orta sayı ( $L_s$ ), sorğunun sistemdə orta qalma müddəti ( $W_s$ ) və S-serverin işə salınmasının intensivliyi ( $RS$ ). Bundan əlavə, məhdud növbəsi olan model üçün yeni bir xarakteristika yaranır – sorğuların itirilməsi ehtimalı ( $PB$ ).

Göstərilir ki, bu sistemin vəziyyəti ixtiyari vaxt anında ikiölçülü vektor ilə müəyyən edilir,  $(n, k)$ , burada  $n$  – sistemdəki sorğuların sayını göstərir,  $k$  – S-serverin vəziyyətidir, yəni  $k = 0$ , əgər S-server söndürülmüş vəziyyətdədirsə, və əks təqdirdə  $k = 1$  olur. Buna görə də sistemin işləməsi iki ölçülü MZ ilə təsvir edilir və bu zəncirin vəziyyətlər fəzası belə müəyyən edilir:

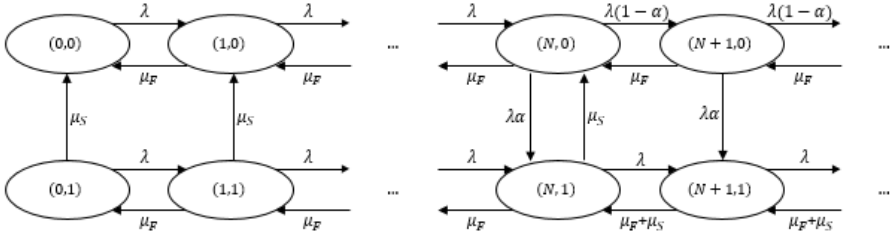
$$E = E_0 \cup E_1, \quad \text{burada}$$

$$E_k = \{(n, k) : n = 0, 1, 2, \dots\}, k = 0, 1.$$

Baxılan zəncirin generatorunun elementləri  $q((n, k), (n', k'))$ , şəkil 3-də təqdim edilən qraf vasitəsi ilə müəyyən edilir. Stasionar rejimin mövcudluğunun şərti belədir:  $\lambda < \mu_F + \mu_S$

Bu sistemin əsas xarakteristikaları belə tapılır:

$$L_s = \sum_{n=1}^{\infty} n \sum_{k=0}^1 p(n, k); \quad W_s = \frac{1}{\lambda} L_s; \quad RS = \lambda \alpha \sum_{n=N}^{\infty} p(n, 0).$$



Şək. 3. Sistem vəziyyətləri arasında keçid qrafı.

Stasionar vəziyyətlərin ehtimallarını tapmaq üçün doğuran funksiyalar metodundan istifadə etmək olar. Lakin onun tətbiqi tədqiq olunan Markov zəncirində generator matrisin mürəkkəb strukturu ilə əlaqədar müəyyən metodoloji və texniki çətinliklərlə bağlıdır. Beləliklə, MZ-nin vəziyyətlərin ehtimallarını və sistemin xarakteristikalarını hesablanması üçün tədqiqat işində təqribi metod işlənib hazırlanmışdır. Standart çevrilmələrdən sonra hazırlanmış təqribi metoddan istifadə edərək, sistemdəki sorğuların orta sayının təqribi qiyməti müəyyən edilir:

$$L_s \approx \sum_{k=0}^1 \pi(\langle k \rangle) \sum_{n=1}^{\infty} n \rho_k(n) = \pi(\langle 0 \rangle) \rho_0(0) \left( \sum_{n=1}^N n v_F^n + (1-\alpha)^{-N} G(v_F) \right) + \quad (26)$$

$$+ \pi(\langle 1 \rangle) \rho_1(0) \left( \sum_{n=1}^N n v_F^n + \left(1 + \frac{\mu_S}{\mu_F}\right)^N G(v_{FS}) \right),$$

$$\text{burada } G(x) = \frac{x^{N+1} ((N+1)(1-x) + x)}{(1-x)^2}.$$

S-serverin işə salınmasının intensivliyinin təqribi qiyməti aşağıdakı kimi hesablanır:

$$RS \approx \lambda \alpha \pi(\langle 0 \rangle) \sum_{n=N}^{\infty} \rho_0(n) = \lambda \alpha \pi(\langle 0 \rangle) \left( 1 - \sum_{n=0}^{N-1} \rho_0(n) \right). \quad (27)$$

