ҒТАМР 50.49.33, 73.31.17 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.31-1582**

АСТАНА-КӨКШЕТАУ АҚЫЛЫ ЖОЛЫНДАҒЫ ҚОЗҒАЛЫС ҚАУІПСІЗДІГІН АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ТАЛДАУ

[1]Д. Жамангарин, [2]У. Жунисова [3]К. Акишев, [4]Г. Изтелеуова

[1]Л. Гумилев атындағы Евразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Медицина Университеті Астана, Қазақстан,
[3]К. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[4]Қазақстанның инновациялық және телекоммуникациялық жүйелер университеті, Орал, Қазақстан

Корреспондент-автор: akmail04cx@mail.ru

Зерттеудің өзектілігі дәстүрлі апаттық статистика қауіпті аймақтар мен ықтимал тәуекелдерді уақтылы анықтауға мүмкіндік бермейтін ақылы автомобиль жолдарындағы қозғалыстың алдын алу қауіпсіздігін арттыру қажеттілігіне байланысты. Жұмыста көлік құралдарының траекторияларын микроскопиялық талдауды қолдана отырып, ақы алу аймағындағы Астана–Көкшетау ақылы автожолының учаскесі қарастырылады.

Зерттеудің әдістемелік негізіне бейне деректерді өңдеу, жеке траекторияларды қалпына келтіру, ұзындығы 360 м учаскені 12 тең сегменттерге бөлу және көлік қақтығыстарының индикаторларын есептеу (TTC, eTTC, DT) кіреді. Анықталған заңдылықтардың статистикалық маңыздылығы параметрлік емес критерийлер мен логиттік модельдеу көмегімен бағаланды.

Сандық нәтижелер көлік құралдарының 48 мыңға жуық траекториясын талдауға негізделген, олардың шеңберінде 1 286 ықтимал қауіпті өзара іс-қимыл анықталды, оның 32% - ы TTK-ның 4 С-тан төмен сыни мәндерімен сипатталады. Сапалы талдау қақтығыс жағдайларының ETC/MTC қайта құру және ағындарды бөлу аймақтарымен тұрақты байланысын көрсетті.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы ақылы жол учаскелерінің қауіпсіздігін бағалау үшін микроскопиялық траекториялық деректерді біріктіру және кеңістіктік сегменттеу болып табылады. Нәтижелердің практикалық маңыздылығы оларды ақы алу схемаларын оңтайландыру және адаптивті қозғалысты басқару жүйелерін әзірлеу үшін пайдалану мүмкіндігі болып табылады. Әрі қарайғы зерттеулерді нақты уақыттағы қақтығыстарды болжаудың онлайн-аналитикасы мен Интеллектуалды алгоритмдерін енгізуге бағыттаған жөн.

Түйін сөздер: жол қозғалысын автоматтандыру, есептеу талдауы, микроскопиялық траекториялар, көлік қауіпсіздігі, Интеллектуалды көлік жүйелері, бейне деректер, ағынды сегментациялау

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ПЛАТНОЙ ДОРОГЕ АСТАНА–КОКШЕТАУ

[1]Д. Жамангарин, [2]У. Жунисова [3]К. Акишев, [4]Г. Изтелеуова

[1]Евразийский национальный университет им. Л. Гумилева, Астана, Казахстан,
[2]Медицинский университет, Астана, Казахстан,
[3]Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
[4]Казахстанский университет инновационных и телекоммуникационных систем, Уральск, Казахстан,
e-mail: akmail04cx@mail.ru

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения превентивной безопасности движения на платных автомобильных дорогах, где традиционная аварийная статистика не позволяет своевременно выявлять опасные зоны и потенциальные риски. В работе рассматривается участок платной автодороги Астана–Кокшетау в зоне взимания платы с применением микроскопического анализа траекторий транспортных средств.

Методическая основа исследования включает обработку видеоданных, восстановление индивидуальных траекторий движения, сегментацию участка протяжённостью 360 м на 12 равных сегментов и расчёт индикаторов транспортных конфликтов (TTC, eTTC, DT). Статистическая значимость выявленных закономерностей оценивалась с использованием непараметрических критериев и логит-моделирования.

Количественные результаты основаны на анализе около 48 тыс. траекторий транспортных средств, в рамках которых выявлено 1 286 потенциально опасных взаимодействий, из них 32 % характеризуются критическими значениями TTC ниже 4 с. Установлено, что максимальная плотность конфликтов формируется в начальных и конечных сегментах зоны взимания платы. Качественный анализ показал устойчивую связь конфликтных ситуаций с зонами перестроения и разделения потоков ETC/MTC.

Научная новизна работы заключается в интеграции микроскопических траекторных данных и пространственной сегментации для оценки безопасности платных дорожных участков. Практическая значимость результатов состоит в возможности их использования для оптимизации схем взимания платы и разработки адаптивных систем управления движением. Дальнейшие исследования целесообразно направить на внедрение онлайн-аналитики и интеллектуальных алгоритмов прогнозирования конфликтов в реальном времени.

Ключевые слова: автоматизация дорожного движения, вычислительный анализ, микроскопические траектории, транспортная безопасность, интеллектуальные транспортные системы, видеоданные, сегментация потока

AUTOMATED TRAFFIC SAFETY ANALYSIS ON THE ASTANA–KOKSHETAU TOLL ROAD

[1]D. Zhamangarin, [2]U. Zhunisova, [3]K. Akishev✉, [4]G. Izteleuova

[1]L. Gumilyov The Eurasian National University named after, Astana, Kazakhstan,
[2]Medical University of Astana, Kazakhstan,
[3]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business named after, Astana, Kazakhstan,
[4]Kazakhstan University of innovation and telecommunications systems, Uralsk, Kazakhstan,
e-mail:akmail04cx@mail.ru

The relevance of the study is due to the need to improve preventive traffic safety on toll roads, where traditional emergency statistics do not allow timely identification of dangerous areas and potential risks. The paper considers a section of the Astana–Kokshetau toll highway in the toll collection area using microscopic analysis of vehicle trajectories.

The methodological basis of the study includes video data processing, restoration of individual movement trajectories, segmentation of a 360-meter section into 12 equal segments and calculation of traffic conflict indicators (TTC, eTTC, DT). The statistical significance of the identified patterns was assessed using nonparametric criteria and logit modeling.

The quantitative results are based on an analysis of about 48,000 vehicle trajectories, which revealed 1,286 potentially dangerous interactions, of which 32% are characterized by critical TTC values below 4 C. It is established that the maximum density of conflicts is formed in the initial and final segments of the toll zone. A qualitative analysis showed a stable relationship between conflict situations and zones of realignment and separation of ETC/MTC flows.

The scientific novelty of the work is the integration of microscopic trajectory data and spatial segmentation to assess the safety of toll road sections. The practical significance of the results lies in the possibility of using them to optimize charging schemes and develop adaptive motion control systems. It is advisable to focus further research on the implementation of online analytics and intelligent algorithms for predicting conflicts in real time.

Keywords: automation of traffic, computational analysis, microscopic trajectories, transport safety, intelligent transport systems, video data, flow segmentation

Кіріспе. Жолақтар бүкіл әлемде тиімді және ұтымды жылдам қозғалысты қамтамасыз ету үшін кеңінен қолданылады. Мысалы, АҚШ-та, Флорида штатында соңғы он жылда жолақ ұзындығы екі есеге жуық өсті [1].

Қытайда 2024 жылдың соңына қарай автомобиль жолдарының жалпы ұзындығы 271 100 км-ге жетті және елдегі жол қозғалысы саясатына сәйкес автомобиль жолдарының шамамен 95% - ы ақылы. Мұндай жолдар қызмет көрсетудің жоғары деңгейін және жоғары сапалы жол төсемін ұсынады, жанармай құю станциялары жүргізушілерге жоғары қызмет көрсетеді [2].

Қазақстанда ақы алу пункттері ақылы автомагистральдарда орналасқан. Жол ақысын төлеудің әртүрлі әдістері бар қолмен және электронды.

Бүкіл әлемде ақылы автомобиль жолдарымен жүру үшін ақы төлеуді жеңілдету үрдісі байқалады-бұл жүргізушілерге жайлылықты қамтамасыз етеді, кептелістерді, төтенше жағдайларды болдырмайды, қозғалыс трафигін арттырады. Көлік ағындарының тиімділігі туралы зерттеулер [3-14] еңбектерінде келтірілген, бұл көлік ағындарын бақылауды жүзеге асыруда және төтенше жағдайлардың алдын алуда ғылыми тәсілдерді қолданудың өзектілігі мен маңыздылығын көрсетеді.

Бүгінгі таңда электронды ақы төлеу жүйесінің жолақтарын пайдалану өткізу қабілеттілігін, жол станцияларына қызмет көрсету деңгейін арттырады және көптеген елдерде белсенді түрде алға жылжуда.

