



## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІБРАЦІЇ НА ФІЛЬТРАЦІЙНУ ЗДАТНІСТЬ ПІСКУ

**Анотація.** *Висвітлений експеримент та наведений аналіз результатів експериментальних досліджень із визначення коефіцієнтів фільтрації піску різної крупності за стандартною методикою без впливу та із впливом вібрації. Результати експерименту підтвердили припущення, що вібрація впливає на швидкість фільтрації води в піщаному дренажному шарі, тому потрібно враховувати вплив вібрації, яка передається на дренажні шари дорожньої конструкції від транспортного потоку, при розрахунку їх пропускної здатності.*

**Ключові слова:** *коефіцієнт фільтрації, вібрація, дренажний шар, гранулометричний склад, максимальна щільність, оптимальна вологість, коефіцієнт неоднорідності.*

**Анотация.** *Описан эксперимент и приведен анализ результатов экспериментальных исследований по определению коэффициентов фильтрации песка различной крупности по стандартной методике без влияния и с воздействием вибрации. Результаты эксперимента подтвердили предположение, что вибрация влияет на скорость фильтрации воды в песчаном дренажном слое, поэтому нужно учитывать воздействие вибрации, передаваемой на дренажные слои дорожной конструкции от транспортного потока, при расчете их пропускной способности.*

**Ключевые слова:** *коэффициент фильтрации, вибрация, дренарующий слой, гранулометрический состав, максимальная плотность, оптимальная влажность, коэффициент неоднородности.*

**Annotation.** *We describe the experiment and the analysis of experimental results to determine the coefficients of filtration sand of various sizes by the standard method without influence and the influence of vibration. The experimental results confirmed the assumption that vibration affects the filtration rate of water draining sandy layer, so you need to consider the effects of vibration, which is transmitted to drainage layers of road construction traffic, when calculating their bandwidth.*

**Key words:** *filtration coefficient, vibration, drainage layer, grain size, maximum density, optimum moisture content, rate heterogeneity.*

Відповідно до вимог [1], на ділянках доріг, де земляне полотно споруджується з ґрунтів із коефіцієнтам фільтрації менше за 0,5 м/д (пилуватих пісків, супісків, суглинків та глин), слід передбачати осушення основи дорожнього одягу та ґрунтів верхньої частини земляного полотна. З цією метою може влаштовуватись дренажна система мілкового залягання, яка працює за принципом осушення. Однією з характеристик, яка впливає на економічну ефективність заходів з осушення основи дорожнього одягу та активної зони земляного полотна, є товщина підстильного дренажного шару з піску. Крім того, важливим показником піску, який використовується, є його зерновий склад та модуль крупності, оскільки за цими параметрами можна зробити висновок про можливість або неможливість застосування місцевого матеріалу, який суттєво знижує вартість будівництва.

Як йдеться в [1, 2], товщина піщаного дренажного шару, повністю насиченого водою ( $h_{\text{нас}}$ ), залежить від коефіцієнта фільтрації.

Для влаштування дренажних шарів, що працюють за принципом осушення, слід використовувати матеріал з коефіцієнтом фільтрації не менше за 2 м/д. При влаштуванні дренажного шару порівняно невеликої товщини (до 30 см) на всю ширину земляного полотна слід використовувати матеріали з коефіцієнтом фільтрації 10 м/д і більше та коефіцієнтом неоднорідності  $K_{60/10} \leq 5$ , що мають незначне капілярне підняття.

При влаштуванні дренажного шару тільки на ширину проїзної частини для закрайкових дренажів повинні бути використані матеріали з коефіцієнтом фільтрації 10 – 20 м/д. Більше значення коефіцієнта фільтрації відповідно збільшує довжину фільтрації, яка визначається кількістю смуг руху і типом поперечного профілю (одно- або двоскатний).

Для влаштування дренажного шару, що працює за принципом осушення, слід використовувати піщані ґрунти, які відповідають вимогам даних, що наведені у **табл. 1**.



