

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ, ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ
ՍՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՃԱՐՏԱՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՇԽԱՐԱՐՈՒԹՅԱՆ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ
ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ԽԱՉԱՏՈՒՐ ԳԱԳԻԿԻ ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

**ԿԱՐԳԱՎՈՐՎՈՂ ԽԱՉՄԵՐՈՒԿՆԵՐՈՒՄ ԵՐԹԵՎԵԿՈՒԹՅԱՆ ԿԱԶՄԱԿԵՐՊՄԱՆ
ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ԺԿՈՒՆ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ
ՆԵՐԴՐՄԱՄԲ**

Ե.23.03 «Շենքերի և կառույցների ճարտարագիտական (էներգետիկ, հիդրավլիկ և այլն)
ապահովում» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական
աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2025

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА
РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА АРМЕНИИ

ХАЧАТУР ГАГИКОВИЧ ХАЧАТРЯН

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА
РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕКРЕСТКАХ С ВНЕДРЕНИЕМ ГИБКИХ МЕТОДОВ
УПРАВЛЕНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ
НАУК ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 05.23.03 - «ИНЖЕНЕРНОЕ (ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ,
ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ И ДР.) ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

ЕРЕВАН 2025

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Ճարտարապետության և շինարարության
Հայաստանի ազգային համալսարանում

Գիտական ղեկավար՝

տեխ. գիտ. թեկնածու, դոցենտ
Վալերիկ Մամիկոնի Հարությունյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

տեխ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր
Պարզև Արամայիսի Տոնապետյան
տեխ. գիտ. թեկնածու,
Սամվել Արամի Ներսիսյան

Առաջատար կազմակերպություն

Հայաստանի ազգային ագրարային համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2025թ.-ի հուլիսի 8-ին ժամը 12⁰⁰-ին
Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարանի (ՃՀԱՀ)
կից գործող ՀՀ ԿԳՄՍՆ ԲԿԳԿ-ի 030 մասնագիտական խորհրդում:

Հասցեն՝ 0009, ք. Երևան, Տերյան փողոց 105:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՃՀԱՀ-ի գիտական գրադարանում:

Հասցեն՝ 0079, ք. Երևան Մառի փողոց 17/1:

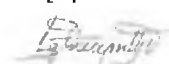
Սեղմագրին կարելի է ծանոթանալ ՃՀԱՀ-ի պաշտոնական կայքում՝ www.nuaca.am

Սեղմագիրն առաքված է 2025թ.-ի հունիսի 6-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար՝

տ. գ. թ., դոցենտ

Ս. Մ. Էզնատոսյան



Тема диссертации утверждена в Национальном университете архитектуры и строительства
Армении

Научный руководитель:

к.т.н, доцент **Валерик Мамиконевич Арутюнян**

Официальные оппоненты:

д.т.н, профессор **Паргев Арамаисович Тонапетян**
к.т.н, **Самвел Арамович Нерсисян**

Ведущая организация:

Национальный аграрный университет Армении

Защита состоится 8-го июля 2025 году в 12⁰⁰ ч. на заседании специализированного совета 030
МОНКС РА КВОН действующего при Национальном университете архитектуры и строительства
Армении (НУАКА).

Адрес: 0009, г. Ереван, ул. Теряна 105:

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке НУАКА по адресу: 0079, г. Ереван ул.
Марра 17/1.

С авторефератом можно ознакомиться на официальном сайте НУАКА: www.nuaca.am

Автореферат разослан 6-го июня 2025 г.

Ученый секретарь специализированного совета:

к. н. т., доцент



С. М. Эгнатосян

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

Աշխատանքի արդիականությունը: Ավտոմոբիլային տրանսպորտի քանակի ինտենսիվ աճը, հատկապես քաղաքներում, առավել հրատապ է դարձնում միջոցառումների արդիականությունը, որոնք ուղղված են ավտոմոբիլացման հետևանքով առաջացած բացասական երևույթների նվազեցմանը: Երևան քաղաքում տրանսպորտային հոսքի աննախադեպ ավելացման պայմաններում խճողումների առաջացման հիմնական պատճառը ճանապարհափողոցային ցանցի (ՃՓՑ) ոչ բավարար թողունակությունն է: Այդ իսկ պատճառով քաղաքային մայրուղային փողոցների ուղեմասերի և կարգավորվող խաչմերուկների թողունակության գնահատումը կարևոր նշանակություն ունի մշակվող երթևեկության կազմակերպման միջոցառումների համար: Մայրուղային փողոցների ուղեմասերի թողունակության վրա ամբողջությամբ իր ազդեցությունն ունի այն ժամանակը, որն ավտոմոբիլը ծախսում է ճանապարհի առանձին «նեղ» տեղամասերը (օրինակ՝ կարգավորվող խաչմերուկները) անցնելու համար: Ժամանակի տևողությունը կարող է փոփոխվել մի քանի տասնյակ վայրկյանից մինչև մի քանի րոպե: Այդ տևողության մեծացումը կարող է կտրուկ փոփոխել թողունակությունը և ստեղծել խճողումներ, խցանումներ, ինչպես նաև մեծացնել խճողումային տեղամասի երկարությունը, ներազդելով նաև հարևան տեղամասերի երթևեկության ռեժիմների վրա: Երթևեկության ինտենսիվությունների տարբեր արժեքների դեպքում լուսացուցային կարգավորման օպտիմալ պարամետրերի որոշումը հանդիսանում է տեղային ճկուն կառավարման կարևոր խնդիրներից: Այնուամենայնիվ, անկախ նրանից, թե ինչ լուծում է օգտագործվում քաղաքային ճանապարհային ցանցերի թողունակությունը բարձրացնելու համար, քաղաքի ճանապարհային ցանցի զարգացման խնդիրը միշտ պետք է հիմնարար լինի: Այդ առումով քաղաքների ՃՓՑ-ի թողունակության բարձրացումը արդիական է գիտական և գործնական առաջադրանքների պլաններում:

Աշխատանքի նպատակը և խնդիրները: Կարգավորվող խաչմերուկներում երթևեկության կազմակերպման արդյունավետության բարձրացում՝ ճկուն (ադապտիվային) կառավարման նոր մեթոդաբանության կիրառմամբ, հաշվի առնելով խաչմերուկներում երթևեկության ինտենսիվության փոփոխությունները:

Նպատակին հասնելու համար առաջադրվում են հետևյալ խնդիրները.

- վերլուծել լուսացուցային կարգավորվող խաչմերուկներով տրանսպորտային հոսքերի երթևեկության ինտենսիվությունները ըստ ուղղությունների,
- վերլուծել տրանսպորտային հոսքի (ՏՀ) ժամային և ներժամային անհամաչափությունները,
- վերլուծել լուսացուցային կարգավորվող խաչմերուկներում տրանսպորտային միջոցների ուշացումները,
- գնահատել ճկուն կառավարման տարբեր մեթոդների կիրառման արդյունավետությունը,
- բացահայտել ՏՀ-ի ինտենսիվության դինամիկ և ստոխաստիկ բնութագրերը՝ վիճակագրական և մաթեմատիկական եղանակներով,
- մշակել կարգավորվող խաչմերուկների տեղային ճկուն կառավարման (ՏԾԿ) համակարգում կարևոր ցուցանիշ հանդիսացող՝ թույլատրող ազդանշանի

- առավելագույն տևողության հաշվարկման մեթոդաբանությունը, որպես չափանիշ ընդունելով տրանսպորտային հոսքերի ինտենսիվությունները,
- ՃՓՑ-ի լուսացուցային կարգավորվող խաչմերուկներում տեղային ճկուն (ադապտիվ) կառավարման նոր մեթոդաբանության ներդրում, կիրառում և վերլուծություն, տարեկան տնտեսական արդյունավետության գնահատում:

Աշխատանքի գիտական նորությունը: Ատենախոսության գիտական նորարարությունն արտահայտվում է տրանսպորտային հոսքերի ինտենսիվության և ստոխաստիկ բնույթի հիման վրա լուսացուցի հիմնական տակտի տևողության ճշգրտման նոր մոդելի առաջարկմամբ: Մշակվել է մաթեմատիկական կախվածություն, որն ապահովում է ինտենսիվության հիման վրա՝ հիմնական տակտի առավելագույն տևողության հաշվարկ, թույլ տալով ավելի արդյունավետ կառավարել երթևեկությունը: Այս ամենը նպատակ ունի բարձրացնել երթևեկության կազմակերպման արդյունավետությունը և նվազեցնել խաչմերուկներում առաջացող խճողումները:

Հետազոտության մեթոդները: Ատենախոսության մեջ առաջադրված խնդիրների լուծման համար քաղաքային ճանապարհափողոցային ցանցի վրա տրանսպորտային գործընթացների համակարգային և վիճակագրական վերլուծությունները իրականացվել են մաթեմատիկական և համակարգչային մոդելավորման մեթոդներով: Տրանսպորտային հոսքերի ֆիզիկատեխնիկական տարբեր պարամետրերի միջև փոխհարաբերությունների և կախվածության բացահայտման համար կիրառվել է տեղային ճկուն կառավարման և տրանսպորտային հոսքերի գերբեռնվածության նվազեցման մեթոդները: Փորձարարական ուսումնասիրությունները հիմնվել են բնական հետազոտությունների մեթոդների վրա, օգտագործելով տեխնիկական միջոցներ և տեխնոլոգիաներ, որոնք թույլ են տվել գրանցել տրանսպորտային հոսքերի բնութագրերը սահմանված ժամանակահատվածում: Փորձերի պլանավորումը, փորձարարական տվյալների մշակումը, ինչպես նաև մաթեմատիկական կախվածությունների ստացումն իրականացվել են մաթեմատիկական վիճակագրության մեթոդներով:

Կարգավորվող խաչմերուկներում երթևեկության կազմակերպման արդյունավետությունը կախված է կիրառվող տեղային ճկուն կառավարման տեխնիկական միջոցներից, կիրառման պայմաններից, նպատակներից և մեթոդներից: Արդյունավետության գնահատման համար օգտագործվել է տրանսպորտային հոսքի տարբեր ցուցանիշների և վերլուծական մեթոդների համադրությունը: Հետազոտման արդյունքները վերլուծված և պարզաբանված են օրինակներով, աղյուսակների և գրաֆիկների տեսքով:

Աշխատանքի գործնական նշանակությունը և արդյունքների նկարագրությունը: Մշակված տեսական և մեթոդական մոտեցումները հնարավորություն են տալիս լուսացուցային կարգավորվող խաչմերուկներում տեղային ճկուն կառավարման նոր մեթոդաբանության ներդրմամբ բարձրացնել երթևեկության կազմակերպման արդյունավետությունը: Կիրառված մաթեմատիկական մոդելները հնարավորություն են տալիս ստեղծել բավականին ճկուն կառավարման ալգորիթմներ, որոնք կապահովեն լուսացուցային կառավարման արդյունավետ ռեժիմ, ապահովելով խաչմերուկներով տրանսպորտային հոսքերի առավելագույն թողունակություն: Ստացված արդյունքների գործնական օգտագործումը թույլ է տալիս նվազեցնել կարգավորվող խաչմերուկներում տրանսպորտային ուշացումները, կբարելավի ճանապարհափողոցային ցանցի երթևեկության ընդհանուր արդյունավետությունը և կծառայի որպես բազա երևան

քաղաքում երթևեկության կառավարման ավտոմատացված համակարգերի (ԵԿԱՀ) ներդրման համար: Ուսումնասիրության արդյունքները գործնականում կարող են կիրառվել նաև մեկուսացված խաչմերուկներում բազմաձրագրային լուսացուցային կարգավորման ռեժիմները հաշվարկելիս և ներդնելիս:

Պաշտպանության են ներկայացվում:

- 1. Ճանապարհային երթևեկության կազմակերպման և կառավարման մեթոդների, տեխնիկական միջոցների պատմական և տեխնիկական զարգացումը:** Հստակեցվել է, որ երթևեկության կազմակերպման և կառավարման մեթոդները զգալիորեն զարգացել են՝ անցնելով մեխանիկական և ձեռքով կառավարվող համակարգերից մինչև ավտոմատացված և ինտելեկտուալ համակարգերի, որոնք նույնպես ժամանակի ընթացքում անընդհատ զարգանում և կատարելագործվում են:
- 2. Երևան քաղաքի մեկուսացված խաչմերուկներում տրանսպորտային հոսքերի անհամաչափության վերլուծությունը:** Բացահայտվել է, որ տրանսպորտային հոսքերը խաչմերուկներում և ուղեմասերում ունեն հստակ արտահայտված անհամաչափ բնույթ, որը պայմանավորված է մի շարք գործոններով: Որոշ ուղղություններում տրանսպորտային հոսքերի ինտենսիվությունները կարող են զգալիորեն գերազանցել մյուս ուղղություններին, ինչի հետևանքով լուսացուցային կարգավորման ցիկլի ընթացքում խաչմերուկի որևէ ուղղությամբ կարող է առաջանալ ՏՀ-ի հերթ, իսկ մյուս (կոնֆլիկտային) ուղղություններով՝ ցածր ինտենսիվության պատճառով նվազում է խաչմերուկի թողունակությունը հանգեցնելով ժամային կորուստների (ուշացումների) և ցածր արդյունավետության, որն էլ հիմնավորում է ՏՀԿ-ի ներդրման անհրաժեշտությունը:
- 3. Մեկուսացված խաչմերուկում լուսացուցային կարգավորման մեթոդների համեմատական վերլուծություն և արդյունավետության ցուցանիշներ:** Հստակեցվում է, որ մեկուսացված խաչմերուկներում Կոշտ բազմաձրագրային կառավարումը առավել արդյունավետ է երթևեկության ծանրաբեռնված ժամանակահատվածում (ՏՀ-ի խմբային և կապակցված վիճակ), իսկ տեղային ճկուն կառավարումը (ադապտիվ կառավարում) ոչ ծանրաբեռնված ժամանակահատվածներում (ՏՀ-ի ազատ վիճակ):
- 4. Տեղային ճկուն կառավարման մեթոդների վերլուծություն:** Հստակեցվել է, որ առավել լայն տարածում ունի ՏՀԿ-ի հոսքի խզման փնտրման ալգորիթմը, սակայն վերջինս ունի թերություններ, քանի որ ոչ բոլոր պարամետրերն են հստակ հաշվարկված:
- 5. Ժամանակային շարքերի, Ֆուրիեի վերլուծության և Միջին գծային շեղման կիրառման անհրաժեշտությունը:** ՏՀ-ի ինտենսիվության տատանումները ունեն ժամանակային դինամիկ և ստոխաստիկ բնույթ, որն անհրաժեշտ է վերլուծել վիճակագրական և մաթեմատիկական եղանակներով: Ժամանակային շարքերի, միջին գծային շեղման և Ֆուրիեի փոխակերպումների միջոցով կանխատեսվում է ինտենսիվության տատանումները, նրա առավելագույն շեղումները միջին արժեքից և դրանց հիման վրա հնարավորություն է ընձեռնվում օպտիմալացնել լուսացուցի աշխատանքային ռեժիմները:
- 6. ՏՀԿ թույլատրող ազդանշանի առավելագույն տևողության ընտրության մեթոդաբանությունը՝ կախված ՏՀ-ի ինտենսիվության տատանումներից:** Բացահայտվել է, որ ՏՀԿ համակարգի արդյունավետությունը կախված է հիմնական

տակտի (փուլի) տևողության ճշգրիտ հաշվարկից, որը պետք է համապատասխանի տրանսպորտային հոսքի վիճակին: Մեթոդաբանությունը նախատեսում է տակտի տևողության ադապտացում՝ հաշվի առնելով ՏՀ-ի ինտենսիվության, ստոխաստիկության և կապակցվածության մակարդակը: Ճիշտ հաշվարկված տակտը թույլ է տալիս նվազեցնել խճողումները և բարձրացնել կարգավորման ճկունությունը:

7. Նորարարական մոտեցման ներդրման արդյունքում ստացված տարեկան տնտեսական արդյունավետությունը: Հստակեցվել է, որ նորարարական մոտեցման կիրառումը հնարավոր դարձրեց բարձրացնել համակարգի արդյունավետությունը շուրջ 9-35%-ով: Տնտեսական գնահատմամբ՝ ուշացման կրճատման հաշվին տարեկան խնայվում է շուրջ 155 մլն դրամ, ինչը վկայում է համակարգի ներդրման բարձր արդյունավետության և ներդրված ծախսերի արագ վերադարձման մասին:

Հետազոտության արդյունքների հավաստիություն: Տրանսպորտային հոսքերի վերլուծության ուսումնասիրությունները կատարվել են ՀՀ Երևան և ՌԴ Օմսկ ու Իրկուտսկ քաղաքների տարբեր խաչմերուկներում՝ կիրառելով տրանսպորտային դետեկտորներ, տեսանկարահանող սարքավորումներ և ակնադիտական ուսումնասիրություններ: Տվյալների հավաքագրման գործընթացում ապահովվել է բարձր ճշգրտություն՝ շնորհիվ համակարգչային տարբեր ծրագրային ապահովման կիրառման, ինչը թույլ է տվել համակարգված ձևով հավաքագրել և գնահատել ՏՀ-ի ինտենսիվության փոփոխման օրինաչափությունները և նրանց ժամանակային բաշխումը: Քանի որ հետագա նորարարական մոտեցման և տնտեսատեխնիկական վերլուծության համար անհրաժեշտ են ինտենսիվության միջինացված և հավաստի ցուցանիշներ, իրականացվել է նաև վիճակագրական մշակում՝ ժամանակային շարքերի վերլուծության, Ֆուրիեի արագ փոխակերպման և միջին գծային շեղման մեթոդների կիրառմամբ: Այս մոտեցումը թույլ է տվել ուղղել պատահական և կարճաժամկետ տատանումների ազդեցությունը, ապահովելով վիճակագրական տվյալների կայունությունը և ներկայացված արդյունքների հիմնավորվածությունը: Օգտագործված բազմաբնույթ մեթոդների համակցումը զգալիորեն բարձրացրել է հետազոտության արդյունքում ստացված եզրահանգումների և մոդելների կիրառելիության աստիճանը, ստեղծելով ՏՀ համակարգերի տեխնիկական և տնտեսական հիմնավորման համար վստահելի հենք:

Հետազոտության արդյունքների նախափորձապաշտպանությունը:

Ատենախոսական աշխատանքում մշակված ՏՀ աշխատանքի նորարարական մեթոդը, որը հիմնված է թույլատրող ազդանշանի առավելագույն տևողության ճկուն կարգավորման վրա՝ ըստ տրանսպորտային հոսքի ինտենսիվության, կիրառվել են ՌԴ Օմսկ քաղաքի Հյուսիսային 7-րդ փողոց – Վավիլովայի փողոց և Իրկուտսկ քաղաքի Բայկալսկայա փողոց – Դոնսկայա փողոց խաչմերուկներում՝ որպես փորձնական վերլուծության հիմք: Նոր մեթոդի ներդրումը նպատակ ունի բարելավել խաչմերուկի թողունակությունը, նվազեցնել երթևեկության ուշացումները և բարձրացնել ընդհանուր արդյունավետությունը: Հետազոտության արդյունքները ցույց են տվել, որ կիրառված մեթոդով հնարավոր է դարձել բարձրացնել երթևեկության միջին արագությունը, կրճատել ուշացման ժամանակը մինչև 9-35%-ով, ինչպես նաև խաչմերուկի թողունակությունը բարձրացնել միջինը 7-15%-ով: Աշխատանքում մշակված մոտեցումը կարող է կիրառվել ինչպես Հայաստանի Հանրապետությունում, այնպես էլ այլ

