

ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРАХУНКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА МАГІСТРАЛЬНИХ ДОРОГАХ УКРАЇНИ

Ряпухін В.М.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Розглянуто основні види транспортних засобів на автомобільних дорогах України. З урахуванням колісного навантаження та взаєморозташування осей виокремлено чотири групи транспортних засобів. Проведено розрахунки щодо встановлення еквівалентного навантаження та визначені умови, коли за розрахункове навантаження слід приймати навантаження 130 кН.

Ключові слова: транспортні засоби, колісне навантаження, дорожній одяг, розрахункове навантаження, коефіцієнти приведення.

Вступ

За останні 5–7 років на магістральних дорогах України відбулися значні зміни інтенсивності та складу транспортних потоків. Якщо інтенсивність руху зростала в середньому на 2 % за рік, то в складі транспортних потоків з'явилися транспортні засоби вантажопідйомністю до 40 т. Це змусило в проектуванні нежорстких дорожніх одягів застосувати більш небезпечне розрахункове навантаження 130 кН на вісь.

Конструктори транспортних засобів для зменшення навантаження на окрему вісь автомобіля обрали шлях створення багатоколісних (багатовісних) конструкцій, щоб формально обійти нормативні вагові обмеження. У зв'язку з цим не завжди можливо однозначно призначити тип розрахункового навантаження, що може спричинити суттєві помилки в оцінці міцності та працездатності нежорстких дорожніх одягів.

Аналіз публікацій

У проектуванні нежорстких дорожніх одягів проблема визначення параметрів розрахунку, еквівалентного за впливом на напружено-деформований стан конструкції навантаження, стоїть на одному з перших місць.

Згідно з вимогами ДБН В.2.3-4-2015 [1] для розрахунку міцності дорожнього одягу проектувати його необхідно на розрахункове навантаження на одну найбільш завантажену вісь дорожньо-транспортного засобу: для доріг I і II категорій приймається розрахункове навантаження групи A_1 і A_2 з навантаженням на найбільш завантажену вісь відповідно 130 кН – A_1 та 115 кН – A_2 . Аналогічний підхід започатковано в нормах інших країн [2, 3].

У складі транспортного потоку вантажних транспортних засобів (т.з.) великий обсяг мають багатовісні транспортні засоби з навантаженням на вісь від 80 до 125 (127) кН. Їх багатовісність зводиться до дії розрахункового навантаження з урахуванням відстані між осями. Тому правилами дорожнього руху, чинними з 01 січня 2013 р., п. 22.5. «Передбачено за умови довжини маршрутного транспортного засобу 25 м маса 38 т, навантаження (статичне) на одиночну вісь – 10 т.з., здвоєні осі – 16 т.з., строєні – 22 т.з. На встановлених законодавчо маршрутах маса до 40 т, для контейнеровозів на погоджених маршрутах – 44 т, навантаження на одиничну вісь – 11 т.з., здвоєні осі – 18 т.з., строєні – 24 – т.з. Осі вважаються здвоєними або строєними, якщо відстань між ними (суміжними) не перевищує 2,5 м».

Базова залежність для визначення коефіцієнта зведення однієї осі т.з. до еквівалентного розрахункового навантаження була встановлена чисельними дослідженнями вітчизняних і закордонних учених [2–6].

Коефіцієнти приведення навантажень S_n визначають за формулою:

$$S_n = \left(\frac{Q_{\text{дн}}}{Q_{\text{розрл}}} \right)^{\beta}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{дн}}$ – номінальне динамічне навантаження від колеса на покриття; $Q_{\text{розрл}}$ – розрахункове динамічне навантаження від колеса на покриття; β – показник степеня, що приймається рівним 4,4.

Номінальне динамічне навантаження $Q_{\text{дн}}$ визначається за паспортними даними на транспортні засоби з урахуванням розподілення статичних навантажень на кожен вісь.

У визначенні номінального динамічного навантаження для багатовісних транспортних засобів установлюють величину навантаження з урахуванням впливу коліс сусідніх осей, розташованих на відстані, меншій за 2,5 м один від одного [4, 5]. Для практичних розрахунків за нормативними документами розроблені розрахункові графіки й номограми, зорієнтовані на нормативний коефіцієнт динамічності, рівний 1,3 [2, 3, 5].

