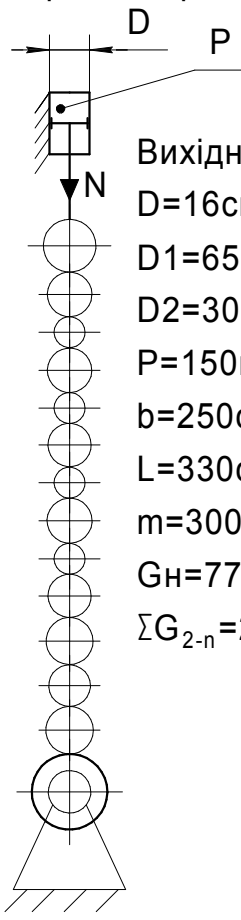
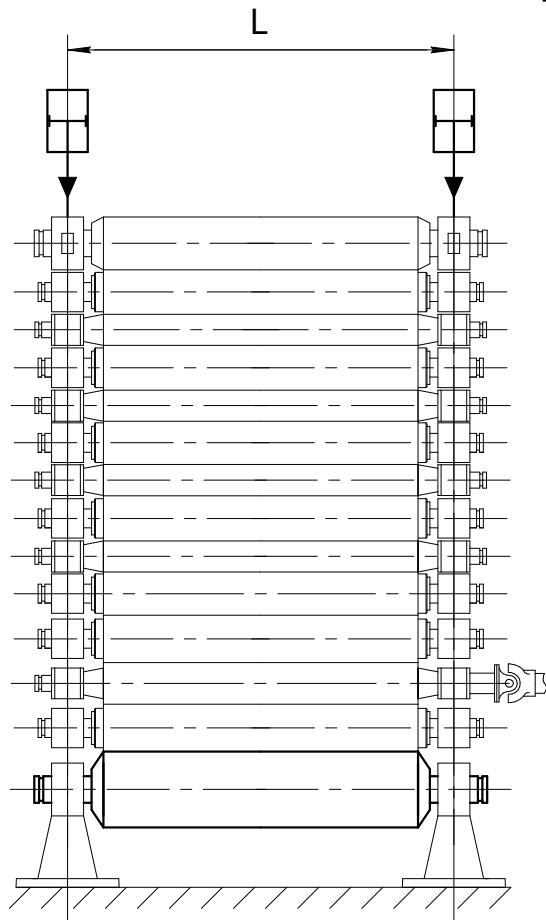


# Розрахунок нижнього валу суперкаландру на міцність

Схема суперкаландра



Вихідні дані:

$D=16\text{см}$  (діаметр поршня)

$D_1=65\text{см}$  (діаметр нижнього валу)

$D_2=30\text{см}$  (діаметр цапфи валу)

$P=150\text{кг/см}^2$  (тиск в гідроциліндрі)

$b=250\text{см}$  (ширина каландрування)

$L=330\text{см}$

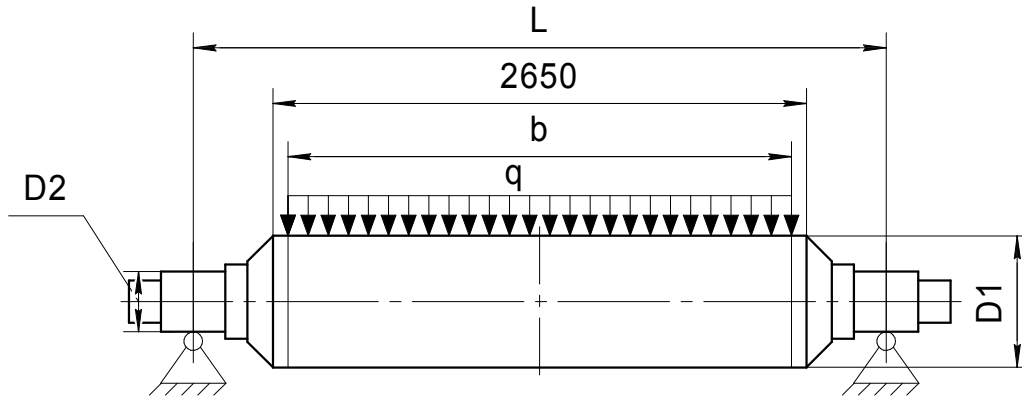
$m=30000\text{кг}$  (прийнято орієнтовно)

$G_H=7700\text{кг}$  (вага нижнього валу)

$\Sigma G_{2-n}=22300\text{кг}$  (вага батареї валів без нижнього валу)

## Розрахунок нижнього валу каландра на міцність

Схема навантаження



Припущення щодо матеріалу та конструкції нижнього каландрового валу.

