

A QUASI-STATIC ANALYTICAL MODEL FOR VEHICLE AND TRAILER STABILITY ON RUTTED AND IRREGULAR ROAD SURFACES ¹⁰

Eng. Metodiy Steliyanov, PhD Student

Department of Transport,

“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: (+359) 0876 308 849

E-mail: metodiy@abv.bg

Abstract: This article formulates an explicit quasi-static analytical model to assess the lateral stability of vehicle-trailer systems navigating rutted and uneven pavements. The model changes the quantifiable rut geometry (depth, breadth, wall angle, edge radius) and wind inputs into disruptive lateral forces and yaw moments. It then compares these to a capped, stiffness- and friction-limited restorative capacity to create a Stability Ratio (SR). The method connects field observation and calculation by putting first-principle force-moment balances into an easy-to-use Excel/VBA programme that engineers and auditors may use to quickly check things. Calibrated modifiers, such edge-radius smoothing and width attenuation, show how rounded rut edges and broad grooves make the rut "bite" less. Speed-aware restrictions stop the linear tyre law from over-predicting. The SR is seen as a capacity-to-demand factor with three decision bands: Stable ($SR \geq 2$), Marginal ($1 \leq SR < 2$), and Unstable ($SR < 1$). This helps with proactive risk triage and operational direction. Case reasoning shows how the geometry of the rut, crosswind, load location, and speed may all work together to cause trailer wobble and possible loss of control. This is in line with what we already know about dynamic amplification processes. The contribution is a defensible, auditable, and low-cost methodology to transform the state of the road surface into useful, measurable stability evaluations for infrastructure programmes and fleet operations.

Keywords: Roar rut, Road safety, Lateral stability, Irregular surface, Vehicle, Trailer, Quasi-static model.

ВЪВЕДЕНИЕ

Към края на 2025 г. по българската пътнотранспортна мрежа продължават да се наблюдават значителни дефекти в пътната настилка, включително локални разрушения (пукнатини, дупки, обрушени ръбове, отмити банкети) и деформации на повърхността (коловози, вълни, слягания, издувания, изтласквания). Тези дефекти представляват съществен, но често недооценяван риск за пътната безопасност, особено за превозни средства с ремаркета и за мотоциклетисти. Повредите от този тип могат да действат като директен катализатор за опасни разлюлявания, загуба на контрол и възникване на тежки пътнотранспортни произшествия (ПТП), водещи до сериозни икономически щети и фатални инциденти.

Съществуващата нормативна рамка за пътна безопасност в България, и по-специално програмата за отстраняване на участъци с концентрация на ПТП, остава предимно реактивна, базирана на ретроспективен анализ на инциденти. Този подход не отчита в достатъчна степен текущото състояние на пътната инфраструктура като ключов причинно-следствен фактор, което ограничава възможностите за превантивни действия. В резултат се пропускат критични възможности за цялостно прилагане на концепцията „Визия 0“ и за системно предотвратяване на ПТП чрез проактивно управление на риска.

Целта на настоящото изследване е да се анализира влиянието на пътните коловози и неравностите върху динамичната стабилност на превозни средства и ремаркета, с оглед идентифициране на критични условия, които повишават риска от загуба на контрол и пътнотранспортни произшествия. Докладът установява научно обоснована причинно-следствена връзка между конкретни, количествено измерими параметри на деформираната пътна настилка, като дълбочината на коловоза и страничния му наклон, и началната фаза на динамично разлюляване

¹⁰ Докладът е представен на пленарната сесия на 24 октомври 2025 г. в секция Sustainable and Intelligent Transport Systems, Technologies and Logistics, с оригинално заглавие на български език Квазистатичен Аналитичен Модел За Стабилност На Превозни Средства И Ремаркета Върху Коловози И Неравни Пътни Настилки.

на ремаркетото. Чрез емпиричен анализ и математическо моделиране се доказва, че тези геометрични характеристики представляват основни възбудители на странични сили и отклоняващи моменти, които компрометират стабилността на системата моторно превозно средство–ремарке.