(26) və (27) düsturlarında aşağıdakı kəmiyyətlərdən istifadə edilir:

$$\rho_0(n) = \begin{cases} v_F^n \rho_0(0), & \text{əgər } 0 \leq n \leq N, \\ (1-\alpha)^{-N} \tilde{v}_F^n \rho_0(0), & \text{əgər } n > N, \end{cases} \quad \text{burada}$$

$$\tilde{v}_F < 1, \quad v_F = \lambda / \mu_F, \quad \tilde{v}_F = (1-\alpha) v_F,$$

$$\rho_0(0) = \left( \sum_{n=0}^N v_F^n + v_F^N \frac{\tilde{v}_F}{1 - \tilde{v}_F} \right)^{-1};$$

$$\rho_1(n) = \begin{cases} v_F^n \rho_1(0), & \text{əgər } 0 \leq n \leq N, \\ \left(1 + \frac{\mu_S}{\mu_F}\right)^N \tilde{v}_{FS}^n \rho_1(0), & \text{əgər } n > N, \end{cases}$$

$$v_{FS} < 1, v_{FS} = \lambda / (\mu_F + \mu_S), \rho_1(0) = \left( \sum_{n=0}^N v_F^n + v_F^N \frac{\tilde{v}_{FS}}{1 - \tilde{v}_{FS}} \right)^{-1};$$

$$\pi(<0>) = \frac{q_{10}}{q_{01} + q_{10}}, \pi(<1>) = 1 - \pi(<0>),$$

$$q_{01} = \lambda \alpha \sum_{n=N}^{\infty} \rho_0(n) = \lambda \alpha \left( 1 - \sum_{n=0}^{N-1} \rho_0(n) \right); q_{10} = \mu_S \sum_{n=0}^N \rho_1(n).$$

Sürətli serveri işə salmaq üçün təsadüfi N-sxemi olan anoloji model də tədqiq edilmişdir.

Aparılan hesablamə təcrübələri yaradılmış təqribi düsturların yüksək dəqiqliyini göstərmişdir.

Qeyri-məhdud ölçülü buferə malik model üçün bəzi nəticələr Cədvəl 5-də göstərilmişdir. Bu cədvəldən görünür ki, bütün eksperimentlərdə (22) normasının qiymətləri praktiki olaraq vahidə bərabərdir, (23) normasının qiymətləri isə mühəndis hesablamaları üçün məqbul hədlər daxilindədir. Müxtəlif yanaşmalardan istifadə etməklə bu modelin xüsusiyyətlərinin hesablanması nəticələrinin müqayisəli təhlili Cədvəl 6 göstərilmişdir, burada DQ – dəqiq qiymətlər, TQ – təqribi qiymətlər və NX – nisbi xəta. Beləliklə, Cədvəl 6-dan belə nəticəyə gəlik ki, nisbi xətanın maksimal qiyməti 1%-dən azdır. Xarakteristikaların hesablanması dəqiqliyi də olduqca yüksəkdir, çünki bu xarakteristikanın hesablanması zamanı NX-nın maksimal qiyməti 7% -dir.

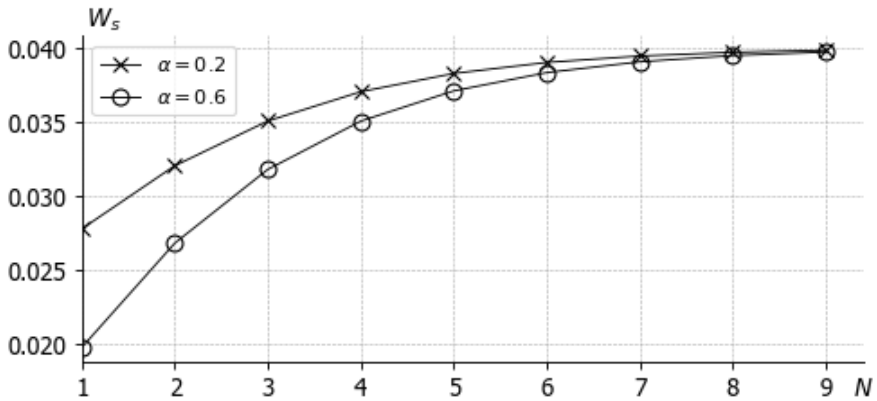
Cədvəl 5. Sonsuz buferli model üçün müxtəlif yaxınlıq normaları üzrə vəziyyətlərin ehtimallarının hesablanması və dəqiqliyinin qiymətləndirilməsi;  $\alpha = 0.3, N = 5$ .

