

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

ГЮЛЄВ НІЗАМІ УРУДЖЕВИЧ

УДК656-051:656.052.4-049.6:656.021.24

**НАДІЙНІСТЬ ДІЯЛЬНОСТІ ВОДІЯ В СИСТЕМІ
«ЛЮДИНА – ТЕХНІКА – СЕРЕДОВИЩЕ» В УМОВАХ ЗАТОРІВ
РУХУ НА МІСЬКИХ ДОРОГАХ**

05.01.04 – ергономіка

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті міського господарства імені О. М. Бекетова Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Доля Віктор Костянтинівич

Офіційні опоненти: доктор технічних наук
Буров Олександр Юрійович,
Інститут інформаційних технологій і засобів
навчання, провідний науковий співробітник;

доктор технічних наук, професор
Рева Олексій Миколайович,
Національний авіаційний університет, професор
кафедри дистанційного навчання;

доктор технічних наук, доцент
Мигаль Галина Валеріївна,
Національний аерокосмічний університет
імені М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний
інститут», доцент кафедри автомобілів та
транспортної інфраструктури.

Захист відбудеться «18» травня 2018 р. об 11.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.089.03 у Харківському національному університеті міського господарства імені О. М. Бекетова за адресою: 61002, м. Харків, вул. Маршала Бажанова, 17.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова за адресою: 61002, м. Харків, вул. Маршала Бажанова, 17.

Автореферат розіслано «17» квітня 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Д. П. Понкратов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми досліджень. Діяльність водія в системі «людина – техніка – середовище» є динамічною і вимагає від нього постійної напруги й готовності до будь-яких змін у навколишньому середовищі. Рух в транспортному потоці пов'язаний з дорожньо-транспортною ситуацією, яка постійно змінюється, особливо в пікові періоди. Це призводить до погіршення функціонального стану водія внаслідок тимчасового розладу деяких його психічних і психологічних функцій.

Ефективність і надійність трудової діяльності водія в системі «людина – знаряддя праці – предмет праці – виробниче середовище» значною мірою обумовлюється конкретними умовами праці, у які потрапляє водій. Ці умови визначаються параметрами транспортного процесу, які склалися в конкретних ситуаціях. Однією з таких ситуацій є затор, який має місце в багатьох випадках і виникає незалежно від наших сподівань.

Утворення транспортних заторів пов'язане з перевищенням інтенсивності руху транспортного потоку над пропускною здатністю окремих ділянок вулично-дорожньої мережі. Відставання розвитку транспортної інфраструктури міста, висока щільність транспортних потоків, особливо в ранкові та вечірні пікові періоди також сприяють виникненню транспортних заторів.

Залежно від емоційного стану змінюються і психофізіологічні показники роботи водія. Негативні емоції, спричинені надмірним обмеженням свободи діяльності водія та незадовільним станом організації дорожнього руху, значно погіршують показники роботи, знижуючи надійність його діяльності. Погіршення стану водіїв в умовах інтенсивного міського руху і внаслідок перебування в заторі призводить до змінювання часу їхньої реакції. Час реакції водія відіграє важливу роль у створенні безпеки руху і від нього значною мірою залежить ймовірність виникнення дорожньо-транспортної пригоди.

Зазначене дозволяє стверджувати, що дослідження впливу параметрів транспортного процесу на зміну стану водія, які, зі свого боку впливають на параметри транспортного процесу, є актуальною проблемою, вирішення якої може значно вплинути на надійність функціонування системи «людина – техніка – середовище», особливо в умовах заторів руху. У нашому випадку важливо дослідити систему «людина – техніка – середовище», стосовно якої людина – це водій, техніка – це транспортний засіб, середовище – це дорога з інфраструктурою.

Зв'язок роботи із науковими програмами, планами, темами, грантами. Дисертаційну роботу виконано згідно з «Транспортною стратегією України на період до 2020 року», схваленою Розпорядженням Кабінету міністрів України від 20 жовтня 2010 р. № 2174-р; «Концепцією Державної цільової економічної програми розвитку автомобільного транспорту на період до 2015 року», схваленою Розпорядженням Кабінету міністрів України від 3 серпня 2011 р. № 732-р; «Стратегією підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2015 року», затвердженої Розпорядженням Кабінету міністрів України від 25 травня 2011 р. № 480-р.; «Програмою підвищення

безпеки дорожнього руху в м. Харкові на 2013–2015 роки», схваленої рішенням Харківської міської ради від 19.12.2012 № 997/12; науково-дослідним профілем кафедри транспортних систем і логістики Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова в межах наукової теми «Технологічні засоби ергономіки і логістики в транспортних системах» (номер державної реєстрації 0113U001762). Особистий внесок здобувача полягає у встановленні закономірностей впливу транспортних заторів на функціональний стан водіїв різних темпераментів, на час їх реакції і, як наслідок, на безпеку дорожнього руху.

Мета і завдання дослідження. *Метою дослідження є оцінка надійності діяльності водія в системі «людина – техніка – середовище» в умовах заторів руху на міських дорогах.*

Для досягнення визначеної мети в дисертаційній роботі необхідно вирішити такі *завдання*:

- проаналізувати наукові підходи щодо оцінки надійності діяльності водія в системі «людина – техніка – середовище»;
- проаналізувати методи оцінювання надійності водія в системі «людина – техніка – середовище»;
- визначити закономірності впливу параметрів дорожнього руху на функціональний стан водія;
- розробити моделі впливу транспортних заторів на функціональний стан водія;
- дослідити вплив функціонального стану водія на час його реакції в умовах заторів;
- визначити закономірності та оцінити надійність діяльності водія в системі «людина – техніка – середовище» в умовах заторів руху на міських дорогах.

Об'єктом дослідження є процес трудової діяльності водія на міських дорогах у системі «людина – техніка – середовище».

Предмет дослідження – закономірності впливу складових параметрів системи «людина – техніка – середовище» на надійність діяльності водія в умовах заторів руху на міських дорогах.

Методи дослідження. У проведених дослідженнях використовувалися методи системного аналізу під час аналізу даних проведених досліджень; електрофізіологічні методи під час визначення функціонального стану водія; методи математичної статистики під час розроблення моделей зміни функціонального стану водія та часу його реакції; методи теорії ймовірності під час оцінки ймовірності скоєння дорожньо-транспортних пригод на елементах транспортної мережі.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертації здобувачем одноосібно проведено дослідження надійності діяльності водія в системі «людина – техніка – середовище» в умовах заторів руху на міських дорогах. При цьому надійність визначається через ймовірність скоєння дорожньо-транспортної пригоди. На відміну від наявних у науці й практиці запропонований науковий підхід базується на всебічному вивченні людського

чинника, а саме функціонального стану водія, який змінюється залежно від умов руху.

Уперше:

- розроблено регресійну модель змінювання функціонального стану середньостатистичного водія в транспортному заторі;
- визначено закономірності ймовірності скоєння дорожньо-транспортної пригоди залежно від тривалості затору для різних типів нервової системи та вікових груп водіїв.

Удосконалено:

- моделі впливу транспортних заторів на змінювання часу реакції водіїв, які, на відміну від наявних, розроблено для різних типів нервової системи й вікових груп водіїв;
- моделі впливу транспортних заторів на функціональний стан водіїв, які, на відміну від наявних, розроблено для різних типів нервової системи й віку;
- модель оцінювання ймовірності скоєння дорожньо-транспортної пригоди для окремого учасника дорожнього руху, у якій, на відміну від наявних, враховується вплив транспортного затору.

Набули подальшого розвитку методи експериментального дослідження часу реакції водіїв під час виконання водієм своїх функцій. Відмінність полягає в одночасній реєстрації психомоторної реакції та рівня стомлення водія на підставі показників функціонування серцево-судинної системи.

Практичне значення отриманих результатів. Результати дослідження мають безпосереднє значення для розроблення технології організації дорожнього руху в містах.

Використання моделі впливу транспортних заторів на функціональний стан середньостатистичного водія й водіїв, різних за темпераментом, дає змогу прогнозувати змінювання їх стану залежно від віку та тривалості затору.

За допомогою моделі впливу функціонального стану водія на час його реакції можна оцінити час реакції водіїв, різних за віком і темпераментом з урахуванням транспортного затору, який необхідно враховувати під час розроблення схем дорожнього руху.

Запропонований підхід щодо оцінювання ймовірності скоєння дорожньо-транспортних пригод на елементах транспортної мережі з урахуванням транспортного затору дає змогу порівняти й оцінити різні варіанти проектних рішень щодо підвищення безпеки дорожнього руху.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в ТОВ «АТП 16327» під час вибору маршрутів для організації перевезень пасажирів за заявками та в ТОВ «ВІАСИСТЕМПРО» під час розроблення проектів удосконалення й реконструкції транспортних мереж міст України, при визначенні розрахункових значень характеристик дорожнього руху на перспективу на проєктованих елементах і вузлах транспортної мережі.

Основні наукові положення й результати дослідження включено до навчальних і робочих програм дисциплін «Ергономіка», «Властивості ергономічних систем», «Ерготичність у транспортних системах міст» за

спеціальністю 275 – «транспортні технології» у Харківському національному університеті міського господарства імені О. М. Бекетова.

Особистий внесок здобувача. За результатами проведених досліджень опубліковано 52 наукові праці, із них 1 одноосібна і 3 колективні монографії, 12 статей у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз, 9 статей у фахових виданнях, що входять до переліку, затвердженого Департаментом атестації кадрів МОН України, 16 тез доповідей, 11 статей, що додатково відображають результати роботи.

Автору належать усі наукові результати, що виносяться на захист. У публікаціях зі співавторами особистий внесок автора полягає в такому: [2–4, 11, 12, 48] – розробка моделей впливу транспортних заторів на функціональний стан середньостатистичного водія і водіїв, різних за темпераментом та віковими групами; [13–17, 31] – формулювання завдання, методика проведення експериментів, оброблення й аналіз результатів дослідження; [20, 21] – методика проведення досліджень в умовах обмеження часу на поїздку; [22, 24, 49–52] – методика проведення експериментів щодо оцінювання часу реакції водіїв, різних за темпераментом у заторах, оброблення результатів дослідження, визначення закономірностей впливу транспортних заторів на рівень стомлюваності водіїв різних вікових груп.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дослідження доповідалися і обговорювалися на:

– XXXV, XXXVI науково-технічних конференціях викладачів, аспірантів і співробітників Харківської національної академії міського господарства «Городской электротранспорт, электроснабжение и освещение городов» (м. Харків, 21–23 квітня 2010 р.; 24–26 квітня 2012 р.);

– VIII міжнародній науково-практичній конференції «Устойчивое развитие городов. Управление проектами и программами городского и регионального развития» (м. Харків, 19–21 травня 2010 р.);

– міжнародній науково-практичній конференції «Транспортные проблемы крупнейших городов» (м. Харків, 12–16 березня 2012 р.);

– VII міжнародній науково-практичній конференції «Безпека дорожнього руху: правові та організаційні аспекти» (м. Донецьк, 15–16 листопада, 2012 р.);

– V міжнародній конференції з практичного застосування людського чинника та ергономіки «Advances in Human Aspects of Transportation» (м. Краків, 19–23 липня 2014 р.);

– XXXVII науково-технічній конференції викладачів, аспірантів і співробітників ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. «Городское строительство, электроснабжение городов, транспорт» (м. Харків, 23–25 квітня 2014 р.);

– міжнародній науково-практичній конференції «Инновационное лидерство строительной и транспортной отрасли глазами молодых ученых» (м. Омськ, 3–7 лютого 2014 р.);

– II міжнародній науково-практичній конференції «Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении» (м. Санкт-Петербург, 16–17 квітня 2014 р.);

- міжнародній науково-практичній конференції «Приоритетные направления науки и техники» (м. Пенза, 11 квітня 2014 р.);
- міжнародній науково-технічній конференції «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті» (м. Харків, 26–28 листопада 2014 р.);
- всеукраїнській науково-теоретичній конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв’язання» (м. Львів, 26–28 березня 2015 р.);
- міжнародній науково-практичній конференції «Міські і регіональні транспортні проблеми» (м. Харків, 17–19 листопада 2015 р.);
- VIII, IX міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT–2016; 2017)» (м. Херсон, 24–26 травня 2016 р.; 23–25 травня 2017 р.);
- VIII міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми розвитку транспорту і логістики» (м. Сєверодонецьк – Одеса, 26–28 квітня 2017 р.);

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел із 491 найменування на 54 сторінках та 10 додатків на 57 сторінках. Загальний обсяг дисертації – 424 сторінки, із них: 252 – сторінки основного тексту, 162 рисунка і 31 таблиця.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено об’єкт і предмет дослідження, сформульовано мету й завдання дослідження, визначено новизну та практичну значущість отриманих результатів, зазначено особистий внесок автора, наведено дані щодо апробації результатів роботи.

Перший розділ «*Наукові підходи щодо надійності діяльності водія в системі «людина – техніка – середовище»*» присвячено аналізу наукових підходів щодо оцінки надійності діяльності водія й методів підвищення надійності функціонування системи «людина – техніка – середовище» (ЛТС) у містах. Активним елементом цієї системи є водій, від стану якого значною мірою залежить надійність роботи всієї транспортної системи міста.

Розглянуто методи підвищення надійності функціонування системи «людина – техніка – середовище» у містах. Визначено взаємозв’язок між надійністю, працездатністю, втомою і функціональним станом водія. Встановлено, що на надійність діяльності водія впливає рівень його стомлення, який визначається змінюванням функціонального стану.

Надійність функціонування системи «людина – техніка – середовище» у містах залежить від надійності роботи всіх його елементів. Надійність оператора, як і його індивідуальні характеристики, розглядають на підставі вчення про типи вищої нервової діяльності.

Різні аспекти підвищення надійності діяльності водія і системи «людина – техніка – середовище» в містах вивчали В. Ф. Бабков, І. В. Бегма, В. Г. Брусенцов, О. Ю. Буров, А. І. Вайсман, А. А. Гаврилов,

Е. В. Гаврилов, Ю. О. Давідіч, В. К. Доля, І. Е. Линник, Є. М. Лобанов, О. О. Лобашов, Г. В. Мигаль, Е. А. Милерян, В. М. Мішурін, В. Д. Небиліцін, В. П. Поліщук, О. М. Рева, Р. В. Ротенберг, G. V. Barrett, J. Dettinger, D. A. Hennessy, R. S. Jurecki, S. L. Klenov, T. Magister, J. Palmer, H. Rehborn, M. Song, T. L. Stańczyk, J. Törnros, E. Roidl, J. Rouwendal, D. L. Wiesenthal, T. Zhang та інші вчені.

Аналіз робіт, пов'язаних із впливом дорожніх умов на стан водія під час проектування автомобільних доріг та організації дорожнього руху, показав, що підвищення емоційної напруженості призводить до перевищення водієм швидкості і, як наслідок, до ймовірності виникнення дорожньо-транспортної пригоди (ДТП). Однак у цих дослідженнях не враховано змінювання стану водія в заторах, що є характерними для міських умов.

З аналізу робіт щодо оцінювання впливу транспортних заторів на психовегетативний статус водіїв громадського транспорту, із урахуванням їхнього віку та стажу роботи, встановлено, що вираженість психовегетативних порушень у вигляді підвищення тривожності, погіршення самопочуття, активності, настрою, підвищеної активності симпатичного відділу вегетативної нервової системи в кінці робочої зміни прямо залежить від тривалості перебування водія в транспортних заторах.

В інших дослідженнях пропонується оцінювати складність управління автомобілем і ймовірність виникнення ДТП шляхом порівняння інтенсивності інформаційного потоку й пропускної спроможності каналів сприйняття водія. Для вимірювання складності управління пропонується коефіцієнт акомодатії, що виражає ступінь відповідності швидкості надходження інформації від об'єктів дорожнього середовища і пропускної спроможності водія. Якщо значення цього коефіцієнта більше за одиницю, то інтенсивність надходження потоку інформації перевищує пропускну спроможність каналів сприйняття водія, а за таких умов ймовірність виникнення ДТП зростає.

У низці робіт наведено розрахункові формули для оцінювання безпеки руху на перехрестях вулиць і доріг у місті з урахуванням інтенсивностей транспортних і пішохідних потоків, кількості ДТП за рік у попередніх періодах. Залежно від значення показника аварійності пропонуються заходи щодо підвищення безпеки руху. З іншого боку, не досліджено, як впливають транспортні затори на надійність водія і ймовірність скоєння ДТП.

У багатьох дослідженнях підкреслено необхідність врахування ролі людського чинника під час організації дорожнього руху. Зазначено, що під час проектування й експлуатації транспортної системи необхідно враховувати можливості людини під час виконанні своїх обов'язків. Наведено низку факторів, які можуть призвести до ДТП, зазначено також заходи щодо підвищення безпеки дорожнього руху.

На підставі аналізу попередніх досліджень визначено фактори, які впливають на надійність роботи системи «водій – транспортний засіб – процес транспортування – середовище». До факторів, що характеризують водія, належать вік, стаж і стать водія, тип нервової системи, початковий стан. Факторами, що характеризують транспортний засіб, є об'єм двигуна, його

потужність, ергономічна характеристика транспортного засобу. До факторів, що характеризують дорожнє середовище, належать кількість смуг, інтенсивність транспортного потоку, тривалість транспортного затору, коефіцієнт зчеплення.

Аналіз раніше проведених досліджень показав, що транспортні затори негативно впливають на стан водія. Однак ці дослідження є переважно фрагментарними і не охоплюють елементи системи «людина – техніка – середовище» комплексно. Недостатньо, загалом, приділено уваги визначенню закономірностей впливу параметрів транспортного затору на стан водія і на ймовірність скоєння ним ДТП.

У другому розділі *«Методи дослідження надійності діяльності водія в системі «людина – техніка – середовище»* розглянуто методи оцінювання надійності систем і функціонального стану водія.

Надійність є комплексною властивістю, яка включає безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збереженість.

Одним із показників безвідмовності системи є ймовірність безвідмовної роботи, яка полягає в ймовірності того, що в межах заданого напрацювання на відмову в заданому інтервалі часу відмова об'єкта не виникне.

У діяльності водія в системі «людина – техніка – середовище» безвідмовність залежить від чинників людини (вік, стаж, стать, тип нервової системи, початковий стан), техніки (потужність двигуна, ергономічна характеристика транспортного засобу тощо), середовища (кількість смуг, тривалість транспортного затору), які в цій роботі є пріоритетними.

Функціональний стан людини можна оцінити за допомогою електроенцефалограми (ЕЕГ). Вона дає змогу отримати інформацію як про роботу окремих центрів головного мозку, так і про центральну нервову систему загалом.

Незважаючи на високу інформативність, використання ЕЕГ в робочих умовах пов'язане зі значними складнощами, що зумовлені низкою технічних причин. Крім того, якщо розмежовувальним є не одиничний сигнал, а цілий потік, то це нівелює характеристики ЕЕГ.

