

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



**МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
**Кафедра інжинірингу та дизайну в машинобудуванні**

**А.О. Бондаренко**

**ІНЖИНІРИНГ ГІРНИЧИХ МАШИН ТА КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ**  
**ПІДВОДНОГО ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ**  
**«Розрахунок параметрів гідротранспортної системи землесосного снаряда»**  
для студентів спеціальності 133 Галузеве машинобудування

Дніпро  
НТУ «ДП»  
2021

Затверджено до видання науково-методичною комісією спеціальності 133 Галузеве машинобудування (протокол № 1 від 31.08.2021, протокол засідання кафедри ІДМ №1 від 30.08.2021 ) як методичні рекомендації для бакалаврів ОПІ «Комп'ютерний інжиніринг у машинобудуванні»

### **Бондаренко А.О.**

Інжиніринг гірничих машин та комплексів для підводного видобутку корисних копалин. Методичні рекомендації до лабораторних занять для магістрів спеціальності 133 Галузеве машинобудування / А.О.Бондаренко ; Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2021. – 17с.

Автор: А.О. Бондаренко, доктор технічних наук, професор.

Наведено послідовність розрахунку параметрів гідротранспортної системи землесосного снаряда.

Рекомендації орієнтовано на активацію виконавчого етапу навчальної діяльності студентів.

## ВИХІДНІ ДАНІ

Найбільша відстань гідротранспортування, м

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дальність, м	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>110</b>	<b>120</b>	<b>130</b>	<b>140</b>	<b>150</b>	<b>160</b>	<b>170</b>	<b>180</b>
Код труб	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
Варіант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Дальність, м	<b>190</b>	<b>200</b>	<b>210</b>	<b>220</b>	<b>230</b>	<b>240</b>	<b>250</b>	<b>260</b>	<b>270</b>	<b>280</b>
Код труб	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

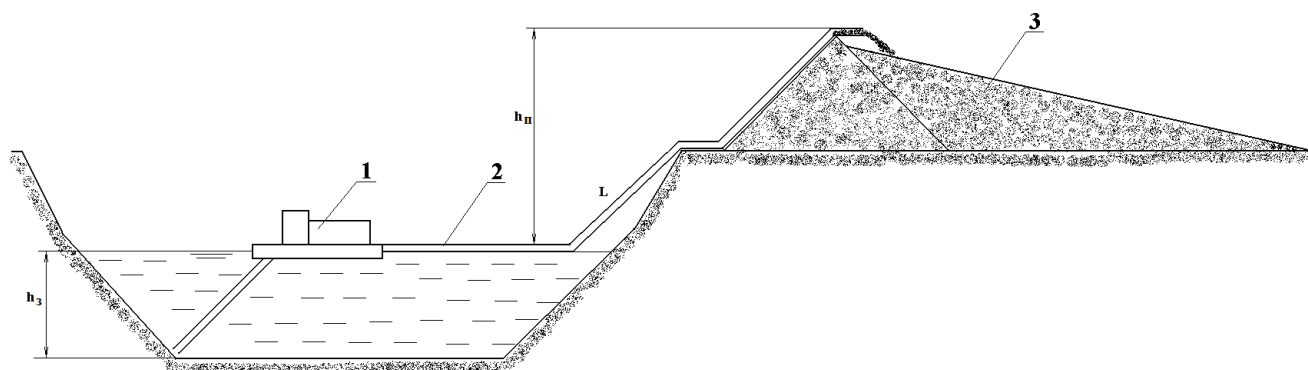


Рис. 1. Схема роботи землесосного снаряда зі складуванням на карту наміву:  
1 – землесосний снаряд; 2 – пульпопровід, 3 – карта наміву

Грунт – пісок різнозернистий, пилюватий:

глинистих частинок розміром менше 0,005 мм – до 3 %,

гравійних розміром 2...40 мм – до 5 %;

Глибина видобування корисної копалини в один уступ – 12 м.

Геометрична висота підйому пульпи – 13 м.

Річний фонд робочого часу підприємства – 4048 годин.

Коефіцієнт пористості ґрунту  $m = 0,5$ .

Густина скелету ґрунту  $\rho_r = 2650 \text{ кг/м}^3$ .

Код труб: 1 – ГОСТ 10704-91; 2 – ГОСТ 8732-78; 3 – ГОСТ 18599-2001.

