

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

УДК 621.867.21

В. М. БОГОМАЗ^{1*}, М. В. БОРЕНКО^{2*}, І. В. НЕЧАЙ^{3*}, О. П. СЕВЕРИН^{4*}

^{1*}Каф. «Військова підготовка спеціалістів Державної спеціальної служби транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 19 09, ел. пошта wbogomas@i.ua, ORCID 0000-0001-5913-2671

^{2*}Каф. «Військова підготовка спеціалістів Державної спеціальної служби транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 19 09, ел. пошта bmw1961@ukr.net, ORCID 0000-0001-9578-3906

^{3*}Каф. «Прикладна математика», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 19 09, ел. пошта i.v.nechay@gmail.com, ORCID 0000-0002-9250-7794

^{4*}Каф. «Військова підготовка спеціалістів Державної спеціальної служби транспорту», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 19 09, ел. пошта severinlist@gmail.com, ORCID 0000-0001-9967-4731

ЯКІСНИЙ АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОТУЖНОСТІ ПРИВОДУ СТРІЧКОВОГО ГОРИЗОНТАЛЬНО-ПОХИЛОГО КОНВЕЄРА ВІД ЙОГО ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ

Мета. Одним із основних елементів стрічкових конвеєрів є привід. Для аналізу впливу проектних параметрів на величину потужності приводу необхідно провести розрахунки за стандартними методиками, які викладені в сучасній технічній літературі. Основними проектними параметрами стрічкового конвеєра є тип вантажу, проектна продуктивність, геометричні розміри ділянок та конфігурація траси в цілому. Особливістю розрахунків стрічкового конвеєра, в порівнянні з елеваторами, є залежність ширини його стрічки від продуктивності, кута нахилу ділянки та типу вантажу. В статті, для врахування цього факту при розрахунках, необхідно побудувати залежність ширини стрічки від узагальненого параметру, який враховує зміну проектних параметрів. Для визначення загальної закономірності зміни величини потужності приводу стрічкового конвеєра при варіюванні його проектних параметрів в статті необхідно побудувати відповідні графічні залежності з урахуванням стандартних розмірів та параметрів стрічок. **Методика.** У роботі розглядається стрічковий конвеєр із двома ділянками: похилою та горизонтальною. Проводиться детальний аналіз залежності ширини стрічки конвеєра та потужності його приводу від типу вантажу, проектною продуктивності, геометричних розмірів та конфігурації траси конвеєра, використовуючи відповідні параметричні залежності, які побудовані авторами в попередніх роботах. **Результати.** Для стрічкових конвеєрів розглянутого типу побудовано графічні залежності ширини стрічки від параметру, що характеризує проектну продуктивність та кут нахилу ділянки траси, а також – від продуктивності при фіксованому куті нахилу. З урахуванням зміни ширини стрічки при зростанні величини проектною продуктивності побудовано графічні залежності потужності приводу від продуктивності та кута нахилу похилої ділянки. **Наукова новизна.** Авторами вперше побудовані загальні залежності ширини стрічки та потужності приводу конвеєра з двома ділянками (похилою та горизонтальною) від проектних параметрів та побудовані відповідні графіки. **Практична значимість.** Використання побудованих графічних залежностей потужності приводу стрічкових конвеєрів із похилою та горизонтальною ділянками від проектних параметрів дає можливість швидкого

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

визначення приблизного значення потужності приводу на стадії проектування, а також визначити загальний характер зміни її величини при варіюванні проектних параметрів.

Ключові слова: конвеєр; стрічка; привід; потужність; продуктивність; кут нахилу

Вступ

Машини безперервного транспорту відносять до транспортуючих машин, які є важливими елементами в галузі транспортного та промислового будівництва. Вони використовуються для інтенсифікації навантажувально-розвантажувальних робіт у багатьох виробничих процесах. Найбільш поширеним типом машин безперервного транспорту є стрічкові конвеєри. Як відомо, стрічковими конвеєрами є машини безперервної дії, основним елементом яких є прогумована вертикально замкнута стрічка, що огинає кінцеві барабани, один з яких, як правило, є приводним, інший – натяжним. Стрічкові конвеєри дуже широко застосовуються на підприємствах хімічної, металургійної, машинобудівної промисловості, у виробництві будівельних матеріалів, транспортному та промислому будівництві, на вуглезбагачувальних фабриках [12].

Основними публікаціями, які описують будову, конструктивні особливості, експлуатаційні та розрахункові параметри сучасних машин безперервного транспорту є [1, 5–15]. Аналіз публікацій показує, що для визначення параметрів приводу конвеєра, зокрема його потужності, потрібно виконати детальний розрахунок його елементів. Порядок виконання таких розрахунків детально описаний в роботах [7, 8, 9]. Але існують роботи, в яких наведені скорочені алгоритми розрахунку величини потужності приводу машин безперервного транспорту. В роботі [2] автори побудували аналітичні залежності потужності приводу елеваторів. В роботі [3] запропоновано алгоритм прискореного розрахунку величини потужності стрічкового елеватору при заданих проектних характеристиках. Робота [4] присвячена побудові залежності потужності стрічкових конвеєрів від його проектних величин. Особливістю розрахунку стрічкових конвеєрів порівняно з елеваторами є те, що параметри стрічки мають задовольняти не тільки умові міцності, але й умові забезпечення заданої продуктивності. Цей факт дещо ускладнює подібні дослідження.

Мета

Метою роботи є графічний аналіз залежності потужності приводу стрічкового конвеєра з похилою та горизонтальною ділянками від проектної продуктивності, кута нахилу похилої частини траси при фіксованих типі вантажу та геометричних параметрах конвеєра, а також дослідження залежності необхідної ширини стрічки від проектних параметрів конвеєра.

Методика

Як відомо, основними параметрами, що впливають на величину потужності приводу стрічкового конвеєра, є: тип вантажу, необхідна продуктивність, висота підйому та довжина транспортування вантажу, необхідна конфігурація траси транспортування вантажу, умови роботи конвеєра. Розрахункова схема конвеєра наведена на рис. 1.

За аналогією з [4], вихідними даними для проектного розрахунку стрічкового транспортера розглянутої конструкції є наступні:

- транспортований матеріал;
- продуктивність конвеєра;
- висота або кут нахилу похилої частини конвеєра H або β відповідно;
- довжини відрізків та радіуса конвеєра: L_{12} , L_{34} , L_{56} , L_{78} , L_{156} , L_{67} , L_{78} , R_1 м.

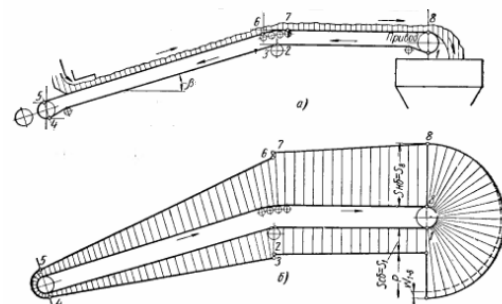


Рис. 1. Стрічковий конвеєр:
а – розрахункова схема; б – діаграма натягу стрічки

Fig. 1. Band conveyor:
a – design scheme; b – diagram of band tension

Для зручності у подальшому дослідженні визначаємо, що на конвеєрі використовуються

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

жолобчаті трироликові опори з кутом нахилу бокових роликів 20° на робочій гілці та рядові прямі роликоопори – на холостій гілці.