Функціональний стан можна також оцінювати за допомогою методу шкірно-гальванічної реакції (ШГР), який базується на вимірюванні різниці потенціалів між окремими точками на поверхні шкіри людини в разі несподіваної появи сигналу зовнішнього подразника. Реакція ШГР не є постійною. У разі повторного застосування подразника сила реакції зменшується, а в разі багаторазового повторення – реакції може не виникати взагалі.

Наступним методом оцінювання функціонального стану водія є застосування критичної частоти злиття мигтінь (КЧЗМ). Частота мигтінь, за якої іспитник бачить безперервний потік світла, оцінюється як критична. Використовувати цей метод у дослідженнях на транспорті досить складно, оскільки неможливо визначити КЧЗМ в умовах транспортного процесу.

Оцінити функціональний стан людини можна також за допомогою спеціальних тестових методів, таких як червоно-чорні таблиці, які дають змогу визначити стійкість уваги людини за різних станів центральної нервової системи, методу коректурних проб, який полягає у викреслюванні певних літер або цифр із випадково розташованих знаків.

Тестові методи дають змогу отримати кількісні характеристики процесів, що не корелюють із психофізіологічними показниками випробовуваного. Вони визначаються як відношення тривалості виконання тестових завдань і кількості здійснюваних помилок до фонових показників. За допомогою тестових методів можна визначити психофізіологічні показники людини в різні періоди трудової діяльності для досягнення однакового виробітку. Ці психофізіологічні показники дають змогу оцінити працездатність протягом робочого дня, проте використовувати лише тестові методи для оцінювання функціонального стану людини і ступеня її стомлення недостатньо. Тестові методи зазвичай використовуються у стаціонарних умовах.

Дослідниками запропоновано інтегральний критерій оцінювання функціонального стану людини – рівень стомлення оператора, що відображає загальну реакцію організму на вплив факторів зовнішнього середовища. Цей критерій взято за основу під час проведення досліджень у цій роботі. Методика базується на теорії прямо пропорційної залежності нерівномірності кардіоінтервалів і рівня стомлення, яку в літературних джерелах часто називають показником активності регуляторних систем організму.

Він обчислюється в умовних одиницях (за Баєвським Р. М.) за спеціальним алгоритмом, що враховує статистичні показники, показники гістограми й дані спектрального аналізу кардіоінтервалів. Рівень стомлення дає змогу диференціювати різні ступені напруженості регуляторних систем і оцінити адаптаційні можливості організму. Його обчислюють за алгоритмом, що враховує п'ять критеріїв:

$$P_c = |A| + |B| + |C| + |D| + |E|, \quad (1)$$

де A – сумарний ефект регуляції (за показниками математичного очікування); B – функція автоматизму (за середнім квадратичним відхиленням, за варіаційним розмахом і за коефіцієнтом варіації); C – вегетативний гомеостаз (за комплексом показників: варіаційним розмахом, амплітудою моди, індексом напруженості регуляторних систем); D – стійкість регуляції (за коефіцієнтом варіації); E – активність підкіркових нервових центрів (визначають на підставі відносних потужностей дихальних хвиль і хвиль першого та другого порядку, виокремлюючи стани вираженого й помірного посилення активності підкоркових нервових центрів).

Значення рівня стомлення подаються в умовних одиницях – від 1 до 10.

У третьому розділі «Дослідження впливу параметрів дорожнього руху на функціональний стан водія протягом його пересування» здійснено вибір і оцінювання значущості факторів, які впливають на функціональний стан водія, а також досліджено вплив параметрів дорожнього руху на функціональний стан водія.

Відібрані для оцінювання значущості фактори було занесено в спеціально розроблену анкету, за допомогою якої проводили опитування водіїв немаршрутизованого транспорту, а також було побудовано гістограму значущості факторів, що впливають на їх функціональний стан (рис. 1).

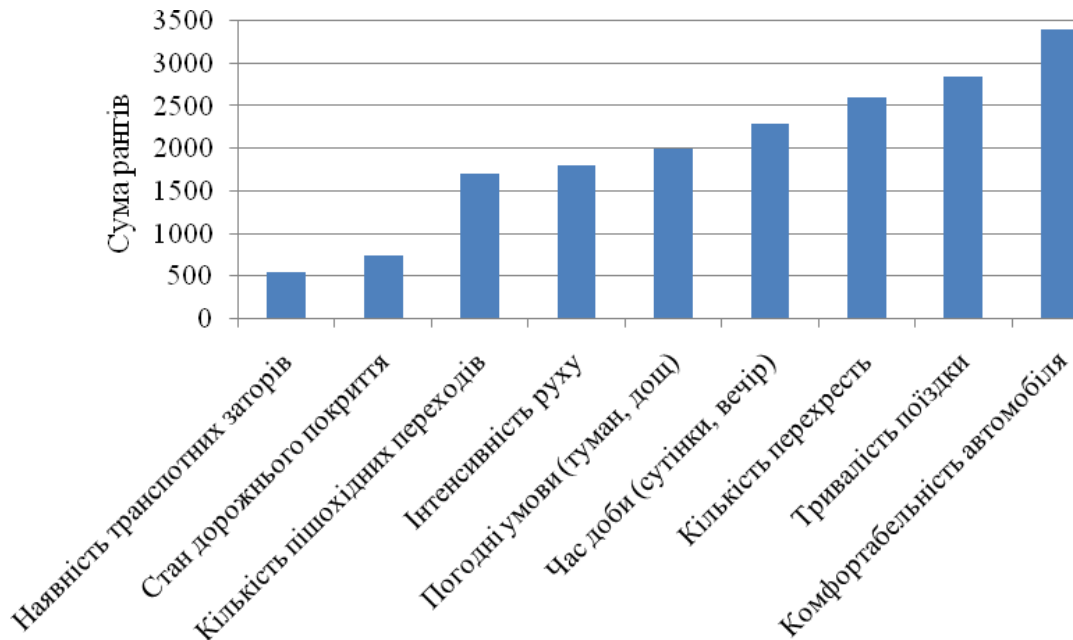


Рис. 1. Гістограма значущості факторів, що впливають на стан водія

Ступінь узгодженості думок експертів було оцінено за допомогою коефіцієнта конкордації Кендала, який дорівнює 0,75, що свідчить про узгодженість думок експертів.

Для перевірки статистичної ваги коефіцієнта конкордації Кендала було розраховано емпіричне значення критерія Пірсона, яке виявилось більше за табличне. Звідси випливає, що думки експертів не є випадковими.

Найбільш значущим чинником є наявність транспортних заторів (рис. 1). Це пояснюється його негативним впливом на психоемоційний стан водія і збільшенням часу поїздки. Другим за значущістю виявився фактор стану дорожнього покриття. Негативний вплив цього фактора на функціональний стан водія очевидний. Наступний за значущістю фактор – кількість пішохідних переходів, оскільки водій під час їхнього перетину постійно перебуває в психічному напруженні. Четвертим виявився фактор, що відображає інтенсивність руху. Рухаючися в щільному потоці, водій постійно повинен дотримуватися безпечної дистанції руху. Це збільшує його психоемоційне напруження. Такі фактори, як погодні умови, час доби й кількість перехресть, виявилися на п'ятому, шостому й сьомому місцях відповідно. Найменш значущі фактори – комфортабельність автомобіля і тривалість поїздки.

Досліджено залежність функціонального стану водія від його індивідуально-типологічних особливостей. Деякі результати експериментальних досліджень щодо оцінювання функціонального стану водіїв різних темпераментів наведено на рис. 2.

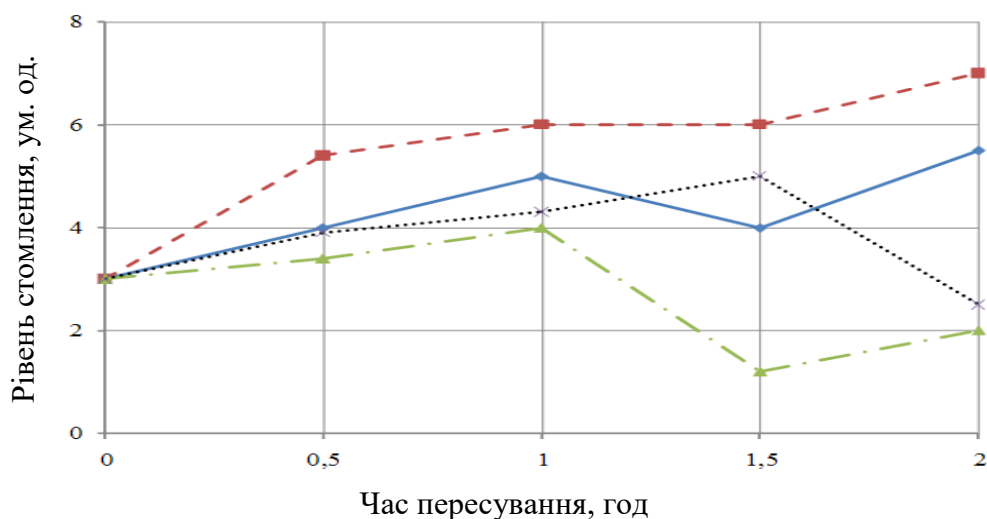


Рис. 2. Змінювання функціонального стану водіїв із різними темпераментами:

...x... – флегматик; ◆ – сангвінік; ■ – холерик; ▲ – меланхолік

Із рис. 2 зрозуміло, що водій із темпераментом холерика відчуває найбільше напруження. Він значно раніше за інших втомлюється, а ймовірність прийняття неадекватних рішень у нього буде вищою. Рівень стомлення водія-сангвініка в першу годину їзди підвищується незначно, потім дещо знижується і підвищується до кінця другої години. Рівень стомлення флегматика підвищується протягом півтори години і до кінця другої години повертається до початкового стану. Водій-меланхолік фактично не відчуває напруження. Деяке його підвищення, а потім різке зниження можуть пояснюватися розгубленістю водія в складній ситуації і запізненням щодо прийняття рішення.

Досліджено також вплив різних марок автомобілів на функціональний стан водія (рис. 3).

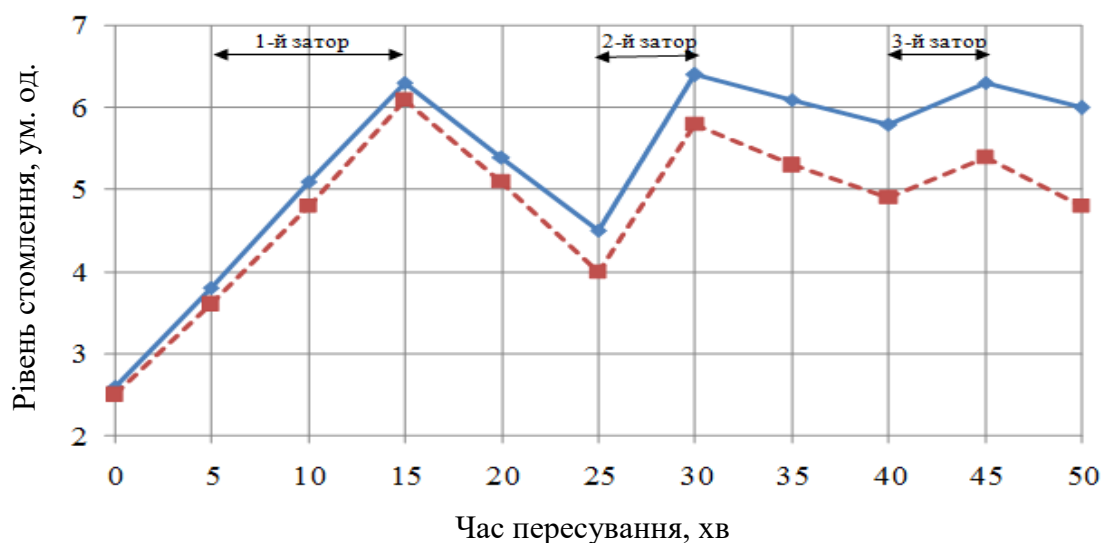


Рис. 3. Змінювання рівня стомлення водія під час пересування на автомобілях різних марок:

◆ – BAZ 2104; ■ – Skoda Superb

Як зрозуміло з рис. 3, функціональний стан водія під час проїзду на автомобілі Skoda Superb значно поліпшується порівняно з проїздом на автомобілі ВАЗ 2104. Різниця змінювання функціонального стану в кінці поїздки становить 1,2 ум. од. Це свідчить про те, що під час проїзду на автомобілі з кращими ергономічними характеристиками стомлення у водія виникає повільніше. Під час перебування водія в транспортних заторах тип і клас автомобіля помітно не впливають на його функціональний стан.

Четвертий розділ «Моделювання впливу транспортних заторів на функціональний стан водія» присвячено розробці регресійних моделей впливу транспортного затору на рівень стомлення середньостатистичного водія й водіїв із різним темпераментом та дослідженню впливу відібраних факторів на функціональний стан водія.

Для розроблення регресійної моделі середньостатистичного водія залучалися водії з усіма типами нервової системи. В експериментальних дослідженнях брали участь водії всіх вікових груп і категорій.

Розроблена модель має такий вигляд:

$$P_{ск} = 0,018 \cdot B_г + 1,278 \cdot T_з^{0,41} + 0,291 \cdot P_{сн}, \quad (2)$$

де $P_{ск}$ – рівень стомлення під час виходу із затору, ум. од.; $B_г$ – вік водія, роки; $T_з$ – тривалість затору, хв; $P_{сн}$ – рівень стомлення під час входження в затор, ум. од.

Адекватність розробленої моделі оцінювалася за допомогою показника середньої помилки апроксимації, який дорівнює 19,28 %. Ця помилка є великою, тому застосовувати таку модель можна тільки в першому наближенні.

Під час аналізу експериментальних даних було встановлено, що в деяких випадках значення рівня стомлення під час виходу з затору виявилось меншим за значення рівня стомлення під час входження у затор. Це свідчить про те, що в деяких водіїв, переважно флегматиків, у заторі функціональний стан не погіршується. Отже, було проведено кластерний аналіз, який показав, що вся сукупність водіїв за типом нервової системи розподілилася на два кластери. До першого кластера увійшли переважно водії з флегматичним типом нервової системи (14,8 %), до другого – решта. Подальший аналіз даних другого кластера показав, що він також ділиться на три кластери за відповідними типами нервової системи. Це свідчить, що кожен тип нервової системи необхідно розглядати окремо. Варто розробити моделі для кожної групи водіїв.

Розроблена модель для водія-холерика виглядає так:

$$P_{ск} = 0,009 \cdot B_г + 2,045 \cdot |\ln(T_з/P_{сн})| + 0,848 \cdot P_{сн}. \quad (3)$$

Адекватність розробленої математичної моделі оцінювалася за допомогою показника середньої помилки апроксимації, який дорівнює 6,35 %. Ця помилка є допустимою.

Модель змінювання функціонального стану водія-сангвініка виглядає так:

$$P_{ск} = 0,009 \cdot B_г + 1,372 \cdot |\ln(T_з/P_{сн})| + 0,939 \cdot P_{сн}. \quad (4)$$

Середня помилка апроксимації, яка дорівнює 6,13 %, є допустимою.

Також було розроблено модель для водія-меланхоліка:

$$P_{ск} = 0,013 \cdot B_6 + 0,065 \cdot T_3 + 0,913 \cdot P_{сн}. \quad (5)$$

Середня помилка апроксимації є допустимою і дорівнює 5,87 %.

Регресійна модель водія-флегматика виглядає так:

$$P_{ск} = -0,396 \cdot Ц/У - 0,066 \cdot T_3 + 1,067 \cdot P_{сн}, \quad (6)$$

де $Ц/У$ – відношення ціни нового автомобіля до питомої потужності двигуна (ергономічна характеристика транспортного засобу), тис. ум. од./($кВт/т$).

Регресійна модель (6) є адекватною, оскільки середня помилка апроксимації дорівнює 5,67 %.

Для дослідження впливу факторів на функціональний стан водія було проведено факторний аналіз впливу затору на стан водіїв різного віку та різних темпераментів із використанням моделей (3–6) (рис. 4–7).

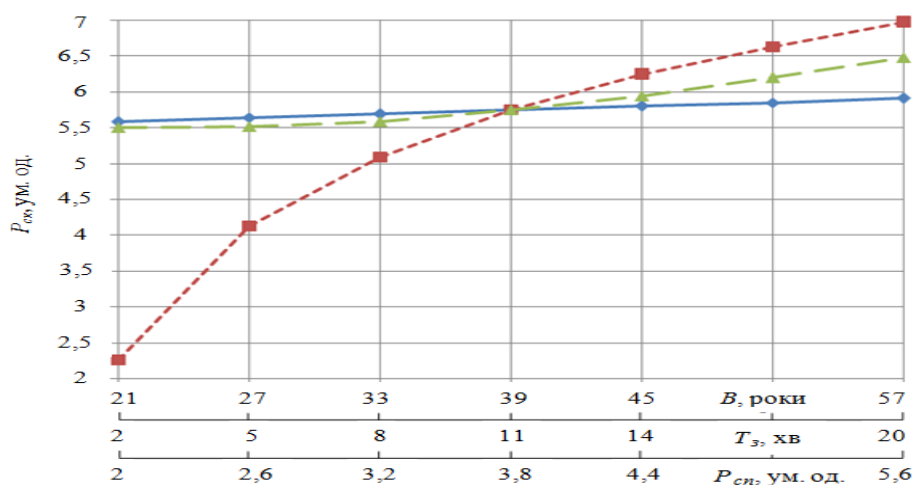


Рис. 4. Характеристичний графік змінювання рівня стомлення водія-холерика в транспортному заторі:

—◆— B_6 ; —■— T_3 ; —▲— $P_{сн}$

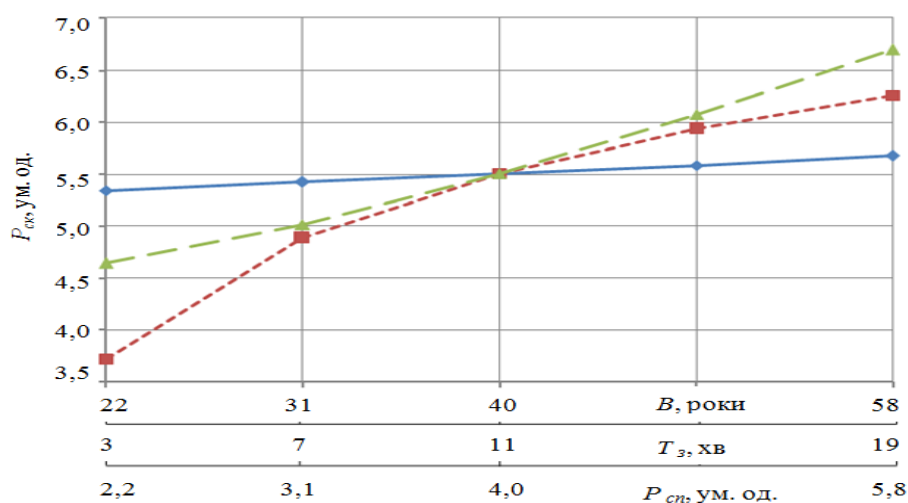


Рис. 5. Характеристичний графік змінювання рівня стомлення водія-сангвініка в транспортному заторі:

—◆— B_6 ; —■— T_3 ; —▲— $P_{сн}$

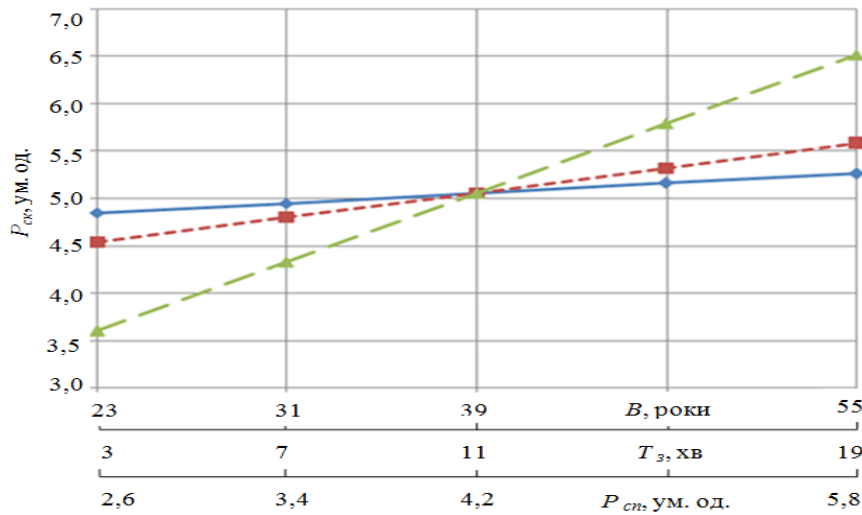


Рис. 6. Характеристичний графік змінювання рівня стомлення водія-меланхоліка в транспортному заторі:

—◆— B ; —■— T_z ; —▲— $P_{ср}$

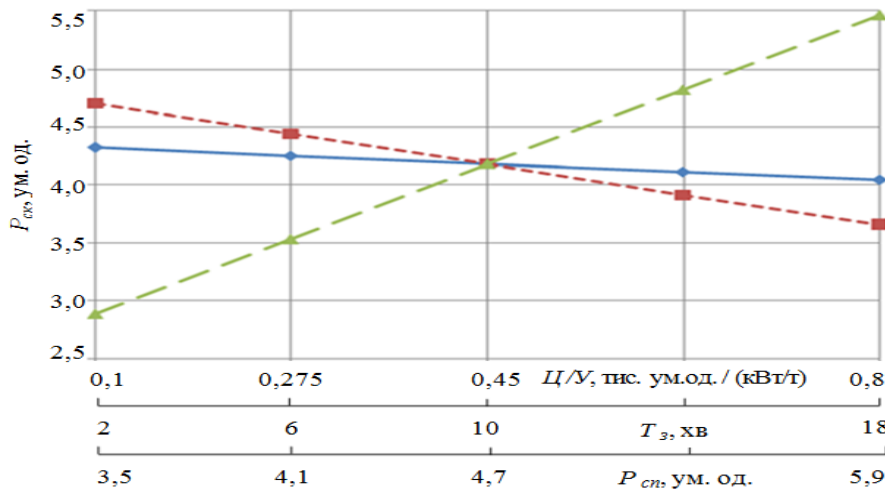


Рис. 7. Характеристичний графік змінювання рівня стомлення водія-флегматика у транспортному заторі:

—◆— $Ц/У$; —■— T_z ; —▲— $P_{ср}$

За графіком на рис. 4 зрозуміло що, зі збільшенням усіх факторів зростає значення рівня стомлення під час виходу з затору. Найбільше на рівень стомлення водія під час виходу із затору впливає тривалість затору.

Як зрозуміло з графіка на рис. 5, зі збільшенням усіх факторів зростає значення рівня стомлення під час виходу з транспортного затору. На показник функціонального стану водія під час виходу з затору найбільше впливає початкове значення рівня стомлення під час входу в затор і тривалість затору.

З графіка на рис. 6 випливає, що зі збільшенням усіх факторів значення рівня стомлення під час виходу з транспортного затору зростає. Найбільше на показник функціонального стану водія під час виходу з транспортного затору впливає початкове значення рівня стомлення під час входу в затор.

Як зрозуміло з графіка на рис. 7, зі збільшенням фактора P_{cn} значення рівня стомлення під час виходу з затору зростає, а зі збільшенням C/U , який відображає умови перебування в салоні транспортного засобу, і T_3 воно знижується. На показник функціонального стану водія під час виходу з затору найбільше впливає початкове значення рівня стомлення під час входу в затор.

Однак характеристичні графіки не дають змоги оцінити, як впливають на досліджуваний показник усі розглянуті фактори загалом. Отже, щоб вирішити це завдання, було побудовано графіки, які відображають вплив віку водія і початкового стану на рівень стомлення в заторі. Ці графіки було побудовано для водіїв різного віку: від 20 років до 60 років з інтервалом 10 років.

Вплив транспортного затору на рівень стомлення двадцятирічних водія-холерика й водія-сангвініка в трьох вимірах наведено на рис. 8.

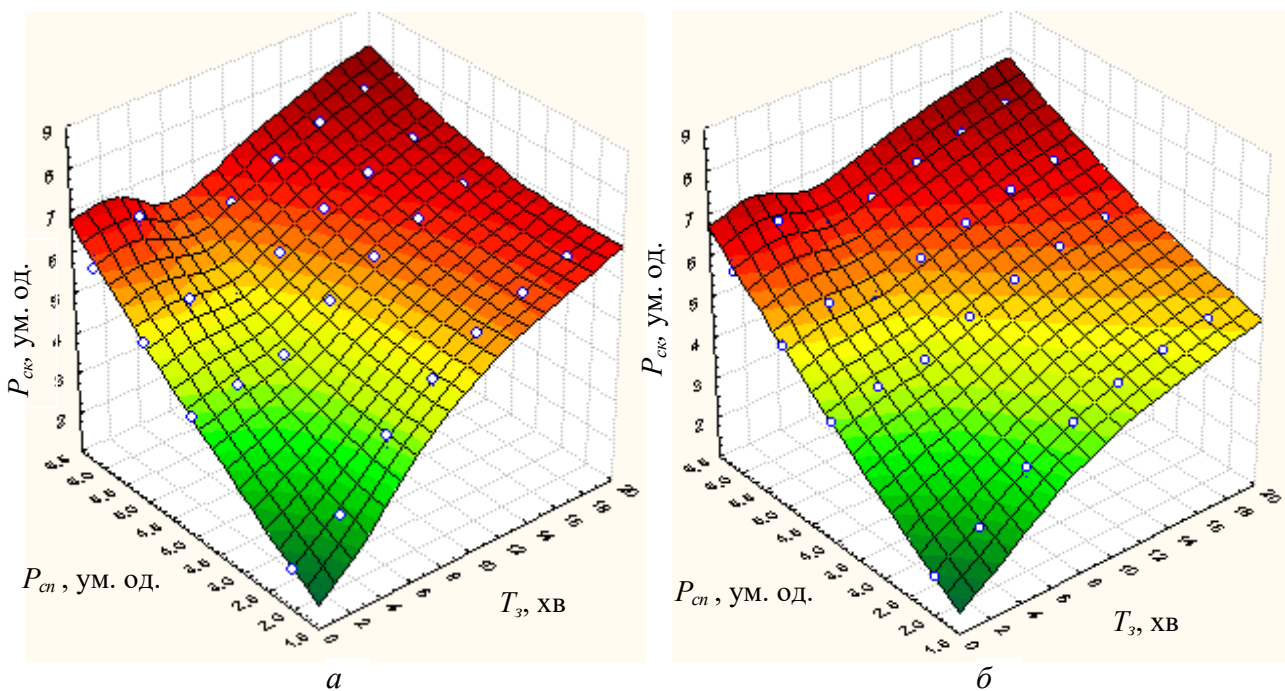


Рис. 8. Змінювання рівня стомлення ($P_{ск}$) водія-холерика (а) і водія-сангвініка (б) віку 20 років залежно від початкового рівня (P_{cn}) та тривалості затору (T_3)

З рис. 8 зрозуміло, що під час входження водія-холерика (рис. 8, а) і водія-сангвініка (рис. 8, б) в затор із високим значенням рівня стомлення ($P_{cn} = 5-6$ ум. од.) у перші хвилини затору його стан поліпшується (на 10–12 %), а далі погіршується, наближаючись в кінці затору до восьми умовних одиниць, що відповідає стану виснаження регуляторних систем.

Якщо початковий рівень втоми перед затором у цих водіїв перебуває в межах норми, то під час перебування в заторі їх стан поступово погіршується: у водія-сангвініка до п'яти ум. од., у водія-холерика – понад шість ум. од., що відображає стан вираженого напруження регуляторних систем.

Змінювання рівня стомлення водія-меланхоліка і водія-флегматика віку 20 років наведено на рис. 9.

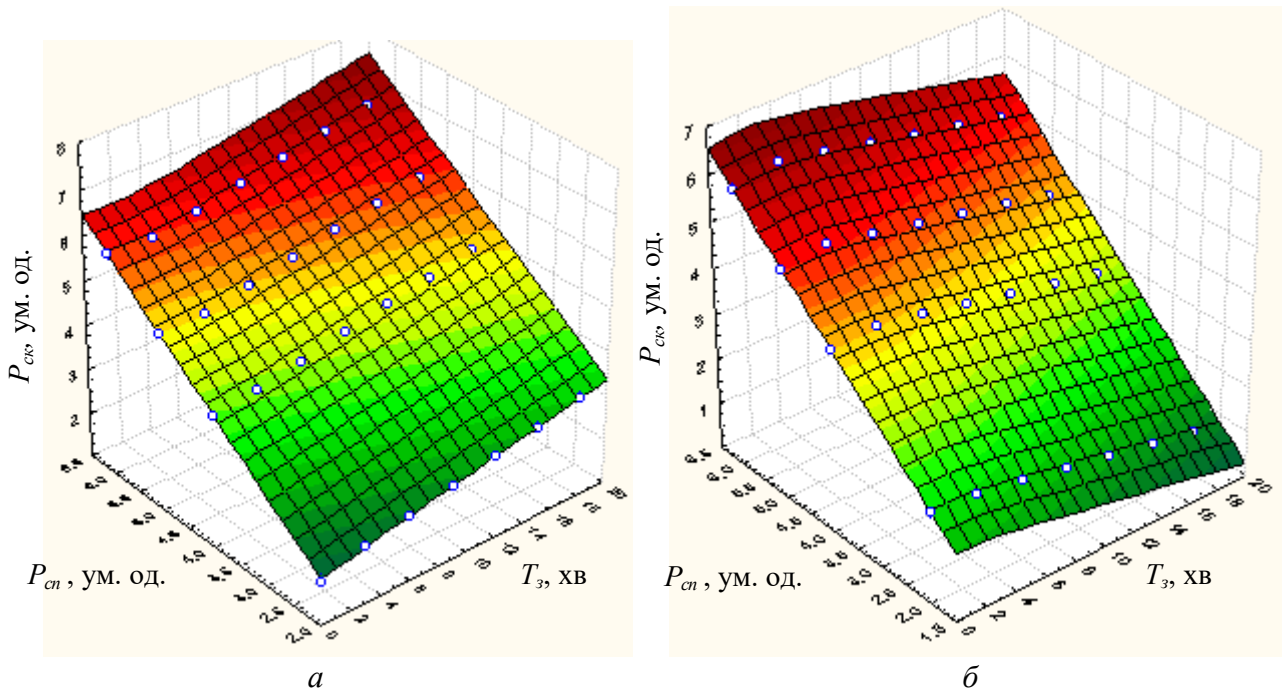


Рис. 9. Змінювання рівня стомлення (P_{ck}) водія-меланхоліка (а) і флегматика (б) віку 20 років залежно від початкового рівня (P_{cn}) та тривалості затору (T_3)

З рис. 9 зрозуміло, що зі збільшенням величини початкового рівня стомлення меланхоліка (рис. 9, а) збільшується кінцевий рівень його стомлення. Така ж тенденція спостерігається і зі збільшенням часу перебування водія в заторі. Рівень стомлення водія-флегматика (рис. 9, б) в заторі поступово поліпшується при будь-яких значеннях початкового рівня стомлення.

Вплив транспортного затору на рівень стомлення шістдесятирічних водія-холерика і водія-сангвініка в просторі трьох вимірів наведено на рис. 10.

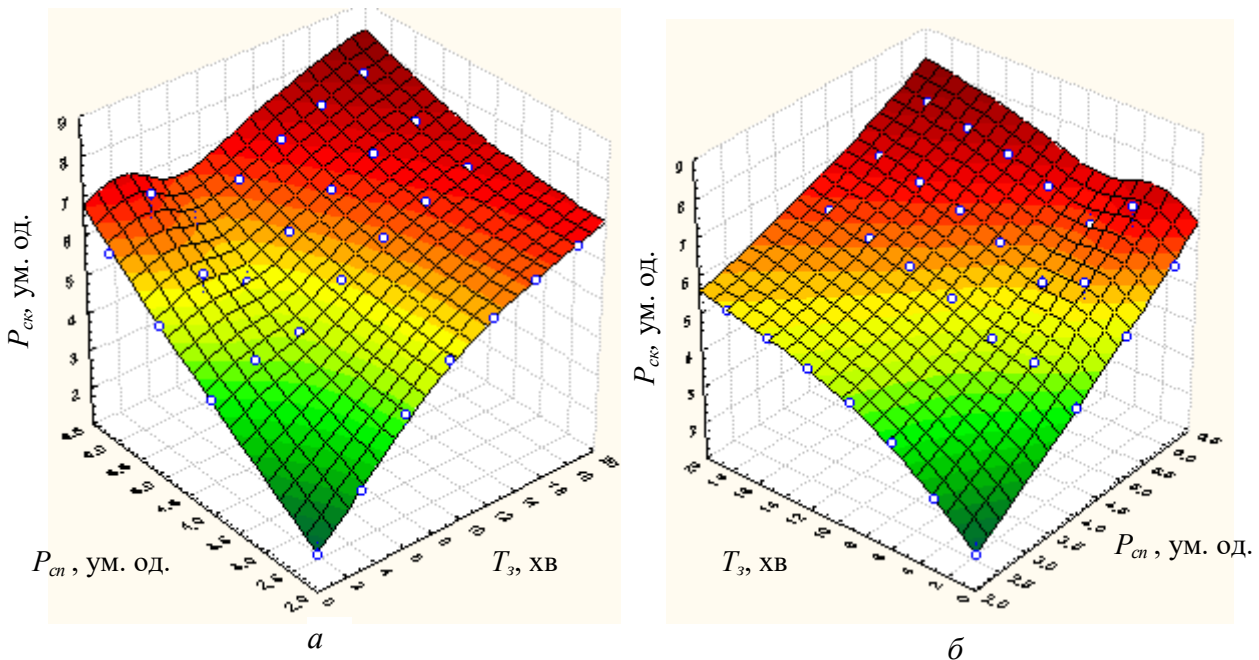


Рис. 10. Змінювання рівня стомлення (P_{ck}) водія-холерика (а) і водія-сангвініка (б) віку 60 років залежно від початкового рівня (P_{cn}) та тривалості затору (T_3)

З рис. 10 зрозуміло, що під час входження водіїв у затор із високим значенням рівня стомлення в перші хвилини затору їх стан поліпшується, а далі погіршується, досягаючи в кінці затору величини восьми умовних одиниць, що відповідає стану виснаження регуляторних систем, за якого активність керувальних механізмів знижується.

Якщо початковий рівень втоми перед затором у цих водіїв перебуває в межах норми, то під час перебування в заторі їх стан поступово погіршується.

Змінювання рівня стомлення шістдесятирічних водія-меланхоліка і флегматика наведено на рис. 11.

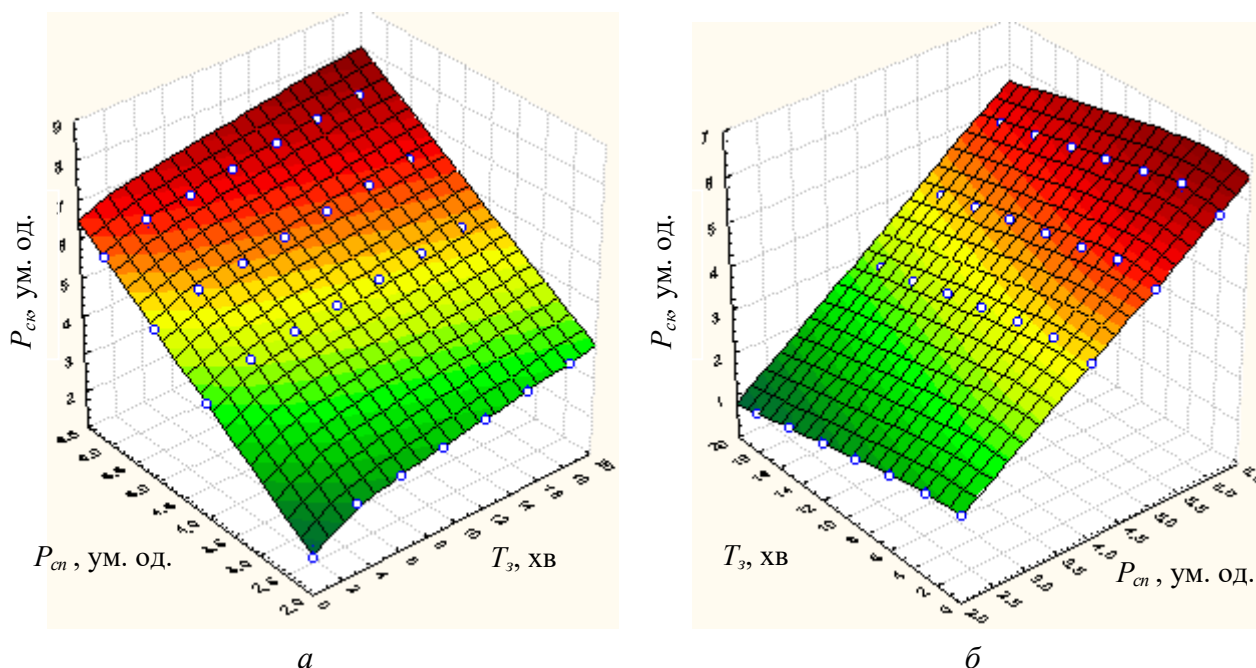


Рис. 11. Змінювання рівня стомлення ($P_{ск}$) водія-меланхоліка (а) і флегматика (б) віку 60 років залежно від початкового рівня ($P_{сн}$) та тривалості затору ($T_з$)

Зі збільшенням величини початкового рівня стомлення водія-меланхоліка (рис. 11, а) збільшується кінцевий рівень його стомлення. Така сама тенденція спостерігається і зі збільшенням часу перебування водія в заторі.

Стан водія-флегматика (рис. 11, б) протягом усього часу перебування в заторі поступово поліпшується при будь-яких значеннях початкового рівня стомлення.

П'ятий розділ «Вплив функціонального стану водія на час його реакції в умовах заторів» присвячено встановленню взаємозв'язку між рівнем стомлення водія і часом його реакції в транспортному заторі.