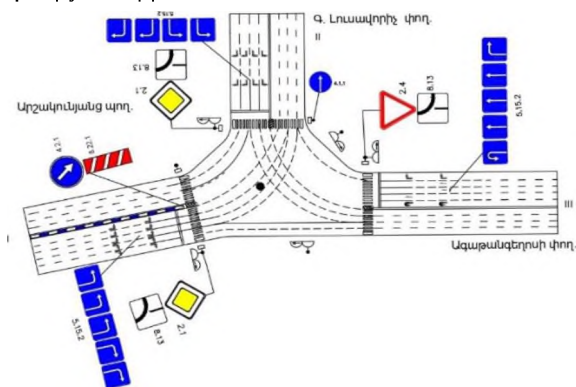
քաղաքներում, որտեղ առկա են երթևեկության կառավարման համակարգերի արդիականացման անհրաժեշտություն:

Հրատարակված աշխատանքները: Հետազոտության արդյունքներն ու հիմնական դրույթները հրապարակվել են գիտական 6 հոդվածներում:

Ատենախոսության կառուցվածքը և ծավալը: Ատենախոսությունը բաղկացած է աշխատանքի ընդհանուր բնութագրից, չորս գլուխներից, եզրակացությունից և հավելվածներից: Աշխատանքի ծավալը կազմում է 134 էջ հիմնական տեքստ՝ ներառյալ 25 հատ նկար, 19 հատ աղյուսակ, ինչպես նաև լրացուցիչ 30 էջ ծավալով հավելվածներ: Գրականության ցանկը պարունակում է 85 անուն վերնագիր:

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱՌՈՏ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Առաջին գլխում վերլուծվում է քաղաքային միջավայրում ավտոմոբիլային տրանսպորտի քանակի աճի հետևանքով ճանապարհային երթևեկության կազմակերպման և կառավարման առջև ծառայող մարտահրավերները: Վերջին տասնամյակների ընթացքում քաղաքային միջավայրում տրանսպորտային և հետիոտնային հոսքերի ինտենսիվ աճով պայմանավորված՝ էապես աճել են ճանապարհատրանսպորտային պատահարների դեպքերը, հատկապես խաչմերուկներում: Վիճակագրական տվյալների համաձայն ՃՏՊ-ների մեծ մասը տեղի են ունենում քաղաքներում, իսկ խաչմերուկները հանդիսանում են այդ պատահարների կուտակման հիմնական տեղամասերը: Այս համատեքստում հատուկ ուշադրություն է դարձվում լուսացուցային կարգավորմանը՝ որպես ճանապարհային երթևեկության կազմակերպման հիմնական տեխնիկական միջոց: Առանձնացվում են երթևեկության կազմակերպման հիմնական ուղղությունները՝ ճարտարապետա-հատակագծային և կազմակերպչական միջոցառումները: Լուսացույցների պատմական զարգացումը սկսվել է 19-րդ դարում՝ մեխանիկական համակարգերից անցում կատարելով էլեկտրական, ապա՝ ավտոմատացված և ադապտիվ կառավարման տեխնոլոգիաների: «Խելացի» լուսացուցային համակարգերը, ի տարբերություն կոշտ ժամանակային ծրագրերի, հնարավորություն են տալիս արձագանքել իրական ժամանակում տրանսպորտային հոսքի փոփոխություններին:



Նկ. 1 Արշակունյաց պ. – Ագաթանգեղոս փ. – Լուսավորիչ փ. խաչմերուկի երթևեկության կազմակերպման սխեման

Տրանսպորտային հոսքերի ինտենսիվության, թողունակության և անհամաչափության ուսումնասիրությունն անհրաժեշտ պայման է ՃՓՑ-ում երթևեկության վիճակի գնահատման և արդյունավետ կառավարման համար: Իրականացվել է տրանսպորտային հոսքերի անհամաչափության հետազոտություններ Երևան քաղաքի մայրուղային փողոցների ուղեմասերում, խաչմերուկներում, որտեղ երթևեկության փոփոխությունների բնութագրերը արտացոլում են քաղաքի ՃՓՑ-ի վրա տրանսպորտային հոսքերի դինամիկան: Որպես օրինակ ուսումնասիրվել է Արշակունյաց պողոտա – Ագաթանգեղոս փողոց – Գ. Լուսավորիչ փողոց խաչմերուկը (Նկ.1): Քաղաքային մայրուղային փողոցների ուղեմասերի և խաչմերուկների յուրաքանչյուր ուղղության համար կառուցվել են երթևեկության ինտենսիվության բաշխման հիստոգրամաները, հաշվարկվել են խաչմերուկների առավելագույն և երեկոյան «պիկ» ժամանակահատվածների անհամաչափության գործակիցները, որը ներկայացվել է Աղյուսակ 1-ում:

Աղյուսակ 1

Խաչմերուկում առավելագույն և երեկոյան «պիկ» ժամանակահատվածների անհամաչափությունը

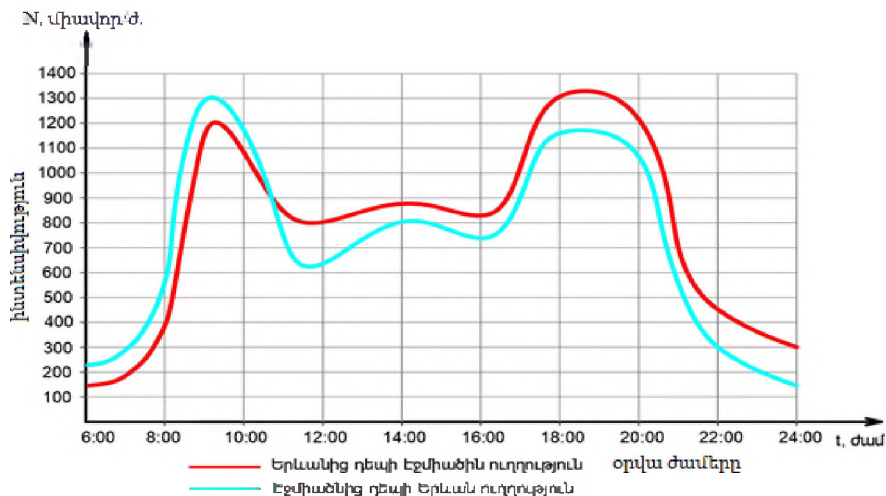
Արշակունյաց- Գ .Լուսավորիչ- Ագաթանգեղոս խչ. երթևեկության ուղղությունները	«Պիկ» ժամանակահատվածների անհամաչափության գործակիցները՝ $K_{ան.}$		
	ուղիղ	աջ	ձախ
Արշակունյաց պ.	-	$\frac{1.85*}{1.60}$	$\frac{1.64*}{1.35}$
Գ. Լուսավորիչ փ.	-	$\frac{1.88*}{1.74}$	$\frac{1.75*}{1.44}$
Ագաթանգեղոս փ.	$\frac{1.78*}{1.38}$	$\frac{1.66*}{1.28}$	-

* ծանոթություն. անհամաչափության գործակիցները համարիչում առավելագույն, հայտարարում երեկոյան:

Լուսացույցային կարգավորման արդյունավետության բարձրացման նպատակով դիտարկվել են բազմաձրագրային և ճկուն մեթոդների կիրառման հնարավորությունները: Տեղային բազմաձրագրային կոշտ կարգավորումը թույլ է տալիս օրվա տարբեր ժամանակահատվածների համար կիրառել տարբեր կարգավորման ռեժիմներ՝ ելնելով տրանսպորտային հոսքերի նախապես վերլուծված տվյալներից: Սակայն այս մեթոդը չի արձագանքում ՏՀ-ի կարճաժամկետ տատանումներին և չունի ծրագրերի փոփոխման մեթոդական մոտեցում: Որպես այլընտրանք, ճկուն (ադապտիվ) կարգավորման մեթոդները ապահովում են իրական ժամանակում կառավարման պարամետրերի օպտիմալ ընտրություն: Երևան քաղաքը ունի 1100 փողոց՝ 1291.4 կմ երկարությամբ: Փողոցային ցանցի լուսացույցային կարգավորվող 305 խաչմերուկներից հիմնականը գործում են տեղային կառավարման կոշտ մեթոդներով՝ մեկ ծրագրային ռեժիմով, սակայն հետազոտությունները վկայում են, որ ավելի արդյունավետ կարող են լինել ճկուն և բազմաձրագրային մեթոդները՝ պայմանավորված ՏՀ-ի ինտենսիվության տատանումների դինամիկայով: Վերլուծվել է նաև խաչմերուկներում ՏՀ տեխնոլոգիական ալգորիթմների արդյունավետությունը՝ կախված տրանսպորտային դետեկտորների (ՏԴ) զգայուն տարրերի տեղադրման օպտիմալ հեռավորությունը կանգ գծից: Իրականացվել են միջազգային փորձում լայն տարածում ստացած SCOOT, SCATS, OPAC, RHODES, UTOPIA և այլ համակարգերի ուսումնասիրություններ:

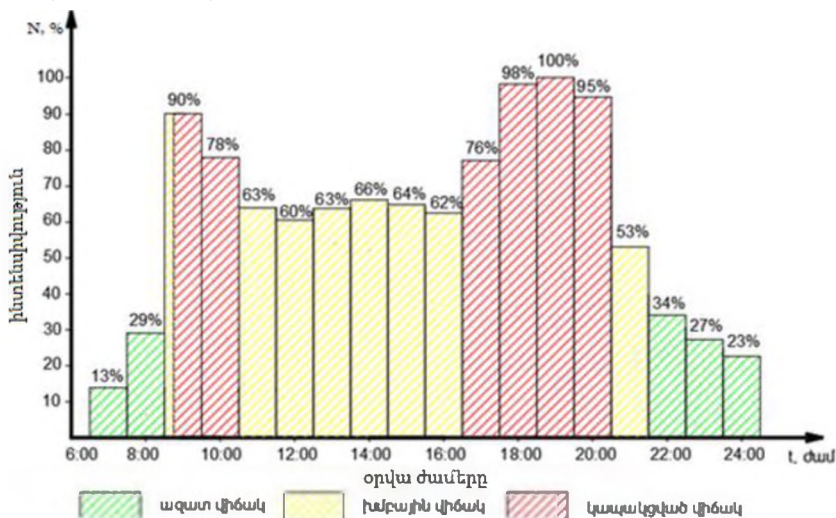
Երկրորդ գլխում հիմնվելով իրական չափումների արդյունքում ստացված տվյալների հիման վրա վերլուծվել է տրանսպորտային հոսքերի ժամանակային փոփոխականությունը՝ անհամաչափությունը: Ներկայացվել է խաչմերուկներում ՏՃԿ համակարգի անհրաժեշտությունն ու արդյունավետությունը երթևեկության պիկ և ոչ պիկ ժամերին: Ձևավորել է ՏՃԿ համակարգում հիմնական տակտի առավելագույն տևողության կախվածության գնահատումը՝ տրանսպորտային հոսքի երթևեկության ինտենսիվության մեծությունից: Տրանսպորտային հոսքի երթևեկությունը բարդ և բազմամակարդակ գործընթաց է, որը բնութագրվում է քանակական (ինտենսիվություն, արագություն, խտություն) և որակական (ստոխաստիկություն, դինամիկություն, փոխկապակցվածություն) ցուցանիշներով: ՏՀ-ը տարբեր ինտենսիվության պայմաններում կարող է գտնվել ազատ, խմբային և կապակցված վիճակներում, որոնք պահանջում են տարբեր կառավարման մոտեցումներ: Դինամիկ և ստոխաստիկ բնույթը հանգեցնում են օրվա ընթացքում երթևեկության ինտենսիվության փոփոխություններին, ինչը պետք է հաշվի առնել լուսացույցային ազդանշանային ծրագրերի (ԱԾ) մշակման ժամանակ: Ճանապարհային երթևեկության կառավարման համակարգի (ՃԵԿ) օգտագործման տասնյակ տարիների փորձը վկայում է, որ լուսացույցային կարգավորման բոլոր պարամետրերի կառավարման ծրագրերը մինչ օրս լիարժեք հստակեցված չեն: Մասնավորապես, տեղային ճկուն կարգավորման (ՏՃԿ) ռեժիմների պարամետրերի կառավարման վերաբերյալ միանշանակ և համապարփակ մեթոդաբանություն դեռևս մշակված չէ: ՏՃԿ համակարգի բարելավման համար անհրաժեշտ է վերլուծել խաչմերուկներում ՏՀ-ի ինտենսիվության ինչպես օրական այնպես էլ ներժամային փոփոխությունները, հաշվարկել հիմնական տակտի նվազագույն և առավելագույն տևողությունները և սահմանել տեխնիկական պահանջներ տրանսպորտային դետեկտորների տեղադրման համար: Հետազոտվել են ք. Երևանում ներդրված տեղային ճկուն կառավարման (ՏՃԿ) «Խելացի խաչմերուկ» համակարգերը՝ Երևանյան փ. - Ի.Գասպարյան փ. (դեպի «Ջվարթնոց» օդանավակայան), Ավան վարչական շրջանի Աճառյան-Ծարավ աղբյուր և Աճառյան-Բաբաջանյան փողոցների խաչմերուկներում:

Նշված խաչմերուկներում ներդրված տեղային ճկուն կառավարման (ադապտիվ) համակարգերը ներկայումս չեն գործում, խաչմերուկները աշխատում են կոշտ լուսացույցային կարգավորման ռեժիմով: Ուստի այդ խաչմերուկներում առկա վիճակը բացահայտելու և գնահատելու համար կատարվել են լայնածավալ հետազոտական աշխատանքներ: Նշված խաչմերուկներում իրականացված հետազոտության արդյունքում արձանագրվել են մի շարք տեխնիկական թերություններ՝ որոնք մանրամասն ներկայացված են ատենախոսական աշխատանքում: Վերլուծության արդյունքները ցույց են տալիս, որ տրանսպորտային հոսքի բնութագրերը, հատկապես ինտենսիվությունը դինամիկորեն փոխվում է օրվա ընթացքում (Նկ. 2), ինչը ուղեկցվում է տրանսպորտային հոսքի վիճակների անցումներով: Այս փոփոխությունները ընդգծում են երթևեկության կառավարման ռեժիմների ճկունության և օպտիմալացման անհրաժեշտությունը: ՏՃԿ-ի արդյունավետ կառավարման համար առավել մեծ ազդեցություն ունեն դինամիկությունը, ստոխաստիկությունը և փոխկապակցվածությունը: Ստոխաստիկությամբ արտահայտվում են ՏՀ-ի երթևեկության պատահական և փոփոխական բնութագրերը:



Նկ. 2 Երևանյան փ. – Ի. Գասպարյան փ. խաչմերուկի ինտենսիվության գրաֆիկը օրվա ընթացքում

Ինչպես երևում է Նկ. 3-ից, առավոտյան ժամանակահատվածում, Երևանյան փ. – Ի. Գասպարյան փ. խաչմերուկում՝ Երևանից դեպի Էջմիածին ուղղությամբ դիտվում է ՏՀ-ի ինտենսիվության անկանխատեսելի բնույթ և տարբեր ժամանակահատվածների ինտենսիվությունը միմյանցից տարբերվում է մինչև 100%-ի սահմաններում, իսկ բարձր ինտենսիվությամբ ժամանակահատվածներում (մոտ 800 միավոր/ժ. մեկ երթևեկելի գոտու համար) այդ տարբերությունները կարող են կազմել մինչև 10%:



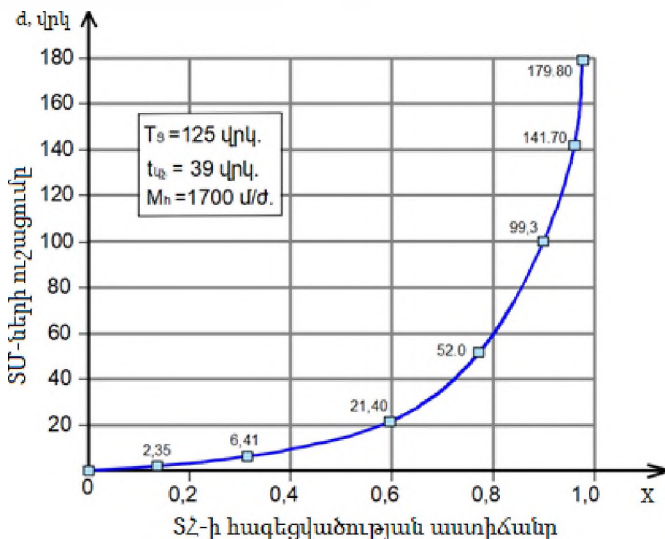
Նկ. 3 Երևանյան փ. – Ի. Գասպարյան փ. խաչմերուկի ՏՀ-ի ինտենսիվության անկանխատեսելի բնույթը և նրանց տարբերությունը ըստ ժամանակահատվածների

Կարգավորվող խաչմերուկների ուղղությունների ծանրաբեռնվածության մակարդակը բնութագրող ցուցանիշը հազեցվածության աստիճանն է, որը գտնվում է 0-ից 1-ի սահմաններում և որոշվում է հետևյալ (1) բանաձևով:

$$X = \frac{T_S}{t} \cdot \frac{N}{M_C}, \quad (1)$$

որտեղ, T_S -լուսացուցային կարգավորման ցիկլի տևողությունն է, վրկ, t -ն հետազոտվող ուղղության փուլի տևողությունն է, վրկ., N -ն հետազոտվող ուղղության երթևեկության ինտենսիվությունն է, միավոր/ժ., M_C -ը տրանսպորտային հոսքի հազեցվածություն է, միավոր/ժ. ($M_C = \text{const}$):

Ինչպես երևում է (1) բանաձևից, անկախ փոփոխականը, որը ազդում է հազեցվածության աստիճանի վրա հանդիսանում է SC -ի ինտենսիվությունը նշանակում է, որ SC -ի ինտենսիվության աճի հետ մեկտեղ աճում է նաև հազեցվածության աստիճանը: Նշված խաչմերուկի՝ Երևանից դեպի Էջմիածին ուղղության 2-րդ երթևեկելի գոտու SC -ի ուշացման վերլուծությունը (Նկ. 4) ցույց տվեց, որ երբ հազեցվածության աստիճանը մոտ է 1-ին, ապա ինտենսիվության պատահական աճը հանգեցնում է SC -ի ուշացման զգալի աճի: Եթե SC -ն գտնվում է թողունակության սահմանին, ապա ինտենսիվության փոքր տատանումները կարող են հանգեցնել մեծ տրանսպորտային ուշացումների: Ելնելով վերը նշվածից կարելի է կատարել եզրակացություն, որ անհրաժեշտ է իրականացնել SC -ի անհամաչափության վերլուծություն կախված հազեցվածության աստիճանից և SC -ի վիճակից:



ՏՆ-ի հազեցվածության աստիճանը

Նկ. 4 Երևանյան և Ի. Գասպարյան խաչմերուկի SU -ների ուշացման կախվածությունը SC -ի հազեցվածության աստիճանից

SC -ի ներժամային անհամաչափության փոփոխությունների սահմանների որոշման համար կիրառվել է ժամանակային շարքերի և վիճակագրական մեթոդները: Երթևեկության ինտենսիվության փոփոխությունների ուսումնասիրությունը բավականին բարդ գործընթաց է, քանի որ ինտենսիվության տատանումները հաճախ ունեն պատահական բաղադրիչներ: Այս պատճառով SC -ի անհամաչափության գնահատման

ժամանակ անհրաժեշտ է հաշվի առնել նաև ժամանակային գործոնի ազդեցությունը՝ հստակեցնելով ՏՀ-ի փոփոխվող բնույթի ամբողջական պատկերը: Այս տեսանկյունից, ժամանակային շարքերի վերլուծությունը կարևոր գործիք է, ինտենսիվության հիմնական օրինաչափությունների ներազդեցությունը գնահատելիս: Երբ ուսումնասիրում ենք ՏՀ-ի պատահական գործընթացները, կարևոր է հասկանալ, թե ինչպես են դրանք փոխվում ժամանակի ընթացքում: Այդ փոփոխությունները հաճախ արտահայտվում են որպես տատանումներ, որոնք ունեն ամպլիտուդա և հաճախականություն: Պատահական գործընթացների այսպիսի մանրամասն վերլուծության համար արդյունավետ գործիք է Ֆուրիեի շարքերը: Դրանք թույլ են տալիս բարդ և անկանոն գործընթացը ներկայացնել պարզ և կանոնավոր տատանումների գումարով, որի էքսպոնենցիալ տեսքը ըստ էյլերի բանաձևի կարող ենք ներկայացնել հետևյալ արտահայտությամբ

$$F(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-i\omega x} dx, \quad (2)$$

ՏՀ-ի ներժամային անհամաչափության հետագա ուսումնասիրման նպատակով անհրաժեշտ է ընտրել ցուցանիշ, որը թույլ կտա որոշել այդ անհամաչափության մեծությունը: Երթևեկության ինտենսիվության միջին գծային շեղումը (ՄԳՇ) միջին ժամային ինտենսիվությունից որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ.

$$\Delta N = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |N_i - \bar{N}|, \quad (3)$$

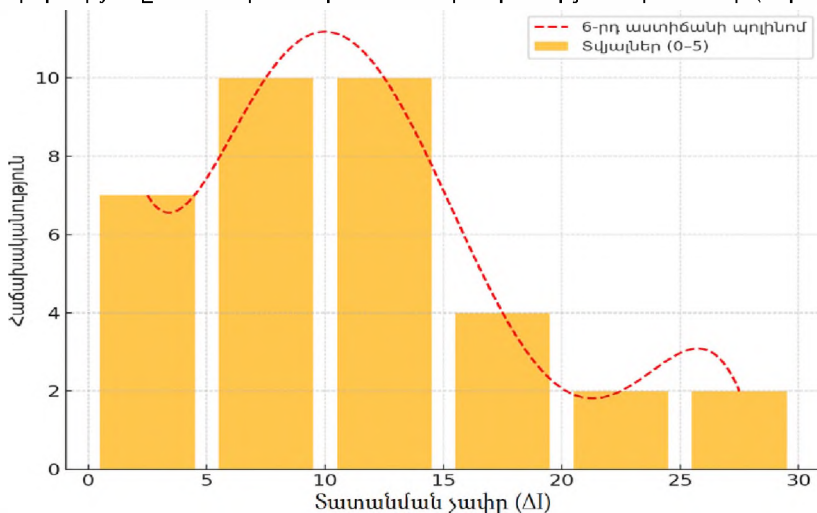
որտեղ, N_i –ն երթևեկության ժամային ինտենսիվությունը i -րդ միջակայքում, միավոր/ժ., $\bar{N}$ –ն միջին ժամային ինտենսիվություն է, միավոր/ժ., n –ը ժամում միջակայքերի թիվն է:

ՄԳՇ-ն հաշվում են այն նպատակով, թե որքանով է յուրաքանչյուր արժեք շեղվում միջին արժեքից, և արտահայտում է տվյալ մեծության փոփոխականությունը: ՏՀ-ի հատկությունների, ինչպես նաև անհամաչափությունների, վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ ճկուն կառավարման ռեժիմների արդյունավետության վրա ՏՀ-ի ազատ վիճակում, հիմնականում ներազդում է ստոխաստիկությունը:

Երրորդ գլխում իրականացվել է Երևան քաղաքի խաչմերուկներում տրանսպորտային հոսքերի իրական դիտարկումների և փորձարարական ուսումնասիրությունների իրականացում՝ նպատակ ունենալով բացահայտել երթևեկության ինտենսիվության անհամաչափությունը, ստոխաստիկությունը և հաստատվել է երկրորդ գլխում հստակեցված վարկածը: Քաղաքային խաչմերուկներում երթևեկության արդյունավետ կազմակերպման նպատակով մշակվել են տեխնիկական միջոցների կիրառման սկզբունքները, ինչպես նաև կարգավորման ռեժիմների հաշվարկի մեթոդները: Սակայն գործող մեթոդիկաները չեն ընդգրկում բոլոր այն գործոնները, որոնք կարող են ազդել տրանսպորտային հոսքերի (ՏՀ) կառավարման արդյունավետության վրա: Սա հիմնականում պայմանավորված է նրանով, որ կառավարման ներգործությունների ամբողջական շրջանակն ունի բազմաբաղադրիչ կառուցվածք, և որոշ կարևոր ազդեցություններ պարզապես դուրս են մնում հաշվի առնվող պարամետրերից: Այդպիսի բաղադրիչներից են օրինակ, լուսացույցի ազդանշանների ծրագրի գործարկման տևողությունը, փուլի տևողությունը, ՏԾԿ-ի դեպքում՝ կանաչ ազդանշանի առավելագույն տևողությունը, որոնք կարող են էապես ազդել խաչմերուկի թողունակության վրա: Ճանապարհային երթևեկության կազմակերպման (ՃԵԿ) արդյունավետության գնահատման համար անհրաժեշտ է եղել իրականացնել փորձարարական հետազոտություններ: Հետազոտական աշխատանքում

որպես ժամանակային չափանիշ ընտրվել է 1 ժամ տևողությամբ ժամանակահատվածը, բաժանված 5 րոպե տևողությամբ հատվածների: Ստացված տվյալները մշակվել են, հաշվարկվել են միջին ցուցանիշները և դրանց համապատասխան շեղումները:

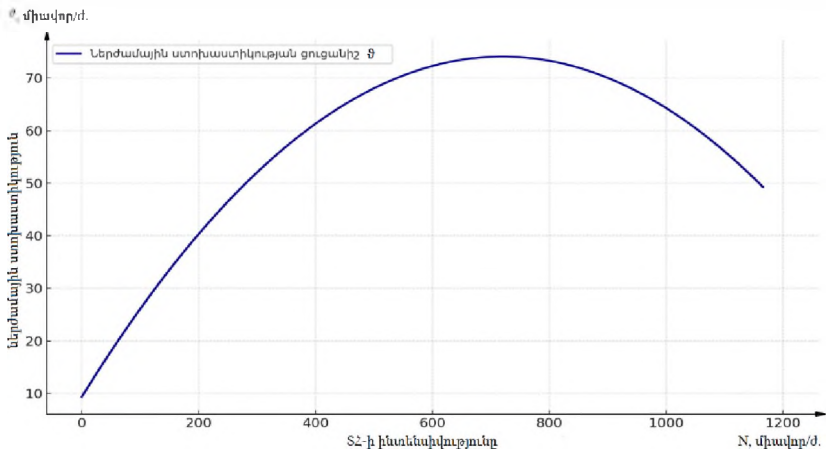
Տրանսպորտային հոսքի ինտենսիվության ժամանակային շարքերի վերլուծության համար կիրառվել է Ֆուրիեի վերլուծության մեթոդը, որը հնարավորություն է տալիս բացահայտելու տվյալների պարբերական տատանումները և գնահատելու դրանց վիճակը ժամանակի ընթացքում: Ֆուրիեի վերլուծության նպատակն է առանձնացնել տրանսպորտային հոսքերի ինտենսիվության փոփոխությունների հիմնական պարբերականությունները՝ հասկանալու համար, թե ինչ հաճախականությամբ և ինչ օրինաչափությամբ են առաջանում երթևեկության ընթացքում ինտենսիվության փոփոխությունները: Ճշգրիտ տվյալներ ստանալու նպատակով սպեկտրալ վերլուծության համար տվյալների հավաքագրումը իրականացվել է 3-10 ժամ տևողությամբ ժամանակահատվածներով, ուսումնասիրելով SC-ի մեկ վիճակից մյուսին անցնելու հանգամանքը, ինչպես նաև ստոխաստիկ հատկությունը: Ֆուրիեի փոխակերպումը և սպեկտրալ վերլուծությունը կատարվել են Excel ծրագրային հարթակում, որի շնորհիվ ստացվել է SC-ի ինտենսիվության տատանման և հաճախականության միջինացված արժեքներով բնութագիրը: Իրականացված սպեկտրալ վերլուծության և 6-րդ աստիճանի պոլինոմիային մոտարկման արդյունքում ստացված տվյալները ցույց են տալիս, որ մեկուսացված խաչմերուկներում տրանսպորտային հոսքերի ինտենսիվության տատանումները ունեն որոշակի օրինաչափություններ: Մասնավորապես, գրաֆիկում ներկայացված է տատանման չափի (ΔI) փոփոխությունը՝ համապատասխան հաճախականության նկատմամբ (Նկ. 5):



