

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.15/31.08.2022.T.73.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH
ASOSIDA BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI

KAMALETDINOV SHOXRUX SHUXRATOVICH

**TEMIR YO‘L TRANSPORTI TEZKOR BOSHQARISH TIZIMLARINING
AXBOROT-TAHLILY JARAYONLARINI RAQAMLASHTIRISH**

05.08.03 – Temir yo‘l transportini ishlatish

**TEXNIKA FANLARI DOKTORI (DSc)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2024

Doktorlik (DSc) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации

Content of the abstract Doctoral (DSc) Dissertation

Kamaletdinov Shoxrux Shuxratovich

Temir yo‘l transporti tezkor boshqarish tizimlarining axborot-tahliliy jarayonlarini aqamlashtirish..... 3

Камалетдинов Шохрух Шухратович

Цифровизация информационно-аналитических процессов систем оперативного управления перевозками железнодорожного транспорта..... 29

Kamaletdinov Shokhrux Shukhratovich

Digitalization of information and analytical processes of operative management systems of railway transport..... 55

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ
List of published works 59

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.15/31.08.2022.T.73.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH
ASOSIDA BIR MARTALIK ILMIY KENGASH**

TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI

KAMALETDINOV SHOXRUX SHUXRATOVICH

**TEMIR YO‘L TRANSPORTI TEZKOR BOSHQARISH TIZIMLARINING
AXBOROT-TAHLILY JARAYONLARINI RAQAMLASHTIRISH**

05.08.03 – Temir yo‘l transportini ishlatish

**TEXNIKA FANLARI DOKTORI (DSc)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2024

Fan doktori (DSc) dissertatsiyasining mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovasiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.3.DSc/T682 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Doktorlik dissertatsiyasi Toshkent davlat transport universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.tstu.uz) va «Ziyonet» Axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy maslahatchi:

Aripov Nazirjan Mukaramovich
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Nurmuxamedov Tolaniddin Ramziddinovich
texnika fanlari doktori, professor

Muxametjanova Ayjan Vesmovna
texnika fanlari doktori, professor

Raxmangulov Aleksandr Nelyevich
texnika fanlari doktori, dotsent

Yetakchi tashkilot:

**Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat
texnika universiteti**

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat transport universiteti huzuridagi PhD.15/31.08.2022.T.73.01 raqamli Ilmiy kengash asosidagi bir martalik Ilmiy kengashning 2024-yil 24-oktabr soat 15⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. Manzil: 100167, Toshkent sh., Temiryo'lichilar ko'chasi, 1-uy. Tel.: (99871) 299-00-01; faks: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz.

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat transport universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (186- raqami bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 100167, Toshkent sh., Temiryo'lichilar ko'chasi, 1-uy. Tel.: (99871) 299-05-66.

Dissertatsiya avtoreferati 2024-yil 11-oktabr kuni tarqatildi.

(2024-yil 10-oktabrdagi 49-raqamli reyestr bayonnomasi).



J.F. Kurbanov
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash raisi,
t.f.d. (DSc), professor

Sh.M. Suyunbayev
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash ilmiy kotibi,
t.f.d. (DSc), professor

D.X. Baratov
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi,
t.f.d. (DSc), professor

KIRISH (doktorlik (DSc) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyoda raqamli texnologiyalardan foydalangan holda temir yo‘l transportini boshqarish tizimlarini rivojlantirishga alohida e‘tibor berilmoqda. Jahon miqyosida, “... raqamli temir yo‘l bozori 2027-yilda o‘rtacha 9,9% yillik o‘sish sur‘ati bilan 77,2 milliard dollarga yetishini...”¹ e‘tiborga olib, ushbu tendensiya tashishlarni boshqarish bo‘yicha yanada samarali va tejamkor yechimlarga talab ortib borayotgani bilan izohlanadi, bu esa samarali transport tizimini shakllantirish uchun tezkor boshqaruv jarayonlarini raqamlashtirish zaruratini keltirib chiqaradi. Shu munosabat bilan tashishlarni tezkor boshqarish va optimal rejalashtirish uchun harakatlanuvchi tarkibni avtomatik monitoringini rivojlantirish, tashish jarayoni ma‘lumotlarini yig‘ishda zamonaviy texnik vositalardan foydalanish texnologiyalarini ishlab chiqish, shuningdek, boshqaruv qarorlarini qabul qilish maqsadida ma‘lumotlarni qayta ishlash texnologik jarayonining matematik modellarini ishlab chiqish masalalariga alohida e‘tibor qaratilmoqda.

Jahonda tashishlarni tashkil etish tizimlarini raqamlashtirishga, zamonaviy texnologiyalar asosida qaror qabul qilishni qo‘llab-quvvatlash tizimlarini rivojlantirishga, harakatlanuvchi tarkib parkini boshqarish tizimlarini va tashish jarayonlarini rejalashtirish tizimlarini takomillashtirishga, qaratilgan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Ushbu yo‘nalishda ustuvor hisoblangan qator tadqiqotlarni, jumladan, ilm-fan yutuqlaridan foydalangan holda simsiz texnologiyalarni qo‘llash orqali tashishlarni tezkor boshqarish jarayonlarini raqamlashtirish

bo‘yicha bir qator tadqiqotlarni o‘tkazish zarur. Shu bilan birga, tashishlarni tezkor boshqarish uchun asos bo‘lib xizmat qiluvchi harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni avtomatik monitoring qilish tizimining texnik va funksional ta‘minoti yechimlarini ishlab chiqish dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi.

Respublikada temir yo‘l transportida tashishni boshqarish jarayonlarini raqamlashtirish, shuningdek, mahalliy ishlarni rejalashtirishni tashkil etishning ilmiy asoslangan usullarini rivojlantirish bo‘yicha keng ko‘lamli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda va bu borada muayyan natijalarga erishilmoqda. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 10-oktyabrdagi “O‘zbekiston Respublikasi temir yo‘l transporti sohasini tubdan isloh qilish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-329-sonli qarorida, jumladan, “biznes jarayonlarini raqamlashtirish..., boshqaruvning zamonaviy usullarini joriy etish..., temir yo‘l sohasini transformatsiya qilish va raqamlashtirish ishlarini jadallashtirish, xizmatlar ko‘rsatish jarayonining uzluksizligi, sifatligi, xavfsizligi, barqarorligi va ishonchliligini ta‘minlash...”² bo‘yicha muhim maqsadlar belgilab berilgan. Ushbu maqsadlarga erishishda zamonaviy texnologiyalar asosida tashish jarayoni ma‘lumotlarini yig‘ish va qayta ishlash usullarini rivojlantirish hamda tashish jarayonini monitoring qilishning avtomatik tizimini yaratish bo‘yicha ilmiy asoslangan yechimlarni ishlab chiqish zarur vazifalardan biri sifatida qaralmoqda.

¹ <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/digital-railway-global-market-report>

² <https://lex.uz/uz/docs/-6631602>

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi “2022 – 2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi PF-60-sonli Farmoni, 2019-yil 22-avgustdagi “Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohaning energiya samaradorligini oshirish, energiya tejavchi texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-4422-sonli, 2020-yil 10-iyuldagi “Iqtisodiyotning energiya samaradorligini oshirish va mavjud resurslarni jalb etish orqali iqtisodiyot tarmoqlarining yoqilg‘i-energetika mahsulotlariga qaramligini kamaytirishga doir qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi PQ-4779-sonli, 2020-yil 28-apreldagi “Raqamli iqtisodiyot va elektron hukumatni keng joriy etish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-4699-sonli qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga dissertatsiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot Respublika fan va texnikasini rivojlantirishning IV “Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish ” ustuvor yo‘nalishiga muvofiq amalga oshirildi.

Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha xorijiy ilmiy tadqiqotlar sharhi³. Temir yo‘l transportida tashishlarni tashkil etish va boshqarishga qaratilgan nazariy va amaliy tadqiqotlar qator mamlakatlarning yetakchi ilmiy markazlari, universitet va ilmiy-tadqiqot institutlarida, jumladan: Illinoys da Urbana-Champaign (AQSh), Massachusetts Institute of Technology (AQSh), University of Melbourne (Avstraliya), Delft University of Technology (Niderlandiya), Beijing Jiaotong University (Xitoy), University of Tokyo (Yaponiya), Swiss Federal Institute of Technology Zurich (Shveytsariya), Tsinghua University (Xitoy), Rossiya transport universiteti (Rossiya), Peterburg davlat temir yo‘l universiteti (Rossiya), Technical University of Munich (Germaniya) va boshqalarda keng ko‘lamda olib borilmoqda.

Jahonda temir yo‘l transportida tashishlarni boshqarish jarayonlarini raqamlashtirish bo‘yicha olib borilayotgan tadqiqotlar natijasida bir qator ilmiy natijalarga erishilgan. Xususan transportni boshqarish uchun yagona raqamli infratuzilma yaratilgan (Yevropa Ittifoqi), intellektual temir yo‘llar tarmog‘i joriy etilgan (Xitoy), harakatlanuvchi tarkibni kuzatish va transportni boshqarish jarayonlari kechikishlarni kamaytirish uchun avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari ishlab chiqilgan (Rossiya, AQSh), hamda tashish jarayonlarida xavfsizlik va samaradorlikni ta‘minlash uchun sun‘iy intellekt tatbiq etilgan (Yaponiya).

Jahonda tashishlarni tezkor boshqarish jarayonlarini raqamlashtirish bo‘yicha quyidagi yo‘nalishlarda tadqiqotlar olib borilmoqda: poyezdlar harakati, infratuzilma holati va yuk oqimlari to‘g‘risidagi ma‘lumotlarni yig‘ish, saqlash va tahlil qilish uchun markazlashtirilgan platformalarni yaratish, poyezdlar harakati

³ Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha xorijiy ilmiy-tadqiqotlar sharhi <https://illinois.edu/>, <https://www.mit.edu/>, <https://www.unimelb.edu.au/>, <https://www.tudelft.nl/en/>, <http://en.njtu.edu.cn/>, <https://ethz.ch/en.html>, <https://www.utokyo.ac.jp/en/>, <https://www.tsinghua.edu.cn/en/>, <https://www.pgups.ru/>, <https://www.tum.de/en/> va boshqa manbalar asosida ishlab chiqilgan.

grafigini optimallashtirish, harakatni bashorat qilish, yuklarni boshqarish va real vaqt rejimida muammoli vaziyatlarni hal qilish uchun sun'iy intellektdan foydalanish, tashish jarayonlari to'g'risida doimiy monitoring va ma'lumotlarni yig'ish uchun temir yo'llar, vagonlar va signalizatsiya tizimlarida simsiz tarmoqlar datchiklari va qurilmalarini joriy etish, temir yo'l tizimlarini kiberhujumlardan himoya qilish va muhim ma'lumotlar kiberxavfsizligini kuchaytirish.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Temir yo'lda tashish jarayonlarini tezkor boshqarishni takomillashtirish nazariyasini ishlab chiqish bo'yicha jahondagi yirik tadqiqotchilar, jumladan, V.S. Klimanov, G.M. Groshev, L.P. Tulupov, B. Del Rio, B.A. Zavyalov, V.A. Buyanov, E.M. Tishkin, I.V. Xarlanovich, V.V. Sapozhnikov, V.M. Lisenkova, Yu.S. Xandqorova, N.D. Slobodyanyuk, E.A. Sotnikov, S.Yu. Eliseeva, A.C. Gershvald, E.S. Poddavashkina, A.N. Raxmangulov, Yu.V. Kupriyanovskaya, K. Boeckl, Shi-Van Lin, Mark Krouford, Stiven Mellor, S. Karmalkar, X. Patil, Sh. Patel, D. Pund, B. Quazi, Y. Ding, M. Jin, S. Li, D. Feng va boshqalar tomonidan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilgan.

O'zbekiston Respublikasida bir qator olimlar yuk poyezdlari harakatini tashkil etish, uchastkalarda vagonlar oqimini tashkil etishda tezkor rejalashtirish, tashishlarni boshqarishda temir yo'l avtomatika va telemexanikasining zamonaviy qurilmalarini rivojlantirish, tashish jarayonlarini avtomatlashtirish hisobiga temir yo'l transportini ishlatish ko'rsatkichlarini yaxshilashga qaratilgan tadqiqotlar olib borgan. Jumladan, R.Z. Nurmuhamedov, K.T. Xudayberganov, N.M. Aripov, M.X. Rasulov, T.R. Nurmuhamedov, J.F. Kurbanov, Sh.M. Suyunbayev, M.N. Masharipov, S.K. Xudayberganov, U.N. Ibragimov, A.A. Svetashev, D.B. Butunov, Sh.X. Bo'riev, S.A. Abduqodirov va boshqalar bu sohada turli yillarda o'z tadqiqotlari asosida ijobiy natijalarga erishganlar.

Ushbu sohada yuqori ko'rsatkichlarga erishilgan bo'lsada, zamonaviy ma'lumotlar uzatish tarmog'iga asoslangan tashishlarni tezkor boshqarish jarayonlarini raqamlashtirish texnologiyasi, shu jumladan harakatlanuvchi tarkibni avtomatik monitoring qilish tizimlarini ishlab chiqish texnologiyasi, tashishni boshqarish bo'yich qaror qabul qilishda foydalaniladigan ma'lumotlar sifatini baholash usullari yetarli darajada o'rganilmagan. Mazkur dissertatsiya ishida tashishlarni tezkor boshqarish tizimlarini takomillashtirish uchun uzoq masofalarda ishlovchi simsiz tarmoqlardan foydalanish, tashishlarni tezkor boshqarishni axborot bilan ta'minlashning yangi yondashuvi, smenali-sutkalik va joriy rejalashtirish jarayonlarini raqamlashtirish asosida mahalliy ishlarni boshqarish texnologiyasini takomillashtirish, yuklashni avtomatlashtirilgan rejalashtirishning imitatsion modelini ishlab chiqish, axborot-tahlil jarayonlarida simsiz texnologiyalarni qo'llash samaradorligini asoslash uchun ma'lumotlar sifatini baholashning imitatsion modelini ishlab chiqish, axborot-tahlil jarayonlarini raqamlashtirishni inobatga olib mahalliy ishlarni rejalashtirish faktor-grafi o'zgaruvchilari konfiguratsiyasini aniqlashning matematik modelini ishlab chiqish yechimlari taklif etilgan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalarini bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti natijalari Toshkent davlat transport universitetining ilmiy tadqiqot ishlari

rejasiga kiritilgan IL-5321091554-sonli “Innovatsion konteyner platformasidan foydalangan holda, kengaytirilgan qatorda intermodal yuklarni yuklash muammosini hal qilish, shuningdek. yangi texnik va texnologik yechimlar” (2022-y.) mavzusidagi davlat granti hamda 6/23-sonli “Guliston shahrining transport va yo‘l-transport infratuzilmasini rivojlantirish Bosh rejasini ishlab chiqish” (2023-y.) mavzusidagi xo‘jalik shartnoma doirasida bajarilgan.

Tadqiqot maqsadi temir yo‘l transportida tashishlarni tezkor boshqarishning axborot-tahliliy jarayonlarini raqamlashtirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

temir yo‘l transportida tezkor boshqarish tizimlarining hozirgi holati va takomillashtirish masalalarini o‘rganish;

temir yo‘l transportining o‘ziga xos xususiyatlarini hisobga olgan holda tashishlarni tezkor boshqarish tizimlarini takomillashtirish uchun uzoq masofalarda ishlovchi simsiz tarmoqlarni qo‘llash doirasini asoslash;

tashishlarni tezkor boshqarishni axborot bilan ta‘minlashning ta‘minlashning ma‘lumotlarni real vaqt rejimida qayta ishlash imkonini beruvchi raqamlashtirilgan yondashuvini ishlab chiqish va dinamik tuzilmali ma‘lumotlar bazasini loyihalash;

smenali-sutkalik va joriy rejalashtirish jarayonlarini raqamlashtirish asosida mahalliy ishlarni boshqarish texnologiyasini takomillashtirish;

optimal tavsiflarga ega bo‘lgan tashish resursini tanlashning parallel jarayonlarini hisobga olgan holda yuklashni avtomatlashtirilgan rejalashtirishning imitatsion modelini ishlab chiqish;

harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni monitoringi uchun uzoq masofalarda ishlovchi simsiz texnologiyaning infratuzilmasini yaratish bo‘yicha amaliy yechimlarni ishlab chiqish;

ma‘lumotlarning manbalardan mustaqil ravishda uzatilishini hisobga olgan holda simsiz texnologiyalarni qo‘llash samaradorligini asoslash uchun ma‘lumotlar sifatini baholashning imitatsion modelini ishlab chiqish;

axborot-tahliliy jarayonlarni raqamlashtirishni inobatga olib mahalliy ishlarni rejalashtirishning matematik modelini ishlab chiqish;

harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni avtomatik monitoring qilish tizimini ishlab chiqish talablarini aniqlash, shuningdek dasturiy ta‘minot ko‘rinishidagi instrumental vositalarni ishlab chiqish.

Tadqiqot obyekti sifatida temir yo‘l transportida tashishlarning tezkor boshqarish tizimlari olingan.

Tadqiqot predmeti sifatida tashishlarni tezkor boshqarishning axborot-tahliliy jarayonlari olingan.

Tadqiqot usullari. Tadqiqotda tizimli tahlil, matematik va imitatsion modellashtirish, usullari, algoritmlar, graflar va ehtimollar nazariyasidan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi:

temir yo‘l transportining o‘ziga xos xususiyatlarini hisobga olgan holda qiyosiy tahlil usullari orqali tashishlarni tezkor boshqarish tizimlarini takomillashtirish uchun uzoq masofalarda ishlovchi simsiz tarmoqlarni qo‘llash doirasi asoslangan;

harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni avtomatik monitoring qilish tizimi asosida simsiz tarmoq texnologiyasidan foydalangan holda tashishlarni tezkor boshqarishni axborot bilan ta'minlashning ma'lumotlarni real vaqt rejimida qayta ishlash imkonini beruvchi raqamlashtirilgan yondashuvi ishlab chiqilgan;

vagon modeli va yuklash arizalari ma'lumotlari bilan avtomatik ta'minlashni hisobga olgan holda smenali-sutkalik va joriy rejalashtirish jarayonlarini raqamlashtirish asosida mahalliy ishlarni boshqarish texnologiyasi bo'sh va yukli vagonlar balansini bevosita monitoring qilish orqali takomillashtirilgan;

optimal tavsiflarga ega bo'lgan tashish resursini tanlashning parallel jarayonlarini hisobga olib, Petri tarmog'i va Floyd-Uorshel algoritmi asosida yuklashni avtomatlashtirilgan tarzda rejalashtirishning imitatsion modeli HPSim simulyatori va Java daturlash tilidan foydalangan holda ishlab chiqilgan;

axborot-tahliliy jarayonlarda simsiz texnologiyalarni qo'llash samaradorligini asoslash uchun Bayes tarmog'i usulidan foydalanish orqali ma'lumotlar sifatini baholashning imitatsion modeli GeNie simulyatorida harakatlanuvchi tarkiblar haqidagi ma'lumotlarni uzatish texnologik jarayonlarining to'g'ridan-to'g'ri bog'lanishini ta'minlagan holda ishlab chiqilgan;

vagon modeli va yuk jo'natish arizalarini o'zaro muvofiqlashtirishning axborot-tahliliy jarayonlarni raqamlashtirish talablarini inobatga olib maksimal ishonchlilik algoritmi asosida mahalliy ishlarni rejalashtirish faktor-grafi o'zgaruvchilari konfiguratsiyasini aniqlashning matematik modeli ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni avtomatik monitoring qilish tizimi uchun moslashuvchan shakldagi axborot taqdim etishni hisobga olgan holda dinamik tuzilmali ma'lumotlar bazasi loyihalangan;

eksperimental tadqiqotlar asosida harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni monitoringi uchun uzoq masofalarda ishlaydigan simsiz texnologiyaning infratuzilmasini yaratish bo'yicha amaliy yechimlar ishlab chiqilgan;

texnik qurilmalarni o'rnatish, tizimning tuzilmasi va ma'lumotlar oqimiga o'rnatilgan tavsiyalarni hisobga olgan holda harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni avtomatik monitoring qilish tizimini loyihalash talablari aniqlangan;

vagonlarning joylashuvi va holatini (bo'sh/yukli) monitoringi uchun mo'ljallangan algoritmlar va dasturiy majmua ko'rinishidagi instrumental vositalar ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi nazariy asoslangan konsepsiyalar natijalarining kerakli darajada yaqinligi, harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni avtomatik nazorat qilish tizimi (HTKANT) chiqish ma'lumotlari sifatini baholash matematik modellari natijalarining tajriba ma'lumotlari bilan muvofiqligi, tadqiqot doirasida ishlab chiqilgan taklif va tavsiyalarning amaliyotga joriy qilinganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati tashishlarni tezkor boshqarishning axborot-tahliliy jarayonlarini raqamlashtirish uchun ilmiy-nazariy asoslar, modellar va algoritmlar olinganligi bilan izohlangan, ularning qo'llanilishi boshqaruv qarorlarining sifatini oshiradi va

jarayonlarni avtomatik rejimda bajarish orqali harakatlanuvchi tarkibni ishlatish samaradorligini oshirish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati vagonlarning harakatini va holatini real vaqt rejimida kuzatish, shu orqali vagonlar parkini boshqarish samaradorligini oshirish imkonini beruvchi vagonlarni avtomatik nazorat qiluvchi dasturiy modul ishlab chiqilganligi bilan izohlangan. Optimal yuklash resurslarini topish uchun dasturiy ta'minot transportning smena-sutkalik rejalashtirish jarayonlarini takomillashtirishga hamda ishlab chiqilgan ma'lumotlar bazasi harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni avtomatik nazorat qilish tizimini tadqiq etish uchun asos bo'lib xizmat qilgan.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Temir yo'l transporti tezkor boshqarish tizimlarining axborot-tahliliy jarayonlarini raqamlashtirish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni avtomatik nazorat qilish tizimini qo'llash orqali tashishlarni tezkor boshqarishni axborot bilan ta'minlashning ma'lumotlarni real vaqt rejimida qayta ishlash imkonini beruvchi raqamlashtirilgan yondashuvi asosidagi texnologiya "O'zbekiston temir yo'llari" AJning Raqamlashtirish boshqarmasiga joriy etilgan ("O'zbekiston temir yo'llari" AJning 2023-yil 1-noyabrdagi 07/3573-23-sonli ma'lumotnomasi). Natijada transport jarayonida harakatlanuvchi tarkib va konteynerlardan maqbul foydalanish va tashishlarni yanada samaraliroq boshqarish imkoniyati paydo bo'lgan;

vagonlarni yuklash va tushirishni smenali-sutkalik va joriy rejalashtirishning avtomatlashtirilgan texnologiyasini o'z ichiga olgan, vagon modeli va yuk ortish buyurtmalari to'g'risidagi ma'lumotlarni avtomatik ta'minlashni hisobga oluvchi mahalliy ishlarni boshqarishning takomillashtirilgan texnologiyasi "O'zbekiston temir yo'llari" AJ Marketing va logistika boshqarmasiga joriy etilgan ("O'zbekiston temir yo'llari" AJning 2023-yil 1-noyabrdagi 07/3573-23-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, mahalliy ish rejasining sifatini yaxshilash orqali yuk tashish uchun vagonlarni yanada samarali taqsimlash, tushirish uchun vagonlarni yetkazib berish va manyovr lokomotivlari ishini tashkil etish imkoniyati yaratildi.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 15 ta ilmiy-amaliy anjumanlar, shu jumladan 6 ta Scopus bazasidagi ilmiy anjumanda, 3 ta xalqaro va 6 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida aprobatsiyadan o'tgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 37 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan 3 ta xorijiy va 13 ta respublika ilmiy jurnallarida nashr etilgan, shunigdek 5 ta EHM uchun dasturlar va ma'lumotlar bazasiga guvohnoma olingan.

