

УДК 621.867

Д. Серілко

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## ВИЗНАЧЕННЯ ТИСКУ СИПКОГО МАТЕРІАЛУ В ЗАБІРНІЙ ЧАСТИНІ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА

**Резюме.** Розглянуто рівновагу сил сипкого матеріалу в бункерах циліндричної та конічної форм за наявності в них гвинтового конвеєра. Наведено розрахункові схеми для визначення тиску сипкого матеріалу в забірній частині шнека залежно від фізико-механічних властивостей матеріалу та геометричних характеристик бункерів.

**Ключові слова:** гвинтовий конвеєр, бункер, сипкий матеріал.

D. Serilko

## DETERMINATION OF PRESSURE BULK MATERIAL COARSE PART HELICAL CONVEYORS

**The summary.** The balance of power bulk material bins cylindrical and conical shape in the presence in them the helical conveyor are considered. The calculation scheme for determining the pressure of loose material in the intake of the auger, depending on the physical and mechanical properties of the material and geometric characteristics of the bunkers are pointed.

**Key words:** helical conveyor, bins, loose material.

### Умовні позначення:

$A_C$  – площа завантажувального отвору гвинтового конвеєра,  $m^2$ ;

$H$  – висота засипки матеріалу в бункері,  $m$ ;

$\gamma$  – питома вага матеріалу,  $H/m^3$ ;

$A_1$  – площа поперечного перерізу виділеного елемента,  $m^2$ ;

$u_1$  – периметр поперечного перерізу виділеного елемента,  $m$ ;

$A_2$  – площа поперечного перерізу кожуха конвеєра,  $m^2$ ;

$u_2$  – периметр поперечного перерізу кожуха конвеєра,  $m$ ;

$f_1$  – коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні бункера;

$f_2$  – коефіцієнт тертя матеріалу по стінці кожуха гвинтового конвеєра;

$k$  – коефіцієнт бокового тиску;

$P$  – тиск сипкого матеріалу,  $Pa$ ;

$q$  – боковий тиск,  $Pa$ ;

$N_1$  – сила тиску стін бункера на виділений елемент,  $H$ ;

$N_2$  – сила тиску кожуха гвинтового конвеєра на виділений елемент,  $H$ ;

$\rho$  – щільність матеріалу,  $kg/m^3$ ;

$d$  – діаметр кожуха конвеєра,  $m$ ;

$D$  – діаметр бункера,  $m$ ;

$D_0$  – діаметр бункера конічної форми на рівні насипки,  $i$ ;

$G$  – сила тяжіння,  $H$ ;

$\alpha$  – кут нахилу стінок конічного бункера,  $град.$ ;

$l_0$  – довжина забірної частини,  $m$ .

**Постановка проблеми.** Гвинтові конвеєри широко використовуються в різних галузях народного господарства для транспортування, ущільнення, змішування сипких матеріалів та реалізації різноманітних технологічних процесів.

Обов'язковою умовою доброї роботи вертикального гвинтового конвеєра є створення надлишкового тиску в зоні завантаження [1].

Тому аналітичне визначення тиску в зоні завантаження є актуальним і має важливе значення для розрахунку забірних пристроїв гвинтових конвеєрів та обґрунтування їх параметрів.

**Аналіз результатів досліджень.** Визначенням тиску в середині бункера займалися Александр Л. М. [1], Богом'ягих В. А. [2], Зенков Р. Л. [3], Лук'янов П. І. [4], Панченко А. Н. [5]. Але в їхніх працях розраховано тиск матеріалу в бункері з висотою засипки  $H$  і при цьому не враховано наявність кожуха гвинтового конвеєра, який безумовно впливає на тиск сипкого матеріалу в бункері.

**Мета роботи** – визначення тиску сипкого матеріалу в бункері за наявності в ньому гвинтового конвеєра.

Згідно з дослідженнями Александра Л. М. необхідний тиск у зоні завантаження визначається за формулою [1]

$$p = 0.3\gamma H A_3. \quad (1)$$

У бункері циліндричної форми тиск визначається за формулою Янсена [2]

$$P = \frac{\rho g D}{4k f_1} \left( 1 - e^{-\frac{4k f_1}{D} y} \right). \quad (2)$$

Розглянемо гвинтовий конвеєр, який знаходиться в бункері, заповненому сипким матеріалом із заданими фізико-механічними властивостями (рис. 1). Висоту засипки матеріалу  $H$  будемо вважати постійною величиною.

