

УДК 624.21:625.745.2

ХАРАКТЕР ЗМІНИ ВЕЛИЧИНИ ТИСКУ НА ВЕРШИНУ МЕТАЛЕВОЇ ГОФРОВАНОЇ ТРУБИ У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ВИСОТИ ЗАСИПКИ НАД НЕЮ ПРИ ДІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ДАВЛЕНИЯ НА ВЕРШИНУ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ГОФРИРОВАННОЙ ТРУБЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЫСОТЫ ЗАСЫПКИ НАД НЕЙ ПРИ ДЕЙСТВИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

CHARACTER CHANGE OF PRESSURE VALUE ON THE TOP OF THE CORRUGATED METAL PIPE DEPENDING ON THE HIGHT OF BACKFILL OVER IT AT THE ACTION OF ROLLING STOCK.

Ковальчук В. В., к.т.н. (Львівська філія Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна, м.Львів)

Ковальчук В. В., к.т.н. (Львовский филиал Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. ак. В. Лазаряна, г.Львов)

Kovalchuk V., Ph.D. (Lviv branch of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named by ac. B. Lazaryan, Lviv).

Розроблена математична модель розрахунку величини тиску на вершину металевої гофрованої труби у залежності від висоти засипки над нею. Для даного дослідження застосовані рівняння Буссінеска. Динамічним навантаженням є навантаження від дії рухомого складу залізниць.

Разработанная математическая модель расчета величины давления на вершину металлической гофрированной трубы в зависимости от высоты засыпки над ней. Для данного исследования применены уравнения Буссинеска. Динамической нагрузкой является нагрузка от воздействия подвижного состава железных дорог.

The mathematical model calculation of the pressure on the top of corrugated metal pipe, depending on the height of the filling over it. For this study Bussinesk's equation was used. Dynamic load is the load from the action of the rolling stock.

Ключові слова:

Металева гофрована труба, величина сили тиску, напружений стан.

Металлическая гофрированная труба, величина силы давления, напряженное состояние.

Corrugated metal pipe, the force of pressure, stress state.

Вступ. Металеві гофровані конструкції (МГК) відносяться до найбільш прогресивних і перспективних видів транспортних споруд. Серед основних об'єктів застосування: автодорожні та залізничні мости і шляхопроводи; тунелі; пішохідні переходи; водопропускні труби, підпірні стінки та ін.

Постановка проблеми. В процесі експлуатації металевих гофрованих конструкцій спостерігається виникнення залишкових деформацій горизонтального та вертикального діаметрів, просідання залізничної колії та автомобільної дороги над вершиною металевої гофрованої трубы (МГТ). Все це свідчить про те, що дослідження несучої здатності металевих гофрованих конструкцій є необхідними та актуальними.

Однією із причин появи надлишкових деформацій горизонтального та вертикального діаметрів МГК є недостатня висота засипки над вершиною трубы. Проведення досліджень впливу висоти засипки на розподіл зусиль на вершині металевої гофрованої трубы надасть змогу проектувальникам обґрунтованого вибору висоти засипки на стадії проектування МГК, що призведе до збільшення їх несучої здатності, а від так і терміну служби та зробить їх ще ефективнішими транспортними спорудами на залізничних та автомобільних дорогах, як в Україні так і за її межами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно із нормами [1-5] товщина засипки над вершиною металевої гофрованої трубы, які споруджуються для залізничних колій повинна бути не меншою за 1,2 м, а для автомобільних доріг загального користування не менше 0,5 м. При цьому висота засипки рахується від верху елементу (плити перекриття) трубы, або від верхньої точки склепіння до підошви рейок на залізницях, або до низу дорожнього одягу – на автомобільних дорогах (рис.1).

