

УДК 693.542

Чайка Д.О.

Харківський національний університет будівництва й архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ТРАНСПОРТУВАННЯ БЕТОННОЇ СУМІШІ УНІВЕРСАЛЬНИМ ШЛАНГОВИМ БЕТОНОНАСОСОМ

У статті представлено дослідження параметрів транспортування бетонної суміші універсальним шланговим бетононасосом. Представлено дослідження роботи шлангового бетононасоса під час усмоктування бетонної суміші з бункера та приведена умова його працездатності. У процесі нагнітання розглядаються випадки подання сумішей різної рухомості горизонтальним або вертикальним трубопроводом. Отримано рівняння для визначення висоти та дальності подання бетонної суміші універсальним шланговим бетононасосом. За допомогою проведених досліджень встановлено максимальні можливості транспортування сумішей шланговим бетононасосом.

Ключові слова: універсальний шланговий бетононасос, транспортування бетонної суміші, умова працездатності, тиск нагнітання, рухливість бетонної суміші.

Постановка проблеми. Під час будівництва будівель та споруд в умовах будівельних майданчиків широке застосування має монолітне бетонування. Просування технологій та великі обсяги бетонних робіт потребують створення та дослідження нового обладнання для виконання таких робіт. Під час зведення об'єктів будівництва ефективно можуть використовуватися безпоршневі шлангові бетононасоси з гідравлічним приводом, які за однією і тією ж продуктивністю мають такі переваги [1]: спрощена принципова схема машини; знижена металоємність та енерговитрати; компактність конструктивного рішення та малі витрати часу на їх обслуговування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [2] розглядаються результати аналітичних досліджень таких основних параметрів шлангового насоса, як продуктивність, потужність, ККД, та аналізується ресурс його роботи. Але в цій роботі не досліджуються можливості транспортування суміші шланговим насосом. У статті [3] розглядаються технічні можливості перистальтичного насоса. Аналізуються його гідравлічні характеристики: подача, диференційний напір, перепад тиску, необхідний для транспортування суміші, що перекачується, та робота притискних роликів. Проте в роботі не досліджується процес транспортування бетонної суміші. Транспортування сумішей за допомогою бетононасосів розглядаються в роботах [4; 5], але параметри бетононасоса під час транспортування бетонної суміші не досліджуються.

Постановка завдання. Метою дослідження є визначення можливостей транспортування бетон-

них сумішей різної рухомості новим універсальним шланговим бетононасосом.

Виклад основного матеріалу дослідження. Універсальний безпоршневі шланговий бетононасос із гідравлічним приводом (рис. 1), що досліджується, розроблено на кафедрі механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва та архітектури і запатентовано в Україні [6].

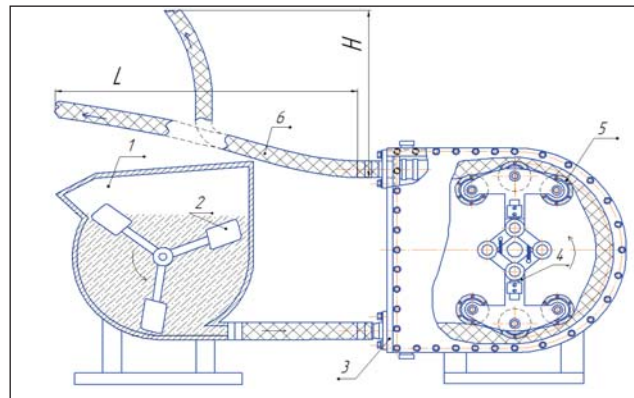


Рис. 1. Принципова схема універсального безпоршневого шлангового розчинобетононасоса із гідравлічним приводом

- 1 – завантажувальний бункер; 2 – змішувач-збуджувач; 3 – корпус бетононасоса; 4 – ротор; 5 – прижимні ролики; 6 – гнучкий транспортуючий шланг.

На початку роботи шлангового бетононасоса бетонна суміш з бункера всмоктується в робочу частину шланга в корпусі насоса. Для працездатності шлангового бетононасоса та стабільної його роботи бетонна суміш повинна повністю заповнювати обсяг ділянки всмоктування $L_{вс}$, що має місце між бункером та точкою деформації робочої частини шланга притискним роликом (рис. 2).

