

УДК 621.86

Р.М. Рогатинський, докт. техн. наук, проф., Т.М. Пелешок канд. техн. наук,
Л.Р. Рогатинська, Ю.А. Заставний

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ПЕРЕМІЩЕННЯ СИПКОГО ВАНТАЖУ В РОБОЧОМУ ПРОСТОРІ БУНКЕРНИХ СИСТЕМ

R.M. Rogatynskiy, Dr, Prof.; T.M. Peleshok, Ph.D; L.R. Rogatynska; Yu. A. Zastavnyi
MOVING OF BULK CARGO IN THE WORKSPACE OF BUNKER SYSTEMS

Від надійності та стабільності роботи бункерів у великій мірі залежать якісні показники виконання технологічних процесів та стабільність роботи транспортно-технологічних систем для переміщення сипких матеріалів. Умови завантаження визначають стабільність роботи та постійність розходу в транспортних системах, а тому дослідження процесів переміщення вантажу в бункерних системах є актуальним. Метою даного дослідження є встановлення основних закономірностей переміщення сипкого вантажу в робочому просторі бункерів та особливостей формування потоку в зоні завантаження транспортних систем.

Розглядаються бункери з плоскими стінками з горизонтальним вивантажувальним отвором, який утворюється нижніми краями бокових стінок. Сипкий вантаж приймаємо як суцільне полізотропне середовище. На рис. 1,а наведений випадок гідравлічного витoku вантажу при гіпотезі паралельного зсуву шарів, який теоретично можливий при рівномірному заборі матеріалу і відсутності сил тертя на стінках бункера, а на рис. 1,б – випадок нерівномірного по січенню витoku.

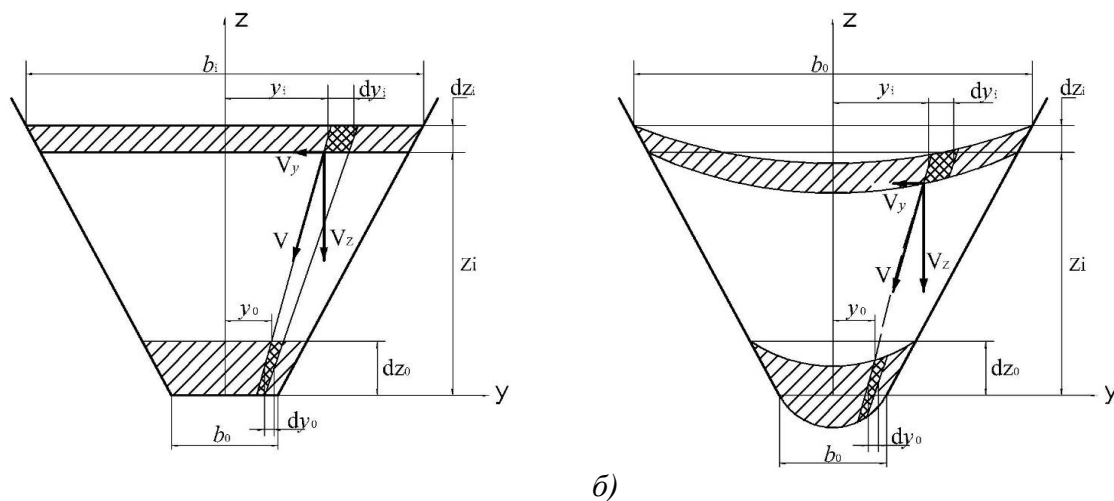


Рис. 1. Схема до визначення деформації витoku вантажу з паралельним зсувом шарів матеріалу (а) та із врахуванням тертя матеріалу до стінок жолоба (б). У першому випадку прийнято, що деформація проходить рівномірно, тобто для кожного елементарного об'єму з однаковою координатою z буде однакова деформація. Якщо матеріал при русі у просторі бункера не ущільнюється і не розріджується то, для довільного виділеного елементарного об'єму A_i з координатами y_i та z_i , умова нерозривності сипкого матеріалу має вигляд: $\dot{\varepsilon}_y + \dot{\varepsilon}_z = 0$, де $\varepsilon_y, \varepsilon_z$ - деформації виділеного об'єму вантажу за відповідними координатами, $\varepsilon_y = dy/y$, $\varepsilon_z = dz/z$.

При рівномірному заборі розхід вантажу у бункері, а отже і швидкість витoku

вантажу через вивантажувальний отвір, приймалися постійними:

$$v_0 = \frac{Q_B}{S_0} = \frac{Q_B}{a_0 b_0}, \quad (1)$$

де Q_B - розхід бункера; $a_0 \times b_0$ - розміри вивантажувального отвору.