Таблиця 1

Вимоги до піщаних ґрунтів, які використовують для влаштування дренажного шару

Коефіцієнт фільтрації піску еталона, $K_{\text{фе}}$	Коефіцієнт неоднорідності піску, $K_{60/10}$	Вміст частинок розміром менше 0,1 мм (у % не більше), при влаштуванні двоскатної проїжджої частини при кількості смуг руху	
		дві	чотири
40	< 3	10,0	7,0
		7,5	5,5
20	3 – 5	7,0	5,5
		6,5	4,5
10	5 – 10	4,0	3,0
		3,0	2,0
5	> 10	2,0	1,2
		1,5	1,0

**Примітка.** У чисельнику наведено дані для конструкцій з відводом води трубчастими дренами, у знаменнику – для конструкцій з відводом води через фільтруючий шар під узбіччями.

Таблиця 2

Гранулометричний склад піску для проведення експерименту

Найменування залишку	Залишки, % за масою, на ситах					Прохід крізь сито з сіткою № 016 (014), % за масою
	2,5	1,25	063	0315	016 (014)	
проба 1						
Частковий	0	30	30	20	15	5
Повний	0	30	60	80	95	-
проба 2						
Частковий	0	15	25	40	10	10
Повний	0	15	40	80	90	—
проба 3						
Частковий	0	0	10	40	40	10
Повний	0	0	10	50	90	—

Як відомо, дорожній одяг – багатошарова конструкція в межах проїзної частини автомобільної дороги, яка сприймає навантаження від транспортного потоку і передає його на ґрунт земляного полотна, тобто транспортний потік передає на піщаний дренажний шар, який є складовою частиною дорожнього одягу, певне вібраційне навантаження.

Припустимо, що вібрація впливає на швидкість фільтрації води в піщаному шарі, тобто збільшує або зменшує його коефіцієнт фільтрації. Відповідно, даний фактор впливає на швидкість відведення води та загальну товщину дренажного шару.

Для перевірки справедливості такого припущення були взяті проби піску з різним зерновим складом та коефіцієнтом неоднорідності, визначені коефіцієнти фільтрації відрібраних матеріалів за стандартною методикою. Потім повторили експеримент, створюючи на установку для визначення коефіцієнта фільтрації вібраційний вплив з різними характеристиками. Проаналізувавши залежність коефіцієнта фільтрації матеріалів від

параметрів вібрації, яка на них впливає, був зроблений висновок про доцільність подальшого дослідження залежності фільтраційних характеристик дренажного шару від вібрації транспортного потоку.

Далі наведені результати експериментальних досліджень залежності коефіцієнта фільтрації піску, який використовується як матеріал для влаштування підстильного шару основи в дорожній конструкції, від вібрації, його зернового складу та модуля крупності.

Для проведення експерименту було відібрано та розділено на фракції річковий пісок. Шляхом розсіву піску на ситах стандартного набору відповідно до [3] відібрано залишки на ситах із сітками № 1,25, 063, 0315, 016 та частки, які пройшли крізь сито із сіткою № 016.

Змішування залишків на ситах дозволило отримати три проби піску різної крупності.

Групу за гранулометричним складом отриманих проб було визначено відповідно до [4].

Модуль крупності розраховували згідно з [3] за формулою:



$$M_K = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{063} + A_{0315} + A_{016}}{100}, \quad (1)$$

де  $A_{2,5}$ ,  $A_{1,25}$ ,  $A_{063}$ ,  $A_{0315}$ ,  $A_{016}$  – повні залишки на ситі з круглими отворами діаметром 2,5 мм і на ситах із сітками № 1,25; 063; 0315; 016, %.

Отже, змішуванням різних фракцій отримано проби піску гранулометричний склад яких наведений у **табл. 2**.

Модулі крупності отриманих проб піску за формулою (1), склали:

– проба 1

$$M_{K1} = \frac{30 + 60 + 80 + 95}{100} = 2,65;$$

– проба 2

$$M_{K2} = \frac{15 + 40 + 80 + 90}{100} = 2,25;$$

– проба 3

$$M_{K3} = \frac{10 + 50 + 90}{100} = 1,50.$$

Відповідно до даних табл. 4 [4], отримані проби піску за зерновим складом відносяться до таких груп: проба 1 – крупний пісок, проба 2 – середній, проба 3 – дрібний.

