

doi.org/10.29295/2311-7257-2021-104-2-159-164

УДК 624.21

Кожушко В.П.<sup>1</sup>, Краснов С.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
(вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, 61002, Україна; e-mail: [kozhusko\\_vp@ukr.net](mailto:kozhusko_vp@ukr.net);  
[orcid.org/0000-0002-7044-776X](https://orcid.org/0000-0002-7044-776X))

<sup>2</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
(вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, 61002, Україна; e-mail: [krasnov56@ukr.net](mailto:krasnov56@ukr.net);  
[orcid.org/0000-0002-2375-4273](https://orcid.org/0000-0002-2375-4273))

## БІЧНИЙ ТИСК НА БЕРЕГОВІ ОПОРИ МОСТА ВІД НАВАНТАЖЕННЯ АК ПРИ ВІДСУТНОСТІ ПЕРЕХІДНИХ ПЛИТ

Виявлено долю рівномірно розподіленої частини навантаження АК при визначенні величини бічного тиску  $E$  і перекидального моменту  $M$ , діючих на берегову опору по відношенню до сумарних їх значень (тобто до значень, які урахують і вагу тандема). Показано, що зі збільшенням висоти опори доля зусилля від рівномірно розподіленої частини навантаження також збільшується

**Ключові слова:** берегова опора, навантаження АК, сила бічного тиску, перекидальний момент, вплив рівномірно розподіленої частини навантаження АК, тандем.

**Вступ.** Уперше навантаження АК при розрахунках елементів автодорожніх і міських мостів було уведено в норми [1]. У подальших нормативних документах [2-4] це навантаження вважалось обов'язковим при розрахунках, тільки з часом величина  $K$  (клас навантаження) збільшувалась. Якщо у нормах [1, 2] клас навантаження  $K$  приймався 8 і 11, то в останніх чинних нормативних документах [4] потрібно було розрахунок вести уже на клас  $K$ , що дорівнює 11 і 15.

У всіх згаданих нормах наведено єдиний (незмінний) підхід при визначенні бічного тиску ґрунту на берегові (крайні) опори моста від навантаження АК при відсутності перехідних плит і руху транспорту перпендикулярно опорі. При такому підході рекомендується визначати бічний тиск тільки від тандему (двовісного візка).

Оскільки навантаження АК включає для кожної смуги руху один тандем з осьовим навантаженням  $P_b = 9,81K$  (кН), де  $K$  – клас навантаження у тонно-силах, і рівномірно розподілене навантаження будь-якої довжини інтенсивністю  $v = 0,981K$  (кН/м), тобто у десять разів менше сили  $P_b$ , то розробники визначення бічного тиску на опорі, мабуть, вважали, що впливом рівномірно розподіленої частини навантаження АК можна знехтувати.

Це питання – проблематичне і потребує додаткових досліджень.

**Мета і задачі дослідження.** Навантаження від візка передається на бічну опору через дві (а при малій висоті опори через одну) ділянки незначного розміру по висоті, а від рівномірно розподіленого навантаження – у межах усієї висоти опори, то вплив цієї частини навантаження (особливо при великій висоті опори) може бути значним. Метою даних досліджень і є питання визначення впливу рівномірно розподіленої частини навантаження АК на загальну роботу опори в залежності від її висоти.

**Реалізація задачі.** Згідно з нормами [4] вертикальний тиск від одного колеса передається через площадку з розмірами у плані  $b \times c$  (рис. 1), де  $c$  – довжина відбитку від колеса тандему вздовж руху транспорту (вздовж осі моста);  $c=0,2$  м;  $b$  – відстань між зовнішніми гранями коліс на осі;  $b=2,5$  м (див рис. 1).

Таким чином, вертикальний тиск від однієї осі тандема

$$p_e^{(AK)} = \frac{P_e^{(AK)}}{b \cdot c}. \quad (1)$$

При невисоких опорах моста в межах призми обвалення  $b_{пр}$  може бути розміщена тільки одна вісь тандема, а ширина призми обвалення

$$b_{пр} = h \cdot \operatorname{tg}\theta, \quad (2)$$

де  $\theta$  – кут, під яким відбувається обвалення ґрунту. Він дорівнює

$$\theta = 45^\circ - 0,5\phi_n, \quad (3)$$

де  $\phi_n$  – характеристичне значення кута внутрішнього тертя ґрунту насипу.