Сонымен қатар, электронды ақы алу жүйесі бар көлік құралдарының үлесі шектеулі, өйткені байланыс жүйелерімен (мобильді, спутниктік) қамтуды қамтамасыз ету барлық жерде мүмкін емес және қолмен және электронды ақы алу жүйесінің жолақтарының тіркесімі қолданылады.

Сур.1 Астана-Көкшетау тас жолының өткізу пункттері (ПОҚ) көрсетілген, онда жол ақысын қолмен алу және электронды алу жүйесінің жолақтары орналасқан.

Жүргізушілер ақы алу формасын таңдау үшін көлік құралын баяулатады немесе толығымен тоқтатады. Ол сондай-ақ гибридті ақы төлеу станциясының жобасын бейнелейді, онда қолмен ақы төлеу жүйесі және электронды ақы төлеу жүйесі бар автомобильдер жол жүру станциясының жоғарғы жағында бір-бірінен бөлінген. Электрондық ақы төлеу жүйесі бар көліктер ашық жолда кідіріссіз жүре алады.

Гибридті төлем түрі көлік ағынының өткізу қабілетін арттырады, бірақ соқтығысу қаупін арттыруы мүмкін.

Сур.2 бөлу аймағында еркін жолақты таңдау үшін көлік құралдарының жылдамдығын бәсеңдету қажет.

Жол кеңістігінің шектеулері және жолақтардың орналасуының әртүрлі конфигурациялары жүргізушілерді өткір маневрлер жасауға және жиі кросс-әрекеттерді орындауға мәжбүр етеді, бұл өз кезегінде соқтығысу қаупін айтарлықтай арттырады. Қолмен зарядтау жүйесі және электронды ақы төлеу жүйесі бар аралас көлік ағыны өте күрделі және жолақтар белгіленбеген, ретсіз және болжау мүмкін емес аймақтардағы жүргізушілердің траекториялары. Осыған байланысты мұндай өткелдер көлік жүргізушілеріне қауіп төндіретін орын болып табылады.

Қозғалыс бағытына байланысты зерттеу аймағы үш бөлікке бөлінеді: негізгі жолақтар, ажырату аймағы және ақы алу жолақтары. Бұл ретте электрондық ақы алу жүйесінің жолақтары сол жақ шетінде орналасқан, ал қолмен ақы алу оң жақтағы жолақтар бойынша өтеді. Экстремалды ақы тек жүк көліктері мен автобустарға арналған.

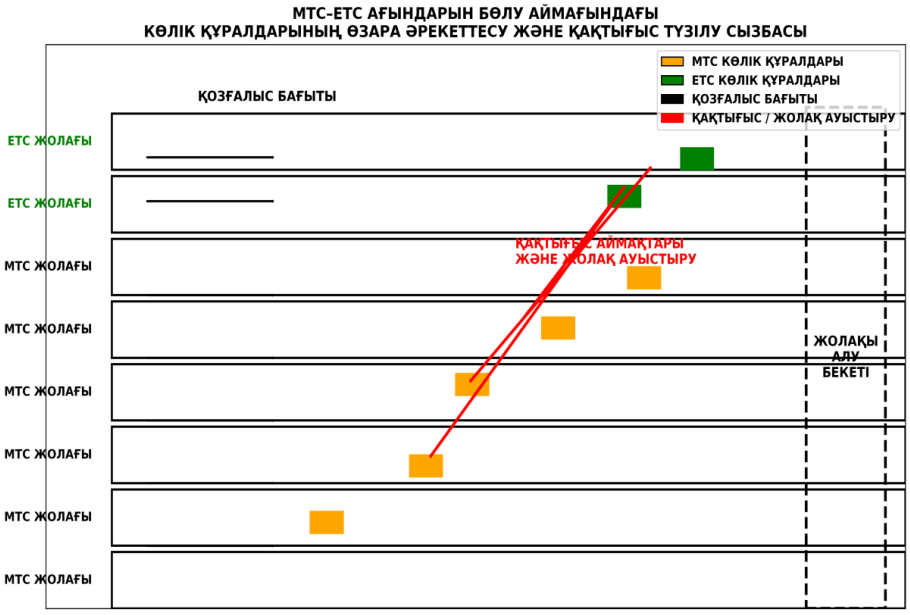
Іс жүзінде электронды ақы төлеу жүйесінің жолақтары қолмен ақы алу жолақтарынан аз.

Бақылаулар көрсеткендей, автомобильдер көбінесе жолақтар бойымен қозғалыс белгілері орнатылған жолақтан ауытқып кетеді.

Ұсынылған зерттеуде алшақтық аймағы ретінде жолақпен белгіленген және белгіленбеген кеңейтілген бөліктер қолданылады.



1-сурет. Астана-Көкшетау ақылы жолымен жол жүру ақысын төлеудің гибридті нысаны



2-сурет. Жолақтармен жүру және ықтимал қақтығыстардың пайда болуы

Ақы алу аймағының үлкен ұзындығына байланысты көлік құралдарын қайта құру процесі біртіндеп жүреді және апат қаупінің деңгейі кіреберісте, орталық бөлікте және шығуда өзгеруі мүмкін.

Алдыңғы зерттеулер бұл аймақты егжей-тегжейлі кеңістіктік талдаусыз жалпылама түрде қарастыруға бейім болды. Сондықтан жекеленген учаскелер бойынша көлік қауіпсіздігін салыстырмалы бағалау қажет.

Зерттеудің мақсаты - ағындардың бөліну аймағында көлік қақтығыстарының қалыптасуының кеңістіктік заңдылықтарын анықтау және эксплуатациялық және мінез-құлық факторларының соқтығысу қаупінің деңгейіне әсерін сандық бағалау.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу ақы алу пунктіне кіре берістегі ағындарды ажырату аймағындағы көлік қауіпсіздігін кешенді бағалауға бағытталған. Соқтығысу қаупі соқтығысуға дейінгі уақыт индикаторы (TTC) арқылы бағаланды. Төлем түрінің, таңдалған жолақтың және көлік құралының кеңістіктік жағдайының тәуекел деңгейіне әсерін салыстырмалы талдау жүргізілді.

Көлік құралдарының сипаттамаларына, бөлу аймағының параметрлеріне және көлік ағынының көрсеткіштеріне сүйене отырып, тәуекел факторларын сандық бағалау үшін кездейсоқ параметрлердің логистикалық моделі құрылды. Нәтижелер қауіптілігі жоғары негізгі аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді және автомобиль жолдарындағы қозғалыс қауіпсіздігін жақсарту шараларын әзірлеуге негіз болады.

Далалық зерттеу Астана–Көкшетау автожолында (Батыс бағыт) ақы алу пунктінің ағындарын ажырату аймағында орындалды сур.3. Зерттелетін учаскенің ұзындығы 360 м құрайды, оның ішінде белгіленген бөлу аймағының 60 м және ені 15-тен 65 м-ге дейін кеңейетін бөліктің 300 м.аймақ шегінде төрт негізгі жолақ 12 төлем жолағына бөлінеді (3 ETC және 6 MTC), бұл қарқынды қайта құру маневрлерімен және қақтығыс әлеуетінің жоғарылауымен бірге жүреді. Жүк көліктері оң жақтағы төлем жолақтарын, ал қалғандары жеңіл көліктерді пайдаланады.

Бейне деректері 4K (3840×2160) камерамен жабдықталған DJI Mini 3 Pro ұшқышсыз ұшу аппаратының көмегімен алынады. Түсірілім 2025 жылдың 31 мамырында шамамен 200 м биіктіктен 1,5 сағат бойы жүргізілді; талдау үшін қозғалыс қарқындылығының жоғарылауы кезеңінде 50 минуттық фрагмент таңдалды. Тік түсірілім геометриялық калибрлеу мен координаталық түрлендіру қателіктерін азайтуға мүмкіндік берді. Бейнематериал негізінде көлік құралдарының микроскопиялық траекториялары қалпына келтірілді және ағынның эквивалентті сағаттық қарқындылығы есептелді.



3-сурет. Ақылы жолдардың әртүрлі аймақтары

Координаттарды түрлендіру үш өлшемді рельефтік координаттар жүйесін матрицалық түрлендіруге негізделген екі өлшемді бейне кадр кеңістігімен салыстыру арқылы жүзеге асырылды. Бейнежазбада анықталған және жергілікті жерде белгілі координаттары бар сегіз стационарлық бақылау нүктелері тірек ретінде пайдаланылды, бұл калибрлеудің тұрақтылығын арт-

тыруға мүмкіндік берді.

Дәлдікті тексеру үшін жол бетінде белгілі координаттары бар қосымша 20 кездейсоқ нүкте таңдалады. Жуықтау нәтижелері бойынша нақты және қалпына келтірілген координаттар арасындағы орташа ауытқу 2,5 м-ден аспайтын оңтайлы түрлендіру моделі алынды, зерттелетін учаскенің ұзындығын (360 м) ескере отырып, бұл қателік жанжал индикаторларын есептеу үшін рұқсат етіледі.