Для складання регресійної моделі впливу транспортного затору на час реакції водія було проведено відповідні дослідження. Одночасно вимірювали функціональний стан та час реакції водіїв до транспортного затору, у період перебування в транспортному заторі та після нього. Під час розроблення моделі було використано відомі методи статистики й регресійного аналізу.

Розроблена модель виглядає так:

$$\Delta T_p = 0,029 + 0,022 \cdot (P_{ск} - P_{сн})^2, \quad (7)$$

де ΔT_p – змінювання часу реакції водія, с.

Адекватність розробленої моделі оцінювалася за показником середньої помилки апроксимації, який дорівнює 6,51 %. Ця похибка є допустимою, а розроблену модель можна застосовувати для визначення змінювання часу реакції водія після його перебування в транспортному заторі.

Формула (7) з урахуванням моделі (2) для середньостатистичного водія набуде такого вигляду:

$$\Delta T_p = 0,029 + 0,022 \cdot (0,018 \cdot B_g + 1,278 \cdot T_z^{0,41} - 0,709 \cdot P_{сн})^2. \quad (8)$$

Також було досліджено час реакції водіїв із різним темпераментом під час перебування в заторі та після нього. Для оцінювання впливу транспортного затору на час реакції водія було відібрано водіїв із різними темпераментами: холерик, сангвінік і меланхолік. Результати досліджень наведено на рис. 12.

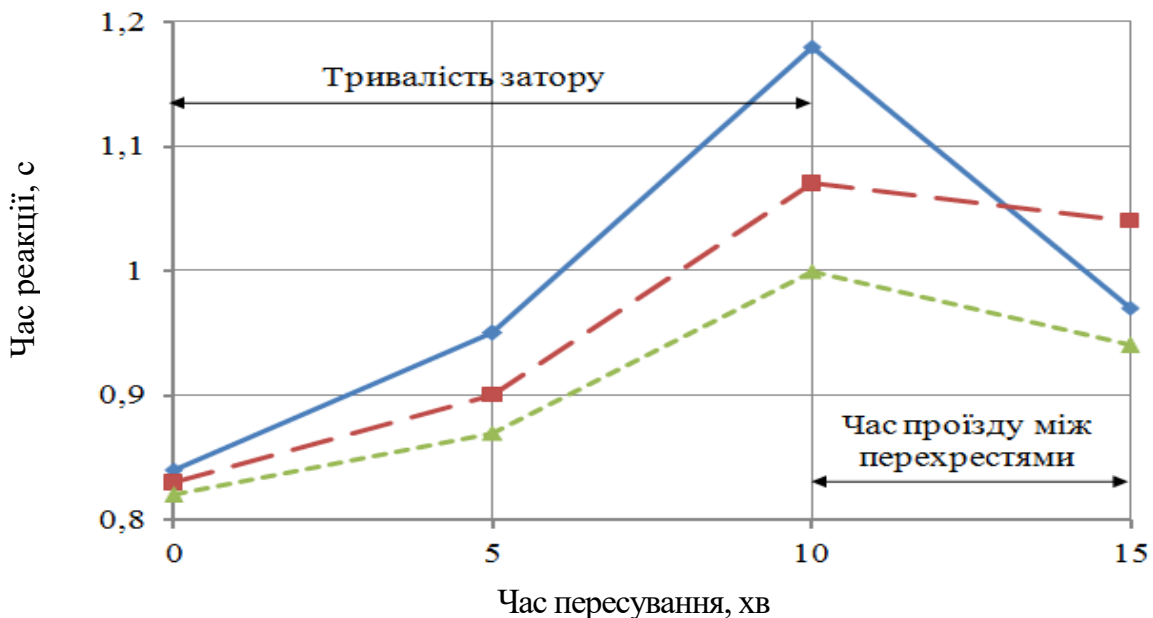


Рис. 12. Змінювання часу реакції водіїв із різним темпераментом під час перебування в транспортному заторі та після виходу з нього:

— холерик; — сангвінік; — меланхолік

Як зрозуміло з рис. 12, тривалість затору найбільше впливає на час реакції водія-холерика: від 0,83 с до 1,18 с. Проміжне місце щодо змінювання часу реакції посідає водій-сангвінік, час реакції якого зростає з 0,83 с до 1,07 с. Найменше змінюється час реакції меланхоліка – з 0,82 с до 1,0 с.

Після виїзду з транспортного затору час реакції водія-холерика починає стабілізуватися значно швидше, ніж у представників інших темпераментів, знижуючись до 0,97 с. Час реакції водія-сангвініка відповідно знижується до 1,04 с, а у меланхоліка – до 0,94 с.

Однак, якщо простежити за тенденцією зменшення часу реакції усіх водіїв (рис. 12), то стане зрозумілим, що в разі подальшої стабілізації час

реакції водія-холерика буде найменшим, а водія-сангвініка – найбільшим. Відповідно, з погляду безпеки руху перший відрізок шляху після виходу з транспортного затору є найнебезпечнішим щодо ймовірності скоєння ДТП.

Далі за формулою (7) з урахуванням моделей (2–6) було досліджено змінювання часу реакції водіїв різного темпераменту й віку у транспортних заторах.

Результати цих досліджень для двадцятирічних і шістьдесятирічних водіїв наведено на рис. 13 і 14.

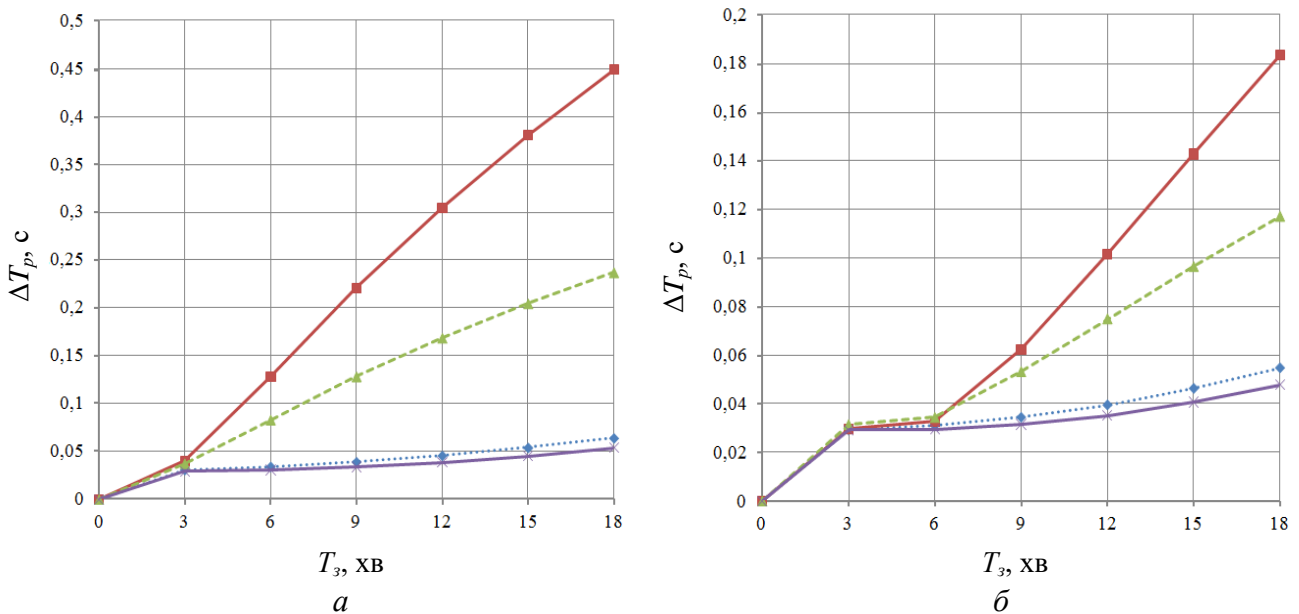


Рис. 13. Залежності змінювання часу реакції водіїв віку 20 років у транспортному заторі при $P_{cn} = 2$ ум. од. (а) і при $P_{cn} = 4$ ум. од. (б):

◆—◆— — меланхолік; ■—■— — холерик; ▲—▲— — сангвінік; ×—×— — флегматик

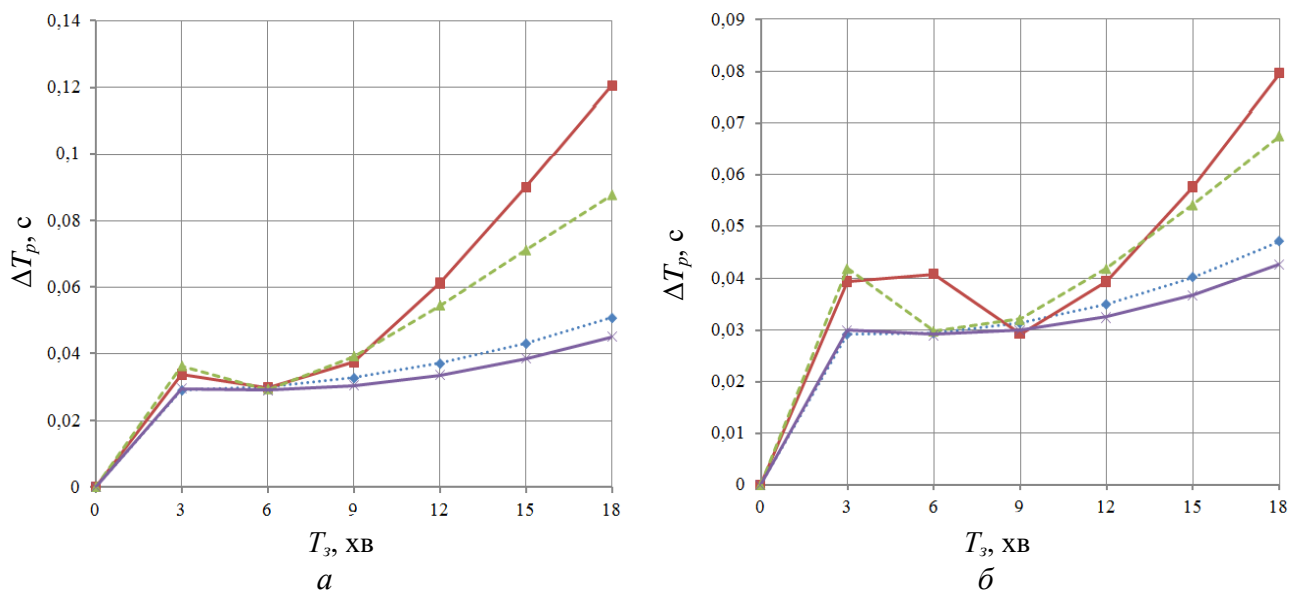


Рис. 14. Залежності змінювання часу реакції водіїв віку 20 років у транспортному заторі при $P_{cn} = 5$ ум. од. (а) і при $P_{cn} = 6$ ум. од. (б):

◆—◆— — меланхолік; ■—■— — холерик; ▲—▲— — сангвінік; ×—×— — флегматик

Як зрозуміло з рис. 13, *a*, при $P_{cn} = 2$ ум. од. в заторі час реакції збільшується у водіїв двох темпераментів – холерика й сангвініка. До кінця затору відповідне змінювання часу реакції у них буде таким: у водія-холерика – 0,45 с, у водія-сангвініка – 0,24 с. Отже, затор у разі звичайного вихідного стану водія негативно впливає на нього, таким чином підвищуючи час реакції. Змінювання часу реакції меланхоліка й водія-флегматика є незначним.

При $P_{cn} = 4$ ум. од. час реакції водіїв двадцяти років із різним темпераментом змінюється так (рис. 13, *б*): до шостої хвилини затору час реакції усіх водіїв змінюється однаково й незначно, далі він збільшується: у холерика – на 0,2 с, у сангвініка – на 0,12 с, у інших водіїв – на 0,05 с.

Якщо рівень стомлення на початку затору становить п'ять ум. од., то у водіїв час реакції в заторі буде змінюватися так (рис. 14, *a*): у водіїв усіх темпераментів до третьої хвилини затору час реакції трохи збільшиться, далі до шостої хвилини буде відбуватися деяке зниження часу реакції у водія-холерика і водія-сангвініка. Потім час реакції у них зростає і відповідне змінювання цього часу у холерика буде становити 0,12 с, а у сангвініка – 0,09 с.

На рис. 14, *б* час реакції водіїв усіх темпераментів до третьої хвилини затору трохи збільшується, до шостої хвилини дещо знижується час реакції водія-сангвініка. Таке зниження спостерігається у водія-холерика з шостої до дев'ятої хвилини. Потім час реакції у водіїв усіх темпераментів зростає і відповідне змінювання цього часу у холерика буде становити 0,08 с, а у сангвініка – 0,07 с. Час реакції водія-меланхоліка і водія-флегматика поступово збільшується, а змінювання часу реакції у них до кінця затору дорівнює 0,045 с.

Змінювання часу реакції двадцятирічних водіїв усіх темпераментів у заторі в трьох вимірах наведено на рис. 15 і 16.

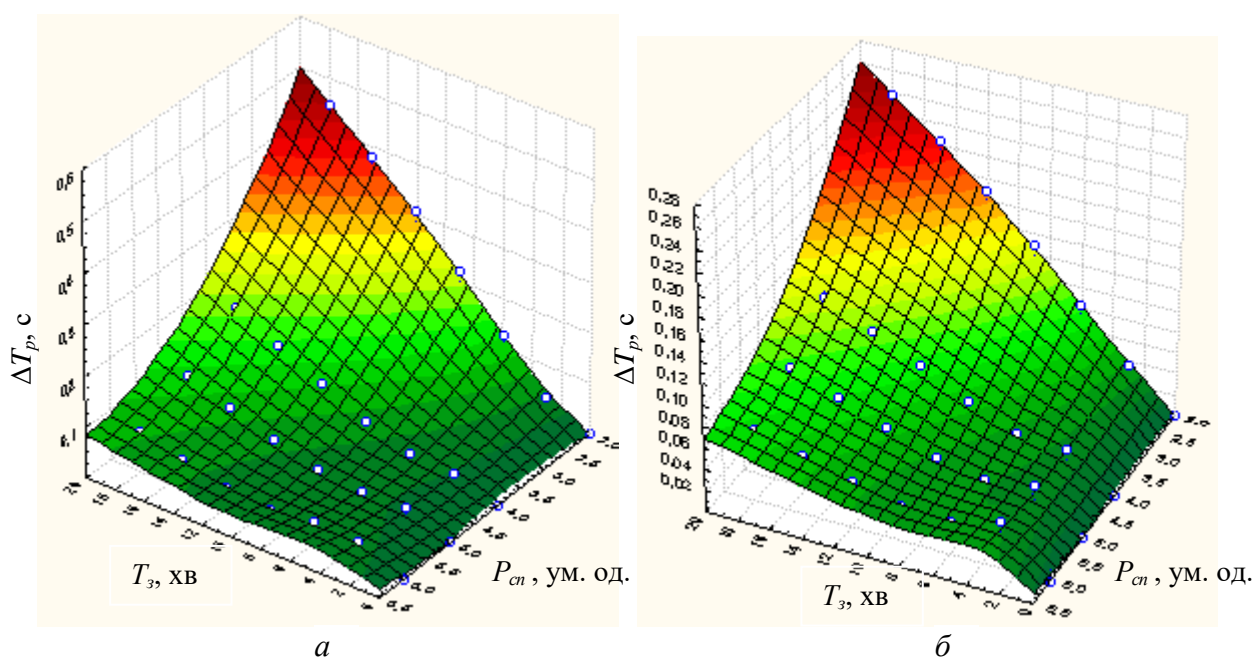


Рис. 15. Залежності змінювання часу реакції (ΔT_p) водія-холерика (*a*) і водія-сангвініка (*б*) віку 20 років залежно від початкового рівня (P_{cn}) та тривалості затору (T_3)

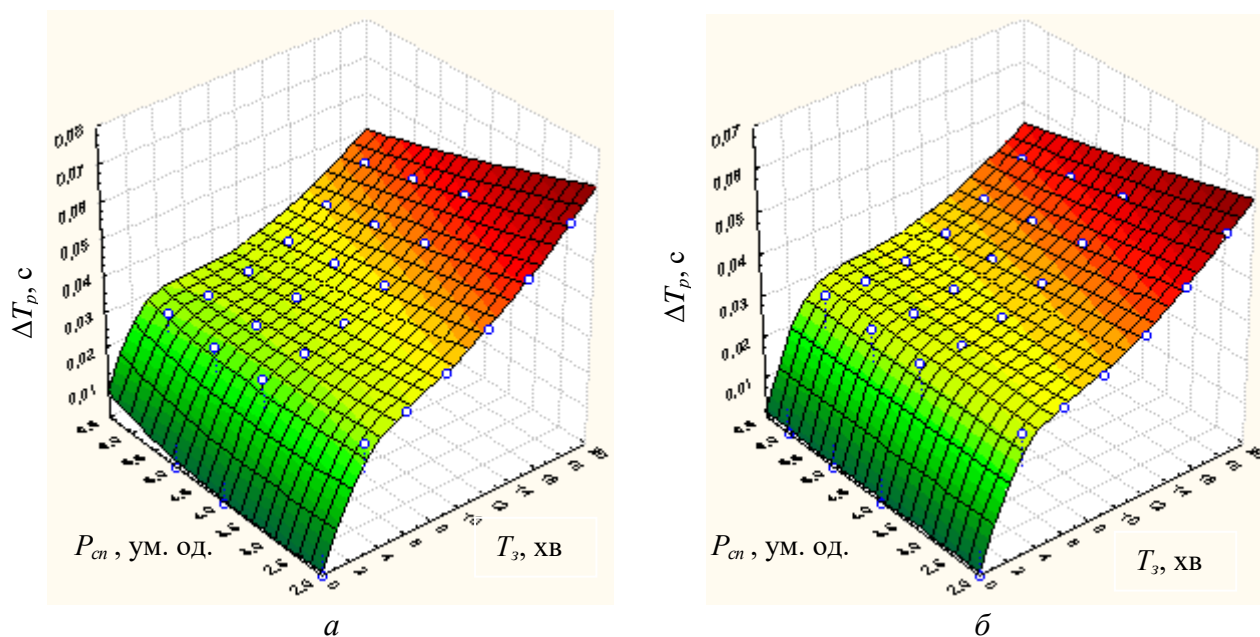


Рис. 16. Залежності змінювання часу реакції (ΔT_p) водія-меланхоліка (а) і водія-флегматика (б) віку 20 років залежно від початкового рівня (P_{cn}) та тривалості затору (T_3)

При $P_{cn} = 2$ ум. од. в заторі час реакції збільшується у водіїв двох темпераментів – холерика й сангвініка. До кінця затору відповідне змінювання часу реакції у них буде таким: у водія-холерика – 0,45 с, у водія-сангвініка – 0,24 с (рис. 15, а, б). Змінювання часу реакції водія-меланхоліка й водія-флегматика є незначною (рис. 16, а, б). Час реакції у водіїв усіх темпераментів зростає, і відповідне змінювання цього часу у холерика буде становити 0,08 с, а у сангвініка – 0,07 с.

Результати цих досліджень для водіїв 60 років наведено на рис. 17 і 18.