Նկ. 5 Ինտենսիվության տատանումների հաճախականության բաշխման գրաֆիկը ըստ միջակայքերի

Այստեղ հաճախականությունը ցույց է տալիս, թե մեկ ժամում քանի անգամ է տեղի ունեցել տատանում: Տատանման չափերի աճի հետ մեկտեղ հաճախականությունը նվազում է՝ մեկ ժամում մինչև 4 անգամ, ինչը վկայում է արդեն որոշակի կայունության

մոտենալու մասին: Լուսացույցային համակարգերի աշխատանքային ռեժիմների հաճախակի փոփոխությունը (օրինակ՝ 15 րոպե ընդմիջումներով) միշտ էլ, որ նպատակահարմար է: Դա պայմանավորված է նրանով, որ ռեժիմների փոփոխության ընթացքում ճանապարհային կոնտրոլներն որոշ ժամանակ աշխատում են անցումային փուլով, որի արդյունքում մի քանի ցիկլի ընթացքում լուսացույցը չի ապահովում առավելագույն թողունակություն, ինչն էլ հանգեցնում է լրացուցիչ ուշացումների: Ավելի ռացիոնալ է նման անցումային կամ անկայուն փուլերի ընթացքում կիրառել կարգավորման այնպիսի ռեժիմ, որը նախատեսում է որոշակի պահուստային ժամանակ՝ ինտենսիվության հնարավոր աճին արձագանքելու համար (ՏՃԿ): Դրա համար անհրաժեշտ է սահմանել պատահական բաղադրիչի տատանումների չափերը՝ օգտագործելով ինտենսիվության միջին գծային շեղման հիմնավորված ցուցանիշ, որը ներկայացնում է տրանսպորտային հոսքի ստոխաստիկությունը և ներժամային անհամաչափությունը: Պարբերաբար իրականացված հինգ րոպեանոց դիտարկումներով արձանագրված տատանումների միջին շեղումները թույլ են տալիս առանձնացնել միտումային կախվածություն, որի ընթացքում ինտենսիվության մեծացման հետ մեկտեղ աճում է նաև ներժամային ստոխաստիկությունը՝ հասնելով որոշակի սահմանային արժեքի, որից հետո նկատվում է նվազման միտում (Նկ. 6):



Նկ. 6 Ներժամային ϑ ստոխաստիկության ցուցանիշի կախվածության գրաֆիկը երթևեկության N ինտենսիվությունից

Հետազոտությունը ընդգրկել է կարգավորվող խաչմերուկներում անհրաժեշտ երթևեկության պայմանները, որոնք ներկայացված են ատենախոսության 3-րդ գլխում: Որպես ներժամային անհամաչափության գնահատման ցուցանիշ ընտրվել է 5 րոպեանոց ժամանակահատվածներում ստացված ժամային միջին արժեքից SC -ի ինտենսիվության միջին գծային շեղումը: Համապատասխան հաշվարկներով (նվազագույն քառակուսիների մեթոդով) որոշվել են պոլինոմի գործակիցները և ստացվել հետևյալ արտահայտությունը.

$$\vartheta = 9,313 + 0.18N - 0.000125 N^2 \quad (4)$$

Կառուցված ոչ գծային մոդելի վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ մոդելի գործակիցները էական դեր ունեն ներժամային ստոխաստիկության ցուցանիշի և

երթևեկության ինտենսիվության միջև դիտարկված տվյալների կապի մեջ (մոտ 77%): Այս սահմանափակումը պայմանավորված է նրանով, որ երթևեկության ինտենսիվության փոփոխությունները պայմանավորված է ոչ միայն մեկ գործոնով, այլ նաև մի շարք պարամետրերով: Միագործոն մոդելը կարելի է կիրառել միայն այն դեպքերում, երբ լրացուցիչ ազդող գործոնների վերաբերյալ տվյալները հասանելի չեն: Ուստի լիարժեք պատկեր ստանալու համար կիրառվել են բազմագործոն մոդելներ: Հաշվի առնելով գործոնների քանակն ու դրանց նշանակալի ազդեցությունը՝ ստացվել է ներժամային ստոխաստիկության ցուցանիշի հետևյալ մաթեմատիկական մոդելը.

$$\vartheta = -50 + 0.15N + 179.8l + 20n + 9.8\beta_p - 0.0001N^2 - 140l^2 - 1.9n^2 - 0.98\beta_p^2 + 0.05Nl - 0.02Nn + 0.01N\beta_p - 30ln + 5l\beta_p - 2.93n\beta_p. \quad (5)$$

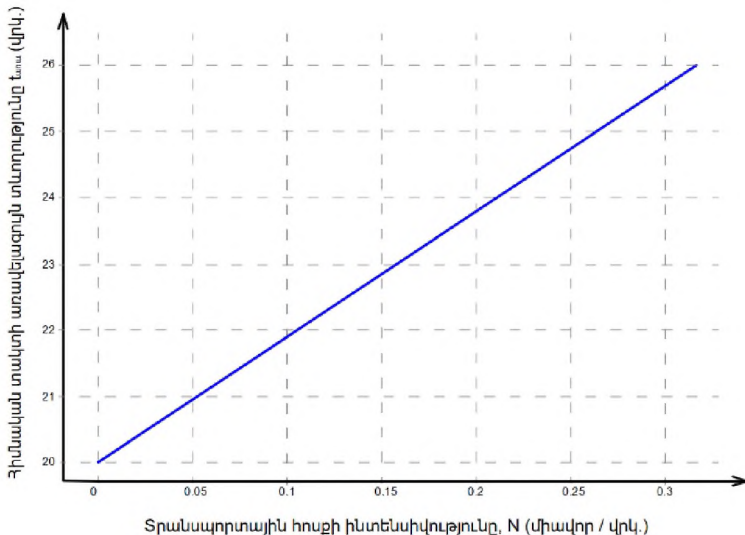
Վերլուծելով տրանսպորտային հոսքի օրական անհամաչափությունը կատարվել են հետևյալ հիմնական եզրակացությունները.

- Տրանսպորտային հոսքը օրվա ընթացքում մի շարք ժամանակահատվածներում գտնվում է ազատ վիճակում, երբ առավել արդյունավետ է կիրառել տեղային ճկուն կառավարման ռեժիմը (ՏՀԿ):
- Քանի որ երթևեկության ինտենսիվության ցուցանիշները օրվա ընթացքում անընդհատ փոփոխվում են, ապա յուրաքանչյուր 15 րոպեն մեկ, պետք է հաշվի առնել ցիկլում հիմնական տակտի առավելագույն տևողության արժեքը և պարբերաբար կատարել դրա ճշգրտումներ:

Նվազագույն քառակուսիների մեթոդով ստացվել է եեգրեսիոն հավասարումը, որը ներկայացված է երկրորդ գլխում:

$$t_{\text{կ. առ.}} = 19 * N + 20, \text{ վրկ} \quad (6)$$

որտեղ, $t_{\text{կ. առ.}}$ -ը հիմնական տակտի առավելագույն տևողությունն է, վրկ., N -ը տրանսպորտային հոսքի ինտենսիվությունն է, միավոր/վրկ.



Նկ. 7 Տրանսպորտային հոսքի ինտենսիվության և հիմնական տակտի առավելագույն տևողության միջև առկա գծային կապը

Ինչպես երևում է գրաֆիկից (Նկ. 7) տրանսպորտային հոսքի ցածր ինտենսիվության՝ 0.3 միավ./վրկ. միջակայքում մինչև տրանսպորտային հոսքը գտնվում է ազատ կամ մասնակի ծանրաբեռնված (խմբային) վիճակում: Այս պայմաններում, համաձայն (6) ռեգրեսիոն հավասարման, հիմնական տակտի առավելագույն տևողությունը տատանվում է 20-ից մինչև 30 վարկյան տիրույթում: Այս ցածր տևողությունները հնարավորություն են տալիս իրականացնել ճկուն և արդյունավետ կառավարում, ինչը հատկապես կարևոր է առավոտյան և երեկոյան ժամանակահատվածներում, երբ SC-ի ինտենսիվության արժեքը փոքր է և առկա են անկանխատեսելի տատանումներ (ստոխաստիկություն):

Չորրորդ գլխում ներկայացվել են ք. Երևանի Երևանյան փ. – Գասպարյան փ. խաչմերուկում իրականացված հետազոտությունները, տրանսպորտային հոսքերի վերլուծություն և տեղային ճկուն կառավարման ռեժիմի նոր մոդելի հաշվարկ: Ֆինանսական սահմանափակումներով պայմանավորված՝ մոդելի փորձարկումն իրականացվել է Օմսկ քաղաքի Հյուսիսային 7-րդ փողոց – Վավիլովայի փողոց և Իրկուտսկ քաղաքի Բայկալսկայա փողոց – Դոնսկայա փողոց խաչմերուկներում: Առաջարկված նոր մոդելի կիրառմամբ հաշվարկվել է կառավարման ռեժիմները և ներդրվել: Արդյունավետության գնահատման նպատակով հաշվարկվել է համակարգի ներդրումից առաջ և հետո ուշացումները և իրականացվել համեմատական վերլուծությունը:

Ստացիոնար դիտակետերում ուշացումների չափման արդյունքների հիման վրա հաշվարկել է մեկ տրանսպորտային միջոցի d_{15} միջին ուշացումը և չափման ժամանակահատվածի համար տրանսպորտային հոսքի ընդհանուր D_{15} ուշացումը:

$$D_{15} = \frac{400}{T_8} \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^m n_{ij}, \quad (7)$$

$$d_{15} = \frac{D_{15}}{N_{15}}, \quad (8)$$

որտեղ, T_8 –ն՝ ցիկլի տևողությունն է, վրկ., n_{ij} –ն՝ հերթում տրանսպորտային միջոցների քանակն է i -րդ ցիկլի ընթացքում և j -րդ հինգ վարկյանների միջակայքում, N – ը տրանսպորտային միջոցների քանակն է, որոնք անցել են 15 րոպեում:

ՏՃԿ արդյունավետության հաշվարկը կոշտ ռեժիմի նկատմամբ՝ վերլուծական և փորձարարական մեթոդներով որոշվում է հետևյալ բանաձևով:

$$\Theta = \frac{d_q - d_{\text{th}}}{d_q} \cdot 100\%, \quad (9)$$

որտեղ, d_q –ն ուշացումն է՝ հաշվարկված վերլուծական մեթոդով, վրկ., d_{th} –ն ուշացումն է՝ հաշվարկված փորձարարական մեթոդով, վրկ.:

SC-ի վերլուծության շրջանակում յուրաքանչյուր 15 րոպեանոց ժամանակահատվածի ուշացման տվյալները հաշվարկվում և ամփոփվում են՝ նպատակ ունենալով ստանալ ընդհանուր ուշացման արժեքը ամբողջ դիտարկվող ժամանակահատվածի համար, ըստ հետևյալ բանաձևի:

$$d = \sum_{\ell=1}^{\ell} d_{15}^{(\ell)}, \quad (10)$$

որտեղ, ℓ –ը չափման ժամանակահատվածի համարն է:

Չափման ժամանակահատվածում մեկ տրանսպորտային միջոցի միջին ուշացումը որոշվում է հետևյալ հավասարմամբ.

$$d_1 = \frac{\sum_{t=1}^Y d_{15}^{(t)}}{N} \quad (11)$$

Հափման արդյունքները ամփոփվել են Աղյուսակ 2-ում, որտեղ ներկայացված են յուրաքանչյուր 15 րոպեում ստացված ուշացումների տվյալները կոշտ կառավարման և տեղային ճկուն կառավարման նոր մեթոդաբանության ժամանակ:

Տեղային ճկուն կառավարման հիմնական փուլերի տևողությունները հաշվարկվել են սահմանված կարգով՝ համապատասխան (6) բանաձևի: Հետազոտության արդյունքները ցույց են տալիս, որ երբ տրանսպորտային հոսքը գտնվում է ազատ վիճակում ՏՀԿ նոր մեթոդաբանությունը ավելի արդյունավետ է, քան կոշտ կառավարման ռեժիմը: Իսկ այն իրավիճակներում, երբ տրանսպորտային հոսքը գտնվում է խմբային և/կամ կապակցված վիճակում, կոշտ կառավարման ռեժիմը ցույց է տալիս ավելի լավ արդյունքներ:

Աղյուսակ 2

Խաչմերուկում չափումների արդյունքները և տրանսպորտային ուշացումներ

Հաշվարկման ժամանակահատվածը	ՏՀ-ի միջին ինտենսիվությունը միավոր/ժամ	Կառավարման որակական ցուցանիշներ		
		ՏՄ-ի ուշացում, վրկ.		
		Կառավարում		$\frac{d_{\text{վ}} - d_{\text{փ}}}{d_{\text{վ}}} \cdot 100\%$
		Կոշտ, $d_{\text{վ}}$	ՏՀ, $d_{\text{փ}}$	
06:00 - 08:00	380	7	2	71.4
08:00 - 09:00	590	9	5	44.4
17:00 - 19:00	720	12	14	-16.6

Նման համեմատության արդյունքում հնարավորություն է ընձեռնվել գնահատել նաև տարեկան կտրվածքով տնտեսական արդյունավետությունը ($\Theta_{\text{տն.}}$) արտահայտված գումարային տեսքով: Հաշվարկների համար որպես մեկ ՏՄ-ի ուշացման միջին արժեք ընդունվել է 1581.98 ՀՀ դրամի գումարային արժեքը: Տարեկան տնտեսական արդյունավետության հաշվարկման համար օգտագործվել է հետևյալ հավասարումը.

$$\Theta_{\text{տն.}} = \left(D_{\text{տարեկան}}^{\text{Կոշտ կառ. տարեկան}} - D_{\text{տարեկան}}^{\text{ՏՀԿ նոր տարեկան}} \right) * k_{\text{ն12}}, \quad (12)$$

որտեղ, $D_{\text{տարեկան}}^{\text{Կոշտ կառ. տարեկան}}$ -ն ՏՄ-ների տարեկան գումարային ուշացումն է լուսացույցի կոշտ կառավարման կիրառման ժամանակ, ավտ*տարի, $D_{\text{տարեկան}}^{\text{ՏՀԿ նոր տարեկան}}$ -ն ՏՄ-ների տարեկան գումարային ուշացումն է նոր ՏՀԿ համակարգի կիրառման ժամանակ, ավտ*տարի, $k_{\text{ն12}}$ -ն մեկ տրանսպորտային միջոցի մեկ ժամ ուշացման համար հաշվարկված տնտեսական կորուստների արժեքն է, դրամ:

Հաշվարկների արդյունքում հստակեցվել է, որ երթևեկության ուշացման նվազեցման (շուրջ 9-35 %) շնորհիվ կարող է տարեկան խնայվել միջինը 155 միլիոն դրամ գումար: Միաժամանակ արձանագրվել են նաև որոշ սահմանափակումներ, որոնք կարող են նվազեցնել ՏՀԿ-ի արդյունավետությունը, մասնավորապես այն վերաբերում է լուսացույցի թույլատրող ազդանշանի նվազագույն տևողություններին, որոնք հաճախ սահմանափակվում են հետիոտների կողմից երթևեկելի մասը անցնելու ժամանակով:

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

1. ՏՀ-ի ինտենսիվությունը փոփոխվում է օրվա ընթացքում անցնելով մեկ վիճակից մյուսին՝ ազատ, խմբային և կապակցված:
2. Վիճակների փոփոխության ժամանակ փոփոխվում է նաև ՏՀ-ի անհամաչափության մակարդակը, ինչպես նաև դրա հարաբերակցությունը տվյալ ժամանակահատվածի միջին ինտենսիվության նկատմամբ:
3. ՏՀ-ի ազատ վիճակում, յուրաքանչյուր ցիկլում անհամաչափությունը զգալիորեն ազդում է փուլերի տևողության վրա:
4. ՏՀ-ի խմբային և կապակցված վիճակներում անհամաչափությունը պահանջում է ցիկլի և փուլերի տևողությունների փոփոխություն:
5. Տեղային ճկուն կառավարման ժամանակ, հիմնական տակտի առավելագույն տևողության հաշվարկման բանաձևի ստացման համար անհրաժեշտ են փորձարարական տվյալներ:
6. ՏՀ-ի ազատ վիճակում ստոխաստիկությունը համադրելի է ինտենսիվության միջին արժեքի հետ, իսկ կապակցված վիճակում այն չի գերազանցում միջին ինտենսիվության 10%-ը:
7. ՏՀ-ի համակարգի կիրառելիությունը առավել արդյունավետ է ՏՀ-ի ազատ վիճակում, քանի որ ապահովում է խաչմերուկի նվազագույն ցիկլի տևողությունը և տրանսպորտային միջոցների նվազագույն ուշացումը:
8. ՏՀ-ի համակարգի կիրառման դեպքում հիմնական տակտի նվազագույն տևողությունը մշտական է և կախված չէ ՏՀ-ի վիճակից:
9. ՏՀ-ի հիմնական տակտի առավելագույն տևողությունը ազդում է խաչմերուկում տրանսպորտային միջոցների ուշացման վրա և պետք է հաշվարկվի միջինացված ժամանակահատվածի համար, կախված ՏՀ-ի միջին ինտենսիվության արժեքից:
10. Ներդրման արդյունքները ցույց են տալիս, որ ՏՀ-ի համակարգի կիրառումը հնարավորություն է տալիս բարձրացնել տրանսպորտային հոսքերի արդյունավետությունը միջինը 30–35%-ով այն խաչմերուկներում, որտեղ գործում է կոշտ լուսացույցային կառավարում և 6–9% լրացուցիչ աճով այն խաչմերուկներում, որտեղ ներդրված է ՏՀ-ի համակարգ՝ հին մեթոդաբանությամբ:

**ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԴՐՈՒՅԹՆԵՐԸ ԵՎ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ
ՀՐԱՏԱՐԱԿՎԱԾ ԵՆ ՀԵՏԵՎՅԱԼ ԳԻՏԱԿԱՆ ՀՈԴՎԱԾՆԵՐՈՒՄ**

1. Խ. Գ. Խաչատրյան, Մաշտոցի պողոտայում կորդինացված կառավարման համակարգի ներդրում, «Ագրոգիտություն և տեխնոլոգիա» պարբերական 3/75, 2021, էջ 241-248. DOI: 10.52276/25792822-2021.3-241
2. Ա. Տ. Սարգսյան, Խ. Գ. Խաչատրյան, Երևան քաղաքի տրանսպորտային հիմնախնդիրների լուծումը ժամանակակից տեխնոլոգիաների ներդրմամբ, «Ագրոգիտություն և տեխնոլոգիա» պարբերական 3/83, 2023, էջ 224-230. DOI: 10.52276/25792822-2023.3-224
3. Խ. Գ. Խաչատրյան, Երևան քաղաքի ճանապարհափողոցային ցանցի վրա տրանսպորտային դետեկտորների տեղադրման տեխնիկոտնտեսական հիմնավորումը, Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարանի գիտական աշխատություններ, 2024, 89(2), 23-29. <https://doi.org/10.54338/18294200-2024.2-03>
4. Վ. Մ. Հարությունյան, Խ. Գ. Խաչատրյան, Տեղային ճկուն կառավարման համակարգի արդյունավետության գնահատման գործնական վերլուծություն, Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարանի գիտական աշխատություններ, 2024, 89(2), 37-44, <https://doi.org/10.54338/18294200-2024.2-05>
5. Խ. Գ. Խաչատրյան, Տրանսպորտային հոսքերի ինտենսիվության փոփոխության առանձնահատկությունները, Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարանի գիտական աշխատություններ, 2025, 91(1), 15-21. <https://doi.org/10.54338/18294200-2025.1-02>
6. Վ. Մ. Հարությունյան, Խ. Գ. Խաչատրյան, Ինտեգրացված տեղային ճկուն կառավարման տեսական հետազոտություն, Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարանի գիտական աշխատություններ, 2025, 91(1), 45-50. <https://doi.org/10.54338/18294200-2025.1-06>