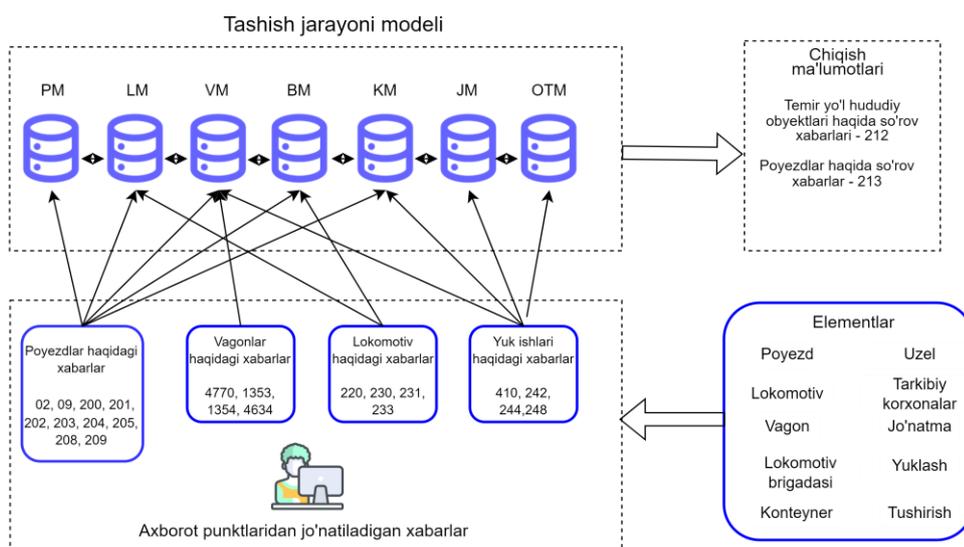
Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiyaning tuzilishi kirish, beshta bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Dissertatsiya hajmi 192 betdan iborat.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida ilmiy ishning dolzarbligi va zarurligi, tadqiqot maqsadi va vazifalari shakllantirilib, tadqiqot obyekti va predmeti tavsifi keltirilgan, tadqiqotning respublika fan va texnologiyalar rivojining ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi ko‘rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon etilib, uning ishonchliligi, nazariy va amaliy ahamiyati asoslangan, olingan natijalarning ishonchliligi asoslangan, nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, ilmiy tadqiqot natijalarining ishlab chiqarishga joriy etilganligi haqidagi dalolatnomlar, chop etilgan ilmiy ishlar va Dissertatsiya tuzilishiga oid ma‘lumotlar berilgan.

Dissertatsiyaning **“Temir yo‘l transportida tezkor boshqarish tizimlarini takomillashtirishning hozirgi holati va istiqbollari”** deb nomlangan birinchi bobida temir yo‘l transportida tashishni tezkor boshqarish tizimlarining rivojlanishi va hozirgi holati tadqiq va tahlil etilgan.

O‘zbekiston temir yo‘llarida mavjud tashishlarni tezkor boshqarishning avtomatlashtirilgan tizimi (TTBAT) tahlilidan uning tezkorligini va samaradorligini cheklaydigan muhim kamchiliklar aniqlangan (1-rasm). Ushbu kamchiliklarga cheklangan integratsiya imkoniyati, real vaqt oralig‘idagi nazoratning sustligi, murakkab moslashuvchanlik va inson omiliga bog‘liqlik kiradi.



1-rasm. TTBAT tashish jarayoni modeli

Ushbu kamchiliklarni bartaraf etish va tizimni takomillashtirish maqsadida tashishni tezkor boshqarish jarayonlarini raqamlashtirish taklif etilgan.

Simsiz texnologiyalaridan foydalangan holda temir yo‘l transportida tashishlarni tezkor boshqarish jarayonlarini raqamlashtirish ushbu sohani takomillashtirishdagi muhim qadamdir. Umuman olganda, temir yo‘l transportida tashishlarni tezkor boshqarish tizimlarida ma‘lumotlarni uzatishda simsiz texnologiyalaridan foydalanish tashish samaradorligi va xavfsizligini sezilarli darajada yaxshilaydi, shuningdek temir yo‘l transportidan foydalanish xarajatlarini kamaytiradi.

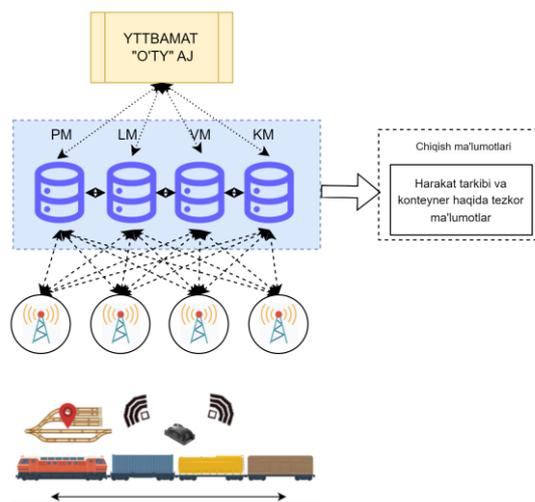
Tashishlarni tezkor boshqarishda simsiz texnologiyalarni joriy etish tashish jarayonining yangi darajadagi axborot modelini yaratishga qaratilgan. Ushbu bobda simsiz tarmoq asosida tashish jarayonining axborot modelini takomillashtirish yo‘nalishlari belgilangan.

Dissertatsiyada turli xil simsiz texnologiyalar tahlil qilingan va uning natijasida O‘zbekiston temir yo‘llarida harakatlanuvchi tarkiblarni nazorat qilish uchun LoRaWAN simsiz aloqa protokoli asosidagi tarmog‘ini qo‘llash samaradorligi asoslangan. LoRaWANning optimal tanlov bo‘lishining bir nechta asosiy sabablari bor: yuboriladigan xabarlar soniga cheklovlarning yo‘qligi; aloqa diapazonining kengligi; foydalanish diapazoni uchun litsenziya talab etmasligi; iqtisodiy samaradorligi. Shunday qilib, LoRaWAN “O‘zbekiston temir yo‘llari” AJda vagonlarni kuzatish va nazorat qilish uchun eng yaxshi tanlov hisoblanadi. Ushbu texnologiya ma’lumotlarning ishonchli va samarali uzatilishini ta’minlash uchun barcha zarur xususiyatlarga ega, bu esa harakatni tezkor boshqarishni yaxshilashga yordam beradi.

Tashish jarayonining axborot modelini takomillashtirish chora-tadbirlarini amalga oshirishda tashishlarni tezkor boshqarish uchun yuqori sifatli ma’lumotlarni taqdim etadigan harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni avtomatik nazorat qilish tizimini ishlab chiqish maqsadga muvofiqdir.

Dissertatsiyaning ikkinchi **“Harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni avtomatik nazorat qilish tizimining ishlashini tadqiq etish”** bobida joriy etish taklif etilayotgan harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni avtomatik nazorat qilish tizimining tizimli tahlili o‘tkazilgan.

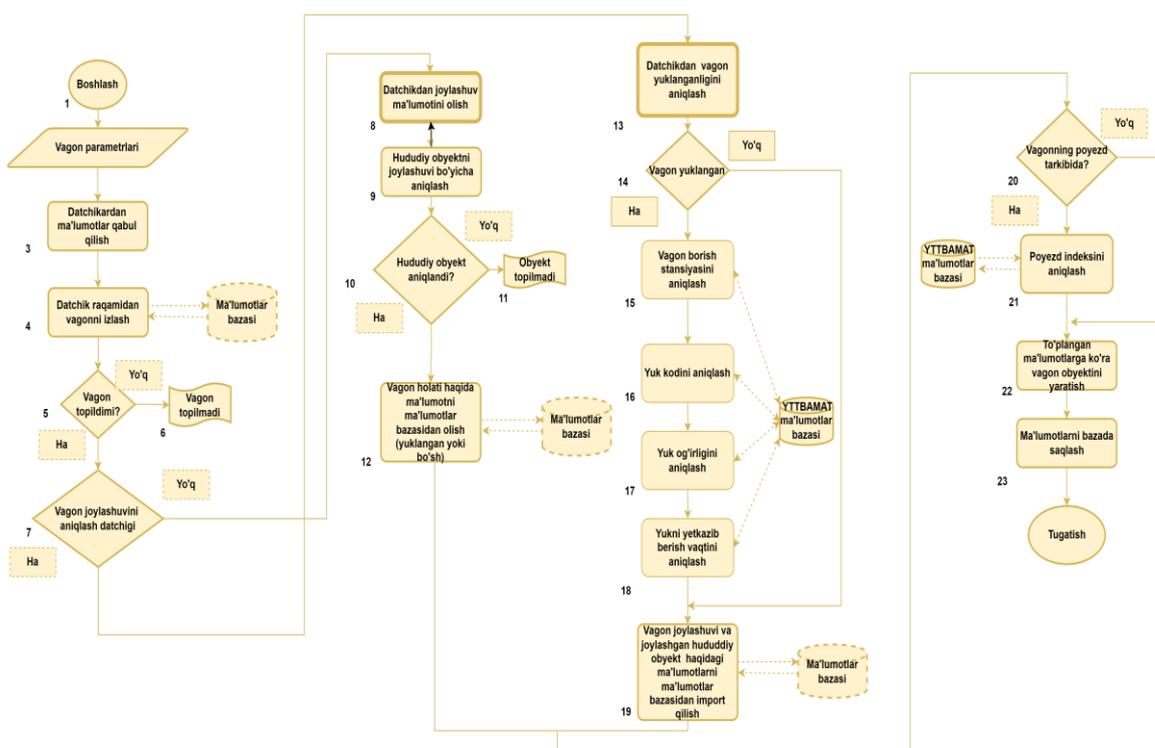
Harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni avtomatik nazorat qilish tizimining (HTKANT) asosiy maqsadi temir yo‘l transportida tashishlarni tezkor boshqarishni real vaqt rejimida axborot bilan ta’minlashdan iborat. HTKANT elementlariga quyidagilar kiradi: poyezd, vagon, lokomotiv, konteyner, geolokatsiya datchiklari, vagon holati datchiklari, uzellar va tarmoq korxonalari. Tizimning tuzilishi tashish jarayonining modellariga asoslanadi (2-rasm). Tizim poyezd, lokomotiv, vagon va konteyner modellaridan iborat.



2-rasm. Harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni avtomatik nazorat qilish tizimining tuzilishi

Tizimning IDEF0 belgisiga asoslangan funksional modeli ishlab chiqilgan. Tizimdagi axborot oqimlarini batafsil ko'rsatish uchun tizim qismlarga bo'lingan. HTKANT faoliyatini tafsirlashning ushbu usuli tizimni joriy etishda aniq harakat qilishga imkon beradi. Kirish va chiqish ma'lumotlari aniq ko'rsatilgan bo'lib, boshqa tizimlar o'rtasidagi munosabatlarni hisobga olish imkonini beradi.

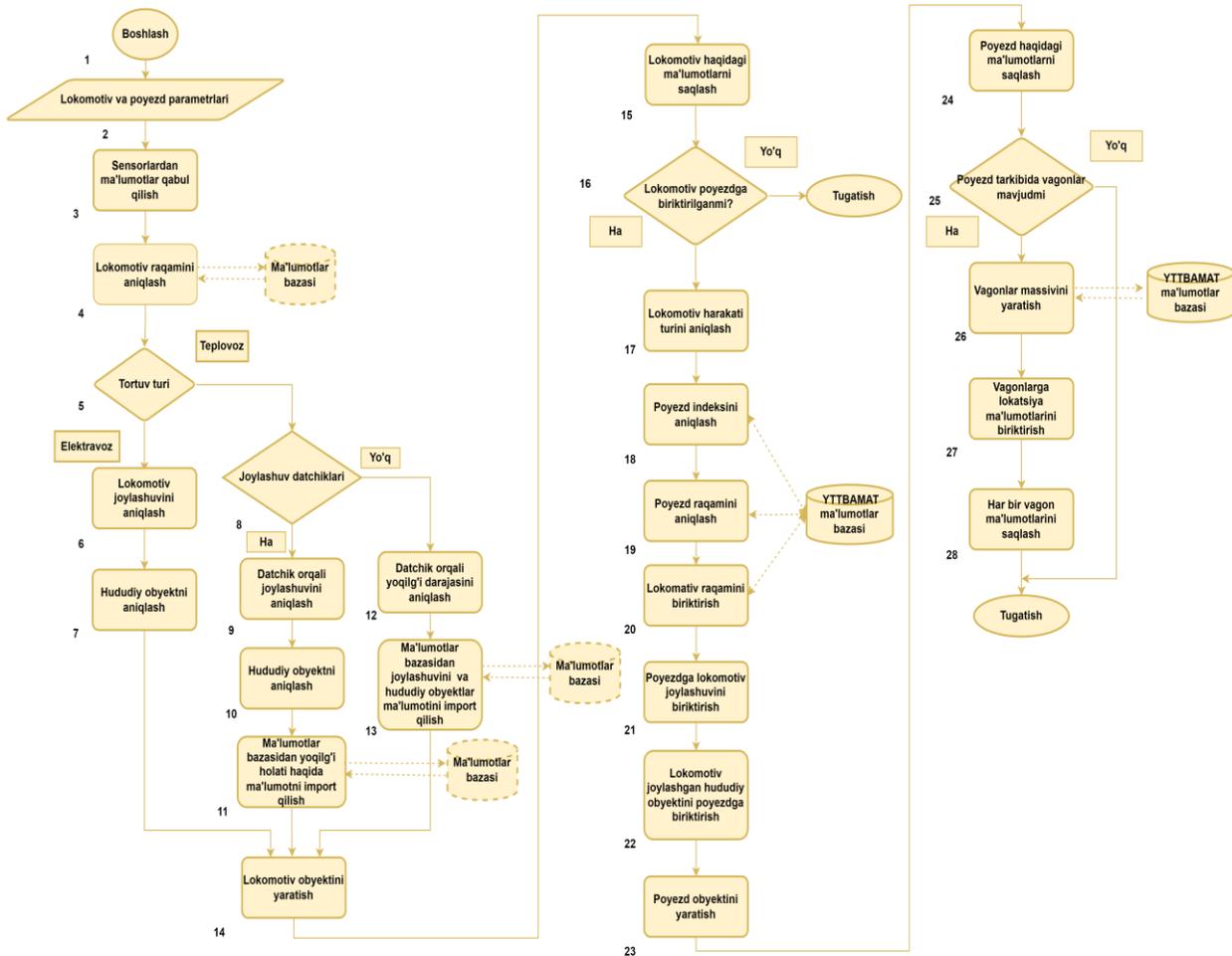
Joylashuv va holat (bo'sh/yukli) datchiklaridan keladigan vagonlarning ma'lumotlarini qayta ishlash algoritmlari ishlab chiqilgan (3-rasm). Konteyner ma'lumotlarini qayta ishlash algoritmi faqat joylashuv datchikidan kelgan ma'lumotlarni qayta ishlash asosida ishlab chiqilgan. Lokomotiv poyezd bilan bevosita bog'liq bo'lganligi sababli, lokomotivlar va poyezdlar ma'lumotlarini qayta ishlash blok sxemasi umumiy shaklda taqdim etilgan. Ushbu bobda taqdim etilgan ma'lumotlarni qayta ishlash algoritmlari mazkur tizimni amaliyotda joriy etish uchun asos bo'lib xizmat qiladi.



3-rasm. Vagon ma'lumotlarini qayta ishlash algoritmi

Lokomotivlar va poyezdlarning harakatlanish tarixi bir-biriga bog'langan. Poyezdning joylashuvi haqidagi ma'lumot lokomotivga bog'liq. Lokomotiv datchiklari lokomotivning joylashuvi haqidagi ma'lumotlarni uzatadi, agar bu lokomotiv poyezdga bog'langan bo'lsa, u holda joylashuv ma'lumotlari poyezd uchun umumiy bo'ladi (4-rasm).

Ma'lumotlar bazasi strukturasi axborot tizimlari uchun asos hisoblanadi. Samarali tuzilmani qurish uchun ma'lum qoidalarni hisobga olish kerak. Ma'lumotlar bazasini yaratish uchun turli xil belgilar va usullar mavjud. Ma'lumotlar bazasi strukturasi loyihalash uchun ER-diagrammasi metodidan foydalanilgan.



4-rasm. Lokomotivlar va poyezdlar ma'lumotlarini qayta ishlash algoritmi

Tizim tomonidan taqdim etilgan ma'lumotlar ikki guruhga bo'lingan. Birinchi guruhga tizimning o'zidan kelib chiqadigan ma'lumotlar kiradi. Ma'lumotlarning ikkinchi guruhi yuk tashishlarni tezkor boshqarish avtomatlashtirilgan milliy axborot tizimidan (YTTBAMAT) import qilinadi. Natijada to'liq bo'lgan chiqish ma'lumoti shakli paydo bo'ladi. Shuni ta'kidlash kerakki, YTTBAMATdan ma'lumotlarni import qilishning imkoniyati yo'qligi tizimning minimal ishlashiga ta'sir qilmaydi.

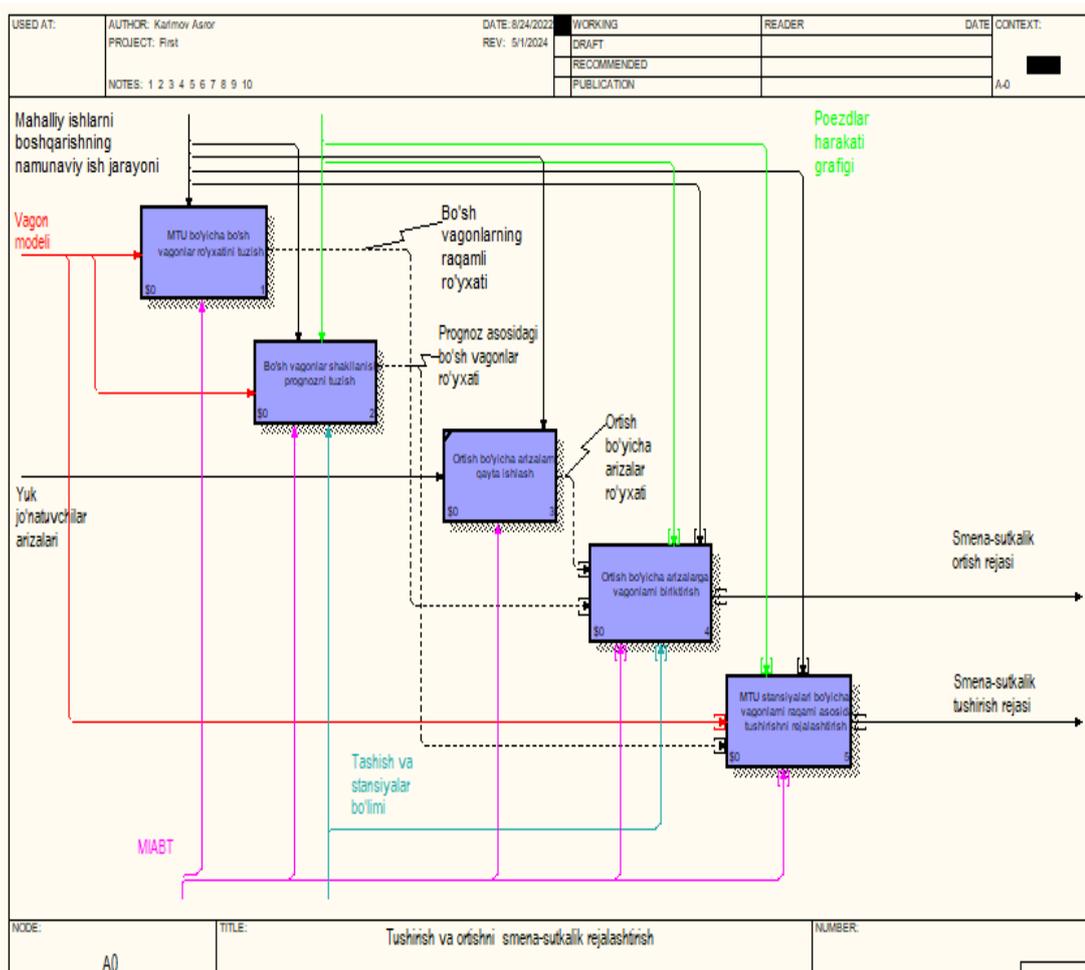
Elektron xaritada obyektlarni tasvirlanishi avtomatik tarzda amalga oshiriladi. Kerak bo'lgan ma'lumotlar foydalanuvchi so'rovlari asosida chiqariladi.

Harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni avtomatik nazorat qilish tizimining ma'lumotlar bazasi tuzilmasi va chiquvchi ma'lumotlar shakllari mazkur tizimning ishlash texnologiyasi haqida yanada aniq tasavvur beradi. Ma'lumotlar bazasi ER-diagrammasi yordamida PostgreSQL tilida dasturiy ta'minot ishlab chiqilgan. Ushbu dasturiy ta'minotni tizimni amaliyotga joriy etishda ishlatish mumkin. Olingan ma'lumotlar tashishlarni tashkil etish jarayonida qaror qabul qiluvchilar uchun asosiy ma'lumot sifatida xizmat qiladi.

Dissertatsiyaning **“Mahalliy ishlarni boshqarish tizimining axborot-tahliliy jarayonlarini raqamlashtirish”** nomli uchinchi bobida smena-sutkalik va joriy rejalashtirish tizimlari jarayonlarini raqamlashtirish masalalari tadqiq etilgan, Petri

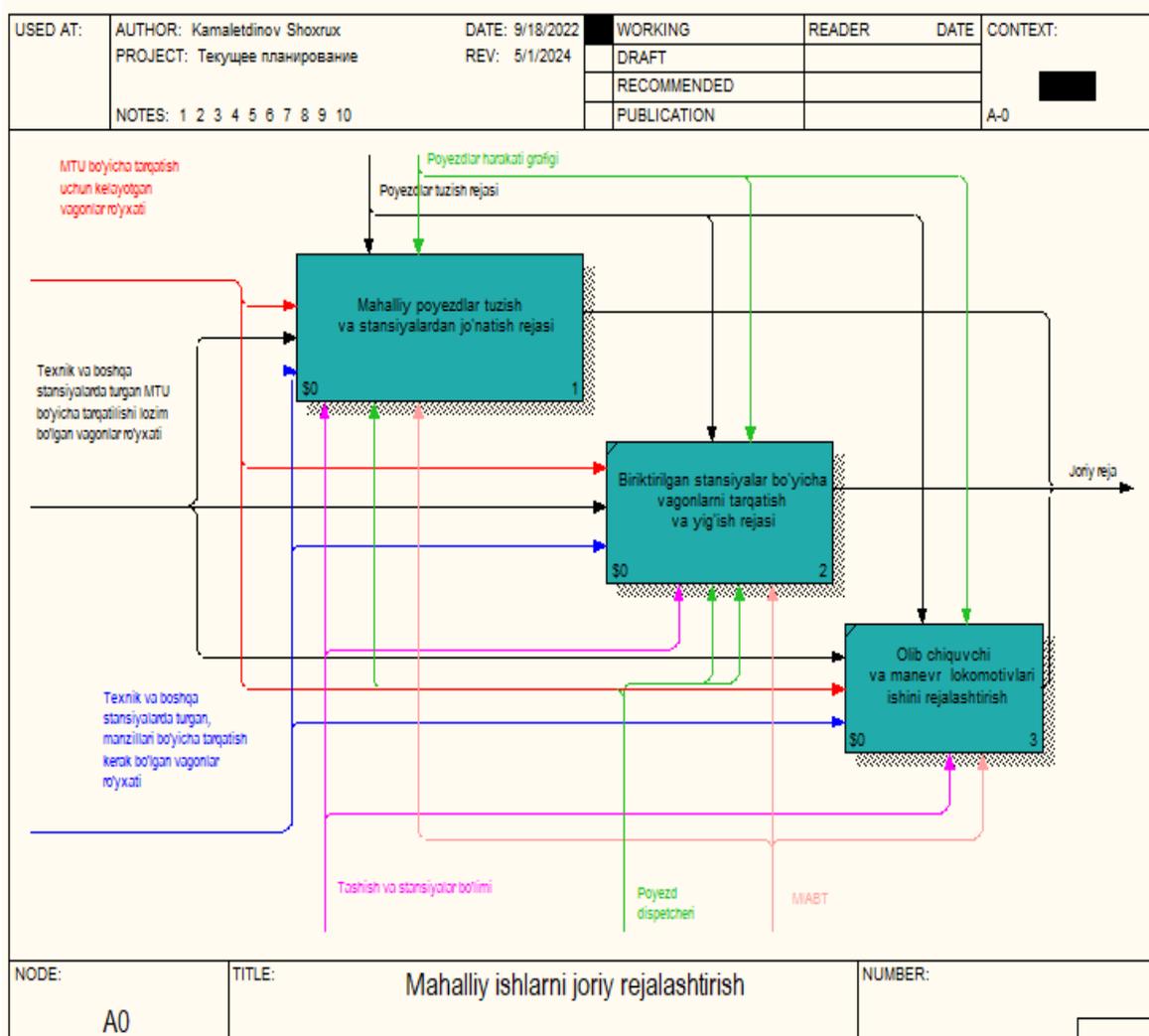
tarmog‘i usuli yordamida yuklashni avtomatlashtirilgan smena-sutkalik rejalashtirish imitatsiya modeli ishlab chiqilgan, Floyd-Uorshel algoritmi yordamida bo‘sh vagonlar joylashgan bekatlarga eng qisqa yo‘llarni aniqlash muammosi yechilgan va dasturiy ta‘minot ishlab chiqilgan.

