

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

XİDMƏT ANLARI TSİKLİK OLAN KÜTLƏVİ XİDMƏT SİSTEMLƏRİNDƏ İDARƏETMƏ MƏSƏLƏLƏRİ

İxtisas: 1208.01 Ehtimal nəzəriyyəsi

Elm sahəsi: Riyaziyyat

İddiaçı: **Nərminə Abdulla qızı Abdullayeva**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2021

Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin “Əməliyyatlar tədqiqi və ehtimal nəzəriyyəsi” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: AMEA-nın həqiqi üzvü, f.-r.e.d., professor
Asəf Hacı oğlu Hacıyev

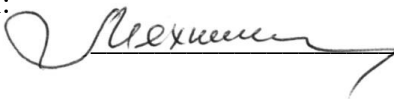
Rəsmi opponentlər: fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Tahir Əjdər oğlu Xaniyev

riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Rövşən Telman oğlu Əliyev

riyaziyyat üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Fuad Cavanşir oğlu Əzizov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının AMEA İdarəetmə Sistemləri İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.19 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının
sədri:



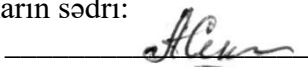
f.-r.e.d., professor
Qalina Yuriyevna Mehdiyeva

Dissertasiya şurasının
elmi katibi:



f.-r.e.n., dosent
Elxan Nəriman oğlu Səbzizyev

Elmi seminarın sədri:



f.-r.e.d., professor
Soltan Əli oğlu Əliyev

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. XX əsrin əvvəllərində mürəkkəb quruluşlu sistemlər üçün bir çox praktiki məsələlərin həlli kütləvi xidmət nəzəriyyəsi və kütləvi xidmət sistemi kimi tanınan yeni bir araşdırma sahəsinin yaranmasına gətirib çıxardı. Bu sahədə riyaziyyatın, xüsusən ehtimal nəzəriyyəsinin metod və yanaşmaları uğurla istifadə olunaraq bu sahənin inkişafına böyük təkan verdi. Müasir kütləvi xidmət nəzəriyyəsi ehtimal nəzəriyyəsinin inkişaf etmiş sahəsi kimi qəbul olunur.

Kütləvi xidmət sistemlərinin əsas obyektləri (sistemə daxil olan) müştərilər və (müştərilərə xidmət göstərən) cihazlardır (serverlərdir). Belə sistemlərinin müxtəlif parametrləri var, məsələn, sıranın orta uzunluğu, xidmətdən öncə müştərilərin orta gözləmə müddəti, xidmət müddətinin orta qiyməti, məşğulluq müddətinin paylanması və s. Adıçəkilən parametrlər sənaye, nəqliyyat, kommunikasiya sistemləri və s. kimi müxtəlif praktik tətbiqi sahələrdə mühüm rol oynayır.

Sadalanan tədqiqatların əsas məqsədi sistemlərin müxtəlif xüsusiyyətlərini qiymətləndirmək və seçilmiş effektiv göstəricilərin – növbənin uzunluğu, gözləmə müddəti, məşğulluq müddəti, xidmət göstərilən müştərilərin sayı və s. optimallaşdırılması (minimumlaşdırılması və ya maksimumlaşdırılması) üçün müxtəlif nəzarət strategiyalarının yaradılmasıdır. Beləliklə, kütləvi xidmət sistemləri və idarəetmə məsələləri üçün müxtəlif parametrlərin hesablanması, onların araşdırmalarında mühüm rol oynayır və hazırda bir çox alimin diqqətini cəlb edir. XX əsrin sonunadək bu istiqamətdə aparılan araşdırmalar əsasən analitik xarakter daşdığından mürəkkəb sistemlərin araşdırılması müəyyən çətinliklərlə rastlaşırdı. Amma XX əsrin ikinci yarısında kompüterlərin geniş istifadəsi bu çətinlikləri nisbətən aradan qaldırdı və yeni istiqamətlərin yaradılmasına səbəb oldu. Kompüter imkanları və metodları müasir zamanda elmin müxtəlif sahələrində uğurla istifadə olunur və hətta kompüterlərlə bağlı yeni elmi istiqamətlər yaranıb (kompüter modelləşdirilməsi, kompüter statistikasına, (MCMC- Markov Chain and Monte Carlo) Markov zəncirləri və Monte-Karlo və s.).

Son illər dünya iqtisadiyyatında müxtəlif səbəblərdən azalma müşahidə olunur. Dünya iqtisadiyyatının yüksəlməsi üçün rabitə, nəqliyyat, kommunikasiya sistemlərinin inkişafı xüsusi rol oynayır. Cihazları hərəkətdə olan kütləvi xidmət sistemləri və onların riyazi modelləri adıçəkilən sistemlərin fəaliyyətini yaxından ifadə edir. Bu baxımdan cihazları hərəkətdə olan kütləvi xidmət sistemlərinin və onların riyazi modellərinin tətqiqatı aktual və vacib məsələlərdən biridir.

İlk illər kütləvi xidmət sistemlərinin məsələləri telefon sistemlərində müştərilərin xidmətinə (telefon zəngləri) və daha sonra mürəkkəb strukturları olan sistemlərlə əlaqəli idi. Kütləvi xidmət sistemlərinin ilkin məqalələri XX əsrin əvvəllərində Kopenhagen telefon şirkətinin işçisi Agner Erlanqa aiddir. Daha sonra Agner Erlang tanınmış alim oldu. Kütləvi xidmət nəzəriyyəsinə vacib töhfələr Lomonosov adına Moskva Dövlət Universitetinin professorları A.Ya.Xinçin¹ və B.V.Qnedenko² tərəfindən verilərək dünyada tanınmış elmi məktəb yaratmışdılar. Daha sonra bir çox alimlərin araşdırmaları (E.Cinlar, N.Prabhu, L.Kleinrock, T.Saati, Yu.Belyaev, A.Borovkov, A.Solovyev, V.Zolotarev, V.Korolyuk, İ.Kovalenko və b.) bu sahənin inkişafına böyük töhfələr verərək bir çox önəmli məsələlərin həllinə səbəb olmuşdurlar. Müasir kütləvi xidmət nəzəriyyəsində cihazları hərəkətdə olan sistemlər xüsusi maraq kəsb edir, çünki bu modellər, məsələn, nəqliyyatda, ictimai nəqliyyatda, logistika problemlərində, kommunikasiya sistemlərində, kompüter şəbəkələrində və digər müxtəlif tətbiq sahələrində istifadə edilə bilər.

XX əsrin ikinci yarısında kütləvi xidmət nəzəriyyəsinin inkişafında ehtimal nəzəriyyəsinin, təsadüfi proseslərin və riyaziyyatın digər sahələrinin nəticələri və yanaşmaları nəqliyyat axınlarının, hava limanlarının, tunellərdə nəqliyyat axınının idarə edilməsində, nəqliyyat və kommunikasiya sistemlərində, kompüter

¹ Хинчин, А.Я. Избранные труды по теории вероятностей / А.Я.Хинчин – Москва: ТВП, – 1995. – 552 с.

² Гнеденко, Б.В. Беседы о теории массового обслуживания / Б.В.Гнеденко – Москва: Либроком, – 1973. – 72 с.

şəbəkələri və digər sistemlərin araşdırılmasında istifadə olunur.

Belə sistemlərin tədqiqi klassik kütləvi xidmət nəzəriyyəsinin üsulları və yanaşmaları çərçivəsindən kənarında olduğundan, yeni araşdırma sahələrinin meydana gəlməsinə gətirib çıxardı. Bu sistemlərin mürəkkəb quruluşa malik olmasına baxmayaraq, onların hamısı bir ümumi fikirdə birləşir – cihazları hərəkətdə olan kütləvi xidmət sistemlərdir. Ədəbiyyatda bu cür sistemlər bəzən "şatl" sistemləri də adlanır.