Далі було визначено максимальну щільність ( $\rho_{dmax}$ ) та оптимальну вологість ( $W_{opt}$ ) проб піщаного ґрунту відповідно до [5] для подальшого використання при визначенні коефіцієнтів фільтрації. Результати наведені у **табл. 3 – 5**. Графіки залежності щільності сухого ґрунту від вологості при стандартному ущільненні зображено на **рис. 2 – 4**.

Коефіцієнти фільтрації отриманих проб піску визначали за стандартною методикою [6] без впливу та із впливом вібрації. Вібрацію створювали за допомогою вібростолу з можливістю

регулювання інтенсивності. Експериментальну установку зображено на **рис. 1**.

Коефіцієнт фільтрації  $K_{10}$  у метрах на добу, приведений до умов фільтрації при температурі 10 °С, відповідно до [6] обчислювали за формулою:

$$K_{10} = \frac{864 \cdot V_w}{t_m \cdot A \cdot T \cdot J}, \quad (2)$$

де  $V_w$  – об'єм води, що профільтрується при одному вимірюванні, см<sup>3</sup>;

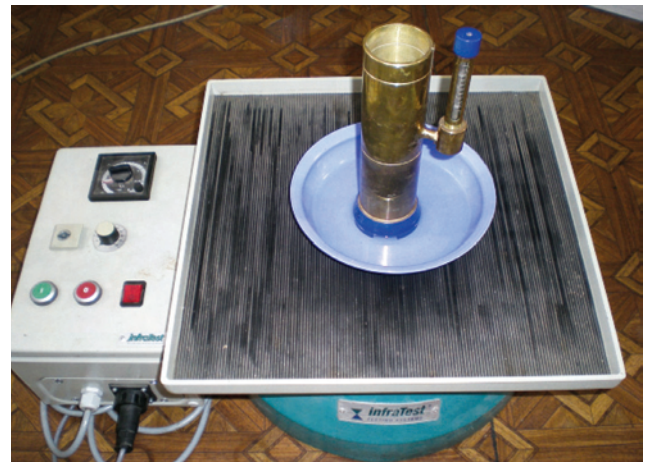
$t_m$  – середня тривалість фільтрації (за вимірюваннями при однакових витратах води), с;

$A$  – площа поперечного перерізу циліндра фільтраційної трубки, см<sup>2</sup>;

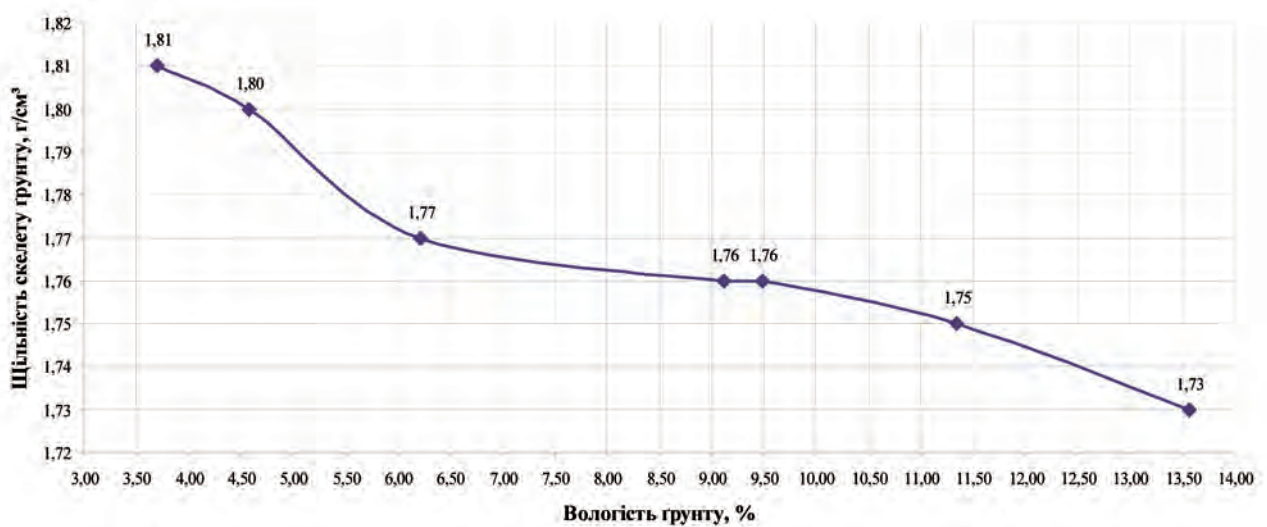
$J$  – градієнт напору;