Smena-sutkalik va joriy rejalashtirish tizimlarini o‘z ichiga oluvchi mahalliy ishlarning avtomatlashtirilgan boshqarish tizimini (MIABT) ishlab chiqish taklif etilgan. IDEF0, IDEF1 va DFD belgilari asosida yuklash va tushirishni smena-sutkalik rejalashtirishning avtomatlashtirilgan holdagi ishining funksional modeli ishlab chiqilgan (5-rasm). Katta funksional bloklar va ma‘lumotlarni qayta ishlash jarayonlarini aniqroq ko‘rsatish uchun ochib chiqilgan.



5-rasm. Smena-sutkalik yuklash va tushirishni rejalashtirishning funksional modeli

Joriy rejalashtirishning avtomatlashtirilgan funksional modeli ishlab chiqilgan (6-rasm). Normativ-huquqiy ma‘lumotlar va smenali-sutkalik rejalar joriy rejalashtirishning asosini tashkil etadi. Vagon modeliga asoslanib, MIABT smena-sutkalik rejalariga muvofiq, boshqaruv qarorlarini qabul qiluvchilar uchun rejaning bir nechta variantlarini tayyorlaydi.



6-rasm. Mahalliy ishlarni joriy rejalashtirishning funksional modeli (IDEF0)

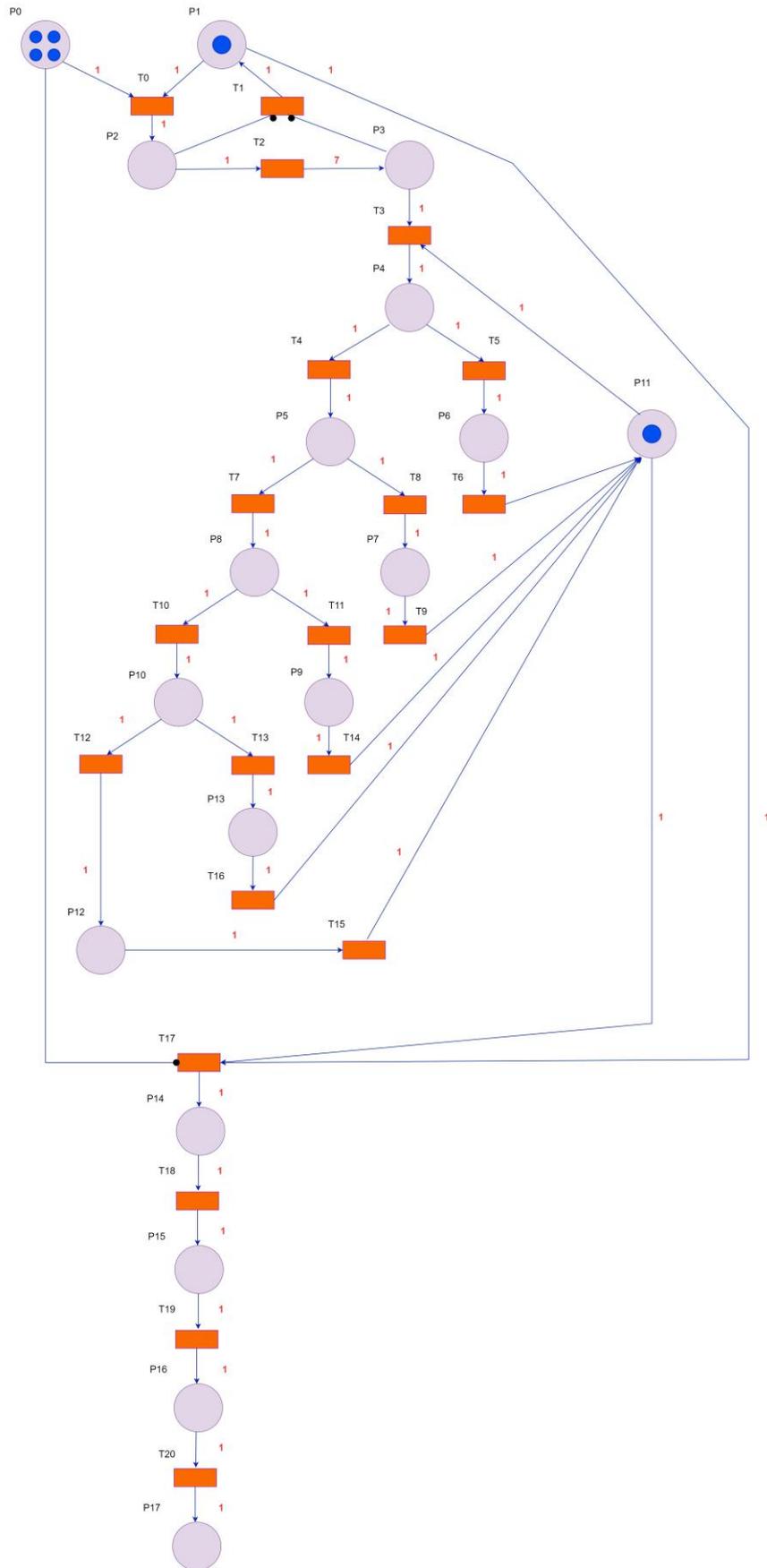
Petri tarmog‘i yordamida yaratilgan simulyatsiya modeli harakatlar ketma-ketligi va pozitsiyalar o‘rtasidagi mantiqiy bog‘liqlik haqida aniq tasavvur beradi (7-rasm). Simulyatsiya modeli HPSim dasturi yordamida ishlab chiqilgan. Petri tarmog‘i orqali tizimning to‘g‘ri ishlashi tekshirilgan. Tarmoq orqali yorliqlarning harakatlanishini simulyatsiya qilish tizimning zaif tomonlarini aniqlashga imkon berdi. Yuklashni rejalashtirish avtomatlashtirilgan rejimda amalga oshirilganligi sababli Petri tarmog‘i usuli ushbu turdagi jarayonlarning ishlashini tekshirishda qo‘l keladi.

5-rasmdagi Petri tarmog‘i uchun kengaytirilgan kirish va chiqish funksiyalari quyidagilardir:

$$M = (P, T, I, O, \mu), \quad (1)$$

$$P = (p_0, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}, p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{14}, p_{15}, p_{16}, p_{17}), \quad (2)$$

$$T = \begin{pmatrix} t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}, \\ t_{12}, t_{13}, t_{14}, t_{15}, t_{16}, t_{17}, t_{18}, t_{19}, t_{20} \end{pmatrix}. \quad (3)$$



7-rasm. Smena-sutkalik yuklashni rejalashtirishning Petri tarmog‘i

Yuklashni rejalashtirishda MTU bekatlar oraliq'idagi eng qisqa masofani aniqlash uchun Floyd- Uorshel algoritmidan foydalanilgan.

Har bir cho'qqisi 1 dan $|V|$ gacha raqamlangan $G = (V, E)$ grafi berilgan. D o'zaro bog'langan matritsasini hosil qilamiz. Bu matritsa $|V| \times |V|$ o'lchamiga ega bo'lib uning har bir D_{ij} elementiga i va j cho'qqilarini birlashtiruvchi, w yoy og'irligi biriktirilgan. G grafining yo'nalishi tufayli D matritsasi assimetrik bo'lishi mumkinligini inobatga olish lozim bo'ladi.

$$D_{ij} = \begin{cases} w(i, j), & \text{agar } (i, j) \in E \\ \infty, & \text{aks holda} \end{cases} \quad (4)$$

$$D_{ii} = 0, \forall i. \quad (5)$$

i va j cho'qqilarining har bir jufti uchun biz D_{ij} masofasini k oraliq cho'qqilari orqali qayta hisoblaymiz, agar bu mavjud D_{ij} qiymatini kamaytirsa:

$$D_{ij}^{k+1} = \min(D_{ij}^k, D_{ik}^k + D_{kj}^k). \quad (6)$$

teng bo'ladi.

Ushbu shartlar qanoatlantirilgan hollarda:

1. Masofalarning manfiy emasligi:

$$D_{ij}^k \geq 0, \forall i, j, k. \quad (7)$$

2. Sikllarning manfiy emasligi:

$$D_{ij}^k + D_{ji}^k \geq 0, \forall i, j, k. \quad (8)$$

3. Yoylarning faqat musbat qiymatini olish:

$$w(i, j) \geq 0, \forall (i, j) \in E. \quad (9)$$

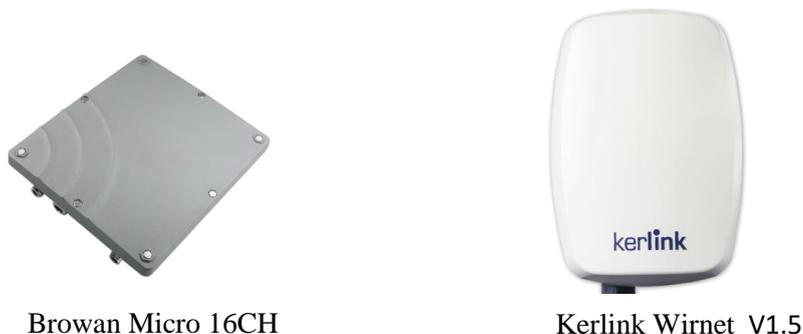
Birinchidan, bekatlar orasidagi masofalar to'plamini yaratish uchun o'zaro bog'lanishlar jadvali tuziladi. Ushbu ma'lumotlar to'plami keyingi hisob-kitoblar uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Bekatlar orasidagi masofalar to'plami qidiruv parametrlari (boshlang'ich va oxirgi bekat) bilan hisoblashning asosiy usuliga o'tkaziladi. Birinchi bosqichda bekatlar orasidagi eng qisqa masofalar aniqlanadi, keyin bekatlar orasidagi kerakli masofa hisoblanadi.

Algoritmnı amalga oshirish uchun Java tilida dasturiy ta'minot ishlab chiqilgan. Ushbu dastur yordamida bo'sh vagonlar joylashgan bekatlargacha bo'lgan eng qisqa yo'llarni aniqlash imkoniyati yaratilgan.

Dissertatsiyaning **“Tashishalarni tezkor boshqarish jarayonlarini raqamlashtirishni amaliy amalga oshirish va asoslash”** nomli to'rtinchi bobida LoRaWAN simsiz tarmog'i infratuzilmasini yaratish bo'yicha texnologik yechimlar ishlab chiqildi, harakatlanuvchi tarkibini kuzatish uchun LoRaWAN simsiz tarmog'idan foydalangan holda ishchi model yaratilgan, simsiz texnologiyalarni qo'llash samaradorligini asoslash uchun ma'lumotlar sifati baholangan, faktor-graf usuli asosida mahalliy ishlarni rejalashtirishning chiqish ma'lumotlari sifatini baholashning matematik modeli ishlab chiqilgan.

LoRaWAN simsiz tarmoq infratuzilmasini qo'llash uchun turli komponentlar bo'yicha tadqiqotlar va sinovlar o'tkazildi. Ushbu tadqiqotlar natijasida xususiy tarmoqni yaratish uchun muayyan yechimlar tanlandi. Tarmoq serverining ishlashini ta'minlash uchun Actility kompaniyasining serveri ishlatilgan, u tajribaviy tekshiruvlardan muvaffaqiyatli o'tgan. Aloqa va ma'lumotlarni datchiklardan tarmoq serveriga uzatishni ta'minlash uchun Kerlink va Browan ishlab chiqaruvchilarining

shlyuzlarini qo‘llash bo‘yicha qaror qabul qilingan (8-rasm). Ushbu qurilmalar yuqori samaradorlik va ishonchlilik kabi texnik xususiyatlarni o‘z ichiga oladi. Vagonlarning joylashuvi, harorati va holati (bo‘sh yoki yukli) kabi turli parametrlarini kuzatish uchun quyidagi qurilmalar tanlangan: joylashuv uchun Abeeway Compact Tracker, haroratni kuzatish uchun Sentries RS1xx, vagonlar holatini kuzatish uchun Netvox R718J2 (9-rasm). Ushbu qurilmalar ba elementlar real vaqt rejimida harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarning holati to‘g‘risida aniq va ishonchli ma‘lumotlarni olishga imkon beradi.



8-rasm. LoRaWAN tarmog‘ining shlyuzlari



9-rasm. LoRaWAN tarmog‘ining datchiklari

LoRaWAN tarmog‘i asosida vagonlarning harakatini kuzatish uchun ishlab chiqilgan ishchi model ushbu texnologiyani sinovdan o‘tkazishda muhim bosqichni tashkil etadi. Ushbu model katta loyihalarni ishlab chiqish uchun juda foydali bo‘lgan LoRaWAN tarmog‘i faoliyatining mumkin bo‘lgan muammolari va xususiyatlarini aniqlashga imkon berdi. LoRaWAN tarmog‘i platformalari tomonidan taqdim etilgan yaxshi sharoitlar tufayli ishchi modelni ishlab chiqish katta qiyinchiliklar tug‘dirmadi. Ishchi model asosida harakatlanuvchi tarkibni kuzatish tizimlarini joriy etish yanada samarali bo‘ladi.

Ishchi modelni yaratish uchun quyidagi bosqichlar bajarildi:

1. Tarmoq serverida ro‘yxatdan o‘tish;
2. Shlyuzni tarmoq serveriga ulash;
3. Datchiklarni tarmoq serveriga ulash;
4. Ma‘lumotlar tasvirini chiqarish va tahlil qilish uchun uchinchi tomon platformasidan foydalanish.

Temir yo‘l harakatlanuvchi tarkibini kuzatishda taklif etilayotgan texnologiyaning afzalliklarini asoslash uchun ma‘lumotlar sifati mezonidan

foydalanish tavsiya etilgan. Bayes tarmog‘i usuli yakuniy natijalar ma’lumotlarining sifatini aniqlash bo‘yicha hisob-kitoblarni amalga oshirish uchun ishlatilgan, buning uchun quyidagi vazifalar bajarilgan:

1. Temir yo‘l harakatlanuvchi tarkibni nazorat qilish tizimlarining texnologik sxemalari taqdim etilgan.

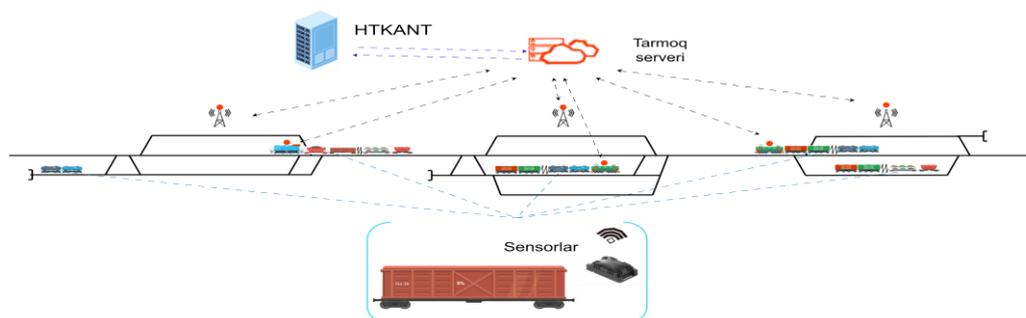
2. Bayes tarmog‘i tuzilgan.

3. Hodisalarning apriori ehtimoli aniqlangan.

4. Alohida hodisalar ehtimolliklari hisoblangan.

5. Tizimlarning chiqish ma’lumot sifatleri taqqoslangan.

Harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarning avtomatik nazorat qilish tizimi (HTKANT) harakatlanuvchi tarkibi va konteynerlarning joylashuvini, shuningdek, vagonlarning holatini (bo‘sh yoki yuklangan) nazorat qiladi. Kuzatuv obyektlariga o‘rnatilgan datchiklar ma’lumotni shlyuzlarga yuboradi, ular o‘z navbatida bekatlarda va poyezd lokomotivlarida o‘rnatilishi kerak. Shlyuzlar ma’lumotni tarmoq serveriga yo‘naltiradi (LoRaWAN). Tarmoq serveri ma’lumotni qayta ishlagandan so‘ng HTKANT serveriga yuboradi (10-rasm).



10-rasm. HTKANTning ishlash texnologik diagrammasi

Ikki tizimdagi ma’lumotlar sifatini taqqoslash bir xil sharoitlarda amalga oshiriladi. Terma poyezd oraliq bekatlarda muayyan harakatlarni bajargan holda harakatlanadi.

Tashishlarni tezkor boshqarishning avtomatlashtirilgan tizimi (TTBAT) uchun Bayes tarmog‘i A' , B' va S' o‘zgaruvchilarning uchta to‘plamidan iborat. To‘plam A' poyezdlar bilan bajariladigan operatsiyalarni o‘z ichiga oladi, B' to‘plami poyezd operatsiyalari to‘g‘risida xabar yuborishni va S' to‘plamiga ma’lumotlar sifatini baholashda ishlatiladigan nazorat hodisalari kiradi.

$$A' = \{A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6\}, \quad (10)$$

$$B' = \{B'_1, B'_2, B'_3, B'_4, B'_5, B'_6\}, \quad (11)$$

$$S' = \{S'_1, S'_2, S'_3\}. \quad (12)$$

HTKANT tizimi uchun Bayes tarmog‘i ham A'' , B'' va S'' o‘zgaruvchilarning uchta to‘plamidan iborat, chunki bir xil amallar o‘rganilmoqda. A'' to‘plami poyezd operatsiyalarini o‘z ichiga oladi, B'' to‘plam datchiklardan ma’lumot yuborishni va S'' to‘plamiga ma’lumotlar sifatini baholashda ishlatiladigan nazorat hodisalari kiradi.

$$A'' = \{A''_1, A''_2, A''_3, A''_4, A''_5, A''_6\}, \quad (13)$$

$$B'' = \{B''_1, B''_2, B''_3, B''_4, B''_5, B''_6\}, \quad (14)$$

$$S'' = \{S''_1, S''_2, S''_3\}. \quad (15)$$

Ma'lumotlar sifatini taqqoslash uchun nazorat hodisalari sifatida S' va S'' to'plamlari o'zgaruvchilari xizmat qiladi.

Ehtimolliklarni hisoblash shartlarini belgilaymiz. Poyezdlar bilan barcha harakatlar bajarilganidan so'ng vagonlarning joylashuvi va holati to'g'risida ehtimolliklar aniqlanishi kerak.

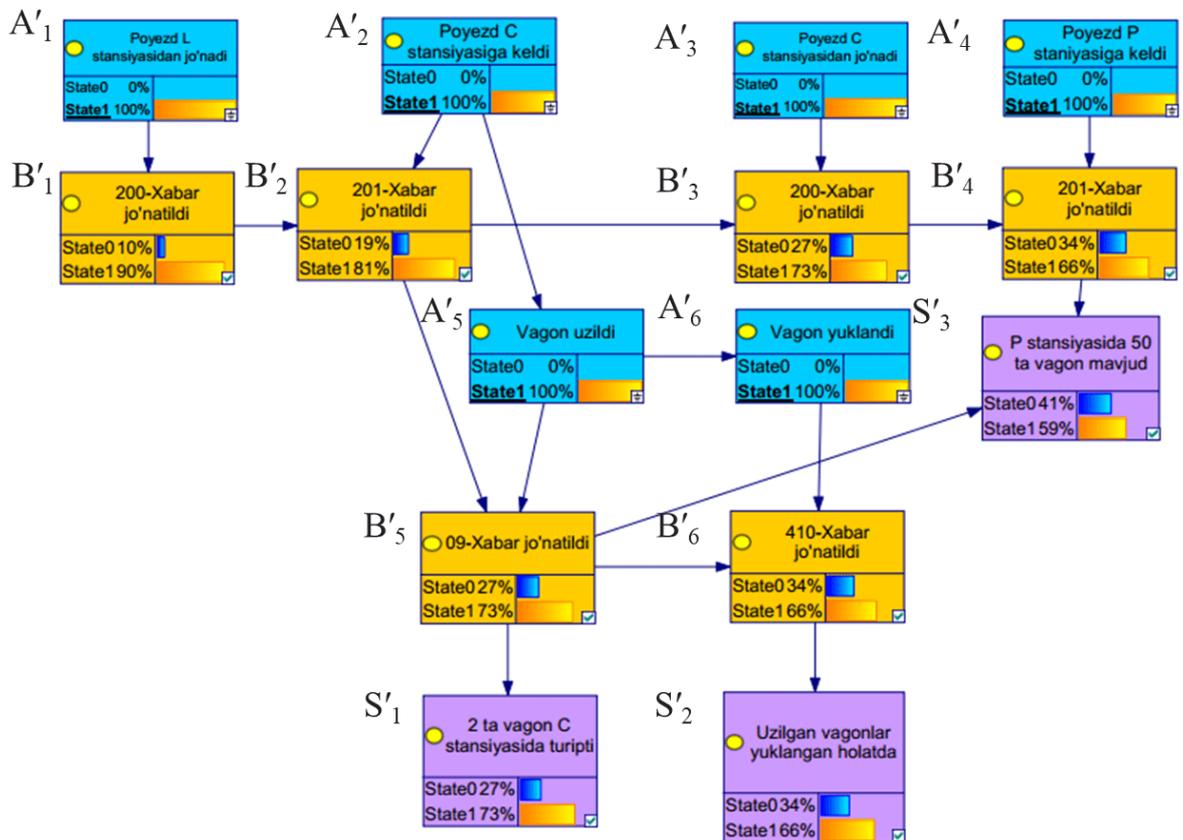
Berilgan sharoitlarda S' to'plamining o'zgaruvchilari ehtimoli quyidagicha aniqlanadi:

$$P(S'_1|A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6) = \frac{P(S'_1=1, A'_1=1, A'_2=1, A'_3=1, A'_4=1, A'_5=1, A'_6=1)}{P(A'_1=1, A'_2=1, A'_3=1, A'_4=1, A'_5=1, A'_6=1)}, \quad (16)$$

$$P(S'_2|A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6) = \frac{P(S'_2=1, A'_1=1, A'_2=1, A'_3=1, A'_4=1, A'_5=1, A'_6=1)}{P(A'_1=1, A'_2=1, A'_3=1, A'_4=1, A'_5=1, A'_6=1)}, \quad (17)$$

$$P(S'_3|A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6) = \frac{P(S'_3=1, A'_1=1, A'_2=1, A'_3=1, A'_4=1, A'_5=1, A'_6=1)}{P(A'_1=1, A'_2=1, A'_3=1, A'_4=1, A'_5=1, A'_6=1)}. \quad (18)$$

GeNie dasturidan foydalanib, berilgan ($A'_1 = 1, A'_2 = 1, A'_3 = 1, A'_4 = 1, A'_5 = 1, A'_6 = 1$) shartlarga muvofiq TTBAT barcha o'zgaruvchilarning ehtimolini aniqlaymiz (11-rasm).