Айта кету керек, кездейсоқ анықтау және бақылау қателіктері бастапқы нүктелердің нақты қозғалыс траекториясына қатысты шамалы шашырауына әкеледі.

Көлік қақтығыстарын бағалау үшін көлік құралдарының кеңістіктік-уақыттық жақындық параметрлеріне негізделген индикаторлар қолданылады. Бірқатар зерттеулер жанжалдың әртүрлі көрсеткіштерін және олардың жол қауіпсіздігін талдауға қолданылуын салыстырды. Олардың ішінде ең көп таралған және ақпараттық көрсеткіш соқтығысуға дейінгі уақыт (time to Collision, TTC) болып табылады, бұл көлік құралдары арасындағы ықтимал өзара әрекеттесу қаупін сандық түрде анықтауға мүмкіндік береді.

Т уақытында артқы көлік құралы үшін TTC мәні I қозғалатын көлік құралының алдында (i−1) олардың арасындағы ағымдағы қашықтықтың салыстырмалы жақындау жылдамдығына қатынасы ретінде анықталады формула 1:

$$TCC_i(t) = \begin{cases} \dfrac{\left(X_i^{-1}(t) - X_i(t) - L\right)}{\left(V_i(t) - V_i^{-1}(t)\right)} & егер V_i(t) > V_{i-1}(t), \\ \infty & егер V_i(t) \le V_{i-1}(t) \end{cases} \quad (1)$$

мүнда

Xi(t) - көлік құралының бойлық жағдайы *i* уақыт *t, Vi (t)* - оның қазіргі кездегі жылдамдығы, ал *L* - көлік құралының тиімді ұзындығы (немесе ең аз қауіпсіз қашықтық).

1 кестеде, Астана – Көкшетау тас жолында ақы алу пунктінің алдында зерттелетін учаскенің негізгі бейнетүсірілім параметрлері мен геометриялық сипаттамаларын қамтиды.

1-кесте. Бейне түсіру параметрлері және зерттелетін учаскенің геометриялық сипаттамалары

Параметр	Мағынасы	Параметр	Мағынасы	Параметр	Мағынасы
Түсіру күні	31.05.2025	Бейне ұзақтығы	50 мин	Рұқсат	4K
Биіктігі Ұшқышсыз ұшу аппараттары	≈200 м	Учаскенің ұзындығы	360 м	Бағыт	Астана → Кокшетау
ЕТСжолақтар	3	МТС жолақтар	9	Барлық жолақтар	12

Кестеде.1 түсірілім күні мен ұзақтығы, бейне деректердің ажыратымдылығы, ұшқышсыз ұшу аппараттарының ұшу биіктігі, ағындарды бөлу аймағының ұзындығы, қозғалыс бағыты, сондай-ақ электронды және қолмен зарядтау жолақтарының саны көрсетілген. Бұл кестелер эксперименттің дұрыстығын, сайттың кеңістіктік сегментациясын және талдау нәтижелерінің салыстырмалылығын негіздеу үшін қолданылады.

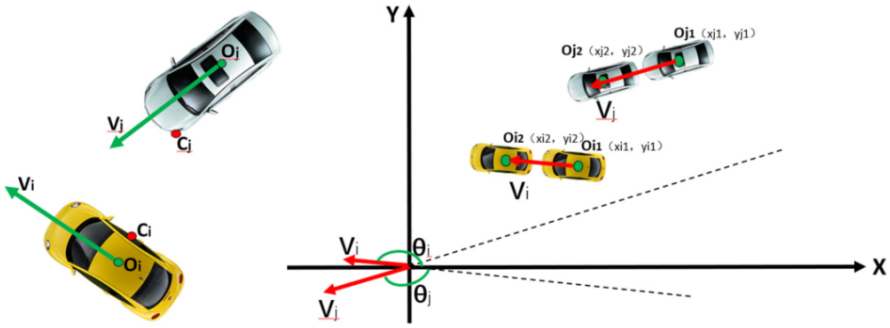
Нәтижелер және талқылау. Анықтамаға сәйкес, TTC көрсеткішінің мәні неғұрлым үлкен болса, ықтимал жанжалдың алдын алу үшін жүргізуші соғұрлым көп уақыт алады, бұл жол-көлік оқиғасының ықтималдығын азайта-

ды. Керісінше, TTC мәнінің төмендеуі қауіптілік дәрежесінің жоғарылауын және соқтығысу қаупінің жоғарылауын көрсетеді.

Соқтығысудың дәстүрлі уақыты (TTC) жол қауіпсіздігін зерттеуде кеңінен қолданылады, бірақ оны есептеу, әдетте, көлік құралдарының бір жолақ бойынша қозғалысын немесе траекториялардың белгіленген бұрышпен қиылысуын болжауға негізделген. Ақы алу пунктінің ағындарын ажырату аймағы жағдайында бұл болжамдар орындалмайды, өйткені көлік құралдары көп вариантты қайта құру маневрлерін жасайды және ерікті бұрыштарда, әсіресе белгіленбеген учаскелерде жақындауы мүмкін.

Осыған байланысты, осы зерттеу қозғалыс траекторияларын екі өлшемді талдауға негізделген қақтығысқа дейінгі кеңейтілген уақыт көрсеткішін пайдаланды. Бұл көрсеткіш TTC-нің жалпыланған түрі болып табылады және жазықтықтағы көлік құралдарының салыстырмалы қозғалысын ескеруге мүмкіндік береді.

Векторлық сипаттама сур.4, O_i және *Oj* көлік орталықтарының позицияларын, олардың V_i және *Vj* жылдамдықтарын, *Dij* орталықтары арасындағы қашықтықты, сондай-ақ ең жақын *Ci* және C_J өзара әрекеттесу нүктелерінің координаттарын қамтиды.



4 - сурет. Жақындаған кезде екі көліктің позицияларын суреттеу

Dij шамасы қазіргі уақытта екі көліктің ең жақын нүктелері арасындағы ең аз қашықтық ретінде анықталады.

Маневр жасау процесінде көлік құралдары үздіксіз қозғалады, уақыт өте келе кеңістіктік орнын біртіндеп өзгертеді. Соқтығысу дененің контуры бойымен жүретіндіктен, бастапқы байланыс екі көліктің ең жақын перифериялық нүктелері арасында пайда болады. Осыған байланысты, жанжалды жағдайды бағалау кезінде олардың арасындағы ең аз қашықтықты ескерген жөн. Екі көліктің ең жақын нүктелері арасындағы қашықтық dij шамасымен анықталады формула 2:

$$d_{ij}^2 = \|C_i - C_j\|^2 = (C_i - C_j)^T (C_i - C_j) \quad (2)$$

Содан кейін (2) уақыт бойынша дифференциация жасалады, бұл көліктер арасындағы қашықтықтың өзгеру жылдамдығын алуға мүмкіндік береді. Нәтижесінде уақыт бойынша dij туындысы анықталады формула 3:

$$\dot{d}_{ij} = (\mathbf{C}_i - \mathbf{C}_j)^T (\mathbf{V}_i - \mathbf{V}_j) \quad (3)$$

dij - қашықтықтың бірінші туындысы, яғни жақындау жылдамдығы. Бұл көрсеткіш екі көліктің бір-біріне қарай қозғалу жылдамдығын, яғни соқтығысқанға дейінгі салыстырмалы жылдамдығын сипаттайды. Осылайша, *i* және *j* көліктері мен оның алғашқы туындысы арасындағы қашықтық есептеледі формула 4-5:

$$d_{ij} = \sqrt{(C_i - C_j)^T (C_i - C_j)} \quad (4)$$

$$d_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}\sqrt{(C_i - C_j)^T (C_i - C_j)} \qquad (5)$$