$T = (0,70 + 0,03 \cdot T_f)$  – поправка для приведення значення коефіцієнта фільтрації до умов фільтрації води при температурі 10 °С, де  $T_f$  – фактична температура води при випробуванні, °С;

864 – перехідний коефіцієнт (від см/с до м/д).



**Рис. 1.** Експериментальна установка для визначення коефіцієнта фільтрації піщаного ґрунту при дії вібрації



**Рис. 2.** Графік залежності щільності сухого ґрунту від вологості при стандартному ущільненні (проба 1)

Результати визначення максимальної щільності ґрунту (проба І)

Номер випробування	Визначення щільності				Визначення вологості						Щільність сухоґрунтового зразка ґрунту, $\rho_d^{max}$
	маса, г				номер бюкса	маса, г			вологість w, %		
	контейнера без насадки, $m_1$	контейнера без насадки з ущільненням зразком ґрунту, $m_2$	ущільненого зразка ґрунту, $m_3 - m_4$	зразка ґрунту, $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>		порожнього бюкса, $m_5$	бюкса з вологим зразком ґрунту, $m_6$	бюкса із сухим ґрунтом, $m_7$	$(m_7 - m_8) / (m_6 - m_8)$	середнє арифметичне	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	5488,70	7361,90	1873,20	1,88	012	14,30	60,80	59,20	3,56	3,70	1,81
2	5488,70	7368,80	1880,10	1,89	028	15,30	69,40	67,40	3,84	4,58	1,80
3	5488,70	7370,60	1881,90	1,89	044	13,80	46,70	44,80	6,13	6,22	1,78
4	5488,70	7407,40	1918,70	1,92	057	14,60	53,30	51,00	6,32	9,12	1,76
5	5488,70	7421,00	1932,30	1,94	024	14,10	56,30	52,90	8,76	9,49	1,77
6	5488,70	7440,30	1951,60	1,96	022	14,30	54,70	51,20	9,49	9,49	1,76
7	5488,70	7450,60	1961,90	1,97	030	14,90	51,30	48,10	9,64	11,34	1,76
					101	14,40	53,00	49,70	9,35	13,57	1,73
					103	15,90	60,70	56,00	11,72	13,37	
					098	15,00	63,60	58,80	10,96	13,77	
					093	13,90	56,30	51,30	13,37		
					038	13,90	57,70	52,40	13,77		





Таблиця 4

Результати визначення максимальної щільності ґрунту (проба 2)

Номер випробування	Визначення щільності				щільність ущільненого зразка ґрунту, $\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>	номер бюкса	Визначення вологості				Щільність сухого ущільненого зразка ґрунту, $\rho_{d \max}$
	маса, г						маса, г	вологість w, %	середнє арифметичне		
	контейнера без насадки, $m_1$	контейнера без насадки з ущільненим зразком ґрунту, $m_2$	ущільненого зразка ґрунту, $m_3 - m_4$	зразка ґрунту, $\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>						порожнього бюкса, $m_6$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	5488,70	7260,60	1771,90	1,78	093	13,9	51,00	49,8	3,34	3,40	1,72
						15	54,00	52,7			
2	5488,70	7308,80	1820,10	1,83	057	14,7	49,60	47,9	5,12	5,05	1,74
						15,10	53,10	51,3			
3	5488,70	7353,80	1865,10	1,87	024	14,1	50,20	47,80	7,12	7,17	1,75
						14,1	52,70	50,1			
4	5488,70	7398,70	1910,00	1,92	206	15,4	59,10	55,1	10,08	10,10	1,74
						14,50	62,40	58			
5	5488,70	7415,70	1927,00	1,93	044	13,8	52,60	48,5	11,82	12,23	1,72
						15,4	56,40	51,8			