Характеристика насоса ГрУ 800-40 при перекачуванні води/піщаної пульпи

Продуктивність по воді, м <sup>3</sup> /год	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Напір, м вод. ст.	<u>44</u>	<u>43</u>	<u>42</u>	<u>40</u>	<u>38</u>	<u>37</u>	<u>35</u>	<u>33</u>
	36,4	35,6	34,8	33,1	31,5	30,7	29	27,3
Потужність, яка споживається, кВт	<u>110</u>	<u>115</u>	<u>125</u>	<u>133</u>	<u>143</u>	<u>151</u>	<u>160</u>	<u>170</u>
	122,1	127,7	138,8	147,6	158,7	167,6	177,6	188,7
ККД	<u>58</u>	<u>60</u>	<u>62</u>	<u>65</u>	<u>67</u>	<u>67</u>	<u>65</u>	<u>63</u>
	48	49,7	51,4	53,8	55,5	55,5	53,8	52,2

## 1. ПРОДУКТИВНІСТЬ ЗЕМЛЕСОСНОГО СНАРЯДА

Продуктивність земснаряда залежить від фізико-механічних властивостей порід, які розроблюються. Годинна технічна продуктивність земснаряда визначається за формулою

$$Q_T = \frac{Q_{\Pi} K_3}{[q_v + (1 - m)]},$$

де  $Q_{\Pi}$  – годинна продуктивність ґрунтового насоса земснаряда за гідросумішню, м<sup>3</sup>/год;  $K_3 = 0,9$  – коефіцієнт, який враховує зменшення технічної продуктивності земснаряда при більшій висоті виступу; приймається при загальній висоті вибою, яка є меншою за вказану в табл. 1;  $q_v$  – питома витрата води на розроблення та транспортування 1 м<sup>3</sup> породи (табл. 2), м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Таблиця 1

Висота вибою для землесосних снарядів, менше за яку застосовується знижувальний коефіцієнт  $K_3$

Продуктивність землесосних снарядів по воді, м <sup>3</sup> /год	Загальна висота вибою, м	Максимальна глибина розробки нижче рівня води (допустима), м
До 1300	2,4	1,5
1300...2200	3,2	2,5
2200...4000	4,8	3,5
Більше 4000	6,4	5,0

Годинна продуктивність ґрунтового насоса земснаряда за гідросумішню визначається так:

$$Q_{\Pi} = \frac{Q_{з.в} \rho_v}{\rho_{\Pi}},$$

де  $Q_{з.в}$  – продуктивність землесоса по воді (визначається за технічною характеристикою і відповідає оптимальному режиму роботи землесоса), м<sup>3</sup>/год;  $\rho_v$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\Pi}$  – густина пульпи, кг/м<sup>3</sup>.

Густину пульпи можна розрахувати за такою формулою:

$$\rho_{\Pi} = \frac{q_v \rho_v + \rho_{\Gamma} (1 - m)}{q_v + 1 - m}.$$

Тут  $\rho_{\Gamma}$  – густина скелету ґрунту, кг/м<sup>3</sup>;  $m$  – коефіцієнт пористості породи.

Таблиця 2

## Розподіл порід за групами при їх розробленні землесосними снарядами

Група ґрунтів	Питома витрата води, м <sup>3</sup> , на розробку та транспортування 1 м <sup>3</sup> ґрунту	Назва ґрунтів	Гранулометрична характеристика ґрунтів (розміри частинок, мм, їх кількість за вагою, %)						
			Глинистих, менших за 0,005	Глинистих 0,005.. 0,05	Піщаних			Гравійних 2...40	
					Малих 0,05...0,25	Середніх 0,25...0,5	Великих 0,5...2		
I	7	Піски: дрібнозернисті	До 3	До 15	Більше 50	До 50	До 10	До 1	
		середньозернисті			До 50	Більше 50			
		різнозернисті			До 50	До 50			
		пилуваті			До 20	Не регламентується			
		Мули текучі			Не регламентується				
II	9	Піски різнозернисті	До 3	До 15	До 50	До 50	10...50	До 5	
		Піски пилуваті		20...50	Не регламентується				
		Піски крупнозернисті		До 15	До 50	До 50	Більше 50		
		Супіски легкі		3...6	До 50	Не регламентується			
III	11	Піски рінозернисті	До 3	Не регламентується				До 10	
		Супіски важкі	6...10	До 50	Не регламентується				До 5
IV	14	Піщано-гравійні ґрунти	До 3	Не регламентується				До 5	
		Суглинки легкі	10...15					До 10	
V	18	Піщано-гравійні ґрунти	До 5					До 10	
		Суглинки середні	15...20					До 40	
VI	22	Гравійно-піщані ґрунти	До 5					До 40	
		Суглинки важкі	20...30					До 10	
		Глини тощі текучі	До 40						

Річна продуктивність земснаряда, м<sup>3</sup>/рік,

$$Q_{\Gamma} = Q_{\Gamma} T_{\Gamma \text{год}} K_{\text{и.з}},$$

де  $T_{\Gamma \text{год}}$  – річний фонд календарного часу, рік;  $K_{\text{и.з}}$  – коефіцієнт використання земснаряда за часом (табл. 3).