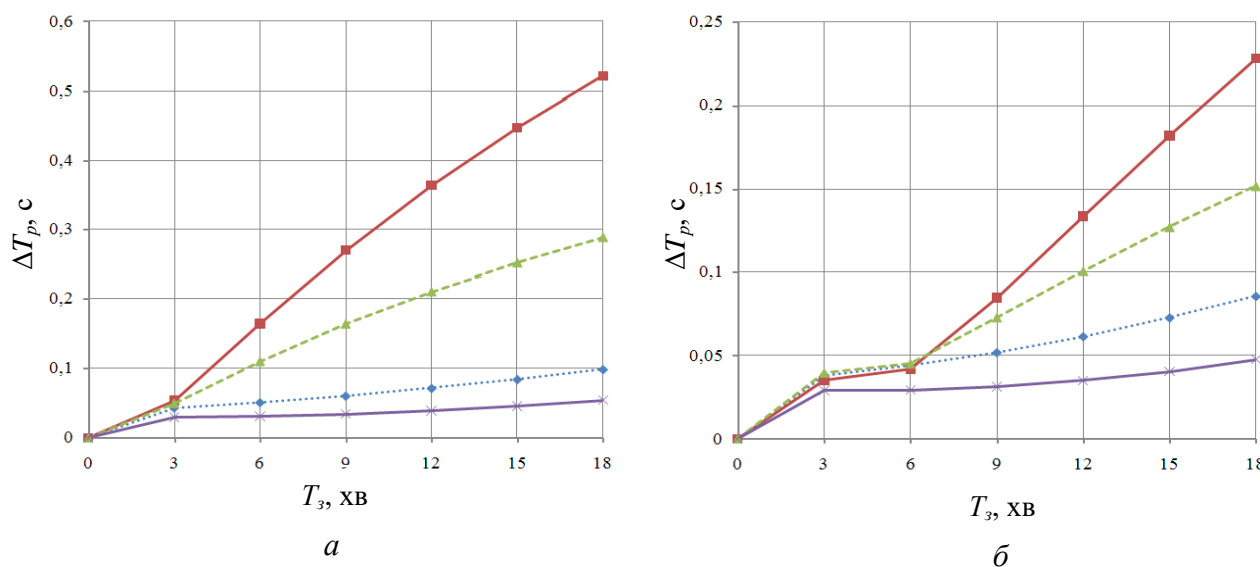


Рис. 17. Залежності змінювання часу реакції водіїв віку 60 років у транспортному заторі при $P_{cn} = 2$ ум. од. (а) і при $P_{cn} = 4$ ум. од. (б):
 ●—●— — меланхолік; —■— — холерик; —▲— — сангвінік; —×— — флегматик

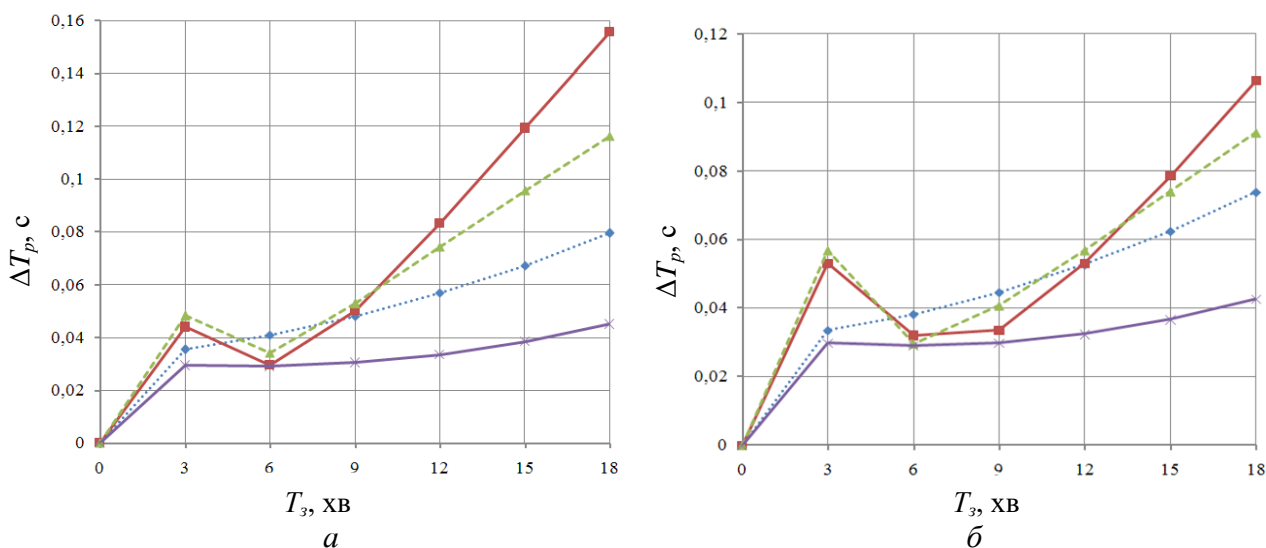


Рис. 18. Залежності змінювання часу реакції водіїв віку 60 років у транспортному заторі при $P_{cn} = 5$ ум. од. (а) і при $P_{cn} = 6$ ум. од. (б):

···◆··· – меланхолік; —■— – холерик; -▲- - сангвінік; —×— – флегматик

На рис. 17, а час реакції водіїв усіх темпераментів, крім флегматика, змінюється однаково до третьої хвилини затору, а на рис. 17, б (крім флегматика) – до шостої.

Далі час реакції водіїв зростає, і наприкінці транспортного затору ці змінювання сягають таких значень (рис. 17, а): у водія-холерика – 0,52 с, у водія-сангвініка – 0,29 с, у водія-меланхоліка – 0,1 с і у водія-флегматика – 0,05 с.

На рис. 17, б час реакції водіїв у транспортному затору змінюється так: у холерика він становить 0,23 с, у сангвініка – 0,15 с, у меланхоліка – 0,08 с і у флегматика – 0,05 с.

Якщо рівень стомлення на початку затору дорівнює п'яти ум. од., то динаміка змінювання часу реакції водіїв усіх темпераментів, подана на рис. 18, а, подібна до змінювання, поданого на рис. 14, а, а на рис. 18, б – до змінювання на рис. 14, б. Час реакції меланхоліка і флегматика в обох випадках поступово зростає, сягаючи наприкінці затору 0,08 с і 0,043 с (рис. 18, а) і 0,72 с і 0,042 с (рис. 18, б) відповідно.

На рис. 18, а час реакції холерика і сангвініка зростає до третьої хвилини затору, потім знижується до шостої хвилини, далі знову зростає, сягаючи наприкінці затору 0,16 та 0,11 с відповідно. Необхідно зазначити, що до дев'ятої хвилини затору відповідне змінювання часу реакції всіх водіїв, крім флегматика, вирівнюється, сягаючи 0,05 с. На рис. 18, б час реакції холерика і сангвініка також зростає до третьої хвилини затору, потім знижується до шостої хвилини, далі знову зростає, сягаючи наприкінці транспортного затору 0,092 та 0,078 с.

Змінювання часу реакції шістдесятирічних водіїв усіх темпераментів у транспортному заторі залежно від початкового рівня стомлення та тривалості затору в трьох вимірах наведено на рис. 19 і 20.

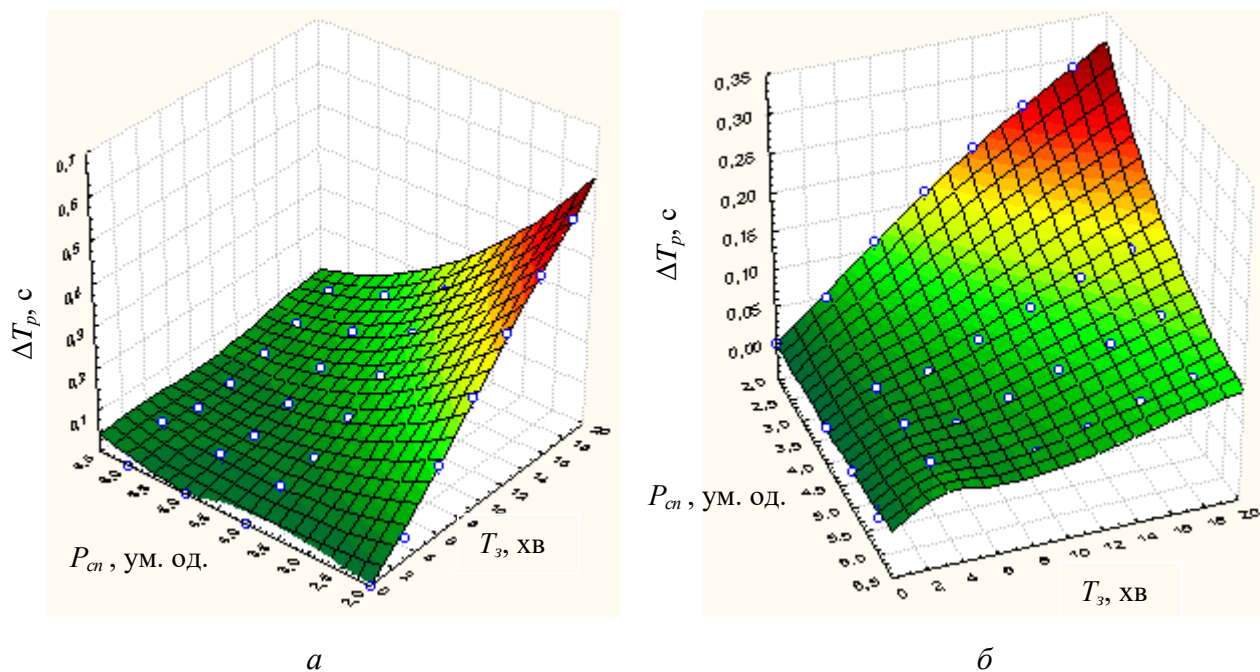


Рис. 19. Залежності змінювання часу реакції (ΔT_p) водія-холерика (а) і водія-сангвініка (б) віку 60 років залежно від початкового рівня (P_{cn}) та тривалості затору (T_3)

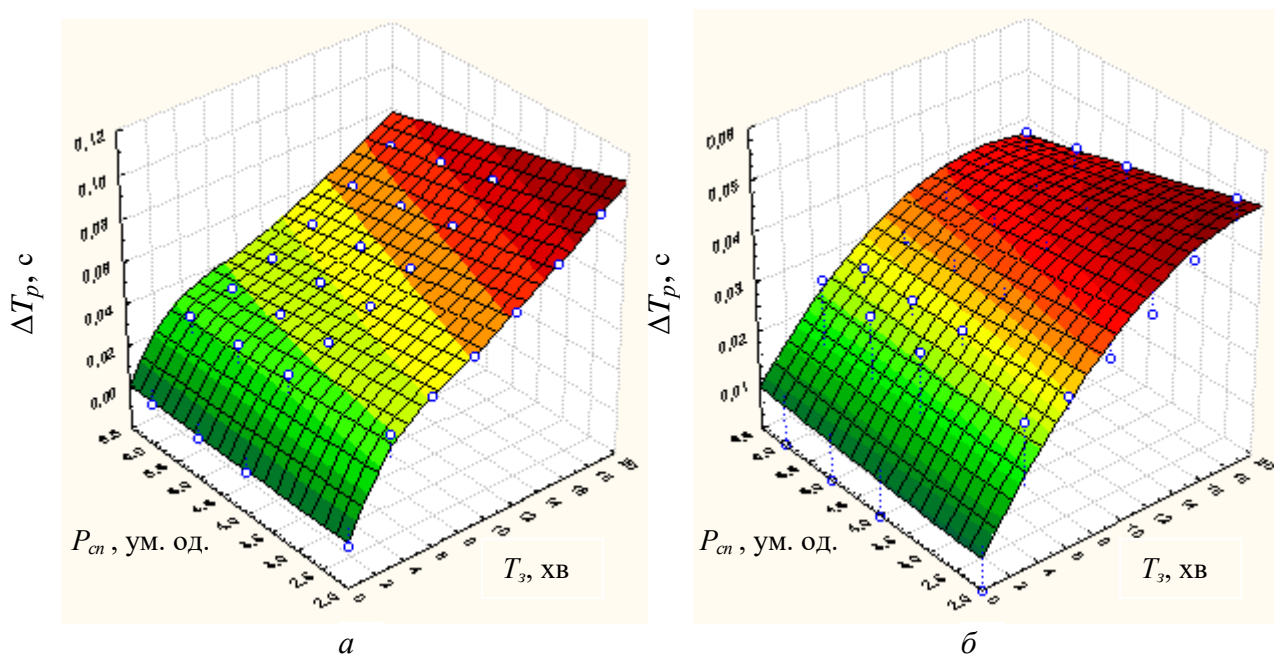


Рис. 20. Залежності змінювання часу реакції (ΔT_p) водія-меланхоліка (а) і водія-флегматика (б) віку 60 років залежно від початкового рівня (P_{cn}) та тривалості затору (T_3)

На рис. 19, а зі збільшенням часу перебування в транспортному заторі час реакції шістдесятирічного водія-меланхоліка поступово збільшується незалежно від величини початкового рівня його стомлення.

Як впливає з рис. 19, б, найбільш значущим фактором, що впливає на час реакції водія-холерика в заторі, є величина початкового рівня стомлення

при вході в затор. Зі збільшенням його величини час реакції водія-холерика до десятої хвилини затору не змінюється, а далі зростає незначно. Схожа тенденція змінювання часу реакції спостерігається і на рис. 20, а. Однак на початку затору при великих його значеннях час реакції водія-сангвініка навіть дещо знижується.

На рис. 20, б змінювання часу реакції водія-флегматика в транспортному заторі відбувається незначно.

З рис. 13–20 випливає, що змінювання часу реакції майже на 80–100 % різне у водіїв різних типів нервової системи. До того ж вік водія незначно (до 5 %) збільшує час його реакції.

У шостому розділі «Надійність діяльності водія в умовах заторів руху» оцінено ймовірність виникнення ДТП із окремим учасником дорожнього руху і з водіями різного темпераменту.

Надійність може трактуватися як безвідмовність функціонування системи, а в нашому випадку – безаварійність або ймовірність виникнення ДТП, і чим меншою є ця ймовірність, тим більшою є надійність.

Аналіз методів визначення рівня аварійності на ділянках транспортної мережі показав, що їх застосування не дає змоги кількісно оцінити можливу ймовірність виникнення ДТП із окремим учасником дорожнього руху в транспортному заторі. Наявні методи оцінювання рівня аварійності на перехрестях вулиць і доріг можуть, при певному доопрацюванні дати змогу визначити ймовірність виникнення ДТП окремого учасника руху.

Дослідження, проведені в розділах 4 і 5 показали, що транспортний затор негативно впливає на рівень стомлення і на час реакції водіїв усіх темпераментів, крім флегматиків, тому видається можливим включити до відомих моделей визначення ймовірності виникнення ДТП на ділянках транспортної мережі (модель (9)) і в транспортних вузлах (модель (10)) з окремим учасником руху коефіцієнтів, що відображають ці зміни. Тоді ці моделі набудуть такого вигляду:

$$P_{\text{ДТП}}^{\rightarrow\circ} = \frac{\overset{\leftarrow 0,75}{(F)} + \overset{\rightarrow 0,35}{F} \overset{\rightarrow 1,25}{) \cdot F} \cdot l \cdot k_a \cdot 2 \cdot 10^{-10}}{H} \cdot k_{\text{ТЗ}}, \quad (9)$$

$$P_{\text{ДТП}} = \frac{50 \cdot k_i \cdot M_i \cdot N_i}{k_p \cdot 10^{14}} \cdot \frac{N_{\text{а}} + M_{\text{а}}}{N_i + M_i} \cdot k_{\text{ТЗ}}, \quad (10)$$

де \vec{F} , $\overset{\leftarrow}{F}$ – інтенсивність руху попутного й зустрічного потоків транспортних засобів відповідно, авт./год; l – довжина ділянки дороги, км; k_a – підсумковий коефіцієнт аварійності; H – ширина проїзної частини, м; $k_{\text{ТЗ}}$ – коефіцієнт, що враховує вплив транспортного затору; k_i – коефіцієнт складності конфліктної точки; k_p – коефіцієнт річної нерівномірності інтенсивності руху; M_i, N_i – сумарні інтенсивності руху на дорогах, що перетинаються, авт./добу; $M_{\text{а}}, N_{\text{а}}$ – інтенсивності потоків, що перетинаються в конфліктній точці при проїзді транспортного засобу через перехрестя, авт./добу.

Коефіцієнт, що враховує вплив затору, можна визначити виходячи зі змінювання часу реакції водія (ΔT_p), що визначається за моделлю (7), і часу реакції водія (T_p), що приймається рівним 0,8 с. До того ж значення коефіцієнта k_{T3} приймаємо рівним $\frac{T_p + \Delta T_p}{T_p}$.

З урахуванням моделі (7) формули (9) і (10) набудуть такого вигляду:

$$P_{ДТП}^{\rightarrow\delta} = \frac{(F_{\leftarrow 0,75} + F_{\rightarrow 0,35}) \cdot F_{\rightarrow 1,25} \cdot l \cdot k_a \cdot 2 \cdot 10^{-10}}{H} \cdot \frac{T_p + 0,029 + 0,022 \cdot (P_{ск} - P_{сн})^2}{T_p}, \quad (11)$$

$$P_{ДТП} = \frac{50 \cdot k_i \cdot M_i \cdot N_i}{k_p \cdot 10^{14}} \cdot \frac{N_{\bar{a}} + M_{\bar{a}}}{N_i + M_i} \cdot \frac{T_p + 0,029 + 0,022 \cdot (P_{ск} - P_{сн})^2}{T_p}, \quad (12)$$

де $P_{ск}$ – середньостатистичний показник рівня стомлення усієї сукупності водіїв при виході із затору, ум. од.; $P_{сн}$ – середньостатистичний показник рівня стомлення усієї сукупності водіїв при вході в транспортний затор, ум. од.