Результати визначення максимальної щільності ґрунту (проба 3)

Номер випробування	Визначення щільності				Визначення вологості						Щільність сухого ущільненого зразка ґрунту, $\rho_{dmax}$	
	маса, г				номер бюкса	маса, г				вологість w, %		
	контейнера без насадки, $m_4$	контейнера без насадки з ущільненим зразком ґрунту, $m_5$	ущільненого зразка ґрунту, $m_4 - m_5$	щільність ущільненого зразка ґрунту, $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>		порожнього бюкса, $m_6$	бюкса з вологим зразком ґрунту, $m_7$	бюкса із сухим ґрунтом, $m_8$	$(m_7 - m_8)/(m_8 - m_6)$	середнє арифметичне		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	5488,70	7164,50	1675,80	1,68	206	15,50	51,60	50,00	4,64	4,52	1,61	
					103	15,90	53,80	52,20	4,41			
2	5488,70	7206,40	1717,70	1,72	098	15,00	54,10	51,80	6,25	5,82	1,63	
					101	14,40	59,30	57,00	5,40			
3	5488,70	7263,30	1774,60	1,78	038	13,70	48,70	46,00	8,36	8,48	1,64	
					249	15,20	45,50	43,10	8,60			
4	5488,70	7296,30	1807,60	1,81	093	14,00	57,60	53,40	10,66	10,69	1,64	
					057	14,70	46,70	43,60	10,73			
5	5488,70	7367,70	1879,00	1,88	030	14,90	51,30	46,80	14,11	14,89	1,64	
					022	14,20	54,80	49,30	15,67			



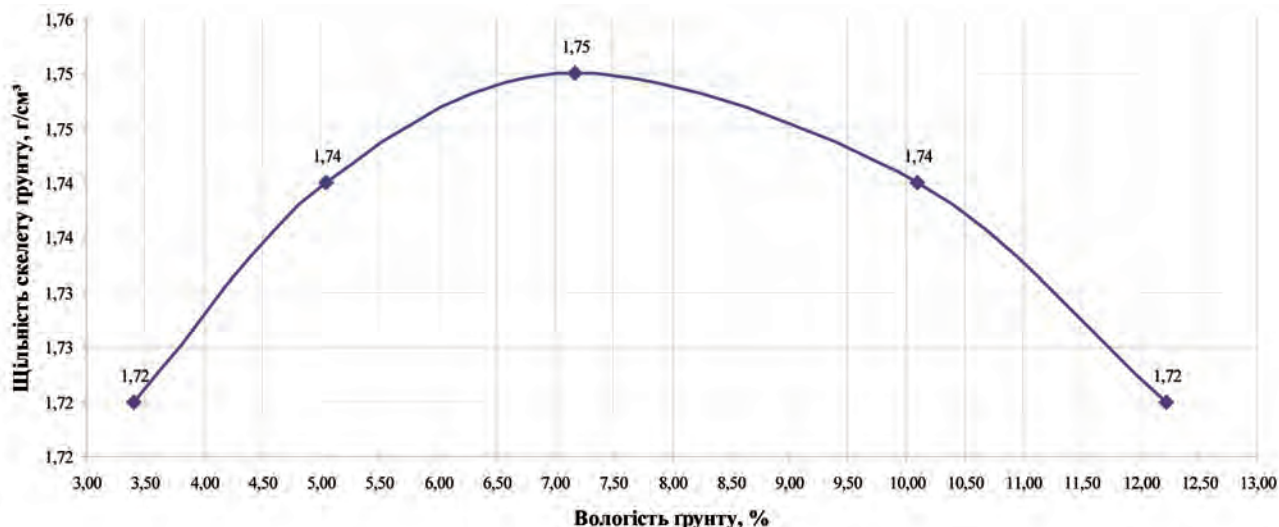


Рис. 3. Графік залежності щільності сухого ґрунту від вологості при стандартному ущільненні (проба 2)