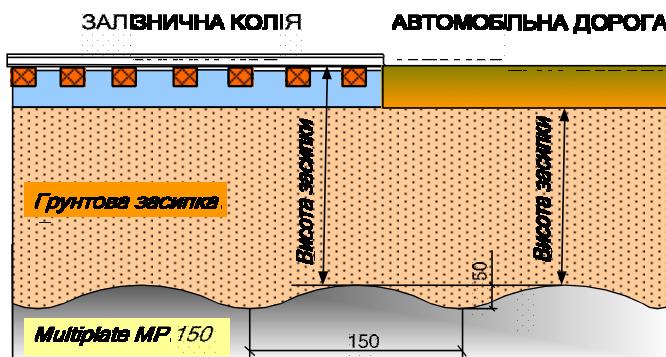


Рис.1. Схема до визначення висоти засипки для залізничної колії та автомобільної дороги

Мета роботи – провести дослідження впливу висоти засипки на величину сил тиску, які виникають на вершині металевої гофрованої труби при дії навантажень від рухомого складу залізниць.

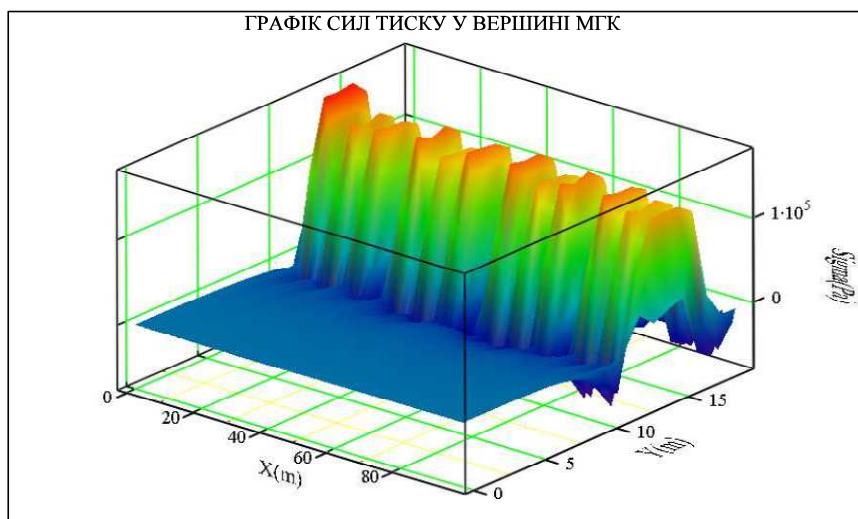
Виклад матеріалу досліджень. Для визначення сил тиску на вершину труби металевої гофрованої конструкції були використанні рівняння Буссінеска [7]. Програма реалізації розрахунку даних рівнянь наведена на рис.2.

Вихідні дані. Для проведення досліджень була прийнята металева гофрована труба конструкції Multiplate MP 150 довжиною 12,69 м у формі горизонтального елісу з наступними параметрами: внутрішнім вертикальним діаметром 6,20 м, внутрішнім горизонтальним діаметром 6,57 м, довжиною хвилі гофри 150 мм, висотою хвилі гофри 50 мм, товщиною металевого листа 6 мм, щільністю цинкового покриття товщиною 85 мікрон (567 г/m^2), питома вага ґрунту засипки становить $\gamma=20 \text{ кН/m}^3$; модуль деформації ґрунту засипки – $E_0=33 \text{ МПа}$; відстань від підошви рейок до верху склепіння трубы – $h=1,88 \text{ м}$; модуль пружності сталі – $E=2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; коефіцієнт Пуассона матеріалу споруди – $\nu=0,25$; питома вага матеріалу МГК – $\gamma_{sh}=145,4 \text{ кН/m}^2$; площа перерізу однієї хвилі гофри – $A=11,355 \text{ см}^2$; розрахунковий опір сталі за межею текучості – $R_y=235 \text{ МПа}$; коефіцієнт умов роботи – $m=0,9$.