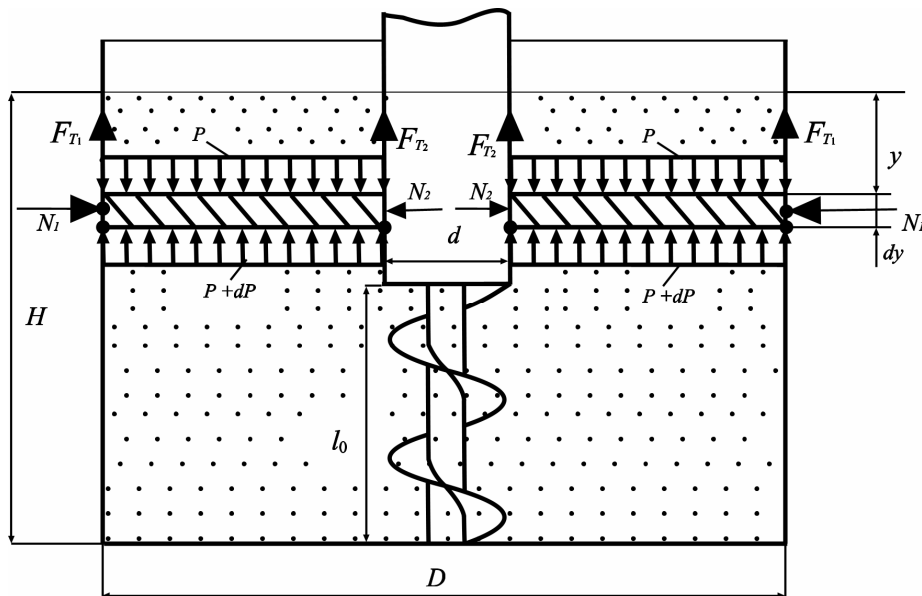


Рисунок 1. Гвинтовий конвеєр, який знаходиться в бункері (циліндричної форми) із сипким матеріалом

Виділимо шар матеріалу товщиною  $dy$ , який розташований на відстані  $y$  від поверхні матеріалу і знаходиться в рівновазі під дією сил

$$G = \rho \cdot A \cdot dy, \quad (3)$$

де  $A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$  – площа поперечного перерізу виділеного елемента;

$F_{\dot{\sigma}_1} = f_1 \cdot N_1 = f_1 \cdot \pi \cdot q \cdot dy$  – сила тертя між виділеним шаром і стінками бункера;

$F_{\dot{\sigma}_2} = f_2 \cdot N_2 = f_2 \cdot \pi \cdot q \cdot dy$  – сила тертя між виділеним шаром і кожухом гвинтового конвеєра,

де  $q = kP$ .

Тоді рівняння рівноваги виділеного елемента матиме вигляд

$$G + P \cdot A - (P + dP) \cdot A - F_{\dot{\sigma}_1} - F_{\dot{\sigma}_2} = 0. \quad (4)$$

Підставляючи значення, отримаємо

$$\rho g A dy - AdP - f_1 \pi D k P dy - f_2 \pi d k P dy = 0; \quad (5)$$

$$AdP = (\rho g A - k \pi (f_1 D + f_2 d) P) dy; \quad (6)$$

$$\text{або: } AdP = (B_1 - B_2 P) dy. \quad (7)$$

де  $B_1 = \rho g A$ ;

$$B_2 = k \pi (f_1 D + f_2 d).$$

Розділимо змінні та проінтегруємо:

$$\frac{AdP}{(B_1 - B_2 P)} = dy; \quad (8)$$

$$-\frac{A}{B_2} \ln(B_1 - B_2 P) = y + C. \quad (9)$$

Запишемо початкові умови:

при  $y = 0, P = 0$ :

$$C = -\frac{A}{B_2} \ln B_1; \quad (10)$$

$$-\frac{A}{B_2} \ln(B_1 - B_2 P) = y - \frac{A}{B_2} \ln B_1; \quad (11)$$

$$-\frac{A}{B_2} \ln\left(\frac{B_1 - B_2 P}{B_1}\right) = y. \quad (12)$$

Звідси

$$P = \frac{B_1}{B_2} \left(1 - e^{-\frac{B_2 y}{A}}\right). \quad (13)$$

Підставивши значення  $B_1$  і  $B_2$ , будемо мати

$$P = \frac{\rho g \pi (D^2 - d^2)}{4 k \pi (f_1 D + f_2 d)} \times \left(1 - e^{-\frac{2k(f_1 D + f_2 d)y}{D^2 - d^2}}\right). \quad (14)$$

У випадку, якщо  $f_1 = f_2 = f$ ,

$$P = \frac{\rho g (D - d)}{4 f k} \left(1 - e^{-\frac{4 f k y}{D - d}}\right). \quad (15)$$

За відсутності конвеєра,  $d = 0$ , вираз (15) перетворюється у відому формулу Янсена (2).

Результати теоретичних досліджень наведено на графіку (рис. 2).

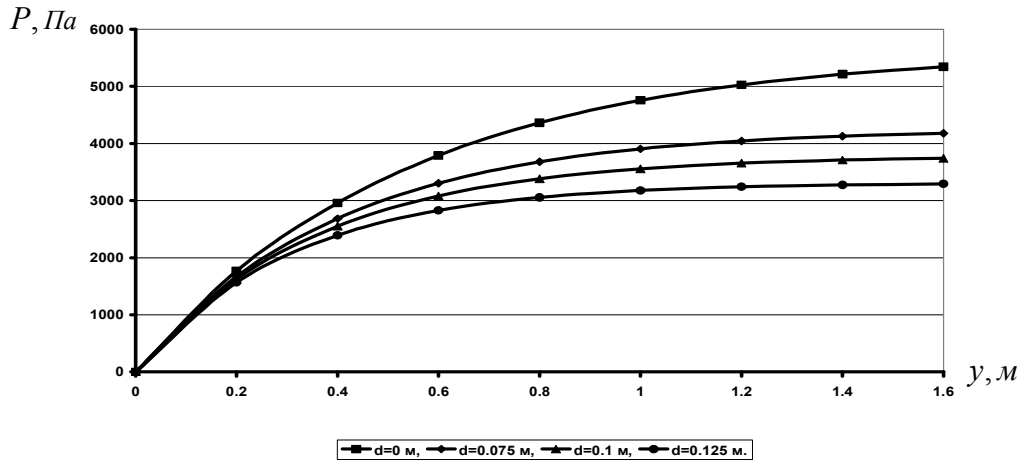


Рисунок 2. Залежність тиску сипкого матеріалу в бункері від висоти шару засипки

Матеріал: полістирол,  $D = 0.3i$ ,  $q = 1060 \hat{e} \hat{a} / i^3$ ,  $f = 0.35$ ,  $k = 0.4$

Розглянемо гвинтовий конвеєр, який знаходиться в бункері конічної форми.

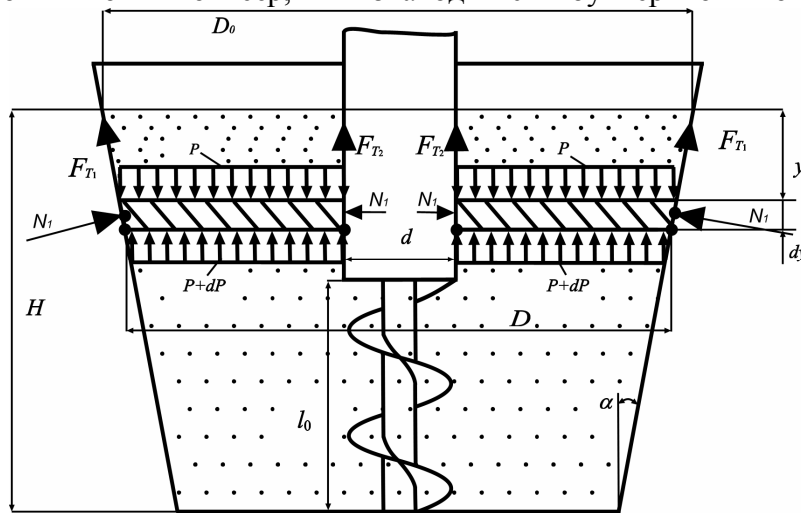


Рисунок 3. Гвинтовий конвеєр, який знаходиться в бункері (конічної форми) із сипким матеріалом