Параметри бетонної суміші

Рухливість бетонної суміші П, см	Динамічна в'язкість бетонної суміші, μ , Па·с	Кінематична в'язкість бетонної суміші, ν , м ² /с	Число Рейнольдса, Re		
			при Птехн, м ³ /г		
			5	10	15
6	0,65	$2,95 \times 10^{-4}$	97	200	376
8	0,5	$2,27 \times 10^{-4}$	118	260	488
10	0,35	$1,59 \times 10^{-4}$	169	370	697

* Динамічна в'язкість бетонної суміші прийнята на основі проведених досліджень [9; 10]

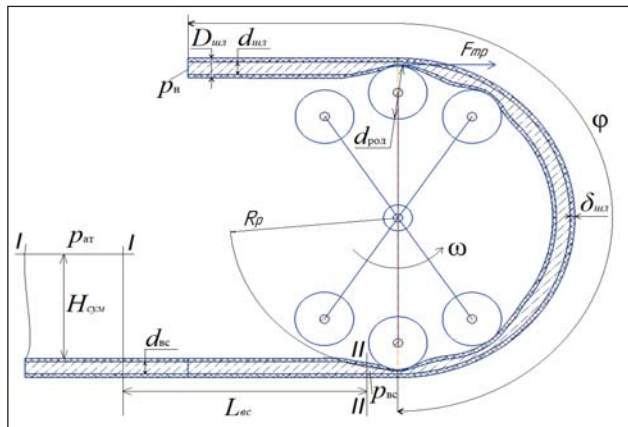


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення працездатності шлангового бетононасоса та тиску, що він створює для нагнітання бетонної суміші

Рівняння Бернуллі, щодо перетинів I-I, II-II, яке, нехтуючи швидкістю руху бетонної суміші в перетині I-I, може бути записано у вигляді:

$$H_{\text{сум}} = \frac{P_{\text{сум}} - P_{\text{ат}}}{\rho_0 g} + (1 + \zeta_{\Sigma}) \frac{v_{\text{сум}}^2}{2g} \quad (1)$$

де $H_{\text{сум}}$ – висота бетонної суміші в бункері, м; $P_{\text{вс}}$ і $P_{\text{ат}}$ – відповідно тиск всмоктування за притискним роликом та атмосферний тиск, Па; ρ_0 – середня щільність бетонної суміші, кг/м³; ζ_{Σ} – сумарна втрата тиску під час усмоктування бетонної суміші; $v_{\text{сум}}$ – швидкість руху суміші по трубопроводу на ділянці $L_{\text{вс}}$, м/с, $v_{\text{сум}} = 2\pi n R_p$, де R_p – радіус ротора бетононасоса по торцю ролика.

Сумарна втрата тиску під час усмоктування бетонної суміші визначається як:

$$\zeta_{\Sigma} = \zeta_{\text{вх}} + \zeta_{\text{тр}} \quad (2)$$

де $\zeta_{\text{вх}}$ – коефіцієнт опору при вході бетонної суміші у всмоктуючий патрубок [7]; $\zeta_{\text{тр}}$ – коефіцієнт опору на тертя під час переміщення бетонної суміші по всмоктуючому патрубку:

$$\zeta_{\text{тр}} = \lambda \frac{L_{\text{вс}}}{d_{\text{вс}}} \quad (3)$$

де $L_{\text{вс}}$ і $d_{\text{вс}}$ – відповідно довжина ділянки всмоктування від бункера бетононасоса до притискного ролика і її внутрішній діаметр, м; λ –

коефіцієнт опору руху бетонної суміші по трубопроводу.

Коефіцієнт опору руху бетонної суміші по трубопроводу визначається за умов, що в трубопроводі спостерігається ламінарна течія бетонної суміші. Для трубопроводів у розрахунках приймається [8]:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (4)$$

де Re – число Рейнольдса.

$$Re = \frac{v_{\text{сум}} \cdot d_{\text{вс}}}{\nu} \quad (5)$$

де ν – кінематична в'язкість бетонної суміші (табл. 1).

Тиск усмоктування бетонної суміші з бункера бетононасоса може бути визначений із формули (1):

$$P_{\text{вс}} = \rho_0 g H_{\text{сум}} + P_{\text{ат}} - (1 + \zeta_{\Sigma}) \rho_0 \frac{v_{\text{сум}}^2}{2} \quad (6)$$

Для повного заповнення ділянки всмоктування бетонною сумішшю, тобто працездатності безпоршневого бетононасоса повинна виконуватися умова:

$$\rho_0 g H_{\text{сум}} + P_{\text{ат}} \geq (1 + \zeta_{\Sigma}) \rho_0 \frac{v_{\text{сум}}^2}{2} \quad (7)$$

Відстань, на яку може транспортувати бетонну суміш універсальний шланговий бетононасос, залежить від його продуктивності, тиску нагнітання, який здатен створити бетононасос, та властивостей суміші, що перекачується.