Враховуючи дані табл. 8.1 та 8.2 з [9], а також табл. 1 з [4] наведено в табл. 1 основні властивості вантажів, які необхідні для подальших розрахунків.

Значення швидкості руху стрічки в табл. 1 пораховані, як середнє в заданому діапазоні можливих значень для даного вантажу.

Ширина стрічки, необхідна для забезпечення заданої продуктивності Π , визначається за формулою:

$$B_n \geq 1,1 \left(\sqrt{\frac{\Pi}{k_n k_p \rho v}} + 0,05 \right), \quad (1)$$

де k_n – коефіцієнт площі поперечного перерізу матеріалу на стрічці (табл. 1); k_p – коефіцієнт, який враховує зменшення площі перерізу матеріалу на стрічці внаслідок його часткового зсипання в бік, протилежний напрямку руху (стор. 403, [9]); ρ – насипна щільність транспортованого матеріалу (табл. 1), т/м^3 .

Пораховане значення ширини стрічки округлюється до найближчого більшого зі стандар-

тного ряду ширини стрічки: 400; 500; 650; 800; 1 000, 1 200 мм.

Для зручності подальших досліджень зробимо деякі алгебраїчні перетворення у виразі (1). Після них маємо:

$$k_n \rho v (0,91 B_n - 0,05)^2 \geq \frac{\Pi}{k_p}. \quad (2)$$

Для однозначного визначення необхідної ширини, яка забезпечує проектну продуктивність конвеєра, потрібно, щоб співвідношення Π/k_p належало деякому діапазону значень. Такі діапазони наведені в табл. 2 [4]. Як відомо з формули (2), значення величини Π/k_p залежить від ширини стрічки, типу вантажу та прийнятої щільності матеріалу вантажу. Граничні значення діапазонів наведені у табл. 2 та пораховані для відповідних граничних значень щільності матеріалу. Наприклад, для піску та ширини стрічки $B = 400$ мм діапазон зміни $\Pi/k_p = 84,3 - 99,4$, при цьому 84,3 відповідає щільності піску $1,4 \text{ т/м}^3$, а 99,4 – щільності піску $1,65 \text{ т/м}^3$. Приклад використання даних табл. 2 детально описаний в роботі [4].

Таблиця 1

Швидкість руху стрічки та властивості вантажів

Table 1

Rate of movement of band and properties of loads

Насипні вантажі	Щільність матеріалу ρ , т/м^3	Коефіцієнт k_n	Швидкість руху стрічки, м/с, при ширині, мм				
			400	500 та 650	800–1 200	1 200–1 600	1 800–2 000
Пісок	1,4–1,65	470	1,3	1,5	2,6	3,3	5,5
Торф	0,33–0,4	550	1,3	1,5	2,6	3,3	5,5
Земля	1,1–1,6	470	1,3	1,5	2,6	3,3	5,5
Гравій	1,5–1,9	470	1,1	1,3	1,8	2,6	3,6
Каміння	1,8–2,2	550	–	1,3	1,3	1,8	2,6
Вугілля	0,8–1,0	470	1,1	1,3	1,4	1,8	–
Цемент	1,0–1,8	470	–	1,1	1,0	–	–
Щебінь	1,3–1,8	550	1,1	1,3	1,8	2,6	3,6

Таблиця 2

Діапазони значень співвідношення Π/k_B , які відповідають типу вантажу та ширині стрічки

Table 2

Ranges of values of correlation Π/k_B corresponding to the type of load and band width

Насипні вантажі	Щільність матеріалу ρ , т/м ³	Діапазони значень співвідношення Π/k_B , т/год, при ширині стрічки, мм		
		400	500	650
пісок	1,4–1,65	84,3–99,4	161,9–190,8	289,4–341,1
торф	0,33–0,4	23,3–28,2	44,6–54,1	79,8–96,7
земля	1,1–1,6	66,3–96,4	127,2–185	227,4–330,7
гравій	1,5–1,9	76,5–96,9	150,3–190,4	268,7–340,4
каміння	1,8–2,2	–	211,1–258	377,3–461,2
вугілля	0,8–1,0	40,8–51	80,2–100,2	143,3–179,1
цемент	1,0–1,8	–	84,8–152,6	151,6–272,8
щебінь	1,3–1,8	77,6–107,4	152,5–211,1	272,6–377,4

Закінчення табл. 2

End of table 2

Насипні вантажі	Щільність матеріалу ρ , т/м ³	Діапазони значень співвідношення Π/k_B , т/год, при ширині стрічки, мм		
		800	1 000	1 200
Пісок	1,4–1,65	786,5–926,9	1 265,3–1 491,3	2 357,6–2 778,6
Торф	0,33–0,4	216,9–262,9	349–423	650,3–788,3
Земля	1,1–1,6	617,9–898,8	994,2–1 446,1	1 852,4–2 694,4
Гравій	1,5–1,9	583,3–738,9	938,5–1 188,8	1 990,2–2 520,9
Каміння	1,8–2,2	591,6–723,1	951,9–1 163,4	1 934,8–2 364,8
Вугілля	0,8–1,0	242–302,5	389,4–486,7	734,88–918,6
Цемент	1,0–1,8	216,1–388,9	347,6–625,7	–
Щебінь	1,3–1,8	591,6–819,2	951,9–1 318	2 018,5–2 794,8

Для визначення параметричної залежності потужності приводу від проектних параметрів у роботі [4] розбито контур тягового органу конвеєра на прямолінійні та криволінійні ділянки (рис. 1, а), та для подальшого розрахунку використано метод тягового розрахунку по контуру. Для визначеності прийнято привід конвеєра з одним ведучим барабаном, кут обхвату якого $\gamma = 180^\circ$. Поверхня барабана футерована гумою. Таким чином, тяговий фактор конвеєра відповідно до табл. 3 [4] за прийнятих припущень буде $e^{\mu\gamma} = 3,52$.

Залежність питомої ваги матеріалу на стрічці від ширини стрічки та продуктивності конвеєра наведені в табл. 3.

Для визначеності у подальших розрахунках прийнято як робочий орган стрічкового конвеєра стрічку конвеєрну гумовотканинну за ГОСТ 20-85 БКНЛ-150, межа міцності прокладок якої на розрив $S_p = 150$ Н/мм. Крім того, всюди далі будемо вважати, що умови роботи конвеєра важкі або дуже важкі, тобто коефіцієнт опору руху стрічки $w = 0,03$.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

Залежність значення лінійної ваги стрічки від кількості прокладок та ширини стрічки наведено в табл. 4 [4].