Мета й визначення завдання

Основний нормативний документ з проектування автомобільних доріг [1] так визначає умови застосування розрахункового навантаження групи A_1 : «За відповідного техніко-економічного обґрунтування розрахункове навантаження на найбільш завантажену вісь дорожньо-транспортного засобу для автомобільних доріг I-II категорії можна приймати групу розрахункового навантаження A_1 з параметрами: розрахункове навантаження на найбільш завантажену вісь 130 кН...»

З технічного боку проблеми встановлення групи розрахункового навантаження і його параметрів (насамперед інтенсивність розрахункового навантаження) необхідно визначити умови – певні параметри транспортного потоку в сукупності з їх впливом на дорожні одяги, за якими можна приймати розрахункове навантаження групи A_1 . Для цього необхідно провести системний аналіз фактичної інтенсивності та складу транспортних потоків на магістральних дорогах України й визначити еквівалентне навантаження на задню вісь з урахуванням впливу суміжних коліс.

Вирішення завдання

Збір інформації про багатовісні автомобілі, що рухаються автодорогами України, проводили за даними відділу штучних споруд Департаменту розвитку мережі доріг Укравтодору, за даними ДержДорНДІ [7] і даними обстежень транспортних потоків на магістральних дорогах України за 2005, 2008, 2011 [8] та 2017 рр.

За «Кратким автомобильным справочником НИИАТ» і технічними паспортами [9, 10] проаналізовано технічні характеристики сідельних тягачів та напівпричепів як виробництва країн СНД (КамАЗ, МАЗ), тУрал), так і зарубіжних країн (Iveco, Renault, Mercedes-Benz, Volvo, Traylor, Frue-Hauf, Schmitz та ін.).

На основі проведеного аналізу були прийняті чотири основні схеми розрахункових (типи А, В, С, D) навантажень – 4-вісна, дві 5-вісні та 6-вісна (рис. 1). Їх колісні бази – відстані між сусідніми осями прийняті мінімальними (найневигіднішими) з проаналізованих [9, 10].

Навантаження на осі приймали як нормативні (за довідником), так і з перенавантаженням (за статистичними даними відділу штучних споруд Департаменту розвитку мережі доріг Укравтодору) (табл. 1). Загальна маса багатовісних вантажних автомобілів за прийнятими схемами становить: для 4-вісних – 36–44 т; для 5-вісних – 36–46 т; для 6-вісних – 36–50 т.

Аналіз складу транспортних потоків на дорогах Харківської, Луганської та Донецької областей [7, 8] свідчить про те, що в складі транспортного потоку є транспортні засоби з навантаженням на вісь 110–130 кН:

– тягач Мерседес-Бенц 2528 з причепом Kassboh загальною масою понад 40 т, навантаженням на задню вісь тягача – 130 кН, на вісь причепа – 125 кН;

– тягач МАЗ (533702, 364229-028) з причепом або напівпричепом МАЗ-938602 повною масою до 35 т, навантаженням на вісь 110–130 (150) кН. Таким чином, у складі транспортного потоку є транспортні засоби, у яких навантаження на вісь зросло до 130 кН, а в деяких випадках і більше.

Таких транспортних одиниць у транспортних потоках налічується до 7–9 %.

Для загальної оцінки інтенсивності навантажень за прийнятими схемами необхідно привести їх до розрахункового навантаження 130 кН.

Таблиця 1 – Марки сучасних транспортних засобів

Сідельні тягачі		Сідельні тягачі	
Iveco 190-36	Volvo F89	Man 16.362	Faun NC 46.40/49
Mercedes-Benz-1735	Sisu SM 270	Skoda-706 RTIN	Pegasso
Volvo F12	Daf 95.380	Mercedes-Benz-2235 S	Sisu SM 270
Liaz-110.551	Tatra-138	Renault 11A 003	Volvo F89
Renault 385.19T	Man 16.362FLT	Skania 143	MAZ 64229
MAZ-54323	Камаз-5410	Volvo F12	Tatra 815 NTR
Напівпричепи		Напівпричепи	
Frue-Hauf; Traylor; Kass Bohrer SB 12-20;		Traylor Lamberet; Kass Bohrer SB 12-20;	
Камаз-9385; MAZ-93866;		Schmitz SKD 20-BO; MAZ-9398;	

коліс у поздовжньому L_{ij} і поперечному I_{ij} напрямках.

