

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТРАМВАЇВ НА БЕЗПЕКУ РУХУ

© Ройко Ю. Я., Бура Р. Р., 2017

Розглянуто виникнення аварійних ситуацій та оцінено ступінь небезпеки конфліктів на вулично-дорожній мережі за участі трамваїв, які рухаються у загальній структурі транспортного потоку. Проаналізовано вплив такого складу транспортного потоку на пропускну здатність мережі. Результати дослідження дають змогу розв’язати низку наукових задач щодо оцінювання закономірностей основних показників у таких потоках та приймати практичні рішення щодо розміщення трамвайних колій на вулично-дорожній мережі.

**Ключові слова:** трамвай, транспортний потік, склад транспортного потоку, аварійність, конфліктна ситуація, інтенсивність руху, інтервали слідування, пішохідні потоки.

Y. Royko, R. Bura

## ИМПАКТ ОФ ТРАМ ОН АССИДЕНС АНД САПАСИТИ РОАД ОФ НЕТВОРК

**In this article is considered appearance of accident situations and carried out assessment the degree of danger of conflicts on the road network involving trams that move in the general structure of the traffic flow. Analyzed impact of such composition of traffic flow on capacity. Results of mentioned research allow to solve a range of scientific problems regarding to assessment of regularities in such flows and develop a range of practical decisions on placing tram tracks on the road network.**

**Key words:** tram, traffic flow, composition of traffic flow, accidence, conflict situation, traffic intencity, interval of follow, pedestrian flows.

**Формування проблеми.** Однією з головних транспортних проблем сьогодення є різке збільшення рівня автомобілізації, з якої, своєю чергою, впливають інші – такі, як значне збільшення інтенсивності руху транспортних засобів у містах, зниження швидкостей, а також збільшення рівня шуму та загазованості міського простору.

У багатьох країнах світу давно працюють над вирішення перелічених проблем та активно впроваджують різноманітні інженерні та організаційні заходи, переважна більшість яких спрямована на те, щоб спонукати жителів міст зменшити використання особистого транспорту: введення зональних обмежень, пропаганда і поширення велосипедного руху, проте найпоширенішим є збільшення частки громадського транспорту. Одним з найефективніших видів громадського транспорту є трамвай, оскільки він є пасажиромістким, екологічним та економічним. Світовою тенденцією у цьому стало вдосконалення трамвайного руху наданням пріоритету трамваям, винесення трамвайних колій за межі проїзної частини, влаштування спеціальних смуг для руху трамваїв, а також облаштування зупинок громадського транспорту, які б не були перешкодами для інших учасників дорожнього руху.

В Україні, зокрема у місті Львові, можливості впровадження аналогічних заходів є надзвичайно обмеженими, оскільки історична його частина з багатьма прилеглими до неї вулицями забудована старими, архітектурно цінними будівлями, а проїзні частини вузькі, тому немає можливості для розширення або винесення трамвайних колій за її межі. Оскільки трамваї рухаються у спільному потоці з іншими транспортними засобами, виникають проблеми: зменшення

швидкості руху потоку, затримки транспортних засобів, особливо перед зупинками громадського транспорту та на перехрестях. До недоліків трамвайного руху можна зарахувати зношеність рухомого складу, часті поломки трамвайних вагонів, а також неможливість проїзду ділянок вулиць через припарковані скраю та посередині проїзної частини автомобілі.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Як відомо, під час руху автомобіля у нього змінюються динамічні габарити довжини та ширини, які водії враховують у прийнятті рішення про випередження трамвая. Зв'язок між швидкістю руху, шириною автомобіля та шириною смуги руху описується такою залежністю [1,2]:

$$B_p = 0,015 \cdot V_a + b_a + 0,3,$$

де  $B_p$  – ширина смуги руху, м;  $V_a$  – миттєва швидкість автомобіля, км/год.;  $b_a$  – ширина автомобіля, м; 0,3 — додатковий зазор безпеки, м.

