

Приклад виконання завдання для одного виду технологічного обладнання

1. Опис характеристик, конструкції, методик розрахунку технологічного обладнання для розгляду варіантів подальшої його модернізації

Повна назва обладнання: Двохмасовий врівноважений вібраційний конвеєр

Принцип роботи даного обладнання полягає в тому, що вібромотор проковує коливання труби, а вона в свою чергу приводить в дію процес переміщення матеріалу, який в неї потрапляє (рис. 1).

Основні технічні характеристики трубних вибраційних конвеєрів

Модель конвеєра	KB1T-0,15	KB1T-0,2	KB1T-0,3	KB1T-0,4
Внутрішній діаметр вантажонесучого органу, мм	150	207	313	412
Довжина транспортування, мм не більше	3600	4000	5000	6000
Продуктивність (пісок), м ³ /год	8	16	30	40
Потужність приводу, кВт	2x0,37	2x0,525	2x0,75	2x1,5
Маса, кг	185	300	549	880

Приклад розрахунку двухмасового врівноваженого вібраційного конвеєра для транспортування вантажів (деталей або сировини) з насипу густиною γ_p та найбільшим розміром b .

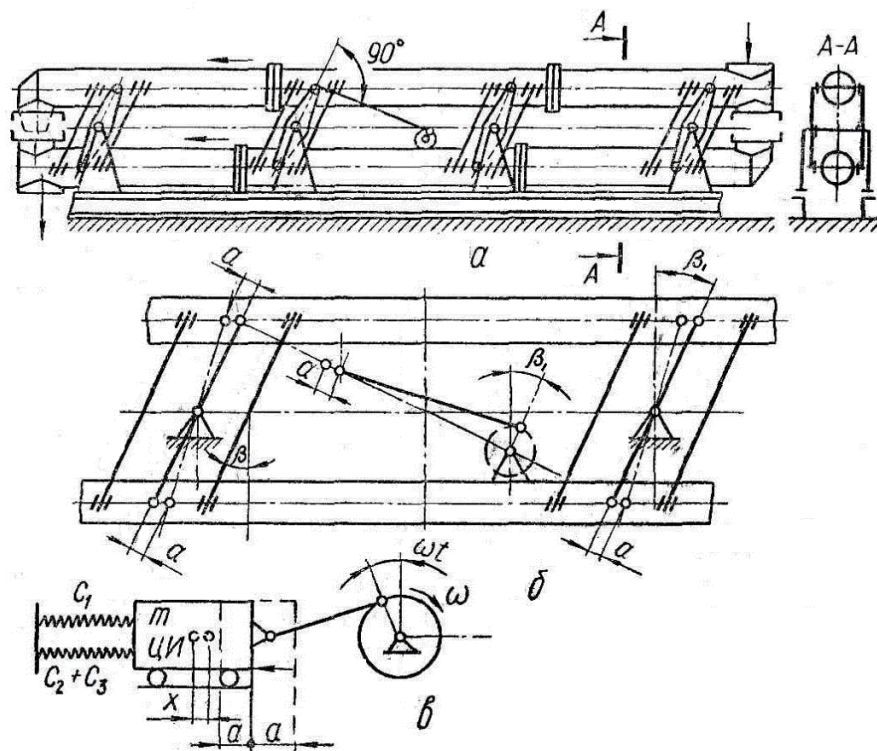


Рис. 1. Схема двухтрубного врівноваженого вібраційного конвеєра з ексцентриковим приводом: а – схема загального вигляду, б – схема приводу, в – розрахункова схема

Продуктивність конвеєра (рис. 1) Π , довжина L , розташування горизонтальне (умови розрахунку наведено в табл. 1, числові значення результату розрахунку приведено в у квадратних дужках).