Для врахування впливу j -го колеса на пружно-деформований стан дорожнього одягу під i -м колесом використовують дві функції:

– g^- – для характеристики впливу i -го колеса, яке рухається попереду;

– g^+ – для характеристики впливу i -го колеса, яке рухається позаду.

Ці функції визначаються за формулами 5 та 6:

$$g^-(L_{ij}/D_j) = 0,58e^{-0,058(L_{ij}/D_j)} + 0,42e^{-0,58(L_{ij}/D_j)}, \quad (5)$$

$$g^+(L_{ij}/D_j) = 0,49e^{-0,14(L_{ij}/D_j)} + 0,51e^{-0,64(L_{ij}/D_j)}, \quad (6)$$

де q – функція, яка характеризує вплив j -го колеса в поперечному напрямку, визначається за формулою:

$$q = g(I_{ij}/D_j) - 0,40e^{-0,065(I_{ij}/D_j)} + 0,60e^{-0,44(I_{ij}/D_j)}. \quad (7)$$

Як свідчать наші розрахунки, однакові загальні маси перевезення можуть надати різні (більші чи менші) значення впливу на руйнування дорожнього одягу.

Проаналізуємо комплексно типи й марки транспортних засобів (табл. 1), відповідні схеми навантаження (рис. 1) і результати визначення еквівалентного навантаження (табл. 2).

Тип А. Усі марки т.з. за табл. 1. Враховуємо: одна вісь тягача з причепом і здвоєні вісі на причепі. Навантаження на вісь від 100 до 125 кН; загальна вага транспортної одиниці від 33 до 44 т. Навантаження «тип А» транспортних засобів рівноцінне від 1 до 2,7 розрахунковим осям на 130 кН.

Тип В (4, 5 марки т.з. за табл. 1) – здвоєні вісі – тягач із причепом і здвоєні осі на причепі. Навантаження на вісь від 90 до 100 кН; загальна вага транспортної одиниці від 42 до 46 т. Навантаження «тип В» транспортних засобів рівноцінне від 0,93 до 1,39 розрахунковим осям на 130 кН.

Тип С (2, 3 марки т.з. за табл. 1) – одна вісь тягача з причепом і строєні осі на приче-

пі. Навантаження на вісь від 80 (строєні осі) до 117 кН; загальна вага транспортної одиниці від 41 до 44 т. Навантаження «тип С» транспортних засобів рівноцінне від 1 до 1,34 розрахунковим осям на 130 кН.

Тип D (3, 4 марки т.з. за табл. 1). Здвоєні осі – тягач із причепом, строєні осі на причепі, навантаження на вісь від 80 до 96 кН; загальна вага транспортної одиниці від 48,4 до 50 т. Навантаження «тип D» транспортних засобів рівноцінне від 0,99 до 1,11 розрахунковим осям на 130 кН.

Як бачимо, значна кількість транспортних засобів за руйнівним впливом на дорожній одяг еквівалентна від 0,99 до 2,7 розрахунковим осям на 130 кН.

Типовим (характерним) для магістральних доріг України складу транспортного потоку є середньозважений коефіцієнт приведення до розрахункового навантаження групи А₁, який становить 0,9. Важкі багатоколесні й багатовісні вантажні автомобілі в середньому еквівалентні 1,8 розрахунковим осям. Оскільки таких т.з. у транспортному потоці до 9 %, їх вагова доля за умови приведення до розрахункового навантаження збільшиться майже удвічі. Таким чином, уже ці марки транспортних засобів будуть здебільшого визначати групу розрахункового навантаження.

Тому для розрахунку дорожнього одягу потрібно враховувати не тільки долю вантажних автомобілів, а й марки вантажних автомобілів у транспортному потоці з точки зору інтенсивності зведеного розрахункового руху.

Висновки

У проектуванні доріг, якими передбачається проїзд багатоколесних транспортних засобів або спеціалізованих автомобільних поїздів, які містять великовантажний причіп або самохідні великовагові платформи, а також для перевірки на міцність одягів наявних доріг за умови разових проїздів таких транспортних засобів слід проводити розрахунок на дію найбільшого еквівалентного колесного навантаження Q_e , що замінює вплив групи розташованих поряд коліс еквівалентним впливом, як вказано вище.