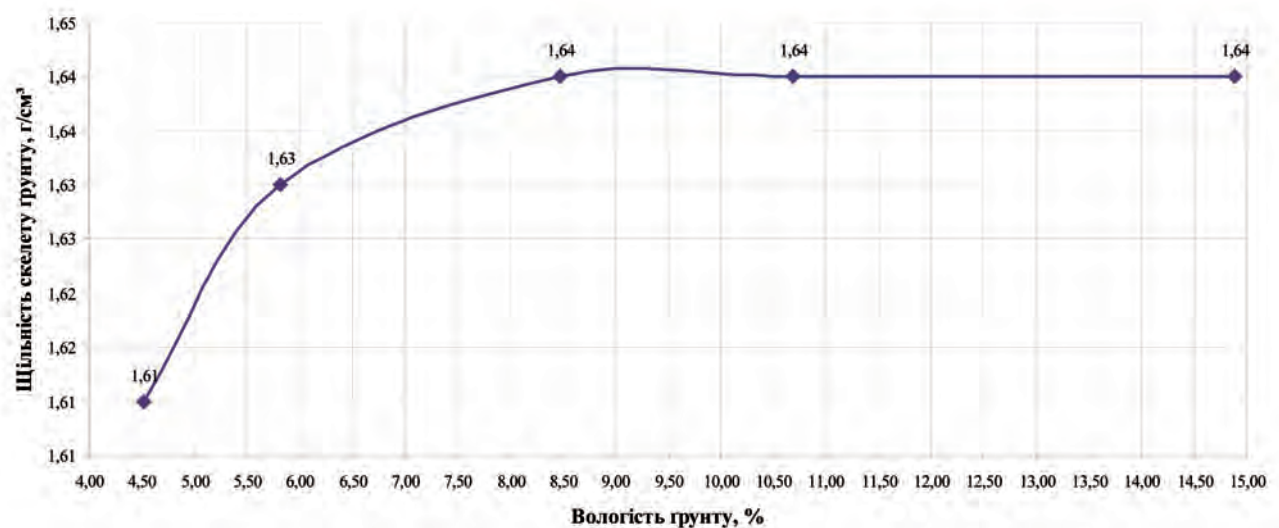


Рис. 4. Графік залежності щільності сухого ґрунту від вологості при стандартному ущільненні (проба 3)

При проведенні експерименту з визначення коефіцієнта фільтрації використано прилади та обладнання випробувальної лабораторії ДП ДНТЦ “Дор’якість”: вібростіл; ваги лабораторні; термометр з похибкою вимірювання 0,5 °С; секундомір; ніж з прямим лезом; лопатка; прес гвинтовий; пластини плоскі з гладкою поверхнею; прилад СоюздорНИИ для визначення коефіцієнта фільтрації піщаних ґрунтів; трамбівка з масою падаючого вантажу 0,5 кг; ексикатор; сито з отворами діаметром 5 мм; циліндр мірний місткістю 100 мм; чашка порцелянова; ємність для води; лінійка металева завдовжки 300 мм.

Результати експерименту наведені у табл. 6 – 8 та на рис. 5 – 7.

Таблиця 6

Результати визначення коефіцієнта фільтрації ґрунту (проба 1)

Інтенсивність вібрації	Час фільтрації (T), с	Коефіцієнт фільтрації, м/д
Без вібрації	35	19,94
10	35	19,94
20	33	21,15
30	28	24,92
40	18	38,77

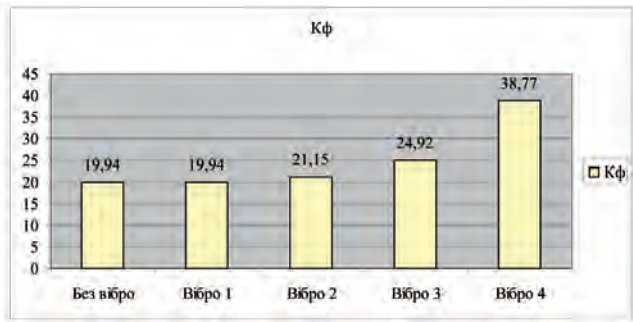


Рис. 5. Коефіцієнт фільтрації ґрунту в залежності від впливу вібрації (проба 1)