Із умови постійності розходу через паралельні площини, $Q_B = v_0 S_0 = v_{zi} S_i$, де S_i - площа січення з координатою z_i , що відповідає координаті виділеного об'єму з шириною бункера $b_z = b_0 + 2z \operatorname{tg} \delta$; v_{zi} - вертикальна складова швидкості i -го шару.

Складові v_{zi} та v_{yi} швидкості виділеного об'єму i -го шару будуть:

$$v_{zi} = -\frac{Q_B b_0}{S_0 (b_0 + 2z \operatorname{tg} \delta)} = \frac{v_0 b_0}{b_0 + 2z \operatorname{tg} \delta}; \quad v_{yi} = -\frac{v_{zi} \cdot y}{z + b_0 / 2 \operatorname{tg} \delta} = -\frac{2v_0 b_0 \operatorname{tg} \delta \cdot y}{(b_0 + 2z \operatorname{tg} \delta)^2} \quad (2)$$

Відповідно, швидкості деформації довільного об'єму координатами x та y

$$\dot{\varepsilon}_y = \frac{\partial v_y}{\partial y} = \frac{2v_0 b_0 \operatorname{tg} \delta}{(b_0 + 2z \operatorname{tg} \delta)^2}; \quad \dot{\varepsilon}_z = \frac{\partial v_z}{\partial z} = -\frac{2v_0 b_0 \operatorname{tg} \delta}{(b_0 + 2z \operatorname{tg} \delta)^2}; \quad (3)$$

$$\dot{\gamma}_{yz} = \frac{dv_y}{dz} + \frac{dv_z}{dy} = -\frac{8v_0 b_0 y \operatorname{tg}^2 \delta}{(b_0 + 2z \operatorname{tg} \delta)^3}.$$

Для реального конструктивного виконання бункера, вплив коефіцієнта тертя вантажу до стінок бункера призводить до викривлення шарів по мірі висипання вантажу із бункера. Зміну вертикальної складової швидкості виділеного елементарного об'єму висотою z від координати y апроксимували степеневою залежністю:

$$v_z = v_{z0} - k y^\alpha, \quad (4)$$

де v_{z0} - закон зміни швидкості частинки координатою $y=0$; k та α - параметри моделі, які в загальному випадку можуть бути функціями максимальної $v_{0\max}$ та мінімальної v_{0c} швидкостей витоку вантажу, і визначаються експериментально.

$$\alpha = \frac{v_{0\max} - v_{0\min}}{v_{0\max} + v_{0\min}}; \quad k_0 = \frac{v_{0\max} - v_{0\min}}{(b_0 / 2)^\alpha}.$$

Середня швидкість частинок у шарі з координатою z відповідно становила

$$v_{zc} = v_{z0} - \frac{k}{(\alpha + 1)} \left(\frac{b_z}{2} \right)^\alpha; \quad k = k_0 / [1 + (2z \operatorname{tg} \alpha) / b_0]. \quad (5)$$

Відповідно розподіл швидкостей деформацій по робочій зоні плоского бункера із врахуванням впливу тертя має вигляд:

$$\dot{\varepsilon}_z = \frac{\partial v_z}{\partial z} = -\frac{2(v_{0c} - k_0 y^\alpha) b_0 \operatorname{tg} \delta}{(b_0 + 2z \operatorname{tg} \delta)^2}; \quad \dot{\varepsilon}_y = -\dot{\varepsilon}_z = \frac{\partial v_y}{\partial y} = \frac{2(v_{0c} - k_0 y^\alpha) b_0 \operatorname{tg} \delta}{(b_0 + 2z \operatorname{tg} \delta)^2} \quad (6)$$

$$\dot{\gamma}_{yz} = \frac{dv_y}{dz} + \frac{dv_z}{dy} = -\frac{8b_0 y \operatorname{tg}^2 \delta \left(v_{0c} - \frac{k_0 y^\alpha}{\alpha + 1} \right)}{(b_0 + 2z \operatorname{tg} \delta)^3} + \frac{\alpha \cdot k_0 b_0 y^{\alpha-1}}{(b_0 + 2z \operatorname{tg} \delta)} \quad (7)$$

Аналіз моделі переміщення вантажу в бункері паралельними шарами показав, що вона може наближено відповідати реальним умовам тільки для бункерів з антифрикційними покриттями, які широко застосовуються у сучасних технологіях. Модель, що враховує тертя вантажу по поверхнях адекватно відтворює переміщення вантажу в існуючих бункерах і може бути використана для формалізованого опису потоку вантажу в бункері та побудови динамічних моделей напружено-деформівного стану сипкого вантажу під час його вивантаження.