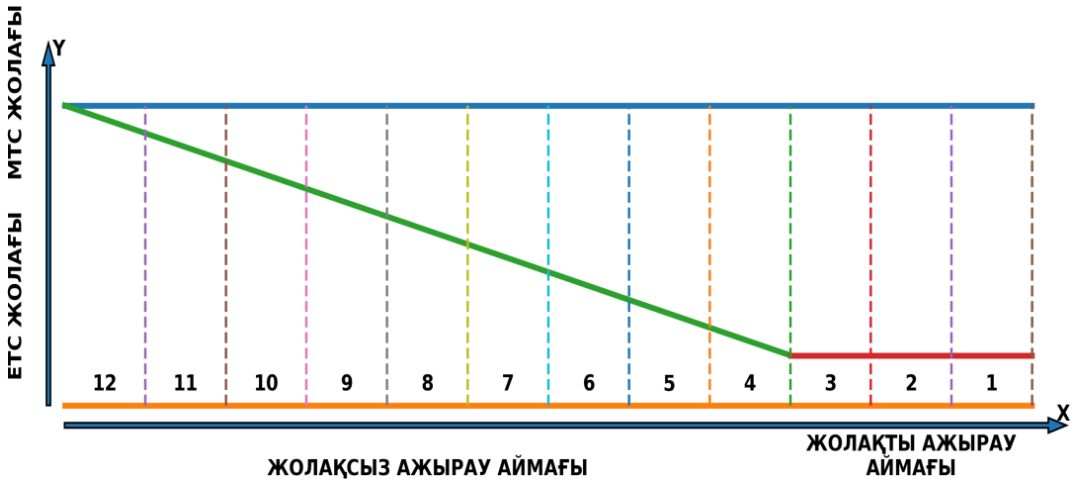
Осы зерттеу шеңберінде соқтығысуға дейінгі уақыт белгіленген уақытта бағаланады, бұл ретте көлік құралдарының жақындасуының салыстырмалы жылдамдығы тұрақты болып қабылданады. ТТС көрсеткішінің анықтамасына сәйкес, ағымдағы қозғалыс параметрлері сақталған және жақындау жылдамдығының оң мәні болған жағдайда, ықтимал соқтығысуға дейінгі уақыт көлік құралдары арасындағы ағымдағы минималды қашықтықтың олардың салыстырмалы жақындау жылдамдығына қатынасы ретінде анықталады формула 6:

$$d_{ij} + \dot{d_{ij}} \cdot TTC = 0; TCC = -\frac{\dot{d_{ij}}}{d_{ij}} \qquad (6)$$

Бейнежазбадан алынған көлік құралдарының жағдайы туралы мәліметтер жақын перифериялық нүктелерден гөрі олардың орталық нүктелерінің координаттарымен ұсынылатындықтан, фомула (3) есептеу кезінде *Ci* және *Cj* векторларын *Oi* және *Oj* орталықтарының орналасу векторларымен ауыстыру қажет. Осы болжамды ескере отырып, уақыт бойынша көлік құралдары арасындағы қашықтықтың бірінші туындысы үшін формула (3) өрнегі олардың орталықтарының салыстырмалы қозғалысы негізінде тұжырымдалады.

Ақы алу пунктінің ағындарын ажырату аймағында көлік құралдарын қайта құру процесі ұзақ сипатта болады және кеңістіктің жеке нүктесімен шектелмейді. Осыған байланысты жанжалды жағдайлар зерттелетін аймақтың әртүрлі аймақтарында қалыптасуы мүмкін.

Тәуекел деңгейіндегі кеңістіктік айырмашылықтарды талдау үшін ұзындығы 360 м болатын учаске әр суреттің ұзындығы 30 м болатын 12 тең сегменттерге бөлінді сур.5. Мұндай сегментация қақтығыстардың таралуын сандық бағалауға және қауіптілігі жоғары жергілікті аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді.



5 - сурет. Зерттелетін учаскенің сегменттеу схемасы және мақсатты төлем жолақтарының орналасуы

Алғашқы екі сегмент белгіленген ағындарды ажырату аймағына сәйкес келеді, ал қалған он бөлігі жол белгілері жоқ учаскелерге жатады. 5-суретте көрсетілгендей, он екі жолақ әрқайсысында үш жолақтан тұратын төрт мақсатты топқа топтастырылған.1-топқа электронды төлем жолақтары (ЕТС) кіреді, ал 2-4 топтар қолмен төлем жолақтарына (МТС) жатады, төртінші топ негізінен жүк көліктеріне арналған.

Соқтығысуға дейінгі кеңейтілген уақыт көрсеткішін пайдалана отырып, әрбір көлік құралы үшін жеке тәуекел деңгейі есептеледі, бұл зерттелетін сегмент шегінде ықтимал қауіптің жайкүйін анықтауға мүмкіндік береді.

Ажырату аймағында жанжал жағдайының ықтималдығын бағалау үшін екілік логистикалық модель қолданылды. Тәуелді айнымалы ықтимал қауіпті күйді тіркеген кезде 1 мәнін және әйтпесе 0 мәнін алады.

Көлік құралы үшін жанжал оқиғасының пайда болу ықтималдығын формула 7 анықтайды:

$$p\left(y_n\right) = \frac{e^{g(y_n)}}{1 + e^{g(x_n)}} \quad (7)$$

Логистикалық регрессия моделі мұнда ұсынылған формула 8:

$$g\left(y_n\right) = \ln \frac{p\left(y_n\right)}{1 - p\left(y_n\right)} = \beta x + \varepsilon_n = \beta_{0n} + \beta_{1n} X_{1n} + \beta_{2n} X_{2n} + .. + \beta_{kn} X_{kn} + \varepsilon_n \quad (8)$$

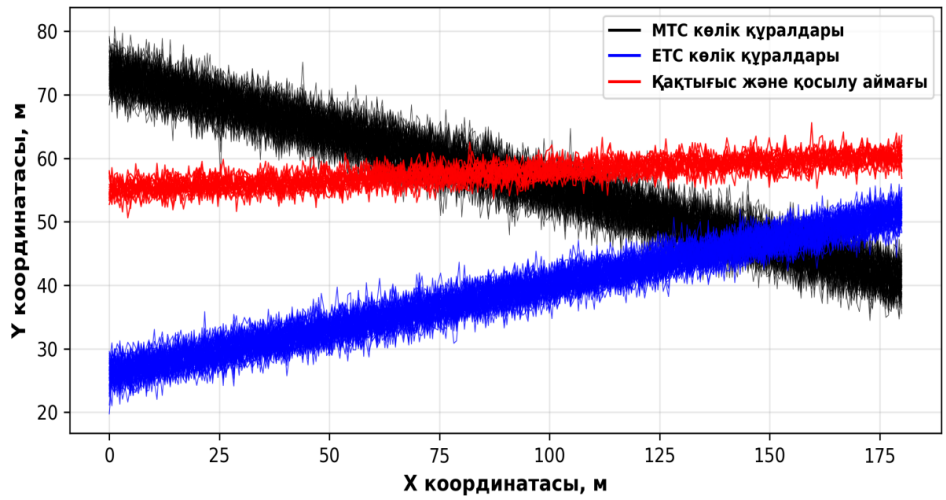
мұнда

Xn-тәуелсіз айнымалылар жиынтығы (сандық немесе категориялық болуы мүмкін), β- осы айнымалыға сәйкес келетін параметрлер ω_i-тәуелсіз айнымалылар саны, ал σ_i^2- қалыпты үлестірілген термин қателер нөлдік орташа мәнмен.

Бұл зерттеу Бір айнымалы бөлу аймағының әртүрлі сегменттеріндегі тәуелді айнымалыға бірдей әсер етеді деп болжайды.

Ақы алу пунктін ажырату аймағында электрондық (ЕТС) және қолмен (МТС) төлем жүйелерін пайдаланатын көлік құралдары орналасуы мен жол берілетін қозғалыс жылдамдығымен ерекшеленетін әртүрлі нысаналы жолақтарға жіберіледі. Бұл қайта құру траекториялары мен маневрлердің сипатындағы айырмашылықтарды тудырады, бұл жанжал деңгейіне әсер етуі мүмкін.

Зерттеу ЕТС және МТС көліктері арасындағы қайшылықты жағдайларды салыстырды. Сур.6, 50 минуттық бақылау кезеңінде eTTC ≤ 4 с көрсеткішінің критикалық мәні бар қақтығыстардың кеңістіктік таралуы ұсынылған. Алынған нәтижелер төлем түрінің ажырату аймағында ықтимал қауіпті өзара әрекеттесулердің қалыптасуына әсерін бағалауға мүмкіндік береді.



6 - сурет. Көрсеткіштердің маңызды мәні бар қақтығыстардың кеңістіктік таралуы

Сур.7, 0,1 с қадаммен есептелген қақтығыс нүктелерін ұсынады. кеңістіктік талдау etc және МТС жүйелерін пайдаланатын көліктер арасындағы қақтығыстардың таралуындағы айқын айырмашылықтарды анықтады. Дисперсиялық теңдік сынағының нәтижелері қақтығысқа дейінгі уақыт көрсеткіші бойынша топтар арасындағы статистикалық маңызды айырмашылы-

қтарды растады ($p < 0,001$).

Ажырату аймағындағы көлік құралдарының қозғалысы уақыт бойынша ұзартылған процесс болғандықтан, тәуекелді тек ettc лездік мәні бойынша бағалау жеткіліксіз. Осыған байланысты көлік құралының ықтимал қауіпті жағдайда болуының жиынтық ұзақтығын көрсететін Dangerous time (DT) жиынтық көрсеткіші енгізілді. Бұл көрсеткіштің есебі 10-нысанда берілген:

$$DT_i = N_t \cdot \quad t \qquad (9)$$

мүнда

N-көлік құралы үшін соқтығысуға дейінгі уақыт мәні *i* шекті мәннен аз болатын жағдайлар саны, ал Δt-уақыт қадамы.