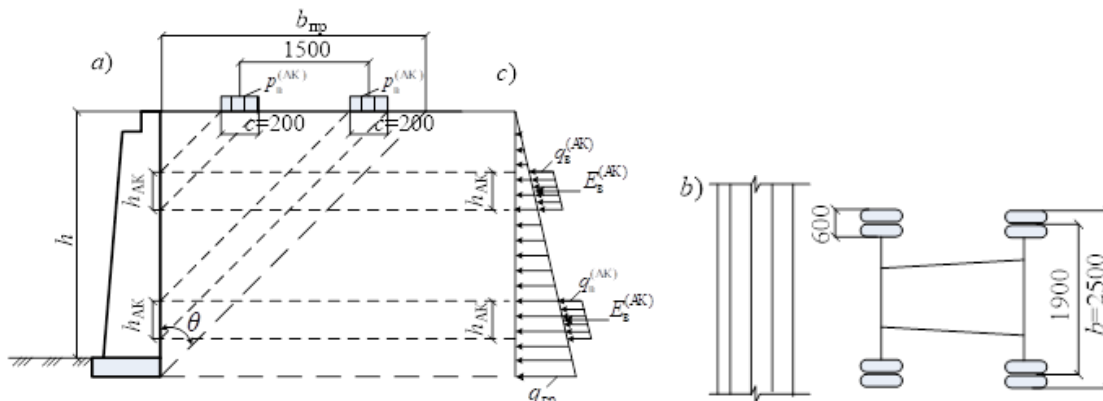


Рис. 1. Схема завантаження від тандему АК

Вертикальний тиск від рівномірно розподіленої частини навантаження інтенсивністю  $v$

$$p_v^{(AK)} = \frac{v}{b \cdot c_1}. \quad (4)$$

Оскільки довжина рівномірно розподіленого навантаження необмежена, то при будь якій висоті опори воно завжди буде передаватися по всій ширині призми обвалення (рис. 2). Іntenсивність  $v$  визначена на 1 пог. м. довжини, тому в формулі (3) треба підставити  $c_1=1$  м.

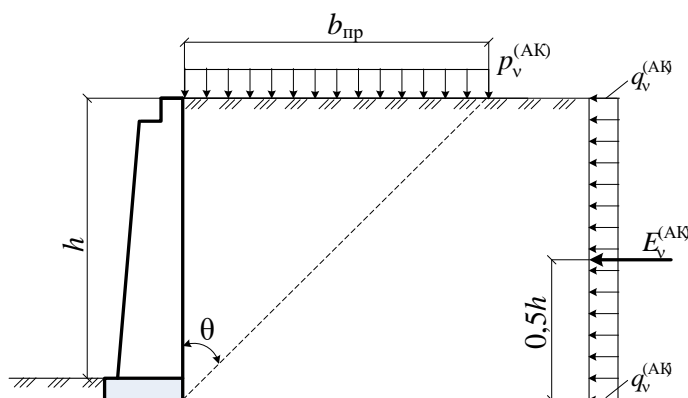


Рис. 2. Схема завантаження від рівномірно розподіленої частини навантаження АК

Бічний тиск на опору нормами [4] дозволяється визначати згідно з теорією Кулона, основні положення якої викладені у [3-7, 15], незважаючи на те, що теорія Кулона пізніше була удосконалена рядом учених [8-14].

Згідно з теорією Кулона інтенсивність бічного тиску від привантаження призми обвалення визначається за наступними формулами:

від тандема

$$q_s^{(AK)} = p_s^{(AK)} \cdot \tau_a; \quad (5)$$

від рівномірно розподіленої частини навантаження АК

$$q_v^{(AK)} = p_v^{(AK)} \cdot \tau_a, \quad (6)$$

де  $\tau_a$  – коефіцієнт бічного активного тиску ґрунту.

$$\tau_a = \operatorname{tg}^2(45^\circ - 0,5\varphi). \quad (7)$$

У формулах (5-7)  $\varphi$  – внутрішнього тертя ґрунту.

Бічний тиск від колес тандему буде передаватися через обмежені по висоті ділянки, розмір яких (див. рис. 1)

$$h_{AK} = c \cdot \operatorname{ctg}\theta. \quad (8)$$

Бічний тиск від рівномірно розподіленої частини навантаження АК передається по всій висоті опори (див. рис. 2).

