

ՏՐԱՆՍՊՈՐՏԱՅԻՆ ՀՈՍՔԵՐԻ ԻՆՏԵՆՍԻՎՈՒԹՅԱՆ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ
ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Խաչատուր Գազիկի Խաչատրյան

*Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարան, ք. Երևան, ՀՀ
xachatryanx.1998@gmail.com*

Կատարվել է տրանսպորտային հոսքերի վերլուծություն, որը հիմնված է տրանսպորտային համակարգի ֆիզիկական, համակարգային և ստոխաստիկ հատկանիշների ուսումնասիրության վրա: Գնահատվել են կարգավորվող խաչմերուկներում երթևեկության ծանրաբեռնվածության մակարդակը բնութագրող ցուցանիշները՝ հազեցվածության աստիճանը և հերթի ձևավորման պատահականությունը: Բացահայտվել է, որ ուշացման բաղադրիչների նշանակությունը փոխվում է, պայմանավորված հազեցվածության աստիճանի աճով: Օգտագործվել է Ֆուրյեի վերլուծությունը, որը թույլ կտա բացահայտել ինտենսիվության տատանումների կառուցվածքը և դրանց բնութագրերը:

***Բանալի բառեր.** խաչմերուկ, տեղային ճկուն կարգավորում, լուսացույց, տրանսպորտային դետեկտոր, տրանսպորտային հոսք*

Ներածություն

Ժամանակակից ճանապարհային երթևեկության կազմակերպման հիմնական նպատակներից է ապահովել տրանսպորտային հոսքերի առավել արդյունավետ կառավարում՝ նվազեցնելով երթևեկության խոչընդոտները և բարձրացնելով համակարգի ընդհանուր թողունակությունը: Այս գործընթացն ուղղված է երթևեկության հոսքերի վերահսկման և բաշխման ճկուն մեխանիզմների ստեղծմանը, որոնք հիմնված են տվյալ համակարգի գործարկման ընթացքում ստացված տեղեկատվության վրա: Ճանապարհային երթևեկության կառավարման ռեժիմները մշակվում են՝ հաշվի առնելով լուսացույցային համակարգերի ցիկլերի և փուլերի փոխհարաբերությունը, մայրուղիների ծանրաբեռնվածության մակարդակը և ճանապարհափողոցային ցանցի (ՃՓՑ) կառուցվածքային առանձնահատկությունները [1-4]:

Տրանսպորտային հոսքի (ՏՀ) վերլուծությունը հիմնված է մի շարք կարևոր հատկությունների ուսումնասիրության վրա, որոնք բնորոշում են երթևեկության ինտենսիվության, արագության և խտության փոփոխությունները տարբեր ժամանակահատվածներում: Դրանք են՝ դինամիկությունը, կայունությունը, իներցիոնությունը, ստոխաստիկությունը, փոխկապակցվածությունը, ավտոմեքենաների խմբերի խզումը և ձևավորումը: Այս հատկություններից բոլորն ունեն հնարավոր ազդեցություններ կառավարման ռեժիմների հաշվարկման դեպքում [5, 6]:

Նյութեր և մեթոդներ

Ճանապարհային երթևեկության կառավարման համակարգի (ՃԵԿՀ) օգտագործման տասնյակ տարիների փորձը վկայում է, որ լուսացույցային կարգավորման բոլոր պարամետրերը մինչ օրս լիարժեք հստակեցված չեն: Մասնավորապես, տեղային ճկուն կարգավորման (ՏՃԿ) ռեժիմների պարամետրերի վերաբերյալ միանշանակ և համապարփակ մեթոդաբանություն դեռևս մշակված չէ: Սա պայմանավորված է տրանսպորտային հոսքի դինամիկ բնույթով, որը դժվարացնում է պարամետրերի կիրառումը, քանի որ երթևեկության ինտենսիվությունն ու հատկությունները փոփոխվում են ինչպես օրվա տարբեր ժամերին, այնպես էլ կախված տարվա եղանակային պայմաններից [7, 8]:

Տրանսպորտային հոսքի ինտենսիվության փոփոխությունների վերլուծությունը, հիմնված ՃԵԿՀ-ի աշխատանքի արդյունքների վրա, ցույց է տալիս, որ օրվա տարբեր ժամերին տրանսպորտային հոսքի փոխկախվածության մակարդակը փոփոխվում է, պայմանավորված տվյալ պահին հոսքի բնույթով և վիճակով [9]: Վերջինիս հստակեցման և առաջադրված նպատակի իրականացման համար անհրաժեշտ է կատարել հետևյալ քայլերը.