Таблиця 3

Характеристика використання земснаряда за часом  $K_{\text{и.з}}$

Характеристики умов роботи	Кількість перекачувальних станцій			
	Нема	1	2	3
При транспортуванні землесосним снарядом піщано-гравійної суміші з вмістом гравію, %				
До 5	0,7	0,67	0,64	0,61
До 20	0,65	0,62	0,59	0,56
20...40	0,6	0,57	0,54	0,51
40...60	0,55	0,52	0,49	0,47

## 2. РОЗРАХУНОК ДІАМЕТРА ТРУБОПРОВОДУ

Діаметр трубопроводу вибирається відповідно до приблизних значень швидкостей гідротранспорту ґрунтів та продуктивності гідротранспортної системи для пульпи, тобто

$$D = 1,128 \cdot \sqrt{\frac{Q_n}{V}},$$

де  $Q_n$  – продуктивність земснаряда для пульпи, м<sup>3</sup>/с;

$V$  – швидкість руху пульпи трубопроводом, приймають 3 м/с.

Фактичний діаметр трубопроводу  $D_{\phi}$  вибирають відповідно до сортаменту труб згідно з ГОСТом, найближчого до розрахункового  $D$ . Сортаменти труб, які використовуються для гідромеханізації, наведені в табл. 4 – 6. Рациональний режим гідротранспортування забезпечується при перевищенні фактичної швидкості гідротранспортування над критичною в межах 10 – 30 %.

## 3. ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ ГІДРОСУМІШІ

Фактична швидкість руху пульпи трубопроводом

$$V_{\phi} = \frac{4 \cdot Q_{\Pi}}{\pi D_{\phi}^2}, \text{ м/с.}$$

Вибраний діаметр пульпопроводу має забезпечувати гідротранспортування пульпи зі швидкістю, яка більша або дорівнює критичній.

## Сортамент на труби сталвні електрозварні за ГОСТ 10704-91

Зовнішній діаметр, мм	Маса 1 м труб, кг, з товщиною стінки, мм											
	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	11	12	14
114	10,85	12,15	13,44	14,72	-	-	-	-	-	-	-	-
127	12,13	13,59	15,04	16,48	-	-	-	-	-	-	-	-
133	12,73	14,26	15,78	17,29	-	-	-	-	-	-	-	-
140	13,42	15,04	16,65	18,24	-	-	-	-	-	-	-	-
152	14,60	16,37	18,13	19,87	-	-	-	-	-	-	-	-
159	15,29	17,15	18,99	20,82	22,64	26,24	-	-	-	-	-	-
168	16,18	18,14	20,10	22,04	23,97	27,79	31,57	-	-	-	-	-
177,8	17,14	19,23	21,31	23,37	25,42	29,49	33,5	-	-	-	-	-
180	17,36	-	21,58	-	-	-	-	-	-	-	-	-
193,7	18,71	21,00	23,27	25,53	27,77	32,23	36,64	-	-	-	-	-
219	21,21	23,80	26,39	28,96	31,52	36,60	41,63	46,61	-	-	-	-
244,5	23,72	26,63	29,53	32,42	35,42	41,00	46,66	52,27	-	-	-	-
273	26,54	29,80	33,05	36,28	39,51	45,92	52,28	58,60	-	-	-	-
325	31,67	35,57	39,46	43,34	47,20	54,90	62,54	70,14	-	-	-	-
355,6	34,68	38,96	43,23	47,49	51,73	60,18	68,58	76,93	85,23	-	-	-
377	36,79	41,34	45,87	50,39	54,90	63,87	72,80	81,67	90,51	-	-	-
406,4	39,70	44,60	49,50	54,38	59,25	68,95	78,60	88,20	97,76	107,26	116,72	-
426	41,63	46,78	51,91	57,04	62,15	72,33	82,47	92,55	102,59	112,58	122,52	-
530	-	-	64,74	71,14	77,54	90,29	102,99	115,64	128,24	140,79	153,30	165,75