Cihazları hərəkətdə olan kütləvi xidmət sistemlərinin tipik nümunələri nəqliyyat vahidlərinin hərəkətləri, müxtəlif malların, yüklərin, məlumatların və kompüter şəbəkələrinin, kommunikasiya sistemlərinin, işçilər tərəfindən bir neçə avadanlıqlara xidməti və digərləridir.

Cihazları hərəkətdə olan sistemlər xüsusi parametrlərə malikdir. Nəqliyyat sistemlərində intensivlik (müəyyən müddət ərzində sistemə daxil olan nəqliyyat vasitələrinin sayı) və nəqliyyat axınının sıxlığı (yolun bir hissəsində olan nəqliyyat vasitələrinin sayı), yolun buraxılış keçiriciliyi, yolun diaqramı (intensivliyin sıxlıqdan asılılığı), tələblərin orta gözləmə müddəti (xidmətdən əvvəl orta gözləmə müddəti), tam xidmət müddəti (gözləmə və xidmət müddətinin cəmi), kommunikasiya sistemlərində enerji xərcləri və s.

Belə sistemlərin tədqiqi yeni riyazi modellərin qurulmasına və tədqiqatına gətirib çıxarır və bu cür riyazi modellər çərçivəsində yeni tədqiqat üsulları formalaşır. Bu istiqamətdə hissəcikləri hərəkətdə olan riyazi modellər geniş istifadə olunur. Belə modellər cihazları hərəkətdə olan müxtəlif kütləvi xidmət sistemlərinin fəaliyyətini (nəqliyyat, kommunikasiya sistemləri və d.) ifadə edir və yeni nəticələr almağa imkan verir.

Nəqliyyat sistemlərini adekvat ifadə edən ilk riyazi modellərdən biri 1969-cu ildə Yu.K.Belyayev³ tərəfindən təklif edilmişdir. Bu modeldə sadəcə iki hissəcik hərəkət edir.

³ Беляев, Ю.К. Сравнительный анализ простейших систем вертикального транспорта / Ю.К. Беляев, А.Г.Гаджиев, Ю.И.Громак [и др. // Известия Академии Наук СССР: Техническая кибернетика, Москва: – 1977. №3, – с. 97-103.

Hissəciklərinin sayı artan modellər daha mürəkkəbdir və yeni məsələləri qarşıya qoyur. U.Zahle⁴ tərəfindən çox sayda hərəkətdə olan hissəciklərin riyazi modelləri qurulub və Belyayevin aldığı nəticələr belə modellər üçün də ümumiləşdirildi. Yuxarıda qeyd edilən məqalələrdə olduğu kimi, dissertasiyada təklif olunan riyazi modellərdə hissəciklərin hərəkətləri aralarındakı məsafədən asılıdır, amma Yu.K.Belyayev və U.Zahlenin araşdırmalarından fərqli olaraq hər bir hissəcik ya V_1 sürəti, ya da V_2 sürəti ilə hərəkət edə bilər, $V_1 < V_2$. Hissəciklərin müxtəlif sürətlərlə hərəkət etməsi modelləri mürəkkəbləşdirir, amma eyni zamanda imkan verir ki, praktiki məsələləri daha yaxından ifadə etsin. Hər bir hissəciyin sürəti növbəti hissəciyə olan məsafədən asılıdır (hərəkət istiqamətində). Dairənin hər bir nöqtəsində yalnız bir hissəcik ola bilər. Aşağıda təklif olunan riyazi modellərin qurulmasından bəlli olacaq ki, hissəciklər hərəkət zamanı bir-birini ötə bilməz. Belə modellər nəqliyyatda, kommunikasiya sistemlərində, biologiyada (impulsların ötürülməsi) və digər sistemlərdə baş verən prosesləri ifadə edir.

Cihazları hərəkətdə olan kütləvi xidmət sistemlərini ifadə edən düz xətt üzərində hərəkətdə olan hissəciklərin ilk riyazi modelləri⁵ təklif olunmuşdur. Bu modellər üzərində gözlənilməz effekt – ayrıca baxılan hissəciyin təsadüfi dolaşması aşkar edilmişdir. Bu nəticə nəqliyyatda yolun diaqramı deyilən qrafikin qurulmasına və diaqram vasitəsi ilə yaranan tıxacların səbəblərini izah etməyə imkan yaradır.

Dairə üzərində hərəkət edən hissəciklərin riyazi modelləri daha mürəkkəb olduğundan təklif edilən metodların istifadəsi bu modellər üçün əlavə araşdırmalar tələb edir. Belə modellər⁶ araşdırılıb və

⁴ Целе, У.Н. Обобщение модели движения без обгона // – Москва: Известия Академии Наук СССР, Техническая кибернетика, – 1972, т.3, №5, – с. 100-103.

⁵ Hajiyev, A.H. Minimization of the waiting time in systems with recurrent services // – Moscow: Bulletin of Moscow University, – 1980. vol.37, No.03, – p. 19-23.

⁶ Hajiyev, A.H. Delays reducing the waiting time in queuing systems with cyclic services // – Stockholm: Scandinavian Journal of Statistics, – 1985. vol.12, No.04, – p. 301-307.

Ignall, E.R., Kolesar, P.S. Operating characteristics of a simple shuttle under local dispatching rules // – Catonsville: Operation Research, – 1972. vol.20, No.06, – p.

sistemlərin müxtəlif xarakteristikaları üçün (hissəciyin dairə üzərində müəyyən nöqtədə gözləmə müddəti, hissəciklərin dairə üzərində sıxlığı, intensivliyi və digər parametrləri) lazımi nəticələr alınmışdır.

Cihazları hərəkətdə olan müasir kütləvi xidmət sistemlərinin adətən resursları məhduddur, məsələn, nəqliyyatın gözləmə müddəti və yolun məhdudlaşdırılmış çıxış gücü, kompüter şəbəkələrində – məhdud yaddaş və s. Beləliklə, bu cür sistemlər üçün müxtəlif nəzarət strategiyalarını araşdırmaq təbii və zəruridir, bu da onların fəaliyyətini daha effektiv etmək imkanı verir. Belə məsələlərin⁷ baxılmasına baxmayaraq, bu nəticələrin geniş sayda sistemlər üçün istifadəsi müəyyən çətinliklər yaradır. Ona görə sistemlərin xüsusiyyətini nəzərə alan, yeni universal metodların yaradılmasına böyük ehtiyac vardı. Dissertasiyada belə məsələlərə xüsusi diqqət verilir. Sistemlərin əsas xarakteristikaları olan tələblərin orta gözləmə müddəti, idarəetmə funksiyasının daxil edilməsi və optimal rejimlərin tapılması və digər məsələlər həm nəzəri, həm də praktiki nöqtəyi-nəzərindən vacib məsələdir.

Məsələn, nəqliyyat sistemlərində nəqliyyat vasitələrinin sayının artması bəzi hallarda nəqliyyatda tıxacın yaranmasına səbəb olaraq böyük itkilərə səbəb olur. ABŞ-da, Linkoln tunelində yaranan tıxaclar böyük maddi itkilərə səbəb oldu. Lazımi statistik verilənlər

1077-1088.

Osuna, E.E., Newell, G.F. Control strategies for an idealized public transportation system // – Catonsville: Transportation Science, – 1972. vol.6, No.01, – p. 52-72.

⁷ Гаджиев, А.Г. О случайном блуждании частиц по кольцу // – Москва: Математические заметки, – 1990. т.47, №6, – с. 140-143.