ИЗЛОЖЕНИЕ

България продължава да се сблъсква със сериозни предизвикателства в областта на пътната безопасност, като устойчиво се нарежда сред държавите-членки на Европейския Съюз (ЕС) с най-високи нива на смъртност вследствие на ПТП. Докладите на Световната банка, подчертават продължаващата необходимост от значителни инвестиции в рехабилитацията и поддръжката на пътната инфраструктура, за да се отговаря на съвременните стандарти за безопасност и експлоатационна годност (Report No: ICR287 & Melgaard, L., 2024). Но въпреки това институционална реторика на местно ниво остава силно концентрирана върху индивидуалното поведение на водачите като основни причинители на риска. Макар че фактори като превишена скорост, управление в нетрезво състояние и разсейване са безспорно значими, този едностранчив подход пренебрегва съществена и често недооценявана променлива в анализа на пътната безопасност – физическото състояние на пътната инфраструктура. Пътят не следва да се възприема като пасивна среда, в която инцидентите просто се случват, а като активна система, чиито геометрични и конструктивни характеристики могат да играят решаваща роля в иницирането на събития, свързани със загуба на контрол и нарушаване на стабилността на МПС.

Настоящият доклад прецизира аналитичния си фокус, преминавайки от общото възприятие за „лоши пътища“ към конкретните, динамично въздействащи рискове, породени от деформации на повърхността на пътното платно (фиг. 1).



Фиг. 1. Примери за деформации на пътното платно, участък Русе-Бяла (Май 2025)
(1а) коловози; (1б) и (1в) дефекти в банкетата.

Основната теза на анализа е, че подобни дефекти не следва да се разглеждат единствено като източници на дискомфорт за водачите или фактори за ускорено износване на превозните средства. Те представляват активни заплахи за пътната безопасност, способни да генерират динамична нестабилност, която при съчленени транспортни системи (влекачи с ремаркета) може да е трудно управляема (Beresnevich, V. et.al., 2024). В определени условия тази нестабилност прераства в осцилиращо движение на ремаркетото — явление, което създава сериозен риск за загуба на контрол. Силите, възникващи при взаимодействието между гумите на ремаркетото и дълбоките коловози, могат да индуцират трептения, надхвърлящи възможностите на водача за стабилно управление, с потенциално катастрофални последици (Hood, S., 2024). Особено уязвими в този контекст са автомобилният товарен транспорт, сезонният туризъм (включващ каравани и ремаркета за лодки), както и мотоциклетистите.

Често в публичната реторика движението на МПС по неравности се аналогизира с движението в крива, поради възникването на странични сили, които поставят на изпитание неговата устойчивост. При движението в крива водачът упражнява контрол чрез волана и скоростта, докато при движение в коловоз страничните сили се налагат от геометрията на настилката и често действат

независимо от волята на водача. Това поражда редица специфични рискове, което изисква детайлно разглеждане на:

1) Външно наложените странични сили произтичащи от взаимодействието между гумите и геометричните характеристики на деформираната настилка. Тези сили могат да бъдат трудно предвидими както по посока, така и по интензитет, особено при асиметрични или дълбоки коловози, което затруднява реакцията на водача.

2) Възникващите паразитни моменти при навлизането в коловоз, особено при влекачи с ремаркета. Те могат да предизвикат странично трептене или люлеене, което в определени случаи води до загуба на контрол, предимно когато ремаркетото започне да изпреварва влекача.

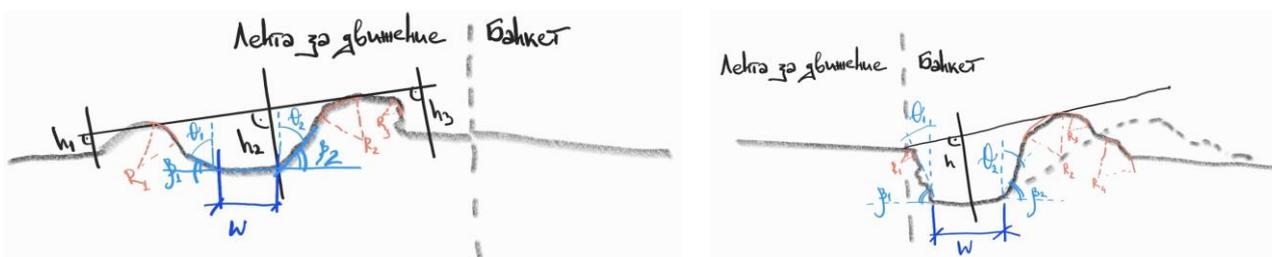
3) Възможността за корекция, която често е ограничена, тъй като коловозът упражнява насочващ ефект върху МПС и го принуждава да следва предварително наложена траектория. Това може значително намали ефективността на командите подадени от водача.