Формули (11) і (12) для оцінювання ймовірності виникнення ДТП на ділянках транспортної мережі і в транспортних вузлах із окремим учасником руху з урахуванням моделі (2) набудуть такого вигляду:

$$P_{ДТП}^{\rightarrow\delta} = \frac{(F_{\leftarrow 0,75} + F_{\rightarrow 0,35}) \cdot F_{\rightarrow 1,25} \cdot l \cdot k_a \cdot 2 \cdot 10^{-10}}{H} \times \frac{T_p + 0,029 + 0,022 \cdot (0,018 \cdot B_{\bar{e}} + 1,278 \cdot T_3^{0,41} - 0,709 \cdot P_{сн})^2}{T_p}, \quad (13)$$

$$P_{ДТП} = \frac{50 \cdot k_i \cdot M_i \cdot N_i}{k_p \cdot 10^{14}} \cdot \frac{N_{\bar{a}} + M_{\bar{a}}}{N_i + M_i} \times \frac{T_p + 0,029 + 0,022 \cdot (0,018 \cdot B_{\bar{e}} + 1,278 \cdot T_3^{0,41} - 0,709 \cdot P_{сн})^2}{T_p}. \quad (14)$$

Для визначення у скільки разів ймовірність скоєння ДТП середньостатистичним водієм на ділянках мережі із затором вище ніж ця ж ймовірність без затору, було розглянуто співвідношення цих ймовірностей, яка з урахуванням формули (13) після відповідних перетворень визначається так:

$$\frac{P_3}{P_{\bar{63}}} = \frac{(F_{\leftarrow 0,75} + F_{\rightarrow 0,35}) \cdot F_{\rightarrow 1,25} \cdot (T_p + 0,029 + 0,022 \cdot (0,018 \cdot B_{\bar{e}} + 1,278 \cdot T_3^{0,41} - 0,709 \cdot P_{сн})^2)}{(F_{\leftarrow 0,75} + F_{\rightarrow 0,35}) \cdot F_{\rightarrow 1,25} \cdot T_p}, \quad (15)$$

де $F_3^{\rightarrow}, F_3^{\leftarrow}$ – інтенсивність руху попутного й зустрічного потоків транспортних засобів при транспортному заторі відповідно, авт./год; $F_{\bar{63}}^{\rightarrow}, F_{\bar{63}}^{\leftarrow}$ – інтенсивність

руху попутного й зустрічного потоків транспортних засобів без транспортного затору відповідно, авт./год;

Співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього для середньостатистичного водія в транспортних вузлах із урахуванням формули (14) після відповідних перетворень визначається так:

$$\frac{P_3}{P_{\text{бз}}} = \frac{M_3 \cdot N_3 \cdot \frac{N_{\text{тз}} + M_{\text{тз}}}{N_3 + M_3} \cdot (T_p + 0,029 + 0,022 \cdot (0,018 \cdot B_6 + 1,278 \cdot T_3^{0,41} - 0,709 \cdot P_{\text{сн}})^2)}{M_{\text{бз}} \cdot N_{\text{бз}} \cdot \frac{N_{\text{тбз}} + M_{\text{тбз}}}{N_{\text{бз}} + M_{\text{бз}}} \cdot T_p} \cdot (16)$$

Наприклад, для водія-сангвініка відповідні формули для визначення відношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього з урахуванням моделей (4) и (7) виглядають так:

$$\frac{P_3}{P_{\text{бз}}} = \frac{(F_3^{\leftarrow 0,75} + F_3^{\rightarrow 0,35}) \cdot F_3^{\rightarrow 1,25} \cdot (T_p + 0,029 + 0,022 \cdot (0,009 \cdot B_6 + 1,372 \cdot |\ln(T_3/P_{\text{сн}})| - 0,061 \cdot P_{\text{сн}})^2)}{(F_{\text{бз}}^{\leftarrow 0,75} + F_{\text{бз}}^{\rightarrow 0,35}) \cdot F_{\text{бз}}^{\rightarrow 1,25} \cdot T_p} \cdot (17)$$

$$\frac{P_3}{P_{\text{бз}}} = \frac{M_3 \cdot N_3 \cdot \frac{N_{\text{тз}} + M_{\text{тз}}}{N_3 + M_3} \cdot (T_p + 0,029 + 0,022 \cdot (0,009 \cdot B_6 + 1,372 \cdot |\ln(T_3/P_{\text{сн}})| - 0,061 \cdot P_{\text{сн}})^2)}{M_{\text{бз}} \cdot N_{\text{бз}} \cdot \frac{N_{\text{тбз}} + M_{\text{тбз}}}{N_{\text{бз}} + M_{\text{бз}}} \cdot T_p} \cdot (18)$$

Щоб оцінити співвідношення ймовірності скоєння ДТП із затором і без нього для середньостатистичного водія, були розраховані рівень стомлення під час виходу із транспортного затору за допомогою моделі (2) і змінювання часу реакції водія за допомогою моделі (7) для водіїв різних вікових груп при різних вихідних функціональних станах і різних тривалостях транспортних заторів.

Для перевірки адекватності значення відношення ймовірності скоєння ДТП із транспортним затором і без нього для середньостатистичного водія було розроблено підхід, що полягає у співставленні цього значення зі значенням, що розраховується як відношення кількості ДТП на ділянках транспортної мережі та на перехрестях, що відбулися під час транспортних заторів, до кількості ДТП, що трапилися в період без заторів. З цією метою було оброблено дані журналів Державтоінспекції про ДТП, що сталися в містах Харкові, Полтаві та Кропивницькому. При цьому кількість ДТП, що трапилися на ділянках мережі та на перехрестях протягом року, були приведені до кількості ДТП за годину.

Усього було розглянуто три варіанти, коли тривалості транспортних заторів становили 3,5; 4,0 і 4,5 години. Загальний час руху приймався рівним 16 год: із 6 години ранку до 22 години ночі.

Співставлення оцінок співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із транспортним затором і без нього для середньостатистичного водія і середніх значень співвідношення кількості ДТП із транспортним затором і без нього на деяких ділянках транспортної мережі подано в табл. 1.

Співвідношення оцінок ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього для середньостатистичного водія і середніх значень кількості ДТП із затором і без нього на ділянках транспортної мережі

Номер спостереження	Тривалість затору, хв	Співвідношення кількості ДТП із затором і без нього	Співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього	Середня помилка спостереження, %
1	3	1,191	1,08	9,32
2	6	1,299	1,15	11,5
3	10	1,34	1,22	8,96
4	12	1,299	1,25	3,77
5	15	1,34	1,22	8,96
6	19	1,531	1,25	18,4
7	4	1,021	1,04	1,86
8	6	1,021	1,07	4,8
9	10	1,191	1,13	5,12
10	13	1,021	1,08	5,78
11	15	1,299	1,12	13,8
12	18	1,34	1,15	14,2
13	3	0,975	1,02	4,62
14	5	1,021	1,05	2,84
15	8	0,975	1,11	13,8
16	11	1,429	1,12	21,6
17	15	1,34	1,14	14,9
18	16	1,299	1,21	6,85
19	4	1,021	1,05	2,84
20	7	1,021	1,09	6,76
Середня помилка апроксимації, %				9,03

Із табл. 1 випливає, що середня помилка апроксимації відхилення оцінок співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього для водія, розрахована за моделлю (15), і середніх значень співвідношення кількості ДТП із затором і без нього на ділянках транспортної мережі, розрахованих за даними журналів Державтоінспекції про ДТП, що сталися в містах Харкові, Полтаві та Кропивницькому, є допустимою.

Змінювання співвідношення кількості ДТП протягом року із затором і без нього для середньостатистичного водія в трьох вимірах, що становить три з половиною години, чотири години й чотири з половиною години, наведено на рис. 21 і 22.

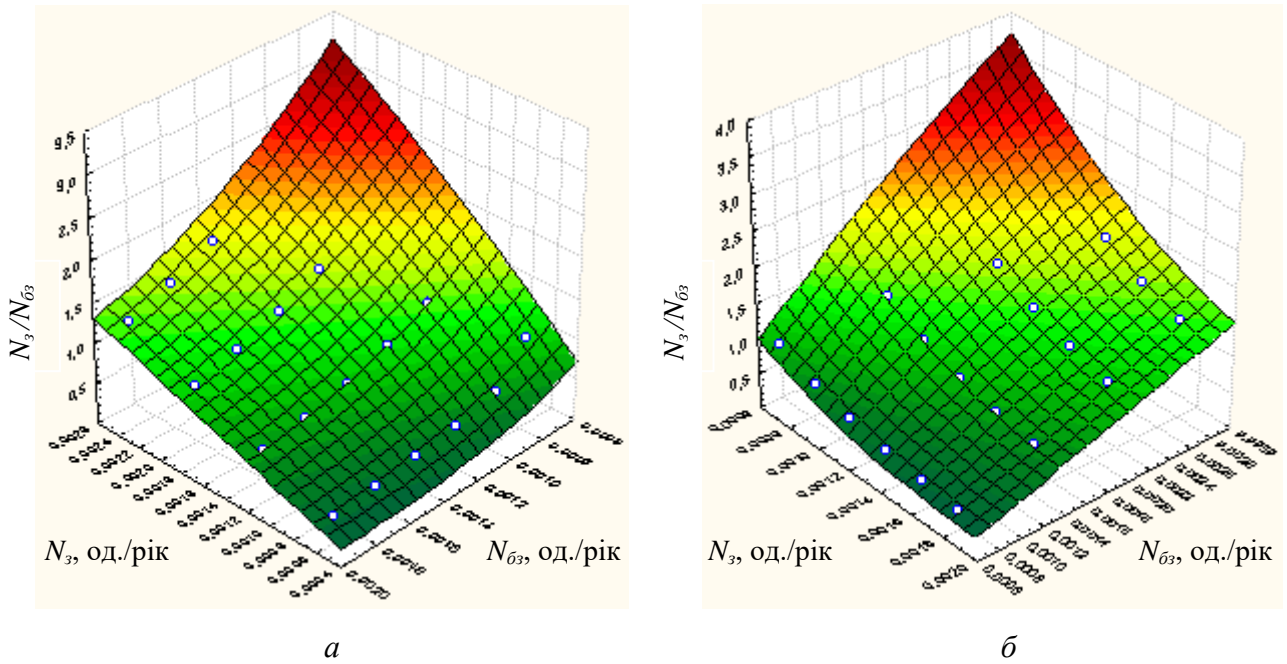


Рис. 21. Залежності співвідношення кількості ДТП за рік із затором і без нього (N_3/N_{b3}) для середньостатистичного водія, що становить три з половиною години (а) та чотири години (б), залежно від кількості ДТП із затором (N_3) і без нього (N_{b3})

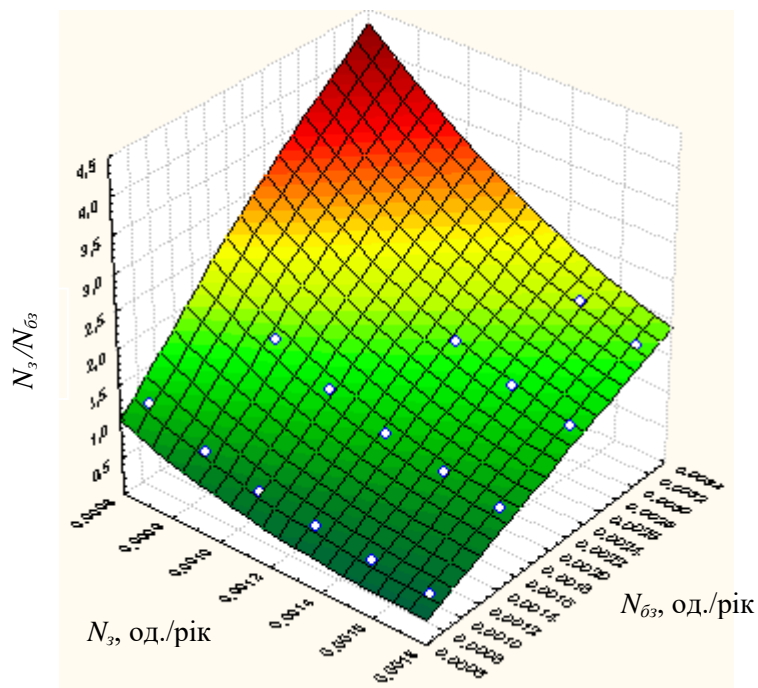


Рис. 22. Залежність співвідношення кількості ДТП за рік із затором і без нього (N_3/N_{b3}) для середньостатистичного водія, що становить чотири з половиною години залежно від кількості ДТП із затором (N_3) і без нього (N_{b3})

З рис. 21 *а, б* і з рис. 22 випливає, що зі збільшенням періоду тривалості затору збільшується кількість дорожньо-транспортних пригод.

Змінювання співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього для водіїв двадцяти років усіх темпераментів і середньостатистичного водія у заторі в трьох вимірах наведено на рис. 23–25.

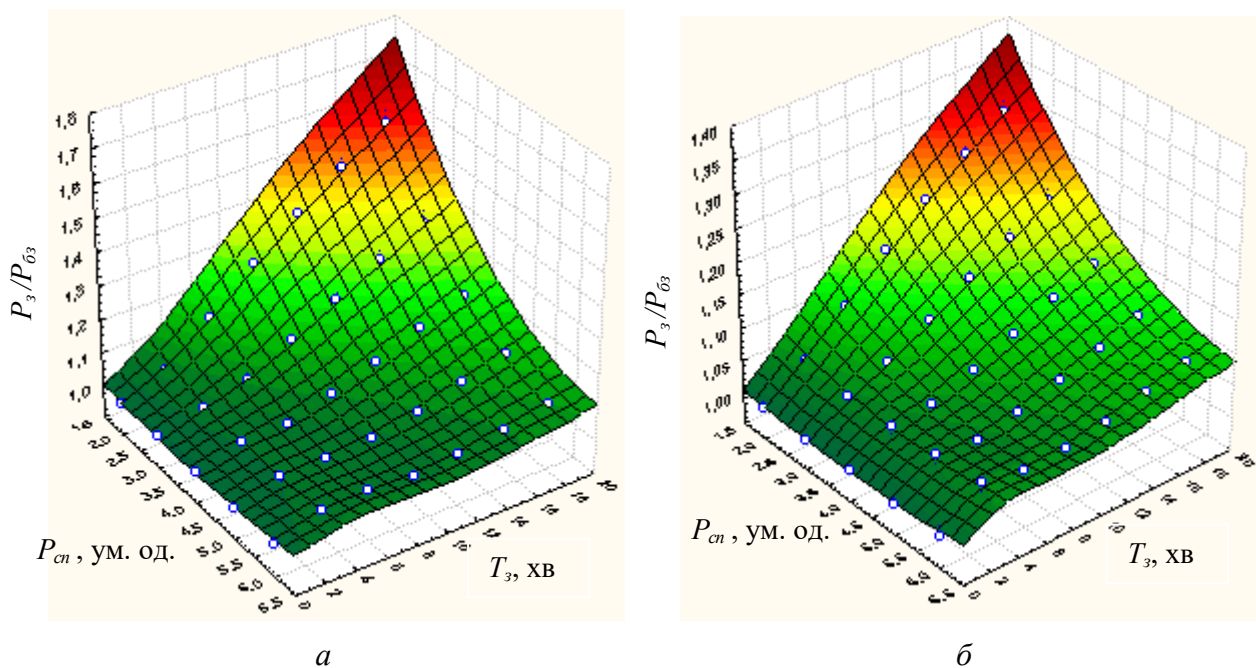


Рис. 23. Залежності співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього (P_3/P_{03}) для водія-холерика (*а*) і водія-сангвініка (*б*) віку 20 років залежно від початкового рівня стомлення (P_{cn}) та тривалості затору (T_3)

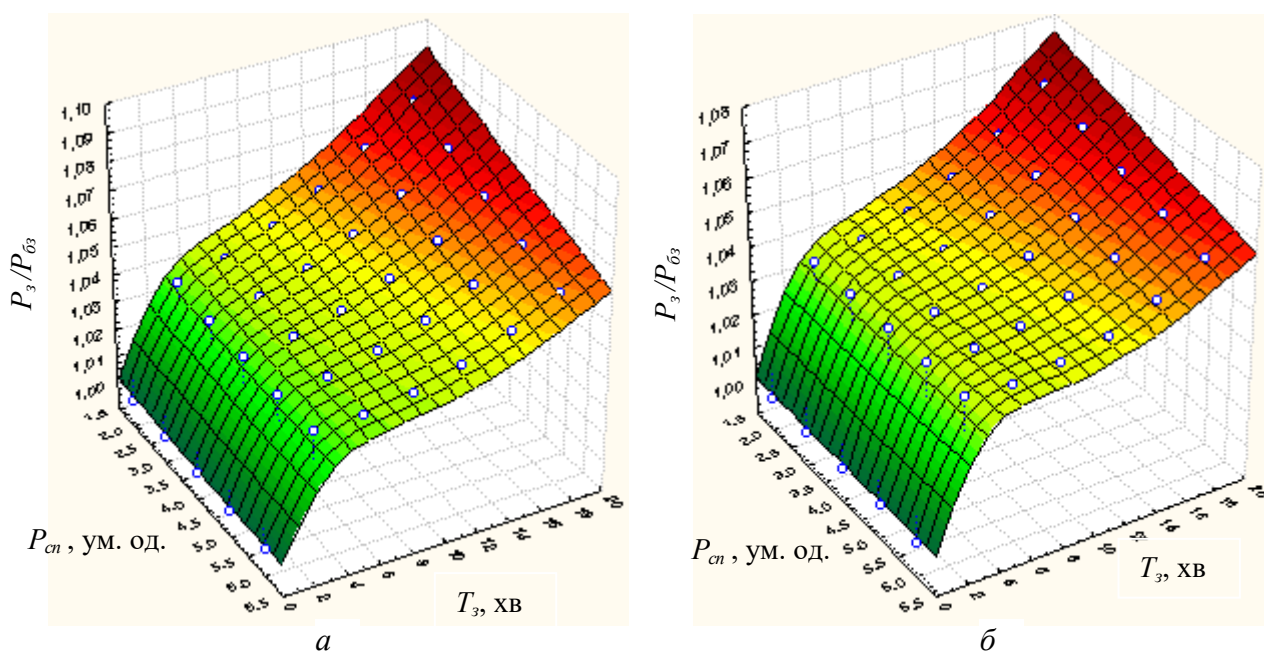


Рис. 24. Залежності співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього (P_3/P_{03}) для водія-меланхоліка (*а*) і флегматика (*б*) віку 20 років залежно від початкового рівня стомлення (P_{cn}) та тривалості затору (T_3)

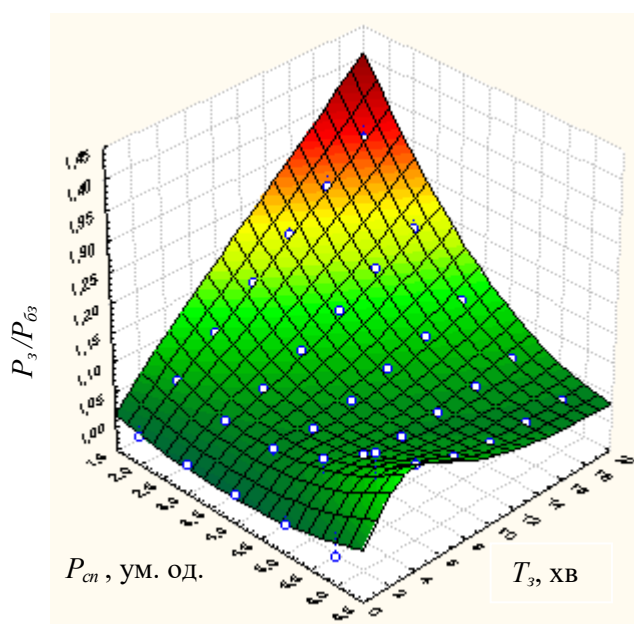


Рис. 25. Залежність співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього (P_3/P_{03}) для середньостатистичного водія віку 20 років залежно від початкового рівня стомлення (P_{cn}) та тривалості затору (T_3)

Із рис. 23, а, б зрозуміло, що зі збільшенням величини початкового рівня стомлення співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього для водія-холерика і водія-сангвініка поступово знижується.