Таблиця 5

## Сортамент на труби сталіні безшовні гарячедеформовані за ГОСТ 8732-78

Зовнішній діаметр, мм	Маса 1 м труб, кг, з товщиною стінки, мм											
	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	11	12	14
114	10,85	12,15	13,44	14,72	15,98	18,47	20,91	23,31	25,65	27,94	30,19	34,53
121	11,54	12,93	14,30	15,67	17,02	19,68	22,29	24,86	27,37	29,84	32,26	36,94
127	12,13	13,60	15,04	16,48	17,90	20,72	23,48	26,19	28,85	31,47	34,03	39,01
133	12,73	14,26	15,78	17,29	18,79	21,75	24,66	27,52	30,33	33,10	35,81	41,09
140	-	15,04	16,65	18,24	19,83	22,96	26,04	29,08	32,06	35,00	37,88	43,50
146	-	15,70	17,39	19,06	20,72	24,00	27,23	30,41	33,54	36,62	39,66	45,57
152	-	16,37	18,13	19,87	21,60	25,03	28,41	31,74	35,02	38,25	41,43	47,65
159	-	17,15	18,99	20,82	22,64	26,24	29,79	33,29	36,75	40,15	43,50	50,06
168	-	-	20,10	22,04	23,97	27,79	31,57	35,29	38,97	42,59	46,17	53,17
180	-	-	21,58	23,67	25,75	29,87	33,93	37,95	41,93	45,85	49,72	57,31
194	-	-	23,31	25,57	27,82	32,28	36,70	41,06	45,38	49,64	53,86	62,15
203	-	-	-	-	29,15	33,84	38,47	43,06	47,60	52,09	56,52	65,25
219	-	-	-	-	31,52	36,60	41,63	46,61	51,54	56,43	61,26	70,78
245	-	-	-	-	-	41,09	46,76	52,38	57,95	63,48	68,95	79,76
273	-	-	-	-	-	45,92	52,28	58,60	64,86	71,07	77,24	89,42
299	-	-	-	-	-	-	57,41	64,37	71,27	78,13	84,93	98,40
325	-	-	-	-	-	-	62,54	70,14	77,68	85,18	92,63	107,38
351	-	-	-	-	-	-	67,67	75,91	84,10	92,23	100,32	116,35
377	-	-	-	-	-	-	-	81,68	90,51	99,29	108,02	125,33
402	-	-	-	-	-	-	-	87,23	96,67	106,07	115,42	133,96
426	-	-	-	-	-	-	-	92,56	102,59	112,58	122,52	142,25
450	-	-	-	-	-	-	-	97,88	108,51	119,09	129,62	150,53
480	-	-	-	-	-	-	-	104,54	115,91	127,23	138,50	160,89
500	-	-	-	-	-	-	-	108,98	120,84	132,65	144,42	167,80



## Сортамент на труби з поліетилену ПЕ 63 за ГОСТ 18599-2001

Середній зовнішній діаметр, мм		SDR 41 S20		SDR 26 S12,5		SDR 17,6 S 8,3		SDR 11 S5	
		Максимальний робочий тиск води при 20 °С, МПа							
		0,25		0,4		0,6		1	
		Товщина стінки							
Номін.	Гран. відх.	Номін.	Гран. відх.	Номін.	Гран. відх.	Номін.	Гран. відх.	Номін.	Гран. відх.
90	+0,9	2,2	+0,5	3,5	+0,6	5,1	+0,8	8,2	+1,3
110	+1,0	2,7	+0,5	4,2	+0,7	6,3	+1,0	10,0	+1,5
125	+1,2	3,1	+0,6	4,8	+0,8	7,1	+1,1	11,4	+1,8
140	+1,3	3,5	+0,6	5,4	+0,9	8,0	+1,2	12,7	+2,0
160	+1,5	4,0	+0,6	6,2	+1,0	9,1	+1,4	14,6	+2,2
180	+1,7	4,4	+0,7	6,9	+1,1	10,2	+1,6	16,4	+2,5
200	+1,8	4,9	+0,8	7,7	+1,2	11,4	+1,8	18,2	+2,8
225	+2,1	5,5	+0,9	8,6	+1,3	12,8	+2,0	20,5	+3,1
250	+2,3	6,2	+1,0	9,6	+1,5	14,2	+2,2	22,7	+3,5
280	+2,6	6,9	+1,1	10,7	+1,7	15,9	+2,4	25,4	+3,9
315	+2,9	7,7	+1,2	12,1	+1,9	17,9	+2,7	28,6	+4,3
355	+3,2	8,7	+1,4	13,6	+2,1	20,1	+3,1	32,2	+4,9
400	+3,6	9,8	+1,5	15,3	+2,3	22,7	+3,5	36,3	+5,5
450	+4,1	11,0	+1,7	17,2	+2,6	25,5	+3,9	40,9	+6,2
500	+4,5	12,3	+1,9	19,1	+2,9	28,3	+4,3	45,4	+6,9
560	+5,0	13,7	+2,1	21,4	+3,3	31,7	+4,8	50,8	+7,7
630	+5,7	15,4	+2,4	24,1	+3,7	35,7	+5,4	57,2	+8,6
710	+6,4	17,4	+2,7	27,2	+4,1	40,2	+6,1	—	—
800	+7,2	19,6	+3,0	30,6	+4,6	45,3	+6,8	—	—
900	+8,1	22,0	+3,3	34,4	+5,2	51,0	+7,7	—	—
1000	+9,0	24,5	+3,7	38,2	+5,8	56,6	+8,5	—	—
1200	+10,0	29,4	+4,5	45,9	+6,9	—	—	—	—