4) Влиянието върху страничната стабилност, тъй като коловозите могат да предизвикат странично накланяне на МПС, особено при тези с висок център на тежестта (каравани, товарни автомобили или МПС с ремаркета). Това увеличава риска от преобръщане, особено при висока скорост или при наличие на страничен вятър.

5) Резонансни ефекти особено при движение със скорост над 70 km/h за леки автомобили и над 60 km/h за съчленени МПС, и с периодична геометрия, характеризираща се с дълбочина над 20 mm, ширина между 250 mm и 400 mm и страничен наклон на стените над 10°, може да се достигне резонансна честота, при която възникналите трептения се усилват и водят до неконтролируемо поведение на МПС. Това явление е особено опасно при дълги участъци с повтарящи се деформации, където честотата на взаимодействие между гумите и настилата съвпада с собствената честота на колебание на окачването или на ремаркетото, с което се създават условия за динамична нестабилност и загуба на контрол.

За да се анализират устойчивостта и управляемостта на автомобила, е необходимо да се знае големината на пълната напречната сила ($F_{y,total}$) и моментите генерирани от нея, които се стремят да изменят посоката на движение или да преобрънат автомобила. Основните фактори влияещи на анализа са:

1. Собствена маса на автомобила.
2. Разположение и вид на товара (концентрирани спрямо разпределени товари, подвижни товари, възможност за изместване под въздействието на инерция).
3. Разположение на центъра на тежестта.
 4. Маса на тялото на автомобила с товара и масата на окачването с принадлежащите колела и оси.
 5. Натоварване на осите и динамично прехвърляне на товара (напред-назад и странично) по време на маневри и контакт с коловоз.
 6. Пространствен модел на деформациите – локална кривина и асиметрия на профила на коловоза, единичен изолиран коловоз или повтаряща се геометрия и нейният пространствен период λ .
 7. Геометрични характеристики на коловоза – дълбочина h , ширина W , радиус на ръба R , ъгъл на наклонената стената на коловоза от вертикална равнина θ , (фиг. 2).



Фиг. 2. Геометрични характеристики на деформациите в обхвата на пътното платно.

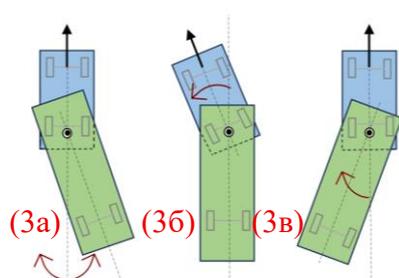
8. Коефициент на сцепление на контактното петно между гумата и стената на коловоза – тип на материала на пътната повърхност; наличие на замърсители; наличие на мокри или ледени условия.
9. Характеристики на гумата – твърдост на огъване и във вертикална равнина; ширина и форма на контактната повърхност; профил на протектора; налягане на и конструкция на гумата (радиална/диагонална).
10. Деформационно поведение на гумата – как преразпределя вертикалното натоварване в странична реакция, когато е притисната към наклонена стена.
11. Ъгъл на наклона на колелата без товар и под товар.
12. Ъгъл на завиване, ако има такъв по време на движението на МПС.
13. Ъгъл на наклона на колелата в момента на контакт със страничната стена на коловоза.
14. Ъгъл на атака на колелото спрямо стената на коловоза и посоката на пътя (завиване или отклонение от курса ако има такова).
15. Скорост на движение на МПС.
16. Нормално натоварване на автомобилната гума в точката на контакт и всякакви преходни промени в нормалното натоварване при удар.
17. Приплъзване на автомобилната гума – локално или преходно приплъзване и динамика на ъгъла на приплъзване по време на контакт със страничната стена на коловоза.
18. Характеристики на окачването – геометрия, вертикална и странична коравина, коравина при преобръщане, демпферни коефициенти и нелинейни поведения на окачването по време на движението.
19. Инерционни моменти.
20. Взаимодействия между влекач и ремарке – геометрия на заключващия механизъм, маса и инерция на ремаркетото, фазови взаимодействия между влекача и ремаркетото.
21. Аеродинамични странични сили и моменти – големина и ъгъл на страничния вятър, коефициент на аеродинамична странична сила на превозното средство и височина на центъра на налягане.
22. Външни преходни натоварвания – поривист страничен вятър, наклон на пътя, други неравности в близост до коловоза.
23. Специфични условия на пътната настилка, влияещи на коефициента на сцепление (температура, замърсяване, микротекстура и макротекстура).
24. Динамика на контакта на гумата със страничната стена на коловоза – продължителност на контакта, компоненти на скоростта при удара, локален импулсен трансфер и високочестотни компоненти.
25. Реакция на водача – корекции на волана, спиране или ускорение в момента на контакт, които променят траекториите на натоварване и динамиката на преходните процеси.
26. Износване и повреди на гумите, които влияят на контактната повърхност и твърдостта на контакта.
27. Техническо състояние на превозното средство – неравномерно налягане в гумите, износване или повреди в окачването.
28. Ситуация – брой ленти и позициониране пътя, налично пространство за възстановяване, взаимодействие със съседни ленти, крайпътни препятствия ограничаващи възможностите за маневриране и избягване на ПТП.
29. Неточности в измерванията и неопределеност в модела.