Двохтрубний врівноважений вібраційний конвеєр з ексцентриковим приводом, встановленим на нижній трубі (рис. 1). Труби рухомо підвішені до коромисел, які встановлені на кронштейнах, закріплених на рамі. З'єднання коромисел з трубами та опорним кронштейном виконується за допомогою гумометалевих втулок. Також труби з'єднані між собою пластинчатими ресорами, які мають жорстке закріплення з ними.

Умови розрахунку

Табл. 1

L , м	Матері-ал вантажу	густина γ_p , т/м ³	b , мм	β , °	Π , кН/год	Вантаж
25	Сплав Mg	2	100	0	1400	штучний

Транспортування вантажу по трубам дозволяє ізолювати його від зовнішнього середовища. Такі конвеєри зазвичай працюють у резонансному режимі.

Послідовність розрахунку

1. Коефіцієнт режиму роботи приймаємо за таблицею 2. [$\Gamma = 2$]

У загальному вигляді визначається за формулою:

$$\Gamma = a \cdot \omega^2 \sin \beta_1 / (g \cos \beta), \quad (1)$$

де a – амплітуда коливань труби, м;

ω – кутова швидкість ексцентрикового валу, рад/с;

β – кут нахилу конвеєра;

β_1 – кут напрямку коливань (кут між коромислом та перпендикуляром до труби),

$\beta_1 = 20 \dots 25^\circ$ при $n \geq 1000$ хв⁻¹,

$\beta_1 = 30 \dots 35^\circ$ при $n < 1000$ хв⁻¹,

[Вибираємо попередньо за табл. 3: $\beta_1 = 30^\circ$]

Табл. 2

Значення коефіцієнта режиму роботи Γ вібраційних конвеєрів

Конвеєр	Конструктивні особливості	Привод	Коефіцієнт Γ для транспортування вантажів	
			Пилоподібних та порошко-подібних	Штучних (шматками)
Двох-трубні та одно-трубні врівноважені	Легкого та середнього типів (при $\Pi \leq 500$ кН/год та $L \leq 20$ м)	Ексцент-риковий	1,6...2,8	1,5...2,5
	Важкого типу (при $\Pi > 500$ кН/год та $L > 20$ м)		1,3...2,5	1,2...2,0

Значення амплітуди та частоти коливань вібраційних конвеєрів

Привод	Частота (хв ⁻¹)	Амплітуда коливань для вантажів, мм	
		Пилоподібних та порошкоподібних	Штучних (шматками)
Електромагнітний	3000	0,75...1,2	0,75...1,0
Електромеханічний:			
відцентровий	2800	0,8...1,2	0,8...1,0
дебалансний	1500	2...3	1,5...2,5
Відцентровий	1500...1000	2...4	2...3
направленої дії	800...450	5...15	4...8
Ексцентриковий			

2. Приймаємо амплітуду коливань (за табл. 3).

[$a = 4$ мм. Радіус ексцентрика $R = 4$ мм.]

3. За формулою (1) обчислюємо кутову швидкість ω

[$\omega = (2 \cdot 9,81 \cdot 1 / 0,004 \cdot \sin 30^\circ)^{0,5} = 99,1$ рад/с]

4. Частота обертання ексцентрикового валу: $n = 30\omega/\pi$

[$n = 30 \cdot 99,1 / 3,14 = 947$ хв⁻¹]

5. Швидкість транспортування вантажу наближено обчислюється за формулою:

$$V = (k_1 + k_2 \sin \beta) a \omega \cos \beta_1 (1 - \Gamma^{-2})^{0,5}$$

де k_1 та k_2 – дослідні коефіцієнти, які враховують фізико-механічні властивості вантажів, що транспортуються (табл. 4). [$k_1 = 0,9$; $k_2 = 1,5$]

Табл. 4

Значення дослідних коефіцієнтів k_1 та k_2

Насипний вантаж	Розмір часточок b (мм)	Вологість (%)	k_1	k_2
Шматковий (штучний)	5...200	-	0,9...1,1	1,5...2,0
Зернистий	0,5...5	0,5...10	0,8...1,0	1,6...2,5
Порошкоподібний	0,1...0,5	0,5...5	0,4...0,5	1,8...3,0
Пилоподібний	менше 0,1	0,8...5	0,2...0,5	2...5

Знаки + та – відповідно для конвеєрів, що працюють на спускання та підняття.