Аналітичні залежності потужності приводу

конвеєра від проектних параметрів побудовані та обґрунтовані в роботі [4]. Такі залежності наведені в табл. 5.

Таблиця 3

**Залежність питомої ваги матеріалу q_m на стрічці
від ширини стрічки та продуктивності конвеєра**

Table 3

Dependence of specific gravity of material q_m at the band on the band width and conveyor productivity					
Насипні вантажі	Ширина стрічки, мм				
	400	500 та 650	800–1 200	1 200–21 600	1 800–2 000
Пісок	2,14П	1,85П	1,07П	0,84П	0,51П
Торф	2,14П	1,85П	1,07П	0,84П	0,51П
Земля	2,14П	1,85П	1,07П	0,84П	0,51П
Гравій	2,53П	2,14П	1,54П	1,07П	0,77П
Каміння	–	2,14П	2,14П	1,54П	1,07П
Вугілля	2,53П	2,14П	1,98П	1,54П	–
Цемент	–	2,53П	2,78П	–	–
Щебінь	2,53П	2,14П	1,54П	1,07П	0,77П

Таблиця 4

Лінійна вага стрічок

Table 4

Linear weight of bands				
Ширина стрічки B , мм	Лінійна вага стрічки при $i = 3$, Н/м	Лінійна вага стрічки при $i = 4$, Н/м	Лінійна вага стрічки при $i = 5$, Н/м	Лінійна вага стрічки при $i = 6$, Н/м
400	51,2	57,6	64	70,4
500	64	72	80	88
650	83,2	93,6	104	114,4
800	102,4	115,2	128	140,8
1 000	128	144	160	176
1 200	153,6	172,8	192	211,2