Зерттеу учаскесі қайта құру траекториялары мен жанжал деңгейіндегі айырмашылықтарды анықтайтын әр түрлі төлем бағыттары бойынша бөлінген 12 жолақты қамтиды. Талдау мақсатында көлік құралдары төлем түріне және мақсатты жолаққа байланысты төрт топқа жіктелді сур.7:

- 1-топ (ETC-1): 1-топ жолақтарына жіберілетін электрондық төлем көліктері;

- 2-топ(MTC-2): 2-топ жолақтарын пайдаланатын қолмен төленетін көліктер;

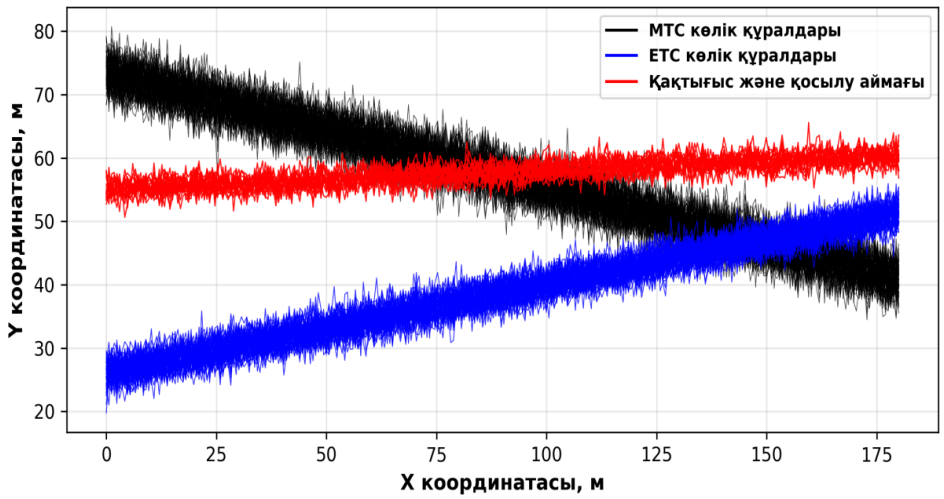
- 3-топ (MTC-3): 3-топтың жолақтарына бағытталған қолмен төленетін көлік

құралдары;

- 4-топ (MTC-4): 4-топтағы жолақтарды пайдаланатын жүк көліктерін қоса

алғанда, қолмен төленетін көліктер.

Бұл жіктеу мақсатты жолақтың конфигурациясына байланысты жүргізушілердің мінез-құлқындағы және тәуекел деңгейіндегі айырмашылықтарды салыстыруға мүмкіндік береді.



7 - Сурет. Көлік құралдарының әртүрлі топтарының қауіпті үлгілерін жанжалды талдау, (а) іріктеме мөлшері және әртүрлі топтардың қауіпті үлгілерінің пайызы; (б) TTK мәндері әртүрлі топтардың таралуы

Ағындарды бөлу аймағының бастапқы сегменттерінде көлік құралдарының қозғалысы салыстырмалы түрде тұрақты жылдамдық режимімен сипатталады, өйткені жүргізушілер мақсатты жолақтарды белсенді таңдауға әлі кіріскен жоқ. Ақы алу пунктіне қарай жылжыған сайын қайта құру маневрлерінің қарқындылығы артады, қозғалыс жылдамдығының төмендеуі және көлік ағынының тығыздығының артуы байқалады. Әсіресе айқын өзгерістер көлік құралдарының траекториялары жиі қиылысатын орта және соңғы сегменттерде жазылады.

Сегменттеуді қолдану қауіпті жағдайлардың бөліну аймағының ұзындығы бойынша таралуын сандық бағалауға ғана емес, сонымен қатар учаскенің геометриялық сипаттамалары,

жүргізушілердің мінез-құлқы және жол-көлік оқиғаларының қауіп деңгейі арасында себеп-салдарлық байланыстар орнатуға мүмкіндік береді.

2 кестеде ағындарды бөлу аймағындағы қауіпті жағдайларды анықтау үшін қолданылатын қозғалыс қауіпсіздігінің индикаторлары келтірілген. Классикалық соқтығысу уақытының көрсеткіші (TTC), оның кеңейтілген екі өлшемді модификациясы (eTTC), сондай-ақ қауіпті уақыттың интегралды көрсеткіші (DT) сипатталған. τ = 4 С шекті мәні көрсетілген, оның негізінде жанжалды күйлердің жіктелуі жүзеге асырылады. Кесте тәуекел көрсеткіштерін кейінгі талдау мен есептеудің әдістемелік негізін құрайды.

2-кесте. Қозғалыс қауіпсіздігінің көрсеткіштері

Индикатор	Белгілеу	Мағынасы	Табалдырық
Соқтығысуға дейінгі уақыт	TTC	Классикалық бір өлшемді тәуекел	τ = 4 с
Кеңейтілген TTC	eTTC	Траекториялардың екі өлшемді жақындасуы	τ = 4 с
Қауіпті уақыт	DT	Тәуекелдің интегралды ұзақтығы	

Сур.8, 12 учаскеге бөлінген көлік ағындарын бөлу аймағы бойындағы қауіпті жағдайлар санының өзгеру кестесі ұсынылған. Абсцисса осі бойынша көлік құралдарының ақы алу пунктіне дәйекті жақындауына сәйкес келетін сегменттердің нөмірлері, ал ординат осі бойынша — соқтығысуға дейінгі кеңейтілген уақыт көрсеткішінің шекті мәні негізінде айқындалған тіркелген қауіпті жағдайлардың (N) Саны кейінге қалдырылды.

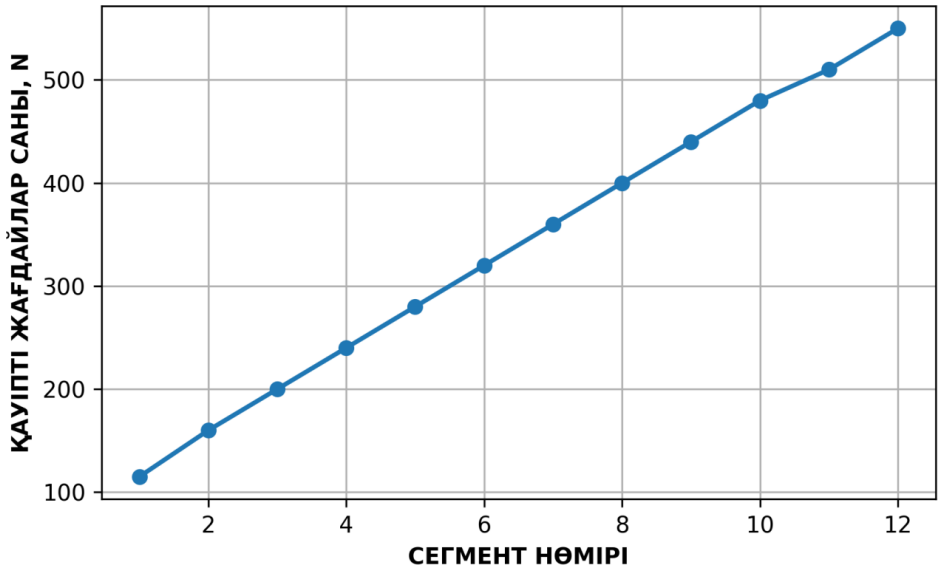
Кестені талдау төлем нүктесіне жақындаған кезде қауіпті жағдайлар санының айқын өсу тенденциясын көрсетеді. Бірінші сегменттерде N көрсеткішінің мәндері салыстырмалы түрде төмен болып қалады, бұл реттелген қозғалысты және қақтығыс маневрлерінің шектеулі санын көрсетеді. Орта сегменттерде қайта құру жиілігінің артуына, жылдамдықтардың гетерогенділігіне және көлік ағынының тығыздығының өсуіне байланысты қауіпті жағдайлар санының жедел өсуі байқалады.

N көрсеткішінің максималды мәндері уақыт тапшылығы мен шектеулі кеңістік жағдайында жүргізушілер шешім қабылдайтын бөлу аймағының соңғы сегменттерінде жазылады.9-суретте көрсетілген тренд ақы алу пунктінің жанында тәуекелдің кеңістіктік шоғырлануының болуын растайды және ағындарды бөлу аймағының соңғы учаскелерінде қозғалысты басқарудың атаулы шараларын қолдану қажеттілігін атап көрсетеді.