$V = (k_1 \pm k_2 \sin \beta) a \omega \cos \beta_1 (1 - \Gamma^{-2})^{0,5}$ Для горизонтального конвеєра:

$$[V = 0,9 \cdot 0,004 \cdot 99,1 \cdot \cos 30^\circ (1 - 2^{-2})^{0,5} = 0,268 \text{ м/с}]$$

Продуктивність двотрубного вібраційного конвеєра визначається за формулою:

$$P = 2 \cdot 26 \cdot F \cdot V \cdot \gamma_p \cdot \psi, \quad (2)$$

де F – площа перерізу отвору однієї труби, м²

γ_p – густина матеріалу деталі,

ψ – коефіцієнт наповнення труби, $\psi = 0,5 \dots 0,6$.

[Приймаємо 0,5]

6. З формули (2) визначаємо діаметр труби:

$$d_{\text{розр}} = 2(P / (72 \cdot \pi \cdot V \cdot \gamma_p \cdot \psi))^{0,5} > b$$

$$[d_{\text{розр}} = 2(1400 / (72 \cdot 3,14 \cdot 0,268 \cdot 2000 \cdot 0,5))^{0,5} = 0,297 \text{ м}]$$

Приймаємо трубу з внутрішнім діаметром більшим за $d_{розр}$ кратним 10 та товщиною стінки $\delta = d/100 \geq 2$ мм

$$[d = 300 \text{ мм}, \delta = 3 \text{ мм}]$$

7. Загальна маса частини, що виконує коливання (однієї труби) конвеєра

$$m = (G_m + \lambda G_r) / g \quad [m = (8500 + 0,15 \cdot 18140) / 9,81 = 1140 \text{ кг}]$$

де G_m – вага однієї труби з прикріпленими до неї вузлами, $G_m = 1,1 \cdot m \cdot g$,

$m' = \pi \cdot L (D^2 - d^2) \gamma / 4$ – маса труби; ($\gamma = 7780 \text{ кг/м}^3$ – густина сталі, матеріалу труби)

G_r – вага вантажу, який знаходиться в одній трубі,

$$[G_m = 8500 \text{ Н} \quad G_r = \Pi \cdot L / (2 \cdot 3,6 \cdot V)]$$

$$G_r = 1400 \cdot 25 / (2 \cdot 3,6 \cdot 0,268) = 18140 \text{ Н}]$$

λ – дослідний коефіцієнт, який раховує вплив маси вантажу на власну частоту коливань конвеєра, який залежить від режиму його роботи (визначається за графіком рис. 2).

$$[\text{Приймаємо } \lambda = 0,15]$$

Кругова власна частота коливань, завантаженого конвеєра визначається за формулою:

$$\omega_0 = (c/m)^{0,5}$$

Для забезпечення резонансного режиму роботи конвеєра необхідно, щоб $\omega = \omega_0$

8. Необхідна жорсткість пружної системи конвеєра:

$$C = m \omega^2 \quad [C = 1140 \cdot 99,1^2 = 11200 \text{ кН/м}]$$

або $C = C_1 + C_2 + C_3$ (для паралельно з'єднаних елементів конструкції)

де C_1 – жорсткість ресор, Н/м; C_2 – приведена жорсткість великих гумометалевих суглобів, Н/м; C_3 – приведена жорсткість малих гумометалевих суглобів, Н/м.