$\lambda$	$(\mu_F, \mu_S)$	normanın qiyməti	
		(22)	(23)
20	(40, 20)	0.959	0.181
	(45, 30)	0.981	0.145
	(50, 35)	0.986	0.135
	(55, 40)	0.989	0.126
25	(40, 20)	0.942	0.183
	(45, 30)	0.972	0.150
	(50, 35)	0.979	0.143
	(55, 40)	0.983	0.136

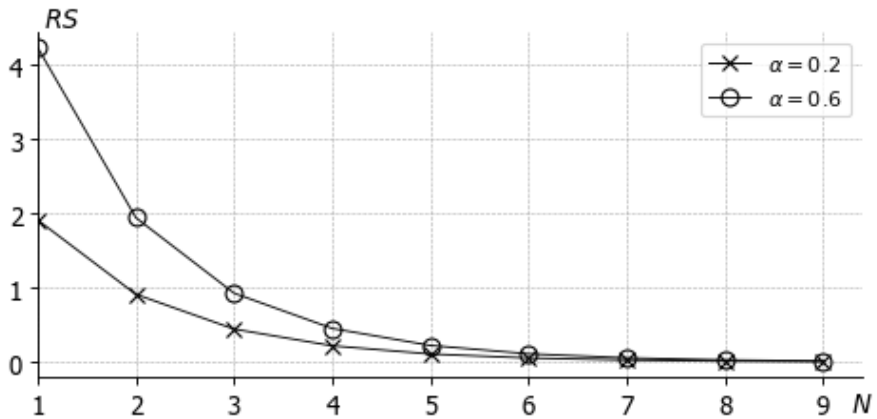
Cədvəl 6. Sonsuz buferli modelin xarakteristikalarının hesablanması və dəqiqliyinin qiymətləndirilməsi;  $\alpha = 0.3, N = 5$ .

$\lambda$	$(\mu_F, \mu_S)$	$W_s$			RS		
		DQ	TQ	NX	DQ	TQ	NZ
20	(40, 20)	0.0474	0.0476	0.0037	0.1131	0.1122	0.0085
	(45, 30)	0.0388	0.0389	0.0024	0.0699	0.0703	0.0052
	(50, 35)	0.0327	0.0328	0.0014	0.044	0.0438	0.0046
	(55, 40)	0.0282	0.0283	0.0008	0.0287	0.0284	0.0106
25	(40, 20)	0.0570	0.0576	0.0109	0.3378	0.3622	0.0722
	(45, 30)	0.0456	0.0460	0.0081	0.2220	0.2356	0.0611
	(50, 35)	0.0378	0.0380	0.0048	0.1450	0.1500	0.0347
	(55, 40)	0.0322	0.0323	0.0030	0.0969	0.0986	0.0179

Yavaş serveri işə salma ehtimalının müxtəlif qiymətləri üçün qeyri-məhdud buferli modelin xüsusiyyətlərinin hədd parametrindən asılılığı şəkil 4-də göstərilir.



(a)



(b)

Şək. 4. Qeyri-məhdud buferli modelin xüsusiyyətlərinin parametrdən asılılığı.

Tədqiqat işində həmçinin məhdud ölçülü buferlərə malik analogi modellər öyrənilir.