Гаджиев, А.Г. Модель движение частиц по замкнутому контуру без обгона // – Москва: Известия Академии Наук СССР: Техническая кибернетика, – 1976. № 5, – с. 79-84.

Belyaev, Y.K., Hajiyev, A.H. Mathematical models of lift systems and their Simulation // Proceedings of the Thirteenth International Conference on Management Science and Engineering Management, – Ontario: – 05-08 August, – 2019, – p. 507-519.

Ignall, E.R., Kolesar, P.S. Optimal dispatching of an infinite capacity shuttle: control at a single terminal // – Catonsville: Operation Research, – 1974. vol.22, No.05, – p. 1008-1025.

əsasında da belə problemlərin qismən olsa da, aradan qaldırılması təklif olunmuşdur⁸. Belə sistemlərdə idarəetmə məsələləri və optimal rejimlərin seçilməsi vacib məsələdir. Dissertasiyada bəzi cihazları hərəkətdə olan kütləvi xidmət sistemləri üçün idarəetmə funksiyası daxil edilir və tıxacların qarşısını almaq üçün hansı tədbirlərin görülməsi göstərilir.

1969-cu ildə Yu.Belyayev⁹ hissəcikləri hərəkətdə olan sadələşdirilmiş riyazi modellərini təklif etmişdir. Bu məqalədə göstərilmişdir ki, hissəciklərin hərəkətinin bir-birindən asılı olmağına baxmayaraq, hər bir ayrıca baxılan hissəcik hərəkəti təsadüfi binomial dolaşmaya uyğundur. Bu gözlənilməz nəticə (Belyayev effekti) sistemin bir neçə xarakteristikasının hesablanmasına və yol diaqramının qurulmasına imkan vermişdi. Bu nəticələr əsasında tıxacın aradan qaldırılması üçün lazımi tövsiyələr verməyə imkan yaratdı. Alınan təsiri "Belyayev effekti" adlandırmaq olar və tıxacları təxmin etməyi və bəzi yol xüsusiyyətlərini hesablamağa imkan verir. Belyayev effekti daha geniş siniflər üçün ümumiləşdirilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, bu nəticə Moskva dairəvi yolda nəqliyyat sisteminin formalaşmasında istifadə edilmişdir¹⁰.

Qapalı trayektoriyalarda (məsələn, dairə üzərində hərəkət edən) hissəciklərin hərəkətləri ictimai nəqliyyatın (avtobuslar, qatarlar, tramvaylar) davranışını təsvir edir və daha mürəkkəb riyazi problemlərin yaranmasına gətirib çıxarır, çünki hissəciklər bir-birinin hərəkətinə mane olur. Onların araşdırmaları üçün yeni riyazi modellər qurmaq və tədqiqatlara yeni yanaşmalar hazırlamaq

⁸ Пройдакова, Е. В., Федоткин, М. А. Достаточное условие существования стационарного распределения выходных потоков в системе с циклическим управлением // – Нижний Новгород: Вестник Нижегородского Университета: Математика, – 2006. т.42, № 3, – с. 118-126.

⁹ Беляев, Ю.К. Сравнительный анализ простейших систем вертикального транспорта / Ю.К. Беляев, А.Г.Гаджиев, Ю.И.Громак [и др.] // Известия Академии Наук СССР: Техническая кибернетика, Москва: – 1977. №3, – с. 97-103.

¹⁰ Беляев, Ю.К., Громак, Ю.И., Малышев, В.А. Об инвариантных случайных булевских полях // – Москва: Математические заметки, – 1969. т.6, № 5, –с. 555-566.

lazımdır. Bir dairə üzərində hərəkət edən hissəciklərin bəzi riyazi modelləri nəzərdən keçirilir¹¹. Bu modellər üçün Belyayev effektinin baş verməsi üçün zəruri və kafi şərtlər verilir. Göstərilir ki, hissəciklər arasında yaranan məsafə, hissəciklərin hərəkət parametrlərindən asılı olaraq Puasson, binomial, həndəsi paylanmalarla approksimasiya oluna bilər. İkixətli sistemlərin tədqiqi daha mürəkkəb modellərə gətirib çıxarır və belə məsələlər tədqiq edilmişdir¹². Bixətli tuncaldan hərəkət və onun planlaşdırılmasında istifadə edilən və ədəbiyyatda "şüşə boyun" sistemi adlandırılan məsələ araşdırılmışdır¹³ və burada optimal idarəetmə rejimi təklif edilmişdir.

Kütləvi xidmət nəzəriyyəsinin vacib bir problemi effektivlik (səmərəlilik) indeksinə nəzərəçarpan qazanc verib və praktikada asanlıqla həyata keçirilən idarəetmə məsələsidir (məsələn, başlanğıc xidmətinin gecikməsi). İdarəetmə funksiyası elə seçilməlidir ki, praktikada asanlıqla həyata keçirilsin və tələblərin xidmətə qədər gözləmə və xidmət müddətlərində qəza əldə edilsin. Belə sistemləri ifadə edən riyazi modellər olduqca mürəkkəb quruluşa malikdir.

¹¹ Гаджиев, А.Г., Маммадов, Т.Ш. Математические модели движущихся частиц и их приложения // – Москва: Журнал имени А.Н.Колмогорова: Теория вероятностей и ее применения, – 2011. т.56, №4, – с. 1-14.

Замятин, А.А., Малышев, В.А. Накопление на границе для одномерной стохастической системы частиц // – Москва: Проблемы передачи информации, – 2007. т.43, №4, – с. 68-82.

Hajiyev, A.H. Shuttle Systems // – Moscow: Dokladi Mathematics RAS, – 2001. vol.380, No.05, – p. 583-585.

¹² Deb, R. K. Optimal dispatching of a finite capacity shuttle // – Catonsville: Management Science, – 1978. vol.24, No.13, – p. 1362-1372.

Hajiyev, A.H., Abdullayeva, N.A., Mammadov, T.S. Mathematical Models of Queues with Moving Servers: Simple Vertical Transportation Systems // Proceedings of the Sixth International Conference on Management Science and Engineering Management (Part of the Lecture Notes in Electrical Engineering book series (LNEE, volume 185)), – Islamabad: – 11-14 November, – 2012, – p. 529-547.

¹³ Moeschlin, O.E., Poppinga, C.H. Controlling traffic lights at a bottleneck with renewal arrival processes // – Baku: Proceedings of the Institute of Mathematics and Mechanics, Azerbaijan National Academy of Science, – 2001. vol.XIV, No.14, – p. 187-194.

Belə sistemlərin bəzi riyazi modellərinin analitik metodlarla araşdırılması təklif olunmuşdur¹⁴. Bu tədqiqatlarda təəccüblü olsa da, idarəetmə funksiyası kimi tələblərin xidmət anlarının gecikdirilməsi təklif olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, bəzi sistemlər üçün belə idarəetmə funksiyası xidməti yaxşılaşdırır (tələblərin orta gözləmə müddəti azalır) və optimal idarəetmə funksiyasının forması təklif olunmuşdur. Amma bu istiqamətdə aparılan tədqiqatlarda ilk öncə elə sistemlərə baxılmalıdır ki, onlar üçün daxil edilən idarəetmə funksiyası xidməti yaxşılaşdıra bilsin. Belə şərtlər təklif olunmuşdur¹⁵ və idarəetmə funksiyasının daxil edilməsi üçün zəruri və kafi şərtlər tapılmışdır. Dissertasiyada daha mürəkkəb sistemlər üçün belə məsələlərə baxılmışdır və bəzi hallar üçün optimal rejimlər tapılmışdır.