Величина критичної швидкості руху пульпи може бути розрахована так:

$$V_{кр} = 2,8 \cdot \frac{\sqrt[6]{P} \cdot \sqrt{q_v \cdot D_{\phi}}}{\sqrt[4]{C_{\phi}}},$$

де  $P$  – об'ємна консистенція ґрунту в пульпі;  $q_v$  – питома витрата води, приймається за табл. 2, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $D_{\phi}$  – фактичний діаметр пульпопроводу, м;  $C_{\phi}$  – середній коефіцієнт лобового опору (табл. 7).

Об'ємну консистенцію ґрунту в пульпі визначають за формулою

$$P = \frac{\rho_{п} - \rho_{в}}{\rho_{г} - \rho_{в}},$$

де  $\rho_{п}$  – густина пульпи,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_{в}$  – густина води,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_{г}$  – густина скелета ґрунту,  $\text{кг/м}^3$ .

Таблиця 7

Середній коефіцієнт лобового опору

Назва ґрунту	Льосовидні суглинки	Піски різнозернисті, пілуваті	Крупнозернисті піски	Піски гравійні	Піски гравійно-галечні
Вміст гравію, %	0	До 1	До 10	20...45	Більше 45
$d_{cp}$ , мм	0,12	0,12...0,4	0,89	2,2	8,8
$C_{\phi}$	17,8	3,9	1,9	0,95	0,6

#### 4. РОЗРАХУНОК НАПІРНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБОПРОВОДУ

Розрахунок напірної характеристики трубопроводу виконують за такою формулою:

$$H = h_n \frac{\rho_n}{\rho_v} + h_3 \frac{\rho_n}{\rho_v} + h_d + h_m + h_{вс} + H_0,$$

де  $h_n$  – геометрична висота підймання пульпи, м;

$h_3$  – геометрична висота всмоктування пульпи, м;

$\rho_n$  – густина пульпи,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\rho_v$  – густина води –  $1000 \text{ кг/м}^3$ ;

$h_d$  – втрати напору на тертя в пульпопроводі, м вод. ст.;

$h_m$  – місцеві втрати напору, м вод. ст.;

$h_{вс}$  – втрати напору у всмоктувальному трубопроводі,  $h_{вс} = 2$  м вод. ст.;

$H_0$  – залишковий напір при зливанні пульпи –  $1,0$  м вод. ст.

Втрати напору в пульпопроводі

$$h_d = i_n \cdot L \cdot K, \text{ м вод.ст.},$$

де  $K$  – коефіцієнт, який дорівнює  $1,015$ ;

$L$  – найбільша відстань гідротранспортування, м;

$i_n$  – питомі втрати напору для пульпи, м вод.ст.,

$$i_n = i_0 \cdot (1 + 6 \cdot \sqrt{P}),$$

тут  $i_0$  – питомі втрати напору для води зі швидкостями, які відповідають критичним, м вод. ст.,

$$i_0 = \frac{\lambda \cdot V_\phi^2}{2 \cdot g \cdot D_\phi},$$

$\lambda$  – коефіцієнт опору трубопроводу, визначається за формулою

$$\lambda = \frac{0,31}{(\lg \text{Re} - 1)^2}.$$

Число Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{V_\phi \cdot D_\phi}{\nu},$$

де  $V_\phi$  – фактична швидкість руху води в трубопроводі, м/с;

$D_\phi$  – діаметр пульпопроводу, м;

$\nu = 1,01 \cdot 10^{-6}$  – кінематична в'язкість води, м<sup>2</sup>/с.