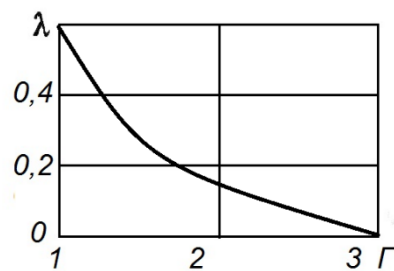


Рис. 2. Графік залежності λ від коефіцієнта режиму роботи Γ вібраційного конвеєра

$$C_2 = C_2' \cdot n_1$$

$C_2' = 40 \text{ кН/м}$ – приведена жорсткість одного великого гумометалевого суглоба;

n_1 – кількість великих гумометалевих суглобів, приймаємо за наближеною формулою

9. Кількість великих гумометалевих суглобів:

$$[n_1 = (1 + 25/4) \cdot 4 = 29, \text{ приймаємо } 32]$$

$$n_1 = (1 + L/4) \cdot 4 \quad (\text{ціле число, кратне } 4)$$

$$[\text{Тоді } C_2 = 40 \cdot 32 = 1280 \text{ кН/м}]$$

$$C_3 = C_3' \cdot n_2$$

$C_3' = 10 \text{ кН/м}$ – приведена жорсткість одного малого гумометалевого суглоба;

n_2 – кількість малих гумометалевих суглобів,

$$\text{приймаємо } n_2 = 2n_1 = 64 \quad [C_3 = 10 \cdot 64 = 640 \text{ кН/м}]$$

$$\text{Тоді } C_1 = C - C_2 - C_3 \quad [C_1 = 11200 - 1280 - 640 = 9280 \text{ кН/м}]$$

10. Жорсткість однієї ресори (необхідна)

$$C_1' = C_1 / n_p \quad [C_1' = 9280 / 256 = 36,3 \text{ кН/м}]$$

де $n_p = 8 n_1$ – кількість ресор

Жорсткість ресори

$$C_1' = E \cdot b \cdot \delta^3 / (a_1 \cdot l)^3$$

де $b = 0,1 \text{ м}$ – ширина ресори; $l = 0,37 \text{ м}$ – довжина робочої (вільної) частини ресори;

$a_1 = 1,05$ – коефіцієнт збільшення робочої довжини ресори.

11. Товщина ресори: $\delta = a_1 \cdot l \cdot (C_1' / (E \cdot b))^{0,33}$
 $[\delta = 1,05 \cdot 0,37 \cdot (36300 / (2 \cdot 10^{11} \cdot 0,1))^{0,33} = 4,73 \text{ мм} = 5 \text{ мм}]$

12. Нормальні напруження від згинання в ресорі біля точки закріплення:
 $\sigma = 30 \cdot E \cdot \delta \cdot A \cdot k / l^2 < [\sigma_{-1}]$

де $A = 2a$ – розмах коливань;

k – коефіцієнт, що враховує жорсткість закріплення ресор, $k = 0,96$ при кріпленні ресор з металевими прокладками між ними, $k = 0,68$ з гумовими прокладками;

$[\sigma_{-1}] = 120 \text{ МПа}$ – допустиме напруження при змінному циклічному навантаженні для ресор з сталі 55С2, 60С2, 60С2Н2А.

$$[\sigma = 30 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 0,68 \cdot 10^{-6} / 0,37^2 = 119,2 \text{ МПа} < [\sigma_{-1}] = 120 \text{ МПа}]$$

13. Власна частота коливань конвеєра: $\omega_0' = (C/m_m)^{0,5}$

$$[\omega_0' = (11200000/866)^{0,5} = 114 \text{ с}^{-1}]$$

де m_m – маса частини конвеєра, що виконує коливання без маси вантажу:

$$m_m = G_m/g \quad [m_m = 8500 / 9,81 = 866 \text{ кг}]$$

14. Потужність електродвигуна з підвищеним пусковим моментом визначаємо за формулою:

При довжині $L \leq 10 \text{ м}$ $N \approx \frac{c_T \Pi}{10^3 \eta_m} \left[10k_3 + \frac{H}{0,367} \right] \text{ кВт},$