Отже, якщо динамічний габарит ширини автомобіля буде більшим, ніж потрібно для безпечного виконання маневру випередження, тобто ширина смуги  $B_p$  буде недостатньою, утворюватиметься інтервал слідування  $\Delta t$  (рис. 1). Суть виникнення таких інтервалів описано у роботах [1–3].

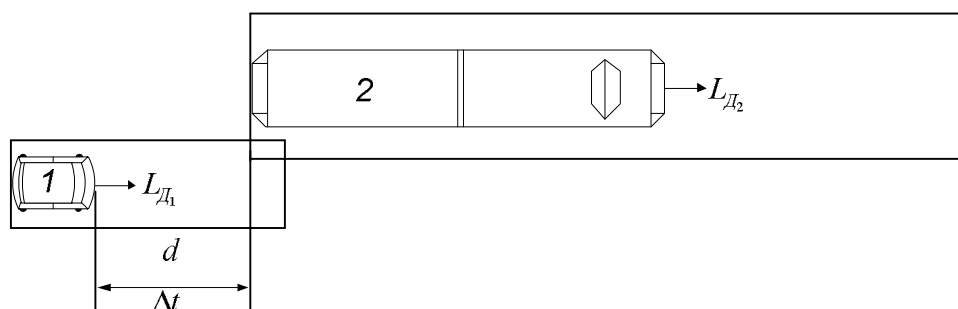


Рис. 1. Утворення інтервалу слідування за недостатньої ширини смуги руху для здійснення маневру випередження:  
 $L_{d1}$ ,  $L_{d2}$  – динамічний габарит автомобіля (1) та трамвая (2);  
 $d$  – дистанція безпеки

Варто зазначити, що у транспортному потоці, особливо у центральних зонах міста та поблизу них, є маршрутні автобуси та вантажівки невеликої вантажності, водії яких не мають змоги здійснити маневр випередження трамвая, тому можуть утворюватися затримки в русі, відповідно зменшуватиметься пропускна здатність ділянки вулиці, оскільки одна смуга руху практично не використовуватиметься постійно.

Додаткові затримки створюють маршрутні автобуси, які також рухаються поряд із трамвайними вагонами, оскільки перед тим, як здійснювати посадку-висадку пасажирів на зупинках громадського транспорту, вони повинні дочекатися, поки тих самих дій не здійснить трамвай. А це суттєво збільшує тривалість очікування проїзду ділянки вулиці іншими автомобілями.

Ще одним важливим негативним чинником у наведених ситуаціях є тип та стан дорожнього покриття. Зважаючи на те, що приблизно 60% трамвайних колій у Львові пролягають вулицями, де дорожнє покриття викладене бруківкою, то за складних погодніх умов прийняття рішень водіями про виконання маневру в умовах ризику збільшує вірогідність виникнення ДТП.

Крім цього, існує такий чинник, як поле зору водія [1,4]. Відомо, що зі збільшенням швидкості руху воно зменшується, відповідно збільшується ризик виникнення ДТП. На деяких вулицях з трамвайним рухом стан дорожнього покриття та ширина проїжджої частини дають водіям автомобілів змогу рухатися з дещо більшою швидкістю під час виконання маневрів обгону та випередження. У зв'язку із цим, наважившись на маневр випередження трамвая, вони можуть

вчасно не помітити трамвайної зупинки або моменту, коли трамвай починає посадку-висадку пасажирів, а також такої ситуації, коли за незначної (20–30 км/год) його швидкості пішоходи користуються своїм правом на перехід і починають рух через проїзну частину перед ним. Зважаючи на швидкість руху автомобіля та стан дорожнього покриття, гальмівний шлях буде завеликим для того, щоб водій встиг загальмувати і уникнути наїзду на пішохода. Видимість пішохода водієм транспортного засобу також ускладнюється через значні габаритні розміри трамваїв.