11-rasm. Berilgan shartlarda TTBATning Bayes tarmog'idagi o'zgaruvchilarning ehtimoli

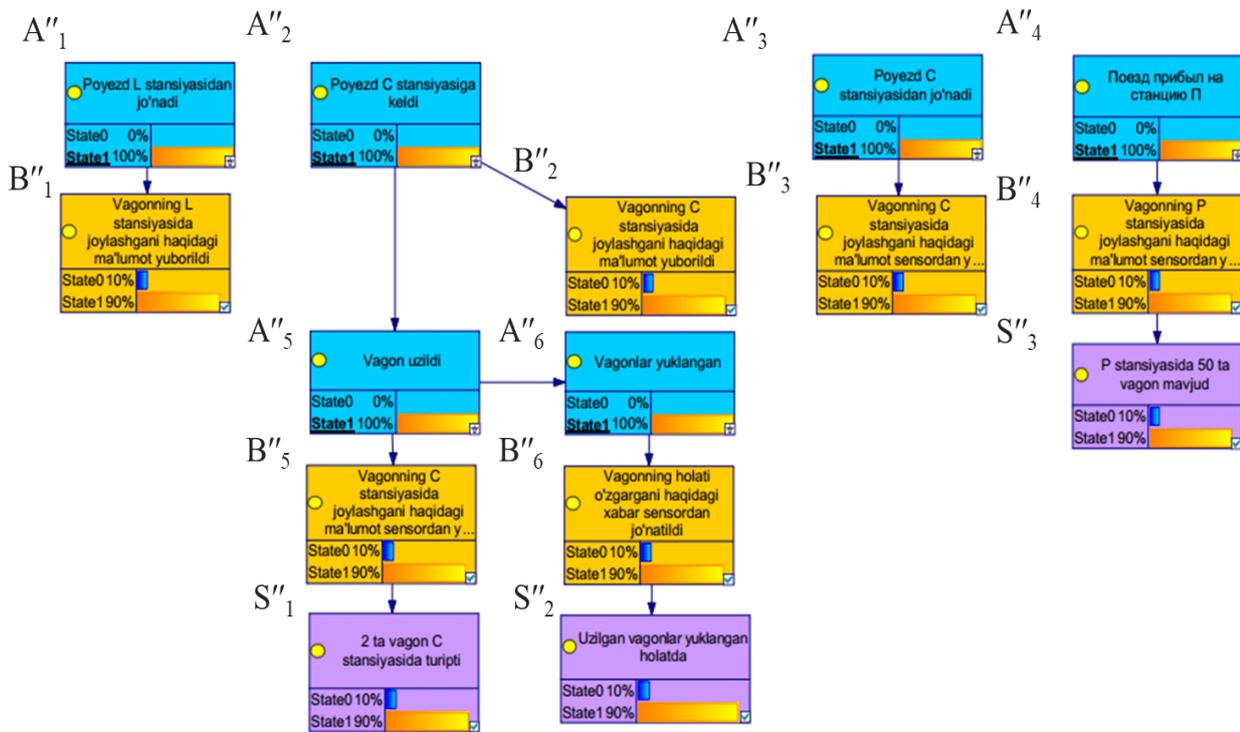
Berilgan sharoitlarda S'' to'plamining o'zgaruvchilari ehtimoli quyidagicha aniqlanadi:

$$P(S''_1 | A''_2, A''_5, A''_6) = \frac{P(S''_1=1, A''_2=1, A''_5=1, A''_6=1)}{P(A''_2, A''_5, A''_6)}, \quad (19)$$

$$P(S''_2 | A''_2, A''_5, A''_6) = \frac{P(S''_2=1, A''_2=1, A''_5=1, A''_6=1)}{P(A''_2, A''_5, A''_6)}, \quad (20)$$

$$P(S''_3 | A''_4) = \frac{P(S''_3=1, A''_4=1)}{P(A''_4)}. \quad (21)$$

GeNie dasturidan foydalanib, HTKANTda (12-rasm) berilgan ($A''_1 = 1, A''_2 = 1, A''_3 = 1, A''_4 = 1, A''_5 = 1, A''_6 = 1$) shartlarga muvofiq o'zgaruv-chilarning ehtimolini aniqlaymiz.



12-rasm. Berilgan shartlarda HTKANTda Bayes tarmog'idagi o'zgaruvchilarning ehtimoli

Natijalarni taqdim etish qulayligi uchun biz qo'shimcha o'zgaruvchilardan foydalanamiz. Belgilangan shartlar bo'yicha nazorat o'zgaruvchilari Θ qiymatini oladi. TTBAT va HTKANT uchun ushbu o'zgaruvchilarni quyidagicha aniqlaymiz:

$$\Theta'_1 = P(S'_1 | A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6), \quad (22)$$

$$\Theta'_2 = P(S'_2 | A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6), \quad (23)$$

$$\Theta'_3 = P(S'_3 | A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6), \quad (24)$$

$$\Theta''_1 = P(S''_1 | A''_2, A''_5, A''_6), \quad (25)$$

$$\Theta''_2 = P(S''_2 | A''_2, A''_5, A''_6), \quad (26)$$

$$\Theta''_3 = P(S''_3 | A''_4). \quad (27)$$

Nazorat o'zgaruvchilarning ehtimoli

T/r	Hodisalar	TTBAT	HTKANT
1	2 ta vagon C bekatda joylashgan	$\theta'_1 = 0,73$	$\theta''_1 = 0,9$
2	Uzilgan vagonlar yuklangan holatda	$\theta'_2 = 0,66$	$\theta''_2 = 0,9$
3	50 ta vagon P bekatda joylashgan	$\theta'_3 = 0,59$	$\theta''_3 = 0,9$

Nazorat o'zgaruvchilaridan olingan ma'lumotlar sifatini taqqoslash natijasida biz HTKANT foydasiga sezilarli ustunlikni ko'rishimiz mumkin (1-jadval).

Xabarlarni yuborish bo'yicha hodisalarga alohida e'tibor berish kerak. Bunda poyezdlar bilan amalga oshirilgan harakatlar to'g'risida o'z vaqtida va ishonchli ma'lumot berish muhim jarayon hisoblanadi. Ikkala tizimda ham xabarlarni yuborish hodisalarining ehtimollik natijalarini tahlil qilaylik. Asosiy e'tibor harakatlanuvchi tarkibning joylashuvi to'g'risida ma'lumot beradigan xabarlarga qaratilishi kerak. Biz aynan shu xabarlarni tahlil qilamiz.

TTBAT uchun μ' va HTKANT uchun μ'' berilgan shartlar bo'yicha xabarlarni yuborish hodisalari ehtimolini quyidagicha belgilaymiz:

$$\mu'_1 = P(B'_1 | A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6), \quad (28)$$

$$\mu'_2 = P(B'_2 | A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6), \quad (29)$$

$$\mu'_3 = P(B'_3 | A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6), \quad (30)$$

$$\mu'_4 = P(B'_4 | A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6) \quad (31)$$

$$\mu''_1 = P(B'_1 | A'_1), \quad (32)$$

$$\mu''_2 = P(B'_2 | A'_2), \quad (33)$$

$$\mu''_3 = P(B'_3 | A'_3), \quad (34)$$

$$\mu''_4 = P(B'_4 | A'_4). \quad (35)$$

Hisoblash natijalariga asoslanib, μ'_i qiymatlarini olamiz va ularni bir-biri bilan taqqoslaymiz. O'zaro aloqalar sonining ko'payishi bilan xabarlarni o'z vaqtida yuborish ehtimoli kamayib bormoqda. Xabarni o'z vaqtida yubormaslik esa ma'lumotlar sifatini pasaytiradi:

$$\mu'_1 > \mu'_2 > \mu'_3 > \mu'_4. \quad (36)$$

Hisoblash natijalariga asoslanib, μ''_i qiymatlarini olamiz va ularni bir-biri bilan taqqoslaymiz. Yuborilgan ma'lumotlar o'rtasida aloqa yo'qligi sababli, vagonning stantsiyada bo'lganligi to'g'risida xabar yuborish ehtimoli vagonlar bilan operatsiyalarni amalga oshirishga bog'liq. Oqibatda, natijalar barqaror bo'ladi:

$$\mu''_1 = \mu''_2 = \mu''_3 = \mu''_4. \quad (37)$$

HTKANT inson omilini, shu jumladan ma'lumotlarning buzilishi bo'yicha subyektiv aralashuvni istisno qiladi va shu bilan chiqish ma'lumotlari sifatini oshiradi. Datchiklarning real vaqt rejimidagi mustaqil xabarlar vagonlarning joylashuvi va holatini aniqroq ko'rsatadi. Yuqori sifatli chiqish ma'lumotlari harakat tarkibidan samarali foydalanishga yordam beradi va poyezdlar harakatini tashkil etishda qabul

qilinadigan qarorlar sifatini yaxshilaydi, shu bilan yuk tashish tannarxini pasaytiradi.

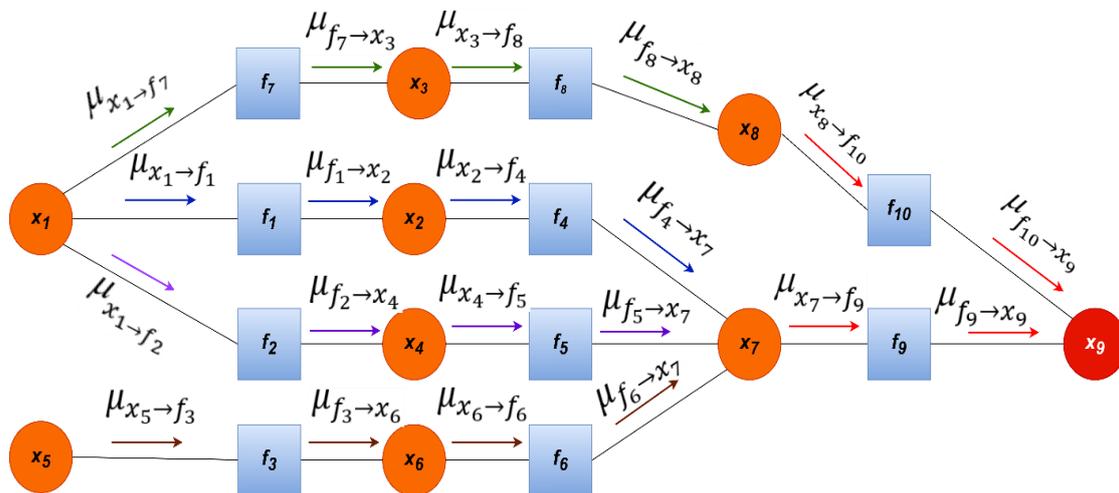
Faktor-graf va maksimal ishonchlilik algoritmidan foydalangan holda mahalliy ishlarni rejalashtirish sifatini baholash bo'yicha tadqiqotlar tizimning har bir komponentining chiqish ma'lumotlari sifatiga ta'sirini batafsil ko'rib chiqishga imkon beradi. Shu asnoda maksimal ishonchlilik algoritmidan foydalanish birlamchi ma'lumot manbalari va muqobil turlariga qarab MIABT chiqish ma'lumotlari sifatini baholash va taqqoslash imkoniyatini ochadi. Ushbu yondashuv tizimning turli elementlari uning umumiy ishlashi va ishonchliligiga qanday ta'sir qilishini aniqroq tahlil qilish imkonini beradi.

Yuklarni tezkor boshqarish sifatini oshirish uchun yuklashni rejalashtirish jarayonini avtomatlashtirish taklif etiladi. Bu boradagi asosiy ma'lumotlarni olish uchun tashqi manbalardan foydalanish kerak. Asosiy ma'lumotlar manbalari sifatida quyidagi tizimlar qo'llaniladi:

1. Tashishlarni tezkor boshqarishning avtomatlashtirilgan tizimi.
2. Yuk tashishlarni tezkor boshqarishning avtomatlashtirilgan milliy axborot tizimi (YYTBAMAT).
3. "O'zbekiston temir yo'llari" AJning "Yagona oyna" tizimi (E-nakl).

Mahalliy ishlarni boshqarishning avtomatlashtirilgan tizimi (MIABT) berilgan algoritmgaga muvofiq ma'lumotlarni qayta ishlaydi. Tizim natijalari boshqaruv qarorlarini qabul qilish uchun asos sifatida tavsiflanadi. Dispetcher xodimlar ushbu tizimning ko'rsatmalari asosida qaror qabul qiladilar.

Ushbu dissertatsiya ishida mahalliy ishlarni rejalashtirish jarayonlarining faktor grafigidagi o'zgaruvchilarning eng ehtimolli konfiguratsiyasi aniqlangan. Maksimal ishonchlilik algoritmi (max-product) asosiy matematik apparati sifatida qo'llanilgan (13-rasm).



13-rasm. Mahalliy ishlarni rejalashtirishning faktor-grafi

Hodisalarning birgalikdagi ehtimoli quyidagi shaklga ega bo'ladi:

$$p(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9) = f_1(x_1, x_2) f_2(x_1, x_4) f_3(x_5, x_6) f_4(x_2, x_7) f_5(x_4, x_7) f_6(x_6, x_7) f_7(x_1, x_3) f_8(x_3, x_8) f_9(x_7, x_9) f_{10}(x_8, x_9). \quad (38)$$

Mahalliy ishlarni rejalashtirish natijalarining maksimal ishonchliligini aniqlash uchun 38-ifodadan foydalaniladi. Shunday qilib:

$$\max_{x_1, \dots, x_{10}} p(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}) = \max_{x_1, \dots, x_{10}} f_1(x_1, x_2) f_2(x_1, x_4) f_3(x_5, x_6) f_4(x_2, x_7) f_5(x_4, x_7) f_6(x_6, x_7) f_7(x_1, x_3) f_8(x_3, x_8) f_9(x_7, x_9) f_{10}(x_8, x_9). \quad (39)$$

Mahalliy ishlarni rejalashtirishning faktor-grafi o'zgaruvchilarining eng yuqori darajadagi ehtimollik konfiguratsiyalari quyidagicha yozilishi mumkin: $x_1^* = 2$; $x_2^* = 1$; $x_3^* = 1$; $x_4^* = 1$; $x_5^* = 1$; $x_6^* = 1$; $x_7^* = 1$; $x_8^* = 1$; $x_9^* = 1$.

Ushbu natijalar shuni ko'rsatadiki, mahalliy ishlarni rejalashtirishning har bir bosqichida jarayonlarning avtomatlashtirilgan bajarilishi o'zgaruvchilarning yuqori ehtimoldagi konfiguratsiyasini ta'minlaydi. Bunda, ma'lumotlarni qayta ishlash avtomatik ravishda MIABT orqali amalga oshiriladi.

Faktor-grafni shartli ravishda 4 yo'lga bo'lish mumkin. Yashil o'qlar bilan belgilangan birinchi yo'l smena-sutkalik tushirish rejasini ishlab chiqish uchun mo'ljallangan. Ushbu yo'l uchun o'zgaruvchilarning eng yuqori ehtimoliy konfiguratsiyalarni yozish mumkin: $x_1^* = 2$; $x_3^* = 1$; $x_8^* = 1$.

Moviy o'qlar bilan belgilangan ikkinchi yo'l smena-sutkalik ortish rejasini ishlab chiqish uchun mo'ljallangan. Ushbu yo'l uchun o'zgaruvchilarning eng yuqori ehtimoliy konfiguratsiyalarini yozish mumkin: $x_1^* = 2$; $x_2^* = 1$; $x_7^* = 1$.

Siyohrang o'qlar bilan belgilangan ikkinchi yo'l smena-sutkalik ortish rejasini ishlab chiqish uchun mo'ljallangan. Ushbu yo'l uchun o'zgaruvchilarning eng yuqori ehtimoliy konfiguratsiyalarni yozish mumkin: $x_1^* = 2$; $x_4^* = 1$; $x_7^* = 1$.

Jigarrang o'qlar bilan belgilangan ikkinchi yo'l smena-sutkalik ortish rejasini ishlab chiqish uchun mo'ljallangan. Ushbu yo'l uchun o'zgaruvchilarning eng yuqori ehtimoliy konfiguratsiyalarni yozish mumkin: $x_5^* = 1$; $x_6^* = 1$; $x_7^* = 1$.

Xabarni uzatish algoritmidan foydalanish MIABT chiqish ma'lumotlarining sifatini baholash imkonini beradi. Dastlabki ma'lumot manbalariga bog'liq ravishda yuklashni rejalashtirishning muqobil variantlarini taqqoslash mumkin.

Dissertatsiyaning **“HTKANTni ishlab chiqishga qo'yiladigan talablar va iqtisodiy samaradorlikni hisoblash”** nomli beshinchi bobida HTKANT loyihalash, vagonni kuzatish dasturiy modulini joriy etish xarajatlari va samaradorligini aniqlash bo'yicha iqtisodiy hisob-kitoblarni ishlab chiqishga bag'ishlangan.

HTKANT 24/7 uzluksiz ishlashni kafolatlaydigan asosiy va profilaktik ish rejimlarida ishlashni ta'minlashi kerak. Talablar, shuningdek, foydalanuvchi interfeysining ishchi qonuniyatlari va texnik estetikasiga, ma'lumotlarni ruxsatsiz kirishdan himoya qilishga va favqulodda vaziyatlarda ma'lumotlarning xavfsizligiga ta'sir qiladi. Tizim bajarishi kerak bo'lgan asosiy funktsiyalarga vagonlar, poyezdlar, lokomotivlar, konteynerlar haqida ma'lumot tayyorlash va taqdim etish hamda ma'lumotlarni tahlil qilish kiradi. Tizimdagi foydalanuvchi roli administrator va oddiy foydalanuvchilarga bo'linadi, ularning har biri o'ziga xos funktsiyaga ega. Shuningdek, tizimni ishlab chiqishda texnik qurilmalarni o'rnatish, arxitektura va ma'lumotlar oqimi hamda ishlatilgan tillar va standartlarga qo'yiladigan talablar taqdim etilgan.

Harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni avtomatik nazorat qilish tizimining bir qismi sifatida vagonlarni nazorat qilish dasturiy ta'minoti vagonlarni ishonchli kuzatishni ta'minlaydi. Tizim Java, JavaScript va PostgreSQL ma'lumotlar bazasini o'z ichiga olgan zamonaviy texnologiyalar yordamida ishlab chiqilgan va Heroku

bulutli xizmatlarida joylashtirilgan. Datchiklar LoRaWAN standarti texnologiyasi orqali ma'lumotlarni uzatadi, server tomonidan ushbu ma'lumotlar JSON Web Tokens (JWT) texnologiyasi yordamida xavfsiz yuboriladi va qayta ishlanadi.

Vagonlarni kuzatish dasturiy moduli HTKANT nimitizimlarini ishlab chiqishning birinchi amaliy bosqichidir. Ushbu modulni ishlatish davomida ijobiy natijalar olingan (14-rasm). Dasturiy ta'minotning kelajakda funkcionalligi va ishonchliligini oshirish bo'yicha chora-tadbirlarni amalga oshirish rejalashtirilgan.

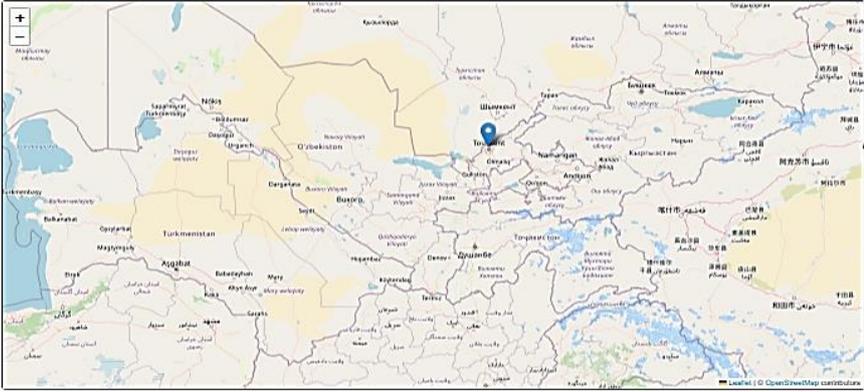
Vagon raqami orqali so'rov

Vagonning 8-lik raqami

Kengaytirilgan so'rov

Vagon turi Vagon holatini tanlang Mintaqaviy temir yo'l uzali

Vagonning birinchi Eitta yoki birinchi ikkita raqamini kiriting: *2 yoki 28



Natijalar soni: (2)
1 dan 2 gacha. Umumiy: 2

#	Vagon raqami	Holati	Stansiya	MTU	Sana	Sensor turi	Sensor raqami	Temperatura	Batareya
1	24586982	Bo'sh	Chuqursoy	Tashkent	17.02.2024, 09:35:17	GPS	20635F0161001G24	26.3	97
2	48589356	Bo'sh	Chuqursoy	Tashkent	17.02.2024, 09:43:13	GPS	20635F0161001G33	24.8	96

14-rasm. Vagonlarni qidirish oynasi

Temir yo'l transportini tezkor boshqarish axborot-tahliliy jarayonlarini raqamlashtirish uchun ishlab chiqilgan texnologiyalarni joriy etishdan kutilayotgan yillik iqtisodiy samarasi 1 448,7 mln. so'mni tashkil etgan.

XULOSA

“Temir yo'l transportini tezkor boshqarish tizimlarining axborot-tahliliy jarayonlarini raqamlashtirish” mavzusidagi doktorlik dissertatsiyasining tadqiqot natijalari asosida quyidagi asosiy ilmiy-amaliy natijalar olindi:

1. Temir yo'l transportining o'ziga xos xususiyatlarini hisobga olgan holda qiyosiy tahlil usullari orqali transportni tezkor boshqarish tizimlarini takomillashtirish uchun uzoq masofalarda ishlovchi simsiz tarmoqdan foydalanish doirasi asoslangan. Natijada, ushbu texnologiya ochiq standartdan foydalanish, hududiy obyektlarni maqbul qamrab olish, mamlakatimiz temir yo'llarida mahalliyashtirilgan holda tatbiq etish imkonini bergan va tashishlarni tezkor boshqarish sifatining yangi darajasiga o'tishni ta'minlaydi.

2. Tashishlarni tezkor boshqarishni axborot bilan ta'minlashning ma'lumotlarni real vaqt rejimida qayta ishlash imkonini beruvchi raqamlashtirilgan yondashuvi ishlab chiqilgan va dinamik tuzilmali ma'lumotlar bazasi loyihalangan.

Natijada harakatlanuvchi tarkib va konteynerlar faoliyati to'g'risidagi ma'lumotlarni to'plash va qayta ishlashda inson omilini istisno qilingan, transport jarayoni modelining ma'lumotlar sifatini oshirilgan va transportni tezkor boshqarishda boshqaruv qarorlarini samarali qabul qilish imkoniyati yaratilgan.

