

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ УЩІЛЬНЮВАНОВОГО СЕРЕДОВИЩА ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ «ВІБРОМАЙДАНЧИК – ПОЛІМЕРНИЙ БЕТОН»

О. Г. Маслов, Д. В. Савслов

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

ORCID: 0000-0002-8860-2035; 0000-0002-5170-9621

Для теоретичного визначення напружено-деформованого стану ущільнюваного рухомою рамою вібраційного майданчику полімерного бетону виконано дослідження динамічної системи «вібраційний майданчик – полімерний бетон», в якій ущільнюваний вібраційним навантаженням полімерний бетон уявлено у вигляді системи з розподіленими параметрами. У результаті підстановки виразу, який описує закон руху рухомої рами вібраційного майданчику в робочому режимі, в залежність між напруженням і деформацією для умов одноосного напруженого стану було визначено закон зміни напружень, які виникають в ущільнюваному шарі полімерного бетону. Отриманий закон дозволяє визначати зміни напружень в основі і на поверхні шару полімерного бетону, який деформується рухомою рамою вібраційного майданчику. За отриманими теоретичними залежностями побудовано графіки, які наочно ілюструють зміни амплітуди коливань рухомої рами вібраційного майданчика залежно від висоти виробу; напружень, що виникають в основі і на поверхні ущільнюваного шару полімерного бетону, а також характер зміни напружень по висоті ущільнюваного шару залежно від відносної щільності шару полімерного бетону для обраного режиму вібраційної дії.

Ключові слова: вібраційний майданчик, полімерний бетон, коливання, деформація.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. В процесі вібраційного навантаження відбувається зміна напружено-деформованого стану полімерного бетону. При цьому характер розподілу напружень, які виникають в полімерному бетоні, що ущільнюється вібраційним навантаженням, значною мірою визначатиме режими вібраційної дії, конструктивні і технологічні особливості вібраційного обладнання.

На сьогоднішній день накопичено значний досвід наукових досліджень вібраційного ущільнення ґрунтів [1–3], цементних і асфальтних бетонів [4–9], що базуються на їх модельному уявленні. Детальне ознайомлення з цими роботами дозволяє зробити висновок про те, що для визначення закономірностей зміни напружень при різних способах вібраційної дії досліджувалися динамічні системи «вібраційний робочий орган – ґрунт», «вібраційний майданчик – ущільнюване середовище» і т.п. При цьому велике значення мав вибір реологічних моделей, які адекватно описують напружено-деформований стан таких динамічних систем. Такий підхід дозволив з достатньо високим ступенем точності отримувати закономірності зміни напружень, які виникають у шарі середовища, що ущільнюється.

Відомо, що систематичні дослідження вібраційної обробки полімерних бетонів, визначення їх фізико-механічних властивостей і раціональних областей застосування почалися дещо пізніше, ніж ґрунтів, цементних і асфальтних бетонів.

При цьому для науково-обґрунтованого вибору раціональних режимів вібраційної дії та параметрів обладнання для ущільнення полімерного бетону різних висот, суттєве значення має виявлення закономірностей зміни напружень, які виникають при вібраційній дії на ущільнюваний полімерний бетон. Все це свідчить про те, що проведення теоретичних досліджень, спрямованих на вивчення характеру розподілу напружень, що виникають в шарі полімерного бетону при його ущільненні на вібромайдан-

чику залежно від розміру виробу і фізико-механічних характеристик матеріалу, що ущільнюється, є досить актуальним завданням.

Метою цих досліджень є теоретичне визначення характеру зміни напружень, що виникають у шарі полімерного бетону при його ущільненні на вібромайданчику з вертикально спрямованими коливаннями.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. У роботі [10] розроблено розрахункову схему динамічної системи «вібромайданчик – полімерний бетон» (рис. 1). У результаті проведення теоретичних досліджень процесів, що відбуваються в динамічній системі «вібромайданчик – полімерний бетон», в якій полімерний бетон уявлено у вигляді системи з розподіленими параметрами, був визначений закон руху рухомої рами вібраційного майданчику, яка у робочому режимі ущільнення взаємодіє з полімерним бетоном. Отриманий закон руху має такий вигляд [10]:

$$u(x, t) = \frac{A}{\sqrt{(ch\alpha H \cos kH)^2 + (sh\alpha H \sin kH)^2}} \times [ch[\alpha(H-x)]\cos[k(H-x)]\sin(\omega t - \varphi) + sh[\alpha(H-x)]\sin[k(H-x)]\cos(\omega t - \varphi)]. \quad (1)$$

де H – висота ущільнюваного шару; k – хвильове число; α – коефіцієнт поглинання вібраційного навантаження, який характеризує зменшення амплітуди коливань при віддаленні від джерела збудження; A – амплітуда вимушених коливань рухомої рами вібромайданчику і нижнього шару полімерного бетону; ω – кутова частота вимушених коливань, φ – кут зсуву фаз, t – поточний час.

