

**Ніколенко М.О., к.т.н., Воробйов Є.О., к.т.н., Кулагін Д.І., студент,  
Марченко Н.О., студент**

**АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка**

## **ВИКОРИСТАННЯ ПНЕВМАТИЧНИХ ОБОЛОНОК НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ**

*В статті розглянуто питання використання м'якої оболонки шахтного пневматичного кріплення, в якості підйомного пристрою бортових автомобілів з метою скорочення трудомісткості і часу простоїв їх при розвантаженні. Приведено методику розрахунку основних параметрів процесу механізованого розвантаження на прикладі використання пневмодійомника на автомобілі ЗЛІ-130.*

### ***Постановка проблеми***

У наш час спостерігається тенденція до постійного збільшення кількості автомобільного транспорту в країнах світу. Сьогодні автомобільний парк України становить більше 7 млн. автомобілів, з них 15 % вантажних автомобілів в т.ч. 26 % автомобілів-самоскидів. Існуючі автомобілі-самоскиди в основному призначені для перевезень будівельних матеріалів, та сипучих матеріалів в кар'єрах. Вони мають велику власну масу і малий об'єм кузова, у зв'язку з цим їх не доцільно використовувати для перевезень легковагових вантажів на великі відстані. Для перевезення таких вантажів використовуються бортові автомобілі вантажопідйомністю від 3 до 20 т, на яких не передбачено засобів механізації розвантажувальних робіт. Втрати робочого часу бортовими автомобілями, причепами і напівпричепами від простоїв під час розвантаження становлять 25...30 %.

Обладнання бортових автомобілів існуючими підйомними засобами, такими як на самоскидах, потребують ускладнення конструкції кузова та додаткового застосування гідравлічної енергії.

У зв'язку з цим питання обладнання автомобілів ефективними підйомними пристроями, які не потребують додаткових видів енергії, є актуальним.

### ***Аналіз досліджень***

Аналіз виконаних досліджень показує, що такі підйомні засоби можуть бути створені на базі використання м'яких пневматичних оболонок [1].

Разом з тим розроблені автором пропозиції не були впроваджені в конструкціях автомобілів, що виготовляються серійно, через відсутність надійних пневматичних оболонок з необхідними експлуатаційними характеристиками.

Сьогодні конструкції з м'яких пневматичних оболонок мають широке використання у різних галузях народного господарства України завдяки позитивним характеристикам. У порівнянні з жорсткими конструкціями наступні: значно менша вага, спроможність складатися в малий розмір по висоті, коефіцієнт розсування 5 і більше, висока міцність, надійність роботи в різних умовах, значно менший питомий тиск на контактуючі опорні поверхні завдяки м'якому контакту з ними.

Спеціалістами ДонНДІ та АДІ ДонНТУ розроблені і впроваджені у виробництво спеціальну кріп для очисних гірничих виробок – пневматичні костри – 6ПМ-4 для пластів потужністю 0,4-1,2 м, які успішно використовувались на шахтах Донбасу, Росії, Іспанії, Туреччини, Китаю.

Основні характеристики 6ПМ-4 представлені на рис. 1 та рис. 2.