Като общият механизъм на действие може да бъде описан по следния начин – при зацепване на гумата на МПС със страничната стена на коловоз, се генерира напречна сила. Тя е резултат от директното механично взаимодействие между контактната повърхност на гумата и наклонената повърхност на деформацията. Амплитудата и посоката на тази сила зависят от физическите размери на коловоза: дълбочина h , ширина W , радиус на ръба R и наклон на стената α , характеристиките на контакта на гумата (ширина на контактната повърхност, профил на протектора, твърдост), както и от локалното нормално натоварване и скорост на гумата в мястото на контакт. Когато гумата се приближи и се докосне до външната стена на коловоза, нормалната реакция проявява страничен

компонент. Тази странична сила се усилва с растящия ъгъл на наклона на стената, намаляването на радиуса на ръба (по-малък R) и по-голяма дълбочина на коловоза, тъй като по-голяма част от контактната повърхност се ангажира със страничния натиск.

В резултат на възникналите странични импулси водачът обикновено коригира с кормилно управление, при което увеличаването на кормилния момент за запазване на курса може да създаде динамично неблагоприятни ефекти. Ако контактът е силен или продължителен, гумата може да изпъзни по външната стена и да се върне върху равнината на пътното платно; при това, наличието на значителен кормилен момент и бързи промени в контактните сили може да предизвика рязък и неочакван завой, водещ до временна загуба на устойчивост или контрол.

Пътните участъци с коловози са особено опасни, защото те не създават само едно изолирано смущение в движението на МПС, като порив на вятъра или стеснение на лентата за движение. Деформациите принуждават водачът да прави постоянни малки корекции на волана за да поддържа МПС в лентата за движение. Същевременно гумите на МПС многократно взаимодействат със страничните стени на коловоза. Това създава непрекъсната серия от дестабилизиращи странични силови въздействия, т.е. принудително се възбужда системата влекач-ремарке. Всяко съчленено превозно средство притежава собствена честота на люлене (Sharma, T. & He, Y., 2024), определяна от неговите масово-инерционни характеристики и от характеристиките на връзката между трактор и прикачено звено (фиг. 3).



Фиг. 3. Люлеене в резултат от дестабилизиращите странични силови въздействия.

Когато честотата на страничните въздействия, генерирани от взаимодействието с коловоза и обусловени от движението на МПС, се приближи до тази собствена честота, може да настъпи резонансен режим. В такъв режим малки външни побутвания се усилват, което води до експоненциално нарастване на амплитудата на люленето. Резултатът може да бъде внезапна загуба на стабилност и контрол, тъй като въздействащите сили превръщат малкото първоначално смущение в голямо опасно колебание.

Влиянието на изброените фактори може да бъде детайлно анализирано чрез високопроизводителни симулационни пакети като IPG CarMaker, CarSim/TruckSim, LS-DYNA, Ansys Motion/Ansys Mechanical и Virtual CRASH. Лицензът на тези инструменти обаче е скъпо струващ. Те също така изискват значителни изчислителни ресурси и специализирано обучение, което често ограничава тяхната приложимост за бързи оперативни оценки от по-широк кръг практикуващи. От друга страна опростените математически модели предлагат ефективна и прозрачна алтернатива. Те превръщат полевите наблюдения в количествени прогнози, базирани на първопринципни физични уравнения, като позволяват бързо формулиране и проверяване на хипотези.