Тиск нагнітання, який повинен створити насос для перекачування суміші, буде визначатися в межах кута ϕ (робочої зони насоса) та з урахуванням діючих сил тертя в процесі нагнітання бетонної суміші:

$$P_{\text{н}} = \frac{4 \cdot m \cdot \omega^2 \cdot R_p \cdot \phi \cdot f}{\pi (D_{\text{шл}} - 2\delta_{\text{шл}})^2} \quad (8)$$

де m – маса ротора, що перетискає гнучкий шланг в корпусі насоса; ω – кутова швидкість ротора бетононасоса; R_p – радіус ротора бетононасоса по торцю ролика; ϕ – зона робочого процесу нагнітання бетонної суміші, рад; f – коефіцієнт тертя бетонної суміші по внутрішній стінці робочого шланга в корпусі насоса; $D_{\text{шл}}$ – зовнішній діаметр гнучкого шланга; $\delta_{\text{шл}}$ – товщина стінки шланга.

Можливості транспортування бетонної суміші універсальним шланговим бетононасосом по горизонтальному трубопроводу при $Q_{техн} = 5 \text{ м}^3/\text{г}$

L, м	$Q_{техн} = 5 \text{ м}^3/\text{г}$						H, м	$Q_{техн} = 5 \text{ м}^3/\text{г}$					
	П, см							П, см					
	6		8		10			6		8		10	
	p_n , МПа	Δp_L , МПа	p_n , МПа	Δp_L , МПа	p_n , МПа	Δp_L , МПа		p_n , МПа	Δp_H , МПа	p_n , МПа	Δp_H , МПа	p_n , МПа	Δp_H , МПа
0	0,56	-	0,56	-	0,56	-	0	0,56	-	0,56	-	0,56	-
1	0,57	0,02	0,57	0,01	0,57	0,01	1	0,60	0,04	0,60	0,04	0,59	0,03
5	0,64	0,09	0,63	0,07	0,61	0,05	5	0,76	0,21	0,75	0,19	0,73	0,17
10	0,73	0,17	0,70	0,14	0,66	0,10	10	0,97	0,41	0,94	0,38	0,89	0,34
20	0,91	0,35	0,84	0,28	0,76	0,20	15	1,17	0,62	1,13	0,57	1,06	0,50
30	1,08	0,52	0,99	0,43	0,86	0,30	20	1,38	0,82	1,32	0,76	1,23	0,67
40	1,26	0,70	1,13	0,57	0,96	0,40	25	1,58	1,03	1,50	0,95	1,40	0,84
50	1,43	0,87	1,27	0,72	1,06	0,50	27	-	-	1,58	1,02	1,46	0,91
60	1,60	1,04	1,42	0,86	1,16	0,60	31	-	-	-	-	1,60	1,04
72	-	-	1,59	1,03	1,26	0,70	* Сірим кольором позначені максимально можливі відстані транспортування суміші універсальним шланговим бетононасосом.						
80	-	-	-	-	1,36	0,80							
90	-	-	-	-	1,46	0,90							
104	-	-	-	-	1,60	1,04							

Під час транспортування бетонної суміші на певну відстань тиск нагнітання, який повинен створити шланговий бетононасос, буде визначатися з урахуванням перепаду тиску, що створюється за рахунок діючих сил тертя та гідравлічного опору в транспортній магістралі, по якій рухається бетонна суміш.

$$p_{nL} = p_n + \Delta p_L \quad (9)$$

де p_n – тиск, який створює бетононасос для перекачування бетонної суміші; Δp_L – перепад тиску який створюється під час транспортування на довжину L за рахунок гідравлічного опору суміші, що транспортується.

Перепад тиску в транспортній магістралі, по якій рухається бетонна суміш в горизонтальному напрямку, визначається з урахуванням властивостей бетонної суміші (табл. 1) та параметрів транспортної магістралі [8]:

$$\Delta p_L = \lambda \cdot \frac{L}{d_{mp}} \cdot \rho_0 \cdot \frac{v_{cp}^2}{2} \quad (10)$$

де L – довжина трубопроводу по якому транспортується бетонна суміш; d_{mp} – внутрішній діаметр транспортного трубопроводу; ρ_0 – середня щільність бетонної суміші; v_{cp} – середня швидкість, із якою транспортується бетонна суміш.