## NƏTİCƏ

1. Çoxserverli xidmət sistemləri modellərinin öyrənilməsinə həsr olunmuş tədqiqat işlərinin böyük əksəriyyətində əsas fərziyyə odur ki, sistemdəki bütün serverlər eynidir, başqa sözlə desək, serverlər homogenidir. Lakin bu fərziyyə real həyata uyğun deyil, çünki əksər hallarda mövcud sistemlərdə, xüsusən də kompüter və rabitə şəbəkələrində, zəng mərkəzlərində, eləcə də insanların iştirak etdiyi istehsal sistemlərində heterogen serverlərə malik sistemlər mövcuddur. Serverlərin heterogenliyinə məhəl qoymamaq məlum modellərin real vəziyyətlər üçün adekvatlığını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Göstərilir ki, hazırlanmış modellərin real vəziyyətlər üçün adekvatlığını artırmaq məqsədi ilə istifadə olunan serverlərin heterogenliyini nəzərə almaq lazımdır. Heterogen serverlərlə növbə sistemlərinin təsnifatının əsas xüsusiyyətləri göstərilmişdir.

2. Müxtəlif giriş sxemlərindən istifadə etməklə eyni tipli sorğulara malik və bufersiz heterogen serverləri olan xidmət sistemlərinin riyazi təklif olunmuşdur. Heterogen serverlər iki qrupa bölünür: sürətli və ləng serverlər. Tez-tez istifadə olunan üç giriş sxemi tədqiq edilmişdir: serverlər qrupunun təsadüfi seçimi; ilk olaraq ən yüksək xidmət sürəti olan server seçilir; ilk olaraq ən aşağı xidmət sürəti olan server seçilir. Göstərilir ki, bu giriş sxemlərindən istifadə edən sistemlərin riyazi modelləri birölçülü Markov zəncirləridir. Tədqiq olunan modellərin xarakteristikalarının – sorğuların itirilməsi ehtimalı, hər bir qrupda məşğul olan serverlərin orta sayı və onlardan istifadə əmsalları, hesablanması üçün dəqiq düsturlar alınmışdır. Tədqiq olunan modellərin xarakteristikalarının hesablanması və optimallaşdırılması üzrə ədədi eksperimentlərin nəticələri təqdim edilmiş, müxtəlif giriş sxemlərindən istifadə etməklə sistemin xarakteristikalarının müqayisəli təhlili verilmişdir.

3. Heterogen serverləri olan, bufersiz və iki növ sorğuları olan növbə sisteminin modeli təklif olunur. Hesab edilir ki, yüksək prioritetli sorğular sürətli serverlərdə, aşağı prioritetli sorğular isə ləng serverlərdə verilir. Öz qrupundakı bütün serverlərin məşğul olduğu halda, daxil olan sorğuya başqa qrupda xidmət göstərmək mümkündür. Serverlər Bernoulli sxeminə uyğun olaraq yenidən təyin

edilir, və bu sxemin parametrləri müvafiq qrupdakı məşğul serverlərin sayından asılıdır. Göstərilən sistemin riyazi modeli ikiölçülü Markov zənciridir və bu sistemin xarakteristikalarının dəqiq və təqribi hesablanması üsulları işlənib hazırlanmışdır. Dəqiq analiz vəziyyətlərin ehtimalları üçün balans tənlikləri sistemindən istifadəyə əsaslanır və təqribi analizdə iki ölçülü Markov zəncirlərinin vəziyyətlərinin fəza iriləşdirilməsi alqoritmlərindən istifadə olunur. Alınan düsturlar tədqiq olunan sistemin xarakteristikalarını ədədi analiz etməyə və optimallaşdırmağa imkan verir və ədədi eksperimentlərin nəticələri təqdim edilmişdir.

4. İki heterogen serverə, müxtəlif növ sorğulara və prioritetlərə malik sistemlərin riyazi modelləri təklif olunur ki, bu modellərdə növbədə gözləmək üçün separat və ümumi bufer təşkil etmək mümkündür. Təsadüfi və deterministik sıçrayışlı prioritetlərin müəyyən edilməsi üçün iki sxem təqdim olunur: onlardan birində prioritetlər sistemdəki müxtəlif növ sorğuların sayının fərqiindən, digərində isə hər bir tip sorğularının sayından asılıdır.