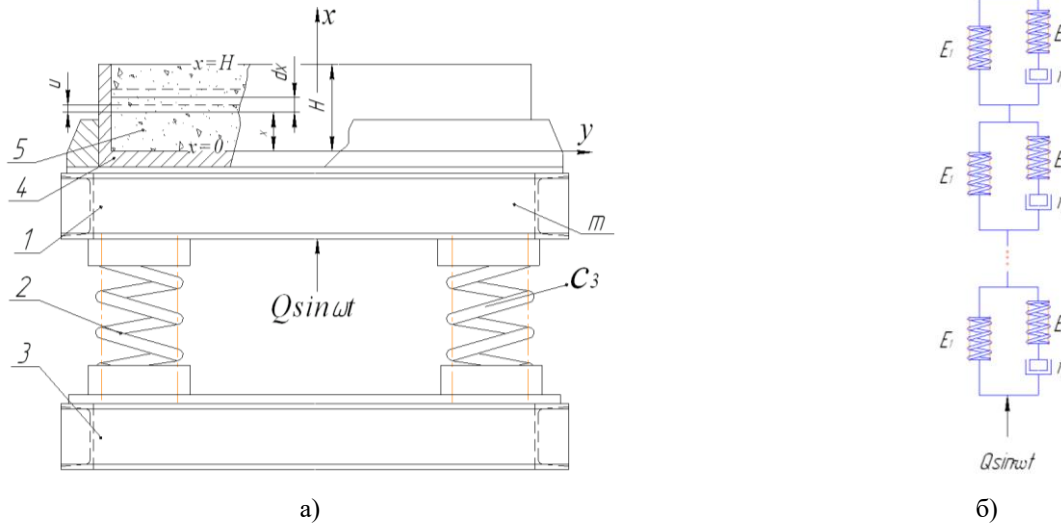


Рисунок 1 – Розрахункова схема динамічної системи «вібромайданчик – полімерний бетон» а) і реологічна модель ущільнюваного шару полімерного бетону б) [10]:
 1 – рухома рама; 2 – пружний амортизатор; 3 – основа; 4 – форма; 5 – полімерний бетон

Вирази для аналітичного визначення значень k , α , c_n , b_n і m_n визначені в роботі [10].

Для теоретичного визначення закону зміни напружень, що виникають в ущільнюваному на вібраційному майданчику шарі полімерного бетону, підставимо вираз (1) в залежність між напруженням і деформацією в полімерному бетоні [10, 11]:

$$\sigma(x,t) = E_1 \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} + \eta \cdot \left(\frac{E_1 + E_2}{E_2} \right) \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x \partial t} - \left(\frac{\eta \cdot \rho}{E_2} \right) \frac{\partial^3 u(x,t)}{\partial t^3}, \quad (2)$$

де $\sigma(x,t)$ – напруження, що виникають в ущільнюваному шарі полімерного бетону; u і x – ейлерова і лагранжева координати; E_1 і E_2 – динамічні модулі пружної деформації полімерного бетону; η – коефіцієнт динамічної в'язкості, що враховує внутрішнє тертя в полімерному бетоні.