Hərəkət edən hissəciklərin modelləri üçün digər mühüm problem hissəciklərin optimal sayını seçməkdir. Əgər hissəciklərin sayı artırsa, sistemdə tələblərin xidmətə qədər olan müddət təbii ki, azalır. Amma daha da artan hissəciklər sayəsində ehtimal ki, hissəciklərin sürətinin azalmasına gətirib çıxara bilər və belə hallarda tələblərin gözləmə müddəti arta bilər. Belə hallarda sistemdə müxtəlif hərəkət rejimləri yaranır və bu rejimlərdən optimal rejimin seçilməsi məsələsi ortaya çıxır. Hərəkətdə olan hissəciklərin bəzi riyazi modelləri qurulmuşdur¹⁶ və belə modellərdə

¹⁴ Беляев, Ю.К. Предельные теоремы для редущих потоков // – Москва: Теория вероятностей и ее применения, – 1963. т.8, №2, – с. 175-184.

Гаджиев А.Г., Мамедов Т.Ш. Циклические системы с задержкой обслуживания. // Доклады Академии Наук России, Математика, – 2009. т. 426, № 1, – с. 15-19.

¹⁵ Беляев, Ю.К. Предельные теоремы для редущих потоков // – Москва: Теория вероятностей и ее применения, – 1963. т.8, №2, – с. 175-184.

Беляев, Ю.К., Громак, Ю.И., Малышев, В.А. Об инвариантных случайных булевских полях // – Москва: Математические заметки, – 1969. т.6, № 5, – с. 555-566.

Хинчин, А.Я. О пуассоновских потоках случайных событий // – Москва: Теория вероятностей и ее применения, – 1956. т.1, №3, – с. 320-327.

¹⁶ Deb, R. K., Serfozo, R. F. Optimal control of batch service queues // – Cambridge: Advances in Applied Propability, – 1973. vol.5, No.02, – p. 340-361.
Deb, R. K., Schmidt, C. P. Optimal average cost policies for the two- terminal

yaranan hərəkət rejimləri tapılmışdır.

Real sistemləri təsvir edən adekvat riyazi modellərin qurulması mürəkkəb bir prosesdir və nəzəri araşdırmalar, eləcə də empirik müşahidələr tələb edir. Beləliklə, riyazi modellər praktikadan gəlir, nəzəri baxımdan formalaşır və empirik müşahidələrlə düzəldilir.

Kütləvi xidmət sistemlərinin araşdırılmasında empirik məlumatların toplanması mühüm rol oynayır ki, bu da öz növbəsində, riyazi modellərin qurulmasında və onların tədqiqində kömək edir.

Məsələn, Hudzon Körfəzində (ABŞ) tunellə bağlı empirik məlumatlar göstərir ki, şirkətlər yük tıxacları, uzun növbələr və s. kimi narahat edən faktlara görə yük və digər materialları çatdırarkən böyük miqdarda vəsait itirirlər. Buna görə də belə tipli riyazi modellərin qurulması və tədqiqi praktiki tətbiqlər üçün çox vacibdir və böyük nəqliyyat layihələrinin həyata keçməsində istifadə oluna bilər.

Cihazları hərəkətdə olan sistemlərdə müxtəlif idarəetmə növləri mövcuddur, lakin yuxarıda göstəriləni kimi seçilmiş effektiv göstəricilərdə nəzərəçarpan qazanc təmin edən və praktikada asanlıqla həyata keçirilə bilən nəzarət siyasəti yaratmaq lazımdır. Məsələn, avtobus sistemlərində həmişə planlaşdırılmış hərəkət qrafikləri var, amma əslində avtobuslar bir sıra yayınmalarla dayanacaqlara gəlirlər. Ona görə bu yayınmaların mənfi təsirlərini aradan qaldırmaq və hərəkəti optimallaşdırmaq üçün xüsusi idarəetmə funksiyaları daxil edilməlidir. Dissertasiyada bu məsələlərə də yer ayrılmışdır.

İlk olaraq kütləvi xidmət sistemlərində gecikdirmə funksiyaların daxil edilməsi Yu.Belyayev tərəfindən təklif olunmuşdu. Daha sonra sistemləri kompüterdə modelləşdirmə yolu ilə ədədi nəticələr alıb¹⁷, göstərilmişdir ki, bəzi sistemlərdə

shuttle // – Catonsville: Management Science, – 1987. vol.33, No.05, – p. 662-669.

¹⁷ Kaklauskas, L.A., Sakalauska, L.B. On network traffic statistical analysis // – Vilnius: Lithuanian Mathematical Journal, – 2008. vol.48, No.01, – p. 314-319.

Kerner, B.S., Klenov, S.L., Hiller, A.H. Criterion for traffic phases in single vehicle data and empirical test of a microscopic three-phase traffic theory // –

gecikdirmə funksiyası tələblərin orta gözləmə müddətini azaldır. Ədəbiyyatda düz xətt üzərində hərəkət edən hissəciklərin riyazi modelləri qurulmuşdur¹⁸ və analitik metodlarla gecikdirmə funksiyasını daxil etmək üçün zəruri və kafi şərtlər təklif olunmuşdur. Belə nəticələr daha mürəkkəb sistemlər üçün ümumiləşdirilmişdir¹⁹.

Riyazi model praktiki sistemlərin davranışını düzgün şəkildə təsvir edirsə, adətən tədqiqat daha mürəkkəbləşir və analitik yanaşmaların tətbiqi bəzi çətinliklərlə üzləşir. Belə modellərin effektiv araşdırılması üçün digər yanaşmalardan istifadə etmək və inkişaf etdirmək lazımdır. Məsələn, Monte Karlo, Markov Zəncirləri və Monte Karlo – [MCMC - Markov Chain and Monte Carlo CMC], intensiv hesablama statistikasına metodları və s. müasir İT (İnformasiya Texnologiyaları) imkanları, modelləşdirmə yanaşmaları burada istifadə oluna bilər. Bu metodların mürəkkəb kütləvi xidmət sistemlərinin araşdırılması üçün istifadəsi bu sistemlərdə praktiki baxımdan bəzi gözlənilməz, lakin maraqlı və əhəmiyyətli təsirləri aşkar etməyə imkan verir. Bu nəticələr analitik araşdırmanın uğurlu davam etdirilməsi üçün bir işarədir.

Daha mürəkkəb riyazi modellər müstəvi üzərində hərəkət edən

Harvard: Journal of Physics A: Mathematical and General, – 2006. vol.39, No.09, – p. 2001-2020.

¹⁸ Adan, I.S., Kok, T.G. Waiting time characteristics in cyclic queues // – Michigan: Probability in the Engineering and Informational Science, – 2004. vol.18, No.03, – p. 299-313.

Bacelli, F.A., Foss, S.P. Mathematical methods of stochastic network analysis // – Paris: French-Russian Institute for Applied Mathematics and Computer Science Transactions, – 2001. No.3, – p. 38-44.

Kerner, B.S., Klenov, S.L., A theory of traffic congestion on moving bottlenecks // – Harvard: Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical, – 2010. vol.43, No.10, – p. 425-435.

¹⁹ Афанасьева, Л.Г., Булинская, Е.В. Некоторые задачи для потоков взаимодействующих частиц // – Москва: Сборник, посвященный 70-летию ректора МГУ В.А.Садовниченко. Современные проблемы математики и механики, – 2009. т.2, №4, – с. 55-68.