Таблиця 5

Установлювана потужність приводу

Table 5

Calculation drive power

Ширина стрічки, мм	P_y при щільності вантажу ρ , Н/м		
	до 1 т/м ³	1–2 т/м ³	Більше ніж 2 т/м ³
1	2	3	4
400	$[\nu(1,08e^{\mu\gamma}-0,92)e^{w\alpha}/833,3\eta(e^{\mu\gamma}-1,08e^{w\alpha})][0,033q_c(L_r+ \\ +(L_{34}+L_{56})\cos\beta+32,3(L_{56}-L_{34})\sin\beta+L_{78}/e^{w\alpha})+0,65(L_r+ \\ +L_{34}+3,08(L_{56}+L_{78}/e^{w\alpha}))+ \\ +q_m(L_{56}(0,03\cos\beta+\sin\beta)+ \\ +0,03L_{78}/e^{w\alpha})]$	$[\nu(1,08e^{\mu\gamma}-0,92)e^{w\alpha}/833,3\eta(e^{\mu\gamma}-1,08e^{w\alpha})][0,033q_c(L_r+ \\ +(L_{34}+L_{56})\cos\beta+32,3(L_{56}-L_{34})\sin\beta+L_{78}/e^{w\alpha})+0,7(L_r+ \\ +L_{34}+3,06(L_{56}+L_{78}/e^{w\alpha}))+ \\ +q_m(L_{56}(0,03\cos\beta+\sin\beta)+ \\ +0,03L_{78}/e^{w\alpha})]$	$[\nu(1,08e^{\mu\gamma}-0,92)e^{w\alpha}/833,3\eta(e^{\mu\gamma}-1,08e^{w\alpha})][0,033q_c(L_r+ \\ +(L_{34}+L_{56})\cos\beta+32,3(L_{56}-L_{34})\sin\beta+L_{78}/e^{w\alpha})+0,75(L_r+ \\ +L_{34}+3,08(L_{56}+L_{78}/e^{w\alpha}))+ \\ +q_m(L_{56}(0,03\cos\beta+\sin\beta)+ \\ +0,03L_{78}/e^{w\alpha})]$
500	$[\nu(1,08e^{\mu\gamma}-0,92)e^{w\alpha}/833,3\eta(e^{\mu\gamma}-1,08e^{w\alpha})][0,033q_c(L_r+ \\ +(L_{34}+L_{56})\cos\beta+32,3(L_{56}-L_{34})\sin\beta+L_{78}/e^{w\alpha})+0,81(L_r+ \\ +L_{34}+2,82(L_{56}+L_{78}/e^{w\alpha}))+ \\ +q_m(L_{56}(0,03\cos\beta+\sin\beta)+ \\ +0,03L_{78}/e^{w\alpha})]$	$[\nu(1,08e^{\mu\gamma}-0,92)e^{w\alpha}/833,3\eta(e^{\mu\gamma}-1,08e^{w\alpha})][0,033q_c(L_r+ \\ +(L_{34}+L_{56})\cos\beta+32,3(L_{56}-L_{34})\sin\beta+L_{78}/e^{w\alpha})+0,87(L_r+ \\ +L_{34}+2,84(L_{56}+L_{78}/e^{w\alpha}))+ \\ +q_m(L_{56}(0,03\cos\beta+\sin\beta)+ \\ +0,03L_{78}/e^{w\alpha})]$	$[\nu(1,08e^{\mu\gamma}-0,92)e^{w\alpha}/833,3\eta(e^{\mu\gamma}-1,08e^{w\alpha})][0,033q_c(L_r+ \\ +(L_{34}+L_{56})\cos\beta+32,3(L_{56}-L_{34})\sin\beta+L_{78}/e^{w\alpha})+0,94(L_r+ \\ +L_{34}+2,82(L_{56}+L_{78}/e^{w\alpha}))+ \\ +q_m(L_{56}(0,03\cos\beta+\sin\beta)+ \\ +0,03L_{78}/e^{w\alpha})]$
650	$[\nu(1,08e^{\mu\gamma}-0,92)e^{w\alpha}/833,3\eta(e^{\mu\gamma}-1,08e^{w\alpha})][0,033q_c(L_r+ \\ +(L_{34}+L_{56})\cos\beta+32,3(L_{56}-L_{34})\sin\beta+L_{78}/e^{w\alpha})+1,23(L_r+ \\ +L_{34}+2,18(L_{56}+L_{78}/e^{w\alpha}))+ \\ +q_m(L_{56}(0,03\cos\beta+\sin\beta)+ \\ +0,03L_{78}/e^{w\alpha})]$	$[\nu(1,08e^{\mu\gamma}-0,92)e^{w\alpha}/833,3\eta(e^{\mu\gamma}-1,08e^{w\alpha})][0,033q_c(L_r+ \\ +(L_{34}+L_{56})\cos\beta+32,3(L_{56}-L_{34})\sin\beta+L_{78}/e^{w\alpha})+1,31(L_r+ \\ +L_{34}+2,2(L_{56}+L_{78}/e^{w\alpha}))+ \\ +q_m(L_{56}(0,03\cos\beta+\sin\beta)+ \\ +0,03L_{78}/e^{w\alpha})]$	$[\nu(1,08e^{\mu\gamma}-0,92)e^{w\alpha}/833,3\eta(e^{\mu\gamma}-1,08e^{w\alpha})][0,033q_c(L_r+ \\ +(L_{34}+L_{56})\cos\beta+32,3(L_{56}-L_{34})\sin\beta+L_{78}/e^{w\alpha})+1,43(L_r+ \\ +L_{34}+2,2(L_{56}+L_{78}/e^{w\alpha}))+ \\ +q_m(L_{56}(0,03\cos\beta+\sin\beta)+ \\ +0,03L_{78}/e^{w\alpha})]$
800	$[\nu(1,08e^{\mu\gamma}-0,92)e^{w\alpha}/833,3\eta(e^{\mu\gamma}-1,08e^{w\alpha})][0,033q_c(L_r+ \\ +(L_{34}+L_{56})\cos\beta+32,3(L_{56}-L_{34})\sin\beta+L_{78}/e^{w\alpha})+2,15(L_r+ \\ +L_{34}+2,2(L_{56}+L_{78}/e^{w\alpha}))+ \\ +q_m(L_{56}(0,03\cos\beta+\sin\beta)+ \\ +0,03L_{78}/e^{w\alpha})]$	$[\nu(1,08e^{\mu\gamma}-0,92)e^{w\alpha}/833,3\eta(e^{\mu\gamma}-1,08e^{w\alpha})][0,033q_c(L_r+ \\ +(L_{34}+L_{56})\cos\beta+32,3(L_{56}-L_{34})\sin\beta+L_{78}/e^{w\alpha})+2,31(L_r+ \\ +L_{34}+2,2(L_{56}+L_{78}/e^{w\alpha}))+ \\ +q_m(L_{56}(0,03\cos\beta+\sin\beta)+ \\ +0,03L_{78}/e^{w\alpha})]$	$[\nu(1,08e^{\mu\gamma}-0,92)e^{w\alpha}/833,3\eta(e^{\mu\gamma}-1,08e^{w\alpha})][0,033q_c(L_r+ \\ +(L_{34}+L_{56})\cos\beta+32,3(L_{56}-L_{34})\sin\beta+L_{78}/e^{w\alpha})+2,51(L_r+ \\ +L_{34}+2,2(L_{56}+L_{78}/e^{w\alpha}))+ \\ +q_m(L_{56}(0,03\cos\beta+\sin\beta)+ \\ +0,03L_{78}/e^{w\alpha})]$
1 000	$[\nu(1,08e^{\mu\gamma}-0,92)e^{w\alpha}/833,3\eta(e^{\mu\gamma}-1,08e^{w\alpha})][0,033q_c(L_r+ \\ +(L_{34}+L_{56})\cos\beta+32,3(L_{56}-L_{34})\sin\beta+L_{78}/e^{w\alpha})+2,75(L_r+ \\ +L_{34}+2,1(L_{56}+L_{78}/e^{w\alpha}))+ \\ +q_m(L_{56}(0,03\cos\beta+\sin\beta)+ \\ +0,03L_{78}/e^{w\alpha})]$	$[\nu(1,08e^{\mu\gamma}-0,92)e^{w\alpha}/833,3\eta(e^{\mu\gamma}-1,08e^{w\alpha})][0,033q_c(L_r+ \\ +(L_{34}+L_{56})\cos\beta+32,3(L_{56}-L_{34})\sin\beta+L_{78}/e^{w\alpha})+2,98(L_r+ \\ +L_{34}+2,1(L_{56}+L_{78}/e^{w\alpha}))+ \\ +q_m(L_{56}(0,03\cos\beta+\sin\beta)+ \\ +0,03L_{78}/e^{w\alpha})]$	$[\nu(1,08e^{\mu\gamma}-0,92)e^{w\alpha}/833,3\eta(e^{\mu\gamma}-1,08e^{w\alpha})][0,033q_c(L_r+ \\ +(L_{34}+L_{56})\cos\beta+32,3(L_{56}-L_{34})\sin\beta+L_{78}/e^{w\alpha})+3,25(L_r+ \\ +L_{34}+2,1(L_{56}+L_{78}/e^{w\alpha}))+ \\ +q_m(L_{56}(0,03\cos\beta+\sin\beta)+ \\ +0,03L_{78}/e^{w\alpha})]$
1 200	$[\nu(1,08e^{\mu\gamma}-0,92)e^{w\alpha}/833,3\eta(e^{\mu\gamma}-1,08e^{w\alpha})][0,033q_c(L_r+ \\ +(L_{34}+L_{56})\cos\beta+32,3(L_{56}-L_{34})\sin\beta+L_{78}/e^{w\alpha})+3,13(L_r+ \\ +L_{34}+2,14(L_{56}+L_{78}/e^{w\alpha}))+ \\ +q_m(L_{56}(0,03\cos\beta+\sin\beta)+ \\ +0,03L_{78}/e^{w\alpha})]$	$[\nu(1,08e^{\mu\gamma}-0,92)e^{w\alpha}/833,3\eta(e^{\mu\gamma}-1,08e^{w\alpha})][0,033q_c(L_r+ \\ +(L_{34}+L_{56})\cos\beta+32,3(L_{56}-L_{34})\sin\beta+L_{78}/e^{w\alpha})+3,39(L_r+ \\ +L_{34}+2,14(L_{56}+L_{78}/e^{w\alpha}))+ \\ +q_m(L_{56}(0,03\cos\beta+\sin\beta)+ \\ +0,03L_{78}/e^{w\alpha})]$	$[\nu(1,08e^{\mu\gamma}-0,92)e^{w\alpha}/833,3\eta(e^{\mu\gamma}-1,08e^{w\alpha})][0,033q_c(L_r+ \\ +(L_{34}+L_{56})\cos\beta+32,3(L_{56}-L_{34})\sin\beta+L_{78}/e^{w\alpha})+3,7(L_r+ \\ +L_{34}+2,14(L_{56}+L_{78}/e^{w\alpha}))+ \\ +q_m(L_{56}(0,03\cos\beta+\sin\beta)+ \\ +0,03L_{78}/e^{w\alpha})]$

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

Результати

Виконаємо графічний аналіз впливу проектних параметрів горизонтально-похилого стрічкового конвеєра (рис. 1) для транспортування землі на потужність необхідного приводу.

Вихідні дані для дослідження приймемо такі:

- транспортований матеріал – земля;
- щільність $\rho = 1,6 \text{ т/м}^3$;
- продуктивність конвеєра $\Pi = 40 \text{ м}^3/\text{год} = 64 \text{ т/год}$;
- висота підйому вантажу $H = 6,5 \text{ м}$;
- траса конвеєра: довжина $L_r = 37,1 \text{ м}$;
- відрізки траси $L_{34} = L_{56} = 15,02 \text{ м}$,
 $L_r = L_{78} = 21,02 \text{ м}$, $L_{r56} = 16,08 \text{ м}$, $L_{67} = 2,67 \text{ м}$,
 $R_1 = 6 \text{ м}$.

За умови, що $H = 6,5 \text{ м}$ та $L_{r56} = 16,08 \text{ м}$, визначаємо кут нахилу похилої частини конвеєра:

$$\beta = \arctg \frac{H}{L_{r56}} = \arctg \frac{6,5}{16,08} \approx 22^\circ.$$

За допомогою табл. 5 (с. 403, [9]) маємо: $k_\beta = 0,76$.