У проектуванні та розрахунку на міцність дорожніх одягів враховують такі чинники: дані про навантаження, які передаються на покриття автомобілями, автопоїздами сідельного типу, автобусами та тролейбусами, а також коефіцієнти для їх приведення до роз-

рахункових нормативних навантажень, що наведені в нормативній літературі [2, 3, 4].

Зібрані статистичні дані інтенсивності руху, складу транспортного потоку та складу вантажного транспорту на автомобільних дорогах державного значення дозволяють характеризувати сучасний склад вантажних т.з.:

- одновісних (задня вісь одна) – 43 %;
- двовісні (задні осі дві) – 16 % – тип А;
- дво-, тривісні (задні осі строєні з тягачем і здвоєні на причепі) – 15 % – тип В;
- тривісні (задні осі строєні на причепі) – 12 % – тип С;
- тривісні (задні осі строєні з тягачем і строєні на причепі) – 14 % – тип D.

У проектуванні доріг на транзитних маршрутах, де передбачається регулярний рух вантажних автомобілів і автобусів з навантаженням у двовісних автомобілів на вісь більшим ніж 120 кН і навантаженням тривісних на кожну задню вісь більше ніж 80, 90, 100 кН (за типами т.з., табл. 1 і 3) з урахуванням додаткового впливу інших коліс (формули 3–6) для розрахунку дорожнього одягу на міцність слід приймати розрахункове статичне навантаження $A_1 = 130$ кН на вісь.

Література

1. Споруди транспорту. Автомобільні дороги: ДБН В.2.3-4:2015. Київ: Мінрегіонбуд України, 2015. 101 с. (Національний стандарт України).
2. Проектирование нежестких дорожных одежд: ОДН 218.046-01. Москва: Государственная служба дорожного хозяйства министерства транспорта Российской федерации, 2001. 94 с.
3. ТКП 45-3.03-3-2004 (02250). Проектирование дорожных одежд улиц и дорог населенных пунктов. Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2005. 54 с.
4. Споруди транспорту. Автомобільні дороги ГБН В.2.3-37641918-559:2019. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. Київ: Міністерство інфраструктури України, 2019. 58 с.
5. Дорожній одяг нежорсткого типу. ВБН В.2.3-218-186-2004. Офіц. вид. Київ: Державна служба автомобільних доріг України «Укравтодор», 2004. 176 с. (Національний стандарт України).
6. Special Report G-61: The AASHO Road Test, Report 7, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1962.
7. Звіт про науково-дослідну роботу «Провести дослідження та розробити конструкції дорожніх одягів з асфальтобетонними шарами армованими геосинтетичними сітками». Київ: ДП «ДерждорНДІ», 2013. 189 с.
8. Звіт про науково-дослідну роботу «Провести дослідження та розробити альбом типових конструкцій нежорстких дорожніх одягів на дорогах I-II категорій на навантаження 130 кН». Харків: ХНАДУ, 2016. 154 с.
9. Краткий автомобильный справочник НИИАТ. Том 2. Грузовые автомобили. Москва: ИПЦ Финпол, 2004. 667 с.
10. Краткий автомобильный справочник НИИАТ. Том 4, часть 1. Специальные и специализированные транспортные средства. Москва: Автополис-плюс, 2004. 448 с.