Втрати напору на місцеві гідравлічні спротиви в трубопроводі з великою достовірністю розраховують так:

$$h_m = 0,1h_d.$$

## 5. ПОБУДОВА ВИТРАТНО-НАПІРНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТНОГО ПУЛЬПОПРОВОДУ І ГРУНТОВОГО НАСОСА

Витратно-напірні характеристики транспортного пульпопроводу і ґрунтового насоса будують з метою встановлення реальних експлуатаційних характеристик роботи основної гідравлічної системи земснаряда «ґрунтовий насос – пульпопровід». Для побудови характеристики визначають величину напору, потужність яка витрачається, і коефіцієнту корисної дії насоса при його роботі на даний трубопровід. Процес побудови витратно-напірної характеристики розглянемо на прикладі ґрунтового насоса ГрУ 800/40 при перекачуванні пульпи по трубопроводу с внутрішнім прохідним діаметром 309 мм (ГОСТ 10704-91) та довжиною 170 м (додаток).

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Инструкция по гидравлическому расчету систем напорного гидротранспорта грунтов / НИИ Гидротехники. – П. 59 – 72.
2. ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент. – Введ. 1993-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1997.
3. ГОСТ 8732-78. Трубы стальные безшовные горячедеформированные. Сортамент. – Введ. 1979-01-01. – М.: Стандартиформ, 2007.
4. ГОСТ 18599-2001. Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия. – Введ. 2003-01-01. – М.: Стандартиформ, 2003.

## ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ЗЕМЛЕСОСНОГО СНАРЯДА

Розрахунок параметрів гідротранспортної системи землесосного снаряду з ґрунтовим насосом ГРУ 800-40

Вихідні дані:

Продуктивність насоса по воді номінальна	$Q_H := 800$	$\frac{\text{м}^3}{\text{год}}$	
Густина ґрунту насипна	$\rho_{2H} := 1323$	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	
Густина скелета ґрунту в складі пульпи	$\rho_{СК} := 2650$	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	
Густина несучої рідини	$\rho_B := 1000$	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	
Коефіцієнт висоти вибою	$K_3 := 1$		
Питомий видаток води	$q := 9.0$	$\frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$	
Коефіцієнт пористості	$m := 0.5$		
Густина пульпи	$\rho_n := \frac{\rho_B \cdot q + \rho_{2H}}{[q + (1 - m)]}$	$\rho_n = 1086.6$	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Коефіцієнт використання обладнання	$K_B := 0.7$		
Прийнята швидкість руху пульпи	$v := 3$	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	
Об'ємна консистенція ґрунту в пульпі	$P := \frac{\rho_n - \rho_B}{\rho_{СК} - \rho_B}$	$P = 0.053$	
Середній коефіцієнт лобового опору	$C_f := 3.9$		
Дальність транспортування	$L := 170$	м	
Геометрична висота підняття пульпи	$H_{нп} := 13$	м	
Глибина видобутку	$H_{воб} := 12$	м	
Втрати напору в усмоктувальному трубопроводі	$h_{bn} := 2$	м	
Залишковий напір при зливанні пульпи	$H_0 := 1$	м	
Кінематична в'язкість води	$\nu := 1.01 \cdot 10^{-6}$	$\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	
Коефіцієнт	$K := 1.05$		

### Параметри ґрунтового насоса

$$j := 0.7 \quad k := 8$$

Подача по воді

Напір

Потужність

КПД

вода

пульпа

вода

пульпа

вода

пульпа

$Q_b :=$	$H_b :=$		$N_b :=$		$\eta_b :=$	
	вода	пульпа	вода	пульпа	вода	пульпа
500	44	36.4	110	122.1	58	48
600	43	35.6	115	127.7	60	49.7
700	42	34.8	125	138.8	62	51.4
800	40	33.1	133	147.6	65	53.8
900	38	31.5	143	158.7	67	55.5
1000	37	30.7	151	167.6	67	55.5
1100	35	29	160	177.6	65	53.8
1200	33	27.3	170	188.7	63	52.2

Продуктивність земснаряда по пульпі

$$Q_{n_j} := \frac{Q_{b_j} \cdot \rho_b}{\rho_n} \quad \frac{\text{м}^3}{\text{час}} \quad Q_{n1_j} := \frac{Q_{n_j}}{3600} \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Технічна продуктивність земснаряда по ґрунту