При довжині $L > 10 \text{ м}$ $N \approx \frac{c_T \Pi}{10^3 \eta_m} \left[10k_3 + (L-10)k_4 + \frac{H}{0,367} \right] \text{ кВт},$

де H – висота підняття вантажу, м, $H = L \cdot \sin \beta_1$;

$\eta_m = 0,85 \dots 0,97$ – ККД приводного механізму;

k_3 та k_4 – коефіцієнти питомих втрат потужності, Вт, при транспортуванні 10 кН вантажу на довжину 1 м (табл. 5);

c_T – коефіцієнт транспортованості вантажу;

$c_T = 1$ – для зернистих кускових та штучних насипних вантажів, $c_T = 1,5 \dots 2,0$ – для порошкоподібних та пилеподібних вантажів.

$[\text{Потужність електродвигуна: } N = 1 \cdot 1400 \cdot (10 \cdot 4,5 + (25 - 10) \cdot 3,5) / (10^3 \cdot 0,95) = 14,4 \text{ кВт}]$

Табл. 5

Значення коефіцієнтів k_3 та k_4

Вібраційний конвеєр	Розрахункова продуктивність конвеєра, кН/год.	Коефіцієнти	
		k_3	k_4
З ексцентриковим приводом	50...500	4,5...5	3,5...5
	Більше 500	4...5	3...3,5

14. Вибираємо двигун з $N_{\text{дв}} > N$

$[\text{за таблицею з [1, стор. 38] вибираємо двигун 4A160M2Y3 } N_{\text{дв}} = 15 \text{ кВт, } n_{\text{дв}} = 1000 \text{ хв}^{-1}]$

15. Передатне відношення пасової передачі приводу становитиме: $U = n_{\text{дв}} / n$

$$[U = 1000/947 = 1,05]$$

2. Запропоновані основні складові модернізації обладнання (згідно таблиці І) по кожному з основних напрямків з вказуванням основних характерних ознак змін від загальної назви до прикладу

Основні напрямки модернізації	Результат	Основні характерні ознаки змін обладнання
Збільшення продуктивності машини	Збільшення об'єму випуску та (або) зниження собівартості	За рахунок більшення продуктивності вібраційного конвеєра (збільшенням об'єму транспортування в одиницю часу) за рахунок збільшення швидкохідності (частоти обертання шпинделя)
Підвищення точності	Зниження собівартості досягненням необхідної якості з меншими витратами	Точність не є критерієм оцінки якості вібраційного конвеєра
Підвищення жорсткості	Збільшення продуктивності та (або) зниження собівартості	Вібраційний конвеєр є обладнанням, продуктивність (та режими нормальної роботи) якого напряму залежать від фіксованих параметрів жорсткості, тому її підвищення не може бути критерієм оцінки його якості
Підвищення вібростійкості		Вібраційний конвеєр працює в режимі керованих коливань, тому підвищення вібростійкості є його негативним параметром
Збільшення довговічності і надійності обладнання	Зниження собівартості продукції	Рекомендації по збільшенню довговічності і надійності: 1. Максимальне спрощення конструкції. 2. Використання більш якісних матеріалів для труби і особливо пружин та суглобів 3. Поверхневу термообробку труби (за можливості)
Підвищення безпеки праці та полегшення обслуговування	Зниження собівартості продукції	Рекомендації по підвищенню безпеки праці та полегшенню обслуговування: 1. Максимальне спрощення конструкції. 2. Встановлення захисних екранів навколо обладнання. 3. Встановлення систем автоматики і блокування Встановлення витяжної вентиляції (за можливості).

3. Опис змісту і основного об'єму робіт (зміни конструкції) для розгляду модернізації двохмасового врівноваженого вібраційного конвеєра

Виконаємо розгляд напрямку збільшення продуктивності вібраційного конвеєра (збільшенням об'єму транспортування в одиницю часу) за рахунок збільшення швидкохідності (частоти обертання шпинделя) та підвищення

потужності приводу шляхом заміни двигуна приводу на більш потужний і мінімальної зміни конструкції вібраційного конвеєра.