3. Vagon modeli va yuklash arizalari ma'lumotlari bilan avtomatik ta'minlashni hisobga olgan holda smenali-sutkalik va joriy rejalashtirish jarayonlarini raqamlashtirish asosida mahalliy ishlarni boshqarish texnologiyasi takomillashtirilgan. Natijada optimal ravishda smena-sutkalik va joriy rejalashtirish tufayli mahalliy ishlarda ishtirok etadigan bo'sh vagonlarning harakatlanishini 1,1 barobarga kamaytirilgan.

4. Optimal tavsiflarga ega bo'lgan tashish resursini tanlashning parallel jarayonlarini hisobga olib Petri tarmog'i va Floyd-Uorshel algoritmi asosida yuklashning avtomatlashtirilgan rejalashtirish imitatsion modeli ishlab chiqilgan. Ishlab chiqilgan algoritmlar va dasturiy ta'minot komplekslaridan foydalanish optimal masofalar asosida yuklashni samarali rejalashtirishga, tashishda foydalanish xarajatlarini 1,07-1,2 barobar kamaytirishga imkon bergan.

5. Tajriba tadqiqotlar asosida harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni monitoringi uchun uzoq masofalarda ishlovchi simsiz texnologiyaning infratuzilmasini yaratish bo'yicha amaliy yechimlar ishlab chiqilgan. Natijada tarmoq serveri, aloqa va ma'lumotlarni uzatish uchun shlyuzlar, shuningdek, harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarning holati to'g'risida real vaqt rejimida aniq va ishonchli ma'lumotlarni taqdim etadigan vagonlarning joylashuvi, harorati va holatini kuzatuvchi qurilmalar tanlangan.

6. Simsiz texnologiyalarni qo'llash samaradorligini asoslash uchun Bayes tarmog'i usulidan foydalanish orqali ma'lumotlar sifatini baholashning imitatsion modeli ishlab chiqilgan. Natijada ma'lumotlar manbalardan mustaqil ravishda uzatilishi tufayli taklif etilayotgan simsiz aloqaga asoslangan texnologiya ma'lumotlarining sifati nuqtai nazaridan samaradorligi isbotlangan. Harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni avtomatik nazorat tizimini qo'llash tashishlarni tezkor boshqarishni yanada unumli tashkil etishga imkon bergan.

7. Axborot-tahliliy jarayonlarni raqamlashtirishni inobatga olib maksimal ishonchlilik algoritmi asosida mahalliy ishlarni rejalashtirish faktor-grafi o'zgaruvchilarining ehtimollik darajasi eng yuqori bo'lgan konfiguratsiyasini aniqlashning matematik modeli ishlab chiqilgan. Natijada ma'lumot manbalari va muqobil variantlarga qarab ma'lumotlar sifatini baholash va taqqoslash imkoni yaratilgan hamda shu orqali transportni tezkor boshqarishning axborot-tahliliy jarayonlarini raqamlashtirish samaradorligi asoslangan.

8. Harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni avtomatik monitoring qilish tizimini ishlab chiqish talablari aniqlangan, shuningdek dasturiy ta'minot ko'rinishidagi instrumental vositalar ishlab chiqilgan. Natijada harakatlanuvchi tarkib va konteynerlarni avtomatik monitoring qilish tizimining muhim qismi sifatida ushbu instrumental vosita vagonlarning joylashuvi va holatini real vaqt rejimida ishonchli kuzatishni ta'minlagan, shu jumladan ma'lumotlarni filtrlash imkonini bergan.

9. Tadqiqot natijalari “O‘zbekiston temir yo‘llari” AJda joriy etilgan. Natijada transport jarayonida harakatlanuvchi tarkib va konteynerlardan maqbul foydalanish, yuk ortish uchun vagonlarni yanada samarali taqsimlash va tushirish uchun vagonlarni yetkazib berish imkoniyati yaratilgan. Temir yo‘l transportini tezkor boshqarish axborot-tahliliy jarayonlarini raqamlashtirish uchun ishlab chiqilgan texnologiyalarni joriy etishdan kutilayotgan yillik iqtisodiy samarasi 1 448,7 mln. so‘mni tashkil etgan.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ
СТЕПЕНЕЙ НА ОСНОВЕ НАУЧНОГО СОВЕТА
PhD.15/31.08.2022.T.73.01 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТРАНСПОРТНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТРАНСПОРТНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

КАМАЛЕТДИНОВ ШОХРУХ ШУХРАТОВИЧ

**ЦИФРОВИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПЕРЕВОЗКАМИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

05.08.03 – Эксплуатация железнодорожного транспорта

**АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ (DSc)
ДИССЕРТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

Ташкент – 2024

Тема докторской (DSc) диссертации по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за №B2023.3.DSc/T682.

Докторская диссертация выполнена в Ташкентском государственном транспортном университете.

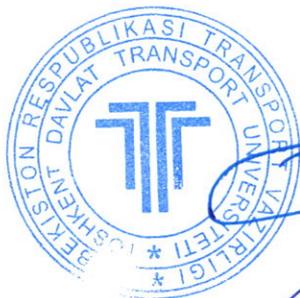
Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.tstu.uz) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный консультант:	Арипов Назиржан Мукарамович доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Нурмухамедов Толаниддин Рамзиддинович доктор технических наук, доцент Мухаметжанова Айжан Весмовна доктор технических наук, профессор Рахмангулов Александр Нельевич доктор технических наук, доцент
Ведущая организация:	Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

Защита диссертации состоится 24 октября 2024 г. в 15⁰⁰ часов на заседании разового Научного совета на основе Научного совета PhD.15/31.08.2022.T.73.01 при Ташкентском государственном транспортном университете. Адрес: 100167, г. Ташкент, ул. Темирийулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного транспортного университета (регистрационный номер - 186). Адрес: 100167, г. Ташкент, ул. Темирийулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-05-66.

Автореферат диссертации разослан 11 октября 2024 года.
(реестр протокола рассылки №49 от 10 октября 2024 года).



Ж.Ф. Курбанов
Председатель научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н. (DSc), профессор

Ш.М. Суюнбаев
Ученый секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н. (DSc), профессор

Д.Х. Баратов
Председатель научного семинара
при научном совете по присуждению
учёных степеней, д.т.н. (DSc), профессор

Введение (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое внимание уделяется развитию систем управления перевозками на железнодорожном транспорте с применением цифровых технологий. Учитывая, что в мировом масштабе «...рынок цифровых железных дорог достигнет 77,2 миллиарда долларов в 2027 году при совокупном годовом темпе роста 9,9%...¹», такая тенденция объясняется растущим спросом на более эффективные и экономичные решения для управления перевозками, в связи с чем возникает необходимость в цифровизации оперативных процессов управления для формирования эффективной транспортной системы. В этой связи особое внимание уделяется разработке систем мониторинга подвижного состава целью оптимального планирования и оперативного управления перевозками, разработке технологий применения технических средств сбора данных о перевозочном процессе, а также разработке математических моделей технологического процесса обработки данных для принятия управленческих решений.

В мире ведутся научно-исследовательские работы, направленные на цифровизацию систем организации перевозок, развитие систем поддержки принятия решений на основе цифровых технологий, совершенствование систем управления парком подвижного состава и систем планирования перевозочного процесса. В этом направлении необходимо провести ряд исследований, являющихся приоритетными, в том числе по цифровизации процессов оперативного управления перевозками на основе беспроводных технологий с использованием достижений науки. При этом одной из актуальных задач является разработка решений по техническому и функциональному обеспечению автоматической системы мониторинга подвижного состава и контейнеров, которая будет служить основой для оперативного управления перевозками.

В Республике осуществляются широкомасштабные мероприятия по развитию цифровизации процессов управления перевозками, а также научно обоснованных методов организации планирования местной работы, и при этом достигнуты определенные результаты в этой области. В Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-329 от 10 октября 2023 года «О мерах по коренному реформированию сферы железнодорожного транспорта Республики Узбекистан»² определены такие важные цели, как «цифровизация бизнес-процессов..., внедрение современных методов управления..., ускорение работ по трансформации и цифровизации железнодорожной сферы, обеспечение качества, безопасности, устойчивости, надежности и бесперебойности процесса оказания услуг ...». В реализации этих целей, разработка методов сбора и обработки данных перевозочного процесса на основе беспроводных технологий, а также разработка научно

¹ <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/digital-railway-global-market-report>

² <https://lex.uz/uz/docs/-6631602>

обоснованных решений по созданию автоматической системы мониторинга перевозочного процесса считаются необходимыми задачами.

Диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», Постановлениях Президента Узбекистан №ПП-4422 от 22 августа 2019 года «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии», №ПП-4230 от 6 марта 2019 года «О мерах по кардинальному совершенствованию системы грузовых и пассажирских перевозок» и «Дорожная карта» по его реализации, а также № ПП-4699 от 28 апреля 2020 года «О мерах по широкому внедрению цифровой экономики и электронного правительства», а также в иных правовых документах, связанных с данным видом деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики IV «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации³. Исследование в области цифровизации процессов управления перевозками во многих странах осуществляется масштабно и грамотно ведущими научными центрами и высшими образовательными учреждениями, в том числе: University of Illinois at Urbana-Champaign (США), Massachusetts Institute of Technology (США), University of Melbourne (Австралия), Delft University of Technology (Нидерланды), Beijing Jiaotong University (Китай), University of Tokyo (Япония), Swiss Federal Institute of Technology Zurich (Швейцария), Tsinghua University (Китай), Петербургский государственный университет путей сообщения (Россия), Российский университет транспорта (МИИТ), Technical University of Munich (Германия).

В результате международных исследований по цифровизации процессов управления перевозками на железнодорожном транспорте были получены ряд научных результатов. В частности, разработана единая цифровая инфраструктура для управления перевозками (Европейский союз), разработана сеть интеллектуальных железных дорог (Китай), автоматизированы процессы мониторинга подвижного состава и управления перевозками для сокращения задержек (Россия, США), применяется искусственный интеллект для безопасности и эффективности перевозочного процесса (Япония).

³ Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации выполнен на основании <https://illinois.edu/>, <https://www.mit.edu/>, <https://www.unimelb.edu.au/>, <https://www.tudelft.nl/en/>, <http://en.njtu.edu.cn/>, <https://www.u-tokyo.ac.jp/en/>, <https://www.tsinghua.edu.cn/en/>, <https://www.pgups.ru/>, <https://www.tum.de/en/>, <https://ethz.ch/en.html> и других источников

В мире ведутся исследования по цифровизации оперативного управления перевозками грузов по следующим направлениям: создание централизованных платформ для сбора, хранения и анализа данных о движении поездов, состоянии инфраструктуры и грузопотоках, использование искусственного интеллекта для оптимизации расписаний поездов, предсказание трафика, управление грузами и решение проблемных ситуаций в реальном времени, внедрение датчиков и устройств беспроводных сетей на железнодорожных путях, вагонах и сигнальных системах для непрерывного мониторинга и сбора данных о перевозочном процессе, защита железнодорожных систем от кибератак и укрепление кибербезопасности важных данных.

Степень изученности проблемы. Научно-исследовательские работы по разработке теории совершенствования оперативного управления перевозочными процессами осуществлялись рядом известных исследователей, таких как: В.С. Климанов, Г.М. Грошев, Л.П. Тулупов, Б. Дел Рио, Б.А. Завьялов, В.А. Буянов, Е.М. Тишкин, И.В. Харланович, В.В. Сапожников, В.М. Лысенков, Ю.С. Хандкаров, Н.Д. Слободянюк, Е.А. Сотников, С.Ю. Елисеев, А.С. Гершвальд, Э.С. Поддавашкин, А.Н. Рахмангулов, Ю.В. Куприяновская, К. Voeckl, Shi-Wan Lin, Mark Crawford, Stephen Mellor, S. Karmalkar, Н. Patil, Sh. Patel, D. Pund , В. Quazi, Y. Ding, M. Jin, S. Li, D. Feng и многими другими.

В Республике Узбекистан исследованием вопросов организации движения грузовых поездов, оперативного планирования при организации вагонопотоков на участках, развития современных средств железнодорожной автоматики и телемеханики при управлении перевозками, улучшения эксплуатационных показателей железнодорожного транспорта за счет совершенствования перевозочного процесса путем автоматизации, занимались ряд учёных. В частности, Р.З. Нурмухамедов, К.Т. Худайбергенов, Н.М. Арипов, М.Х. Расулов, Т.Р. Нурмухамедов, Ж.Ф. Курбанов, Ш.М. Суюнбаев, М.Н. Машарипов, С.К. Худайбергенов, У.Н. Ибрагимов, А.А. Светашев, Д.Б. Бутунов, Ш.Х. Буриев, С.А. Абдукодиров и другие, которые в разные годы в рамках своих исследований в данной области добились положительных результатов.

Несмотря на значительные успехи, до сих пор в недостаточной степени изучена технология цифровизации процессов оперативного управления перевозками на основе современных сетей передачи данных, в том числе технология разработки автоматических систем мониторинга подвижного состава, методы оценки качества данных используемых в принятии решений по управлению перевозками. В данной диссертационной работе предложены эффективные технические и технологические решения по применению беспроводных сетей дальнего действия для совершенствования систем оперативного управления перевозками, нового подхода информационного обеспечения оперативного управления перевозками, усовершенствованной технологии управления местной работой на основе цифровизации процессов сменно-суточного и текущего планирования, разработке имитационная

модель автоматизированного планирования погрузки, разработка имитационной модели оценки качества данных для обоснования эффективности применения беспроводных технологий в информационно-аналитических процессах, разработке математической модели определения наиболее вероятных конфигураций переменных фактор-графа планирования местной работы с учетом цифровизации информационно-аналитических процессов.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Результаты диссертационного исследования включены в план научно-исследовательских работ Ташкентского государственного транспортного университета, в том числе в рамках государственного гранта №IL-5321091554 на тему: «Решение проблемы погрузки интермодальных грузов в расширенной номенклатуре с помощью инновационной контейнерной платформы, а также новых технических и технологических решений» (2022 г.), а также в рамках хозяйственного договора №6/23 «Разработка Генерального плана развития транспортной и дорожной инфраструктуры города Гулистан» (2023 г.).

Целью исследования является цифровизация информационно-аналитических процессов оперативного управления перевозками на железнодорожном транспорте.

Задачи исследования:

исследование современного состояния и вопросов совершенствования систем оперативного управления перевозками на железнодорожном транспорте;

обоснование сфер применения беспроводных сетей дальнего действия для совершенствования систем оперативного управления перевозками с учетом специфики работы железнодорожного транспорта;

разработка цифрового подхода информационного обеспечения оперативного управления перевозками, позволяющий осуществлять обработку данных в режиме реального времени и спроектировать базу данных с динамической структурой;

совершенствование технологии управления местной работой на основе цифровизации процессов сменно-суточного и текущего планирования;

разработка имитационной модели автоматизированного планирования погрузки с учетом параллельных процессов выбора погрузочного ресурса с оптимальными характеристиками;

разработка практических решений по созданию инфраструктуры беспроводной технологии дальнего действия для мониторинга подвижного состава и контейнеров;

разработка имитационной модели оценки качества данных для обоснования эффективности применения беспроводных технологий за счет независимой передачи информации от самих источников;

разработка математической модели планирования местной работы с учетом цифровизации информационно-аналитических процессов;

определение требований к разработке автоматической системы мониторинга подвижного состава и контейнеров, а также разработка инструментальных средств в виде программного обеспечения.

Объектом исследования являются системы оперативного управления перевозками на железнодорожном транспорте.

Предметом исследования являются информационно-аналитические процессы оперативного управления перевозками.

Методы исследования. В исследовании были применены подходы системного анализа, математического и имитационного моделирования, а также методы из области теории алгоритмов, графов и вероятностей.

Научная новизна исследования:

обоснована сфера применения беспроводных сетей дальнего действия для совершенствования систем оперативного управления перевозками с учетом специфики работы железнодорожного транспорта на основе методов сравнительного анализа;

разработан цифровой подход предоставления информации на основе системы автоматического мониторинга подвижного состава и контейнеров для оперативного управления перевозками с использованием технологии беспроводной сети, позволяющий осуществлять обработку данных в режиме реального времени;

усовершенствована технология управления местной работой на основе цифровизации процессов сменно-суточного и текущего планирования с учетом автоматического обеспечения данных о вагонной модели и заявках на погрузку за счёт непосредственного мониторинга баланса порожних и груженых вагонов;

разработана имитационная модель автоматизированного планирования погрузки на основе сети Петри и алгоритма Флойда-Уоршела с учетом параллельных процессов выбора погрузочного ресурса с оптимальными характеристиками с применением симулятора HPSim и языка программирования Java;

разработана имитационная модель оценки качества данных на основе метода Байесовской сети для обоснования эффективности применения беспроводных технологий в информационно-аналитических процессах с обеспечением прямой связи технологических процессов передачи информации о подвижном составе в симуляторе GeNie;

разработана математическая модель определения наиболее вероятных конфигураций переменных фактор-графа планирования местной работы на основе алгоритма максимального правдоподобия с учётом требований цифровизации информационно-аналитических процессов взаимного согласования вагонной модели и заявок на погрузку грузов.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

спроектирована база данных с динамической структурой для автоматической системы мониторинга подвижного состава и контейнеров, с учетом предоставления данных в гибкой форме;

разработаны практические решения по созданию инфраструктуры беспроводной технологии дальнего действия для мониторинга подвижного состава и контейнеров, на основе экспериментальных исследований;

определены требования к разработке автоматической системы мониторинга подвижного состава и контейнеров, с учетом установленных рекомендаций по установке технических устройств, архитектуре и потоку данных;

разработано инструментальное средство в виде программного обеспечения, предназначенное для мониторинга местоположения и состояния (порожний/груженный) вагонов.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования подтверждается требуемой степенью сходимости результатов теоретически обоснованных концепций, соответствием результатов математических моделей оценки качества выходных данных автоматической системы мониторинга подвижного состава и контейнеров (АСМПСК) с результатами экспериментальных испытаний, внедрением в практику предложений и рекомендаций, разработанных в рамках исследования.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования характеризуется в получении научно-теоретических основ, моделей и алгоритмов по цифровизации информационно-аналитических процессов оперативного управления перевозками, применение которых позволит увеличить качество принимаемых управленческих решений и повысить уровень эффективной эксплуатации подвижного состава за счет выполнения процессов в автоматическом режиме.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработанном программном модуле мониторинга вагонов, который позволит контролировать движение и состояние вагонов в реальном режиме времени, тем самым повысить эффективность управления вагонным парком. Программное обеспечение по нахождению оптимального погруженного ресурса позволит усовершенствовать процессы сменно-суточного планирования перевозок, а также разработанная база данных будет служить основой для реализации автоматизированной системы мониторинга подвижного состава и контейнеров.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по цифровизации информационно-аналитических процессов систем оперативного управления перевозками железнодорожного транспорта:

технология с применением нового подхода предоставления информации на основе системы автоматического мониторинга подвижного состава и контейнеров для оперативного управления перевозками с использованием технологии беспроводной сети, позволяющей осуществлять обработку данных в режиме реального времени внедрена в управлении Цифровизации АО «Ўзбекистон темир йўллари» (справка АО «Ўзбекистон темир йўллари» от 1 ноября 2023 года №07/3573-23). В результате получена возможность

оптимально использовать подвижной состав и контейнеры в перевозочном процессе и более эффективно управлять перевозками;

усовершенствованная технология управления местной работы с учетом автоматического обеспечения данных о вагонной модели и заявках на погрузку, включающего в себя автоматизированную технологию сменно-суточного и текущего планирования погрузки и выгрузки вагонов в внедрена управлении Маркетинга и логистики АО «Ўзбекистон темир йўллари» (справка АО «Ўзбекистон темир йўллари» от 1 ноябрь 2023 года №01/3573-23). В результате, за счет улучшения качества составленного плана местной работы получена возможность более эффективно распределять вагоны для погрузки, осуществлять развоз вагонов для выгрузки, организовать работу маневровых локомотивов.

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационной работы были доложены и обсуждены на 15 научно-практических конференциях, в том числе на 6 научных конференциях в базе SCOPUS, на 3 международных и 6 республиканских конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 37 научных работ, из них 3 статьи в зарубежных и 13 статей в республиканских научных журналах рекомендованных ВАК РУз, а также имеется 5 свидетельств на программу ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 192 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении подчеркнута актуальность работы, освещено современное состояние проблемы, уточнены цели и задачи, описан объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в республике, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность, теоретическая и практическая значимость, приведены сведения о внедрении результатов научных исследований в производство, сведения об опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Современное состояние и перспективы совершенствования систем оперативного управления перевозками железнодорожного транспорта**» рассматривается и проводится анализ развития и современное состояние систем оперативного управления перевозками на железнодорожном транспорте.

Из анализа существующей автоматизированной системы оперативного управления перевозками (АСОУП) на железных дорогах Узбекистана выявлены значительные недостатки, которые ограничивают ее эффективность и оперативность (рис. 1). Эти недостатки включают ограниченную интеграцию, низкий уровень мониторинга в реальном времени, ограниченную гибкость и зависимость от человеческого фактора.

Для устранения этих недостатков и совершенствования системы предлагается цифровизация процессов оперативного управления перевозками.

Цифровизация процессов в оперативном управлении перевозками на железнодорожном транспорте с использованием беспроводных технологий представляет собой значительный шаг в совершенствовании этой отрасли. В целом, применение беспроводных технологий для передачи данных в системах оперативного управления перевозками на железнодорожном транспорте позволяет существенно улучшить эффективность и безопасность перевозок, а также снизить затраты на эксплуатацию железнодорожного транспорта.

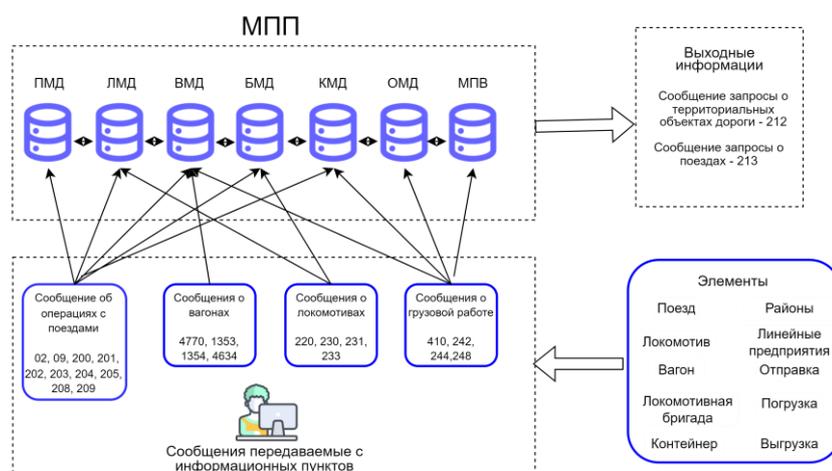


Рисунок 1. Модель перевозочного процесса АСОУП

Реализация беспроводных технологий в оперативном управлении перевозками направлена на создание информационной модели перевозочного процесса нового уровня. В этой главе определены направления совершенствования информационной модели перевозочного процесса на основе беспроводной сети.

В диссертации проанализированы различные беспроводные технологии, и в результате этого анализа сделан вывод в пользу протокола беспроводной связи LoRaWAN для мониторинга подвижного состава на железнодорожной магистрали Узбекистана. Существует несколько ключевых причин, почему LoRaWAN является оптимальным выбором: отсутствие ограничений на количество отправляемых сообщений; работает на дальних расстояниях; не требует лицензии на область применения; экономическая эффективность. Таким образом, LoRaWAN является наилучшим выбором для обеспечения мониторинга и управления вагонами на АО «Узбекистан темир йуллари». Данная технология обладает всеми необходимыми характеристиками для обеспечения надежной и эффективной передачи данных, что способствует улучшению оперативного управления перевозками на железнодорожных магистралях.