Із рис. 24 зрозуміло, що зі збільшенням величини початкового рівня стомлення співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього для водія-меланхоліка і водія-флегматика зменшується незначно, а зі зростанням часу перебування водія в транспортному заторі співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього поступово зростає.

При $P_{cn} = 2$ ум. од. у заторі співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього збільшується у водіїв двох темпераментів – холерика, сангвініка і середньостатистичного. До кінця транспортного затору відповідне змінювання у них буде таким: у водія-холерика – 1,56, у водія-сангвініка співпадає з середньостатистичним і сягає 1,3. Змінювання цього співвідношення у водія-меланхоліка і водія-флегматика є незначним.

Співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього у водіїв усіх темпераментів при $P_{cn} = 6$ ум. од. до третьої хвилини затору трохи збільшується: у водія-меланхоліка і водія-флегматика – до 1,035, у водія-холерика і водія-сангвініка – до 1,05, а у середньостатистичного збільшується значно – до 1,135. Далі це співвідношення у середньостатистичного водія постійно знижується, сягаючи наприкінці затору 1,04 (рис. 23–25).

До шостої хвилини дещо знижується співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього тільки у водія-сангвініка. Це співвідношення не змінюється у водія-холерика до шостої хвилини, у водія-меланхоліка і водія-флегматика – до дев'ятої хвилини затору.

Потім співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього у водіїв усіх темпераментів зростає і відповідне змінювання цього часу у

холерика буде становити 1,1, у сангвініка – 1,08, у водія-меланхоліка – 1,06, а у водія-флегматика – 1,05.

Змінювання співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього для водіїв шістдесяти років усіх темпераментів і середньостатистичного водія у заторі в трьох вимірах наведено на рис. 26–28.

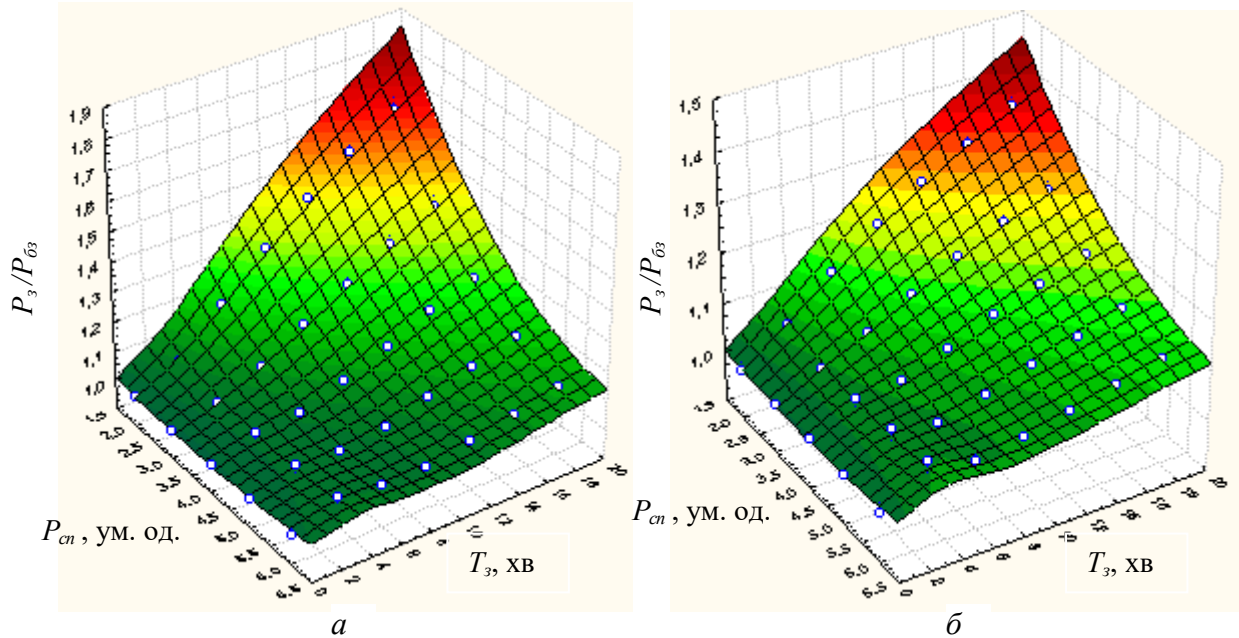


Рис. 26. Залежності співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього (P_3/P_{63}) для водія-холерика (а) і водія-сангвініка (б) віку 60 років залежно від початкового рівня стомлення (P_{cn}) та тривалості затору (T_3)

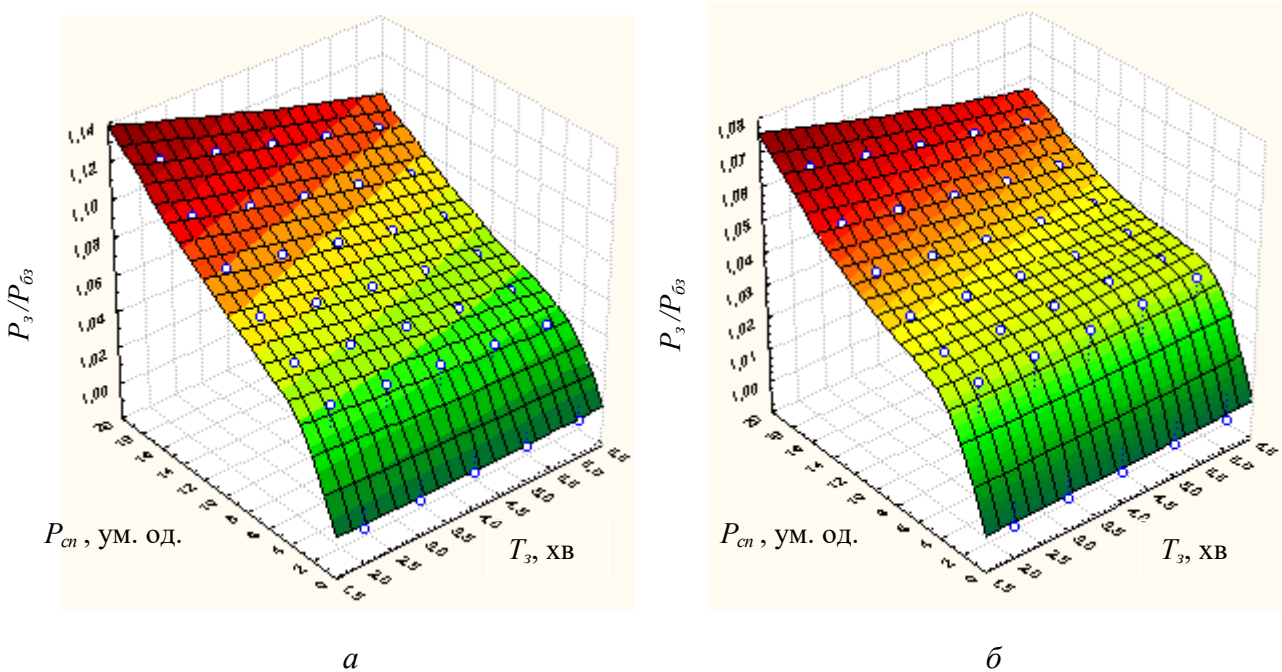


Рис. 27. Залежності співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього (P_3/P_{63}) для водія-меланхоліка (а) і флегматика (б) віку 60 років залежно від початкового рівня стомлення (P_{cn}) та тривалості затору (T_3)

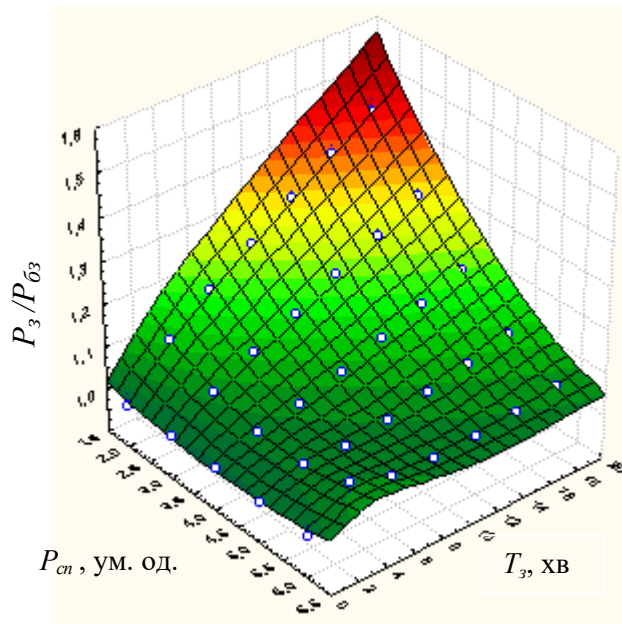


Рис. 28 Залежність відношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього (P_3/P_{63}) для середньостатистичного водія віку 60 років залежно від початкового рівня стомлення (P_{cn}) та тривалості затору (T_3)

При початковому рівні стомлення, що дорівнює двом ум. од. у шістдесятирічних водіїв, тенденція до змінювання співвідношення ймовірностей скоєння дорожньо-транспортної пригоди із затором і без нього у водіїв усіх темпераментів і середньостатистичного водія у заторі аналогічна до змінювання цих показників у двадцятирічних водіїв (рис. 26–28).

Найбільше значення співвідношення ймовірностей скоєння дорожньо-транспортної пригоди із затором і без нього в кінці транспортного затору спостерігається у водія-холерика, найменше – у водія-флегматика. Далі співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього у всіх водіїв зростає, і наприкінці затору ці зміни сягають таких значень: у водія-холерика – 1,65, у середньостатистичного – 1,44, у водія-сангвініка – 1,37, у водія-меланхоліка – 1,12 і у водія-флегматика – 1,07.

Співвідношення ймовірностей скоєння ДТП із затором і без нього при початковому рівні стомлення, що дорівнює п'яти ум. од., у водія-холерика, водія-сангвініка й середньостатистичного зростає до третьої хвилини затору, потім знижується до шостої хвилини, далі знову зростає, сягаючи наприкінці затору 1,19, 1,14 і 1,12 відповідно. Такий стан, як і у двадцятирічних водіїв, забезпечує менше відносне збільшення ймовірності ДТП, ніж при нормальному стані ($P_{cn} = 2$ ум. од.), при якому відсоток збільшення ймовірності ДТП у заторі може досягати 15 %. Необхідно зазначити, що до дев'ятої хвилини затору відповідне змінювання цього співвідношення у всіх водіїв, крім флегматика і середньостатистичного, вирівнюється, сягаючи 1,07 (рис. 26–28).

Із рис. 23–28 випливає, що за різних станів нервової системи водіїв відносне збільшення ймовірності ДТП у заторі до ймовірності ДТП без затору

збільшується до 1,3–1,7. При цьому вік водія впливає на відносне збільшення ймовірності ДТП у заторі до ймовірності ДТП без затору незначно.

ВИСНОВКИ

Основні наукові та практичні результати дисертації сформульовано у вигляді таких висновків:

1. Аналіз наукової думки щодо надійності діяльності водія на міських дорогах в системі «людина – техніка – середовище» свідчить про те, що ця проблема не вирішена в повному обсязі і має бути досліджена на підставі сучасних теоретичних та експериментальних методів. Дослідження, проведені багатьма вченими в цій галузі, стосувалися одного або двох елементів системи і не розглядали змінювання функціонального стану водія в транспортних заторах. Звідси випливає, що необхідно провести дослідження в системі «людина – техніка – середовище», щоб забезпечити надійність діяльності водія, застосувавши єдиний, комплексний підхід.

2. Аналіз методів оцінювання надійності системі «людина – техніка – середовище», із огляду на дослідження ймовірності скоєння дорожньо-транспортної пригоди у заторі, довів, що найбільш повним та інформативним є метод оцінювання функціонального стану організму водія шляхом реєстрації електрокардіограми для визначення рівня його стомлення.

3. Проведені дослідження свідчать про те, що характеристики автомобіля впливають на змінювання функціонального стану водія під час руху – автомобіль із кращими ергономічними характеристиками позитивніше впливає на водія, покращуючи його функціональний стан. Окрім того встановлено, що ці характеристики істотно не впливають на водія під час його перебування в транспортному заторі. Це доводить, що значущими також є психоемоційні властивості водія щодо поточних умов.

4. Розроблено моделі впливу транспортних заторів на функціональний стан водія. Рівень стомлення водія підвищується під час перебування в заторі. При цьому реакція водіїв із різними типами нервової системи істотно відрізняється. Так, найістотніше на рівень стомлення водія впливає тривалість затору та початковий стан. Меншою мірою, але значно, впливає вік. Винятком є флегматики, для яких важливими є умови перебування в салоні транспортного засобу: чим вони кращі, тим менше змінюється їх кінцевий рівень стомлення.

5. Тривалість перебування в заторі у холериків, сангвініків і меланхоліків підвищує рівень їх стомлення, а у флегматиків – знижує. Це обумовлює неможливість вивчення процесів стомлення, а як наслідок, оцінювання ймовірності скоєння дорожньо-транспортної пригоди як середнього для всієї генеральної сукупності.

6. Експериментально встановлено, що значення початкового рівня стомлення по-різному впливає на функціональний стан водія протягом часу його перебування в заторі. Так, якщо водій потрапляє в затор із початковим станом $P_{cn} = 5-6$ ум. од., то за перші 3–7 хвилин його функціональний стан поліпшується на 10–12 %, а у флегматиків цей стан поступово поліпшується

протягом усього затору. Ці тенденції притаманні водіям різного віку. Найістотніший вплив тривалості затору спостерігаються у водіїв зі збільшенням їх віку.

7. Розроблена модель впливу транспортних заторів на змінювання часу реакції водіїв засвідчила, що тривалість заторів прямо пропорційно збільшує час реакції водія з будь-яким типом нервової системи. Найбільш чутливі холерики, менше – сангвініки, значно менше меланхоліки й флегматики. Вік водія незначно (до 5 %) впливає на збільшення часу реакції. До того ж експериментально встановлено, що на час реакції істотно впливає функціональний стан водія, що передує затору. Так, якщо під час входження в затор рівень стомлення істотний ($P_{cn} = 5-6$ ум. од.), водій може «відпочивати» з 3 по 9 хвилину затору. Надалі час реакції зростає. Це різною мірою притаманно водіям різного віку із будь-яким типом нервової системи.

8. Наведені в роботі закономірності впливу тривалості затору й функціонального стану водія на початку затору на змінювання часу реакції водіїв із різними типами нервової системи та віком свідчать про нелінійність цих залежностей. Водночас змінювання часу реакції майже на 80–100 % різняться у водіїв з різним типом нервової системи, із огляду на що під час застосування наведених закономірностей на практиці необхідно різних водіїв розглядати окремо.

9. Ймовірність скоєння дорожньо-транспортної пригоди окремо взятим транспортним засобом на ділянці транспортної мережі, через яку оцінюється надійність, залежить не тільки від параметрів мережі і транспортних потоків, а й від змінюваної в часі реакції водія, яка, зі свого боку, прямо пропорційно збільшується залежно від перевищення рівня його стомлення. До того ж зазначене перевищення рівня стомлення залежить від часу перебування водія в заторі.

10. Відносне збільшення ймовірності дорожньо-транспортної пригоди в заторі до ймовірності дорожньо-транспортної пригоди на цій самій ділянці без затору характеризує ступінь впливу заторів на безпеку руху. До того ж тривалість затору прямо пропорційно впливає на збільшення часу реакції водія, що підвищує ймовірність дорожньо-транспортної пригоди у заторі.

11. Рівень стомлення водія в початковий період перебування в заторі впливає на відносне збільшення ймовірності дорожньо-транспортної пригоди у заторі. До того ж напружений стан водія ($P_{cn} = 5$ ум. од.) забезпечує менше відносне збільшення ймовірності дорожньо-транспортної пригоди порівняно з його нормальним станом ($P_{cn} = 2$ ум. од.). Так, для різних типів нервової системи ця тенденція зберігається і відсоток збільшення ймовірності дорожньо-транспортної пригоди в заторі може досягати 15 %.

12. Відносне збільшення ймовірності скоєння дорожньо-транспортної пригоди в заторі до ймовірності скоєння дорожньо-транспортної пригоди без затору пропорційно залежить від тривалості перебування водія в заторі. Так, для водіїв різною нервовою системою відносне збільшення ймовірності дорожньо-транспортної пригоди у заторі до ймовірності дорожньо-

транспортної пригоди без затору збільшується до 1,3–1,7. При цьому вік водія впливає на відносне збільшення ймовірності ДТП в заторі до ймовірності дорожньо-транспортної пригоди без затору незначно й не залежить від типу нервової системи.

13. Результати дисертаційної роботи впроваджені в ТОВ «АТП 16327» під час вибору маршрутів для організації перевезень пасажирів за заявками та в ТОВ «ВІАСИСТЕМПРО» під час розроблення проектів удосконалення й реконструкції транспортних мереж міст України, при визначенні розрахункових значень характеристик дорожнього руху в перспективі на проєктованих елементах і вузлах транспортної мережі, які дають змогу підвищити безпеку дорожнього руху. Основні наукові положення й результати дослідження включено до навчальних і робочих програм дисциплін «Ергономіка», «Властивості ергономічних систем», «Ерготичність у транспортних системах міст» за спеціальністю 275 – транспортні технології у Харківському національному університеті міського господарства імені О. М. Бекетова.

14. Можливим напрямом продовження досліджень за тематикою дисертації може бути визначення закономірностей змінювання рівня стомлення водіїв та ймовірності скоєння дорожньо-транспортної пригоди на ділянках транспортної мережі міста після виходу з транспортного затору. Можливо також досліджувати змінювання функціонального стану водія за допомогою інших методів, таких як електроенцефалограма, шкірно-гальванічна реакція тощо.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографії:

1. Гюлев Н. У. Людський фактор і дорожні затори : монографія / Н. У. Гюлев. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 252 с.

Колективні монографії:

2. Gyulyev N. Qualitative change of the characteristics of the driver's functional state in the traffic jams / N. Gyulyev, V. Dolia // Logistyka i jakość. Procesy doskonalące zarządzenie : monografia / Wydział Ekonomiczny Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej. – Lublin, 2016 – P. 12–24.

3. Гюлев Н. У. Моделі впливу транспортних заторів на функціональний стан водія / Н. У. Гюлев, В. Ф. Харченко, В. П. Шпачук // Застосування моделей і методів ергономіки і логістики в транспортних системах: монографія. – Харків : Видавництво «Лідер», 2016. – С. 114 – 126.

4. Гюлев Н. У. Вплив функціонального стану водія на безпеку дорожнього руху / Н. У. Гюлев, В. Ф. Харченко, В. П. Шпачук // Фактор людини у розвитку транспортних систем : монографія. – Харків : Видавництво «Лідер», 2017. – С. 88–97.

Статті у виданнях іноземних держав та у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

5. Гюлев Н. У. Влияние времени простоя автомобиля в дорожном заторе на функциональное состояние водителя / Н. У. Гюлев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 1/10(49). – С. 50–52.