У кінцевому вигляді залежність тиску нагнітання під час подання бетонної суміші по горизонтальному трубопроводу має вигляд:

$$p_{nL} = \left(\frac{4 \cdot m \cdot \omega^2 \cdot R_p \cdot \varphi \cdot f}{\pi(D_{вл} - 2\delta_{вл})^2} \right) + \left(\lambda \cdot \frac{L}{d_{mp}} \cdot \rho_0 \cdot \frac{v_{cp}^2}{2} \right) \quad (11)$$

Під час подання бетонної суміші на висоту по вертикальному трубопроводу тиск нагнітання, який повинен створити універсальній шланговий бетононасос, може бути знайдено відповідно до залежності:

$$p_{nH} = p_n + \Delta p_H \quad (12)$$

де Δp_H – перепад тиску, який створюється під час подання бетонної суміші на висоту H за рахунок її ваги та гідравлічного опору під час транспортування.

Перепад тиску в транспортній магістралі, по якій подається бетонна суміш в вертикальному напрямку, визначається з урахуванням властивостей бетонної суміші (табл. 1), параметрів транспортної магістралі та ваги стовпа суміші, що підіймається:

$$\Delta p_H = \left(\lambda \cdot \frac{H}{d_{mp}} \cdot \rho_0 \cdot \frac{v_{cp}^2}{2} \right) + \left(\frac{m_{cm} \cdot g}{S_{mp}} \right) \quad (13)$$

де m_{cm} – маса стовпа бетонної суміші, що подається; g – прискорення вільного падіння; S_{mp} – площа поперечного перерізу транспортного трубопроводу.

У кінцевому вигляді залежність тиску нагнітання при подачі бетонної суміші в вертикальному напрямку має вигляд:

$$p_{nH} = \left(\frac{4 \cdot m \cdot \omega^2 \cdot R_p \cdot \varphi \cdot f}{\pi(D_{вл} - 2\delta_{вл})^2} \right) + \left(\left(\lambda \cdot \frac{H}{d_{mp}} \cdot \rho_0 \cdot \frac{v_{cp}^2}{2} \right) + \left(\frac{m_{cm} \cdot g}{S_{mp}} \right) \right) \quad (14)$$

За допомогою програмного комплексу MathCad проведені дослідження можливостей транспортування бетонної суміші універсальним шланговим

бетононасосом по горизонтальному та вертикальному трубопроводах (табл. 2 – 4).

Під час досліджень прийняті такі допущення: транспортна магістраль має абсолютний горизонт та не має жодного повороту на 90°; максимально допустимий тиск в робочій частині шланга не перевищує 1,6 МПа, відповідно до технічних характеристик перистальтичних шлангів [11].

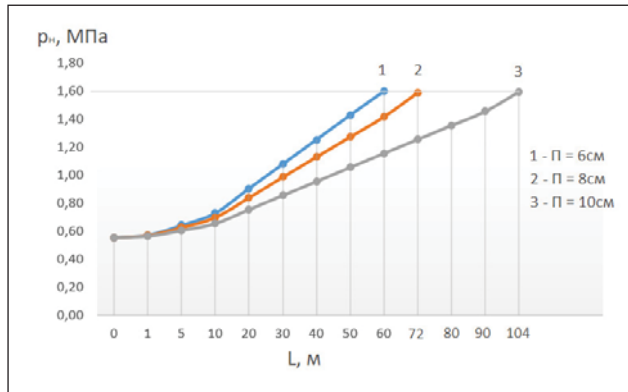


Рис. 3. Залежності тиску нагнітання бетонної суміші універсальним шланговим бетононасосом від довжини транспортної магістралі при $P_{техн} = 5 \text{ м}^3/\text{г}$

Графічні залежності на рис. 3 дозволяють визначити максимальні можливості транспортування бетонної суміші по горизонтальному трубопроводу універсальним шланговим бетононасосом при його продуктивності $P_{техн} = 5 \text{ м}^3/\text{г}$. Залежність 1 (рис. 3) показує, що під час рухливості бетонної суміші $\Pi = 6 \text{ см}$ максимальна дальність транспортування 60 м. При рухливості $\Pi = 8 \text{ см}$ (залежність 2) бетононасос може транспортувати бетонну суміш на відстань до 72 м. Залежність 3 показує, що максимально можлива дальність транспортування суміші при її рухливості $\Pi = 10 \text{ см}$ – 104 м.