Підставляючи вираз (1) в залежність (2), визначимо закон зміни напружень, що виникають в ущільнюваному шарі полімерного бетону:

$$\sigma_1(x,t) = \frac{A \cdot \sqrt{E_1^2 + \lambda^2 \cdot \omega^2} \cdot \sqrt{k^2 + \alpha^2}}{\sqrt{(ch\alpha H \cos kH)^2 + (sh\alpha H \sin kH)^2}} \times \{ ch\alpha(H-x) \sin k(H-x) \sin(\omega t - \theta_1) - sh\alpha(H-x) \cos k(H-x) \cos(\omega t - \theta_1) - \frac{\xi \cdot \omega^3}{\sqrt{E_1^2 + \lambda^2 \cdot \omega^2} \cdot \sqrt{k^2 + \alpha^2}} \times [ch\alpha(H-x) \cos k(H-x) \sin(\omega t - \varphi) + sh\alpha(H-x) \sin k(H-x) \cos(\omega t - \varphi)] \}, \quad (3)$$

де θ , φ_3 і φ_4 – кути зсуву фаз:

$$\theta = \varphi - \varphi_3 + \varphi_4; \quad \varphi_3 = \arctg(\lambda\omega / E_1); \quad \varphi_4 = \arctg(\alpha / k). \quad (4)$$

З аналізу отриманого виразу (4) можна зробити висновок, що на величину виникаючих напружень $\sigma(x,t)$ істотний вплив чинять амплітуда вимушених коливань A рухомої рами вібромайданчику, кутова частота вимушених коливань ω , висота H шару, що ущільнюється, хвильове число k , коефіцієнт подлинання вібраційного навантаження α .

З виразу (4) визначимо закон зміни напружень в основі ущільнюваного шару при $x = 0$:

$$\sigma_1(0,t) = \frac{A \cdot \sqrt{E_1^2 + \lambda^2 \cdot \omega^2} \cdot \sqrt{k^2 + \alpha^2}}{\sqrt{(ch\alpha H \cos kH)^2 + (sh\alpha H \sin kH)^2}} \times \{ ch\alpha H \sin kH \sin(\omega t - \theta_1) - sh\alpha H \cos kH \cos(\omega t - \theta_1) - \frac{\xi \cdot \omega^3}{\sqrt{E_1^2 + \lambda^2 \cdot \omega^2} \cdot \sqrt{k^2 + \alpha^2}} \times [ch\alpha H \cos kH \sin(\omega t - \varphi) + sh\alpha H \sin kH \cos(\omega t - \varphi)] \}, \quad (5)$$

а також на його поверхні при $x = H$:

$$\sigma_1(H,t) = - \frac{A \cdot \xi \cdot \omega^3}{\sqrt{(ch\alpha H \cos kH)^2 + (sh\alpha H \sin kH)^2}} \times \sin(\omega t - \varphi). \quad (6)$$

Напруження, що виникають у полімерному бетоні від дії власних сил тяжіння полімербетонного шару, можуть бути визначені за залежністю [12]:

$$\sigma_2(x,t) = -\rho \cdot g \cdot (H - x). \quad (7)$$

Загальне напруження, що виникає в ущільнюваному полімерному бетоні при вібраційній дії, визначається за залежністю [12]:

$$\sigma(x,t) = \sigma_1(x,t) + \sigma_2(x,t). \quad (8)$$

Аналіз залежностей (3), (7) і (8) свідчить про те, що напруження, які виникають в ущільнюваному

вібраційним навантаженням полімерному бетону, мають асиметричний характер. Це означає, що величина стискаючих напружень більше величини напружень, що розтягують. Отже, забезпечується більш ефективно ущільнення полімерного бетону.

Теоретичні дослідження перевірялися на лабораторному вібромайданчику з такими параметрами: маса рухомої рами $m = 24$ кг; амплітуда збуджуючої сили $Q = 981$ Н; кутова частота вимушених коливань $\omega = 293$ рад/с; жорсткість пружних амортизаторів $c_3 = 235440$ Н/м; амплітуда коливань рухомої рами вібромайданчика в режимі холостого ходу $A_{х.х} = 0,47$ мм. На вібромайданчику ущільнювався полімерний бетон у формі розміром в плані $0,3 \times 0,3$ м² такого структурного складу [7]: щебінь гранітний фракції 5-20 (50 % від загального об'єму суміші), пісок річний з модулем крупності $M_k = 1,8$ (22-27 %); маршаліт фракції 0,05 мм (10-15 %); поліефірна смола Filabond 2000 PA (5 %); затверджувач МЕКР-НА-2 (0,5...1 %).

На рис. 2 показано зміну амплітуди коливань A рухомої рами вібромайданчику.