Для реализации мероприятий по совершенствованию информационной модели перевозочного процесса целесообразно разработать систему

автоматического мониторинга подвижного состава и контейнеров, которая будет обеспечивать качественными данными для оперативного управления перевозками.

Во второй главе «Исследование функционирования автоматической системы мониторинга подвижного состава и контейнеров» произведен системный анализ предлагаемой автоматической системы мониторинга подвижного состава и контейнеров (АСМПСК).

Основной целью автоматической системы мониторинга подвижного состава и контейнеров является информационное обеспечение оперативного управления перевозками железнодорожного транспорта в реальном масштабе времени. В состав элементов АСМПСК входит: поезд, вагон, локомотив, контейнер, датчики геолокации, датчики состояния вагонов, узлы, линейные предприятия. Структура системы построена на основе моделей перевозочного процесса (рис.2). Система состоит из моделей поездов, локомотивов, вагонов и контейнеров.

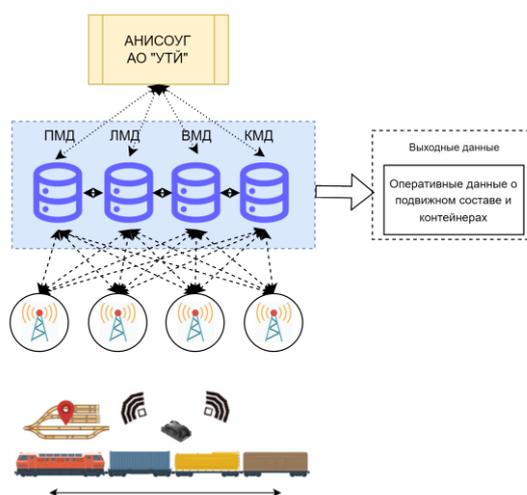


Рисунок 2. Структура автоматической системы мониторинга подвижного состава и контейнеров

Разработана функциональная модель системы на основе нотации IDEF0. Осуществлена декомпозиция системы с целью детализации потоков информации в системе. Данный метод формализации функционирования АСМПСК дает возможность наглядно ориентироваться при разработке самой системы. Входные и выходные данные четко представлены, что дает возможность учитывать взаимосвязи между другими системами.

Разработаны алгоритмы обработки данных вагонов, поступающих из датчиков местонахождения и состояния (рис. 3). Алгоритм обработки данных контейнеров разработан на основе поступающей информации от датчика местонахождения. Обработка данных локомотивов и поездов представлена в форме блок-схем в общем виде, так как локомотив непосредственно будет связан с поездом (рис. 4). Представленные алгоритмы обработки данных в этой главе служат основой для практической реализации данной системы.

Истории следования локомотивов и поездов взаимосвязаны. Местонахождение поезда зависит от локомотива. Датчики локомотива

передают информацию о местонахождении самого локомотива, если этот локомотив был привязан к поезду, то информация о геолокации будет общей и для поезда.

Структура базы данных является основой для информационных систем. Следует учитывать определенные правила для того, чтобы построить эффективную структуру. Есть разные нотации и методы разработки базы данных. Для проектирования структуры базы данных использована методика ER – диаграмм.

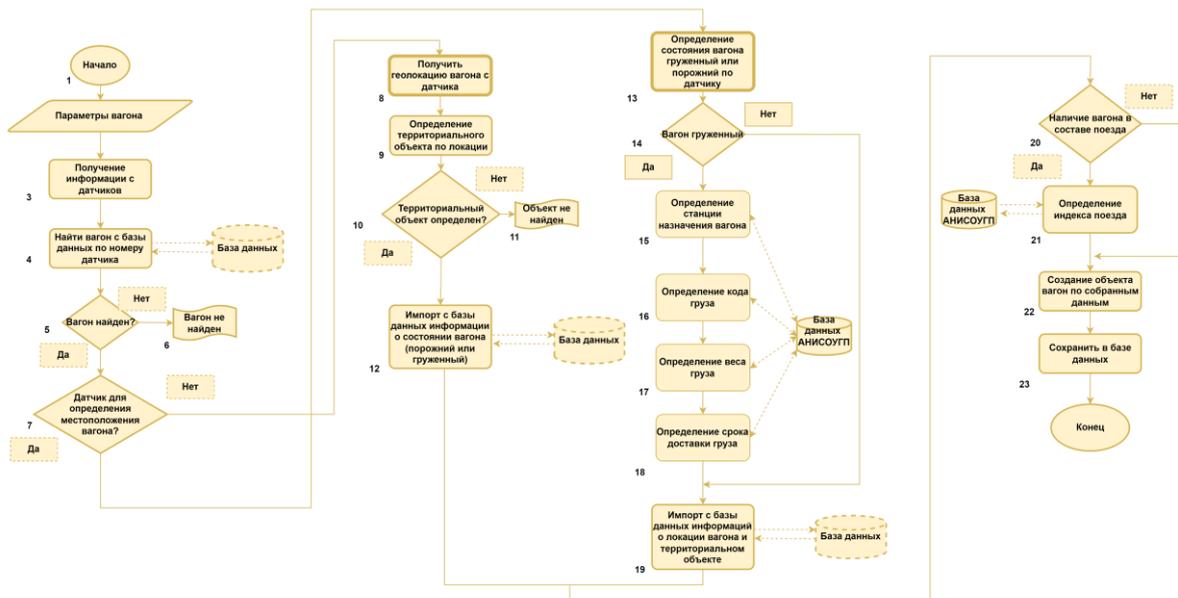


Рисунок 3. Алгоритм обработки данных о вагонах

Информация, предоставляемая системой, разделяется на две группы. Первая группа включает в себя информацию, которая зарождается в самой системе. Вторая группа информации импортируется из автоматизированной

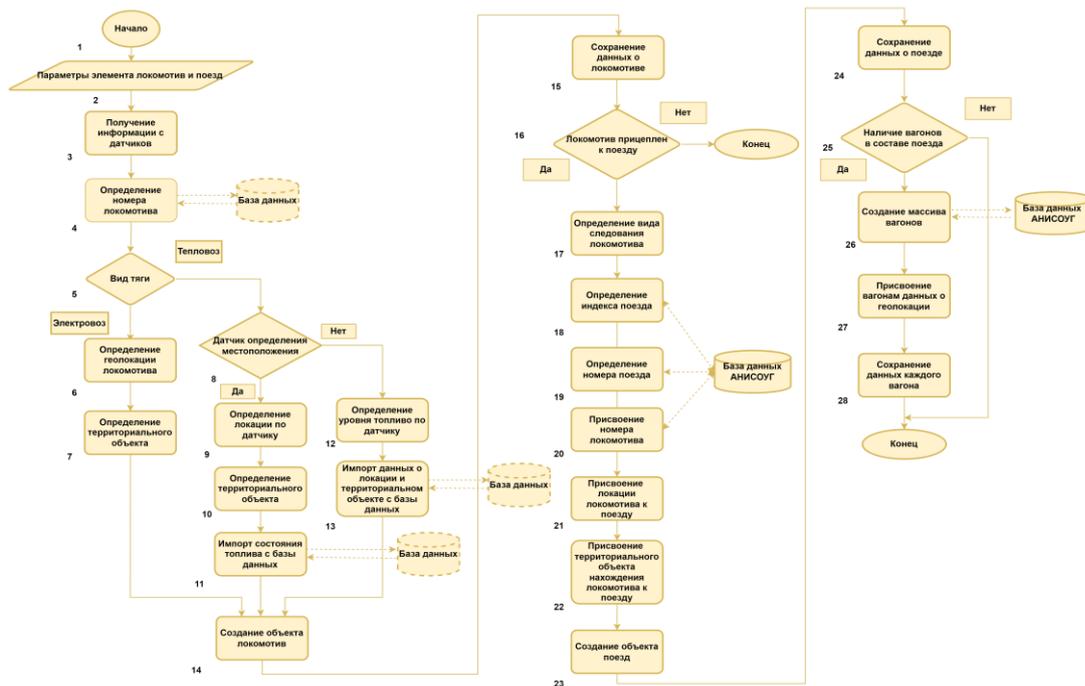


Рисунок 4. Алгоритм обработки данных о локомотивах и поездах

национальной информационной системы оперативного управления грузовыми перевозками (АНИСОУГП). В итоге получается полноценная выходная форма. Следует отметить, что недоступность импорта информации из АНИСОУГП не будет влиять на минимальную работоспособность системы.

Визуализация объектов на электронной карте будет вестись в автоматическом режиме. Справочная информация будут выходить по запросам пользователей.

Разработанная структура базы данных и составленные формы выходных данных автоматической системы мониторинга подвижного состава и контейнеров дают четкое представление о технологии работы самой системы. С помощью ER-диаграммы базы данных разработан программное обеспечение на языке PostgreSQL, который может быть использован для практической разработки системы. Выходные решения будут служить как основная информация для лиц, принимающих решения в процессе организации перевозок.

В третьей главе «**Цифровизация информационно-аналитических процессов системы управления местной работой**» исследованы вопросы цифровизации процессов систем сменно-суточного и текущего планирования, разработана имитационная модель автоматизированного сменно-суточного планирования погрузки на основе метода сети Петри, решена задача и разработано программное обеспечение по определению кратчайших путей до станций, где находятся порожние вагоны с помощью алгоритма Флойда-Уоршела.

Предлагается разработать автоматизированную систему управления местной работой (АСУМР), которая включает в себя системы сменно-суточного и текущего планирования. Разработана функциональная модель автоматизированной работы сменно-суточного планирования погрузки и выгрузки на основе нотаций IDEF0, IDEF1 и DFD (рис. 5). Большие функциональные блоки были декомпозированы для более четкого представления процессов обработки данных.

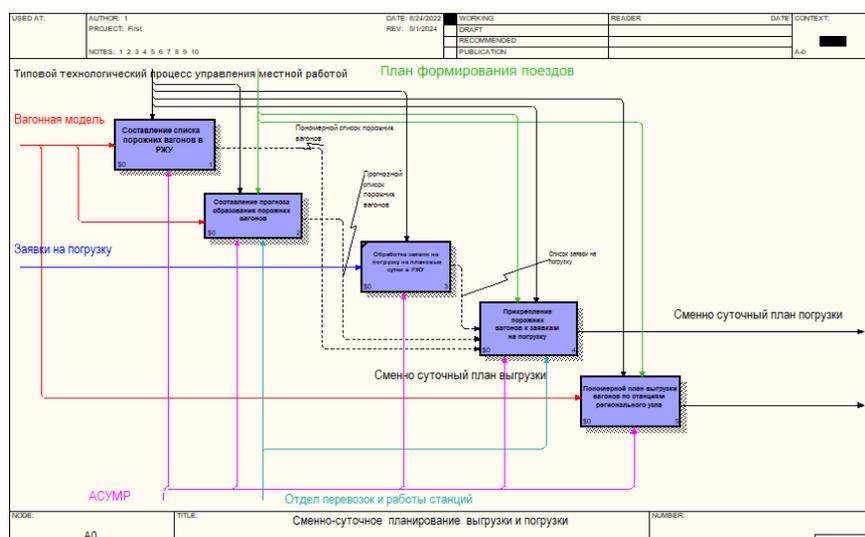


Рисунок 5. Функциональная модель (IDEF0) сменно-суточного планирования погрузки и выгрузки

Разработана функциональная модель автоматизированной работы текущего планирования (рис.6). Правовые-нормативные данные и сменно-суточные планы являются основой текущего планирования. На основе вагонной модели дороги, АСУМР в зависимости от сменно-суточных планов будет подготавливать несколько вариантов плана, для лиц, принимающих управленческие решения.

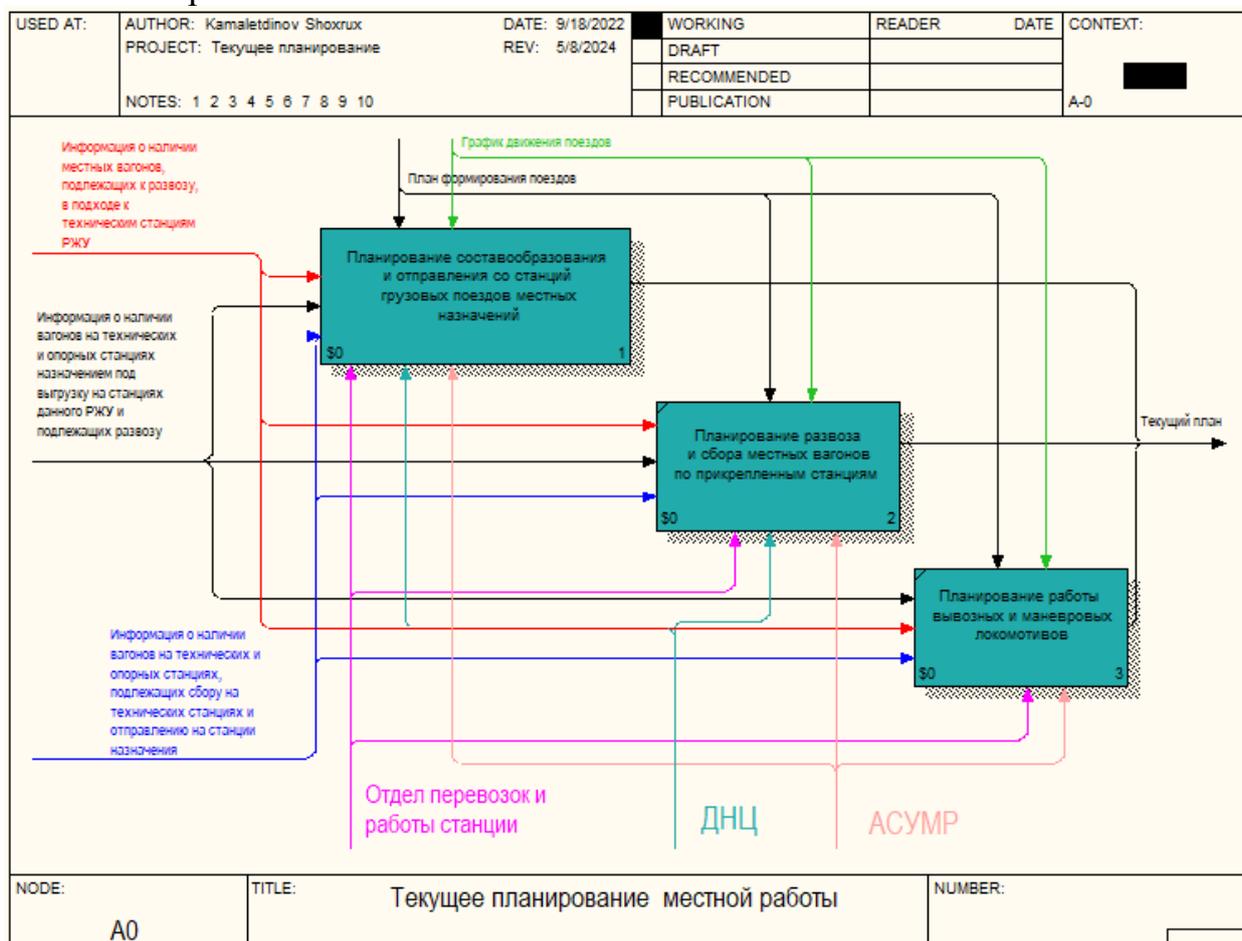


Рисунок 6. Функциональная модель (IDEF0) текущего планирования местной работы

Имитационная модель, созданная с помощью сети Петри, дает четкое представление о последовательности действий и логической связи между позициями (рис. 7). Имитационная модель была разработана с помощью программы HPSim. Осуществлена проверка правильности работы системы на основе сети Петри. Имитация хода фишек по сети дает возможность определить уязвимые места системы. Поскольку планирование погрузки осуществляется в автоматизированном режиме, метод сети Петри отлично подходит для определения работоспособности процессов такого рода.

Для сети Петри (рис.6) расширенными входными и выходными функциями являются:

$$M = (P, T, I, O, \mu), \quad (1)$$

$$P = (p_0, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}, p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{14}, p_{15}, p_{16}, p_{17}), \quad (2)$$

$$T = \begin{pmatrix} t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}, \\ t_{12}, t_{13}, t_{14}, t_{15}, t_{16}, t_{17}, t_{18}, t_{19}, t_{20} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

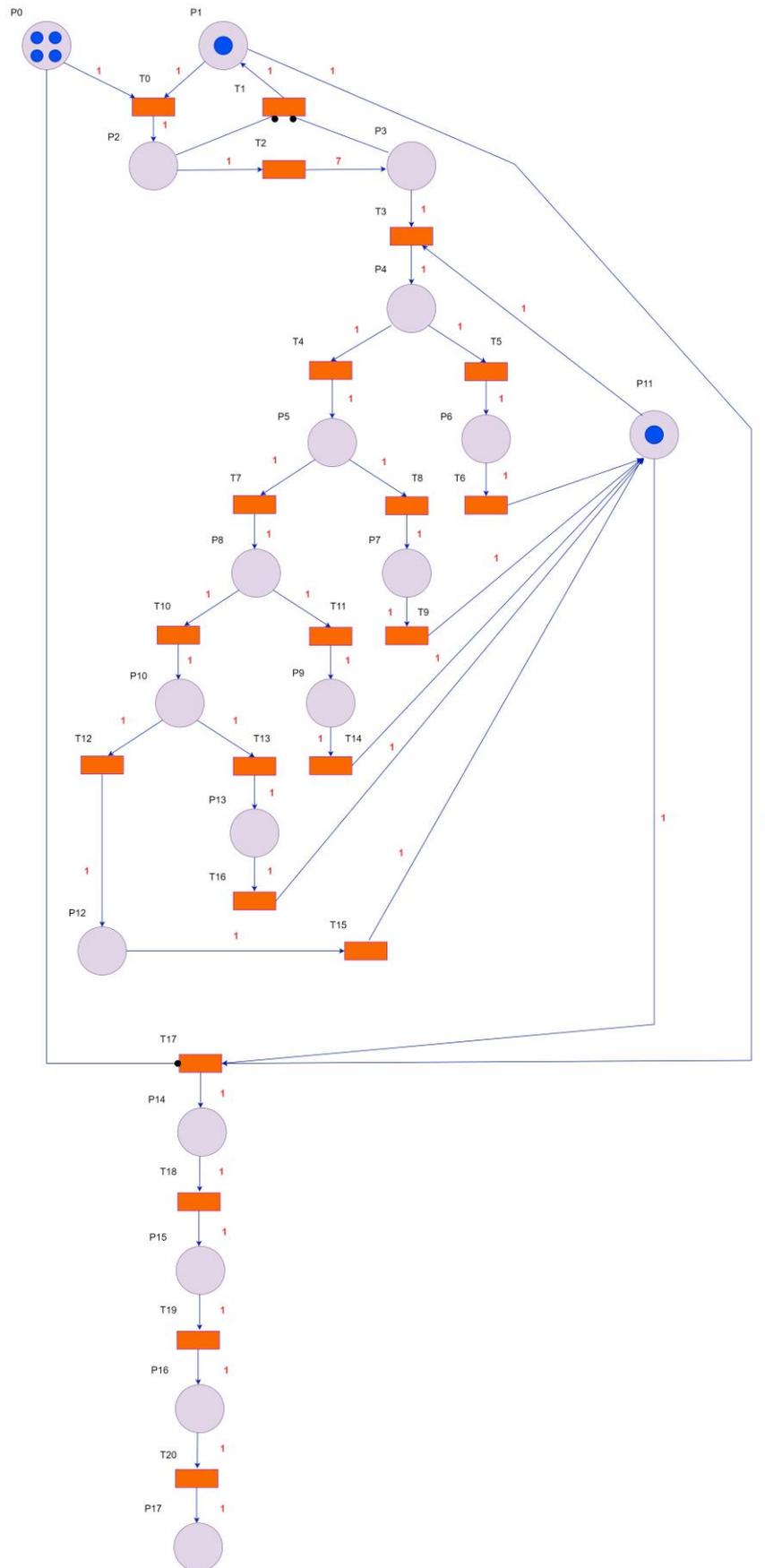


Рисунок 7. Сеть Петри сменного-суточного планирования погрузки

При планировании погрузки для определения кратчайшего пути между станциями РЖУ был использован алгоритм Флойда-Уоршела.

Имеем граф $G = (V, E)$, в котором каждая вершина пронумерована от 1 до $|V|$. Сформируем матрицу смежности D . Эта матрица имеет размер $|V| * |V|$ и каждому ее элементу D_{ij} присвоен вес ребра w , соединяющего вершину i с вершиной j . Заметим, что в силу ориентированности графа G матрица D может быть несимметричной.

$$D_{ij} = \begin{cases} w(i, j), & \text{если } (i, j) \in E \\ \infty, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (4)$$

$$D_{ii} = 0, \forall i. \quad (5)$$

Для каждой пары вершин i и j пересчитываем расстояние D_{ij} через промежуточные вершины k , если это уменьшит текущее значение D_{ij} .

$$D_{ij}^{k+1} = \min(D_{ij}^k, D_{ik}^k + D_{kj}^k). \quad (6)$$

При условии:

1. Не отрицательность расстояний:

$$D_{ij}^k \geq 0, \forall i, j, k. \quad (7)$$

2. Исключение отрицательных циклов:

$$D_{ij}^k + D_{ji}^k \geq 0, \forall i, j, k. \quad (8)$$

3. Учет только положительных весов ребер:

$$w(i, j) \geq 0, \forall (i, j) \in E. \quad (9)$$

Вначале составляется таблица инцидентности (табл.3.3-3.4) для создания массива расстояний между станциями. Этот массив данных является основой для дальнейших расчетов. Массив расстояний между станциями передается в главный метод расчета с параметрами поиска (начальная и конечная станция). На первом этапе определяются самые кратчайшие расстояния между станциями, затем находятся искомые расстояния между станциями.

На языке Java была написана программа для реализации алгоритма. С помощью этой программы можно определить самые кратчайшие пути станций, где находятся порожние вагоны.

В четвертой главе «**Практическая реализация и обоснование цифровизации процессов оперативного управления перевозками**» разработаны технологические решения по созданию инфраструктуры беспроводной сети LoRaWAN, разработана рабочая модель с применением беспроводной сети LoRaWAN для отслеживания подвижного состава, произведена оценка качества данных для обоснования эффективности применения беспроводных технологий, разработана математическая модель оценки качества выходных данных планирования местной работы методом фактор графа.

Для развертывания инфраструктуры беспроводной сети LoRaWAN были проведены исследования и тестирования различных компонентов. В результате этих исследований выбраны определенные решения для создания приватной сети. Для обеспечения функциональности сетевого сервера использован сетевой

сервер от компании Actility, который успешно прошел опытные проверки. Для обеспечения связи и передачи данных с датчиков к сетевому серверу было решено использовать шлюзы от производителей Kerlink и Browan (рис. 8). Эти устройства показали отличную производительность и надежность. Для отслеживания различных параметров вагонов, таких как местоположение, температура и состояние (порожний или груженный), выбраны следующие устройства: Abeeway Compact Tracker для местоположения, Sentrius RS1xx для мониторинга температуры, Netvox R718J2 для отслеживания состояния вагонов (рис. 9). Эти устройства и элементы позволят нам получать точную и надежную информацию о состоянии подвижного состава и контейнеров в реальном времени.