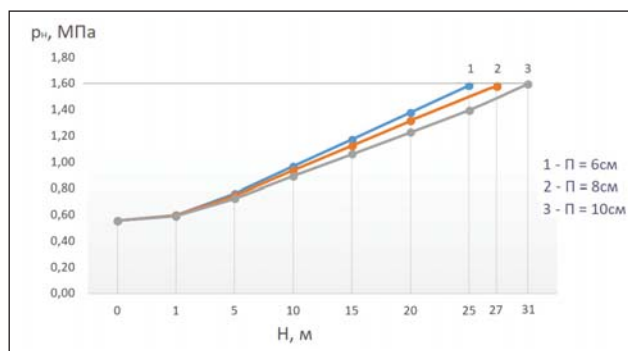


Рис. 4. Залежності тиску нагнітання від висоти подачі бетонної суміші універсальним шланговим бетононасосом при $P_{техн} = 5 \text{ м}^3/\text{г}$

Графічні залежності на рис. 4 дозволяють визначити максимальні можливості подання бетонної суміші по вертикалі безпоршневим бетононасосом

при його продуктивності $P_{техн} = 5 \text{ м}^3/\text{г}$. Залежність 1 (рис. 4) показує, що при рухливості бетонної суміші $\Pi = 6 \text{ см}$ максимальна висота її подачі становить 25 м. При рухливості $\Pi = 8 \text{ см}$ (залежність 2) універсальний безпоршневий бетононасос може подавати бетонну суміш на висоту до 27 м. Залежність 3 показує, що максимально можлива висота подачі суміші бетононасосом при її рухливості $\Pi = 10 \text{ см}$ – 31 м.

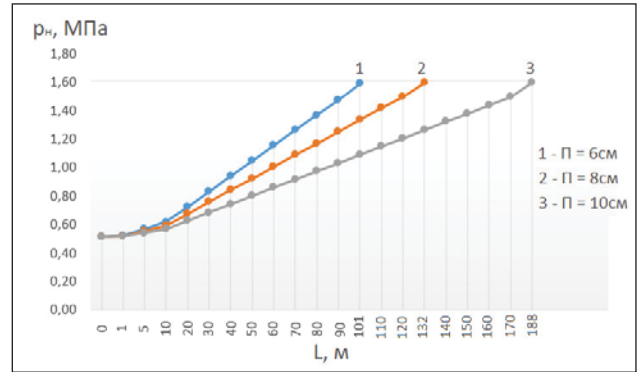


Рис. 5. Залежності тиску нагнітання бетонної суміші універсальним шланговим бетононасосом від довжини транспортної магістралі при $P_{техн} = 10 \text{ м}^3/\text{г}$

Аналіз графічних залежностей (рис. 5) дозволяє визначити максимальні можливості транспортування бетонної суміші по горизонтальному трубопроводу універсальним шланговим бетононасосом при його продуктивності $P_{техн} = 10 \text{ м}^3/\text{г}$. Залежність 1 (рис. 5) свідчить про можливість транспортування бетонної суміші до 101 м, при її рухливості $\Pi = 6 \text{ см}$. При рухливості $\Pi = 8 \text{ см}$ (залежність 2) бетононасос може транспортувати бетонну суміш на відстань до 132 м. Максимально можлива дальність транспортування суміші при її рухливості $\Pi = 10 \text{ см}$ – 188 м (залежність 3).

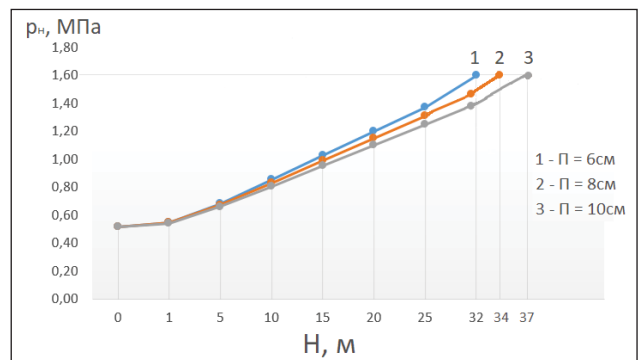


Рис. 6. Залежності тиску нагнітання від висоти подачі бетонної суміші універсальним шланговим бетононасосом при $P_{техн} = 10 \text{ м}^3/\text{г}$

Аналіз залежностей на рис. 6 дозволяє визначити максимальні можливості подачі бетонної суміші по вертикалі безпоршневим бетононасосом при його

Можливості транспортування бетонної суміші універсальним шланговим бетононасосом по горизонтальному трубопроводу при $\Pi_{\text{техн}} = 10 \text{ м}^3/\text{г}$