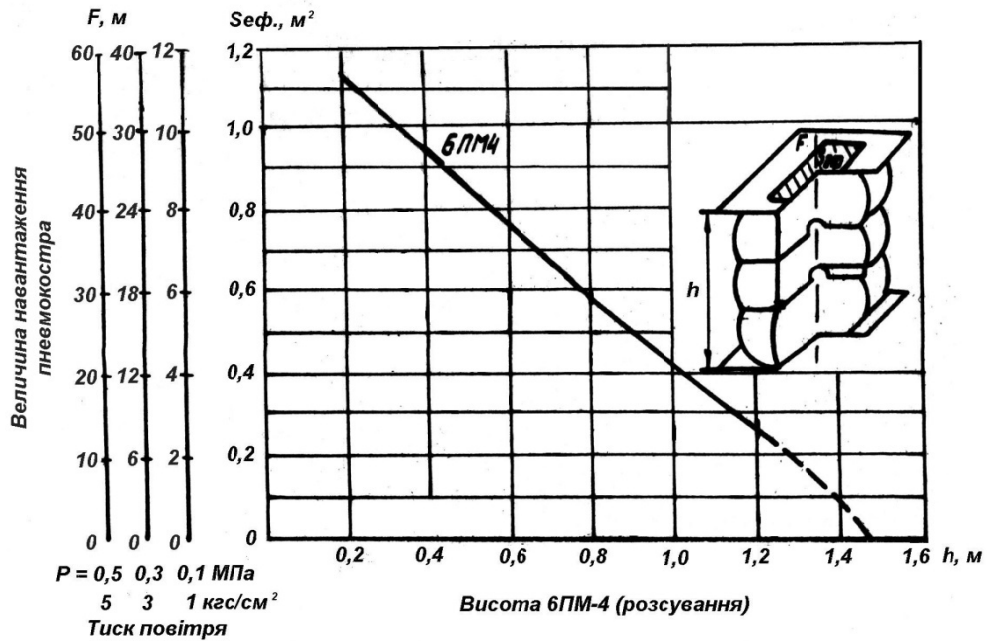


Рис. 1. Залежність величин навантаження, ефективної площі пневмоцилиндра від величин розсування при різних величинах тиску повітря:

- величина робочого розсування;
- - - величина максимального розсування

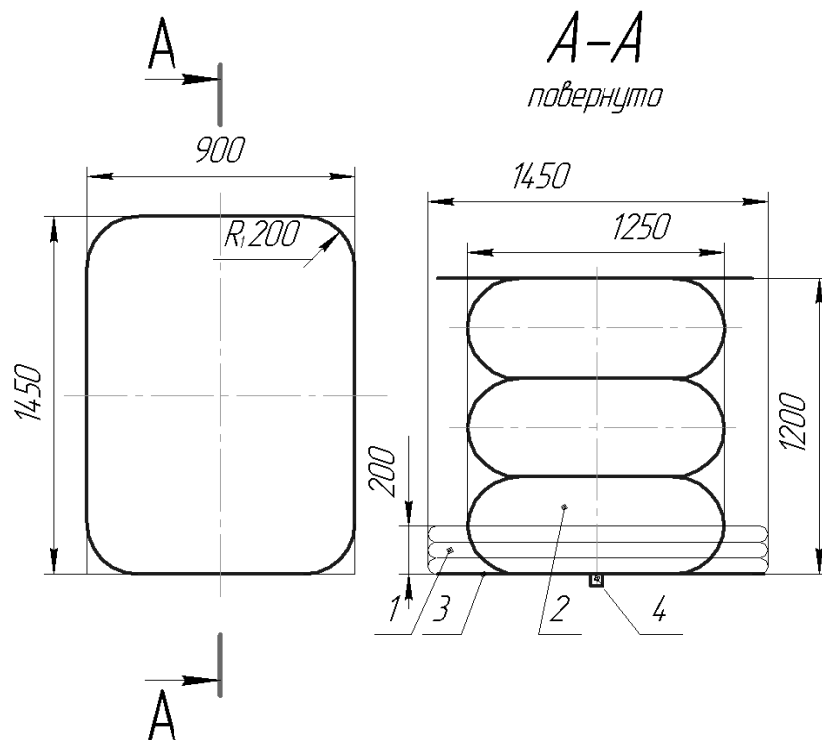


Рис. 2. Пневмоциліндр:

- 1 – оболонка в складеному стані; 2 – оболонка розсунута на максимальну робочу висоту; 3 – фланець; 4 – штуцер для подачі-випуску стиснутого повітря

Поряд з прямим призначенням пневмокостри використовуються в якості стаціонарних підйомних засобів на транспорті, в металургії та будівництві.

Оболонка пневмокостра виготовляється з гумо-корду та складається з чотирьох шарів корду типу 23 КНТС. Коефіцієнт запасу міцності (КЗМ) – 3 при тиску повітря – 0,5 МПа, при тиску повітря 0,3 МПа — КЗМ = 5. Час наповнення оболонки стиснутим повітрям становить 20 с, час випуску – 30 с [2].