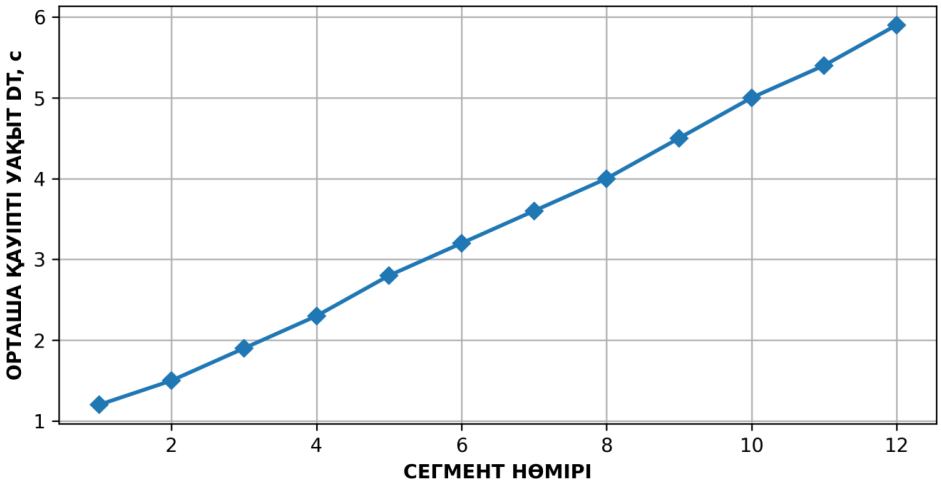
Қауіпті жағдайлардың абсолютті санына тәуелділіктен айырмашылығы, DT орташа қауіпті уақыт көрсеткіші қақтығыс жағдайларының уақытша тұрақтылығын көрсетеді. Суреттен көрініп тұрғандай сур.9, DT мәні ақы алу нүктесіне жақындаған сайын артады, бірақ өсу сипаты n-ге тәуелділіктен ерекшеленеді, бұл соңғы сегменттерде қақтығыстар саны артып қана қоймай, олардың ұзақтығы да артып келе жатқанын көрсетеді, бұл ауыр және тұрақты қауіпті қозғалыс режимдерін көрсетеді.

Қауіпті жағдайлар санының ағындарды бөлу аймағы сегментінің санына тәуелділік графигі сур.10 көліктік тәуекел деңгейінің айқын кеңістіктік гетерогенділігін айқын көрсетеді. Графиктен көріп отырғанымыздай, зерттелетін учаскенің бастапқы сегменттерінде N көрсеткішінің мәні салыстырмалы түрде төмен болып қалады, бұл көлік құралдарының реттелген қозғалысын және жанжалды маневрлердің шектеулі санын көрсетеді.

Төлем пунктіне жақындаған сайын қауіпті жағдайлар санының тұрақты өсуі байқалады. Бұл өсу іс жүзінде монотонды, бұл кездейсоқ ауытқуларға емес, тәуекелдің жоғарылауының жүйелік сипатын көрсетеді. Бұл мінезқұлықтың негізгі себептері қайта құру қарқындылығының артуы, көлік құралдары арасындағы қашықтықтың қысқаруы және жылдамдықтардың бойлық және көлденең гетерогенділігінің өсуі болып табылады.



8 - сурет. Көлік ағындарын бөлу аймағы бойындағы қауіпті жағдайлар санының өзгеру графигі



9 - сурет. Кауіпті жағдайлардың абсолютті санының ДТ орташа уақытына тәуелділігінің графигі

N көрсеткішінің әсіресе күрт өсуі бөлу аймағының соңғы сегменттерінде байқалады, онда жүргізушілер уақыт тапшылығы мен шектеулі кеңістік жағдайында жолақты таңдау туралы түпкілікті шешім қабылдауға мәжбүр. Алынған тәуелділік ағындарды бөлу аймағының соңғы бөліктерінде қозғалысты басқарудың адрестік шараларын қолданудың орындылығын растайды.

Қауіпті траекториялардың үлесінің сегмент санына тәуелділігі сурет.10 төлем нүктесіне жақындаған сайын салыстырмалы тәуекел деңгейінің өсуін көрсетеді. Жанжалды жағдайлардың абсолютті санынан айырмашылығы, бұл

көрсеткіш көлік құралдарының қауіпті қозғалыс режимдеріне қатысу дәрежесін көрсетеді. Қауіпті траекториялар үлесінің максималды мәндері бөлу аймағының соңғы сегменттерінде байқалады, бұл қозғалыс жағдайларының жүйелі нашарлауын және жол-көлік оқиғаларының ықтималдығының өсуін көрсетеді.

3 кестеде қауіпті жағдайлардың туындау ықтималдығына негізгі факторлардың әсерін сипаттайтын логистикалық модельдеу нәтижелері ұсынылған. Модель коэффициенттерінің бағалары, стандартты қателер, *z* статистикасының мәндері, маңыздылық деңгейлері және коэффициенттер (коэффициенттер) келтірілген. Кесте төлем түрінің, сегменттің орналасуының және көлік ағынының қарқындылығының тәуекелді қалыптастыруға қосқан үлесін сандық бағалауға мүмкіндік береді және графикалық және статистикалық талдау негізінде алынған қорытындыларды растайды.

3-кесте. Қауіпті жағдайларды сегменттер бойынша бөлу

Сегмент	Ұзындығы, м	Саны, N	Тығыздық, N/м²
1	30	115	0,26
2	30	160	0,36
3	30	200	0,44
4	30	240	0,53
5	30	280	0,62
6	30	320	0,71
7	30	360	0,80
8	30	400	0,89
9	30	440	0,98
10	30	480	1,07
11	30	510	1,13
12	30	550	1,22

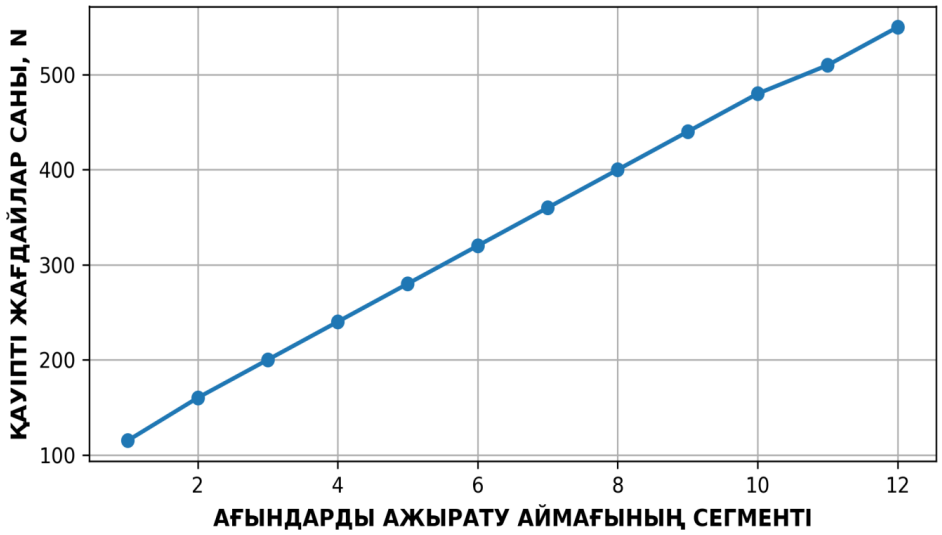
11 сур., ұсынылған графикте қауіпті жағдайлар санының ақы алу пунктіне дейінгі көлік ағындарын бөлу аймағы сегментінің нөміріне тәуелділігі көрсетілген. Абсцисса осі бойынша бөлу аймағының бойында дәйекті орналасқан сегменттердің нөмірлері, ал ординат осі бойынша - көлік құралдарының қозғалыс траекторияларын талдау негізінде анықталған тіркелген қауіпті жағдайлардың (N) саны қойылады. Графиктегі әрбір нүкте белгілі бір сегмент шегінде тіркелген қақтығыстардың өзара әрекеттесуінің жиынтық санына сәйкес келеді.

Кестені талдау ақы алу пунктіне жақындаған кезде қауіпті жағдайлар санының айқын өсу тенденциясын көрсетеді. Ағындарды бөлу аймағының бастапқы сегменттерінде N көрсеткішінің мәндері салыстырмалы түрде төмен болып қалады, бұл қозғалыстың реттелген сипатын және қайта құру маневрлерінің шектеулі санын көрсетеді. Орта сегменттерде көлік ағынының тығыздығының өсуіне, жылдамдықтардың гетерогенділігіне және көлік құралдарының өзара әрекеттесу жиілігінің артуына байланысты қауіпті жағдайлар санының тұрақты өсуі байқалады.