Adan, I.S., Kok, T.G. Waiting time characteristics in cyclic queues // – Michigan: Probability in the Engineering and Informational Science, – 2004. vol.18, No.03, – p. 299-313.

hissəciklərin hərəkətinə baxıldıqda yaranır. Ədəbiyyatda Sinay bilyard topları deyilən riyazi modellər məlumdur²⁰. Bu modellərdə, bir hissəcik (bilyard topu) kvadrat formalı divarlar arasında hərəkət edir və kvadratların ortasında maneə vardı. Bir neçə zərbədən sonra hissəciyin hərəkəti xaotik olur və onun koordinatlarını praktiki olaraq hesablamaq mümkün deyil. Hətta hissəciyin hərəkətinin kompüterdə modelləşdirmə yolu ilə hesablamaq mümkün deyil. Bu onunla bağlıdır ki, bu modellərdə yaranan xaotik hərəkət çoxölçülü xarakter daşıyır və hissəciklərin hərəkəti müxtəlif təsadüfi istiqamətlərdə olduğundan onların araşdırılması olduqca mürəkkəbdir. Dairə üzərində hərəkət edən hissəciklərin riyazi modelləri birölçülüdür və belə modellər üçün bəzi analitik nəticələrin alınması mümkündür. Daha mürəkkəb modellər kompüterdə modelləşdirmə metodu ilə araşdırıla bilər. Bu istiqamətdə modelləşdirmə nəticəsində alınan ədədi nəticələrin statistik analizi tələb olunur.

Kompüterdə modelləşdirmə, hesablama statistikasının intensiv metodları və kütləvi xidmət sistemlərinin digər müasir İT metodları geniş araşdırma sahəsidir. Lakin alimlər ehtimalların simulyasiyası ilə bir çox ciddi problemlərlə, məsələn, nadir hadisələrin, tıxacların, müxtəlif avtomobil qəzalarının və s. üzləşirlər.

Bəzən modelləşdirmə nadir hadisələrin müşahidələrinin toplanmasına imkan verməyəcəkdir. Bunun səbəbi bəzən müşahidə etdikləri üçün uzun müddətli modelləşdirmə aparmaq lazımdır ki, bu da yüksək xərclər tələb edir və bundan da nə qədər vaxt lazım olduğunu təxmin etmək çətindir.

Yuxarıda qeyd edildiyi kimi hərəkət edən serverlərlə mürəkkəb sistemlərin araşdırılması üçün əsas vasitələrdən biri empirik və kompüterdə modelləşdirmə məlumatları və təhlilidir. Kompüterdə modelləşdirmə ilə sistemlərin müxtəlif xüsusiyyətlərinin ədədi nəticələrini əldə edə bilərik. Ancaq məzmunu zəngin olan qərarlar qəbul etmək üçün məlumatların statistik təhlili aparılmalıdır. Bu sahəyə müasir zamanda xüsusi

²⁰ Синай, Я.Г. Теория фазовых переходов: строгие результаты / Я.Г.Синай – Москва: Наука, – 1980. – 208 с.

diqqət verilir. Bu sahə elmi nöqtəyi-nəzərdən vacib olsa da, dissertasiyanın mövzusunə daxil deyil və dissertasiyada belə məsələlərə baxılmır. Müasir zamanda həlləri analitik metod və yollarla mümkün olmayan məsələlərin araşdırılmasında geniş olaraq kompüter metodları istifadə olunur. Analitik və kompüter metodlarının kompleks istifadəsi mürəkkəb strukturları olan sistemlər üçün öz müsbət rolunu elmi araşdırmalarda göstərir və effektiv qərarların alınmasına və praktiki tətbiqlərə dair müvafiq təkliflər verməyə imkan verir. Dissertasiyada belə yanaşmadan istifadə edilir və bu yanaşma mürəkkəb strukturlu sistemlərin analizi üçün istifadə olunur.

Bu istiqamətdə kompüter metod və yanaşmaları ilə bərabər stoxastik proseslərin müxtəlif bölmələrindən, məsələn, nöqtəvi təsadüfi proseslər nəzəriyyəsinin nəticələri və anlayışları, kütləvi xidmət sistemlərinin və digərlərinin nəticələrindən geniş istifadə olunur. Qeyd etmək lazımdır ki, müxtəlif təsadüfi stasionar axınlar, xüsusilə Puasson axınları, bərpa prosesləri və digər anlayışlar bu cür sistemlərin araşdırılmasında xüsusi rol oynayır, çünki təcrübə göstərir ki, bir çox praktiki məsələlərdə daxil olan tələblər axını stasionar Puasson axınına çox yaxındır. Belə araşdırmalar aparılmışdır²¹ və bu sahəyə bu gün də böyük maraq var.

Mürəkkəb strukturlu kütləvi xidmət sistemlərinin araşdırılmasında statistik məlumatların toplanması və onların təhlili mühüm bir problemdir.

Statistik məlumatlar analitik araşdırmaların hansı istiqamətdə aparılmasına kömək edərək bəzi nəticələrin alınmasına işarə edə bilər. Belə araşdırmalar²² aparılmışdır.

Cihazları hərəkətdə olan kütləvi xidmət sistemləri arasında çox terminallı sistemlər və hər terminalda ardıcıl xidmət göstərən bir

²¹ Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автодорожного транспорта. / А.П.Буслаев, А.В.Новиков, В.М.Приходько [и др.] – Москва: Мир, – 2003. – 368 с.

Швецов, В.И. Математическое моделирование транспортных потоков // – Москва: Автоматика и телемеханика, – 2003. № 11, – с. 3-46.

²² Кокс, Д.Р., Смит, В.Л. Теория восстановления / Д.Р.Кокс, В.Л.Смит – Москва: Советское радио, – 1967. – 299 с.

cihazı olan sistemlər xüsusi önəm daşıyır. Belə sistemlər limanlarda geniş istifadə olunur və müxtəlif müəlliflər tərəfindən araşdırılmışdır.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Cihazları (serverləri) hərəkətdə olan kütləvi xidmət sistemləri təsadüfi bir quruluşa malikdir, çünki sistemə daxil olan tələblər, xidmətin başlanğıc anları, xidmət müddəti təsadüfi proseslərdir. Beləliklə, ehtimal nəzəriyyəsinin, stoxastik proseslərin, riyazi statistikanın və riyaziyyatın digər sahələrinin üsulları və yanaşmaları kütləvi xidmət nəzəriyyəsinin inkişafına təkan verir və onların müxtəlif xüsusiyyətlərini hesablamağa, xidmətin müxtəlif disiplinlərini araşdırmağa və praktiki tətbiqlər üçün zəruri qərarlar və tövsiyələr verməyə imkan yaradır.

Bu istiqamətin dünya iqtisadiyyatının inkişafına önəmli təkan verdiyi üçün bir çox kitablar və məqalələr, hətta xüsusi jurnallar (*Queuing systems, Transportation Science, Transportation and Communication, Operation Research və d.*) dərc edilir. Kompüterlərin geniş istifadəsi bu sahənin inkişafına böyük təkan verərək analitik yollarla həlli müəyyən çətinliklərlə rastlaşan, hətta mümkün olmayan problemlərin həllinə kömək etdi. Hətta bu sahəni əhatə edən yeni jurnalların çap olunması başladı (*Journal of Simulation, Simulation Modelling Practice and Theory və s.*). Amma bunlara baxmayaraq, təəssüf ki, mürəkkəb strukturlu və cihazları (serverləri) hərəkətdə olan kütləvi xidmət sistemləri geniş araşdırılmayıb, xüsusən sistemlərin optimal hərəkəti və parametrlərinin hesablanması. Bu da onunla bağlıdır ki, bu sistemləri ifadə edən riyazi modellərin strukturu xeyli mürəkkəb olduğundan onların araşdırılması üçün yeni yanaşmaların və metodların inkişafına ehtiyac yaranır. Hətta bu istiqamətdə müasir zamanda riyaziyyatın digər sahələrinin sintezi nəticəsində yeni istiqamətlər yaranır. Məsələn, kompüter modelləşdirilməsi, kompüter statistikasi və digər sahələri qeyd etmək olar. Dissertasiyada, məhz, bu məsələlərə xüsusi diqqət yetirilir.