- վերլուծել քաղաքի խաչմերուկներում տրանսպորտային հոսքի ինտենսիվության փոփոխությունն օրվա ընթացքում,
- հաշվարկել տրանսպորտային հոսքի ինտենսիվության փոփոխության միջակայքը,
- ՏՃԿ ժամանակ հիմնական տակտի նվազագույն և առավելագույն տևողության որոշումը,
- կատարել ՏՀ-ի հատկությունների գործնական վերլուծություն,
- բացահայտել ՏՀ-ի հատկությունները, որոնք ազդում են ՏՃԿ աշխատանքի վրա,
- կանխատեսել ցիկլի տևողության կախվածությունը ՏՀ-ի ինտենսիվությունից,
- սահմանել տեխնիկական պահանջներ խաչմերուկներում տրանսպորտային դետեկտորների տեղադրման համար:

Այս գործողությունները կատարելու արդյունքում կստեղծվի հնարավորություն բարելավելու ճանապարհային երթևեկության կազմակերպման արդյունավետության հետևյալ ցուցանիշներն այն խաչմերուկում, որտեղ գործում է ՏՃԿ-ն.

- կրճատել տրանսպորտային միջոցների հերթերի երկարությունը,
- կրճատել տրանսպորտային միջոցների ուշացումները,
- կրճատել խճողումների առաջացման հավանականությունը:

Այսպիսով, նշված գործողություններն իրականացնելու համար անհրաժեշտ է կատարել տրանսպորտային հոսքի օրական ինտենսիվության փոփոխությունների վերլուծություն:

Արդյունքներ և քննարկում

Կարգավորվող խաչմերուկների ուղղությունների ծանրաբեռնվածության մակարդակը բնութագրող ցուցանիշը տրանսպորտային հոսքի հագեցվածության աստիճանն է, որը որոշվում է հետևյալ բանաձևով [10].

$$X = \frac{T \cdot \lambda}{t \cdot s}, \quad (1)$$

որտեղ T -ն ցիկլի տևողությունն է, t – ն՝ հետազոտվող ուղղության փուլի տևողությունը, λ – ն՝ հետազոտվող ուղղության երթևեկության ինտենսիվությունը, s – տրանսպորտային հոսքի հագեցվածությունը (s -const):

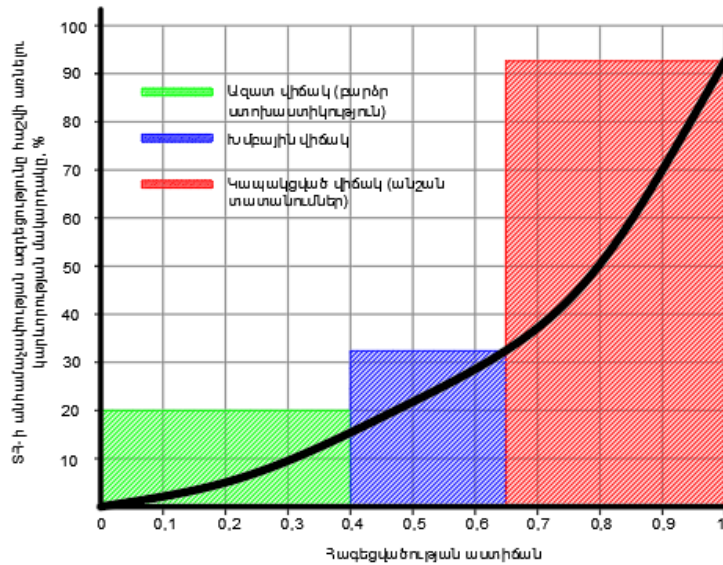
Ինչպես երևում է (1) բանաձևից, անկախ փոփոխականը, որն ազդում է հագեցվածության աստիճանի վրա, SZ -ի ինտենսիվությունն է: Հաշվի առնելով վերոգրյալը՝ կարելի է նշել, որ SZ -ի ինտենսիվության աճի հետ մեկտեղ աճում է նաև հագեցվածության աստիճանը: Քանի որ SZ -ն իր բնույթով պատահական է, դա նշանակում է, որ SZ -ի ինտենսիվությունը նույնպես ունի պատահական հատկություն, այսինքն՝ ժամանակի անհամաչափության փոփոխություն՝ ստոխաստիկություն: Հետևաբար, ժամանակի ընթացքում հագեցվածության աստիճանի փոփոխությունը նույնպես կփոխվի պատահական կերպով:

Հագեցած տրանսպորտային ցանցը հակված է անկայունության, քանի որ այն բավական զգայուն է նույնիսկ փոքրիկ խտտորումների նկատմամբ: Երբ երթևեկության ինտենսիվությունը նվազում կամ ավելանում է, դա կարող է հանգեցնել այնպիսի իրավիճակի, երբ $X \geq 1$ -ից, և այդ պահին սկսվում են խճողումներ և հերթեր խտտորման տեղամասում: Վերջիններս կարող են արագ ձևավորվել, սակայն դրանց վերացման գործընթացը կարող է զգալի ժամանակ տևել, քանի որ կարգավորման համակարգը կարող է չհասցնել արագ արձագանքել փոփոխություններին՝ ԱԾ-ի պակասի պատճառով: Այսպիսով, անհամաչափությունը դրսևորվում է նաև խաչմերուկից առաջ խճողումների և հերթերի ձևավորման պատահականությամբ: Կանաչ ազդանշանի վերջում հերթի միջին մեծությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով [11]՝

$$q = \frac{s \cdot (2X - 1)}{\lambda \cdot (1 - X)}: \quad (2)$$

Բանաձև (2)-ից հետևում է, որ հերթի երկարությունը կախված է երկու պարամետրերից՝ SZ -ի ինտենսիվությունից և հագեցվածության աստիճանից, ընդ որում, երբ $X \rightarrow 1$ -ի, հերթում տրանսպորտային միջոցների քանակը մի քանի անգամ ավելանում է: (2)-ը ցույց է տալիս, որ ուշացման բաղադրիչների ազդեցությունը փոխվում է, կապված հագեցվածության աստիճանի աճի հետ: Հագեցվածության աստիճանը մոտենալով 1-ին՝ ուշացման բաղադրիչները ստանում են ավելի մեծ նշանակություն: Մա նշանակում է, որ ինտենսիվությունը բարձրանալիս ու հագեցվածությանը մոտենալիս փոքրիկ փոփոխությունները կամ անկանխատեսելի իրավիճակները կարող են հանգեցնել զգալի ուշացումների, որոնք առաջացնում են նոր խցանումներ և կարգավորման ավելի մեծ դժվարություններ:

Վերոգրյալից հետևում է, որ ներժամային անհամաչափությունը հաշվի առնելու կարևորությունը մեծանում է երթևեկության ինտենսիվության և հագեցվածության աստիճանի աճով, քանի որ երբ SZ -ն գտնվում է թողունակության սահմանին, ինտենսիվության փոքր տատանումները կարող են հանգեցնել անհարկի բարձր տրանսպորտային ուշացումների (նկ.):



Նկ. SZ-ի անհամաչափությունը հաշվի առնելու կարևորության մակարդակի գրաֆիկը, կախված SZ-ի վիճակներից

Այսպիսով, կատարված վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ անհամաչափության նշանակությունը փոփոխվում է հազեցվածության աստիճանի աճի հետ և ինտենսիվության պատահական աճի հետևանքով հազեցվածության աստիճանի առավելագույն արժեքից խուսափելու համար կարևոր է լուսացույցային կառավարման պարամետրերը որոշել, հաշվի առնելով ներժամային անհամաչափությունը:

SZ-ի ներժամանակային անհամաչափության փոփոխությունների սահմանների որոշման համար անհրաժեշտ է իրականացնել դրա վերլուծությունը՝ կիրառելով ժամանակային շարքերի ուսումնասիրության և վիճակագրական մեթոդներ: SZ-ի անհամաչափության հետ կապված կարևոր հասկացություն է տատանումների պատահական բաշխումը՝ «տատանումների վերադրումը (ինտերֆերենցիան)»: Դրա հիմնական առանձնահատկությունը միջինից շեղումների քառասյնությունն է և դրանից բացի, առանձնանում են մի քանի հատկություններ ևս: Պատահական գործընթացներն ուսումնասիրելիս պատահական փոփոխականի մակարդակները ձևավորող տատանումների ամպլիտուդներն ու հաճախականությունները որոշելու արդյունավետ գործիք է այս մեծության ֆունկցիայի վերափոխումը Ֆուրյեի շարքերի միջոցով: Ընթացակարգը բաղկացած է ժամանակի պատահական ֆունկցիան հաճախականության պատահական ֆունկցիայի վերածելուց: Այս փոխակերպումն իրականացվում է, այն որպես տարբեր հաճախականություններով ներդաշնակ տատանումների գումարային ֆունկցիա ներկայացնելով, համաձայն հետևյալ բանաձևի [12].

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} F(x) \exp(-i\omega x) dx: \tag{3}$$

Հնարավոր է նաև կատարել հակադարձ փոխակերպում, սկզբնական ֆունկցիան ստանալու համար այն իրականացվում է ըստ հետևյալ բանաձևի՝

$$F(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) \exp(i\omega x) d\omega: \tag{4}$$

Գործնականում ամենից հաճախ օգտագործվում է Ֆուրյեի արագ փոխակերպումը, քանի որ այս մեթոդը հասանելի է համակարգչի վրա ծրագրային հաշվարկների համար և թույլ է տալիս նվազեցնել հաշվարկների տևողությունը: Ինչ վերաբերում է ժամանակի ընթացքում ՏՀ-ի ինտենսիվության փոփոխության պատահական ֆունկցիային, ապա օգտագործելով Ֆուրյեի փոխակերպումը, հնարավոր է որոշել ՏՀ-ի ինտենսիվության տատանումների հաճախականությունները և համապատասխան ամպլիտուդները: Իսկ տատանումների հաճախականությունների հետագա սպեկտրային վերլուծության օգտագործումը թույլ է տալիս դատել տատանումների մասին, որոնք հիմնական ներդրումն ունեն ՏՀ-ի ինտենսիվությունը փոխելու պատահական գործընթացի իրականացման գործում:

Ֆուրյեի վերլուծություն կատարելիս անհրաժեշտ է ընտրել ՏՀ-ի ինտենսիվությունը չափելու համապատասխան միջակայքեր և ժամանակաշրջաններ, որի համար կկատարվի Ֆուրյեի փոխակերպումը: Այս ցուցանիշներն ընտրվում են, կախված ուսումնասիրության խնդիրներից և նպատակներից: Ֆուրյեի վերլուծության օգտագործումը թույլ կտա բացահայտել ինտենսիվության տատանումների կառուցվածքը, դրանց բնութագրերը և որոշել տատանումների ամպլիտուդները, որոնք կարևոր նշանակություն ունեն երթևեկության ժամանակավոր անհամաչափության ձևավորման գործում: Ներկայացված վերլուծության հիման վրա հնարավոր է հաստատել լուսացույցային կարգավորման ծրագրերը հաշվարկելիս որոշակի տատանումները հաշվի առնելու անհրաժեշտության մասին վարկածը:

Եզրակացություն

- Տրանսպորտային հոսքի երթևեկությունն իրենից ներկայացնում է բավականին բարդ գործընթաց, որը կախված քանակական և որակական ցուցանիշներից, ժամանակի ընթացքում դրսևորվում է տարբեր կերպ:
- Հազեցած տրանսպորտային ցանցն անկայուն է այն իմաստով, որ երթևեկության փոքր խտտորումը (երբ $X \geq I$) կարող է հանգեցնել տրանսպորտային միջոցների հերթերի, մեծ ուշացումների և խճողումային վիճակի:
- Ինտենսիվության պատահական աճի պատճառով հազեցվածության աստիճանի կրիտիկական աճից խուսափելու համար անհրաժեշտ է լուսացույցային կառավարման պարամետրերը որոշելիս հաշվի առնել ներժամային անհամաչափությունը:
- Ֆուրյեի վերլուծության օգտագործումը թույլ կտա բացահայտել ինտենսիվության տատանումների կառուցվածքը, դրանց բնութագրերը և տատանումների ամպլիտուդները, որոնք կարևոր նշանակություն ունեն շարժման ժամանակավոր անավասարության ձևավորման գործում:

Գրականության ցանկ

- [1] **Л.Е. Кушенко, С.В. Кушенко, И.А. Новиков, П.А. Воля**, Организация дорожного движения: учеб.пособие, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, Белгород, 2018, 203 с.
- [2] **С.А. Ярков, В.В. Морозов**, Повышение эффективности организации дорожного движения в городах: монография, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, 2020, 161 с.
- [3] **В.А. Гавриков, С.А. Анохин, А.А. Гуськов, Н.Ю. Залукаева** Организация дорожного движения, учеб.пособие, Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, Тамбов, 2020, 144 с.
- [4] **О.М. Калмыкова**, Организация дорожного движения, учебно-методическое пособие, Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, 2019, 50 с.
- [5] **В.Л. Жданов**, Технические средства организации дорожного движения, учеб.пособие, КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, Кемерово, 2017, 267 с.
- [6] **И.Н. Пугачёв, А.Э. Горев, Е.М. Олещенко**, Организация и безопасность движения, учеб. пособие, Академия, Москва, 2009, 272 с.
- [7] **Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев**, Технические средства организации дорожного движения, учебник для вузов, ИКЦ «Академкнига», Москва, 2005, 279 с.
- [8] **В.Л. Жданов, Е.А. Григорьева**, Организация и безопасность дорожного движения, учеб. пособие, КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, Кемерово, 2012, 309 с.
- [9] **В.В. Петров**, Теория управления движением транспортных потоков в городах, учеб. пособие, Электрон. дан., СибАДИ, Омск, 2020, 101 с.
- [10] **В.В. Петров, А.С. Кашталинский**, Учет стохастичности при управлении транспортными потоками в связанном состоянии, Транспорт. Транспортные и технологические машины Вестник СибАДИ, вып. 6 (34) (2013) 23-25.
- [11] **D. Robertson**, “TRANSYT” Method for Area Traffic Control, Traffic Engineering & Control 11 (1969) 6.
- [12] **В.Т. Капитанов, Е.Б. Хилажев**, Управление транспортными потоками в городах, Городской транспорт, Транспортные потоки, Транспорт, Москва, 1985, 94 с.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ**Хачатур Гагикович Хачатрян***Национальный университет архитектуры и строительства Армении, г. Ереван, РА**xachatryanx.1998@gmail.com*

Проведен анализ транспортных потоков, основанный на изучении физических, системных и стохастических характеристик транспортной системы. Оценивались показатели, характеризующие уровень загруженности дорог на регулируемых перекрестках: степень насыщенности и хаотичность образования очередей. Выявлено, что значения составляющих задержки меняется с ростом степени насыщения. Использован Фурье-анализ, который позволит выявить структуру флуктуаций интенсивности и их характеристики.

Ключевые слова: *перекресток, местное гибкое регулирование, светофор, транспортный детектор, транспортный поток*

CHARACTERISTICS OF CHANGES IN INTENSIVITY OF TRANSPORT FLOWS

Khachatur Khachatryan

National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, RA

xachatryanx.1998@gmail.com

The article presents an analysis of transport flows based on the study of physical, systemic and stochastic characteristics of the transport system. The indicators characterizing the level of traffic congestion at controlled intersections were assessed: the degree of saturation and the chaotic nature of queue formation. It is revealed that the importance of the components of the delay changes due to the increase in the degree of saturation. Fourier analysis was used to identify the structure of intensity fluctuations and their characteristics.

Keywords: *intersection, local flexible regulation, traffic light, transport detector, transport flow*

Խաչատրյան Խաչատուր Գագիկի (ՀՀ, ք. Երևան) – ՃՇՀԱՀ, Շինարարական մեքենաներ և երթևեկության կազմակերպման սահման, հայցորդ, (+374)93693269, *xachatryanx.1998@gmail.com*

Хачатрян Хачатур Гагикович (РА, г. Ереван) - НУАСА, кафедра Строительных машин и организации движения, соискатель, (+374)93693269, *xachatryanx.1998@gmail.com*,

Khachatryan Khachatur (RA, Yerevan) - NUACA, Chair of Construction Machinery and Organization of Traffic, applicant, (+374)93693269, *xachatryanx.1998@gmail.com*

Ներկայացվել է՝ 08.01.2025թ.

Գրախոսվել է՝ 03.02.2025թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 30.04.2025թ.