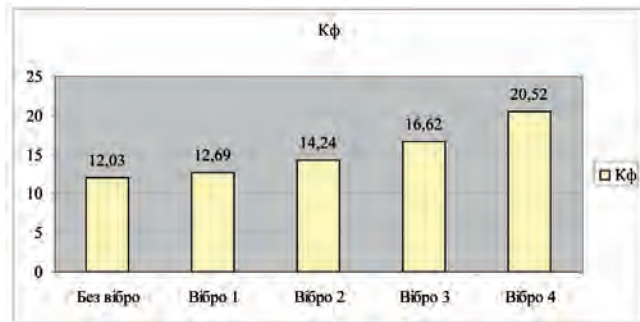


Рис. 7. Коефіцієнт фільтрації ґрунту в залежності від впливу вібрації (проба 3)

Таблиця 7

Результати визначення коефіцієнта фільтрації ґрунту (проба 2)

Інтенсивність вібрації	Час фільтрації (T), с	Коефіцієнт фільтрації, м/д
Без вібрації	43	16,23
10	40	17,45
20	36	19,38
30	32	21,81
40	25	27,91

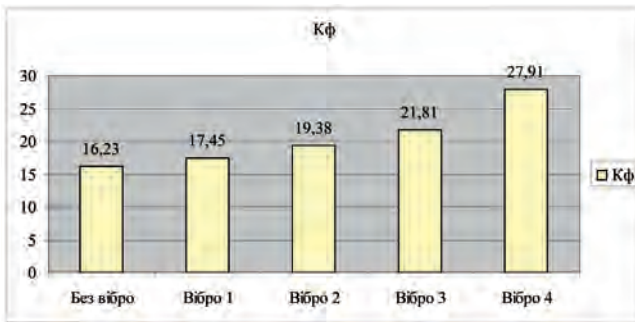


Рис. 6. Коефіцієнт фільтрації ґрунту в залежності від впливу вібрації (проба 2)

Таблиця 8

Результати визначення коефіцієнта фільтрації ґрунту (проба 3)

Інтенсивність вібрації	Час фільтрації (T), с	Коефіцієнт фільтрації, м/д
Без вібрації	58	12,03
10	55	12,69
20	49	14,24
30	42	16,62
40	34	20,52

Висновки

Як видно з результатів експерименту, при збільшенні інтенсивності вібрації коефіцієнт фільтрації збільшується для кожної з проб.

Припущення, що вібрація впливає на швидкість фільтрації води в піщаному шарі підтвердилось результатами експерименту. Встановлено, що при збільшенні інтенсивності вібрації коефіцієнт фільтрації збільшується. Це дає підставу проводити подальші дослідження, а саме моделювання вібрації транспортного потоку різної інтенсивності та складу; створення установки, яка даватиме можливість проводити визначення коефіцієнта фільтрації ґрунту при заданих параметрах вібрації; удосконалення методики визначення пропускної здатності дренажної конструкції м'якого залягання з урахуванням впливу вібрації на фільтраційну здатність матеріалу дренажного шару основи.

ЛІТЕРАТУРА

1. ВБН В.2.3–218–186–2004. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу.
2. М 218–02070915–684:2011. Методика визначення пропускної здатності дренажної конструкції м'якого залягання з урахуванням річного циклу роботи.
3. ДСТУ Б В.2.7–232:2010. Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань.
4. ДСТУ Б В.2.7–29–95. Будівельні матеріали. Дрібні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Класифікація.
5. ДСТУ Б В.2.1–12:2009. Основи та підвалини будинків та споруд. ґрунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності.
6. ДСТУ Б В.2.1–23:2009. Основи та підвалини будинків та споруд. ґрунти. Методи лабораторного визначення коефіцієнта фільтрації.