$$\text{boussinesq1}\left(q, a, b, x, y, h_{cl}, \text{neg}\right) := \begin{cases} m_{j,i} \leftarrow \begin{pmatrix} \frac{x}{h_{cl}} \\ \frac{|x-a|}{h_{cl}} \\ \frac{|x|}{h_{cl}} \\ \frac{|x-a|}{h_{cl}} \end{pmatrix} \\ n_{j,i} \leftarrow \begin{pmatrix} \frac{y}{h_{cl}} \\ \frac{|y-b|}{h_{cl}} \\ \frac{|y|}{h_{cl}} \\ \frac{|y-b|}{h_{cl}} \end{pmatrix} \\ \text{for } i \in 0..3 \\ f_{0,i} \leftarrow \frac{1}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{2 \cdot m_{j,i} \cdot n_{j,i} \cdot \sqrt{\left(m_{j,i}\right)^2 + \left(n_{j,i}\right)^2 + 1}}{\left(\left(m_{j,i}\right)^2 + \left(n_{j,i}\right)^2 + 1\right)^2 + 1 + \left(m_{j,i}\right)^2 \cdot \left(n_{j,i}\right)^2} \cdot \frac{\left(m_{j,i}\right)^2 + \left(n_{j,i}\right)^2 + 2}{\left(m_{j,i}\right)^2 + \left(n_{j,i}\right)^2 + 1 + \sin\left(2 \cdot m_{j,i} \cdot n_{j,i} \cdot \sqrt{\left(m_{j,i}\right)^2 + \left(n_{j,i}\right)^2 + 1}\right)} \\ \text{trace}\{f_{0,i}\} \\ \sigma_x \leftarrow q \cdot \left(f_{0,0} - f_{0,1} - f_{0,2} + f_{0,3}\right) \text{ if } x > a \wedge y > b \\ \sigma_x \leftarrow q \cdot \left(f_{0,0} - f_{0,1} - f_{0,2} + f_{0,3}\right) \text{ if } x < 0 \wedge y < 0 \\ \sigma_x \leftarrow -q \cdot \left(f_{0,0} - f_{0,1} - f_{0,2} + f_{0,3}\right) \text{ if } x < 0 \wedge y > b \\ \sigma_x \leftarrow -q \cdot \left(f_{0,0} - f_{0,1} - f_{0,2} + f_{0,3}\right) \text{ if } x > a \wedge y < 0 \\ \sigma_x \leftarrow q \cdot \left(f_{0,0} + f_{0,1} - f_{0,2} - f_{0,3}\right) \text{ if } x > 0 \wedge x < a \wedge y > 0 \\ \sigma_x \leftarrow q \cdot \left(f_{0,0} + f_{0,1} + f_{0,2} + f_{0,3}\right) \text{ if } x \geq 0 \wedge x \leq a \wedge y \geq 0 \wedge y \leq b \\ \sigma_x \leftarrow q \cdot \left(f_{0,0} - f_{0,1} + f_{0,2} - f_{0,3}\right) \text{ if } x > a \wedge y > 0 \wedge y < b \\ \sigma_x \leftarrow -q \cdot \left(f_{0,0} - f_{0,1} + f_{0,2} - f_{0,3}\right) \text{ if } x < 0 \wedge y > 0 \wedge y < b \\ \sigma_x \leftarrow 0 \text{ Pa if } \sigma_x < 0 \text{ Pa} \wedge \text{neg} = 1 \\ \text{return } \sigma_x \end{cases}$$