L, м	$\Pi_{\text{техн}} = 10 \text{ м}^3/\text{г}$						H, м	$\Pi_{\text{техн}} = 10 \text{ м}^3/\text{г}$					
	Π , см							Π , см					
	6		8		10			6		8		10	
	$\rho_{\text{н}}$, МПа	$\Delta\rho L$, МПа	$\rho_{\text{н}}$, МПа	$\Delta\rho L$, МПа	$\rho_{\text{н}}$, МПа	$\Delta\rho L$, МПа		$\rho_{\text{н}}$, МПа	$\Delta\rho H$, МПа	$\rho_{\text{н}}$, МПа	$\Delta\rho H$, МПа	$\rho_{\text{н}}$, МПа	$\Delta\rho H$, МПа
0	0,51	-	0,51	-	0,51	-	0	0,51	-	0,51	-	0,51	-
1	0,52	0,01	0,52	0,01	0,52	0,01	1	0,55	0,03	0,55	0,03	0,54	0,03
5	0,57	0,05	0,55	0,04	0,54	0,03	5	0,68	0,17	0,67	0,16	0,66	0,15
10	0,62	0,11	0,60	0,08	0,57	0,06	10	0,86	0,34	0,83	0,32	0,81	0,29
20	0,73	0,21	0,68	0,17	0,63	0,12	15	1,03	0,51	0,99	0,48	0,95	0,44
30	0,83	0,32	0,76	0,25	0,69	0,17	20	1,20	0,69	1,15	0,64	1,10	0,59
40	0,94	0,43	0,84	0,33	0,74	0,23	25	1,37	0,86	1,31	0,79	1,25	0,73
50	1,05	0,54	0,92	0,41	0,80	0,29	30	1,54	1,03	1,47	0,95	1,39	0,88
60	1,16	0,64	1,01	0,49	0,86	0,35	32	1,60	1,09	1,53	1,02	1,45	0,94
70	1,26	0,75	1,09	0,58	0,92	0,41	34	-	-	1,59	1,08	1,51	1,0
80	1,37	0,86	1,17	0,66	0,98	0,46	37	-	-	-	-	1,60	1,09
90	1,48	0,96	1,25	0,74	1,03	0,52							
101	1,59	1,08	1,34	0,82	1,09	0,58							
110	-	-	1,42	0,90	1,15	0,64							
120	-	-	1,50	0,99	1,21	0,69							
132	-	-	1,60	1,09	1,26	0,75							
140	-	-	-	-	1,32	0,81							
150	-	-	-	-	1,38	0,87							
160	-	-	-	-	1,44	0,92							
170	-	-	-	-	1,50	0,98							
188	-	-	-	-	1,60	1,09							

* Сірим кольором позначені максимально можливі відстані транспортування суміші універсальним шланговим бетононасосом.

продуктивності $\Pi_{\text{техн}} = 10 \text{ м}^3/\text{г}$. Із залежності 1 (рис. 6) видно, що при рухливості бетонної суміші $\Pi = 6 \text{ см}$ максимальна висота її подачі 32 м. При рухливості $\Pi = 8 \text{ см}$ (залежність 2) безпоршневий бетононасос може подавати бетонну суміш на висоту до 34 м. При рухливості $\Pi = 10 \text{ см}$ (залежність 3) максимально можлива висота подачі суміші бетононасосом 37 м.

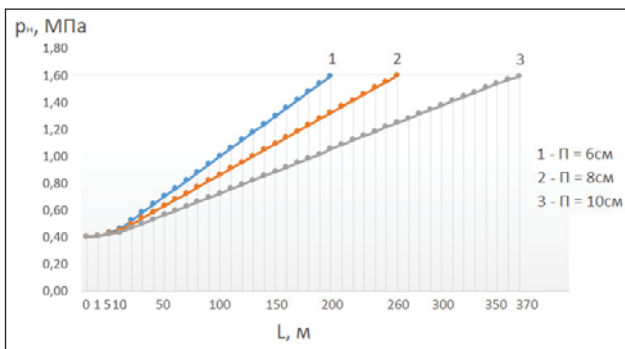


Рис. 7. Залежності тиску нагнітання бетонної суміші універсальним шланговим бетононасосом від довжини транспортної магістралі при $\Pi_{\text{техн}} = 15 \text{ м}^3/\text{г}$

Аналіз залежності 1 (рис. 7) показує, що при рухливості бетонної суміші $\Pi = 6 \text{ см}$ мак-

симальна дальність її транспортування універсальним шланговим бетононасосом при його продуктивності $\Pi_{\text{техн}} = 15 \text{ м}^3/\text{г} - 200 \text{ м}$. При рухливості суміші $\Pi = 8 \text{ см}$ (залежність 2) бетононасос може транспортувати бетонну суміш на відстань до 260 м. Залежність 3 дозволяє визначити максимально можливу дальність транспортування суміші при її рухливості $\Pi = 10 \text{ см}$, яка становить 370 м.