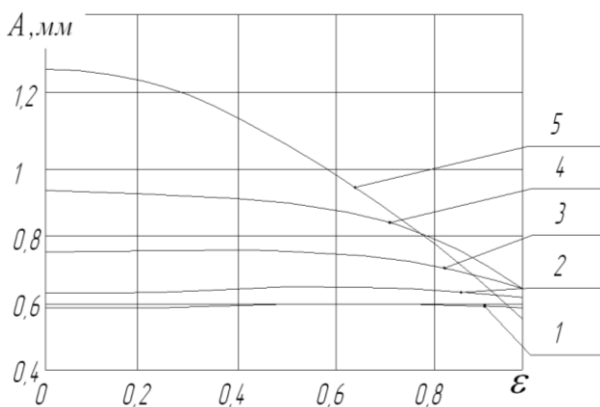


Рисунок 2 – Зміна амплітуди коливань A рухомої рами вібромайданчику залежно від відносної щільності ε і висоти H шару, що ущільнюється:
 1 – при $H = 50$ мм; 2 – при $H = 60$ мм;
 3 – при $H = 80$ мм; 4 – при $H = 100$ мм;
 5 – при $H = 120$ мм

Представлені на рис. 2 криві зміни амплітуди показують, що суттєвий вплив на амплітуду коливань рухомої рами вібромайданчику чинять фізико-механічні характеристики полімерного бетону, його відносна щільність ε і висота H шару, що ущільнюється.

При обраному режимі вібраційної дії зі збільшенням висоти H шару, що ущільнюється, амплітуда коливань A рухомої рами вібромайданчику збільшується.

При цьому у процесі вібраційного ущільнення при збільшенні відносної щільності полімерного бетону ε від 0 до 1 і висоті шару $H = 50$ мм амплітуда A вимушених коливань рухомої рами вібромайданчика і нижнього шару полімерного бетону складає 0,59 мм та практично не змінюється.

При ущільненні шарів полімерного бетону з висотами $H = 60$ і 80 мм при збільшенні відносної щільності полімерного бетону ε від 0 до 1 амплітуда A вимушених коливань рухомої рами вібромайданчика і нижнього шару полімерного бетону зменшується з 0,63 до 0,61 мм при $H = 60$ мм і з 0,73 до 0,65 мм при $H = 80$ мм.

При ущільненні шарів з висотами $H = 100$ і 120 мм при збільшенні відносної щільності полімерного бетону ε від 0 до 1 відбувається значне зменшення амплітуди коливань A рухомої рами вібромайданчика відповідно з 0,93 до 0,65 мм при $H = 100$ мм і з 1,26 мм до 0,57 мм при $H = 120$ мм.

На рис. 3 і 4 показано зміну амплітуди напружень в основі $\sigma(0)$ і на поверхні $\sigma(H)$ шару, що ущільнюється, залежно від відносної щільності ε полімерного бетону.

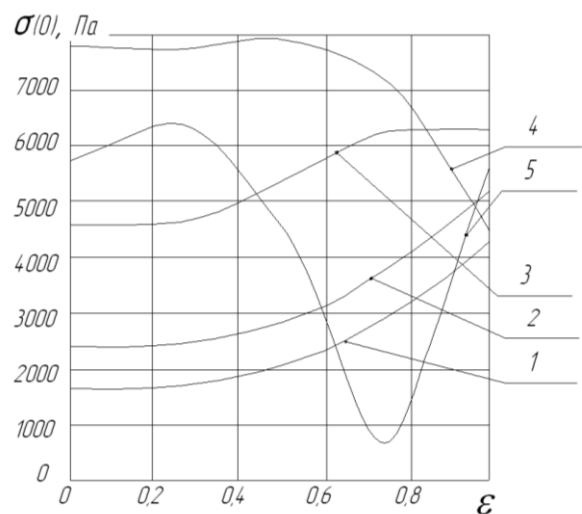


Рисунок 3 – Зміна напружень в основі $\sigma(0)$ шару полімерного бетону залежно від відносної щільності ε і висоти H шару, що ущільнюється:
 1 – при $H = 50$ мм; 2 – при $H = 60$ мм;
 3 – при $H = 80$ мм; 4 – при $H = 100$ мм;
 5 – при $H = 120$ мм