Подобен модел ще улесни и ускори идентификацията на критични комбинации от параметри при които рискът от загуба на устойчивост се увеличава значимо, с което ще се подпомогне ефективното използване на ресурси и ще повиши прозрачността и обосноваността на препоръките и мерките, предложени от пътните инженери и одитори. За тази цел е предложен следния пет стъпков опростен физически обоснован модел, който се базира на квазистатичен коефициент на стабилност:

1. Уеднаквяване на мерните единици.

$$V_{veh}[m/s] = \frac{V_{km/h}}{3.6}, \quad (1)$$

$$V_{wind}[m/s] = \frac{V_{wind,km/h}}{3.6}, \quad (2)$$

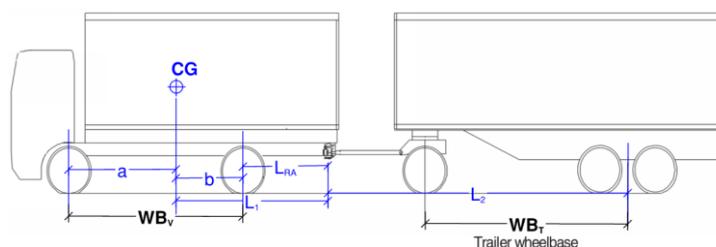
$$\alpha_{rad} = \alpha_{deg} * \frac{\pi}{180}, \quad (3)$$

$$\theta_{rad} = \theta_{deg} * \frac{\pi}{180}, \quad (4)$$

$$b [m] = WB_v - a, \quad (5)$$

$$L_1[m] = b + L_{RA}, \quad (6)$$

Където V_{veh} – скорост на МПС; V_{wind} – скорост на страничния вятър; θ – ъгъл на наклона на стената на коловоза спрямо вертикалната повърхнина; α – ъгъл на атака на колелото спрямо стената на коловоза. А геометричните характеристики на системата влекач-ремарке (a , b , L_1 , L_2 , L_{RA} и масовият център ‘CG’) изразена в разстояния е съгласно фиг. 4.



Фиг. 4. Геометрични характеристики на модела влекач-ремарке.

2. Изчисляване на сили.

$$W_{wheel}[N] = \frac{m_t * g}{n_{wheels}}, \quad (7)$$

$$Radius Factor (RF) = \exp(-kr_{rut\ edge}), \text{ за } k \approx 5m^{-1} \quad (8)$$

$$F_{y,rut-base} [N] = W_{wheel} * \cot \theta * \cos \alpha * n_{wheels}, \quad (9)$$

$$F_{y,rut} [N] = F_{y,rut-base} * RF, \quad (10)$$

$$Width Factor (WF) = \max(0.2, \max[1, 1 - \frac{w_{rut}}{0.8 * W_t}]), \quad (11)$$

$$F_{y,wind} [N] = \frac{\rho * C_y * A_{side} * V_{wind}^2}{2}, \quad (12)$$

Където W_{wheel} [N] – теглото приложено от едно колело; m_t [kg] – масата на ремаркетото; g [m/s²] – земното ускорение; n_{wheels} – брой колела; RF – коефициент характеризиращ радиуса на ръба на коловоза; $F_{y,rut-base}$ [N] – сила въздействаща върху едно колело на ремаркетото в основата на коловоза; $F_{y,rut}$ [N] – пълната сила въздействаща върху едно колело на ремаркетото в следствие от геометрията на коловоза; WF – коефициент характеризиращ ширината на коловоза; w_{rut} – ширина

на коловоза; W_T [m]– ширина на ремаркетото; $F_{y,wind}$ [N] – странична сила въздействаща върху ремаркетото (Нучо, W.H., 2015); ρ [kg/m³]– плътност на въздуха; C_y – аеродинамичен коефициент на профил на ремаркетото; A_{side} [m²] – странична площ на ремаркетото; V_{wind} [m/s²] – скорост на вятъра.