### **Формулювання мети**

Метою роботи є дослідження спроможності використання пневматичної оболонки пневмокостра 6ПМ-4 в якості силового елемента підйомного пристрою на автомобільному транспорті.

### **Рішення задачі**

Пневматичні підйомні пристрої у порівнянні з гідравлічними мають значні переваги. Основними з них є: простота конструкції, порівняльна дешевизна використовуваної енергії, відсутність частин, що труться та обертаються, менші вимоги до герметичності та температури навколишнього середовища, мають меншу висоту в складеному стані.

Конструкції підйомних пристроїв з м'яких пневматичних оболонок не потребують масляного насосу, запасу масла та механізму відбору потужності. М'які оболонки не мають шарнірних кріплень і забезпечують передачу зусиль від внутрішнього тиску на значну площу кузову і рами, що сприяє зменшенню їх ваги.

Для розвантаження автомобілів основних марок на бокові сторони або назад м'які оболонки повинні забезпечувати нахил вантажного кузову на кут 45-50°, який відповідає куту природного укусу більшості сипучих матеріалів.

При розташуванні пневматичних оболонок між рамою та кузовом їх розміри по висоті в складеному стані повинні бути не більше 400 мм і діаметр – 1100 мм (або іншої форми, площа контактування якої відповідає площі контактування круглої оболонки діаметром 1100 мм) [1].

Таким вимогам відповідають параметри м'якої оболонки пневматичного костра 6ПМ-4 спеціального виготовлення (см. рис. 1, рис. 2).

При наповненні оболонки робочим тілом, стиснутим повітрям або відпрацьованими газами (ВГ) автомобілю, вона формозмінюється і підіймає платформу з кузовом, обертаючи навколо шарніру. При цьому зменшується площа контакту оболонки з опорними елементами. Таким чином, ефективна площа оболонки та її підйомна сила на початку підйому є найбільшими.

При збільшенні кута нахилу платформи кузову розсування оболонки зі сторони, протилежної шарніру, стає більшим. В результаті величина ефективної площі зменшується і момент підйомної сили оболонки відносно шарніру, навколо якого перевертається платформа з кузовом, також зменшується. Разом з тим, момент дії ваги кузова з вантажем відносно шарніру також зменшується. Проте, зменшення обох моментів відбувається неоднаково, тому для забезпечення рівноваги системи тиск робочого тіла в оболонці не є постійним, а змінюється в залежності від кута ухилу платформи з кузовом. У зв'язку з цим дуже важливо вибрати такі розміри оболонок, при яких час на розвантаження був би мінімальним, а необхідний максимальний тиск відповідав параметрам джерела робочого тіла.

Розрахунок основних параметрів пневматичної оболонки пневмокостра 6ПМ-4 у процесі формозміни здійснюється відповідно таким припущенням: стінки елементів оболонки – гнучкі, не пружні, профіль оболонки в кожному меридіальному перерізі, проведений через вертикальну вісь обертання, є частина кола з радіусом змінності від  $r$  до  $R$ . Для спрощення виконання розрахунку "подушечну" форму оболонки 6ПМ-4 з відповідною площею опорної

поверхні приймаємо в формі круглої поверхні і визначаємо її діаметр в складеному стані з виразу:

$$D = \sqrt{\frac{S_{\text{нод}} \cdot 4}{\pi}}, \quad (1)$$

де  $S_{\text{нод}}$  – площа опорної поверхні пневмокостра

$$S_{\text{нод}} = av - \left[ (2R_1)^2 - \pi R_1^2 \right], \quad (2)$$

де  $a = 145$  см,  $v = 90$  см,  $R_1 = 20$  см – рис. 2.

$$S = 145 \cdot 90 - \left[ (2 \cdot 20)^2 - 3,14 \cdot 20^2 \right] = 12700 \text{ см}^2;$$

$$D = \sqrt{\frac{12700 \cdot 4}{3,14}} = 127,2 \text{ см.}$$

Розрахунок основних параметрів підйомного пристрою з використанням оболонки пневмокостра БПМ-4 зроблено відповідно до розрахункової схеми (рис. 3).