5. İki heterogen serverli, müxtəlif tipli sorğuları və sıçrayışlı prioritetləri olan sistemlərin işini adekvat təsvir edən ikiölçülü Markov zəncirləri qurulmuşdur. Qurulmuş zəncirlərin vəziyyətlərinin stasionar ehtimallarının dəqiq və təqribi qiymətlərinin hesablama üsulları işlənib hazırlanmışdır. Onların xarakteristikalarını hesablamaq üçün aşkar düsturlar tapılmışdır. Bunlar müxtəlif tip sorğuların itməsi ehtimalı, aşağı prioritet sorğuların yüksək prioritetli sorğular üçün olan buferə keçməsinin orta intensivliyi və sistemdəki müxtəlif tip sorğuların orta saylarıdır.

6. Dəqiq metod sistemin vəziyyətlərinin ehtimalları üçün balans tənliklərindən istifadə edir, təqribi metodda isə ikiölçülü Markov zəncirlərinin fəza iriləşdirilməsi üsulundan istifadə olunur. Çox saylı hesablama eksperimentləri əsasında təklif olunan təqribi yanaşmanın yüksək dəqiqliyi göstərilib. Daxil edilmiş sıçrayışlı prioritetlərin optimal sxemini seçməklə sistemin ümumi xərclərini minimuma endirmək məsələləri həll olunmuşdur.

7. İki heterogen serverləri və eyni tipli sorğuların ümumi məhdud və qeyri-məhdud növbələri olan sistemlərdə ləng (sürətli) serverin qoşulmasının təsadüfi N-sxemi təklif olunmuşdur. Sürətli

(ləng) serverin həmişə iş rejimində olduğu hesab edilir və sorğu növbəsinin uzunluğu müəyyən həddə çatdıqda ləng (sürətli) server ya müəyyən ehtimalla qoşulur, ya da əlavə ehtimalla yuxu rejimində qalır.

8. Ləng (sürətli) serverə sorğuların sayından asılı olaraq qoşulmağa imkan verən N-sxemi ilə işləyən sistemlərin riyazi modelləri qurulmuşdur. Göstərilir ki, hər iki halda onlar ikiölçülü Markov zəncirləridir və qeyri-məhdud növbəli model üçün onların erqodikliyi şərtləri tapılmışdır. Baxılan sistemlərin vəziyyətlərinin ehtimallarının və xarakteristikalarının hesablanması üçün təqribi metod işlənib hazırlanmışdır. Sistemin xarakteristikaları sorğuların orta sayı, sorğunun sistemdə orta qalma müddəti; ləng (sürətli) serverin qoşulmasının intensivliyi; məhdud növbəli model üçün sorğuların itmə ehtimallarıdır.

9. Hesablama eksperimentlərin vasitəsilə ləng (sürətli) serverin işə salınmasının N-sxemi istifadə edildikdə yaradılmış təqribi metodun yüksək dəqiqliyi göstərilib. Məhdud buferli sistemlərdə ümumi cərimələrin minimuma endirilməsi məsələsi həll edilib, burada cərimələr sistemdə sorğuların qalması, itməsi, həmçinin ləng (sürətli) serverlərin qoşulması ilə bağlıdır.

**Dissertasiyanın əsas nəticələri aşağıdakı əsərlərdə çap olunmuşdur.**

1. *Mehbaliyeva E.V.* Heterogen serverli xidmət sisteminin bir modeli haqqında // Sumqayıt Dövlət Universiteti. Elmi xəbərlər jurnalı. Təbiət və texniki elmlər bölməsi. 2018. Cild 18. № 4. S. 18-23. [https://www.sdu.edu.az/userfiles/file/scientific\\_publications/sp\\_12.pdf](https://www.sdu.edu.az/userfiles/file/scientific_publications/sp_12.pdf)
2. *Mehbaliyeva E.V.* Separat heterogen serverlər qrupları olan xidmət sisteminin riyazi modeli // Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXII Respublika elmi konfransının materialları. I Cild. 22-23 noyabr 2018. Bakı. S. 227-228. <https://adpu.edu.az/az/elm/konfrans-materiallar>
3. *Mehbaliyeva E.V.* Heterogen serverləri və müxtəlif tipli sorğuları olan sistemin riyazi modelinin qurulması // Sumqayıt Dövlət Universiteti. Elmi xəbərlər jurnalı. Təbiət və texniki elmlər bölməsi. 2019. Cild 19. № 2. S. 84-88. <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=43167219>
4. *Мехбальева Э.В.* О задаче включения медленного сервера // Материалы XVIII Международной конференции имени А.Ф.Терпугова “Информационные технологии и математическое моделирование”. 26-30 июня 2019. Част 2. С. 218-221. [http://itmmconf.tsu.ru/sites/default/files/ITMM-2019\\_2.pdf](http://itmmconf.tsu.ru/sites/default/files/ITMM-2019_2.pdf) (SCOPUS)
5. *Меликов А.З., Мехбальева Э.В.* Анализ и оптимизация систем с гетерогенными серверами и скачкообразными приоритетами // Известия РАН. Теория и системы управления 2019. № 5. С. 54-72. <https://sciencejournals.ru/view-issue/?j=teorsist&y=2021&v=0&n=5> (WoS, SCOPUS, SCIE)
6. *Мехбальева Э.В.* Алгоритм расчета характеристик системы с гетерогенными серверами и очередями // XII International Scientific-Practical Conf. Internet-Education-Science. 26-29 may 2020. Vinnytsia, Ukraine. P. 123-126. <https://discovery.kpi.ua/Record/000616514> (ВАК України)
7. *Мехбальева Э.В.* Алгоритм расчета системы с гетерогенными серверами и ограниченной очередью // İnformasiya Sistemləri və Texnologiyaları: Nailiyyətlər və