Виділимо на відстані  $y$  від висоти шару елементарний шар сипкого матеріалу товщиною  $dy$ . На нього діють: зверху тиск  $P$ , знизу  $P + dP$ , по периметру боковий тиск  $q$  і сила тертя:  $F_{\dot{o}1}$  – між виділеним елементом і боковою стінкою,  $F_{\dot{o}2}$  – між виділеним елементом і кожухом шнека, а також сила тяжіння  $G$ .

$$q = k \cdot P; \tag{16}$$

$$F_{\dot{o}1} = f_1 \cdot N_1 = f_1 \cdot q \cdot u_1 \cdot dx = f_1 \cdot k \cdot P \cdot u_1 \cdot dy; \tag{17}$$

$$F_{\dot{o}2} = f_2 \cdot N_2 = f_2 \cdot q \cdot u_2 \cdot dy = f_2 \cdot k \cdot P \cdot u_2 \cdot dy, \tag{18}$$

де  $u_1 = \pi D$ ;  $u_2 = \pi d$ ;

$$D = D_0 - 2ytg\alpha. \tag{19}$$

Рівняння рівноваги для виділеного елемента

$$(A_1 - A_2)P + (A_1 - A_2)(P + dP) - F_{T1} - F_{T2} - N_1 \sin \alpha - G = 0, \tag{20}$$

де  $A_1 = \frac{\pi D^2}{4}$ ;  $A_2 = \frac{\pi d^2}{4}$ .

Після перетворення рівняння (20) матиме вигляд

$$(A_1 - A_2) \frac{dP}{dy} = q(u_1(\sin \alpha - f_1 \cos \alpha) + u_2 f_2) + \gamma(A_1 - A_2) \quad (21)$$

або

$$\frac{dP}{dy} = \frac{kP(u_1(\sin \alpha - f_1 \cos \alpha) + u_2 f_2)}{A_1 - A_2} + \gamma. \quad (22)$$

Знайдемо розв'язок однорідного рівняння

$$\frac{dP}{dy} - \frac{kP(u_1(\sin \alpha - f_1 \cos \alpha) + u_2 f_2)}{A_1 - A_2} = 0; \quad (23)$$

$$\int \frac{dP}{P} = \int \frac{k(u_1(\sin \alpha - f_1 \cos \alpha) + u_2 f_2)}{A_1 - A_2} dy; \quad (24)$$

$$\ln P = I_1 + I_2, \quad (25)$$

$$\text{де } I_1 = \int \frac{ku_1(\sin \alpha - f_1 \cos \alpha)}{A_1 - A_2} dy = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} \ln[(D_0 - 2y \operatorname{tg} \alpha)^2 - a^2];$$

$$I_2 = \int \frac{kf_2 u_2 dy}{A_1 - A_2} = \frac{kf_2}{\operatorname{tg} \alpha} \ln \frac{(D_0 - 2y \operatorname{tg} \alpha) + d}{(D_0 - 2y \operatorname{tg} \alpha) - d}.$$

Загальний розв'язок рівняння (22) має вигляд [5]

$$P = \exp(-I_1 - I_2) \left( C + \int \gamma \exp(I_1 - I_2) dy \right), \quad (27)$$

де  $C$  – стала інтегрування.

Інтегруючи рівняння (27) чисельним методом, при заданих початкових умовах отримаємо залежність тиску в бункері від висоти шару матеріалу  $P = P(y)$ .

Результати теоретичних досліджень наведено на графіку (рис. 4).