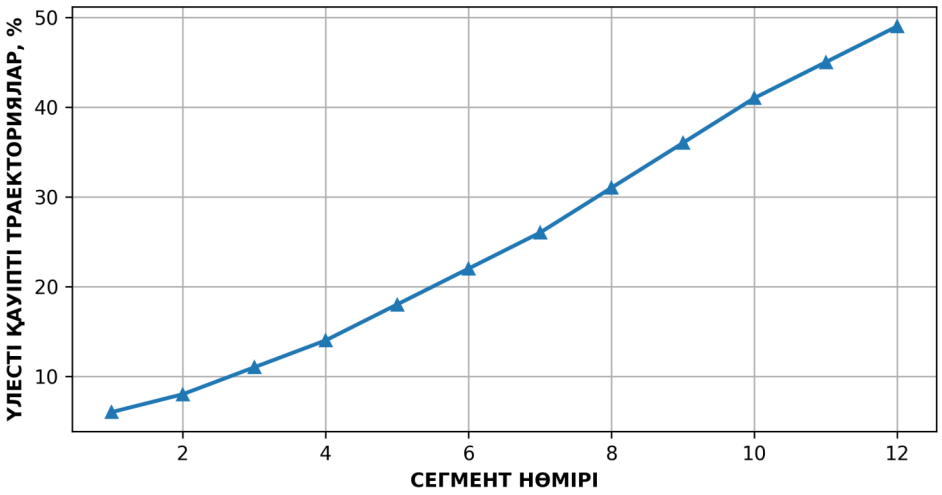
Қауіпті жағдайлар санының максималды мәндері ағындарды бөлу аймағының соңғы сегменттерінде жазылады. Себебі жүргізушілер уақыт тапшылығы мен шектеулі кеңістік жағдайында жолақты таңдау туралы түпкілікті шешім қабылдауға мәжбүр, бұл қақтығыс деңгейінің жоға-

рылауына әкеледі. Ұсынылған тәуелділік ақы алу пунктінің жанында тәуекелдің кеңістіктік шоғырлануының болуын растайды және көлік ағындарын бөлу аймағының соңғы учаскелерінде қозғалысты басқарудың атаулы шараларын қолдану қажеттілігін көрсетеді.

4 кестеде көлік ағындарын бөлу аймағының сегменттері бойынша қауіпті жағдайлардың сандық таралуын көрсетеді. Әр сегмент үшін оның ұзындығы, анықталған қауіпті жағдайлардың абсолютті саны және олардың тығыздығы келтірілген. Кесте деректері тәуекел деңгейінің кеңістіктік гетерогенділігін анықтауға мүмкіндік береді және тәуелділік графиктері мен нәтижелерді статистикалық талдаудың бастапқы негізі болып табылады.



10 - сурет. Қауіпті траекториялар санының ағындарды бөлу аймағы сегментінің санына тәуелділік графигі



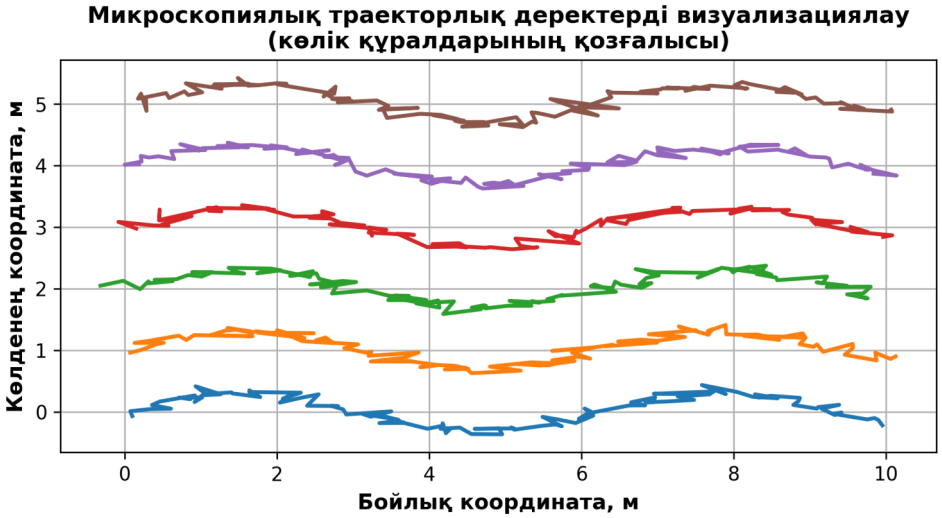
11 - сурет. Қауіпті жағдайлар санының ақы алу пунктінің алдындағы көлік ағындарын бөлу аймағы сегментінің нөміріне тәуелділігі

Кестеде қауіпті жағдайлардың туындау ықтималдығына негізгі факторлардың әсерін сипаттайтын логистикалық модельдеу нәтижелері келтірілген. Модель коэффициенттерінің баға-

лары, стандартты қателер, *z* статистикасының мәндері, маңыздылық деңгейлері және коэффициенттер (коэффициенттер) келтірілген. Кесте төлем түрінің, сегменттің орналасуының және көлік ағынының қарқындылығының тәуекелді қалыптастыруға қосқан үлесін сандық бағалауға мүмкіндік береді және графикалық және статистикалық талдау негізінде алынған қорытындыларды растайды.

4 - кесте. Логистикалық модель параметрлері

Фактор	β	SE	z	p	OR
Электрондық төлем (ETC)	0,82	0,21	3,9	0,001	2,27
Кеш сегмент	0,65	0,18	3,6	0,001	1,91
Ағынның қарқындылығы	0,47	0,15	3,1	0,002	1,60



12 - сурет. Бейне түсірілім деректері бойынша микроскопиялық траекториялық деректерді визуализациялау

Зерттеу нәтижелері айқын кеңістіктік айырмашылықтарды көрсетеді. Қауіпті жағдайлардың ең аз саны 1-сегментте (115 бақылау), ал 12-сегментте олардың саны 550-ге жетеді. Тұтастай алғанда, көлік құралдары төлем жолақтарына жақындаған сайын қақтығыстар жиілігінің өсуі байқалады, бұл тежеудің күшеюіне, жылдамдықтардың өзгеруіне және кезектердің қалыптасуына байланысты.

Сонымен қатар, қақтығыстардың тығыздығы (сегменттің ауданы бойынша) аймақтың орталық бөлігінде төмендеу тенденциясын көрсетеді, бұл жолдың кеңеюімен және көлік ағындарының қайта бөлінуімен түсіндіріледі.1 - сегменттен 2-сегментке ауысқан кезде қауіпті бақылаулар санының күрт өсуі жүргізушілер маневрге әлі толық бейімделмеген бастапқы қайта құру кезеңінде жоғары қақтығыс әлеуетін көрсетеді.

Қақтығыстардың ең көп шоғырлануы 3, 4 және 12 сегменттерінде байқалады, ал 4-Топ үшін (негізінен жүк көлігі) ағынның аз қарқындылығына және жолақтардың реттелген таралуына байланысты қақтығыс деңгейі айтарлықтай төмен.

Сур.12 бейне түсіруден алынған микроскопиялық траекториялық деректердің мысалы көрсетілген. Әрбір траектория жеке көлік құралына сәйкес келеді және оның ағындарды бөлу

аймағындағы кеңістіктік-уақыттық қозғалысын көрсетеді.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы микроскопиялық траекториялық деректерді, кеңейтілген қауіпсіздік индикаторларын (eTTC және DT) кешенді пайдалану және тәуекелді сапалы бағалаудан оның сандық кеңістіктік талдауына көшуге мүмкіндік беретін ағындарды бөлу аймағын кеңістіктік сегменттеу болып табылады. Алынған нәтижелер төлем түрінің және сегменттің жағдайының қауіпті жағдайлардың туындау ықтималдығына статистикалық маңызды әсерін анықтаған логистикалық модельдеумен қосымша расталды.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы ақы алу пункттерін жобалау және жаңғырту, қозғалысты басқарудың Зияткерлік жүйелерін әзірлеу және қауіпсіздікті арттырудың атаулы шараларын енгізу кезінде алынған тәуелділіктерді қолдану мүмкіндігінен тұрады. Әрі қарайғы зерттеулерді әртүрлі ауа-райы мен уақыт жағдайларында нақты ағындық деректерді пайдалануға, сондай-ақ ұсынылған Әдістемені көлік инфрақұрылымының цифрлық егіздеріне біріктіруге бағыттаған жөн.

Қорытынды. Жұмыста Астана–Көкшетау автожолының ақылы учаскесінде көлік құралдарының микроскопиялық траекториялық деректеріне кеңістіктік-уақыттық сегментация мен көлік қауіпсіздігі көрсеткіштерін қолдана отырып талдау жасалды. Ұзындығы 360 м учаскедегі 48 мыңға жуық траекторияны өңдеу негізінде 1 286 ықтимал қауіпті өзара әрекеттесу анықталды, оның 32% - ы 4 С-тан төмен TTC сыни мәндерімен сипатталады. Қақтығыстардың ең көп шоғырлануы қақтығыстардың тығыздығы 0,021 қақтығыстарға/м2 жететін ақы алу аймағының бастапқы және соңғы сегменттерінде қалыптасатыны анықталды. Статистикалық талдау сегменттер мен қозғалыс режимдері арасындағы маңызды айырмашылықтарды растады ($p < 0,01$), ал логиттік модельдеу нәтижелері МТС аймағындағы қақтығыстардың ықтималдығын ETC-мен салыстырғанда екі есеге жуық арттырды.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы-ақылы жол учаскелерінің қауіпсіздігін 30 м-ге дейінгі кеңістіктік локализация дәлдігімен бағалау үшін микроскопиялық траекториялық мәліметтер мен жанжал индикаторларын кешенді пайдалану. Жұмыстың практикалық маңыздылығы адаптивті ағындарды басқару алгоритмдерін негіздеу, ETC/MTC схемаларын оңтайландыру және нақты ЖКО күтпестен профилактикалық қауіпсіздік деңгейін арттыру үшін ұсынылған тәсілді қолдану мүмкіндігінен тұрады. Әрі қарайғы зерттеулерді онлайн-бейне деректерін біріктіруге, мінез-құлық индикаторларының жиынтығын кеңейтуге және жанжалды жағдайлардың автоматты түрде алдын алу үшін нақты уақыттағы интеллектуалды жүйелерді әзірлеуге бағыттаған жөн.