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕКРЕСТКАХ С ВНЕДРЕНИЕМ ГИБКИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ

РЕЗЮМЕ

Актуальность диссертационной работы обусловлена резким ростом количества автомобильного транспорта в городских условиях, особенно в г. Ереване, где интенсивность движения достигла уровней, вызывающих хронические перегрузки улично-дорожной сети, снижение пропускной способности и ухудшение экологической обстановки. Сложившаяся ситуация требует применения современных методов организации и управления дорожным движением, которые позволяют повысить эффективность работы регулируемых перекрёстков без значительных капиталовложений в инфраструктуру. В этой связи местные гибкое регулирования (МПР) становятся особенно актуальными как эффективное средство повышения пропускной способности и снижения заторов. Целью диссертационной работы является повышение эффективности организации дорожного движения на регулируемых перекрёстках города Еревана за счёт внедрения новой методологии местного гибкого регулирования, учитывающей динамические и стохастические характеристики транспортных потоков.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи: анализ суточной и внутрисуточной неравномерности интенсивности движения, исследование влияния транспортных задержек на функционирование перекрёстков, разработка нового метода расчёта максимальной продолжительности разрешающего сигнала светофора с учётом флуктуаций потока, а также экономическая оценка эффективности предлагаемой системы. Предложенная модель позволяет гибко адаптировать продолжительность разрешающего сигнала к текущей ситуации на перекрёстке, обеспечивая тем самым сокращение времени ожидания, уменьшение длины очередей и снижение числа остановок. Методика расчёта основана на применении методов теории вероятностей, анализа временных рядов, среднего линейного отклонения и быстрой преобразования Фурье, что позволило получить статистически обоснованные показатели для управления движением в реальном времени. В отличие от жёсткого регулирования, предложенная система позволяет гибко реагировать на изменяющуюся дорожную обстановку и тем самым повышать эффективность использования существующих ресурсов.

Научная новизна заключается в разработке новой математической модели расчёта максимальной продолжительности основного такта работы светофора, учитывающей стохастические характеристики интенсивности движения. Ранее существовавшие подходы не учитывали выраженную непредсказуемость потоков в течение часа, особенно в периодах между пиковыми значениями. В настоящей работе впервые был обоснован подход, позволяющий описать такие колебания и включить их в расчёт параметров управления. Полученные зависимости позволяют проектировать режимы работы светофора, способствующие снижению избыточных задержек, минимизации скоплений транспорта и повышению общей пропускной способности перекрёстков. Методология исследования включала системный и статистический анализ транспортных процессов, моделирование с использованием программных средств, а также натурные наблюдения за интенсивностью движения на перекрёстках в городах Ереван, Омск и Иркутск. Особое внимание уделялось сбору и обработке достоверных данных, необходимых для построения надёжных моделей управления. Были использованы транспортные детекторы, видеонаблюдение и ручной учёт, а также методы расчётного планирования экспериментов. Полученные данные прошли статистическую фильтрацию, сглаживание случайных колебаний и обработку на основе временных рядов.

Экспериментальные исследования и апробация предложенной методики проводились на реальных перекрёстках, в том числе в районах с высокой и средней загрузкой. В результате внедрения МГР была достигнута оптимизация фаз работы светофора, снижены средние задержки движения на 9–35%, а также повышена средняя скорость транспортного потока. Пропускная способность отдельных направлений увеличилась до 15%. Кроме того, предложенное решение позволило повысить устойчивость управления в условиях нерегулярных и асимметричных нагрузок, типичных для современных городов. Особое внимание в работе уделено экономической эффективности внедрения системы. Расчёты показали, что даже при частичном использовании предлагаемого подхода на отдельных перекрёстках можно достичь годовой экономии среднему 155 миллионов драмов за счёт снижения затрат времени. Это доказывает высокую окупаемость технологии и её применимость в условиях ограниченного городского бюджета. Кроме того, разработанная модель может использоваться в качестве основы при построении автоматизированных систем управления дорожным движением (АСУДД) как в изолированном, так и в сетевом формате.

Практическая значимость диссертации состоит в возможности внедрения разработанной методологии на перекрёстках без необходимости масштабных строительных работ. Методика может быть использована органами городского управления, дорожными службами, проектными организациями, а также в учебном процессе при подготовке специалистов в области транспортного планирования, организации движения и дорожной безопасности. Таким образом, представленная в диссертации научная разработка представляет собой полноценную инновационную систему адаптивного управления, способную эффективно решать актуальные задачи современной городской транспортной инфраструктуры. Работа объединяет глубокую теоретическую проработку, подтверждённую экспериментальными исследованиями, и высокую прикладную значимость, что делает её перспективной для практического применения в сфере управления дорожным движением.

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF TRAFFIC MANAGEMENT AT SIGNALIZED INTERSECTIONS THROUGH THE IMPLEMENTATION OF FLEXIBLE CONTROL METHODS

ABSTRACT

The relevance of this dissertation stems from the rapid and sustained growth in the number of motor vehicles in urban environments, particularly in Yerevan, where traffic intensity has reached levels that consistently overload the urban road network, reduce throughput, and negatively impact the environment. This situation underscores the urgent need for modern, cost-effective methods of traffic organization and control approaches that can optimize regulated intersections without requiring large-scale infrastructure investments. In this context, local flexible regulation (LFR) emerges as a promising solution for increasing the efficiency of urban traffic flow and mitigating congestion. The primary objective of this research is to enhance the effectiveness of traffic management at signal-controlled intersections in Yerevan through the development and implementation of a new LFR methodology. This methodology takes into account the dynamic and stochastic properties of urban traffic flows and adapts signal control parameters accordingly. To achieve this goal, the study addressed several key tasks: analyzing daily and intro-hour variations in traffic intensity, evaluating the effects of transport-related delays on intersection performance, developing a new method for calculating the maximum allowable duration of the green phase under conditions of flow fluctuation, and assessing the economic viability of the proposed approach.

The proposed control model allows for the real-time adaptation of traffic light green phases to reflect actual traffic conditions. Unlike rigid signal programs based on fixed schedules, the new approach dynamically adjusts green signal durations to respond to changing flow patterns, thereby minimizing queue lengths, reducing delay times, and decreasing the frequency of vehicle stops. The underlying computational framework incorporates methods from probability theory, time series analysis, average linear deviation, and fast Fourier transforms (FFT), resulting in a statistically grounded system suitable for real-time traffic control.

A key scientific contribution of the dissertation lies in the formulation of a novel mathematical model for determining the maximum length of a traffic signal's primary phase based on stochastic variations in traffic flow. Previous methodologies typically overlooked mid-hour fluctuations and short-term unpredictability in traffic behavior, leading to inefficiencies during non-peak periods. This work provides a new theoretical basis for modeling such variations and integrating them directly into control algorithms, enabling more precise traffic signal timing. The resulting control logic reduces unnecessary delays and traffic buildup while increasing overall intersection throughput. The research methodology combined theoretical modeling with empirical analysis. It included a systems-based and statistical examination of traffic flow patterns, supported by computer-based simulations and extensive field data collection. Observations were conducted at intersections in Yerevan, as well as in the cities of Omsk and Irkutsk, to test the generalizability of the proposed model. Field data were gathered through the use of transport detectors, video surveillance systems, and manual vehicle counts. The collected data were rigorously processed using statistical filtering techniques, temporal smoothing, and spectral analysis, ensuring the reliability of the model's input parameters.

Experimental testing of the LFR methodology was conducted at real intersections under varying traffic loads. The implementation of the new model led to measurable improvements in signal timing, reducing average vehicle delays by 9–35% and increasing average vehicle speeds. In several cases, intersection throughput for specific directions improved by up to 15%. The model also proved effective under asymmetric and irregular loading conditions, a common challenge in modern urban environments. These results confirm that even partial implementation of the LFR system can lead to substantial performance gains.

The economic analysis conducted as part of the study demonstrates the cost-effectiveness of the proposed system. Annual savings of up to 155 million drams were estimated due to reduced vehicle idle times and improved fuel efficiency. This makes the approach especially appealing for cities with limited municipal budgets, where large-scale infrastructure improvements may be financially infeasible. The model is flexible enough to be implemented both as a stand-alone solution at isolated intersections and as a building block for larger automated traffic control systems (ATCS).

The practical significance of the research lies in its applicability without requiring extensive reconstruction or infrastructure overhaul. The methodology can be adopted by municipal traffic departments, road authorities, and urban planners, as well as integrated into academic training programs for traffic engineers and transport system managers. Its theoretical rigor and practical reliability make it suitable for inclusion in intelligent transportation system (ITS) frameworks.

In summary, the dissertation presents an innovative, adaptable, and data-driven approach to urban traffic control. It bridges the gap between theoretical traffic flow modeling and practical traffic signal management, offering a scalable and efficient solution to the pressing problems of congestion and delay in urban traffic networks. The combination of a strong theoretical foundation, empirical validation, and clear economic benefits positions this research as a valuable contribution to the field of traffic engineering and urban mobility planning.

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines, positioned in the lower right area of the page.