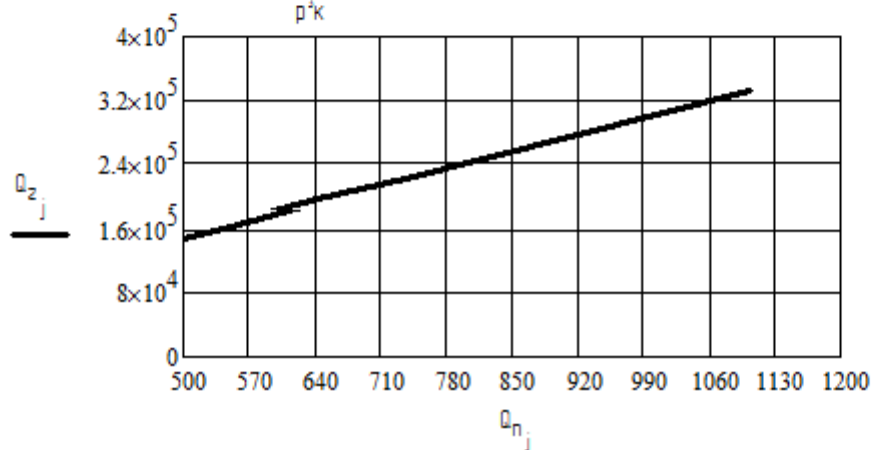
$$Q_{m_j} := \frac{Q_{n_j} \cdot K_3}{[a + (1 - m)]} \quad \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$$

Річний фонд календарного часу

$$T_{\text{кв}} := 253 \cdot 2 \cdot 8 \quad T = 4048 \quad \text{годин}$$

Річна експлуатаційна продуктивність земснаряда по ґрунту

$$Q_{z_j} := Q_{m_j} \cdot T \cdot K_b \quad \frac{\text{м}^3}{\text{р} \cdot \text{к}}$$



Внутрішній діаметр пульпопроводу

$$D_j := 1.128 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_{n1j}}{\frac{V}{V}}} \quad \text{м}$$

Відповідно до ГОСТу 10704-91 приймаю трубопровід із зовнішнім діаметром 325 мм, товщина стінки 8 мм

$$D_f := 0.325 - 2 \cdot 0.008 \quad D_f = 0.309 \quad \text{м}$$

Фактична швидкість руху пульпи по трубопроводом

$$V_{fj} := \frac{4 \cdot Q_{n1j}}{\pi \cdot D_f^2} \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Критична швидкість руху пульпи

$$V_{кр} := 2.8 \cdot \frac{\sqrt[6]{P} \cdot \sqrt{d \cdot D_f}}{4 \sqrt{C_f}} \quad V_{кр} = 2.033 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

**Розрахунок напірної характеристики пульпопроводу**

Число Рейнольдса

$$Re_j := \frac{V_{fj} \cdot D_f}{\nu}$$

Коефіцієнт опору трубопроводу

$$\lambda_j := \frac{0.31}{(\log(Re_j) - 1)^2}$$

Питомі втрати напору для води

$$(h_o)_j := \frac{\lambda_j \cdot (V_{fj})^2}{2 \cdot 9.81 \cdot D_f} \quad \text{м. вод.ст.}$$

**Параметри системи при перекачуванні пульпи**

Питомі втрати напору для пульпи

$$h_{n_j} := h_{o_j} \cdot (1 + 6 \cdot \sqrt{P}) \quad \text{м. вод.ст.}$$

Втрати напору в пульпопроводі

$$h_{a_j} := h_{n_j} \cdot L \cdot K \quad \text{м. вод.ст.}$$

Місцеві втрати напору в пульпопроводі

$$h_{m_j} := 0.1 \cdot h_a \quad \text{м. вод.ст.}$$

Необхідний напір насоса земснаряда

$$H_j := H_{n,n} \cdot \frac{\rho_n}{\rho_b} + H_{\text{дооб}} \cdot \frac{\rho_n}{\rho_b} + h_{\text{в}_i} + h_{\text{вн}} + h_{\text{т}_i} + H_o \quad \text{м. вод.ст.}$$