Важливим завданням у дослідженні аварійності за участі руху трамвайних вагонів є врахування різниці між їх гальмівним шляхом та таким самим показником автотранспортних засобів. Вона зумовлена різними техніко-технологічними властивостями конструкцій, умовами видимості, коефіцієнтом зчеплення та динамічними характеристиками. Особливістю дослідження є визначення взаємного впливу та підвищення безпеки під час руху трамваїв у транспортному потоці з малими інтервалами. Схему для опису зазначеної ситуації зображено на рис. 2.

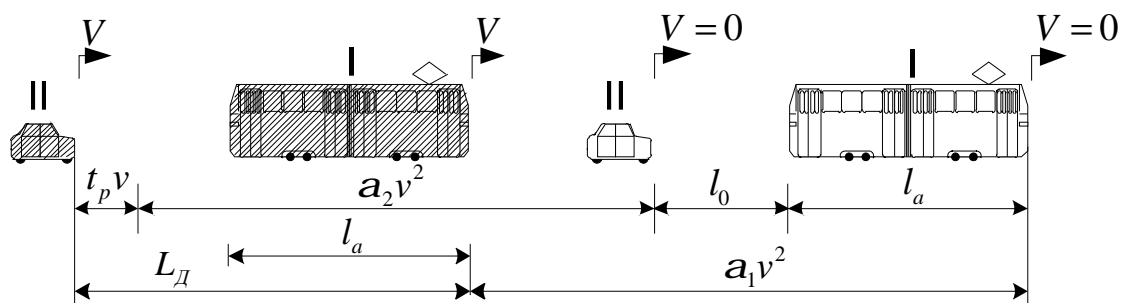


Рис. 2. Схема до пояснення руху автомобіля і трамвая з урахуванням різниці їхніх гальмівних шляхів:  $V$  – швидкість руху транспортних засобів;  $t_p v$  – шлях, пройдений транспортним засобом за час реакції водія;  $a_1 v^2$  та  $a_2 v^2$  – сповільнення відповідно першого та другого транспортного засобу;  $l_a$  – довжина транспортного засобу;  $l_0$  – зазор між транспортними засобами, які зупинилися

Окремих досліджень потребує виявлення впливу на пропускну здатність руху транспортних потоків, у складі яких є трамвай, особливо за обмеженої площі та складної конфігурації вулично-дорожньої мережі [1, 2, 5, 6].

Найчастіше структура транспортного потоку є різною, тому можуть також виникати ситуації, коли перший автомобіль, який рухається позаду трамвая, в міру своїх конструктивних особливостей або особистісних властивостей водія не може безпечно здійснити маневр випередження, хоча автомобілі, які слідує за ним, мають таку змогу. У результаті цього утворюватиметься колона автомобілів. Такі транспортні потоки можна охарактеризувати за відомою теорією “руху за лідером” [4]. Цю теорію використовується для дослідження локальної та асимптотичної стійкості руху потоку автомобілів після внесення збурення в нього та для оцінювання безпеки руху. Локальна стійкість характеризує відносне положення заданої пари автомобілів, а асимптотична – загасання або посилення амплітуди збурення під час поширення його вздовж колони автомобілів [1].

**Формулювання мети.** Метою роботи є встановлення впливу трамваїв на динаміку руху змішаного потоку транспортних засобів залежно від розміщення трамвайних колій на проїзній частині та аналіз аварійності у конфліктних точках та зонах, які при цьому виникають.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження виконували на вулицях, де є переважно 1x1 смуги руху, трамвайні колії на них розміщені ближче до осі проїжджої частини. Залежно від її ширини виникають різні конфліктні ситуації. Розглянемо докладніше проблематику цих конф-

ліктних ситуацій. Аналіз показує, що вони можуть бути у вигляді конфліктних точок (КТ), утворених транспортними потоками та трамвайними вагонами у межах перехресть та транспортними потоками під час виконання обгону або випередження трамваїв, а також конфліктних зон (КЗ), утворених транспортними потоками та пішоходами на трамвайних зупинках під час посадки-висадки та порушення правил переходу пішоходами проїзної частини перед трамвайним вагоном, який зупинився на зупинці. Графічну інтерпретацію таких конфліктних ситуацій, які можуть виникати за наявності трамвайних колій на проїзній частині, наведено на рис. 3.