3. Изчисляване на моменти.

$$M_{z,rut_base}[Nm] = F_{y,rut} * L_2, \quad (13)$$

$$M_{y,rut} = M_{z,rut_base} * WF, \quad (14)$$

$$M_{z,wind} = F_{y,wind} * L_1, \quad (15)$$

Където M_{z,rut_base} [Nm] – момента генериран в основата на коловоза; $M_{y,rut}$ – пълният момент въздействащ на ремаркетото в следствие от геометрията на коловоза; $M_{z,wind}$ – момент генериран от силата на вятъра; L_1 – разстояние от теглича до масовия център на автомобила.

4. Анализ на устойчивостта

- Дестабилизиращи въздействия:

$$M_{z,disturb}[Nm] = |M_{z,rut}| + |M_{z,wind}|, \quad (16)$$

- Стабилизиращи въздействия:

$$C_{\alpha,total} = C_{\alpha,tire} * n_{tires}, \quad (17)$$

$$\alpha_{max}^{vehicle} = \min(\alpha_{cap}, \alpha_{base} + \alpha_{slope} * V_{km/h}), \quad (18)$$

$$F_{y,stiff_max} = C_{\alpha,total} * \alpha_{max}^{vehicle}, \quad (20)$$

$$F_{y,fric_max} = \varphi * m_t * g, \quad (21)$$

$$F_{y,rest_max} = \min(F_{y,stiff_max}, F_{y,fric_max}), \quad (22)$$

$$M_{z,restore} = F_{y,rest_max} * L_2, \quad (23)$$

Където $C_{\alpha,tire}$ [N/rad] – ъглова твърдост на една гума; $C_{\alpha,total}$ [N/rad] – ъглова твърдост на гумите на ремаркетото; $\alpha_{max}^{vehicle}$ [rad] – максимален ъгъл на плъзгане на гумата; α_{base} [rad] – ъгъл на плъзгане при ниска скорост; α_{slope} [rad/(km/h)] – параметър за калибриране с нарастване на скоростта; α_{cap} [rad] – твърдо ограничение за тежкотоварни ремаркета (3° до 8°, или приблизително 0.05 до 0.14 rad); $F_{y,stiff_max}$ [N] – сила на странично съпротивление на гумата; $F_{y,fric_max}$ [N] – Кулонова граница на страничната сила (Wong, J., 2008); $F_{y,rest_max}$ [N] – активна стабилизираща сила; $M_{z,restore}$ [Nm] – стабилизиращ момент.

φ – коефициентът на сцепление

5. Оценка на риска.

$$Stability\ Ratio\ (SR) = \frac{M_{z,restore}}{M_{z,disturb}}, \quad (24)$$

Където SR – коефициент на стабилност, който се явява класически коефициент на безопасност по отношение на съотношението на дестабилизиращия и стабилизиращия момент. По отношение на риска разграничаваме следните три категории:

- $SR \geq 2.0$ – В този режим системата демонстрира устойчива динамична реакция и ниска чувствителност към вариации в геометрични и кинематични параметри. Вероятността от загуба на контрол е минимална, което позволява безопасна експлоатация при стандартни пътни условия и умерени външни въздействия. Рискът от пътнотранспортни произшествия в този диапазон се оценява като нисък.

- $1.0 \leq SR < 2.0$ – граничен режим на стабилност. В този диапазон системата влекач–ремарке демонстрира повишена чувствителност към вариации в параметрите на предложения квазистатичен модел. Дори минимални промени в геометрията на коловоза, скоростта на движение, разпределението на товара или характеристиките на окачването могат да предизвикат съществено нарастване на риска от загуба на контрол.

Състоянието се характеризира с нестабилна динамична реакция, при която системата може да премине от контролирано към критично поведение при сравнително малки външни въздействия. По тази причина диапазонът се класифицира като зона на среден до висок риск от пътнотранспортни произшествия.

Широчината на този интервал е умишлено зададена, за да обхване възможности, при които целенасочени действия от страна на водача, като намаляване на скоростта, преразпределение на натоварването или избор на по-благоприятна траектория в коловоза могат да доведат до значително понижаване на риска и възстановяване на стабилността.