Визначаємо значення співвідношення Π/k_β за умови $\Pi = 64 \text{ т/год}$ та $\rho = 1,6 \text{ т/м}^3$:

$$\Pi/k_\beta = 64/0,76 = 84,2 < 96,4.$$

За табл. 2 приймаємо значення ширини стрічки для забезпечення необхідної проектної продуктивності конвеєра $B = 400 \text{ мм}$. За табл. 1 для вантажу (земля) обираємо швидкість руху стрічки $v = 1,3 \text{ м/с}$.

Графічна залежність ширини стрічки для забезпечення необхідної проектної продуктивності конвеєра від значення співвідношення Π/k_β при вантажу – земля зі щільністю $\rho = 1,6 \text{ т/м}^3$ зображена на рис. 2.

Графічна залежність ширини стрічки для забезпечення необхідної проектної продуктивності конвеєра від значення продуктивності Π при куті нахилу похилої ділянки конвеєра $\beta = 22^\circ$ та відповідному $k_\beta = 0,76$ при вантажу – земля зі щільністю $\rho = 1,6 \text{ т/м}^3$ зображена на рис. 3.

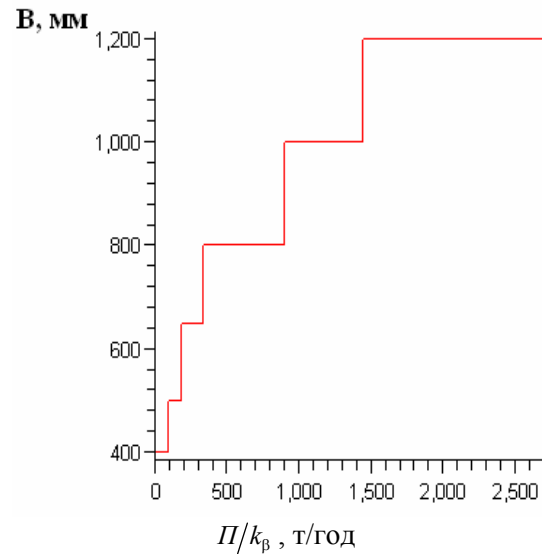


Рис. 2. Графічна залежність ширини стрічки для забезпечення необхідної проектної продуктивності конвеєра від значення співвідношення Π/k_β

Fig. 2. Graphical dependence of band width to provide the necessary project productivity on the value of the ratio Π/k_β

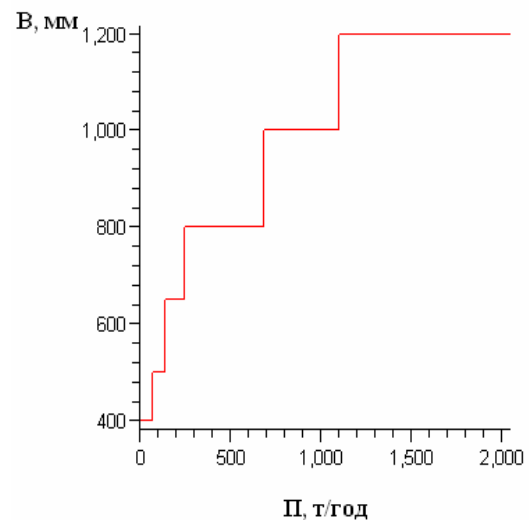


Рис. 3. Графічна залежність ширини стрічки для забезпечення необхідної проектної продуктивності конвеєра від значення продуктивності Π при $\beta = 22^\circ$ та $\rho = 1,6 \text{ т/м}^3$

Fig. 3. Graphical dependence of band width to provide the necessary project productivity of conveyor on the value of performance Π at $\beta = 22^\circ$ and $\rho = 1,6 \text{ т/м}^3$

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

Відповідно до $B = 400$ мм з табл. 3 обираємо відповідну залежність питомої ваги матеріалу на стрічці від продуктивності конвеєра $q_m = 2,14\Pi$ Н/м.

Приймаємо кількість прокладок стрічки $i = 4$ та відповідну ширину $B = 400$ мм за табл. 4 її лінійну вагу $q_c = 57,6$ Н/м.

При $L_{67} = 2,67$ м, $R_1 = 6$ м визначаємо кут обхвату стрічкою батареї роликів за формулою:

$$\alpha = \frac{L_{67}}{R_1} = \frac{2,67}{6} = 0,445 \text{ рад} \approx 25,5^\circ.$$

Для зазначених умов, тобто $B = 400$ мм, $\rho = 1,6$ т/м³ (земля), $q_m = 2,14\Pi$ Н/м, $\beta = 22^\circ$ та заданих геометричних розмірах ділянок конвеєра графічна залежність установлюваної потужності приводу конвеєра від величини проектної продуктивності зображена на рис. 4. Діапазон зміни продуктивності прийнятий $[0, 73,3]$, оскільки при іншому зміниться ширина стрічки та відповідно параметрична залежність потужності приводу від продуктивності.

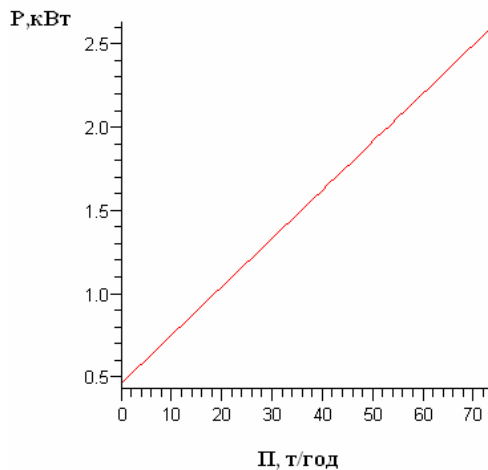


Рис. 4. Графічна залежність потужності приводу від проектної продуктивності конвеєра Π при $\beta = 22^\circ$ та $\rho = 1,6$ т/м³

Fig. 4. Graphic dependence of drive power on the project productivity of conveyor Π at $\beta = 22^\circ$ and $\rho = 1,6$ т/м³

Аналitична залежність установлюваної потужності приводу конвеєра від величини проектної продуктивності при вищезазначених умовах має вигляд:

$$P = 0,029\Pi + 0,47.$$

Для зазначених умов, тобто $B = 400$ мм, $\rho = 1,6$ т/м³ (земля), $q_m = 2,14\Pi$ Н/м, $\Pi = 64$ т/год та заданих геометричних розмірах ділянок конвеєра графічна залежність установлюваної потужності приводу конвеєра від величини кута нахилу похилої ділянки конвеєра β зображена на рис. 5. Діапазон зміни кута нахилу β прийнятий $[0, \pi/6]$, оскільки при іншому зміниться ширина стрічки та відповідно параметрична залежність потужності приводу від продуктивності та кута нахилу.