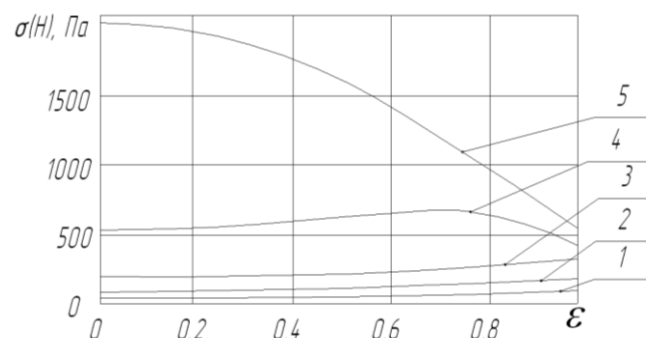


Рисунок 4 – Зміна напружень на поверхні $\sigma(H)$ шару полімерного бетону залежно від відносної щільності ε і висоти H шару, що ущільнюється:
 1 – при $H = 50$ мм; 2 – при $H = 60$ мм;
 3 – при $H = 80$ мм; 4 – при $H = 100$ мм;
 5 – при $H = 120$ мм

Представлені на рис. 3 і 4 графічні результати показують, що при обраному вібраційному режимі при ущільненні шарів висотою H , що дорівнює 50, 60 і 80 мм зі збільшенням відносної щільності ε амплітуда напружень збільшується як в основі $\sigma(0)$, так і на поверхні $\sigma(H)$ шару полімерного бетону.

При висоті шару 120 мм на кінцевій стадії процесу ущільнення відбувається зменшення амплітуди напружень з 5689 Па до 5591 Па в основі шару, що ущільнюється (рис. 3) та з 1962 Па до 578 Па на поверхні шару, що ущільнюється (рис. 4). Отже, тривалість процесу вібраційного ущільнення буде збільшуватися.

Одним з основних параметрів, які визначають напружено-деформований стан шарів, що ущільнюються, і, як наслідок, якість одержуваних полімербетонних композицій, є характер розподілу напружень по висоті шару H .

На рис. 5–9 наведено графіки зміни напружень σ по висоті H шару, що ущільнювався. Для побудови цих графіків використовувалися отримані теоретичні вирази (4), (8) і (9). Висота H шарів, що ущільнювалися, дорівнювала 50, 60, 80, 100 та 120 мм.

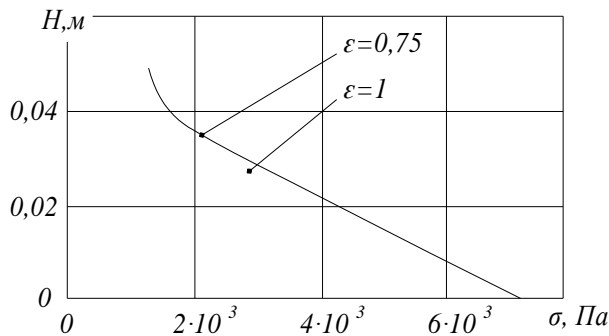


Рисунок 5 – Зміна напружень σ по висоті ущільнюваного шару полімерного бетону при $H = 50$ мм

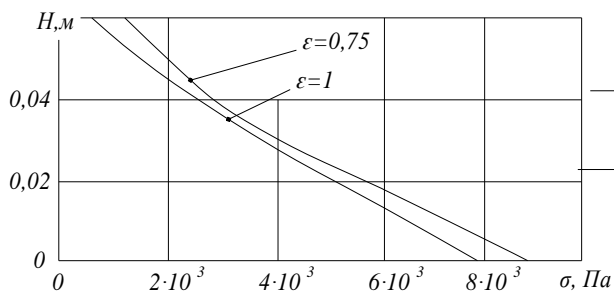


Рисунок 6 – Зміна напружень σ по висоті ущільнюваного шару полімерного бетону при $H = 60$ мм

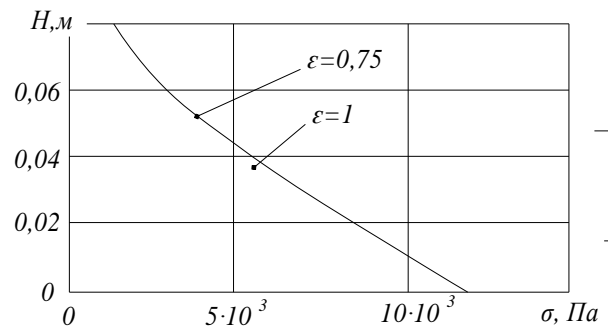


Рисунок 7 – Зміна напружень σ по висоті ущільнюваного шару полімерного бетону при $H = 80$ мм