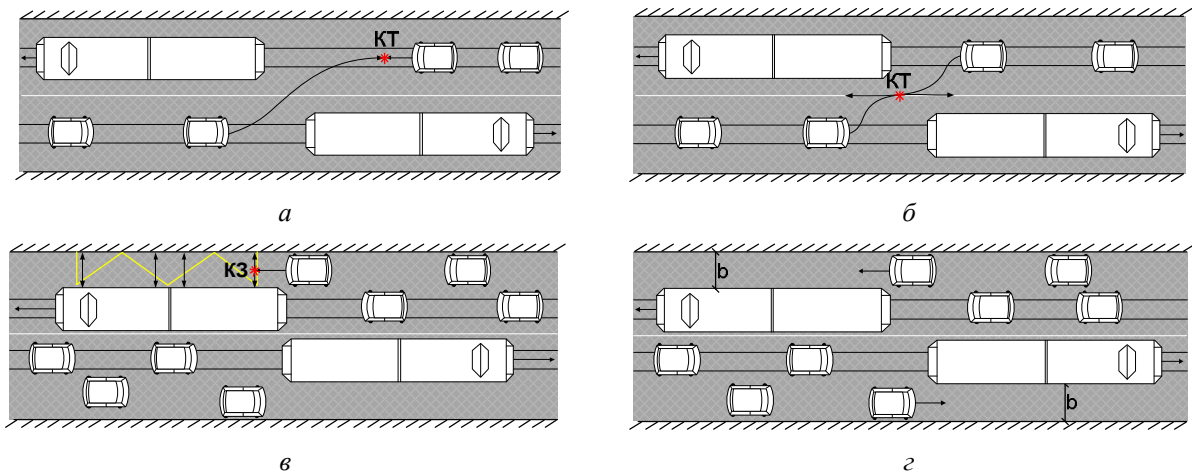


Рис. 3. Конфліктні ситуації, які можуть виникати під час руху та зупинки трамваїв

На рис. 3, а, б наведено приклади розміщення трамвайних колій на ділянці вулиці між перехрестями з 1x1 смугами руху, посередині проїжджої частини за такої її ширини, яка є недостатньою для того, щоб здійснити маневр випередження трамвайного вагона. У цьому разі швидкість транспортного потоку дуже низька, виникають затримки, оскільки транспортні засоби вимушені рухатись позаду трамвая, а виїзд на трамвайні колії зустрічного руху заборонений згідно з правилами дорожнього руху. За тривалого перебування у такому стані водії автомобілів наважуються на обгін трамваїв, при цьому можливе утворення конфліктних ситуацій із зустрічним рухом у разі, якщо водій неадекватно їх оцінив і вибрав недостатній розрив у зустрічному потоці (рис. 3, а), або ж водії протилежних напрямків одночасно вирішили здійснити обгін трамваїв (рис. 3, б).

На рис. 3, в наведено стан транспортного потоку перед зупинкою громадського транспорту, коли трамвай здійснює посадку-висадку пасажирів. Оскільки трамвайні колії розміщені біля осі проїзної частини, а ширина її є такою, що дає змогу випередити трамвай, то виникає конфліктна зона, у якій можливий наїзд на пішохода, який вийшов із салону трамвая безпосередньо на проїзну частину. Деякі водії наважуються здійснити маневр до того, як відчиняться двері трамвая. Крім цього, враховуючи можливий поганий стан дорожнього покриття, водій може не встигнути вчасно зупинити автомобіль перед зупинкою трамвая.