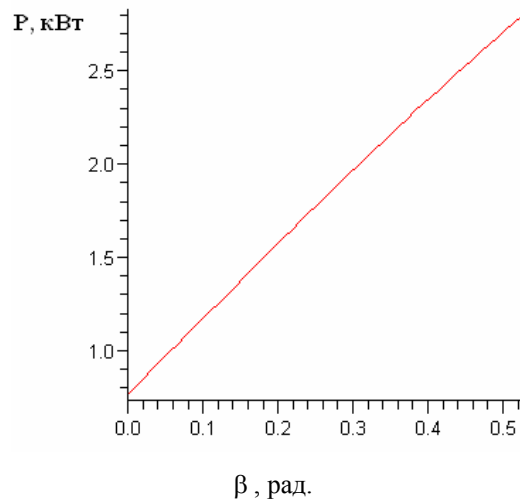


Рис. 5. Графічна залежність потужності приводу від кута нахилу похилої ділянки конвеєра β при $\Pi = 64$ т/год та $\rho = 1,6$ т/м³

Fig. 5. Graphical dependence of drive power on the angle of the inclined conveyor section β at $\Pi = 64$ т/год and $\rho = 1,6$ т/м³

Аналitична залежність установлюваної потужності приводу конвеєра від кута нахилу похилої ділянки конвеєра β при вищезазначених умовах має вигляд:

$$P = 0,238\cos\beta + 4,11\sin\beta + 0,534.$$

Для розуміння характеру зміни потужності від кута β наведемо цей же графік, але на більшому діапазоні зміни кута β , тобто $[0, 2\pi]$.

Бачимо, що така залежність являє собою синусоїду з амплітудою 4,11, яка зсунута по вертикалі на 0,872. Але наведена на рис. 6 залежність відповідає дійсності лише на відрітку змі-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

ни кута нахилу β $[0, \pi/6]$.

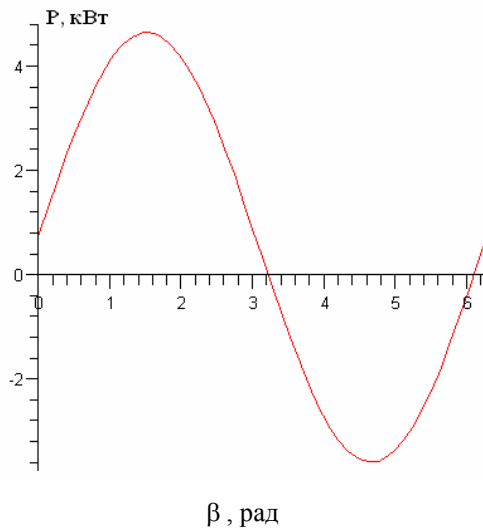


Рис. 6. Графічна залежність потужності приводу від кута нахилу похилої ділянки конвеєра β при $\Pi = 64$ т/год та $\rho = 1,6$ т/м³

Fig. 6. Graphical dependence of drive power on the angle of the inclined conveyor section β at $\Pi = 64$ t/h and $\rho = 1,6$ t/m³

Наведемо графічну залежність установлюваної потужності приводу конвеєра від значення проектної продуктивності конвеєра заданої конфігурації та геометричних розмірах його ділянок з урахуванням зміни ширини стрічки та відповідних їй швидкості руху стрічки, питомої ваги стрічки та питомої ваги вантажу на стрічці при досягненні значення продуктивності до граничного в табл. 2. Умови роботи – важкі.

Для зазначених умов, тобто $\rho = 1,6$ т/м³ (земля), $\beta = 22^\circ$ визначимо за табл. 2 та 5 аналітичні залежності установлюваної потужності приводу конвеєра від значення проектної продуктивності конвеєра та межі їх дій:

$$P = 0,029\Pi + 0,47 \text{ при } \Pi \in (0, 73.3];$$

$$P = 0,025\Pi + 0,571 \text{ при } \Pi \in (73.3, 140.6];$$

$$P = 0,025\Pi + 0,732 \text{ при } \Pi \in (140.6, 251.3];$$

$$P = 0,014\Pi + 1,061 \text{ при } \Pi \in (251.3, 683.1];$$

$$P = 0,014\Pi + 1,326 \text{ при } \Pi \in (683.1, 1099];$$

$$P = 0,011\Pi + 1,56 \text{ при } \Pi \in (1099, 2047.7].$$

Відповідна наведеним аналітичним залежностям графічна залежність установлюваної потужності приводу конвеєра від величини проектної продуктивності на діапазоні $[0, 2047,7]$ т/год зображена на рис. 7.

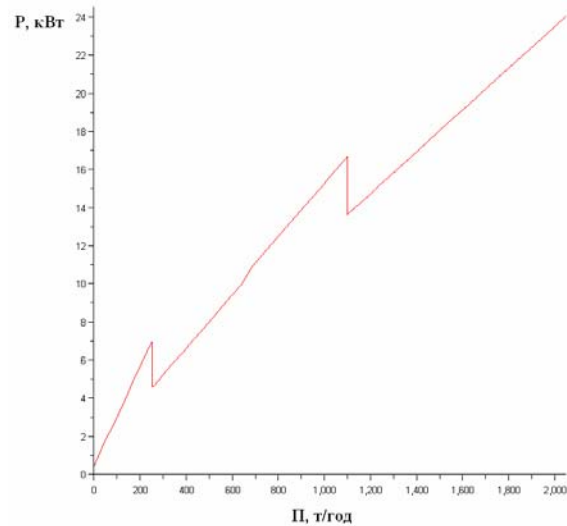


Рис. 7. Графічна залежність потужності приводу від проектної продуктивності конвеєра Π при $\beta = 22^\circ$ та $\rho = 1,6$ т/м³

Fig. 7. Graphic dependence of drive power on the project performance of conveyor Π at $\beta = 22^\circ$ and $\rho = 1,6$ t/m³

Наукова новизна та практична значимість

Виконано дослідження залежності ширини стрічки конвеєра від узагальненого параметру, який враховує проектну продуктивність конвеєра та кут нахилу його похилої ділянки. Для конкретного типу вантажу та кута нахилу ділянки конвеєра побудовано графічну залежність ширини стрічки від продуктивності при фіксованих інших проектних параметрів.

Виконано якісний аналіз залежності потужності приводу стрічкових транспортерів з похилою та горизонтальною ділянками (в тому числі і з урахуванням зміни ширини стрічки) від проектної продуктивності, кута нахилу похилої частини при фіксованих геометричних розмірах та конфігурації траси конвеєра, умов роботи, а також з урахуванням стандартних розмірів та параметрів стрічок, роликкоопор. Побудовані відповідні графічні залежності.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

Використання побудованих залежностей дає можливість визначити загальний характер зміни потужності приводу при варіюванні таких параметрів, як продуктивність та кут нахилу ділянки конвеєра.

Запропоновані залежності можуть бути використані для визначення раціональної потужності приводу конвеєра при конкретних проектних даних.