Рис.2. Блок-схема розрахунку сил тиску на вершину МГК

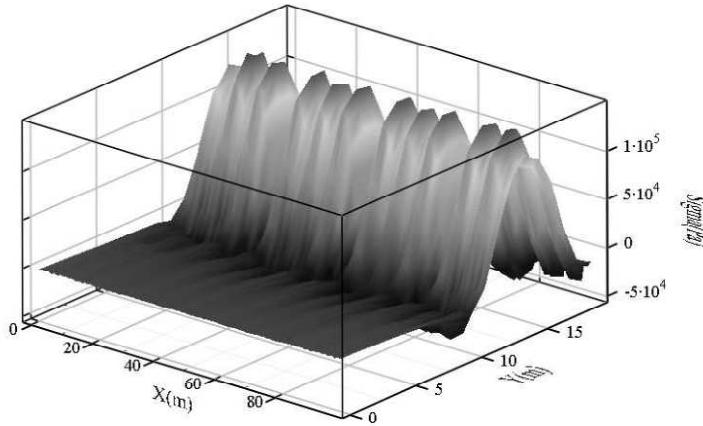
При визначенні сил тиску на вершину металевої гофрованої труби задавався ступінь ущільнення ґрунтової засипки рівним 97%, який розраховується згідно методу Проктора [7]. Навантаження задавалися від локомотива 2М62. При цьому еквівалентні сили, були отримані із розрахунків колії на міцність [6]. При виконанні даних розрахунків задавалася нерівність, яка виникла при експлуатації металевої гофрованої конструкції наступних параметрів: довжина нерівності – 5,7 м; висота нерівності – 44,7 мм та ухил 16,5%. В результаті отримували значення еквівалентних сил на кожну шпалу і у подальшому вони задавалися у розроблену програму, яка створена за методикою Петерсена [7]. При задані різних значень висот засипки над металевою гофрованою трубою визначалися значення сил тиску на вершину металевої гофрованої труби. Результати розрахунків сил тиску на вершину металевої гофрованої труби, які отримані за допомогою програмного середовища Matchad 14 наведені на рис.3-7 та табл.1.



$$\text{Sum}_{\text{bus}, \sigma}(P_{\text{ekv}, 2}, \text{pos}_{\text{ekv}, 2}, h_c)$$

Рис.3. Графік сил тиску при модулі підрейкової пружності 92,1 МПа та висоті ґрунтової засипки 0,50 м.

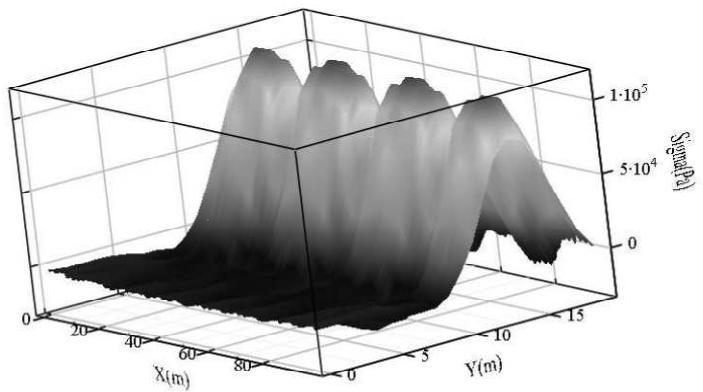
ГРАФІК СИЛ ТИСКУ У ВЕРШИНІ МГК



$$\text{Sum}_{\text{bus},\sigma}(P_{\text{ekv},2}, \text{pos}_{\text{ekv},2}, h_c)$$

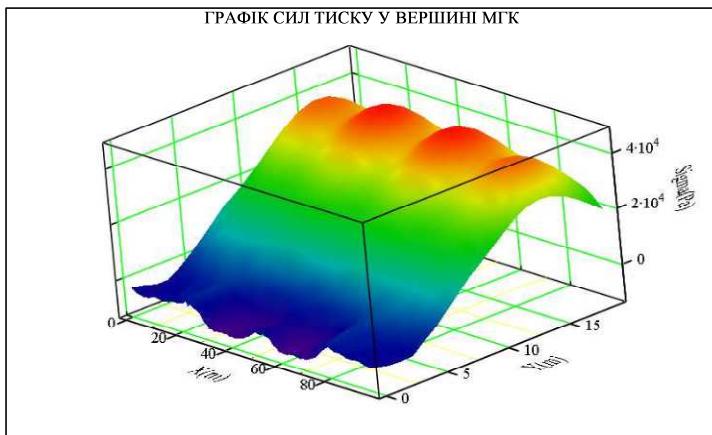
Рис.4. Графік сил тиску при модулі підрейкової пружності 92.1 МПа та висоті ґрунтової засипки 1,00 м.