- Perspektivlər II Beynəlxalq Elmi Konfransı. 9-10 iyul 2020. Sumqayıt. S. 218-220. <https://www.ssu-conferenceproceedings.edu.az/az>
8. Меликов А.З., Мехбальева Э.В. Численное исследование системы с гетерогенными серверами и рандомизированной N-политикой // Вестник Томского Государственного Университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2020. № 53. С. 25-38. <https://cyberleninka.ru/article/n/chislennoe-issledovanie-sistemy-s-geterogennymi-serverami-i-randomizirovannoy-a-politikoy> (WoS, ESCI, SCOPUS)
  9. Melikov A.Z., Ponomarenko L.A., Mekhbaliyeva E.V. Analysis the models of systems with heterogeneous servers // Cyber. Syst. Anal. 2020. Vol. 56. P. 89-99. <https://link.springer.com/journal/10559/volumes-and-issues> (WoS, ESCI, SCOPUS)
  10. Мехбальева Э.В. Модель системы с гетерогенными серверами и скачкообразными приоритетами // Riyaziyyatın tətbiqi məsələləri və yeni informasiya texnologiyaları IV Respublika elmi konfransı. 9-10 dekabr 2021-ci il. Sumqayıt. 2021. №9. S. 181-184. <https://www.ssu-conferenceproceedings.edu.az/pdf/riyaziyyat2021.pdf>
  11. Мехбальева Э.В. Схема определения скачкообразных приоритетов в системах обслуживания с гетерогенными серверами // Проблемы информатизации и управления (Киев). 2021. Вып. 65(1). С. 62-67. <https://jrn1.nau.edu.ua/index.php/PIU/issue/view/65> (ВАК Украины)
  12. Меликов А.З., Мехбальева Э.В. Системы обслуживания с гетерогенными серверами и зависящими от состояния скачкообразными приоритетами // Вестник Томского Государственного Университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2022. № 53. С. 25-38. <https://cyberleninka.ru/journal/n/vestnik-tomskogo-gosudarstvennogo-universiteta-upravlenie-vychislitelnaya-tehnika-i-informatika?i=1093642> (WoS, ESCI, SCOPUS)

Birgə işlərdə [5, 8, 9, 12] müəllifin şəxsi töhfəsi tədqiq olunan modellərin vəziyyətlərinin ehtimallarının və xüsusiyyətlərinin dəqiq və təqribi qiymətlərinin hesablanması, onların optimallaşdırılması, müvafiq proqram təminatı və ədədi eksperimentlərin nəticələrin analizindən ibarətdir.

Dissertasiyanın müdafiəsi 26 oktyabr 2022 il tarixində saat 14:00 Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası İdarəetmə Sistemləri İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.20 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Az1141, Bakı şəhəri, B. Vahabzadə küç. 68.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası İdarəetmə Sistemləri İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

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

Avtoreferat 22 sentyabr 2022-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 22.09.2022

Kağızın formatı: A5

Həcm: 28649

Tiraj: 100