Висновки

Для стрічкових транспортерів з похилою та горизонтальною ділянками побудовано графічну залежність необхідної ширини стрічки від проектних параметрів: типу вантажу, проектної продуктивності, геометричних розмірів та конфігурації траси конвеєра. Побудована залежність дає можливість швидко отримувати необхідну ширину стрічки при відомих проектних даних. За результатами досліджень побудовано

графічні залежності потужності приводу конвеєра від продуктивності з урахуванням зміни ширини стрічки при її зростанні, а також – від кута нахилу ділянки траси конвеєра. Встановлено, що функція зміни величини потужності конвеєра від проектної продуктивності (при фіксованих інших параметрах) є лінійною та монотонно зростаючою на ділянках постійної ширини стрічки, а залежність величини потужності конвеєра від його кута нахилу (при фіксованих інших параметрах) є нелінійною, синусоїдальною.

Такі залежності дають можливість встановити загальну закономірність відповідних залежностей та отримувати необхідне значення потужності приводу із врахуванням типу та фізико-механічних властивостей вантажів, величини висоти підйому, довжини транспортування та проектної продуктивності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Александров, М. П. Подъемно-транспортные машины : учебник / М. П. Александров. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Баумана : Высш. шк., 2000. – 522 с.
2. Аналіз впливу проектних характеристик похилого ковшового елеватору на потужність його приводу / В. М. Богомаз, М. В. Боренко, С. В. Пацановський, О. О. Ткачов // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 6 (66). – С. 136–157. doi: 10.15802/stp2016/90497.
3. Богомаз, В. М. Аналіз впливу проектних характеристик елеватору на параметри його приводу / В. М. Богомаз // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 3 (57). – С. 162–175. doi: 10.15802/stp2015/46076.
4. Богомаз, В. М. Дослідження залежності потужності приводу стрічкового конвеєра від його проектних параметрів / В. М. Богомаз // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 1 (61). – С. 131–146. doi: 10.15802/stp2016/61024.
5. Зенков, Р. Л. Машины непрерывного транспорта : учебник / Р. Л. Зенков, И. И. Ивашков, Л. Н. Колобов. – Москва : Машиностроение, 1987. – 432 с.
6. Иванченко, Ф. К. Подъемно-транспортные машины : підручник / Ф. К. Иванченко. – Київ : Вища шк., 1993. – 413 с.
7. Катрюк, И. С. Машины непрерывного транспорта. Конструкции, проектирование и эксплуатация : учеб. пособие / И. С. Катрюк, Е. В. Мусияченко. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2006. – 266 с.
8. Кузьмин, А. В. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин : учеб. пособие / А. В. Кузьмин. – Минск : Вышэйш. шк., 1983. – 350 с.
9. Подъемно-транспортные машины: расчеты подъемных и транспортируемых машин : підручник / В. С. Бондарев, О. І. Дубинець, М. П. Колісник [та ін.]. – Київ : Вища шк., 2009. – 734 с.
10. Ракша, С. В. Аналіз впливу пружних деформацій несучого каната на зусилля в тяговому канаті підвісної дороги / С. В. Ракша, Ю. К. Горячов, О. С. Куроп'ятник // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 6 (48). – С. 110–119. doi: 10.15802/stp2013/19686.
11. Расчет и проектирование транспортных средств непрерывного действия : науч. пособие для вузов / А. И. Барышев, В. А. Будишевский, А. А. Сулима, А. М. Ткачук. – Донецк : Норд-Пресс, 2005. – 689 с.
12. Ромакин, Н. Е. Машины непрерывного транспорта : учеб. пособие / Н. Е. Ромакин. – Москва : Академия, 2008. – 432 с.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

13. Askari, H. Nonlinear Oscillations Analysis of the Elevator Cable in a Drum Drive Elevator System / H. Askari, D. Younesian, Z. Saadatnia // *Advances in Applied Mathematics and Mechanics*. – 2015. – Vol. 7. – Iss. 01. – P. 43–57. doi: 10.4208/aamm.2013.m225.
14. Failure Analysis on Conveyer Chain Links of a Central Bucket Elevator / J. Yin, O. Muvengi, J. Kihui, K. Njoroge / *J. of Mechanical and Civil Engineering*. – 2016. – Vol. 13. – Iss. 04. – P. 56–63. doi: 10.9790/1684-1304075663.
15. Li, S. C. Study on Elevator Drive System Dynamics Simulation of Rail Transport Conveyer / S. C. Li, X. J. Wang // *Applied Mechanics and Materials*. – 2014. – Vol. 511–512. – P. 619–622. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.511-512.619.

В. Н. БОГОМАЗ^{1*}, Н. В. БОРЕНКО^{2*}, И. В. НЕЧАЙ^{3*}, А. П. СЕВЕРИН^{4*}

^{1*}Каф. «Военная подготовка специалистов Государственной специальной службы транспорта», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 19 09, эл. почта wbogomas@i.ua, ORCID 0000-0001-5913-2671

^{2*}Каф. «Военная подготовка специалистов Государственной специальной службы транспорта», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 19 09, эл. почта bmv1961@ukr.net, ORCID 0000-0001-9578-3906

^{3*}Каф. «Прикладная математика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 19 09, эл. почта i.v.nechay@gmail., ORCID 0000-0002-9250-7794

^{4*}Каф. «Военная подготовка специалистов Государственной специальной службы транспорта», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 19 09, эл. почта severinlist@gmail.com, ORCID 0000-0001-9967-4731

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ МОЩНОСТИ ПРИВОДА ЛЕНТОЧНОГО ГОРИЗОНТАЛЬНО-НАКЛОННОГО КОНВЕЙЕРА ОТ ЕГО ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Цель. Одним из основных элементов ленточных конвейеров является привод. Для анализа влияния проектных параметров на величину мощности привода необходимо провести расчеты по стандартным методикам, изложенным в современной технической литературе. Основными проектными параметрами ленточного конвейера являются: тип груза, проектная производительность, геометрические размеры участков и конфигурация трассы в целом. Особенностью расчетов ленточного конвейера, по сравнению с элеваторами, является зависимость ширины его ленты от производительности, угла наклона участка и типа груза. В статье для учета этого факта при расчетах необходимо построить зависимость ширины ленты от обобщенного параметра, который учитывает изменение проектных параметров. Для определения общей закономерности изменения величины мощности привода ленточного конвейера при варьировании его проектных параметров в статье необходимо построить соответствующие графические зависимости с учетом стандартных размеров и параметров лент. **Методика.** В работе рассматривается ленточный конвейер с двумя участками: наклонным и горизонтальным. Проводится детальный анализ зависимости ширины ленты конвейера и мощности его привода от типа груза, проектной производительности, геометрических размеров и конфигурации трассы конвейера, используя соответствующие параметрические зависимости, построенные авторами в предыдущих работах. **Результаты.** Для ленточных конвейеров рассматриваемого типа построены графические зависимости ширины ленты от параметра, характеризующего проектную производительность и угол наклона участка трассы, а также – от производительности при фиксированном угле наклона. С учетом изменения ширины ленты при росте величины проектной производительности построены графические зависимости мощности привода от производительности и угла наклона наклонного участка. **Научная новизна.** Авторами впервые построены общие зависимости ширины ленты и мощности привода конвейера с двумя участками (наклонной и горизонтальной) от проектных параметров и приведены соответствующие графики. **Практическая значимость.** Использование построенных графических зависимостей мощности привода ленточных конвейеров с наклонным и горизонтальным участками от проектных параметров дает возможность быстрого определения приблизительного значения мощности привода на стадии проектирования, а также определить общий характер изменения ее величины при варьировании проектных параметров.