Рисунок 8. Шлюзы сети LoRaWAN



Рисунок 9. Датчики сети LoRaWAN

Разработанная рабочая модель для отслеживания движения вагонов на основе сети LoRaWAN представляет собой важный этап в апробации данной технологии. Эта модель позволила выявить потенциальные сложности и особенности функционирования сети LoRaWAN, что будет весьма полезным для разработки более крупных проектов. Разработка данной модели не вызвало значительных трудностей благодаря хорошим условиям, предоставляемым платформами для разработки на базе сети LoRaWAN. Реализация реального проекта системы отслеживания подвижного состава на основе рабочей модели станет более эффективной.

Для создания рабочей модели выполнены следующие действия:

1. Регистрация в сетевом сервере;
2. Подключение шлюза к сетевому серверу;
3. Подключение датчиков к сетевому серверу;
4. Создание подключения сторонней платформы для визуализации и анализа данных.

Для обоснования преимуществ предлагаемой технологии при мониторинге железнодорожного подвижного состава целесообразно использовать критерий качества данных. Использован метод Байесовской сети для выполнения расчетов по определению качества данных конечных результатов, для этого выполнены следующие задачи:

1. Представлены технологические схемы работы систем мониторинга железнодорожного подвижного состава.
2. Составлены Байесовские сети.
3. Определены априорные вероятности событий.
4. Выполнен расчет вероятности отдельных событий.
5. Выполнены сравнения качества выходных данных систем.

Автоматическая система мониторинга подвижного состава и контейнеров (АСМПСК) выполняет мониторинг местонахождения подвижного состава и контейнеров, а также состояния вагонов (порожний или груженный). Датчики, установленные на объектах слежения, отправляют информацию на шлюзы, которые должны устанавливаться на станциях и на поездных локомотивах. Шлюзы перенаправляют информацию в сетевой сервер (сеть LoRaWAN). Сетевой сервер после обработки информации отправляет ее серверу АСМПСК (рис. 10).

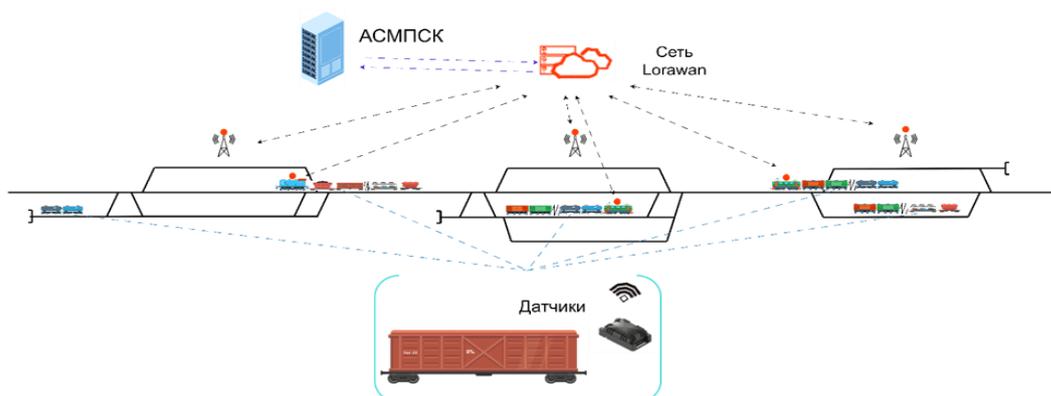


Рисунок 10. Технологическая схема работы АСМПСК

Сравнение качества данных в двух системах будет осуществляться по одинаковым условиям. Объектом исследования будет служить железнодорожный участок со сборным поездом. Сборный поезд будет проходить через участок, совершая определенные действия на попутных станциях.

Байесовская сеть для системы АСОУП состоит из трех множеств переменных A' , B' и S' . Множество A' включает в себя операции с поездами, множество B' включает в себя отправленные сообщения о совершенных операциях с поездами, а множество S' переменные, контрольные события для оценки качества данных.

$$A' = \{A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6\}, \quad (10)$$

$$B' = \{B'_1, B'_2, B'_3, B'_4, B'_5, B'_6\}, \quad (11)$$

$$S' = \{S'_1, S'_2, S'_3\}. \quad (12)$$

Байесовская сеть для системы АСМПСК тоже состоит из трех множеств переменных: A'' , B'' и S'' , так как исследуются одинаковые операции. Множество A'' включает в себя операции с поездами, множество B'' включает в себя отправку информации с датчиков и множество S'' переменные, контрольные события для оценки качества данных.

$$A'' = \{A''_1, A''_2, A''_3, A''_4, A''_5, A''_6\}, \quad (13)$$

$$B'' = \{B''_1, B''_2, B''_3, B''_4, B''_5, B''_6\}, \quad (14)$$

$$S'' = \{S''_1, S''_2, S''_3\}, \quad (15)$$

Контрольными событиями для сравнения качества данных будут служить множества S' и S'' .

Зададим условия для расчета вероятностей. Все действия с поездами выполнены, следует определить вероятности о местонахождении и состоянии вагонов поезда.

Вероятность переменных множества S' при заданных условиях определяется следующим образом:

$$P(S'_1 | A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6) = \frac{P(S'_1=1, A'_1=1, A'_2=1, A'_3=1, A'_4=1, A'_5=1, A'_6=1)}{P(A'_1=1, A'_2=1, A'_3=1, A'_4=1, A'_5=1, A'_6=1)}, \quad (16)$$

$$P(S'_2 | A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6) = \frac{P(S'_2=1, A'_1=1, A'_2=1, A'_3=1, A'_4=1, A'_5=1, A'_6=1)}{P(A'_1=1, A'_2=1, A'_3=1, A'_4=1, A'_5=1, A'_6=1)}, \quad (17)$$

$$P(S'_3 | A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6) = \frac{P(S'_3=1, A'_1=1, A'_2=1, A'_3=1, A'_4=1, A'_5=1, A'_6=1)}{P(A'_1=1, A'_2=1, A'_3=1, A'_4=1, A'_5=1, A'_6=1)}. \quad (18)$$

С помощью программного средства GeNie определим вероятности всех событий в АСОУП (рис. 11) по заданным условиям ($A'_1 = 1, A'_2 = 1, A'_3 = 1, A'_4 = 1, A'_5 = 1, A'_6 = 1$).

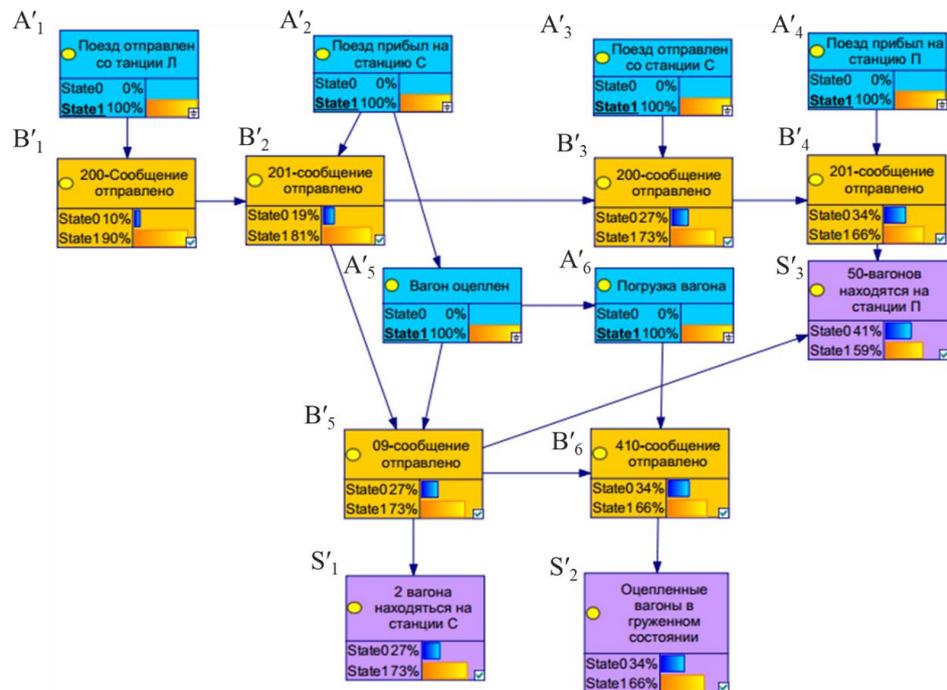


Рисунок 11. Вероятности переменных в Байесовской сети АСОУП при заданных условиях

Вероятность переменных множество S'' при заданных условиях определяется следующим образом:

$$P(S''_1 | A''_2, A''_5, A''_6) = \frac{P(S''_1=1, A''_2=1, A''_5=1, A''_6=1)}{P(A''_2, A''_5, A''_6)}, \quad (19)$$

$$P(S''_2 | A''_2, A''_5, A''_6) = \frac{P(S''_2=1, A''_2=1, A''_5=1, A''_6=1)}{P(A''_2, A''_5, A''_6)}, \quad (20)$$

$$P(S''_3 | A''_4) = \frac{P(S''_3=1, A''_4=1)}{P(A''_4)}. \quad (21)$$

С помощью программного средства GeNIe определим вероятности событий в АСМПСК (рис.12) по заданным условиям ($A''_1 = 1, A''_2 = 1, A''_3 = 1, A''_4 = 1, A''_5 = 1, A''_6 = 1$).

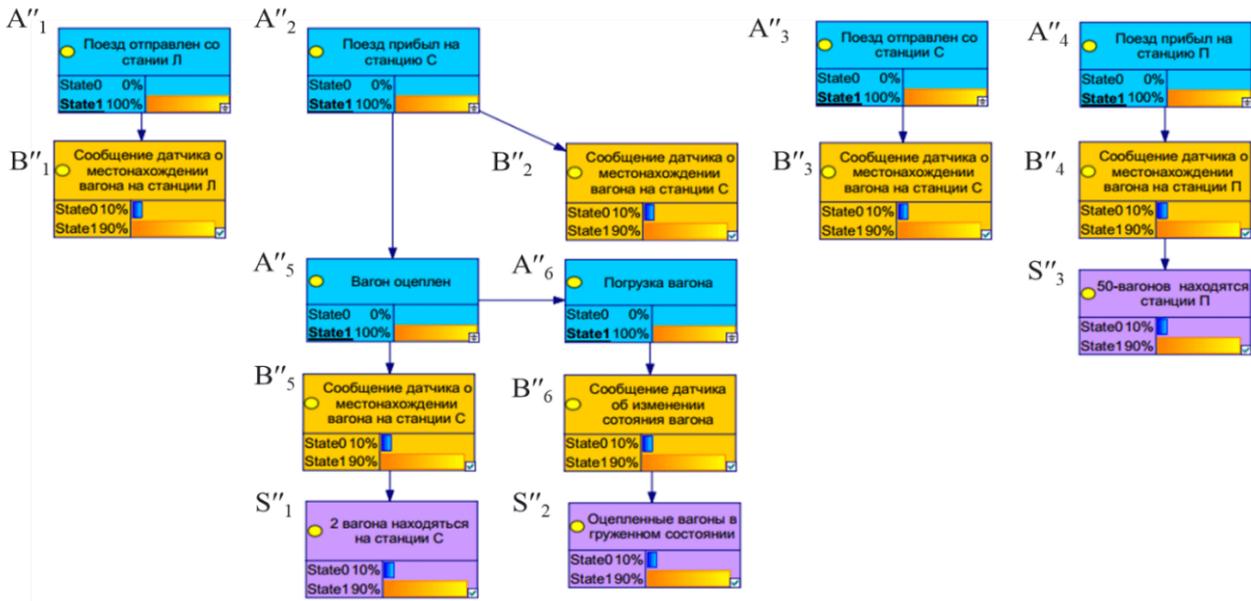


Рисунок 12. Вероятности переменных в Байесовской сети АСМПСК при заданных условиях

Для удобства представления результатов будем использовать дополнительные переменные. Контрольные переменные по заданным условиям будут принимать значение θ . Определим эти переменные для АСОУП и АСМПСК следующим образом.

$$\theta'_1 = P(S'_1 | A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6), \quad (22)$$

$$\theta'_2 = P(S'_2 | A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6), \quad (23)$$

$$\theta'_3 = P(S'_3 | A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6), \quad (24)$$

$$\theta''_1 = P(S''_1 | A''_2, A''_5, A''_6), \quad (25)$$

$$\theta''_2 = P(S''_2 | A''_2, A''_5, A''_6), \quad (26)$$

$$\theta''_3 = P(S''_3 | A''_4). \quad (27)$$

Вероятности контрольных событий

№	Событие	АСОУП	АСМПСК
1	2 вагона находятся на станции С	$\theta'_1 = 0,73$	$\theta''_1 = 0,9$
2	Оцепленные вагоны в грузежном состоянии	$\theta'_2 = 0,66$	$\theta''_2 = 0,9$
3	50 вагонов находятся на станции П	$\theta'_3 = 0,59$	$\theta''_3 = 0,9$

В результате сравнения качества данных контрольных событий мы видим значительное преимущество в пользу АСМПСК (табл.1).

Нужно отметить важность событий, связанных с отправлением сообщений. Важный момент это своевременное и достоверное информирование о совершенных действиях с поездами. Проанализируем результаты вероятности событий по отправке сообщений в обеих системах. Основное внимание необходимо обратить на те сообщения, которые информируют о местонахождении подвижного состава. Мы проанализируем именно эти сообщения.

Для удобства обозначим вероятность событий по отправке сообщений по заданным условиям для АСОУП за μ' и АСМПСК за μ'' следующим образом.

$$\mu'_1 = P(B'_1 | A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6), \quad (28)$$

$$\mu'_2 = P(B'_2 | A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6), \quad (29)$$

$$\mu'_3 = P(B'_3 | A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6), \quad (30)$$

$$\mu'_4 = P(B'_4 | A'_1, A'_2, A'_3, A'_4, A'_5, A'_6) \quad (31)$$

$$\mu''_1 = P(B'_1 | A'_1), \quad (32)$$

$$\mu''_2 = P(B'_2 | A'_2), \quad (33)$$

$$\mu''_3 = P(B'_3 | A'_3), \quad (34)$$

$$\mu''_4 = P(B'_4 | A'_4). \quad (35)$$

По результатам расчетов получим значения μ'_i и сопоставим их между собой. С увеличением числа взаимосвязей уменьшается вероятность своевременного отправления сообщений. Несвоевременная отправка сообщения снижает качество данных.

$$\mu'_1 > \mu'_2 > \mu'_3 > \mu'_4. \quad (36)$$

По результатам расчетов получим значения μ''_j и сопоставим их между собой. Из-за отсутствия взаимосвязей между отправляемыми данными вероятность отправки сообщения о нахождении вагона на станции зависит от операций с вагонами. В итоге результаты получаются стабильными.

$$\mu''_1 = \mu''_2 = \mu''_3 = \mu''_4. \quad (37)$$

АСМПСК исключает человеческий фактор, включая субъективное

вмешательство, что увеличивает качество выходных данных. Независимые сообщения датчиков в реальном масштабе времени более достоверно показывают местонахождение и состояние вагонов. Качественные выходные данные способствуют эффективному использованию подвижного состава и улучшают качество принимаемых решений при организации движения поездов, тем самым снижая себестоимость перевозок грузов.

Исследование оценки качества планирования местной работы с использованием фактора графа и алгоритма максимального правдоподобия позволяет более детально рассмотреть влияние каждого компонента системы на качество её выходных данных. Использование алгоритма максимального правдоподобия в данном контексте дает возможность оценивать и сравнивать качество выходных данных АСУМР в зависимости от источников первичной информации и альтернативных вариантов. Этот подход позволяет более точно анализировать, влияние различных элементов системы на её общую производительность и надежность.

Предлагается автоматизировать процессы планирования погрузки с целью улучшения качества оперативного управления перевозками. Для этого следует использовать внешние источники для получения первичных данных. Основные системы для сбора данных:

1. Автоматизированная система оперативного управления перевозками (АСОУП).
2. Автоматизированная национальная информационная система оперативного управления грузовыми перевозками (АНИСОУГП).
3. Система Единое окно АО «Узбекистон темир йуллари» (E-nakl).

Автоматизированная система управления местной работой (АСУМР) будет обрабатывать входные данные по заданному алгоритму. Результаты работы системы характеризуется как основа для принятия управленческих решений. Диспетчерский персонал будет принимать решения по показаниям этой системы.

В этой работе определяется наиболее вероятная конфигурации переменных в фактор-графе процессов планирования местной работы. Алгоритм максимального правдоподобия (max-product) будет применяться как основной математический аппарат (рис. 13).

Совместная вероятность событий для фактор-графа на рис. 12 имеет следующий вид:

$$p(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9) = f_1(x_1, x_2) f_2(x_1, x_4) f_3(x_5, x_6) f_4(x_2, x_7) f_5(x_4, x_7) f_6(x_6, x_7) f_7(x_1, x_3) f_8(x_3, x_8) f_9(x_7, x_9) f_{10}(x_8, x_9). \quad (38)$$

Для определения максимального правдоподобия результатов планирования местной работы использована формула 36.

$$\max_{x_1, \dots, x_{10}} p(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}) = \max_{x_1, \dots, x_{10}} f_1(x_1, x_2) f_2(x_1, x_4) f_3(x_5, x_6) f_4(x_2, x_7) f_5(x_4, x_7) f_6(x_6, x_7) f_7(x_1, x_3) f_8(x_3, x_8) f_9(x_7, x_9) f_{10}(x_8, x_9). \quad (39)$$

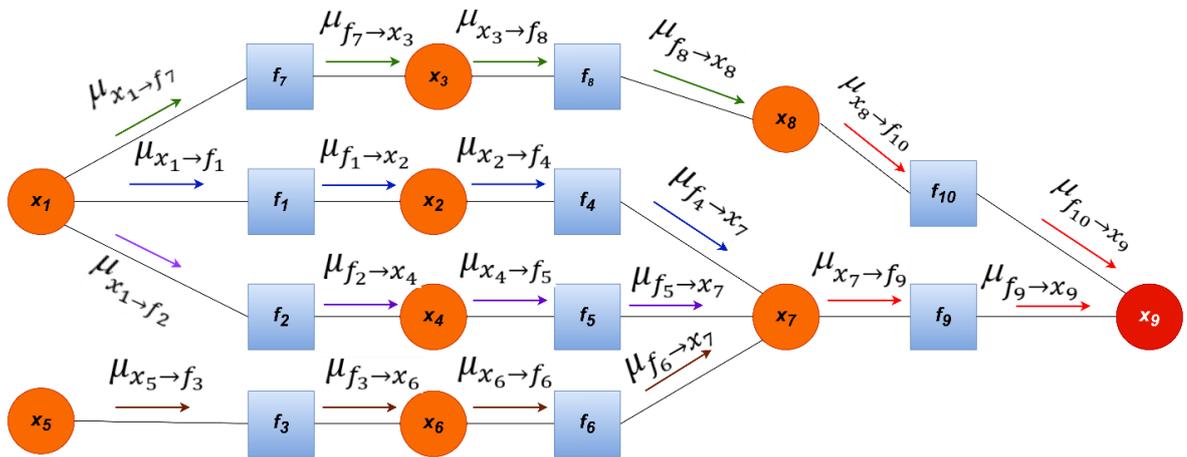


Рисунок 13. Фактор-граф планирования местной работы

Наиболее вероятные конфигурации переменных фактор-графа планирования местной работы можно написать следующим образом:
 $x_1^* = 2; x_2^* = 1; x_3^* = 1; x_4^* = 1; x_5^* = 1; x_6^* = 1; x_7^* = 1; x_8^* = 1; x_9^* = 1.$

Данные результаты говорят о том, что на каждом этапе планирования местной работы автоматизированное выполнение процессов обеспечивает наиболее вероятные конфигурации переменных. При этом обработка данных выполняется автоматическом режиме посредством АСУМР.

Фактор-граф можно условно разделить на 4 пути. Первый путь, отмеченный зелеными стрелками, предназначен для разработки сменно суточного плана выгрузки. Наиболее вероятные конфигурации переменных для этого пути можно написать: $x_1^* = 2; x_3^* = 1; x_8^* = 1.$

Второй путь, отмеченный синими стрелками, предназначен для разработки сменно суточного плана погрузки. Наиболее вероятные конфигурации переменных для этого пути можно написать: $x_1^* = 2; x_2^* = 1; x_7^* = 1.$

Третий путь, отмеченный фиолетовыми стрелками, предназначен для разработки сменно суточного плана погрузки. Наиболее вероятные конфигурации переменных для этого пути можно написать: $x_1^* = 2; x_4^* = 1; x_7^* = 1.$

Четвертый путь, отмеченный коричневыми стрелками, предназначен для разработки сменно суточного плана погрузки. Наиболее вероятные конфигурации переменных для этого пути можно написать: $x_5^* = 1; x_6^* = 1; x_7^* = 1.$

Использование алгоритма максимального правдоподобия даст возможность оценить качество выходных данных АСУМР. Можно сравнивать альтернативные варианты планирования погрузки в зависимости источников первичной информации.

Пятая глава «Требования к разработке АСМПСК и расчет экономической эффективности» посвящена разработке требований по проектированию АСМПСК, программного модуля слежения за вагоном, экономическим расчетам по определению затрат и эффективности от внедрения.

АСМПСК должна обеспечивать работу в основном и профилактическом режимах функционирования, гарантируя непрерывное функционирование 24/7. Требования также затрагивают эргономику и техническую эстетику пользовательского интерфейса, защиту информации от несанкционированного доступа и сохранность данных в случае аварийных ситуаций. Основные функции, которые должна выполнять система, включают в себя подготовку и предоставление информации о вагонах, поездах, локомотивах, контейнерах, а также анализ данных. Пользовательская роль в системе разделена на администратора и обычных пользователей, каждая из которых имеет свои функциональные возможности. Также были представлены требования к установке технических устройств, архитектуре и потоку данных, а также используемым языкам и стандартам при разработке системы.

Система слежения за вагонами, как часть автоматизированной системы мониторинга подвижного состава и контейнеров (АСМПСК), обеспечивает надежное отслеживание вагонов. Система разработана с использованием современных технологий, включая Java, JavaScript, и базу данных PostgreSQL, и развернута в облачных сервисах Heroku (рис.14). Датчики передают данные через технологию LoRaWAN, и информация безопасно передается и обрабатывается с использованием технологии JSON Web Tokens (JWT) со стороны сервера.

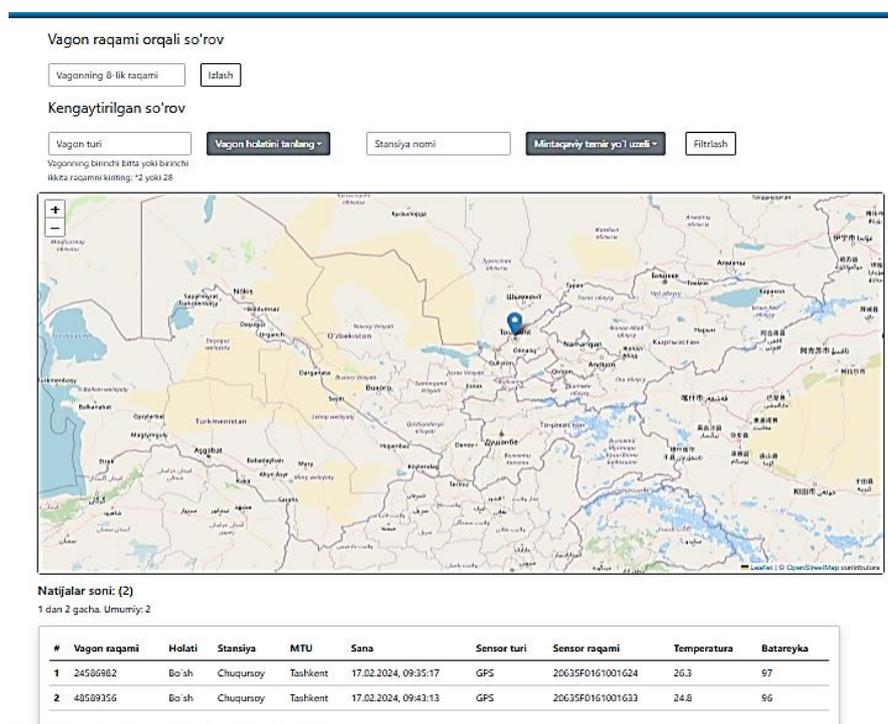


Рисунок 14. Окно поиска вагонов

Программный модуль слежения за вагонами является первым практическим этапом разработки подсистем автоматической системы мониторинга подвижного состава и контейнеров (АСМПСК). Получены положительные результаты от функционирования данного модуля (рис.14).