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar. Dissertasiyada:

- nəqliyyat sistemlərini (avtomobil, metro və d.), kommunikasiya və rabitə şəbəkələrini və ümumiyyətlə, cihazları

hərəkətdə olan kütləvi xidmət sistemlərini ifadə edən yeni riyazi modellər təklif olunur;

- cihazları hərəkətdə olan kütləvi xidmət sistemlərində yaranan müxtəlif vəziyyətlərin yaranma şərtləri təklif olunur;

- yaranan vəziyyətlərdən müxtəlif parametrlərə uyğun olaraq optimal vəziyyətin seçilməsi metodu təklif olunur;

- təklif olunan modellərin müxtəlif parametrlərinin (orta gözləmə müddəti, orta xidmət müddəti və d.) hesablanması üçün yeni yanaşma təklif olunur;

- müxtəlif sistemlər üçün orta gözləmə və xidmət müddətini minimumlaşdıran cihazların optimal sayının hesablanması göstərilir.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Cihazları hərəkətdə olan və mürəkkəb strukturlu kütləvi xidmət sistemlərinin riyazi modellərinin qurulması üçün riyaziyyatın müxtəlif sahələrinin nəticələrinin (ehtimal nəzəriyyəsi və riyazi statistika, stoxastik analiz və d.) istifadəsi tələb olunur.

Qurulan riyazi modellər yenidir və adekvat olaraq cihazları hərəkətdə olan və mürəkkəb strukturlu kütləvi xidmət sistemlərinin hərəkətini ifadə edir və müxtəlif parametrlərini hesablamağa imkan yaradır. Alınan nəticələr ədəbiyyatda olan bir çox nəticələrin davamı və ümümləşdirilməsi kimi də qəbul oluna bilər.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Dissertasiyada cihazları hərəkətdə olan və mürəkkəb strukturlu kütləvi xidmət sistemlərinin yeni riyazi modelləri qurulub. Təklif olunan riyazi modellərə əsasən adıçəkilən sistemlərdə cihazların optimal sayını və fəaliyyətini müəyyən etmək üçün yeni yanaşma təklif olunub. Bu modellər universal olduğundan müxtəlif sahələrdə – nəqliyyat sistemlərində, kommunikasiya şəbəkələrinin optimal quruluşunda, gəmiçilik və digər sahələrdə istifadə oluna bilər. Alınan nəticələr Springer nəşriyyatında²³ çap olunub, beynəlxalq konfranslarda müzakirə edilib və 2014-cü ildə Portuqaliyada

²³ Abdullayeva, N.A, Hacıyev, A.H., Hasratova, M.H. Mathematical Models of Moving Particals and Their Application for Traffic // Proceedings of the Eighth International Conference on Management Science and Engineering Management (Part of the Advances in Intelligent Systems and Computing book series (AISC, volume 280)), – Lisbon: – 25-27 July, – 2014, – p. 203-214.

keçirilən “The Eighth International Conference on Management Science and Engineering Management” konfransında Grand Prize mükafatına layiq görülüb.

Aprobasiya və tətbiqi. Dissertasiyanın nəticələri aşağıda göstərilən yerli və beynəlxalq konfranslarda aprobasiya olunub:

Sixth International Conference on Management Science and Engineering Management (2012), Islamabad, Pakistan;

Riyaziyyat və informatikanın aktual problemləri. Heydər Əliyevin anadan olmasının 90 illik yubileyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfrans (2013), Azərbaycan, Bakı;

Eighth International Conference on Management Science and Engineering Management (2014), Lisbon, Portugal;

Tenth International Conference on Management Science and Engineering Management (2016), Baku, Azerbaijan;

Eleventh International Conference on Management Science and Engineering Management (2017), Kanazawa, Japan;

XXXIII International Conference Problems of Decision Making under Uncertainties (2019), Hurgada, Egypt.

Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin “Əməliyyatlar tədqiqi və ehtimal nəzəriyyəsi”, “Optimallaşdırma və idarəetmə” və “İqtisadi kibernetika” kafedralarının genişləndirilmiş iclasında (2019) müzakirə edilmişdir.

Dissertasiyanın nəticələri nəqliyyat sistemlərində, nəqliyyat vasitələrinin optimal hərəkəti üçün tətbiq oluna bilər.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya işi Bakı Dövlət Universitetinin “Əməliyyatlar tədqiqi və ehtimal nəzəriyyəsi” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiya işinin strukturu. Dissertasiya işi girişdən, üç fəsildən və 76 ədəbiyyatdan ibarətdir. I fəslə 42 səhifə (83954 işarə), II fəslə 18 səhifə (35967 işarə), III fəslə isə 18 səhifə (35628 işarə) olmaqla dissertasiya işinin ümumi həcmi 107 səhifədir (213605 işarə).

Dissertasiya işinin xülasəsi. *Girişdə* dünya elmi ədəbiyyatında dissertasiya işinin mövzusuna yaxın olan araşdırmaların qısa xülasəsi verilir və bu istiqamətdə olan vacib məsələlər qeyd olunur. Eyni zamanda girişdə dissertasiya işində

alınan nəticələrin qısa xülasəsi də verilir.

Dissertasiyada hərəkətdə olan (sonsuz və sonlu həcmli) hissəciklərin riyazi modelləri qurulur və araşdırılır. Onların araşdırılması üçün ehtimal nəzəriyyəsi və stoxastik proseslər nəzəriyyəsinin metod və nəticələrindən geniş istifadə olunur.

Birinci fəsildə dairə üzərində hərəkət edən hissəciklərin riyazi modelləri təklif olunur və araşdırılır. Bu fəsildə təklif olunan modellər determinik xarakter daşıyır və bu modellərdə hissəciklərin hərəkətləri zamanında yaranan vəziyyətlər göstərilir. Müxtəlif sistemlərdə yarana bilən vəziyyətlərin tərifləri verilir. Bütün sistemlər üçün sıfır vəziyyəti anlayışı izah olunur və sıfır vəziyyətdən hərəkətə başlayan modellərdə yaranan vəziyyətlər təyin olunur. Göstərilir ki, burada göstərilən vəziyyətlərdən başqa digər vəziyyətlər yarana bilməz. Sadalanan hər bir vəziyyətin yaranması üçün zəruri və kafi şərtlər tapılır (Teoremlər 1.2.1; 1.2.2; 1.2.3). Determinik modellərdə yarana bilən vəziyyətləri ifadə etmək üçün xüsusi diaqram təklif olunur (Şəkil 1.2.3). Təklif olunan diaqrama uyğun olaraq sistemin giriş parametrləri daxil edildikdən sonra yaranmış vəziyyət göstərilir. Sistemlərin fəaliyyətini ifadə edən effektivlik indeksi kimi daxil olunmuş tələblərin orta gözləmə müddəti qəbul olunur. Bu indeks daxil olunmuş tələblərin toplam gözləmə müddətinin cəminin daxil olunmuş tələblərin sayına bölünməsi kimi təyin olunur və yaranmış vəziyyətləri müqayisə etmək imkanı yaradır. Effektivlik indeksi təsadüfi seçilmiş nöqtədə hissəciyin orta gözləmə müddətini ifadə edir. Daxil edilən effektivlik parametri (indeksi) ilə sıx bağlı olan sistemin orta sürəti də təyin olunur. Seçilmiş effektivlik parametrinə uyğun vəziyyətlər arasında müqayisə aparılır və ən uyğun (optimal) vəziyyət (effektivlik indeksinin minimum qiymətini alan vəziyyət) qeyd olunur. Bu fəsildə aşağıdakı teoremlər isbat edilmişdir:

Teorem 1.2.1. Verilmiş Q_1 və Q_2 üçün *sıfır vəziyyətdən* başlayaraq, *tsrl* hərəkət rejiminin mövcud olması üçün

$$1 - \min(Q_2 - Q_1, Q_1) < kQ_1 \leq 1$$

və ya ekvivalent forması

$$1 - \min[(Q_2 - 2Q_1) - Q_1] < kQ_1 \leq 1$$

şerti zəruri və kafidir və belə təyin olunan hissəciklərin sayı k yeganədir.