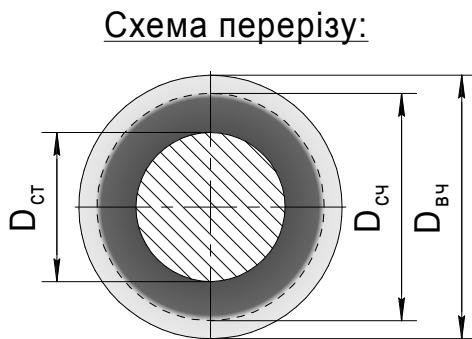
На час розрахунку відсутні точні дані щодо конструкції валу та матеріалу, з якого він виготовлений. Відомі лише розміри валу та його вага. Тому розрахунок буде вестись на основі припущень, а це означає що цей розрахунок слід розглядати тільки як орієнтовний.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Лепак О.В.			12.04.2019
Перев.				
Н.Контр.	Гордієнко О.О.			12.04.2019
Затв.				

Розрахунок нижнього валу суперкаландру на міцність

Літ.	Аркуш	Аркушів
	1	6

Матеріал бочки валу - СЧ 22-44 ГОСТ 1412-70 з відбіленим шаром  
глибиною 45 мм [1, с.36]



### Розрахунок геометричних характеристик перерізу.

Переріз валу складається з різnorodних матеріалів. Тому у розрахунках на міцність використовується значення моменту інерції перерізу, приведенного до модуля пружності одного з матеріалів.

Момент інерції перерізу, приведений до модуля пружності відбіленого чавуну:

$$I_{np} = \frac{\pi}{2} \times \left\{ \frac{E_{CT}}{E_{B4}} \times \left( \frac{D_{CT}}{2} \right)^4 + \frac{E_{C4}}{E_{B4}} \times \left[ \left( \frac{D_{C4}}{2} \right)^4 - \left( \frac{D_{CT}}{2} \right)^4 \right] + \left[ \left( \frac{D_{B4}}{2} \right)^4 - \left( \frac{D_{C4}}{2} \right)^4 \right] \right\} \quad [1, \text{с.35}]$$

де:

$$I_{\text{пр}} - \text{приведений момент інерції, см}^4$$

$E_{CT}$  - модуль пружності матеріалу серцевини (сталь 45).  $E_{CT}=2100000 \text{ кг/см}^2$

$E_{сч}$  - модуль пружності невідбіленої частини бочки валу.  $E_{сч}=1050000\text{кг/см}^2$

$E_{вч}$  - модуль пружності відбіленої частини бочки валу.  $E_{вч}=1400000 \text{ кг/см}^2$

$D_{CT}$  - діаметр сталюї серцевини.  $D_{CT}=37\text{ см}$

$D_{\text{сч}}$  - зовнішній діаметр невідбіленої частини бочки валу.  $D_{\text{сч}}=56\text{см}$

$D_{\text{ру}}$  - зовнішній діаметр відбіленої частини бочки валу.  $D_{\text{ру}}=D_1=65\text{см}$

$$I_{np} = \frac{\pi}{2} \times \left\{ \frac{2100000}{1400000} \times \left( \frac{37}{2} \right)^4 + \frac{1050000}{1400000} \times \left[ \left( \frac{56}{2} \right)^4 - \left( \frac{37}{2} \right)^4 \right] + \left[ \left( \frac{65}{2} \right)^4 - \left( \frac{56}{2} \right)^4 \right] \right\} = \frac{\pi}{2} \{ 1,5 \times 117135 + 0,75 \times 497521 + 501008 \} = 1649106 \text{ cm}^4$$