Ключевые слова: конвейер; лента; привод; мощность; производительность; угол наклона

V. M. BOHOMAZ^{1*}, M. V. BORENKO^{2*}, I. V. NECHAY^{3*}, O. P. SEVERYN^{4*}

^{1*}Dep. «Military Training of Specialists of the State Special Service of Transport», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 19 09, e-mail wbogomas@i.ua, ORCID 0000-0001-5913-2671

^{2*}Dep. «Military Training of Specialists of the State Special Service of Transport», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 19 09, e-mail bmw1961@ukr.net, ORCID 0000-0001-9578-3906

^{3*}Dep. «Applied Mathematics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 19 09, e-mail i.v.nechay@gmail, ORCID 0000-0002-9250-7794

^{4*}Dep. «Military Training of Specialists of the State Special Service of Transport», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 19 09, e-mail severinlist@gmail.com, ORCID 0000-0001-9967-4731

QUALITATIVE ANALYSIS OF DEPENDENCE OF DRIVE POWER HORIZONTAL-INCLINED BELT CONVEYOR ON ITS INITIAL PARAMETERS

Purpose. One of the main elements of band conveyors is a drive. To analyze the effect of design parameters on the drive power it is necessary to carry out the calculations according to standard procedures outlined in the current technical literature. The main design parameters of the band conveyor are: the type of cargo, project performance, the geometric dimensions of sections and track configuration as a whole. The feature of band conveyor calculation as compared to the elevators is the dependence of the band width on its performance, the inclination angle and the type of cargo. In the article for the account of this fact during calculations it is necessary to construct the dependence of the band width on the generalized parameter, which takes into account change in the design parameters. To determine the general pattern of changing the value of band conveyor drive power when varying its design parameters in the article it is necessary to construct the corresponding graphic dependences taking into account the standard sizes and bands parameters. **Methodology.** We consider the band conveyor with two sections: the inclined and horizontal one. It is conducted a detailed analysis of dependence of the conveyor band width and its drive power on the type of cargo, project performance, geometric dimensions and configuration of the conveyor track, using the appropriate parameter dependences constructed by the authors in previous papers. **Findings.** For band conveyors of this type there were constructed the graphics dependences of the band width on the parameter characterizing the project performance and the inclination angle of the track section, and on the performance at a fixed angle of inclination. Taking into account the changes in the band width with an increase in the value of project performance the graph dependences of drive power on the productivity and the inclination angle of the inclined section were built. **Originality.** For the first time there were built the general dependences of the conveyor band width and the drive power with two sections (inclined and horizontal) on the design parameters and there were presented the corresponding graphs. **Practical value.** Use of the built graphic dependences of drive power of band conveyors with the inclined and horizontal sections on the design parameters makes it possible to quickly determine the approximate value of drive power at the design stage, and to determine the general change nature of its value while varying the design parameters.

Keywords: conveyor; band; drive; power; productivity; inclination angle

REFERENCES

1. Aleksandrov, M. P. (2000). *Pod'yemno-transportnyye mashiny*. Moscow: MGTU.
2. Bohomaz, V. M., Borenko, M. V., Patsanovskiy, S. V., & Tkachov, O. O. (2016). Analysis of influence of design characteristics of inclined bucket elevator on the power of its drive. *Science and Transport Progress*, 6(66), 136-157. doi: 10.15802/stp2016/90497
3. Bohomaz, V. M. (2015). Influence analyses of designed characteristics of the elevator to the parameters of its drive. *Science and Transport Progress*, 3(57), 162-175. doi: 10.15802/stp2015/46076
4. Bohomaz, V. M. (2016). Research of dependence of belt conveyer drive power on its design parameters. *Science and Transport Progress*, 1(61), 131-146. doi: 10.15802/stp2016/61024
5. Zenkov, R. L., Ivashkov, I. I., & Kolobov, L. N. (1987). *Mashiny nepreryvnogo transporta*. Moscow: Mashinostroeniye.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

6. Ivanchenko, F. K. (1993). *Pidiomno-transportni mashyny*. Kyiv: Vyshcha shkola.
7. Katryuk, I. S., & Musiyachenko, Y. V. (2006). *Mashyny nepreryvnogo transporta. Konstruktsii, proyektirovaniye i ekspluatatsiya*. Krasnoyarsk: IPTs KGTU.
8. Kuzmin, A. V. (1983). *Spravochnik po raschetam mekhanizmov podemno-transportnykh mashin*. Minsk: Vysheyschaya shkola.
9. Bondariev, V. S., Dubynets, O. I., Kolisnyk, M. P., Bondariev, S. V., Horbatenko, Y. P., & Barabanov, V. Y. (2009). *Pidiomno-transportni mashyny: rozrakhunky pidiimalnykh i transportuvalnykh mashyn*. Kyiv: Vyshcha shkola.
10. Raksha, S. V., Goryachev, Y. K., & Kuropyatnik, A. S. (2013). Influence analysis of elastic deformations of the track cable on efforts in the hauling rope of aerial ropeway. *Science and Transport Progress*, 6(48), 110-119. doi: 10.15802/stp2013/19686
11. Baryshev, A. I., Budishevskiy, V. A., Sulima, A. A., & Tkachuk, A. M. (2005). *Raschet i proyektirovaniye transportnykh sredstv nepreryvnogo deystviya*. Donetsk: Nord-Press.
12. Romakin, N. Y. (2008). *Mashyny nepreryvnogo transporta*. Moscow: Akademiya.
13. Askari, H., Younesian, D., & Saadatnia, Z. (2015). Nonlinear Oscillations Analysis of the Elevator Cable in a Drum Drive Elevator System. *Advances in Applied Mathematics and Mechanics*, 7(01), 43-57. doi: 10.4208/aamm.2013.m225
14. Yin, J., Muvengei, O., Kihui, J., & Njoroge, K. (2016). Failure Analysis on Conveyor Chain Links of a Central Bucket Elevator. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 13(04), 56-63. doi: 10.9790/1684-1304075663
15. Li, S. C., & Wa, J. (2014). Study on Elevator Drive System Dynamics Simulation of Rail Transport Conveyor. *Applied Mechanics and Materials*, 511-512, 619-622. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.511-512.619

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. С. В. Ракишою (Україна);
д.т.н., проф. В. Г. Заренбіним (Україна)

Надійшла до редколегії: 10.10.2016

Прийнята до друку: 10.01.2017