Предусмотрены мероприятия по улучшению функциональности и надежности работы программного обеспечения.

Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения разработанных технологий цифровизации информационно-аналитических процессов оперативного управления перевозками железнодорожного транспорта составил 1 448,7 млн. сум.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований докторской диссертации на тему «Цифровизация информационно-аналитических процессов систем оперативного управления перевозками железнодорожного транспорта» получены следующие основные научные и практические результаты:

1. Обоснована сфера применения беспроводной сети дальнего действия для совершенствования систем оперативного управления перевозками с учетом специфики работы железнодорожного транспорта. В результате появилась возможность использования открытого стандарта, оптимального покрытия территориальных объектов, независимого развертывания на отечественной железной дороге, обеспечен переход к новому уровню качества оперативного управления перевозками.

2. Разработан цифровой подход информационного обеспечения оперативного управления перевозками позволяющий осуществлять обработку данных в режиме реального времени и спроектирована база данных с динамической структурой. В результате появилась возможность исключить человеческий фактор при сборе и обработке данных об активности подвижного состава и контейнеров, тем самым повысить уровень качества данных модели перевозочного процесса, способствуя эффективному принятию управленческих решений в оперативном управлении перевозками.

3. Усовершенствована технология управления местной работой на основе цифровизации процессов сменно-суточного и текущего планирования с учетом автоматического обеспечения данных о вагонной модели и заявках на погрузку. В результате, за счет оптимального сменно-суточного и текущего планирования появилась возможность сократить пробег порожних вагонов, участвующих в местной работе в 1,1 раз.

4. Разработана имитационная модель автоматизированного планирования погрузки на основе сети Петри и алгоритма Флойда-Уоршела с учетом параллельных процессов выбора погрузочного ресурса с оптимальными характеристиками. С применением разработанных алгоритмов и программных комплексов была создана возможность эффективного планирования погрузки с оптимальными расстояниями, сокращены эксплуатационные затраты перевозок РЖУ в 1,07...1,2 раза.

5. Разработаны практические решения по созданию инфраструктуры беспроводной технологии дальнего действия для мониторинга подвижного состава и контейнеров. В результате проведенных исследований и тестирований выбраны сетевой сервер, шлюзы для связи и передачи данных, а

также устройства для отслеживания местоположения, температуры и состояния вагонов, обеспечивающие получение точной и надежной информации о состоянии подвижного состава и контейнеров в реальном масштабе времени.

6. Разработана имитационная модель для оценки качества данных на основе метода Байесовской сети. С помощью данного математического аппарата доказана эффективность с точки зрения качества данных предлагаемой беспроводной технологии, за счет независимой передачи информации от самих источников. Таким образом, с применением автоматической системы мониторинга подвижного состава и контейнеров удалось более эффективно организовать оперативное управление перевозками.

7. Разработана математическая модель для определения наиболее вероятных конфигураций переменных фактор-графа планирования местной работы. В результате применение алгоритма максимального правдоподобия позволило оценить и сравнить качество данных в зависимости от источников информации и альтернативных вариантов, а также обоснована эффективность цифровизации информационно-аналитических процессов оперативного управления перевозками.

8. Определены требования к разработке автоматической системы мониторинга подвижного состава и контейнеров, а также разработано инструментальное средство в виде программного обеспечения. Данное инструментальное средство является важной частью автоматической системы мониторинга подвижного состава и контейнеров, которое обеспечило надежное отслеживание местонахождения и состояния вагонов в реальном масштабе времени, включая возможности фильтрации данных.

9. Результаты исследования были внедрены на АО «Узбекистон темир йуллари». В результате появилась возможность оптимального использования подвижного состава и контейнеров в перевозочном процессе, более эффективного распределения вагонов для погрузки и осуществления развоза вагонов для выгрузки. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения разработанных технологий цифровизации информационно-аналитических процессов оперативного управления перевозками железнодорожного транспорта составил 1 448,7 млн. сум.

**ONE-TIME SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD OF SCIENTIFIC
DEGREE OF THE DOCTOR OF SCIENCES BASED ON SCIENTIFIC
COUNCIL PhD.15/31.08.2022.T.73.01 AT TASHKENT STATE
TRANSPORT UNIVERSITY**

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

KAMALETDINOV SHOKRUKH SHUKHRATOVICH

**DIGITALIZATION OF INFORMATION - ANALYTICAL PROCESSES OF
OPERATIVE MANAGEMENT SYSTEMS OF RAILWAY TRANSPORT**

05.08.03 – Operation of railway transport

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF SCIENCE (DSc)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2024

The theme of the doctoral dissertation (DSc) has been registered by the Supreme Attestation Commission at the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under № V2023.3.DSc/T682

The doctoral dissertation has been prepared at Tashkent State Transport University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Scientific Council (www.tstu.uz) and on the web site of "Ziyonet" Information and education portal (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor:

Aripov Nazirjan Mukaramovich
doctor of technical sciences, professor

Official opponents:

Nurmuxamedov Tolaniddin Ramziddinovich
doctor of technical sciences, professor

Muxametjanova Ayjan Vesmovna
doctor of technical sciences, professor

Raxmangulov Aleksandr Nelyevich
doctor of technical sciences, associate professor

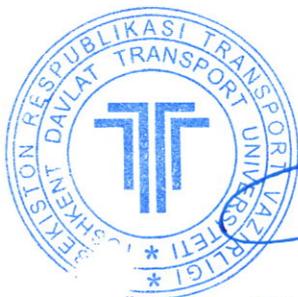
Leading organization:

**Tashkent state technical university named
after Islam Karimov**

Defense of the dissertation will take place on 24 October at 15⁰⁰ o'clock at a meeting of One-time Scientific Council PhD.15/31.08.2022.T.73.01 at Tashkent State Transport University. Address: 1, Temiryulchilar str., Tashkent 100167, Uzbekistan. Phone: (+998 71) 299-00-01, fax: (99871) 293-57-54, e-mail: rektorat@tstu.uz

The doctoral (DSc) dissertation can be reviewed at the Information-resource Center of the Tashkent State Transport University (Registration number – 186). (Address: 1, Temiryulchilar str., Tashkent 100167, Uzbekistan. Phone: (+998 71) 299-05-66.

Abstract of dissertation was distributed on 11 October 2024 year
(mailing record №49 on 10 October 2024 year).



J.F. Kurbanov
Chairman of Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences (DSc), professor

Sh.M. Suyunbayev
Scientific secretary of the Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences (DSc), professor

D.X. Baratov
Chairman of this scientific seminar under scientific council
on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences (DSc), professor

INTRODUCTION (abstract of DSc dissertation)

The aim of the study is to digitalize the information and analytical processes of operative management of transportation on railway transport.

The object of the study is the systems of operative management of transportation on railway transport.

The subject of the research is information and analytical processes of operative transportation management.

Research objectives:

study of the current state and issues of improving operational transportation management systems in rail transport;

justification of the use of wireless networks to improve operational transportation management systems taking into account the specifics of rail transport;

development of a digital approach to information support for operational transportation management, which allows for real-time data processing and design a database with a dynamic structure;

improvement of local work management technology based on the digitalization of shift-daily and current planning processes;

development of a simulation model of automated loading planning taking into account parallel processes of selecting a loading resource with optimal characteristics;

development of practical solutions for creating a long-range wireless technology infrastructure for monitoring rolling stock and containers;

development of a simulation model for assessing data quality to justify the effectiveness of using wireless technologies due to independent transmission of information from the sources themselves;

development of a mathematical model for local work planning taking into account the digitalization of information and analytical processes;

determination of requirements for the development of an automatic monitoring system for rolling stock and containers, as well as the development of tools in the form of software.

The scientific novelty of the research:

the scope of application of long-range wireless networks for improving operational transportation management systems has been substantiated, taking into account the specifics of rail transport operations using comparative analysis methods;

a digital approach has been developed for providing information based on an automatic monitoring system for rolling stock and containers for operational transportation management using wireless network technology, which allows for real-time data processing;

the technology for managing local operations has been improved based on the digitalization of shift-daily and current planning processes, taking into account the automatic provision of data on the wagon model and loading requests through direct monitoring of the balance of empty and loaded wagons;

a simulation model for automated loading planning has been developed based on the Petri net and the Floyd-Warshall algorithm, taking into account parallel processes for selecting a loading resource with optimal characteristics using the HPSim simulator and the Java programming language;

a simulation model for assessing data quality has been developed based on the Bayesian network method to substantiate the effectiveness of using wireless technologies in information and analytical processes with the provision of direct communication between technological processes for transmitting information on rolling stock in the GeNius simulator;

a mathematical model has been developed for determining the most probable configurations of variables in the factor graph of local work planning based on the maximum likelihood algorithm, taking into account the requirements for digitalization of information and analytical processes for mutual coordination of the wagon model and applications for cargo loading.

Implementation of the research results. Based on the obtained scientific results on digitalization of information and analytical processes of operational transportation management:

technology using a new approach to providing information based on an automatic monitoring system for rolling stock and containers for operational transportation management using wireless network technology that allows real-time data processing has been implemented in the digitalization department of JSC "O'zbekiston temir yo'llari" (reference of JSC "O'zbekiston temir yo'llari" s dated November 1, 2023, No. 07/3573-23). As a result, it became possible to optimally use rolling stock and containers in the transportation process and manage transportation more efficiently.

an improved technology for managing local work has been introduced, taking into account the automatic provision of data on the wagon model and loading requests, including an automated technology for shift-daily and current planning of wagon loading and unloading at JSC "O'zbekiston temir yo'llari" (reference of JSC Uzbekistan Railways dated November 1, 2023, No. 01/3573-23). As a result, due to the improved quality of the local work plan, it became possible to more efficiently distribute wagons for loading, distribute wagons for unloading, and organize the work of shunting locomotives.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a list of references and applications. The volume of the dissertation is 192 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Kamaletdinov Sh.Sh. Choosing of wireless technology among the internet of things to improve the organization of the transportation process in railway transport/ Kamaletdinov Sh.Sh., Aripov N.M., Svetashev A.A., Tokhirov N.S. //Actual problems of modern science, education and training, Urganch. – 2022. №9 p. 96-103 (05.00.00; №26).

2. Kamaletdinov Sh.Sh. Development of the infrastructure of the lorawan network for the organization of transportation management in railway transport / Kamaletdinov Sh. Sh., Aripov N.M., Svetashev A.A., Tokhirov N.S. // Actual problems of modern science, education and training, Urganch. – 2022. №9 p. 104-114 (05.00.00; №26).

3. Камалетдинов Ш.Ш. Практическое применение технологии lorawan для отслеживания подвижного состава на железнодорожном транспорте/ Камалетдинов Ш.Ш., Арипов Н.М., Тохиров Н.С. // Academic Research in Educational Sciences. – 2022. Volume 3 Issue 8. с. 45-55 (Scientific Journal Impact Factor = 5.77) <http://sjifactor.com/passport.php?id=21348>.

4. Камалетдинов Ш.Ш. Моделирование сменно-суточного планирования выгрузки и погрузки вагонов / Камалетдинов Ш.Ш., Арипов Н.М. // Academic Research in Educational Sciences. – 2022. Volume 3 Issue 8. с. 34-43 (Scientific Journal Impact Factor = 5.77) <http://sjifactor.com/passport.php?id=21348>.

5. Камалетдинов Ш.Ш. Функциональное моделирование текущего планирования местной работы / Камалетдинов Ш.Ш., Арипов Н.М. // Academic Research in Educational Sciences. – 2022. Volume 3 Issue 8. с. 119-124 (Scientific Journal Impact Factor = 5.77) <http://sjifactor.com/passport.php?id=21348>.

6. Kamaletdinov Sh.Sh. Simulation modeling of train traffic based on gis technologies/ Kamaletdinov Sh.Sh., Aripov N.N., Tokhirov N., Abduraxmanova Z. // European journal of life safety and stability (EJLSS). – 2022. Volume 16 p. 71-82 (Scientific Journal Impact Factor = 6.83) <http://sjifactor.com/passport.php?id=21728>.

7. Kamaletdinov Sh.Sh. Research of the information management system in the organization of transportation of goods on the railways of Uzbekistan/ Kamaletdinov Sh.Sh., Aripov N.N. //American journal of applied science and technology. – 2022. Volume 02, Issue 12 p.17-25 (Scientific Journal Impact Factor = 7.06) <http://sjifactor.com/passport.php?id=22066>.

8. Камалетдинов Ш.Ш. Концептуальная модель планирования местных работ железнодорожного транспорта/Арипов Н.М., Камалетдинов Ш.Ш. // Transportda resurs tejamkor texnologiyalar. – Ташкент, ТГТУ – 2022. С.614-618 (05.00.00; Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар

вазирлиги ҳузуридаги Олий аттестация комиссияси Раёсатининг 2023 йил 30 ноябрдаги 327/3-сонли қарори).

9. Камалетдинов Ш.Ш. Исследование функционирования автоматической системы мониторинга подвижного состава и контейнеров/ Камалетдинов Ш.Ш., Арипов А.А., Худайбергандов С.К. // Железнодорожный транспорт: актуальные вопросы и инновации. – 2023. №2. С.113-123 (05.00.00; Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги ҳузуридаги Олий аттестация комиссияси Раёсатининг 2020 йил 30 ноябрдаги 228/14-сонли қарори).

10. Камалетдинов Ш.Ш. Исследование процессов обработки данных в автоматической системе мониторинга подвижного состава и контейнеров / Камалетдинов Ш.Ш., Арипов А.А., Баширова А.М., Ахмедова М.Д. // Железнодорожный транспорт: актуальные вопросы и инновации. – 2023. №2. с.100-112 (05.00.00; Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги ҳузуридаги Олий аттестация комиссияси Раёсатининг 2020 йил 30 ноябрдаги 228/14-сонли қарори).

11. Камалетдинов Ш.Ш. Моделирование процессов автоматизированного сменно-суточного планирования погрузки грузов на железнодорожном транспорте / Камалетдинов Ш.Ш., Арипов Н.М. // Инновационный транспорт. – 2023. № 3(49), с.55-59.

12. Kamaletdinov Sh.Sh. Using the factor graph to evaluate the quality of output data for shift-daily loading planning/ Kamaletdinov Sh.Sh., Aripov N.M., Abdumalikov I.O. // Talqin va tadqiqotlar ilmiy-uslubiy jurnali. – 2023. №29, P. 28-34. (Scientific Journal Impact Factor = 5.99) <http://sjifactor.com/passport.php?id=22543>.

13. Камалетдинов Ш.Ш. Определение наиболее вероятных конфигураций переменных фактор-графа планирования местной работы/ Камалетдинов Ш.Ш., Арипов Н.М., Одилова М.О. // Talqin va tadqiqotlar ilmiy-uslubiy jurnali. – 2023. №33, P. 133-142. (Scientific Journal Impact Factor = 5.99) <http://sjifactor.com/passport.php?id=22543>.

14. Камалетдинов Ш.Ш. Исследование применения технологии интернета вещей для организации перевозок / Камалетдинов Ш.Ш., Одилова М.О. // Transportda resurs tejankor texnologiyalar. – Ташкент, ТГТУ –2023. с.190-192 (05.00.00; Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги ҳузуридаги Олий аттестация комиссияси Раёсатининг 2023 йил 30 ноябрдаги 327/3-сонли қарори).

15. Kamaletdinov Sh. Sh. (2024). Simulation Modeling of Train Movement at Railway Stations Using Anylogic. American Journal of Engineering, Mechanics and Architecture (2993-2637) –2024. №2(5), p.71–77. (ResearchBib Impact Factor =12.43) Retrieved from <https://grnjournal.us/index.php/AJEMA/article/view/4651>.

16. Kamaletdinov Sh. Sh. (2024). Simulation of Container Data Processing Using Petri Nets. American Journal of Engineering, Mechanics and Architecture (2993-2637)–2024. №2(5), p. 78–80. ResearchBib Impact Factor = 12.43) Retrieved from <https://grnjournal.us/index.php/AJEMA/article/view/4652>.

II bo'lim (II часть; II part)

17. Камалетдинов Ш.Ш. Внедрение системы автоматизированной идентификации номера вагонов на промышленном предприятии/ Камалетдинов Ш.Ш., Далабоев И.Ф. // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XIX Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2021. – 268 с.

18. Kamaletdinov Sh. Formation of the freight trains with a fixed train schedule/ Kamaletdinov Sh., Svetashev A., Svetasheva N., Mustaeva G. E3S Web Conf., 264 (2021) 05040 DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126405040>.

19. Kamaletdinov Sh. Qualitative and temporal characteristics of electronic document management processes in cargo and commercial operations/ Kamaletdinov Sh., Tokhirov N.// E3S Web Conf. 264 05042 (2021) DOI: 10.1051/e3sconf/202126405042.

20. Камалетдинов Ш.Ш. Выбор беспроводной технологии среди глобальных сетей с низким энергопотреблением (LPWAN) для организации перевозочного процесса на железнодорожном транспорте / Камалетдинов Ш.Ш., Арипов Н.М., Тохиров Н.С. // Наука и общество: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей II Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2022. – С.11 – 14.

21. Камалетдинов Ш.Ш. Технология интернета вещей для совершенствования организации перевозок на железнодорожном транспорте/ Камалетдинов Ш.Ш., Арипов Н.М., Тохиров Н.С. // Наука и общество: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей II Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2022. – С.15 – 18.

22. Камалетдинов Ш.Ш. Разработка системы отслеживания вагонов на основе технологии Logawan / Камалетдинов Ш.Ш., Арипов Н.М., Тохиров Н.С. // Новые технологии в науке, бизнесе, образовании: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2022. С. 20-23.

23. Камалетдинов Ш.Ш. Разработка технического обеспечения сети Logawan для оперативного управления перевозками на железнодорожном транспорте/ Камалетдинов Ш.Ш., Арипов Н.М., Тохиров Н.С.// Новые технологии в науке, бизнесе, образовании: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2022. С.32-35.

24. Камалетдинов Ш.Ш. Smart контейнер как основной элемент международной торговли // Камалетдинов Ш.Ш., Арипов Н.М. // Barqaror transport tizimlari – Barqaror iqtisodiyot uchun” Xalqaro ilmiy-texnika anjuman materiallari to‘plami. –Т.: 2022. С.384-390.

25. Камалетдинов Ш.Ш. Перспективы развития перевозок грузов контейнерными поездами в республике Узбекистан/ Камалетдинов Ш.Ш.,

Шихназаров Ж.А., Азимов Ф.К., Дехконов М.М. // Научный электронный журнал «Транспорт шелкового пути», Ташент, № 1, – 2022. С.43-46.

26. Kamaletdinov Sh.Sh. Mathematical modeling of the automated process of transmission of applications for train warning by distance of roads Kamaletdinov Sh.Sh., Aripov N.M., Svetashev A.A., Tokhirov N.S. //AIP Conference Proceedings 2432, 030116 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0089539> (SCOPUS).

27. Kamaletdinov Sh. Sh. Simulation modeling of train traffic based on GIS technologies. / Kamaletdinov Sh.Sh., Aripov N., Tokhirov S., Khudayberganov A., Bashirova, M. Djalalovna // *AIP Conference Proceedings* 2612 (1): 060025 – 2023; <https://doi.org/10.1063/5.0113986>.

28. Kamaletdinov Sh.Sh. GIS texnologiyalari asosida poyezdlar harakati xavfsizligini simulyatsiya modellashtirish/ Kamaletdinov Sh.Sh., Aripov N.M., Toxirov N.S.// Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi Guvohnoma DGU 13472, 2021.

29. Kamaletdinov Sh.Sh. Temir yo‘l stansiyalari bo‘yicha eng qisqa masofani aniqlash dasturi/ Kamaletdinov Sh.Sh., Aripov N.M., Bashirova A.M, Axmedova M. D., Abdumalikov I. O.// Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi Guvohnoma DGU 27404, 2023.

30. Kamaletdinov Sh. Sh. Vagonlar holati va joylashuvini nazorat qilish avtomatik tizimi/ Kamaletdinov Sh.Sh., Aripov N.M., Bashirova A.M., Axmedova M.D., Abdumalikov I.O. // Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi Guvohnoma DGU 27405. 2023.

31. Kamaletdinov Sh. Sh. Vagonlar nazorati ma’lumotlar bazasi/ Kamaletdinov Sh.Sh., Aripov N.M., Bashirova A.M., Axmedova M.D., Abdumalikov I.O. // Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi Guvohnoma DGU 27406. 2023.

32. Камалетдинов Ш.Ш. Разработка модуля слежения за вагонами автоматической системы мониторинга подвижного состава и контейнеров/ Камалетдинов Ш.Ш., Абдумаликов И.О.// Ilm-fan muammolari tadqiqotchilar talqinida mavzusidagi respublika ilmiy konferensiyasi. – 2023. № 17, С.149-155.

33. Камалетдинов Ш.Ш. Требования по разработке автоматической системы мониторинга подвижного состава и контейнеров/ Камалетдинов Ш.Ш., Абдумаликов И.О.// Ilm-fan muammolari tadqiqotchilar talqinida mavzusidagi respublika ilmiy konferensiyasi. – 2023. № 17, С.156-160.

34. Камалетдинов Ш.Ш. Определения экономической эффективности внедрения автоматической системы мониторинга подвижного состава и контейнеров/ Камалетдинов Ш.Ш., Абдумаликов И.О.// Ilm-fan muammolari tadqiqotchilar talqinida mavzusidagi respublika ilmiy konferensiyasi. – 2023. № 17, С.161-168.

35. Kamaletdinov Sh. Sh. Vagonlar monitoringi tizmining interfeysi/ Toxtaxodjayeva M.M. // Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro‘yxatdan o‘tkazilganligi to‘g‘risidagi Guvohnoma DGU 30287. 2023.

36. Kamaletdinov Sh.Sh. Evaluation of data quality based on Bayesian networks in railway rolling stock monitoring systems// Kamaletdinov Sh.Sh., Aripov N., Khudayberganov S., Bashirova A., Akhmedova M.E3S Web Conf., 460 (2023) 04014, DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346004014>.

37. Kamaletdinov Sh. Using the factor graph to evaluate the quality of output data/ Kamaletdinov Sh.Sh., Aripov N.M., Bashirova A.M., Akhmedova M.D., M.M. Tokhtakhodjayeva//E3S Web Conf., 460 (2023) 04009 DOI:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346004009>.

Avtoreferat «TDTrU axborotnomasi» ilmiy-amaliy jurnali
tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi va matnlarni mosligi tekshirildi
(16.09.2024-y.).

Qog‘oz bichimi 60×84/16. Rizograf bosma usuli Times New Roman garniturasida.
Shartli bosma tabog‘i: 3,9 b.t. Adadi: 100 nusxa.
Buyurtma № 43-10/2024
Nashrga ruxsat etildi: 10.10.2024 y.

Toshkent davlat transport universiteti bosmaxonasida chop etilgan.
Manzil: 100167, Toshkent shahar, Temiryo‘lchilar ko‘chasi, 1-uy.