Әдебиеттер

1. Список автомобильных дорог. [Электронный ресурс] URL:https://data.egov.kz .- Дата обращения: 12.01.2026.

2. Expressways of China [Electronic resource] URL: https://grokipedia.com – Дата обращения: 12.01.2026.

3. Mo W. Et al. Dynamic short-term crash analysis and prediction at mainline toll plazas. Accident// Analysis & Prevention. -2024.-Vol.197:107456. DOI 10.1016/j.aap.2024.107456.

4. Zahedieh F., Lee, C. Impacts of a Toll Information Sign and Toll Lane Configuration on Queue Length and Collision Risk at a Toll Plaza with a High Percentage of Heavy Vehicles. - MDPI. - Vol.6(3). - P.1249-1267. DOI 10.3390/vehicles6030059.

5. Fei Y., Long K., Xing L. Safety performance analysis of toll plaza diverging area based on an improved simulation platform for weak-constraint driving behaviors// Accident Analysis & Prevention. - 2025. - sep.220:108177. DOI 10.1016/j.aap.2025.108177. Epub 2025 Jul 29.

6. Zhou T. et al. (2023). Proactive integrated traffic control to mitigate congestion at toll plazaz// IET Intell. Transp. Syst. - 2023.- Vol.17(8). - P.575–1587. DOI 10.1049/itr2.12348.

7. Xia Y. et alRisk Identification and Conflict Prediction from Videos based on TTC-ML of a Multi-Lane Weaving Area// Sustainability. -2022.-Vol.14(8):4620. DOI 10.3390/su14084620.

8. Tang J. Et al. Vehicle trajectory extraction and integration from multi-camera surveillance videos. - Displays.- 2024. – VoL. 85: 10283. DOI 10.1016/j.displa.2024.102834.

9. Riehl K. Et al. Consistent vehicle trajectory extraction from aerial//Scientific Reports. -2025.- Vol. 15(1): 27522. DOI 10.1038/s41598-025-12301-2.

10. Berghaus M. Et al. Vehicle trajectory dataset from drone videos including off-ramp and congested traffic - Analysis of data quality, traffic flow, and accident risk// Communications in Transportation Research. -2024.-Vol.4: 100133. DOI 10.1016/j.commtr.2024.100133.

11. Sarkar D.R. et al. A review of surrogate safety measures on road safety at unsignalized intersections in developing countries// Accident Analysis & Prevention. -2024.-Vol.195:107380. DOI 10.1016/j.aap.2023.107380.

12. Nikolaou D. et al. A Review of Surrogate Safety Measures Uses in Historical Crash// Investigations// Sustainability.- 2023.-Vol.15 (9):7580.DOI 10.3390/su15097580.

13. Sukhanya K., Shilpa R. N., Bhavathratha B. K. Investigating surrogate safety measures’ threshold consistency on different types of curves//Journal of Transportation Safety & Security.- 2025.- Vol.17(6). – P.1-13. DOI 10.1080/19439962.2024.2447985.

14.Тулегулов А.Д., Жамангарин Д.С., Алтынбек С.А., Акишев К.М. Жол қиылыстарындағы көлік құралдарының ағынын нақты уақыт режимінде динамикалық реттеу// Вестнмик КазУТБ.-2024.- № 3(24).-С.96-104. DOI 10.58805/kazutb.v.3.24-551.

Referenses

1. Spisok avtomobil’ nyh dorog. [Jelektronnyj resurs] URL: https://data.egov.kz .- Data obrashhenija: 12.01.2026. [in Russian]

2. Expressways of China [Electronic resource] URL: https://grokipedia.com – Date accessed Data obrashhenija: 12.01.2026.

3. Mo W. Et al. Dynamic short-term crash analysis and prediction at mainline toll plazas. Accident// Analysis & Prevention. -2024.-Vol.197:107456. DOI 10.1016/j.aap.2024.107456.

4. Zahedieh F., Lee, C. Impacts of a Toll Information Sign and Toll Lane Configuration on Queue Length and Collision Risk at a Toll Plaza with a High Percentage of Heavy Vehicles. - MDPI. - Vol.6(3). - P.1249-1267. DOI 10.3390/vehicles6030059.

5. Fei Y., Long K., Xing L. Safety performance analysis of toll plaza diverging area based on an improved simulation platform for weak-constraint driving behaviors// Accident Analysis & Prevention. - 2025. - sep.220:108177. DOI 10.1016/j.aap.2025.108177. Epub 2025 Jul 29.

6. Zhou T. et al. (2023). Proactive integrated traffic control to mitigate congestion at toll plazaz// IET Intell. Transp. Syst. - 2023.- Vol.17(8). - P.575–1587. DOI 10.1049/itr2.12348.

7. Xia Y. et alRisk Identification and Conflict Prediction from Videos based on TTC-ML of a Multi-Lane Weaving Area// Sustainability. -2022.-Vol.14(8):4620. DOI 10.3390/su14084620.

8. Tang J. Et al. Vehicle trajectory extraction and integration from multi-camera surveillance videos. - Displays.- 2024. – VoL. 85: 10283. DOI 10.1016/j.displa.2024.102834.

9. Riehl K. Et al. Consistent vehicle trajectory extraction from aerial//Scientific Reports. -2025.- Vol. 15(1): 27522. DOI 10.1038/s41598-025-12301-2.

10. Berghaus M. Et al. Vehicle trajectory dataset from drone videos including off-ramp and congested traffic - Analysis of data quality, traffic flow, and accident risk// Communications in Transportation Research. -2024.-Vol.4: 100133. DOI 10.1016/j.commtr.2024.100133.

11. Sarkar D.R. et al. A review of surrogate safety measures on road safety at unsignalized intersections in developing countries// Accident Analysis & Prevention. -2024.-Vol.195:107380. DOI 10.1016/j.aap.2023.107380.

12. Nikolaou D. et al. A Review of Surrogate Safety Measures Uses in Historical Crash// Investigations// Sustainability.- 2023.-Vol.15 (9):7580.DOI 10.3390/su15097580.

13. Sukhanya K., Shilpa R. N., Bhavathratha B. K. Investigating surrogate safety measures' threshold consistency on different types of curves//Journal of Transportation Safety & Security.- 2025.- Vol.17(6). – P.1-13. DOI 10.1080/19439962.2024.2447985.

14. Tulegulov A.D., Zhamangarin D.S., Altynbek S.A., Akishev K.M. Zhol қiylystaryndaғy kөlik құraldarynyң aғynyn nақty uaқyt rezhiminde dinamikalyқ retteu// Vestnmik KazUTB. -2024.- № 3(24). -S.96-104. DOI 10.58805/kazutb.v.3.24-551.[in Kazakh]

Авторлар туралы мәлімет

Жамангарин Д.С.- PhD, Л.Н.Гумилев ат.Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail:dusmat_zhamangarin@vk.com;

Жунисова У.М.- PhD, доцент, Медицина Университеті Астана, Астана, Қазақстан, e-mail: ulzhalgaszhunisova@gmail.com;

Акишев К.М.-т. ғ. к., қауымдастырылған профессор, К. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университетінің, Астана, Қазақстан, e-mail: akmail04cx@mail.ru;

Изтелеуова Г. С.- техника ғылымдарының магистрі, Қазақстанның инновациялық және телекоммуникациялық жүйелер университеті, Орал, Қазақстан, e-mail: Gulzada0385@mail.ru.

Information about the authors

Zhamangarin D.- PhD, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: dusmat_zhamangarin@vk.com;

Zhunisova U.- PhD, Associate Professor, Medical University of Astana, Astana, Kazakhstan, e-mail: ulzhalgaszhunisova@gmail.com;

Akishev K.M.-Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: akmail04cx@mail.ru;

Izteleuova G.S.- Master of Technical Sciences, Kazakhstan University of Innovative and Telecommunication Systems, Oral, Kazakhstan, e-mail: Gulzada0385@mail.ru.