6. Гюлев Н. У. Модель влияния транспортного затора на функциональное состояние водителя / Н. У. Гюлев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 2/6(50). – С. 73–75.

7. Гюлев Н. У. Кластерный анализ результатов экспериментальных исследований влияния транспортного затора на функциональное состояние водителей / Н. У. Гюлев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 3/9(51). – С. 59–61.

8. Гюлев Н. У. Исследование факторов, влияющих на состояние водителя в транспортном заторе / Н. У. Гюлев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 5/4(53). – С. 27–29.

9. Гюлев Н. У. К вопросу о зависимости плотности транспортного потока от функционального состояния водителя / Н. У. Гюлев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 6/4(54). – С. 65–67.

10. Гюлев Н. У. Нелинейная модель влияния транспортного затора на функциональное состояние водителя / Н. У. Гюлев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 1/3(55). – С. 51–53.

11. Гюлев Н. У. Влияние темперамента на функциональное состояние водителя в транспортном заторе / Н. У. Гюлев, В. К. Доля // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 2/3(56). – С. 39–41.

12. Гюлев Н. У. Нелинейная модель изменения функционального состояния водителя-сангвинника в транспортном заторе / Н. У. Гюлев, В. К. Доля // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 3/4(57). – С. 17–19.

13. Гюлев Н. У. Факторный анализ влияния транспортного затора на состояние водителей разных темпераментов / Н. У. Гюлев, В. К. Доля // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 5/4(59). – С. 29–31.

14. Гюлев Н. У. Влияние транспортного затора на время реакции водителей разных темпераментов / Н. У. Гюлев, В. К. Доля // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 6/3(60). – С. 69–71.

15. Гюлев Н. У. О влиянии изменения функционального состояния водителя на безопасность дорожного движения / Н. У. Гюлев, В. К. Доля, М. С. Бичев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 3/3(63). – С. 67–69.

16. Гюлев Н. У. Дослідження впливу умов транспортного затору на функціональний стан водія / Н. У. Гюлев, В. К. Доля, Є. В. Літомін // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 2/3(22). – С. 48–51.

Статті у фахових виданнях:

17. Гюлев Н. У. О влиянии транспортной утомляемости на выбор пути

следования / Н. У. Гюлев, Г. И. Фалецкая // Коммунальное хозяйство городов: научно-технический сборник. – Харьков : ХНАГХ, 2009. – Вып. 88. – С. 272–275.

18. Гюлев Н. У. К вопросу о зависимости функционального состояния водителя от его индивидуально-типологических свойств / Н. У. Гюлев // Комунальне господарство міст : науково-технічний збірник. – Харків : ХНАМГ, 2011. – Вып. 97. – С. 314–319.

19. Гюлев Н. У. К вопросу о формировании транспортных потоков в городах с учетом психофизиологии водителя / Н. У. Гюлев // Комунальне господарство міст: науково-технічний збірник. – Харків : ХНАМГ, 2012. – Вып. 103. – С. 485–489.

20. Гюлев Н. У. До питання про залежність безпеки дорожнього руху від емоційної напруженості водія / Н. У. Гюлев, В. К. Доля, А. В. Жукова, Г. Бабаєв // Наукові нотатки : міжвузівський збірник. – Луцьк : ЛНТУ, 2014. – Вып. 46. – С. 121–125.

21. Гюлев Н. У. Влияние транспортного затора на выработку стратегии поведения водителя / Н. У. Гюлев, В. К. Доля // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків, УкрДАЗТ, 2014. – Вып.148, ч.1. – С. 192–197.

22. Гюлев Н. У. Дослідження впливу стану водія на час його реакції у транспортному заторі / Н. У. Гюлев, В. К. Доля, О. А. Охріменко // Комунальне господарство міст : науково-технічний збірник. Серія: Технічні науки та архітектура. – Харків : ХНУМГ ім. О. М Бекетова, 2015. – Вып. 121. – С. 60–64.

23. Гюлев Н. У. Дорожній затор як фактор небезпеки для водія / Н. У. Гюлев // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : ХДМА, 2016. – № 1 (14). – С. 66–74.

24. Гюлев Н. У. Вплив дорожніх заторів на функціональний стан водіїв різних вікових категорій / Н. У. Гюлев, В. К. Доля // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті: науковий журнал. – Луцьк : Луцький НТУ, 2016. – № 3(7). – С. 36–41.

25. Гюлев Н. У. Про вплив часу реакції водія на ймовірність скоєння дорожньо-транспортної пригоди / Н. У. Гюлев // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Северодонецьк : СНУ ім. В. Даля, 2017. – № 4 (234). – С. 90–93.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

26. Гюлев Н. У. Водій – головна ланка системи «водій – автомобіль – дорога – середовище» / Н. У. Гюлев // Программа и тезисы докладов XXXV научно-технической конференции преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства «Городской электротранспорт, электроснабжение и освещение городов» (г. Харьков, 21–23 апреля 2010 г.) – Харьков : ХНАГХ, 2010. – Ч. 2. – С. 48, 49. (Очна).

27. Гюлев Н. У. Значение времени реакции водителя в обеспечении безопасности движения транспорта в городах / Н. У. Гюлев // Материалы VIII международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие городов. Управление проектами и программами городского и регионального развития» (г. Харьков, 19–21 мая 2010 г.); Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. – Харьков : ХНАГХ, 2010. – С. 180, 181. (Очна).

28. Гюлев Н. У. Особенности формирования транспортного потока в городе в зависимости от состояния водителя / Н. У. Гюлев // Транспортные проблемы крупнейших городов : материалы международной науч.-практ. конф.: тезисы докладов (г. Харьков, 12–16 марта 2012 г.). – Харьков : ХНАГХ, 2012. – С. 124, 125. (Очна).

29. Гюлев Н. У. О зависимости функционального состояния водителя от эргономических характеристик автомобиля / Н. У. Гюлев // Программа и тезисы докладов XXXVI научно-технической конференции преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства «Городской электротранспорт, электроснабжение и освещение городов» (г. Харьков, 24–26 апреля 2012 г.). – Харьков : ХНАГХ, 2012. – Ч. 2. – С. 77. (Очна).

30. Гюлев Н. У. О влиянии транспортных заторов на безопасность дорожного движения в городах / Н. У. Гюлев // Безпека дорожнього руху: правові та організаційні аспекти : матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції (м. Донецьк 15–16 листопада 2012 р.): збірник наукових праць / Донецька академія автомобільного транспорту. – Донецьк : ЛАНДОН–XXI, 2012. – С. 193–196. (Очна).

31. Dolya V. Influence of Information Flows on the Results of a Driver's Activity in the System «Driver – Car – Road – Environment» / V. Dolya, I. Afanasieva, U. Davidich, I. Englezi, N. Gyulyev, O. Prasolenko // Published by ANFE Conference «Advances in Human Aspects of Transportation» (Krakow, 19–23 July 2014). – 2014. – Part II. – P. 176–183. (Заочна).

32. Гюлев Н. У. Про вплив емоційної напруги водія на вироблення стратегії поведінки / Н. У. Гюлев // Программа и тезисы докладов XXXVII научно-технической конференции преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковского национального университета городского хозяйства имени А. Н. Бекетова «Городское строительство, электроснабжение городов, транспорт» (г. Харьков, 23–25 апреля 2014 г.). – Харьков, ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2014. – Ч. 1. – С. 99, 100. (Очна).

33. Гюлев Н. У. О влиянии времени реакции водителя на безопасность дорожного движения / Н. У. Гюлев // Сборник научных трудов молодых ученых по материалам международной научно-практической конференции «Инновационное лидерство строительной и транспортной отрасли глазами молодых ученых» (г. Омск, 3–7 февраля 2014 г.). – Омск : СибАДИ, 2014. – С. 106 – 108. (Заочна).

34. Гюлев Н. У. Транспортный затор и безопасность дорожного движения / Н. У. Гюлев // Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении: сборник трудов II международной научно-практической конференции (г. Санкт-Петербург, 16–17 апреля 2014 г.). – Санкт-Петербург: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2014. – Том 1. – С. 32–35. (Заочна).

35. Гюлев Н. У. Влияние транспортных заторов на устойчивость и безопасность функционирования транспортной системы / Н. У. Гюлев // Приоритетные направления науки и техники // Наука молодых –

интеллектуальный потенциал XXI века: сборник докладов междунар. науч.-практич. конф. (г. Пенза, 11 апреля 2014 г.). – Пенза : ПГУАС, 2014. – С. 55 – 59. (Заочна).

36. Гюлев Н. У. Транспортный затор и функциональное состояние водителя / Н. У. Гюлев // Міжнародна науково-технічна конференція «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті» : матеріали конференції (м. Харків, 26–28 листопада 2014 р.). – Харків : «Влавке», 2014. – С. 77–79. (Заочна).

37. Гюлев Н. У. Роль людського чинника у забезпеченні безпеки дорожнього руху / Н. У. Гюлев // Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання» : тези доповідей (м. Львів, 26–28 березня 2015 р.). – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. – С. 127, 128. (Заочна).

38. Гюлев Н. У. Про взаємозалежність стану водія і технології організації дорожнього руху / Н. У. Гюлев // Міські і регіональні транспортні проблеми: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 17–19 листопада 2015 р.) Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – С. 36. (Очна).

39. Гюлев Н. У. Оценка состояния водителя в транспортном заторе / Н. У. Гюлев // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016) [Збірка матеріалів VIII міжнародної науково-практичної конференції (м. Херсон, 24–26 травня 2016 р.)]. – Херсон : ХДМА, 2016. – С. 84–87. (Очна).

40. Гюлев Н. У. Роль людського фактора в транспортній системі міста / Н. У. Гюлев // Проблеми розвитку транспорту і логістики : збірник наукових праць за матеріалами VII міжнародної науково-практичної конференції, Северодонецьк-Одеса, (м. Северодонецьк, 26–28 квітня 2017 р.). – Северодонецьк : СХУ ім. В. Даля, 2017. – С. 19–21. (Заочна).

41. Гюлев Н. У. Про вплив темпераменту водія на час його реакції / Н. У. Гюлев // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017) [Збірка матеріалів IX міжнародної науково-практичної конференції (м. Херсон, 23–25 травня 2017 р.)]. – Херсон : ХДМА, 2017. – С. 41–44. (Заочна).

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

42. Гюлев Н. У. Об изменении времени реакции водителя вследствие пребывания в транспортном заторе / Н. У. Гюлев // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – № 2. – С. 117–120.

43. Гюлев Н. У. Оценка значимости факторов, влияющих на функциональное состояние водителя / Н. У. Гюлев // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – № 10. – С. 140–144.

44. Гюлев Н. У. К вопросу о влиянии транспортного затора на динамический габарит автомобиля / Н. У. Гюлев // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – № 23. – С. 118–122.

45. Гюлев Н. У. Уточнение модели влияния транспортного затора на функциональное состояние водителя автомобиля / Н. У. Гюлев // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – № 43. – С. 84–88.

46. Гюлев Н. У. О влиянии эргономических характеристик автомобиля на функциональное состояние водителя / Н. У. Гюлев // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – № 53. – С. 53–56.

47. Гюлев Н. У. Особенности изменения функционального состояния водителя грузового автомобиля / Н. У. Гюлев // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – № 1. – С. 52–55.

48. Гюлев Н. У. Модель изменения функционального состояния водителя-флегматика в транспортном заторе / Н. У. Гюлев, В. К. Доля // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – № 18. – С. 33–36.

49. Гюлев Н. У. О зависимости времени реакции водителя от изменения его функционального состояния / Н. У. Гюлев, В. К. Доля // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – № 26. – С. 47–50.

50. Гюлев Н. У. Об изменении функционального состояния водителя-меланхолика в транспортном заторе / Н. У. Гюлев, В. К. Доля, М. И. Крамарова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – № 33. – С. 77–80.

51. Гюлев Н. У. Исследование влияния факторов транспортного затора на состояние водителей / Н. У. Гюлев, В. К. Доля // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – № 50(956). – С. 69–72.

52. Гюлев Н. У. Вплив віку водія на динаміку змінювання його стану у дорожньому заторі / Н. У. Гюлев, В. С. Зозулевський, С. О. Клименко // Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія : Технічні науки та архітектура. – Харків : ХНУМГ ім. О. М Бекетова, 2016. – Вип. 132 – С. 104–109.

АНОТАЦІЯ

Гюлев Н. У. Надійність діяльності водія в системі «людина – техніка – середовище» в умовах заторів руху на міських дорогах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.01.04 – ергономіка. – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, 2018.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової проблеми підвищення надійності діяльності водія шляхом дослідження його роботи в системі «людина – техніка – середовище» в умовах заторів руху на міських дорогах. Надійність водія визначена через ймовірність скоєння дорожньо-транспортної пригоди. Показано взаємозв'язок між надійністю водія і рівнем його стомлення. Для визначення впливу заторів на рівень стомлення водія застосований метод оцінювання функціонального стану організму шляхом реєстрації електрокардіограми. Визначено закономірності впливу параметрів дорожнього руху на стан водія та розроблено моделі впливу транспортних заторів на функціональний стан середньостатистичного водія та водіїв різних темпераментів. Досліджено вплив функціонального стану водія на час його реакції в умовах заторів та розроблено регресійну модель, за допомогою якої можна визначити час реакції водія будь-якого темпераменту. Встановлено, що ймовірність скоєння дорожньо-транспортної пригоди на ділянці транспортної мережі залежить не тільки від параметрів мережі й транспортних потоків, а й від змінюваної в часі реакції водія. До того ж тривалість затору прямо пропорційно впливає на збільшення часу реакції водія, що підвищує ймовірність скоєння дорожньо-транспортної пригоди в заторі.

Ключові слова: надійність, система «людина – техніка – середовище», транспортний затор, функціональний стан, рівень стомлення, темперамент, час реакції, ймовірність дорожньо-транспортної пригоди, безпека дорожнього руху.

АННОТАЦИЯ

Гюлев Н. У. Надежность деятельности водителя в системе «человек – техника – среда» в условиях заторов движения на городских дорогах. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.01.04 – эргономика. – Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, Харьков, 2018.

Диссертация посвящена решению актуальной научной проблемы повышения надежности деятельности водителя путем исследования его работы в системе «человек – техника – среда» в условиях заторов движения на городских дорогах. Надежность водителя определена через вероятность совершения дорожно-транспортного происшествия. Показана взаимосвязь между надежностью водителя и уровнем его утомления. Для определения влияния транспортного затора на уровень утомления водителя применен

метод оценки функционального состояния организма путем регистрации электрокардиограммы.

Определены закономерности влияния параметров дорожного движения на функциональное состояние водителя. Экспериментальные исследования показали, что как во время передвижения на участках дорожной сети, так и во время пребывания в заторах, функциональное состояние водителей с разным темпераментом меняется по-разному. В некоторых случаях пребывание в заторах приводит даже к улучшению функционального состояния водителя.

Для оценки уровня утомления разработаны модели влияния заторов на функциональное состояние среднестатистического водителя и водителей различных темпераментов. Выявлено, что уровень утомления водителя, измеряемый его функциональным состоянием, повышается во время пребывания в заторе. При этом реакции у водителей с различными типами нервной системы отличаются существенно. Так, наиболее существенно влияет на состояние водителя продолжительность затора и его начальное состояние. В меньшей степени, но значимо влияет возраст водителя. Исключением являются водители с темпераментом «флегматик», для которых важны условия пребывания в салоне транспортного средства, и чем они лучше, тем меньше изменяется конечный уровень их утомления.

Исследовано влияние функционального состояния водителя на время его реакции в условиях заторов. Разработана регрессионная модель, с помощью которой можно определить время реакции водителя любого темперамента как во время его пребывания в транспортном заторе, так и после выхода из него. Установлено, что вероятность совершения дорожно-транспортного происшествия отдельным взятым транспортным средством на участке транспортной сети зависит не только от параметров сети и транспортных потоков, но и от времени реакции водителя, которая, в свою очередь, прямо пропорционально увеличивается с возрастанием уровня его утомления. Относительное увеличение вероятности дорожно-транспортного происшествия в заторе по отношению к вероятности дорожно-транспортного происшествия на этом же участке без затора характеризует степень влияния затора на безопасность движения. При этом продолжительность затора прямо пропорционально влияет на увеличение времени реакции водителя, что повышает вероятность совершения дорожно-транспортного происшествия в транспортном заторе.

Для оценки отношения вероятности совершения дорожно-транспортного происшествия с затором и без него для среднестатистического водителя были рассчитаны уровень утомления во время выхода из транспортного затора и изменение времени реакции для водителей разных возрастных групп при различных исходных состояниях и продолжительностях заторов.

Определены закономерности вероятности совершения дорожно-транспортного происшествия в зависимости от продолжительности затора для водителей с различными типами нервной системы и возрастных групп.

Ключевые слова: надежность, система «человек – техника – среда», транспортный затор, функциональное состояние, уровень утомления,

темперамент, время реакции, вероятность дорожно-транспортного происшествия, безопасность дорожного движения.

ABSTRACT

Gyulyev N. U. Reliability of the driver in the system «man – technology – environment» in congestion conditions on the urban roads. – The manuscript.

Doctor of Science in Engineering thesis in ergonomics 05.01.04. – O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 2018.

The Doctoral thesis is devoted to solving the up-today scientific issue of increasing the reliability of the driver's activity by studying his functioning in the system «man – technology – environment» in congestion conditions on the city roads. The driver's reliability is evaluated by the probability of road traffic accident. The relationship between driver's reliability and level of his/her fatigue is presented. For evaluating congestion effect on the driver's fatigue, a method for assessing the functional state of the organism by recording his/her electrocardiogram is used.

The regularities of the influence of road parameters on the driver's state and the model of the impact of traffic congestion on the average driver's functional state and drivers with different temperaments are presented. The driver's functional state influence on the reaction time under congestion conditions is investigated and a regression model is developed, by which one can evaluate the reaction time of the driver of any type of the temperament. The probability of a road traffic accident occurring in a transport network segment depends not only on network parameters and transport flows, but also on the variable in driver's response time have discovered. At the same time, the duration of the bout directly proportional to the increase in the reaction time of the driver, which increases the probability of a road traffic accident in the traffic jam.

Key words: reliability, the system «man – technology – environment», traffic jam, functional state, level of fatigue, temperament, reaction time, probability of traffic accident, road safety.

ГЮЛЄВ Нізамі Уруджевич

**НАДІЙНІСТЬ ДІЯЛЬНОСТІ ВОДІЯ В СИСТЕМІ
«ЛЮДИНА – ТЕХНІКА – СЕРЕДОВИЩЕ» В УМОВАХ ЗАТОРІВ
РУХУ НА МІСЬКИХ ДОРОГАХ**

Спеціальність 05.01.04 – ергономіка

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Відповідальний за випуск Понкратов Д. П.

Підп. до друку 12.04.2018 Формат 60×84 /16
Друк на ризографі Ум. друк. арк. 1,4
Зам. № 9998 Тираж 100 прим.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК 5328 від 11.04.2017 р.