Підп. і дата	Момент інерції перерізу, приведений до модуля пружності відбіленого чавуну:			
Інв. № докл.	$I_{пр} = \frac{\pi}{2} \times \left\{ \frac{E_{ст}}{E_{вч}} \times \left( \frac{D_{ст}}{2} \right)^4 + \frac{E_{сч}}{E_{вч}} \times \left[ \left( \frac{D_{сч}}{2} \right)^4 - \left( \frac{D_{ст}}{2} \right)^4 \right] + \left[ \left( \frac{D_{вч}}{2} \right)^4 - \left( \frac{D_{сч}}{2} \right)^4 \right] \right\} \quad [1, \text{с.35}]$			
Зам. інв. №	де:			
Підп. і дата	$I_{пр}$ - приведений момент інерції, $\text{см}^4$ $E_{ст}$ - модуль пружності матеріалу серцевини (сталь 45). $E_{ст} = 2100000 \text{ кг/см}^2$ $E_{сч}$ - модуль пружності невідбіленої частини бочки валу. $E_{сч} = 1050000 \text{ кг/см}^2$ $E_{вч}$ - модуль пружності відбіленої частини бочки валу. $E_{вч} = 1400000 \text{ кг/см}^2$ $D_{ст}$ - діаметр сталюї серцевини. $D_{ст} = 37 \text{ см}$ $D_{сч}$ - зовнішній діаметр невідбіленої частини бочки валу. $D_{сч} = 56 \text{ см}$ $D_{вч}$ - зовнішній діаметр відбіленої частини бочки валу. $D_{вч} = D_1 = 65 \text{ см}$			
Інв. № ориг.	$I_{пр} = \frac{\pi}{2} \times \left\{ \frac{2100000}{1400000} \times \left( \frac{37}{2} \right)^4 + \frac{1050000}{1400000} \times \left[ \left( \frac{56}{2} \right)^4 - \left( \frac{37}{2} \right)^4 \right] + \left[ \left( \frac{65}{2} \right)^4 - \left( \frac{56}{2} \right)^4 \right] \right\} = \frac{\pi}{2} \{ 1,5 \times 117135 +$ $+ 0,75 \times 497521 + 501008 \} = 1649106 \text{ см}^4$			
Зм.	Арк	№ док.им	Підп.	Дата

Загальне навантаження на нижній вал (лінійний тиск):

$$q = \frac{(S \times P \times 2) + m}{b}, \text{ де}$$

S-площа поршня гідроциліндра, см<sup>2</sup>

$$S = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \times 16^2}{4} = \frac{\pi \times 256}{4} = 201 \text{ см}^2$$

$$q = \frac{(201 \times 150 \times 2) + 30000}{250} = \frac{90300}{250} = 361,2 \text{ кг/см}$$

Статичне напруження згину в середньому перерізі вала:

Розрахунок ведеться для кожної частини перерізу окремо.

1) Напруження згину відбіленої частини бочки валу

$$\sigma_{\text{ст.вч}} = \frac{M}{I_{\text{пр}}} \times \frac{D_{\text{вч}}}{2} \quad [1, \text{ с.35}]$$

де M-найбільший момент згину, посередині валу, кгсм

$$M = q \times \left( \frac{b \times L}{4} - \frac{b^2}{8} \right) \quad [2, \text{ с.72}]$$

$$M = 361,2 \times \left( \frac{250 \times 330}{4} - \frac{250^2}{8} \right) = 361,2 \times (20625 - 7812,5) = 4627875 \text{ кгсм}$$

$$\sigma_{\text{ст.вч}} = \frac{M}{I_{\text{пр}}} \times \frac{D_{\text{вч}}}{2} = \frac{4627875}{1649106} \times \frac{65}{2} = 2,8 \times 32,5 = 91 \text{ кг/см}^2$$