На підставі аналізу формул розрахунку вібраційного конвеєра можна зробити висновки:

1. Якщо прийняти усі коефіцієнти з розрахункових формул та характеристики сировини для транспортування незмінними, продуктивність вібраційного конвеєра $\Pi = 2 \cdot 26 \cdot F \cdot V \cdot \gamma_p \cdot \psi$ прямо пропорційно залежить від площі перерізу труби F та швидкості вібротранспортування V . Враховуючи, що модернізаційними заходами не передбачена суттєва зміна конструкції вібраційного конвеєра приймаємо зміну його продуктивності тільки за рахунок збільшення швидкості.

2. Швидкість вібротранспортування, в свою чергу, залежить від амплітуди коливань труби a (яка дорівнює радіусу ексцентрика R) та колової частоти коливань ω :

$$V = (k_1 + k_2 \sin\beta) a \omega \cos\beta_1 (1 - \Gamma^{-2})^{0,5}$$

3. З формули режиму роботи впливає співвідношення амплітуди коливань труби a (яка дорівнює радіусу ексцентрика R) та колової частоти коливань ω :

$$\Gamma = a \cdot \omega^2 \sin\beta_1 / (g \cos\beta)$$
$$a \sim 1/\omega^2$$

4. Таким чином

$$V \sim a \cdot \omega \quad (1)$$

$$a \sim 1/\omega^2 \quad (2)$$

Для забезпечення збільшення продуктивності необхідне зростання амплітуди (1), а для виконання формули (2) пропорційне зменшення кругової частоти.

Тому загальними модернізаційними змінами передбачається збільшення радіуса ексцентрика (і амплітуди коливань a) в два рази до $R = 8$ мм з одночасним зменшенням колової частоти коливань ω в 1,41 рази.

Таким чином швидкість вібротранспортування (і продуктивність вібраційного конвеєра) зросте у $a \cdot \omega = 2 / 1,41 = 1,41$ рази.

5. Необхідно збільшити потужність двигуна приводу вібраційного конвеєра, яка згідно формули:

$$N \approx \frac{c_T \Pi}{10^3 \eta_m} \left[10k_3 + \frac{H}{0,367} \right] \text{кВт},$$

пропорційна продуктивності.

Вибираємо новий двигун (попередній $N = 15$ кВт, $n_{\text{дв}} = 1000$ хв⁻¹) 4A180S2Y3 з $N = 22$ кВт, $n_{\text{дв}} = 1000$ хв⁻¹ [1].

6. Необхідно виконати регулювання жорсткості пружної системи конвеєра для забезпечення умови необхідної жорсткості пружної системи конвеєра:

$$C = m \omega^2$$

або $C = C_1 + C_2 + C_3$ (для паралельно з'єднаних елементів конструкції)

де C_1 – жорсткість ресор, Н/м; C_2 – приведена жорсткість великих гумометалевих суглобів, Н/м; C_3 – приведена жорсткість малих гумометалевих суглобів, Н/м.

Враховуючи, що маса конструкції з сировиною не змінилася, а ω зменшилося в 1,41 рази, жорсткість пружної системи конвеєра також повинна бути меншою в 2 рази. Цього можна досягнути зменшенням кількості ресор (з 256 до 128), великих (з 32 до 16) та малих (з 64 до 32) гумометалевих суглобів.

Виконані модернізаційні зміни обладнання:

1. Замінено двигун приводу головного руху на більш потужний: 4A180S2Y3 з $N = 22$ кВт, $n_{дв} = 1000$ хв⁻¹.
2. Замінено ексцентрики ексцентрикового приводу (з радіусу ексцентрика $R = 4$ мм на $R = 8$ мм).
3. Знято половину ресор, великих та малих гумометалевих суглобів.