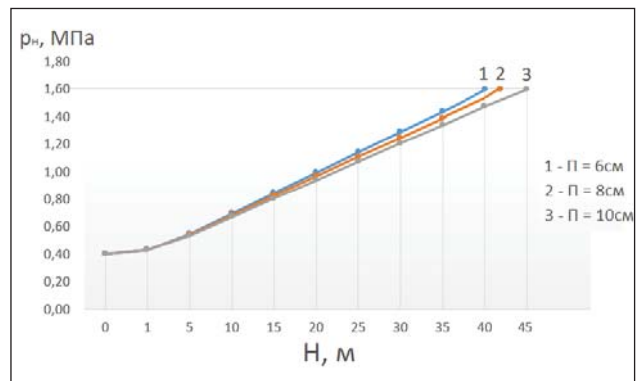


Рис. 8. Залежності тиску нагнітання від висоти подачі бетонної суміші універсальним шланговим бетононасосом при $\Pi_{\text{техн}} = 15 \text{ м}^3/\text{г}$

Можливості транспортування бетонної суміші універсальним шланговим бетононасосом по горизонтальному трубопроводу при $\Pi_{\text{техн}} = 15 \text{ м}^3/\text{г}$

L, м	$\Pi_{\text{техн}} = 15 \text{ м}^3/\text{г}$						H, м	$\Pi_{\text{техн}} = 15 \text{ м}^3/\text{г}$					
	П, см							П, см					
	6		8		10			6		8		10	
	рн, МПа	ΔpL , МПа	рн, МПа	ΔpL , МПа	рн, МПа	ΔpL , МПа		рн, МПа	ΔpH , МПа	рн, МПа	ΔpH , МПа	рн, МПа	ΔpH , МПа
0	0,41	-	0,41	-	0,41	-	0	0,41	-	0,41	-	0,41	-
1	0,41	0,01	0,41	0,00	0,41	0,00	1	0,44	0,03	0,43	0,03	0,43	0,03
5	0,44	0,03	0,43	0,02	0,42	0,02	5	0,55	0,15	0,55	0,16	0,54	0,13
10	0,47	0,06	0,45	0,05	0,44	0,03	10	0,70	0,30	0,69	0,32	0,67	0,27
20	0,53	0,12	0,50	0,09	0,47	0,06	15	0,85	0,44	0,83	0,48	0,81	0,40
40	0,64	0,24	0,59	0,18	0,53	0,13	20	1,00	0,59	0,97	0,64	0,94	0,54
60	0,76	0,36	0,68	0,28	0,60	0,19	25	1,14	0,74	1,11	0,79	1,07	0,67
80	0,88	0,48	0,77	0,37	0,66	0,26	30	1,29	0,89	1,25	0,95	1,21	0,80
100	1,00	0,60	0,87	0,46	0,73	0,32	35	1,44	1,03	1,39	1,02	1,34	0,94
120	1,12	0,72	0,96	0,55	0,79	0,39	40	1,59	1,18	1,53	1,12	1,48	1,07
140	1,24	0,84	1,05	0,64	0,86	0,45	42	-	-	1,59	1,18	1,53	1,12
160	1,36	0,95	1,14	0,74	0,92	0,52	45	-	-	-	-	1,60	1,20
180	1,48	1,07	1,23	0,83	0,99	0,58	* Сірим кольором позначені максимально можливі відстані транспортування суміші універсальним шланговим бетононасосом.						
200	1,60	1,19	1,33	0,92	1,06	0,65							
220	-	-	1,42	1,01	1,12	0,72							
240	-	-	1,51	1,10	1,19	0,78							
260	-	-	1,60	1,20	1,25	0,85							
280	-	-	-	-	1,31	0,91							
300	-	-	-	-	1,38	0,97							
320	-	-	-	-	1,44	1,04							
340	-	-	-	-	1,51	1,10							
370	-	-	-	-	1,60	1,19							

Графічні залежності на рис. 8 дозволяють визначити максимальні можливості подачі бетонної суміші по вертикальному трубопроводу шланговим бетононасосом при його продуктивності $\Pi_{\text{техн}} = 15 \text{ м}^3/\text{г}$. Залежність 1 показує, що при рухливості бетонної суміші $\Pi = 6 \text{ см}$ максимальна висота її подачі 40 м. При рухливості $\Pi = 8 \text{ см}$ (залежність 2) бетононасос може подавати бетонну суміш на висоту до 42 м. Залежність 3 показує, що максимально можлива висота подачі суміші універсальним шланговим бетононасосом при її рухливості $\Pi = 10 \text{ см}$ – 45 м.