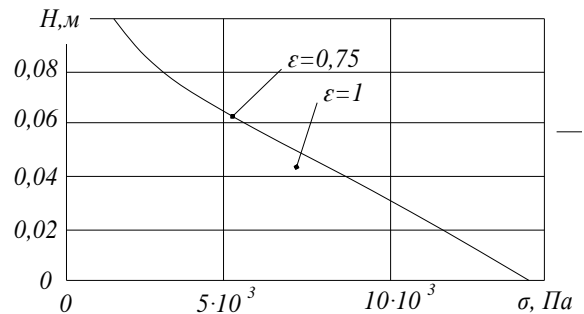


Рисунок 8 – Зміна напружень σ по висоті ущільнюваного шару полімерного бетону при $H = 100$ мм

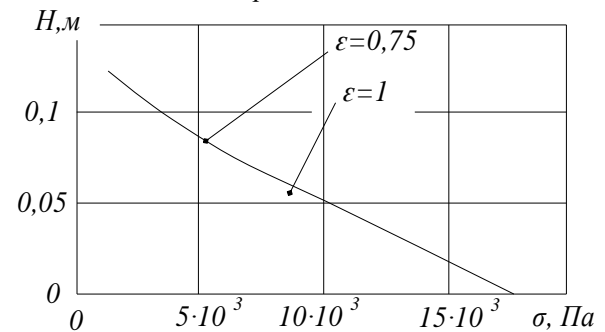


Рисунок 9 – Зміна напружень σ по висоті ущільнюваного шару полімерного бетону при $H = 120$ мм

При цьому кожен шар висотою H розбивався на ряд проміжних значень x . Наприклад, для висоти шару $H = 120$ мм, для кожної відносної щільності ε визначалися значення напружень за проміжними значеннями висоти, тобто при $x = 0, 20, 40, 60, 80$ та 120 мм.

Значення відносної щільності ε дорівнювали 0, 0,25, 0,5, 0,75 та 1.

Значення кутової координати ωt приймалися у межах від 0^0 до 270^0 . Числові значення напружень визначалися для кожного значення проміжної висоти x і відносної щільності ε через кожні 10^0 , тобто при значеннях кутової координати $\omega t = 0^0, 10^0, 20^0, 30^0, 40^0 \dots 270^0$.

З отриманого ряду числових значень напружень обирались найбільші значення одного знаку.

Аналіз наведених на рис. 5–9 графіків свідчить про те, що на величину напружень суттєвий вплив

чинить висота H і відносна щільність ε ущільнюваного шару полімерного бетону. Так амплітуда напружень σ має найбільші значення у нижніх шарах полімерного бетону, які взаємодіють з рухомою рамою вібромайданчику.

Це пояснюється тим, що нижні шари полімерного бетону розташовуються у безпосередній близькості до джерела збудження і одночасно випробовують додаткові вертикальні стискаючі напруження від дії сил тяжіння полімербетонного шару.

При збільшенні висоти H шару, що ущільнюється, амплітуда напружень σ швидко зменшується. Це відбувається тому, що зі збільшенням висоти H шару, що ущільнюється, одночасно відбувається зменшення величини вертикальних стискаючих напружень від дії сил тяжіння, а також віддалення від джерела збудження, внаслідок чого зменшується амплітуда коливань A . У результаті цього верхні шари будуть недоущільненими і, як наслідок, матимуть меншу механічну міцність.

Тому для інтенсифікації процесу ущільнення при цих висотах необхідно або змінити частоту коливань, або використовувати привантажувач.

ВИСНОВКИ. У результаті проведених досліджень динамічної системи «вібромайданчик – полімерний бетон» отримано теоретичні вирази, які дозволяють визначити закон зміни напружень, що виникають в ущільнюваному шарі полімерного бетону при його ущільненні на вібромайданчику залежно від його фізико-механічних характеристик, амплітуди і частоти вимушених коливань і висоти шару, що ущільнюється.

Знайдені залежності дозволяють визначити характер зміни напружень по висоті ущільнюваного шару полімерного бетону залежно від відносної щільності. Отримані результати покладені в основу проведення подальших теоретичних досліджень з аналітичного визначення закону руху і зміни напружень, що виникають в ущільнюваному шарі полімерного бетону при дії на нього інерційного або вібраційного привантажувача.