- $1.0 < SR$ – нестабилен режим с критично висок риск. При стойности на SR под 1.0 системата влекач–ремарке навлиза в динамично нестабилно състояние, при което способността за контрол и възстановяване на траекторията е силно ограничена. Малки външни въздействия или промени в параметрите (скорост, геометрия на коловоза, товарно разпределение) могат да предизвикат бързо нарастване на отклоненията и загуба на управляемост. Това състояние се характеризира с изключително висок риск от пътнотранспортни произшествия и изисква незабавна корективна намеса в дизайна, експлоатацията или инфраструктурните условия.

Предложената методология, базирана на опростен физически модел, реализиран в среда, която е вече позната и широко достъпна за инженери и пътни одитори, значително увеличава неговата практическа стойност. Въвеждането на модела във Visual Basic for Applications (VBA) за Excel ще даде възможност за лесно достъпен преход от теоретичната му формулировка към оперативното приложение. Чрез автоматизация с макроси моделът се трансформира в инструмент за последователно изпълнение на анализи, систематично документиране на резултати и създаване на възпроизводими шаблони за одит, оценка и инженерни изследвания.

ИЗВОДИ

Настоящият доклад предлага превантивно управление на риска по отношение на геометричните характеристики на деформираната настилка и аеродинамичните въздействия в количествена оценка на устойчивостта на система влекач–ремарке. Квазистатичният коефициент на стабилност (SR), дефиниран като отношение между стабилизиращия и дестабилизиращия момент позволява извършването на облекчен физически обоснован анализ, който е проследим и лесно възпроизводим при одит.

Въведените фактори за калибриране на геометрията на коловоза – закръгляне на горния ръб ' RF ' и за ефекта на неговата ширина намаляват ' WF ' риска от системно надценяване, или подценяване на дестабилизиращото въздействие. Докато скоростно-зависимият лимит на плъзгането на гумата на гумата $a_{max}^{vehicle}$ ограничава оптимистични предвиждания за възстановяващата способност.

Предложени са граници на риска ($SR \geq 2.0$; $1.0 \leq SR < 2.0$; $SR < 1.0$), които дават възможност за обосновано вземане на решение за управлението на трафикопотока. Методът дава възможност за поэтапно усъвършенстване. По този начин се постига стратегически преход от реактивен към

проактивен подход в пътната безопасност, в който повредената инфраструктура се разглежда като активен причинен фактор, а не като пасивна среда.

REFERENCES

- World Bank (2013). *Report No: ICR287 MPLEMENTATION COMPLETION AND RESULTS REPORT (IBRD-48650) ON A LOAN IN THE AMOUNT OF EURO 90.0 MILLION (US\$ 122.5 MILLION EQUIVALENT) TO THEREPUBLIC OF BULGARIAFOR AROAD INFRASTRUCTURE REHABILITATION PROJECT.* December 16, 2013. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/247421468020658349/pdf/ICR2870P0998940C0disclosed040160140.pdf>
- Melgaard, L., (2024). *World Bank to Provide Strategic Advice on Bulgaria’s Roads Infrastructure.* <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2024/08/20/world-bank-to-provide-strategic-advice-on-bulgaria-s-roads-infrastructure>
- Beresnevich, V., Viba, J., Kovals, E., Irbe, M. and Eiduks, M., (2024). *Lateral sway motion of vehicle and trailer.* In 23rd International Scientific Conference “Engineering for Rural Development”: proceedings:[Jelgava, Latvia], May 22-24, 2024 (Vol. 23, pp. 344-350).
- Hood, S., (2024). *Truck Sway Accidents.* Mc Gowan, Hood, Felder & Phillips LLC, September 3, 2024. <https://www.mcgowanhood.com/2024/09/03/truck-sway-accidents/>
- Sharma, T., He, Y., (2024). *On Trade-Off Relationship between Static and Dynamic Lateral Stabilities of Articulated Heavy Vehicles.* Designs 2024, 8, 103. <https://doi.org/10.3390/designs8050103>
- Hucho, W.H., (2015). *Aerodynamics of Road Vehicles: From Fluid Mechanics to Vehicle Engineering.* 5th Edition. Amsterdam: Elsevier, ISBN: 978-0768079777.
- Gillespie, T., (1992). *Fundamentals of Vehicle Dynamics.* Warrendale. SAE International, ISBN: 1-56091-199-9.
- Wong, J., (2008). *Theory of Ground Vehicles.* 4th Edition. Wiley, ISBN: 978-0470170380.