Висновки:

- 1) наведено принципову схему універсального шлангового бетононасоса з гідравлічним приводом;
- 2) представлено дослідження роботи шлангового бетононасоса під час всмоктування бетонної суміші з бункера та приведена умова його працездатності;
- 3) отримано методику визначення можливостей транспортування бетонної суміші універсальним шланговим бетононасосом по горизонтальному та вертикальному трубопроводах з урахуванням параметрів суміші, що транспортується.

Список літератури:

1. Daszczenko, A. *Hydraulika: Maszyny hydrauliczne* / A. Daszczenko, J. Glinski, E. Krasowski et al. Lublin: Polska Akademia Nauk Oddział w Lublinie, 2010. 385 p.
2. Михеев А.Ю. Исследование характеристики и повышение надежности насосов перистальтического принципа действия: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2004. 168 с.
3. Кускова М.А. Гидравлические характеристики перистальтических насосов. Нефтяное хозяйство. 2008. №. 1. С. 104–106.
4. J. Henikl, W. Kemmettmiller, A. Kugi. Estimation and control of the tool center point of a mobile concrete pump. *Automation in Construction*. 2016. Vol.61. P. 112–123.

5. József klespitz, levente kovács. Peristaltic pumps – a review on working and control possibilities/ SAMI 2014, IEEE 12th international symposium on applied machine intelligence and informatics. January 23–25, 2014. Herl'any, Slovakia, p. 191–194.
6. Універсальний шланговий бетононасос: пат. 112585 Україна. МПК: F04B 15/02, F04B 43/12. а 201413692; заявл. 22.12.14; опубл. 26.09.16, Бюл. № 18. 4 с.
7. Приходько О.А., Сьомін Д.О. Технічна аерогідромеханіка: навч. посіб. Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2002. 170 с.
8. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975. 559 с.
9. Меленцов Н.А. Создание растворобетононасоса с повышенной пропускной способностью клапанных узлов и стабильной подачей бетонных смесей: дисс... канд. техн. наук: 05.05.02. Харьков, 2014. 176 с.
10. Способ отверждения бетона: пат. 2615545 Франция. C04B41/63, опубл. 2017.
11. Bredel hoses. URL: <http://www.watson-marlow.com/us-en/range/bredel/hose-elements>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ УНИВЕРСАЛЬНЫМ ШЛАНГОВЫМ БЕТОНОНАСОСОМ

В статье представлены исследования параметров транспортирования бетонной смеси универсальным шланговым бетононасосом. Представлены исследования работы шлангового бетононасоса при всасывании бетонной смеси из бункера и приведено условие его работоспособности. В процессе нагнетания рассматриваются случаи подачи смесей различной подвижности по горизонтальному или вертикальному трубопроводу. Полученные уравнения для определения высоты и дальности подачи бетонной смеси универсальным шланговым бетононасосом. С помощью проведенных исследований установлены максимальные возможности транспортирования смесей шланговым бетононасосом.

Ключевые слова: универсальный шланговый бетононасос, транспортирование бетонной смеси, условие работоспособности, давление нагнетания, подвижность бетонной смеси.

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITIES OF TRANSPORTATION OF CONCRETE MIXTURE BY UNIVERSAL HOSE CONCRETE PUMP

The article presents the study of the parameters of transportation of concrete mix with a universal hose concrete pump. The research of the work of the hose concrete pump during the absorption of the concrete mixture from the bunker is presented and the condition of its efficiency is given. In the process of injection, instances of the feeding of mixtures of various displacements by horizontal or vertical pipelines are considered. The obtained equations for determining the height and range of supply of concrete mix with a universal hose concrete pump. With the help of the conducted researches the maximum possibilities of transportation of mixtures with the hose concrete pump are established.

Key words: universal hose concrete pump, transportation of concrete mix, condition of performance, injection pressure, mobility of concrete mix.