ЛІТЕРАТУРА

1. Minaev O. P. Russian methods and equipment for spatial vibrocompaction foundations and structures. Japanese Geotechnical Society Special Publication. 2015. Vol. 2. Is. 80. Pp. 2747–2750. DOI: 10.3208/jgssp.TC305-11.
2. Маслов А. Г., Савелов Д. В. Вибрационный прокол грунтов. Кременчук : КрНУ, 2019. 102 с.
3. Маслов А. Г., Савелов Д. В. Теоретические исследования процесса взаимодействия вибрационной головки грунтопрокалывающей установки с грунтом. *Зб. наук. пр. Кіровоградського державного технічного університету «Техніка в сільськогосподар-*

ському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація». Вип. 13. Кіровоград: КДТУ, 2003. С. 26–32.

4. Maslov A., Janar Batsaikhan, Puzyr R, Salenko Yu. The Determination of the Parameters of a Vibration Machine of the Internal Compaction of Concrete Mixtures. *International Journal of Engineering and Technology*, 2018, Vol. 7 (4.3), pp. 12–19. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19545

5. Маслов А. Г., Иткин А. Ф. Исследование процесса уплотнения цементобетонной смеси на вибрационной площадке с вертикально направленными колебаниями. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*, 2004. Вип. 6/2004 (29). Кременчук, С. 86–91.

6. Маслов А. Г., Иткин А. Ф. Исследование взаимодействия виброплощадки с цементобетонной смесью при вертикальных колебаниях. *Вестник Харьковського національного автомобільно-дорожного університету*, 2004. Вип. 27. С. 141–144.

7. Назаренко І. І., Баранов Ю. О., Басараб В. А. Дослідження взаємодії бетонної суміші з робочим органом електромагнітної ударно-вібраційної установки. *Вібрації в техніці та технологіях*, 2013. Вип. 3(71). С. 55–60.

8. Свідерський А. Т. Дослідження динаміки вібраційної машини із урахуванням напружено-деформованого стану пружно-пластичного середовища. *Вібрації в техніці та технологіях*, 2013. Вип. 3(71). С. 41–45.

9. Жанар Батсайхан. Разработка теории взаимодействия виброплощадки с бетонной смесью. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, 2019. Вип. 6/2019 (119). С. 112–117.

10. Маслов А. Г., Савелов Д. В. Теоретическое определение закона движения подвижной рамы виброплощадки с полимерным бетоном при его уплотнении. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, 2020. Вип. 4/2020 (123). С. 84–90, DOI: 10.30929/1995-0519.2020.4.84-90

11. Маслов А. Г., Савелов Д. В. Збірник наукових праць за матеріалами VII Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні тенденції розвитку машинобудування та транспорту» 11-13 листопада 2020 року, м. Кременчук. С. 167–169.

12. Маслов А. Г., Иткин А. Ф. Исследование процесса уплотнения цементобетонной смеси на вибрационной площадке с вертикально направленными колебаниями. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*, Вип. 6/2004 (29). Кременчук, 2004. С. 86–91.

THEORETICAL STUDIES OF THE STRAIN-DEFORMED STATE OF THE COMPACTED MEDIUM OF THE DYNAMIC SYSTEM "VIBRATING PLATFORM - POLYMER CONCRETE"

O. Maslov, D. Savielov

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

ORCID: 0000-0002-8860-2035, 0000-0002-5170-9621

Purpose. The purpose of these studies is the theoretical determination of the stress-strain state of the compacted medium of the dynamic system "vibration platform - polymer concrete". **Methodology.** To theoretically determine the stress-strain state of the polymer concrete compacted by the movable frame of the vibrating platform, a study of the dynamic system "vibrating platform - polymer concrete" was performed, in which polymer concrete compacted by vibration loading is presented as a system with distributed parameters. During the theoretical research, the substitution of the expression describing the law of motion of the vibrating platform moving frame in the operating mode, in the dependence between stress and strain, which is written for the conditions of uniaxial stress. **Results.** As a result, the law of change of stresses arising in the compacted layer of polymer concrete was determined. The analysis of the obtained expression allowed us to conclude that the amplitude of stresses arising in the polymer concrete layer is significantly influenced by the amplitude of forced oscillations of the moving frame of the vibrating platform, the angular frequency of forced oscillations, the height of the compacted polymer concrete layer; vibration load absorption coefficient. **Originality.** New theoretical expressions are obtained, which allow to determine the change of stress amplitude in the base and on the surface of the polymer concrete layer, which is deformed by the movable frame of the vibrating platform. According to the obtained theoretical dependences, graphs are constructed that clearly illustrate the peculiarities of changes in the amplitude of oscillations of the moving frame of the vibrating platform depending on the height of the product, stresses arising at the base and on the surface of the compacted polymer concrete layer at the selected vibration load. For the first time, graphical dependences are constructed, which illustrate the peculiarities of stress change along the height of the compacted layer depending on the relative density of the polymer concrete layer for the selected vibration mode when modeling the compacted polymer concrete medium by Ziner's rheological model. **Practical value.** Theoretical studies of the dynamic system "vibration platform - polymer concrete" allow to determine the modes of vibration exposure (amplitude and frequency of forced vibrations), design and technological features of vibration equipment.