ГРАФІК СИЛ ТИСКУ У ВЕРШИНІ МГК



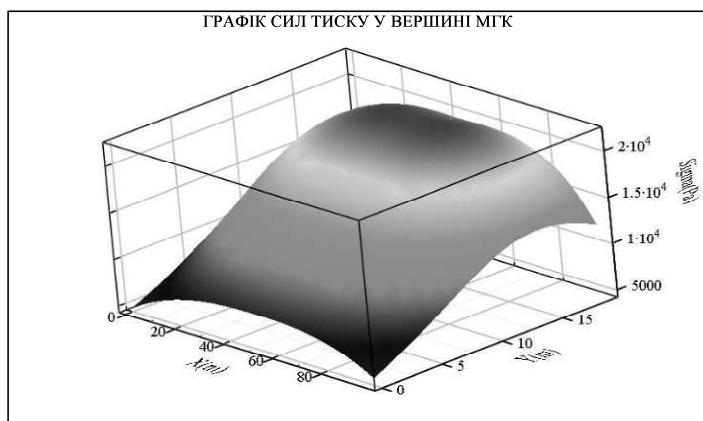
$$\text{Sum}_{\text{bus},\sigma}(P_{\text{ekv},2}, \text{pos}_{\text{ekv},2}, h_c)$$

Рис.5. Графік сил тиску при модулі підрейкової пружності 92.1 МПа та висоті ґрунтової засипки 1,88 м.



$$\text{Sum}_{\text{bus}, \sigma}(P_{\text{ekv}, 2}, \text{pos}_{\text{ekv}, 2}, h_c)$$

Рис.6. Графік сил тиску при модулі підрейкової пружності 92.1 МПа та висоті ґрунтової засипки 5,00 м.



$$\text{Sum}_{\text{bus}, \sigma}(P_{\text{ekv}, 2}, \text{pos}_{\text{ekv}, 2}, h_c)$$

Рис.7. Графік сил тиску при модулі підрейкової пружності 92.1 МПа та висоті ґрунтової засипки 10,00 м.

Таблиця 1

Розрахункові величини сил тиску на вершину МГК

Розрахункові параметри	Висота засипки, м				
	0,5	1,0	1,88	5,0	10,0
Величина сили тиску на вершину МГК, кПа	174,669	146,562	116,308	47,727	22,086

Із рис.3-7 та табл.1 видно, що із збільшенням величин засипки над металевою гофрованою трубою величина сил тиску на вершину металевої гофрованої труби зменшується. Так, при висоті засипки 0,5 м величина сили тиску становить 174,669 кПа, при 1,0 м – 146,562 кПа, при 1,88 м – 116,308 кПа, при 5,0 м – 47,727 кПа та при 10,0 м – 22,086 м.

Висновки. Величина сил тиску на вершину металевої гофрованої труби при збільшенні висоти засипки зменшується. Тому при проектуванні даних транспортних споруд рекомендується закладати величину висоти засипки більшу за мінімально необхідно 1,2 м для залізничних та 0,5 м для автомобільних доріг. Врахування даних рекомендацій дасть зможу зекономити витрати металу при будівництві металевих гофрованих конструкцій, а відтак і витрати коштів на їх будівництво та утримання.

1. Посібник до ВБН В.2.3-218-198:2007 Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд із металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування: рекомендовано науково-технічною радою ДерждорНДІ від 17 листопада 2006 р. №14 – К., 2007. – 122 с. 2. ДБН В.2.3-14:2006 Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування: наказ Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства (Мінбуд України) від 06 травня 2006 р. №160. – К., 2006. – 359с. 3. ТУ У 35.2-34422841-002д:2009 Конструкції збірні металеві гофровані типів MultiPlate nf SuperCor. 4. ОДМ 218.2.001-2009 Рекомендації по проектированию водопропусных металлических гофрированных труб: Распоряжение Федерального дорожного агентства от 21 июля 2009 г. № 252-р. 5. ДБН В.2.3-6:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження та випробування: Наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 11.11.2009 р. № 484. 6. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. ЦПІ-0117 / Е. І. Даніленко, В. В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2006. – 168. с. 7. Pettersson L., Leander J., Hansing L. Fatigue design of soil steel composite bridges. Archives of institute of civil engineering, Nr. 12, 2002. – S. 237 – 242.