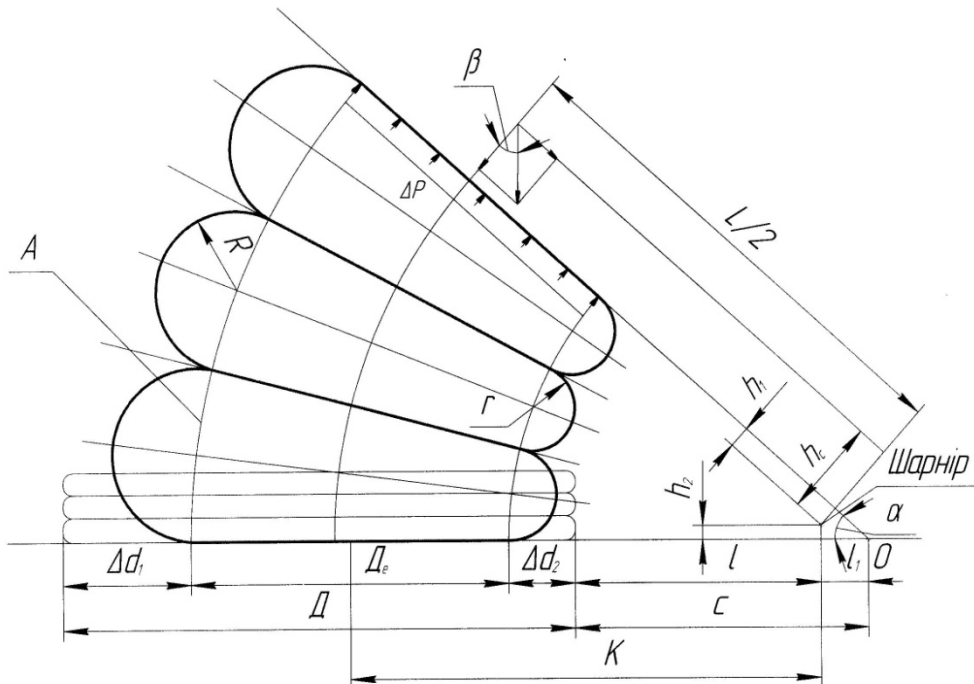


Рис. 3. Схема розрахунку підйомного пристрою з м'якої оболонки

Вихідні дані характеристики автомобіля ЗІЛ-431410: вага вантажу –  $Q = 6000$  кг; вага кузову –  $G = 600$  кг; координати шарніру:  $h_1 = 8$  см,  $h_2 = 12$  см; відстань від шарніру по вертикалі до центру ваги вантажу –  $h_c = 32$  см; кут нахилу платформи відносно рами автомобіля –  $\alpha = 45^\circ$ ; кількість гнучких елементів в оболонці –  $n = 3$ ; найменша відстань від шарніру до оболонки в складеному стані –  $l = 59$  см; відстань між шарнірами –  $\frac{L}{2} = 128,3$  см.

Визначаємо відстань від екватору складеної оболонки до точки О.

$$C = l + \frac{h_1}{\sin \alpha} + \frac{h_2}{\operatorname{tg} \alpha}; \quad (3)$$

$$C = 59 + \frac{8}{0,707} + \frac{12}{1} = 82,3 \text{ см.}$$

Найбільший радіус  $R$  поверхні гнучкого елемента в поверхні меридіану визначаємо з виразу:

$$R = \frac{2(D + C) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2n}}{2 + \left( \pi + \frac{\alpha}{n} \Psi \right) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2n}}; \quad (4)$$

$$R = \frac{2(127,2 + 82,3) \cdot 0,13}{2 + \left( 3,14 + \frac{45}{3} \cdot 0,0175 \right) \cdot 0,13} = 22,3 \text{ см.}$$

Найменший радіус  $r$  поверхні гнучкого елемента в поверхні меридіану визначаємо з виразу:

$$r = \frac{2C \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2n}}{2 - \left( \pi - \frac{\alpha}{n} \Psi \right) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2n}}; \quad (5)$$

$$r = \frac{2 \cdot 82,3 \cdot 0,13}{2 - \left( 3,14 - \frac{45}{3} \cdot 0,0175 \right) \cdot 0,13} \approx 13 \text{ см.}$$