Key words: vibration platform, polymer concrete, vibrations, deformation.

REFERENCES

- Maslov, A. G., Ponomar', V. M. (1985). Vibracionnye mashiny i processy v dorozhnom stroitel'stve [Vibration machines and processes are in travelling building]. *Budivel'nik*, Kiev. [in Ukraine]
- Maslov, A.G., Savelov, D.V. (2019). Vibracionnyj prokol gruntov [Vibration puncture of soils]. Kremenchuk: KrNU. [in Ukraine]
- Maslov, A. G., Savelov, D. V. (2003). "Theoretical studies of interaction process of the soil-piercing installation vibration head with the soil", *Academic Journal Series of Kirovograd State Technical University "Machinery in Agricultural Production, Industrial Machine Building, Automation"*. Kirovograd: KSTU, Vol. 13, pp. 26–32. [in Ukraine]
- Maslov, A., Janar Batsaikhan, Puzyr, R., Salenko, Yu. (2018). The Determination of the Parameters of a Vibration Machine of the Internal Compaction of Concrete Mixtures. *International Journal of Engineering and Technology*. Vol. 7 (4.3), pp. 12–19. [in Switzerland] DOI: 10.14419/ijet.v7i4.3.19545
- Savelov, D., Puzyr, R., Markevich, A. (2015). Peculiarities of vibrational press dynamics with hard-elastic restraints in the working regime of metal powders molding. *Metallurgical and Mining Industry*. No. 2, pp. 67–74. [in Ukraine]
- Maslov, A. G., Itkin, A. F. (2004). "Investigation of the interaction of a vibrating platform with a cement-concrete mixture during vertical vibrations", *Transactions of Kharkiv national automobile and road University*. Kharkiv: KNADU, Issue (27), pp. 141–144. [in Ukraine]
- Nazarenko, I. I., Baranov, Yu. O., Basarab, V. A. (2013). Interaction investigation of the concrete mixture with the working body of the electromagnetic shock-vibration installation. *Vibrations in Engineering and Technology*. Vol. 3(71), pp. 55–60. [in Ukraine]
- Sviderskii, A. T. (2013). Investigation of the vibrating machine dynamics taking into account the stress-strain state of an elastic-plastic medium. *Vibrations in Engineering and Technology*. Vol. 3(71), pp. 41–45. [in Ukraine]
- Batsaikhan, Zhanar (2019). "The development of the theory of interaction of a vibrating platform with a concrete mixture", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. Kremenchuk: KRNU, Issue (119), pp. 112 – 117. [in Ukraine]
- Maslov, A. G., Savelov, D. V. (2020). "Theoretical definition of the law of motion mobile frame of a vibration platform with polymer concrete when compacting it", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. Kremenchuk: KRNU, Issue 4/2020 (123), pp. 84–90. [in Ukraine] DOI: 10.30929/1995-0519.2020.4.84-90
- Maslov, A. G., Savelov, D. V. (2020). Zbirnyk naukovykh prats za materialamy VII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Suchasni tendentsii rozvytku mashynobuduvannia ta transporty". November, 11-13, 2020, Kremenchuk. pp. 167–169. [in Ukraine]
- Maslov, A. G., Itkin, A. F. (2004). "Investigation of the process of compaction of cement concrete mix on a vibrating platform with vertically directed vibrations". *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. Kremenchuk: KRNU, Issue 6/2004 (29), pp. 86–91. [in Ukraine]

Стаття надійшла 11.01.2021.