Оскільки бічний тиск ґрунту визначається на 1 пог. м. ширини опори, то і силу бічного тиску треба також визначати на 1 пог. м. Тоді сила бічного тиску: від тандема (див. рис. 1)

$$E_g^{(AK)} = 2q_g^{(AK)} \cdot h_{AK}; \quad (9)$$

від рівномірно розподіленої частини навантаження АК (див. рис. 2)

$$E_v^{(AK)} = q_v^{(AK)} \cdot h. \quad (10)$$

Повна сила бічного тиску

$$E = E_g^{(AK)} + E_v^{(AK)}. \quad (11)$$

Якщо в межах ширини призми обвалення буде розташована одна вісь тандема, сила  $E_g^{(AK)}$  буде в два рази менше величини, отриманої за формулою (9).

Незважаючи на те, що інтенсивність бічного тиску від тандема  $q_B^{(AK)}$  значно більше інтенсивності  $q_v^{(AK)}$  від рівномірно розподіленої частини навантаження АК, величини сил бічного тиску від тандема рівномірно розподіленої частини можуть бути одного порядку.

Для прикладу визначимо силу бічного тиску  $E$  і величину перекидального моменту  $M$  від навантаження А11, якщо ґрунт насипу є пісок, характеристичний кут внутрішнього тертя якого  $\varphi_n = 30^\circ$ . Найбільший перекидальний момент буде виникати, коли одна з осей тандему буде розташована безпосередньо біля задньої грані опори (рис. 3).

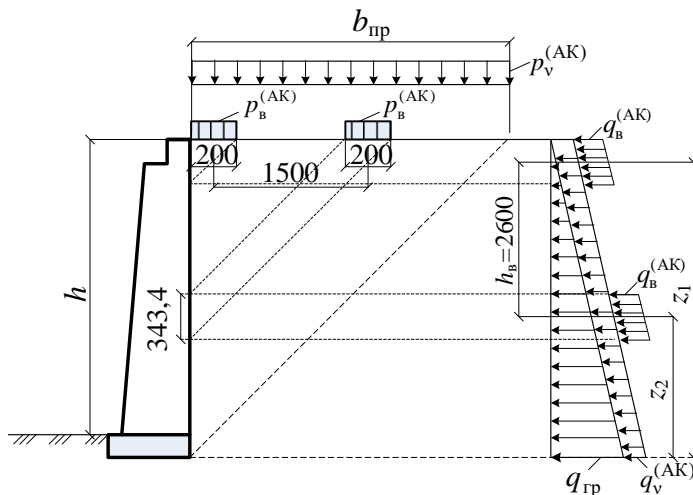


Рис. 3. Схема завантаження при визначенні бічної сили  $E$  і перекидального моменту  $M$  від навантаження А11

Розрахунок по визначенню сили бічного тиску  $E$  і перекидального моменту  $M$  виконано для різних висот опори, а саме: 1; 3; 5; 7; 9; 11; 13 м. Відстань між кусочними навантаженнями від тандема по висоті стінки  $h_g = 1,5 \cdot \operatorname{ctg}30^\circ = 2,60$  м, (див. рис. 3).

Значення сили бічного тиску  $E$  і перекидального моменту  $M$  для різних висот опори зведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення сили бічного тиску  $E$  і перекидального моменту  $M$  від навантаження А 11.

Висота опори, м	Сила бічного тиску, кН		Перекидальний момент кНм	
	$E^*$	Співвідношення величин, %	$M^*$	Співвідношення величин, %
1	<u>1,44</u> 26,36	5,50	<u>0,72</u> 21,34	3,37
3	<u>4,32</u> 54,20	7,97	<u>6,48</u> 82,80	7,83
5	<u>7,20</u> 57,08	12,61	<u>18,00</u> 194,08	9,27
7	<u>10,08</u> 59,96	16,81	<u>35,28</u> 311,12	11,34
9	<u>12,96</u> 62,84	20,62	<u>58,32</u> 428,93	13,60
11	<u>15,84</u> 65,72	24,10	<u>87,12</u> 564,97	15,42
13	<u>18,72</u> 68,60	27,29	<u>121,68</u> 657,30	17,45