2) Напруження згину невідбіленої частини бочки валу

$$\sigma_{\text{ст.сч}} = \frac{M}{I_{\text{пр}}} \times \frac{E_{\text{сч}}}{E_{\text{вч}}} \times \frac{D_{\text{сч}}}{2} \quad [1, \text{ с.35}]$$

$$\sigma_{\text{ст.сч}} = \frac{4627875}{1649106} \times \frac{1050000}{1400000} \times \frac{56}{2} = 2,8 \times 0,75 \times 28 = 58,8 \text{ кг/см}^2$$

3) Напруження згину сталюї серцевини

$$\sigma_{\text{ст.ст}} = \frac{M}{I_{\text{пр}}} \times \frac{E_{\text{ст}}}{E_{\text{вч}}} \times \frac{D_{\text{ст}}}{2} \quad [1, \text{ с.35}]$$

$$\sigma_{\text{ст.ст}} = \frac{4627875}{1649106} \times \frac{2100000}{1400000} \times \frac{37}{2} = 2,8 \times 1,5 \times 18,5 = 77,7 \text{ кг/см}^2$$

Максимальний прогин робочої частини вала:

$$f = \frac{q \times b^3}{384 \times E_{\text{вч}} \times I_{\text{пр}}} \times (12L - 7b) \quad [1, \text{ с.35}]$$

$$f = \frac{361,2 \times 250^3}{384 \times 1400000 \times 1649106} \times (12 \times 330 - 7 \times 250) = \frac{5643750000}{886559385600000} \times 2210 =$$

$$= 0,014 \text{ см.}$$

Підп. і дата	
Інв. № докл.	
Зам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № ориг.	
Зм.	Арк
№ докум.	Підп.
Дата	Дата
Арк.	

Динамічне напруження згину:

$$\sigma_d = \sigma_{ст.} \times k_d \quad [1, \text{с.197}]$$

де  $k_d$  - коефіцієнт динамічності

$$k_d = 1 + \sqrt{\frac{2h}{f \times (1 + \frac{17}{35} \times \frac{17G_H}{\Sigma G_{2-n}})}} \quad [1, \text{с.197}]$$

де  $h$  - висота падіння верхніх валів на нижні, приймається 0,1см

$$\begin{aligned} k_d &= 1 + \sqrt{\frac{2h}{f \times (1 + \frac{17}{35} \times \frac{17G_H}{\Sigma G_{2-n}})}} = 1 + \sqrt{\frac{2 \times 0,1}{0,014 \times (1 + \frac{17}{35} \times \frac{17 \times G_H}{\Sigma G_{2-n}})}} = 1 + \sqrt{\frac{0,2}{0,014 \times (1 + \frac{17}{35} \times \frac{17 \times 7700}{22300})}} \\ &= 1 + \sqrt{\frac{0,2}{0,014 \times (1 + 0,485 \times 5,87)}} = 1 + \sqrt{\frac{0,2}{0,014 \times 3,85}} = 2,92 \end{aligned}$$

Розрахунок ведеться для кожної частини перерізу окремо.

1) Динамічне напруження згину відбіленої частини бочки валу

$$\sigma_{д.вч} = \sigma_{ст.вч} \times k_d = 91 \times 2,92 = 265,7 \text{ кг/см}^2$$

2) Динамічне напруження згину невідбіленої частини бочки валу

$$\sigma_{д.сч} = \sigma_{ст.сч} \times k_d = 58,8 \times 2,92 = 171,7 \text{ кг/см}^2$$

3) Динамічне напруження згину сталюї серцевини

$$\sigma_{д.ст} = \sigma_{ст.ст} \times k_d = 77,7 \times 2,92 = 226,9 \text{ кг/см}^2$$

Допустиме напруження:

$$\sigma_d \leq [\sigma_{-1}] \quad [1, \text{с.197}]$$

де  $[\sigma_{-1}]$  - допустиме напруження, кг/см<sup>2</sup>

$$[\sigma_{-1}] = \frac{(\sigma_{-1}) \times \epsilon}{k \times n} \beta \quad [1, \text{с.197}]$$

де  $\sigma_{-1}$  - межа витривалості (втоми), кг/см<sup>2</sup>.