Зміни величини діаметру  $D$  при максимальному розсуванні оболонки визначаємо з виразу:

$$\Delta d_1 = \frac{R \left( \pi + \frac{\alpha}{n} \Psi \right)}{2}; \quad (6)$$

$$\Delta d_1 = \frac{22,3 \left( 3,14 + \frac{45}{3} \cdot 0,0175 \right)}{2} = 38 \text{ см.}$$

$$\Delta d_2 = \frac{r \left( \pi - \frac{\alpha}{n} \Psi \right)}{2}; \quad (7)$$

$$\Delta d_2 = \frac{13 \left( 3,14 - \frac{45}{3} \cdot 0,0175 \right)}{2} = 18,7 \text{ см.}$$

Відстань від центру оболонки до шарніру визначаємо з виразу:

$$K = \frac{D - \Delta d_1 + \Delta d_2}{2} + l. \quad (8)$$

Допустиму величину розсування оболонки визначаємо через довжину дуги —  $A$  з виразу:

$$A = \alpha \Psi (l + D - \Delta d_1), \quad (9)$$

$$\text{де } \Psi = \frac{\pi}{180^\circ} = \frac{3,14}{180} = 0,01745 \text{ рад.}$$

$$A = 45 \cdot 0,01745(59 + 127,2 - 38) = 116,4 \text{ см.}$$

Величину ефективної площі оболонки при контактуванні з опорною поверхнею визначаємо з виразу:

$$S_e = \frac{\pi D_e^2}{4}; \quad (10)$$

$$D_e = D - (\Delta d_1 + \Delta d_2); \quad (11)$$

$$D_e = 127,2 - (38 + 18,7) = 70,3 \text{ см.}$$

Підставляємо в рівняння (8) і (10) значення  $D_e$ ,  $\Delta d_1$ ,  $\Delta d_2$ ,  $R$ ,  $r$  визначаємо:

$$S_e = \frac{\pi}{4} \left[ D - \frac{(D+l) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2n}}{2 + \left( \pi + \frac{\alpha}{n} \Psi \right) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2n}} \left( \pi + \frac{\alpha}{n} \Psi \right) - \frac{l \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2n}}{2 - \left( \pi - \frac{\alpha}{n} \Psi \right) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2n}} \left( \pi - \frac{\alpha}{n} \Psi \right) \right]^2; \quad (12)$$

$$K = \frac{L}{2} - \frac{(D+l) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2n}}{2 \left[ 2 + \left( \pi + \frac{\alpha}{n} \Psi \right) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2n} \right]} \left( \pi + \frac{\alpha}{n} \Psi \right) + \frac{l \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2n}}{2 \left[ 2 - \left( \pi - \frac{\alpha}{n} \Psi \right) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2n} \right]} \left( \pi - \frac{\alpha}{n} \Psi \right). \quad (13)$$

При  $\alpha = 0$  ефективна площа визначається з виразу:

$$S_e = \frac{\pi \left[ D - \frac{\pi(h_1 + h_2)}{2n} \right]^2}{4}, \quad (14)$$

де  $h_1 + h_2$  – висота оболонки в складеному стані.

Величина  $S_e$  для кута нахилу платформи  $\alpha = 0^\circ$  після підстановки значень в рівняння (14) становить —  $8474 \text{ см}^2$ ; для кута нахилу  $\alpha = 45^\circ$  після підстановки значень в рівняння (12) становить —  $4600 \text{ см}^2$ ; величина  $K$  після підстановки значень в рівняння (13) становить —  $105 \text{ см}$ .

Підйомна сила  $Q$  та необхідний тиск робочого тіла в оболонці  $P$  визначаємо з рівняння моментів сил відносно шарніру навколо якого обертається платформа з вантажем:

$$2NPS_eK - (Q + G)L \cos \beta + 2(Q + G)h_c \sin \beta = 0; \quad (15)$$

$$Q = \frac{2NPS_eK}{L \cos \beta - 2h_c \sin \beta} - G; \quad (16)$$

$$P = \frac{(Q + G)(L \cos \beta - 2h_c \sin \beta)}{2NS_eK}, \quad (17)$$

де  $N = 1$  — кількість м'яких оболонок, встановлених на автомобілі;

$\beta$  — кут нахилу платформи відносно горизонту.