Teorem 1.2.2. Sıfır rejimindən hərəkətə başlayan sistemin ($tsr2$) hərəkət rejimində fəaliyyət göstərməsi üçün aşağıdakı şərt zəruri və kafidir:

$$1 < SQ_2 < 1 + (Q_2 - Q_1).$$

Hissəciklər arasında bütün məsafələr, birindən başqa, Q_2 -yə bərabər olmalıdır və onlardan yalnız biri üçün (məsələn, k -cı və birinci hissəcik arasında) olan məsafə aşağıdakı şərti ödəməlidir:

$$Q_1 < \rho_{k,t} < 2Q_1 < Q_2.$$

Teorem 1.2.3 Sistemin *Doymuş Sabit Rejimində hərəkəti* üçün aşağıdakı şərtlər zəruri və kafidir:

$$kQ_1 < 1 \text{ və } kQ_2 > 1.$$

Teorem 1.3.1. Əgər $\frac{Q_2}{v_2} < \frac{Q_1}{v_1}$ olarsa, onda (dsr) hərəkət rejimi optimal rejimdir, yəni aşağıdakı əlaqə doğrudur:

$$hgm_{dsr} < hgm_{tsr2} \leq hgm_{M(k,k)} < hgm_{tsr1}.$$

Teorem 1.3.2. Sistemin ($tsr1$) hərəkət rejiminə çatması üçün aşağıdakı şərtlər zəruri və kafidir:

$$\frac{1 - (Q_2 - Q_1)}{Q_1} < k \leq \frac{1}{Q_1}$$

və ya onun ekvivalent forması:

$$Q_1 \leq (1 - (k - 1)Q_1) < Q_2.$$

Teorem 1.3.3. Sistemin (*tsr2*) hərəkət rejiminə çatması üçün aşağıdakı şərtlərin ödənilməsi zəruri və kafidir:

$$\frac{1 - Q_1}{Q_2} < s < \frac{1 + (Q_2 - Q_1)}{Q_2}$$

və ya onun ekvivalent forması:

$$Q_1 < (1 - (s - 1)Q_2) < Q_2 + Q_1.$$

Teorem 1.3.4. Sistemin (*qsr*) $M(k_1, k_2)$ -də hərəkəti üçün verilmiş Q_1 və Q_2 qiymətləri ilə diaqrama uyğun k_1 və k_2 üçün aşağıdakı şərtlər zəruri və kafidir:

$$k_1 Q_1 + k_2 Q_2 \leq 1,$$

$$k_1 Q_1 + (k_2 + 1)Q_2 \geq 1,$$

$$1 - Q_2 \leq k_1 Q_1 + k_2 Q_2 \leq 1,$$

$$k_2 = \max\{s : (s - 1)Q_2 + Q_1\} < 1,$$

burada $k_1 = k - k_2$,

$$k_{tsr2} < k_{qsr} < k_{dsr} \text{ və } \varepsilon \rightarrow 0, k_{dsr} \rightarrow k_{tsr1}.$$

İkinci fəsildə hərəkətdə olan hissəciklərin daha geniş sinfinə baxılır və gecikmələr funksiyası daxil edilir. Daxil edilən gecikdirmələr sistemlərin xarakterini dəyişib stoxastik sistemlərə çevirir. Gecikmələr funksiyası hissəciyin yüksək sürətinin məcburi olaraq aşağı sürətə çevirməkdən ibarətdir. Belə gecikmələr hərəkətdə olan hissəciklərin dairə üzərində seçilmiş nöqtədə gözləmə vaxtını gecikdirdikdən “gecikdirmə funksiyası” adlandırılır. Daxil edilən gecikdirmələr praktiki məsələlərdə yarana bilən maneələri ifadə edir

(məsələn, nəqliyyat sistemlərində yolun keyfiyyəti yollarda yaranan gözlənilməz maneələr nəqliyyatın hərəkət sürətini azaldılmağa məcbur edir, kommunikasiya sistemlərində gözlənməyən şərtlər informasiyanın ötürülməsinin vaxtını gecikdirir və s.).

Stoxastik sistemlərdə yaranan vəziyyətlər tapılır və onların müqayisəsi aparılır. Göstərilir ki, stoxastik sistemlərdə (determinik sistemlərdən fərqli olaraq) müqayisələrin nəticələri fərqlidir. Əgər determinik sistemlərdə üstünlük yaranmış (*dsr*) hərəkət rejimi verilsə, stoxastik sistemlərdə belə vəziyyət də sistemin seçilmiş effektivlik indeksi böyük qiymətlər və orta sürəti aşağı qiymətlər aldığından belə vəziyyətlər praktiki məsələlərdə məsləhət deyil. Stoxastik sistemlərdə daxil olan tələblər axınının intensivliyinə uyğun olaraq optimal hərəkət rejimi tapılır (Teorem 2.1.1). Göstərilir ki, əgər determinik sistemlərdə optimal hərəkət rejimi (*dsr*)-dirsə, stoxastik modellər üçün bu rejim uyğun olmayan rejimdir və hətta belə vəziyyətə gəlmiş stoxastik model qısa zamanda ən uyğun olmayan (*tsr1*) hərəkət rejiminə keçir və bu hərəkət rejimindən digər rejimə heç vaxt dönmür (Teorem 2.1.2).

Teorem 2.1.1. Əgər sistemdə bir gecikmə baş verirsə, onda

- a) (*tsr2*) və (*qsr*) rejimləri invariant olaraq qalırlar;
- b) əgər

$$Q_1 < \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_k < Q_2$$

olarsa, onda (*dsr*) hərəkət rejimi (*tsr1*) hərəkət rejiminə keçir və daimi olaraq orada qalır;

- c) əgər

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_k > Q_2$$

olarsa, onda (*dsr*) hərəkət rejimi (*qsr*) hərəkət rejiminə keçir və daimi olaraq orada qalır.

Teorem 2.1.2. Aşağıdakı münasibətlər ödənilir (Əlavə şərt daxilində):

$$hgm_{dsr} \leq hgm_{tsr2} \leq hgm_{M(k_1, k_2)} \leq hgm_{tsr1}.$$

Teorem 2.2.1. Stoxastik sistemlər üçün aşağıdakı bərabərsizliklər doğrudur:

$$hgm_{(tsr2)} < hgm_{(qsr)} < hgm_{(dsr)} < hgm_{(tsr1)}.$$

Əgər doymuş rejimdə hissəciklər arasında olan məsafələri ifadə edən $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_k$ üçün

$$Q_1 < \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_k < Q_2$$

bərabərsizliyi doğrudursa, onda aşağıdakı münasibət ödənilir:

$$hgm_{(tsr2)} < hgm_{(qsr)} < hgm_{(dsr)} = hgm_{(tsr1)}.$$

Teorem 2.2.2. Fərz edək ki, sistemdə təsadüfi seçilmiş zamanlarda t_1, t_2, \dots, t_n gecikdirmələri baş verir. Eyni zamanda fərz edilir ki, t_1 stasionar bərpa prosesidir. Əgər

$$\lambda < \frac{Q_2 - Q_1}{V_2 - V_1}$$

olarsa, onda bütün rejimlər arasında yeganə invariant rejim $(tsr2)$ -dir.