$\sigma_{-1,ч} = 1200 \text{ кг/см}^2$  - для відбіленої та невідбіленої частин бочки валу [3, с.626]

$\sigma_{-1,ст.} = 2500 \text{ кг/см}^2$  - для серцевини зі сталі 45 [3, с.618]

$\epsilon$  - коефіцієнт абсолютних розмірів, приймається  $\epsilon = 0,5$

$k$  - коефіцієнт концентрації, приймається  $k = 1$

$n$  - коефіцієнт запасу міцності, рекомендоване значення для чавунів  $n = 3$

$\beta$  - коефіцієнт стану поверхневого шару та його зміцнення, приймається  $\beta = 1$

Інв. № ориг..	Підп. і дата	Зам. інв. №	Інв. № відп.	Підп. і дата				
Зм.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата				
					Арк.			

Допустиме напруження для відбіленої та невідбіленої частин бочки валу

$$[\sigma_{-1}] = \frac{(\sigma_{-1}) \times \epsilon}{k \times n} \beta = \frac{1200 \times 0,5}{1 \times 3} \times 1 = 200 \text{ кг/см}^2$$

265,7 > 200 Умова міцності для відбіленої частини не виконується

171,7 < 200 Умова міцності для невідбіленої частини виконується

Допустиме напруження для сталюї серцевини

$$[\sigma_{-1}] = \frac{(\sigma_{-1}) \times \epsilon}{k \times n} \beta = \frac{2500 \times 0,5}{1 \times 3} \times 1 = 416,6 \text{ кг/см}^2$$

226,9 < 416,6 Умова міцності для сталюї серцевини виконується

Розрахунок ударної в'язкості цапф

$$a_k = \frac{\Sigma G_{2-n} \times h}{2\pi \times \frac{D^2}{4}} < \frac{[a_k]}{8} \quad [2, \text{с.399}]$$

де h - висота падіння верхніх валів на нижні, м. Приймається 0,001м

$[a_k]$  - ударна в'язкість, кг×м/см<sup>2</sup>.

$[a_k] = 5 \text{ кг×м/см}^2$  (Сталь 45)

$$\frac{[a_k]}{8} = \frac{5}{8} = 0,625 \text{ кг×м/см}^2$$

$$a = \frac{22300 \times 0,001}{2\pi \times \frac{30^2}{4}} = \frac{22,3}{2\pi \times 225} = \frac{22,3}{1413,7} = 0,016 \text{ кг×м/см}^2$$

0,016 < 0,625 Умова міцності виконується.

ВИСНОВОК:

Розрахунок проводився для визначення здатності нижнього валу каландру нести навантаження понад номінальне при заданому тиску у гідроциліндрах 150 кг/см<sup>2</sup>.

При такому тиску виникає лінійне навантаження на нижній вал 361,2кг/см.

Розрахунок показав, що при таких умовах навантаження напруження в усіх шарах поперечного перерізу валу не перевищують межу витривалості(втоми) з коефіцієнтом запасу міцності n=2,2

Згідно з рекомендаціями [3, с.573], коефіцієнт запасу міцності повинен бути у межах n=1,7-3. Коефіцієнт запасу міцності n=2,2 лежить у рекомендованих [3] межах. Таким чином у відповідності до [3] нижній вал каландру відповідає умовам міцності та може бути навантажений заданим навантаженням.

У той же час згідно з рекомендаціями [1, с.197], коефіцієнт запасу міцності повинен бути n=3. Також, згідно з [2, с. 397], напруження згину для чавунних валів не повинні перевищувати 200 кг/см<sup>2</sup>

Таким чином у відповідності до [1] та [2] нижній вал каландру не відповідає умовам міцності та не може бути навантажений заданим навантаженням.

Підп. і дата	
Інв. № докл.	
Зам. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № ориг.	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Арк.

Література:

1. В.А.Чичаев. Оборудование целлюлозно-бумажного производства. Т.2. Москва, Лесная промышленность, 1982
- 2.И.Я.Эйдлин. Бумагоделательные и отделочные машины. Москва, Лесная промышленность, 1970
- 3.Г.С.Писаренко. Справочник по сопротивлению материалов. Киев, Наукова думка, 1975

[illegible]