### Параметри системи при перекачуванні води

Втрати напора в пульпопроводі

$$h_{\text{вв}_i} := (h_o)_i \cdot K \quad \text{м. вод.ст.}$$

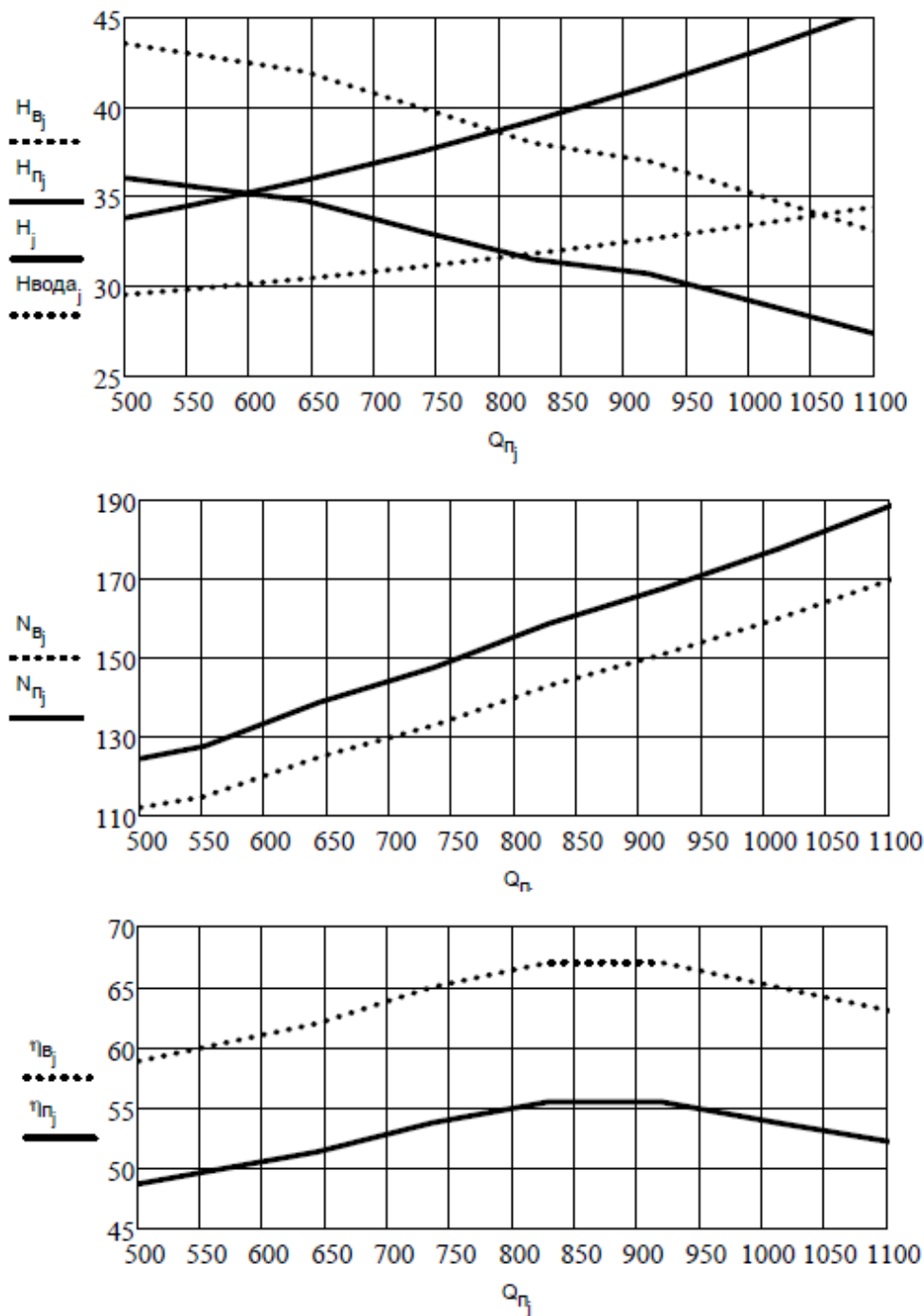
Місцеві втрати напорю в пульпопроводі

$$h_{\text{вт}_i} := 0.1 \cdot h_{\text{вв}_i} \quad \text{м. вод.ст.}$$

Необхідний напір насоса земснаряда

$$H_{\text{вода}_j} := H_{n,n} \cdot \frac{\rho_b}{\rho_b} + H_{\text{дооб}} \cdot \frac{\rho_b}{\rho_b} + h_{\text{вв}_i} + h_{\text{вт}_i} + h_{\text{вн}} + H_o \quad \text{м. вод.ст.}$$

Расходно-напірна характеристика системи:  
 ґрунтовий насос ГРУ 800-40 – пульпопровід



**Висновок:** встановлено, що при підводному видобутку піску різнозернистого, пилюватого зі вмістом глинистих частинок розміром менше 0,005 мм до 3 %, гравійних 2...40 мм – до 5 % з глибини 12 м за допомогою ґрунтового насоса ГрУ 800/40 на відстань 170 м потрібен трубопровід з внутрішнім прохідним діаметром 309 мм (ГОСТ 10704-91). Розрахункові параметри видобувальної системи приймуть такі значення: продуктивність по пульпі  $600 \text{ м}^3/\text{год}$ , необхідна потужність приводного двигуна 134 кВт, ККД насоса 51 %.



**Бондаренко Андрій Олексійович**

**ІНЖИНІРИНГ ГІРНИЧИХ МАШИН ТА КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ  
ПІДВОДНОГО ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ**  
«Розрахунок параметрів гідротранспортної системи землесосного снаряда»  
для студентів спеціальності 133 Галузеве машинобудування

В редакції автора

НТУ «Дніпровська політехніка»  
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.