References

1. Sporudy transportu. Avtomobilni dorohy: DBN V.2.3-4:2015. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2015. 101 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy).
2. Proektyrovanye nezhestkykh dorozhnukh odezhd: ODN 218.046-01. Moskva: Hosudar-stvennaia sluzhba dorozhnoho khoziaistva mynysterstva transporta Rossyiskoi federatsyy, 2001. 94 s.
3. ТКР 45-3.03-3-2004 (02250) Proektyro-vanye dorozhnukh odezhd ulyts i doroh nase-lennukh punktov. Mynysterstvo arkhytekturu i stroytelstva Respublyky Belarus Mynsk, 2005. 54 s.
4. Sporudy transportu. Avtomobilni dorohy HBN V.2.3-37641918-559:2019. Dorozhnii odiah nezhorstkyi. Proektuvannia. Kyiv Mi-nisterstvo infrastruktury Ukrainy, 2019. 58 s.
5. Dorozhnii odiah nezhorstkoho typu. VBN V.2.3-218-186-2004 Ofits. vyd. Kyiv: Derzhavna sluzhba avtomobilnykh dorih Ukrainy «Ukravtodor», 2004. 176 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy).
6. Special Report G-61: The AASHO Road Test, Report 7, Highway Research Board, Na-tional Research Council, Washington, D.C., 1962.
7. Zvit pro naukovu-doslidnu robotu «Provesty doslidzhennia ta rozrobyty kon-struktsii dorozh-nikh odiahiv z asfaltobetonny-my sharamy armo-vanymy heosyntetychnymy sitkamy»: DP «DerzhdorNDI». Kyiv: 2013. 189 s.
8. Zvit pro naukovu-doslidnu robotu «Provesty doslidzhennia ta rozrobyty albom typovykh kon-struktsii nezhorstkykh dorozhnikh odiahiv na do-rohakh I-II katehorii na navanta-zhennia 130 kN»: Kharkivskiy natsionalnyi avtomobilno-dorozhnii universytet (KhNADU). Kharkiv: 2016. 154 s.
9. Kratkyi avtomobylnui spravochnyk NYAT. Tom 2. Hruzovue avtomobyly. M.: YPTs Fynpol, 2004. 667 s.
10. Kratkyi avtomobylnui spravochnyk NYAT. Tom 4, chast 1. Spetsyalnue y spe-tsyalyzyrovannue transportnue sredstva. M.: Avtopolys-plus, 2004. 448 s.

Rationale of the calculation load on the main roads of Ukraine

Abstract. Problem. Regulatory requirements for the design of non-rigid pavements on roads of categories

I-II for an estimated load of A1 -130 kN still have a number of vaguely defined provisions. First of all, this is a question, by what parameters of the traffic flow should the load of group A1 be taken, and not A2? The recommendation to take as a basis the feasibility study of the load has a lot of uncertainty and an insufficient calculation base for assessing the impact of heavy load on the performance of different designs of pavement. **Goal.** Based on the analysis of the composition of traffic flows on the main roads of Ukraine, taking into account the weight parameters of heavy vehicles, establish criteria or parameters of traffic flows, upon reaching which there is reason to accept the estimated load of group A1. **Methodology.** The scientific and methodological basis of the study adopted a systematic analysis of transport flows on the main roads of Ukraine in combination with modeling the equivalent load on the pavement. **Results.** Based on long-term statistical data on the intensities and composition of traffic on the main roads, the typical (characteristic) composition of the traffic flow, weight and design parameters of heavy-duty, multi-axle vehicles are determined. Based on the obtained data on the intensity and composition of traffic flows, weight and structural parameters of trucks, primarily heavy vehicles, modeling was carried out to determine the equivalent load for group A1. In further analysis, this served as the basis for determining the values of the main parameters of the composition of trucks of traffic flows, at which the estimated load of group A1 should be taken in the calculations. **Originality.** The methodological and criteria base for the selection of the design load has been improved. The results obtained are based on a

systematic analysis of transport flows on the main roads of Ukraine and a modern calculation base for bringing the actual composition of the traffic flow to the estimated equivalent load.

Practical value. The results can be used in the design of non-rigid pavement on the main roads of Ukraine.

Keywords: vehicles, wheel load, road wear, estimated load, drive factors.

Vitaliy Ryapukhin, Professor, Candidate of Science (Engineering), Professor of the Department of Designing Roads, Geodesy and Land Management of KhNADU, Kharkiv, Ukraine, tel. 057-7-7-37-32; rvitaliy1939@gmail.com.

Обоснование расчетной нагрузки на магистральных дорогах Украины

Аннотация. Рассмотрены основные виды транспортных средств на автомобильных дорогах Украины. С учетом колесной нагрузки и взаимного расположения осей выделено 4 группы транспортных средств. Проведены расчеты по установлению эквивалентной нагрузки и определены условия, при которых в качестве расчетной нагрузки необходимо принимать нагрузку 130 кН.

Ключевые слова: транспортные средства, колесные нагрузки, дорожная одежда, расчетная нагрузка, коэффициенты приведения.

Ряпухин Виталий Николаевич, профессор, к.т.н., профессор кафедры проектирования дорог, геодезии и землеустройства ХНАДУ, г. Харьков, Украина, тел. 057-7-7-37-32; rvitaliy1939@gmail.com