Без врахування деформації ресор при підйомі кузова кут  $\beta = \alpha$ .

Величина необхідного тиску в оболонці для кута нахилу платформи  $\alpha = 0^\circ$  визначається з виразу (17):

$$P = \frac{(6000 + 600) \cdot 256,6 \cdot 1 - 2 \cdot 32 \cdot 0}{2 \cdot 1 \cdot 8474 \cdot 105} = 0,95 \text{ кгс / см}^2.$$

При  $\alpha = 45^\circ$ :

$$P = \frac{(6000 + 600) \cdot (256,6 \cdot 0,707 - 2 \cdot 32 \cdot 0,707)}{2 \cdot 1 \cdot 4600 \cdot 105} = 0,93 \text{ кгс / см}^2.$$

Підйомну силу оболонки визначаємо за відомим тиском джерела робочого тіла. В якості джерела може бути використане стиснуте повітря від компресора, встановленого на автомобілі ЗІЛ-431410, максимальний тиск якого становить 0,7 МПа, продуктивність при 1000 об/хв. — 118 л/хв., або відпрацьовані гази (ВГ) двигуна автомобіля. Максимальна величина тиску ВГ двигуна автомобілів: ЗІЛ-431410 — 0,14 МПа, ГАЗ-53 — 0,17 МПа, продуктивність залежить від витрат палива. Так, при витраті 50 г палива оболонка об'ємом 1 м<sup>3</sup> може бути наповнена ВГ за 30 с [2].

В якості приклада визначаємо підйомну силу оболонки при тиску робочого тіла джерела — 0,12 МПа (це можуть бути ВГ автомобілів або стиснуте повітря компресору).

При  $\alpha = 0^\circ$ , відповідно до формули (14):

$$Q = \frac{2 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 8474 \cdot 105}{256,6 \cdot 1 - 2 \cdot 32 \cdot 0} - 600 = 7722 \text{ кгс}.$$

При  $\alpha = 45^\circ$ :

$$Q = \frac{2 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 8474 \cdot 105}{256,6 \cdot 0,707 - 2 \cdot 32 \cdot 0,707} - 600 = 15082 \text{ кгс}.$$

### **Висновки**

Таким чином підйомна сила оболонки пневмокостра 6ПМ-4 під тиском робочого тіла 0,1 МПа розвиває зусилля, величина якого значно перевищує вагу вантажу з кузовом автомобіля ЗІЛ-431410 (7722 кгс > 6600 кгс), в якості робочого тіла можуть бути використані ВГ двигуна, максимальна величина тиску яких — 0,14 МПа.

Крім того, для таких умов експлуатації оболонка може бути виготовлена з двох шарів корду КІТС, коефіцієнт запасу міцності при робочому тиску 0,1 МПа становить — 5. Це дає змогу скоротити вагу оболонки на 40 % і зменшити висоту в складеному стані до 150 мм.

У результаті виконаних досліджень встановлено, що на базі м'якої оболонки пневмокостра 6ПМ-4 є можливість створення підйомного приладу, який забезпечує механізацію завантаження бортових автомобілів ЗІЛ-431410, ГАЗ-53 з використанням джерела енергії відпрацьованих газів.

### **Список літератури**

1. Бураков В.А. Применение гибких оболочек на транспорте. — М.: Транспорт, 1974. — 127 с.
2. Рекомендации по применению пневматических костров в качестве специальной крепи в очистных забоях тонких пологих и наклонных пластов / Сост. Степанович Г.Я., Мельничук Ю.Е., Николенко Н.А. и др. — Донецк: Донуги, 1985. — 14 с.

Стаття надійшла до редакції 08.10.07

© Ніколенко М.О., Воробйов Є.О., Кулагін Д.І., Марченко Н.О., 2007