$P, \text{Па}$

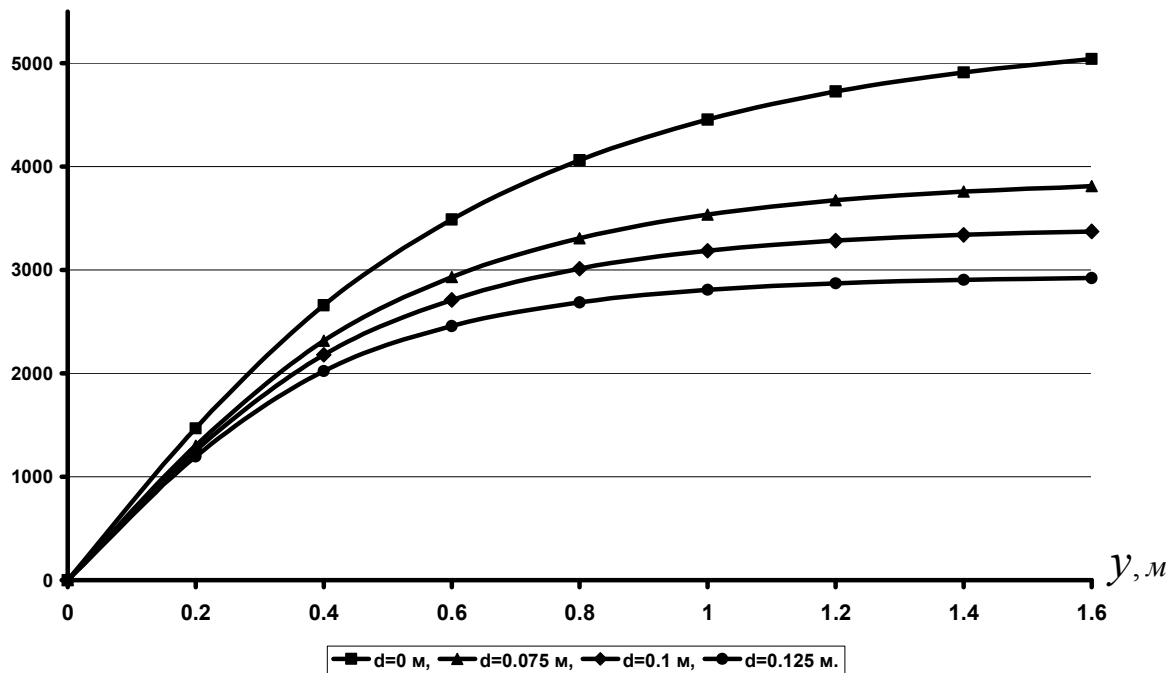


Рисунок 4. Залежність тиску сипкого матеріалу в бункері від висоти шару засипки  
 Матеріал: полістирол,  $D = 0.3 \text{ м}$ ,  $q = 1060 \text{ кг/м}^3$ ,  $f = 0.35$ ,  $k = 0.4$ ,  $\alpha = 30^\circ$ .

**Висновки.** Запропоновано методику визначення тиску в забірній частині гвинтового конвеєра залежно від висоти засипки і фізико-механічних властивостей матеріалу. При висоті засипки  $H > 5D$  тиск у забірній частині практично не залежить від  $H$ . Наявність кожуха гвинтового конвеєра в бункері суттєво впливає на тиск сипкого матеріалу в забірній частині. При  $d/D = 0.4$  тиск зменшується у 1.6 раза.

#### Література

1. Александр, Л. М. Теория вертикального шнека / Л. М. Александр. – Тр.ЦНИИ речного флота. – Вып.7. – М. – Л.: Речиздат, 1950, – С.27–46.
2. Богомягих В. А. Теория и расчет бункеров для зернистых материалов / В. А. Богомягих. – Ростов на Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1973. – 152 с.
3. Зенков Р. Л. Бункерные устройства / Р. Л. Зенков, Г. П. Гриневич, В. С. Исаев. – М.: Машиностроение, 1977. – 223 с.
4. Лукьянов, П.И. Аппараты с движущимся зернистым слоем / П.И. Лукьянов. – М.: Машиностроение, 1974. – 181 с.
5. Панченко А. Н. Повышение работоспособности бункеров послойного распределения сыпучих связных материалов сельскохозяйственных и мелиоративных машин / Панченко А. Н. – Днепропетровск: Днепропетр. изд-во гос. агр. ун-та, 1995. – 52 с.
6. Самойленко А.М. Дифференциальные уравнения: примеры и задачи / А. М. Самойленко, С. А. Кривошея, Н. А. Перестук. – М.: Высшая школа, 1989. – 383 с.

Отримано 24.11.2010