Основні технічні характеристики трубного вібраційного конвеєра
(до та після модернізації)

Технічні характеристики	До модернізації	Після модернізації
Внутрішній діаметр вантажонесучого органу, мм	300	300
Довжина транспортування, мм, не більше	25000	25000
Продуктивність (пісок), м ³ /год	8	16
Потужність двигуна приводу, кВт	15	22
Частота обертання валу двигуна, хв ⁻¹	1000	1000
Маса, кг	2550	2360

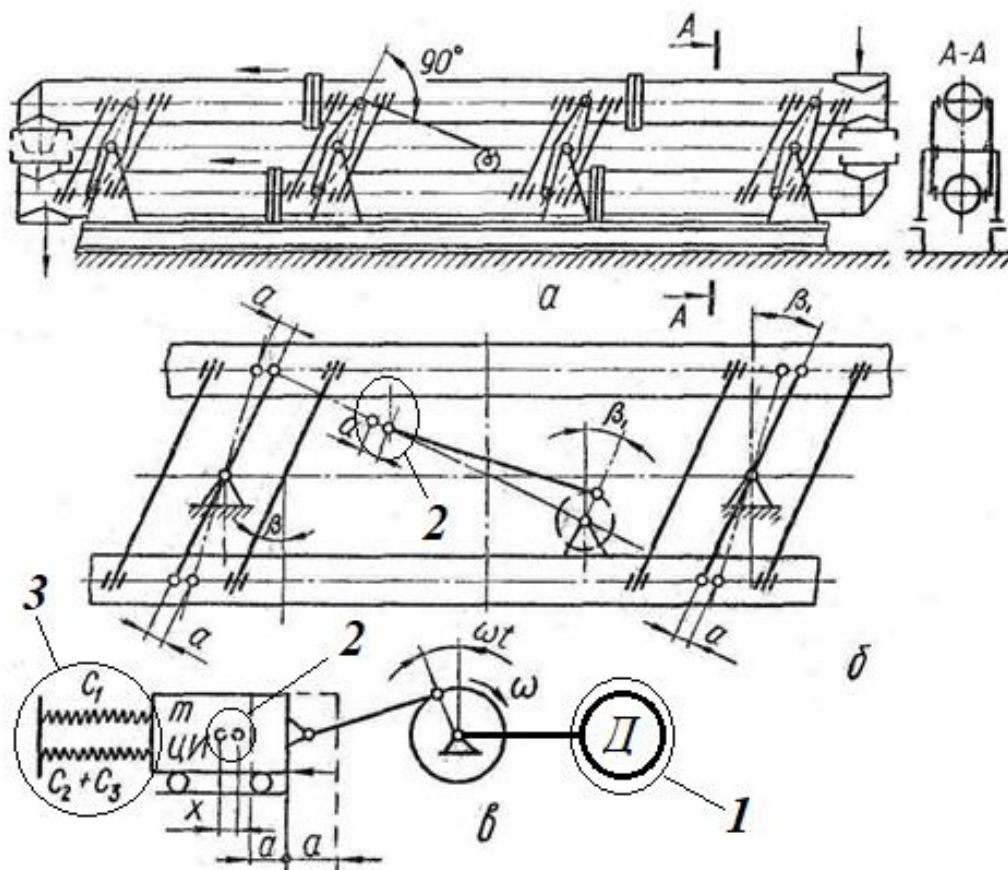


Рис. 1. Схема двохтрубного врівноваженого вібраційного конвеєра з ексцентриковим приводом з виділенням змінених елементів після модернізації: а – схема загального вигляду, б – схема приводу, в – розрахункова схема

4. Оцінка результативності запропонованих основних та додаткових напрямків модернізації (згідно таблиці I)

В результаті запропонованих заходів модернізації продуктивність вібраційного конвеєра зросла вдвічі при збільшенні потужності двигуна приводу в 1,5 рази, а також дещо знизилася загальна маса обладнання (на 7,5 %), що можна попередньо, без виконання економічних розрахунків, оцінити позитивно.