На інших ділянках вулиць з шириною смуги руху, яка дозволяє здійснити маневр випередження трамвая, можна спостерігати ситуацію, наведену на рис 3г. Виконання такого маневру залежить від багатьох чинників, проте найважливішим є ширина  $b$  від трамвая до бордюрного каменя. Залежно від неї, а також від особистісних властивостей та психофізіологічного стану водіїв, вказаний маневр випередження може бути або прийнятий, або знехтуваний ними. Щодо особистих якостей водія, то тут можливі різні випадки. З [4] відомо, що водії віком до 20–25 років та зі стажем водіння до 5 років, а також водії віком, більшим за 55 років, більш схильні до помилкових дій, ніж водії віком 30–50 років зі стажем водіння понад 5 років. Крім цього, потрібно враховувати також темперамент водія, наприклад, холерик швидше наважиться здійснити маневр випередження, ніж

меланхолік. Очевидно, що зі зменшенням величини  $b$  зменшується кількість водіїв автомобілів, які виконують такий маневр випередження трамвая.

Враховуючи невеликі швидкості руху в центральній частині Львова, середню ширину автомобіля, який найчастіше зустрічається у потоці, та результати перших експериментальних вимірювань, з'ясували показали, що за ширини  $b < 2,1$  м водії не здійснюють маневру випередження трамвая; за ширини  $2,1 \leq b \leq 2,7$  м водії легкових автомобілів виконують цей маневр, попередньо різко зменшивши швидкість; за ширини  $b \geq 2,8$  м водії легкових автомобілів вільно випереджатимуть трамвай практично без сповільнення перед виконанням маневру.

Як відомо, конфліктні точки є місцями потенційного зіткнення транспортних засобів. Вірогідність виникнення ДТП зростає, коли на ділянках вулиць між перехрестями є криві в плані. За такого випадку зменшується відстань видимості зустрічних автомобілів, а також, зважаючи на габарити трамвая, який їде попереду, зменшується оглядовість.

Якщо йдеться про маневр випередження, то за габаритами трамвая водій може не помітити повороту, можливої зміни його радіуса, а також того, що за ним (поворотом) ширина вулиці може зменшуватись, тому складність виконання маневру та рівень небезпеки зростають. Особливо небезпечними є випадки, коли за поворотом знаходиться зупинка громадського транспорту або запарковані автомобілі.

**Висновки.** За результатами аналізу впливу трамваїв на безпеку транспортних потоків, пасажирів і пішоходів доцільно згодом провести натурні дослідження для збирання інформації про первинні показники цих потоків, у яких рухаються трамваї, а також про те, яка частка водіїв здійснює маневр їх випередження (обгону) за різних геометричних параметрів проїзної частини. На основі цієї інформації можна удосконалювати методи проектування ділянок ВДМ з такими особливостями руху змішаного потоку, у якому є трамваї.

1. Системологія на транспорті. Організація дорожнього руху / Е. В. Гаврилов, М. Ф. Дмитриченко, В. К. Доля та ін.; за ред. М. Ф. Дмитриченка. – К. : Знання України, 2007. – 452 с. – (5 кн. / Е. В. Гаврилов, М. Ф. Дмитриченко, В. К. Доля та ін.; кн. 4). 2. Врубель Ю. А. Потери в дорожньому русі / Ю. А. Врубель. – Мінск : БНТУ, 2003. – 380 с. 3. *Transport planning and traffic engineering / Edited by C. A. O'Flaherty.* – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2006. – 544 p. 4. Клебельсберг Д., Транспортная психология: пер. с нем. / под ред. / В. Б. Мазуркевича. – М.: Транспорт, 1989. – 367 с. 5. Moughtin C. *Urban design: street and square* / C. Moughtin. – Oxford : Architectural Press, 2003. – 320 p. 6. Marshall S. *Streets and patterns: The structure of urban geometry* / S. Marshall. – New York : Spon Press, 2005. – 318 p.