\*У чисельнику наведено значення сил бічного тиску  $E$  і перекидальних моментів  $M$ , отриманих від рівномірно розподіленої частини навантаження А 11, у знаменнику – значення від повного навантаження А 11 з урахуванням тандема

Аналізуючи дані таблиці можна зробити висновок про те, що вплив рівномірно розподіленої частини навантаження А 11 зі збільшенням висоти опори збільшується і може досягати у даному прикладі 27,29% при визначенні сили бічного тиску  $E$  і 17,45% при визначенні величини перекидального моменту  $M$  по відношенню до цих величин, розрахованих від навантаження А 11 разом з тандемом. Ці співвідношення для ґрунту насипу з кутом внутрішнього тертя  $\varphi_n = 30^\circ$  залишається і для навантаження А 15. У цьому випадку величини  $E$  і  $M$ , наведені в таблиці, треба збільшити у  $15/11=1,3636$  раз.

За даними, наведеними у таблиці, побудовано графіки залежності співвідношень величин  $E_v^{(AK)} / E^{(AK)}$  і  $M_v^{(AK)} / M^{(AK)}$ , від висоти опори (рис. 4, 5).

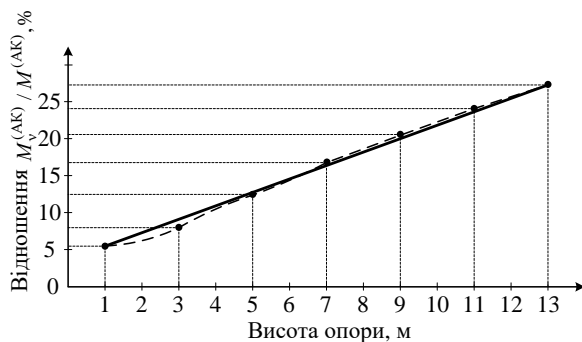


Рис. 4. Відношення величин бічної сили  $E$  від рівномірно розподіленої частини навантаження АК до повної величини  $E$

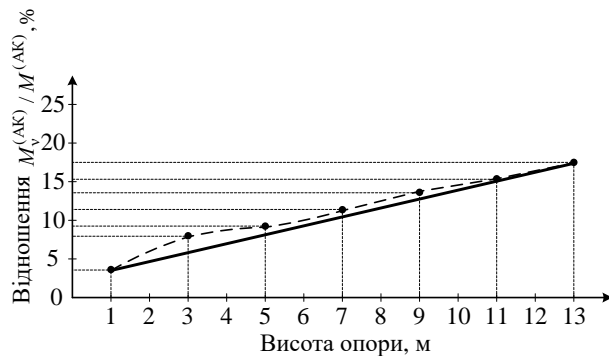


Рис. 5. Відношення величин перекидального моменту  $M^{(AK)}$ , від рівномірно розподіленої частини навантаження АК до повної величини  $M^{(AK)}$

Із графіків видно, що співвідношення бічних сил  $E_v^{(AK)}/E^{(AK)}$ , залежності від висоти опори має лінійний характер, а співвідношення перекидальних моментів  $M_v^{(AK)}/M^{(AK)}$  описується кривою з незначною кривизною.

**Висновки.** При визначенні бічного тиску на берегову (крайню) опору автодорожніх мостів треба урахувати вплив рівномірно розподіленої частини навантаження АК.

ЛІТЕРАТУРА:

REFERENCES:

1. Мосты и трубы: СНиП 2.05.03-84. (Срок введения в действие 1 января 1986 г.). М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. 200 с.
2. Мосты и трубы: СНиП 2.05.03-84\*. (Срок введения в действие 1 января 1986 г.). М.: ГП ЦПП, 1996. 214 с.
3. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування: ДБН В.2.3-14:2006. (Чинний від 2007-02-01). К.: Міністерство буд-ва, архітектури та житлово-комунального господарства, 2006. 359 с.
4. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи: ДБН В.1.2-15:2009. (Чинний від 2009-11-11). К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 66 с.
5. Снитко Н.К. Статическое и динамическое давление грунтов и расчет подпорных стенок. Изд. 2-е, перераб. Л.: Стройиздат. Ленингр. отд., 1970. 209 с.
6. Будин А.Я., Демина Г.А. Набережные: справ. пособие. М.: Стройиздат, 1990. 287 с.
7. Горбунов-Посадов М.М., Ильичев В.А., Крутов В.И. и др. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. М.: Стройиздат, 1989. 480 с.
8. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Гос. изд-во физ-мат. л-ры, 1960. 249 с.
9. Лучковский И.Я., Никитенко В.И. Горизонтальное давление на вертикальные ограждения конструкций глубоких сооружений. Автомобильные дороги и дор. буд-во. К.: Будівельник, 2004. С. 149-159.
10. Лучковский И.Я., Данько А.М. Нелинейный характер изменения активного давления на подпорные стенки от местной нагрузки на поверхности засыпки. Будівельні конструкції. НДІБК, 2008. Вип. 71. Кн. 1. С. 145-155.
11. Лучковский И.Я., Чепурной Д.А. Распределение горизонтального давления грунта на подпорные стенки при многослойном основании. Науковий вісник буд-ва. Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2009. Вип. 54. С. 281-285.
12. Лучковский И.Я., Чепурной Д.А. Использование единой плоскости обрушения при определении давления грунта на подпорные стенки при многослойном основании. Науковий вісник буд-ва. Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2010. Вип. 57. С. 159-163.
13. Лучковский И.Я., Чепурной Д.А. Новый подход к расчету давления многослойной засыпки
1. Mosty y truby: SNyP 2.05.03-84. (Srok vvedeniya v deistvye 1 yanvaria 1986 h.). M.: TsYTP Hossstroia SSSR, 1985. 200 s.
2. Mosty y truby: SNyP 2.05.03-84\*. (Srok vvedeniya v deistvye 1 yanvaria 1986 h.). M.: HP TsPP, 1996. 214 s.
3. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannia: DBN V.2.3-14:2006. (Chynnyi vid 2007-02-01). K.: Ministerstvo bud-va, arkhitektury ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva, 2006. 359 s.
4. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Navantazhenia i vplyvy: DBN V.1.2-15:2009. (Chynnyi vid 2009-11-11). K.: Minrehionbud Ukrainy, 2009. 66 s.
5. Snytko N.K. Statycheskoe y dynamycheskoe davlenye hruntov y raschet podpornykh stenok. Yzd. 2-e, pererab. L.: Stroiyzdat. Lenynhr. otd., 1970. 209 s.
6. Budyn A.Ia., Demyna H.A. Naberezhnye: sprav. posobyе. M.: Stroiyzdat, 1990. 287 s.
7. Horbunov-Posadov M.M., Ylychev V.A., Krutov V.Y. y dr. Osnovaniya, fundamenty y podzemnye sooruzheniya. / pod red. E.A. Sorochana, Yu.H. Trofymenkova. M.: Stroiyzdat, 1989. 480 s.
8. Sokolovskiy V.V. Statyka сыpучеi среды. Yzd. 3- e, pererab. y dop. M.: Hos. yzd-vo fyz-mat. l-ry, 1960. 249 s.
9. Luchkovskiy Y.Ia., Nykytenko V.Y. Horyzontalnoe davlenye na vertykalnye ohrazhdeniya konstruksyi hlubokykh sooruzheniy. Avtomobilni dorohy i dor. bud-vo. K.: Budivelnik, 2004. S. 149- 159.
10. Luchkovskiy Y.Ia., Danko A.M. Nelyneinyi kharakter yzmeneniya aktyvnoho davleniya na podpornye stenky ot mestnoi nahruzky na poverkhnosty zasypky. Budivelni konstruksii. NDIBK, 2008. Vyp. 71. Kn. 1. S. 145-155.
11. Luchkovskiy Y.Ia., Chepurnoi D.A. Raspre-delenye horyzontalnoho davleniya hrunta na podpornye stenky pry mnohosloinom osnovanyu. Naukovyi visnyk bud-va. Kharkiv: KhDTUBA, KhOTV ABU, 2009. Vyp. 54. S. 281-285.
12. Luchkovskiy Y.Ia., Chepurnoi D.A. Yspolzovanye edynoi ploskosty obrusheniya pry opredeleniy davleniya hrunta na podpornye stenky pry mnohosloinom osnovanyu. Naukovyi visnyk bud-va. Kharkiv: KhDTUBA, KhOTV ABU, 2010. Vyp. 57. S. 159-163.
13. Luchkovskiy Y.Ia., Chepurnoi D.A. Novyi podkhod k raschetu davleniya mnohosloinoi zasypky