Üçüncü fəsildə hərəkətdə olan hissəciklərin daha mürəkkəb riyazi modellərinə baxılır. Fərz edilir ki, hər bir hissəciyin sonlu sayda həcmi var, yəni hər bir hissəcik bir anda sayı m -dən çox olmayan tələbə xidmət edə bilər. Belə modellər nəqliyyatda (m nəqliyyat vasitəsinin həcmi kimi baxıla bilər, kommunikasiya sistemlərində qurğuların yaddaşı və d.), kommunikasiya və kompüter şəbəkələrində (kompüterin yaddaşı vahid zamanda qəbul edə biləcəyi informasiya) və digər sahələrdə istifadə olunur. Belə sistemlər mürəkkəb olduğundan onların araşdırılması kompüterdə modelləşdirmə yolu ilə aparılır. Dissertasiya işində modelləşdirmənin nəticələri verilir. Təbii ki, tələblərin intensivliyindən asılı olaraq orta gözləmə müddəti hissəciyin həcmindən asılıdır. Modelləşdirmə nəticəsində belə asılılıq

cədvəl formasında təklif olunur. (Cədvəl 3.4.1.). Bu fəsildə bir teorem isbat edilmişdir:

Teorem 3.2.1. Əgər sistemə daxil olan tələblər seli xidmət anlarından asılı deyilsə, onda stasionar sistemlər üçün aşağıdakı əlaqələr doğrudur:

$$A \rightarrow B$$

$$A \leftrightarrow C$$

$$C \rightarrow B.$$

Ədəbiyyat siyahısı 76 ədəbiyyatdan ibarətdir və dünya ədəbiyyatında dissertasiyanın mövzusunə uyğun məqalə və kitablara istinad olunur.

NƏTİCƏ

- Dissertasiyada dairə üzərində müxtəlif sürətlərlə hərəkət edən sonsuz həcmli hissəciklərin determenik və stoxastik riyazi modelləri qurulmuş və araşdırılmışdır;

- Determenik modellər üçün bu sistemlərdə yarana bilən stasionar vəziyyətlər tapılmışdır. Yarana bilən vəziyyətlərin tapılması belə sistemlərdə daxil olan tələblərin orta gözləmə müddətini və bununla sıx bağlı olan sistemin orta hərəkət sürətini hesablamağa və bu göstəricilərə uyğun olaraq müxtəlif sistemləri müqayisə etməyə imkan verir;

- Təklif olunmuş modellər üçün yaranan vəziyyətləri ifadə edən diaqram qurulmuşdur. Diaqrama uyğun olaraq sistemin parametrlərini daxil etdikdə sistemdə yaranan stasionar vəziyyətləri müəyyən etmək mümkün olur;

- Daha mürəkkəb (stoxastik) modellər sistemə gecikdirmələr daxil edildikdə yaranır. Daxil edilən gecikdirmələr nəqliyyat, kommunikasiya və digər praktiki sistemlərdə yaranan maneələri ifadə edir. Stoxastik sistemlərdə müxtəlif hərəkət vəziyyətlərində daxil olan tələblərin orta gözləmə müddətinin hesablama yolları göstərilir və ədədi misallar gətirilir;

- Sistemlərin effektiv hərəkəti üçün hissəciklərin optimal sayı müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdir ki, əgər determenik sistemlər

üçün tələblərin gözləmə müddətini minimumlaşdıran optimal vəziyyət doymuş vəziyyətdirsə, stoxastik sistemlər üçün bu doğru deyil və optimal vəziyyət (*tsr2*)-dir;

- Sonlu həcmli hərəkətdə olan hissəciklərin riyazi modelləri daha mürəkkəb xarakter daşıyır. Belə sistemlər üçün sonsuz həcmli modellər üçün nəticələr alınmışdır.

Dissertasiya işinin əsas nəticələri müəllifin aşağıdakı elmi əsərlərində nəşr olunmuşdur:

1. Abdullayeva, N.A. Lift sistemlərinin riyazi modelləri // Azərbaycan Respublikasının Dövlət Müstəqilliyinin Bərpaşının 20-ci ildönümünə həsr olunmuş “Riyaziyyatın tətbiqi problemləri” elmi konfransının materialları (XI), – Bakı: – May, – 2011, s. 9-12.
2. Hajiyev, A.H., Abdullayeva, N.A., Mammadov, T.S. Mathematical Models of Queues with Moving Servers: Simple Vertical Transportation Systems // Proseedings of the Sixth International Conference on Management Science and Engineering Management. Part of the Lecture Notes in Electrical Engineering book series (LNEE, volume 185), – Islamabad: – November, – 2012, – p. 529-547.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4471-4600-1_46
3. Абдуллаева, Н.А. Системы массового обслуживания с рекуррентным обслуживанием // Riyaziyyat və informatikanın aktual problemləri. Heydər Əliyevin anadan olmasının 90 illik yubileyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfransın tezisləri, – Bakı: – May, – 2013, – c. 242-243.
4. Abdullayeva, N.A., Hajiyev, A.H., Hasratova, M.H. Mathematical Models of Moving Particals and Their Application for Traffic // Proceedings of the Eighth International Conference on Management Science and Engineering Management (Part of the Advances in Intelligent Systems and Computing book series (AISC, volume 280)), – Lisbon: – 25-27 July, – 2014, – p. 203-214.

5. Hajiyev, A.H., Mammadov, T.S., Hasratova, M.H., Abdullayeva, N.A. Modeling of Stochastic Vertical Stationary Transportation Systems // Proceedings of the Tenth International Conference on Management Science and Engineering Management. Part of the Advances in Intelligent Systems and Computing book series (AISC, volume 502), – Baku: – September, – 2016, – p. 1271-1278.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-1837-4_104
6. Hajiyev, A.H., Abdullayeva, N.A. Optimization of Operating of the Systems with Recurrent Service by Delays // Proceedings of the Eleventh International Conference on Management Science and Engineering Management. Part of the Lecture Notes on Multidisciplinary Industrial Engineering book series (LNMUINEN), – Tokyo: – September, – 2017, – p. 858-867.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-59280-0_70
7. Abdullayeva, N.A. Dairə üzərində hərəkət edən hissəciklərin riyazi modelləri // – Bakı: AMEA-nın xəbərləri: fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, – 2018. XXXVIII cild, №6, s. 41-52.
www.icp.az/2018/6-05.pdf
8. Abdullayeva, N.A. Different rejims of motion of moving particles // XXXIII International Conference Problems of Decision Making under Uncertainties (PDMU-2019), – Hurgada: – January, – 2019, – p. 10.
9. Abdullayeva, N.A. On ergodic distribution a cyclical inventory-queuing model with delay // – Bakı: Journal of Contemporary Applied Mathematics, – 2019. vol. 9, No1, – s.3-9.
<http://journalcam.com/wp-content/uploads/2019/05/1.pdf>
10. Abdullayeva, N.A. Stochastic models of moving particles and their application // – Bakı: Məruzələr, – 2019. LXXV cild, №1, – s.29-33.

Dissertasiyanın müdafiəsi “30” iyun 2021-ci il tarixində saat 14⁰⁰-da Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası İdarəetmə Sistemləri İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.19–Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1141, Bakı şəhəri, B. Vahabzadə küçəsi, 68.

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

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

Avtoreferat “27” may 2021-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 19.05.2021

Kağızın formatı: A5

Həcm: 36299

Tiraj: 100