- подпорных стен. Науковий вісник буд-ва. Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2011. Вип. 63. С. 174-180.
14. Лучковский И.Я., Чепурной Д.А. Давление на подпорную стенку двухслойной засыпки, имеющей откос и полосовую нагрузку на поверхности. Науковий вісник буд-ва. Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2011. Вип. 65. С. 232- 236.
15. Емельянов Л.М. Расчет подпорных сооружений: справочное пособие. М.: Стройиздат, 1987. 288 с.
16. Wang Yuan-Shan, Zhao-ping Tang, Bin Zheng. Distribution of Active Earth Pressure of Retaining Wall with Wall Movement of Rotation about Top. Appl. Math and Meeh. Engl. Ed. 2004. 25. №7. P. 761-767.
17. Jun Zhang, Yi-sun Wang. Определение активного давления грунтов на подпорную стенку методом тонкого слоя. J. Changsha Commun. Univ. 2000. №16. P. 84-87.
18. Ci Gong, Jian-lin Yu, Ri-ging Xu, Gang Wei. Расчет горного давления на жесткую подпорную стенку с учетом ее вращения относительно основания. J. Zhejiang Univ. End Sci. 2005. 39. №1. P. 1690-1694.
19. Engineering method of calculating soil pressure on retaining walls. PNRPU Construction and Architecture Bulletin. 2017. 8(3). pp. 51-61. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2017.3.06>.
20. Zhang M. Study on Designing Theory and Engineering Application of Piled Retaining Wall Structure. Master Thesis Jiaotong University. Chengdu, China, 2007. P. 94-99.
- podpornykh sten. Naukovyi visnyk bud-va. Kharkiv: KhDTUBA, KhOTV ABU, 2011. Vyp. 63. S. 174-180.
14. Luchkovskiy Y.Ia., Chepurnoi D.A. Davlenye na podpornuiu stenku dvukhsloinoi zasypky, ymeiushchei otkos y polosovuiu nahruzku na pov-erkhnosty. Naukovyi visnyk bud-va. Kharkiv: KhDTUBA, KhOTV ABU, 2011. Vyp. 65. S. 232- 236.
15. Emelianov L.M. Raschet podpornykh sooru-zheniy: spravochnoe posobyе. M.: Stroiyzdat, 1987. 288 s.
16. Yuan-Shan Wang, Zhao-ping Tang, Bin Zheng. Distribution of Active Earth Pressure of Retaining Wall with Wall Movement of Rotation about Top. Appl. Math and Meeh. Engl. Ed. 2004. 25. №7. P. 761-767.
17. Jun Zhang, Yi-sun Wang. Opredelenye aktyvnoho davlenyia hruntov na podpornuiu stenku metodom tonkoho sloia. J. Changsha Commun. Univ. 2000. №16. P. 84-87.
18. Ci Gong, Jian-lin Yu, Ri-ging Xu, Gang Wei. Ra-schet hornoho davlenyia na zhestkuiu podpornuiu stenku s uchetom ee vrashchenyia otnosytelno os-novanyia. J. Zhejiang Univ. End Sci. 2005. 39. №1. P. 1690-1694.
19. Engineering method of calculating soil pressure on retaining walls. PNRPU Construction and Archi-tecture Bulletin. 2017. 8(3). pp. 51-61. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2017.3.06>.
20. Zhang M. Study on Designing Theory and Engi-neering Application of Piled Retaining Wall Struc-ture. Master Thesis Jiaotong University. Chengdu, China, 2007. P. 94-99.

**Kozhushko V.P., Krasnov S.M. SIDE PRESSURE ON THE BANK PIER OF THE BRIDGE FROM AC LOAD IN THE ABSENCE OF TRANSITION PLATES.** The share of the evenly distributed part of the AC load was established when determining the value of the lateral pressure  $E$  and the overturning moment  $M$  acting on the bank pier in relation to their total values (i.e. to the values that take into account the weight of the tandem). It was shown that the higher the pier the bigger the share of force from the evenly distributed part of the load.

**Key words:** bank pier, AC load, lateral pressure force, tipping moment, influence of evenly distributed part of AC load, tandem.