

© Д.Д. Норенко¹, В.Ю. Кухар¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ОЧИСТКИ ФІЛЬТРУВАЛЬНОЇ СІТКИ ЩІТКОВИМ ОЧИЩУВАЧЕМ

© D. Norenko¹, V. Kuhar¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

A JUSTIFICATION OF THE EXPERIMENTAL FACILITY FOR RESEARCH OF THE FILTER MESH CLEANING UP BY THE BRUSH CLEANER

Мета. Розглянути можливі конструкції експериментальної установки для вимірювання зусилля опору руху щіткового очищувача по сітці фільтроелементу промислового фільтра. Виявити й обґрунтувати переваги та недоліки можливих варіантів конструкції експериментальної установки. Обґрунтувати оптимальну конструкцію експериментальної установки для проведення фізичних експериментів, яка забезпечить можливість дослідження сили тертя щітки по сітці, впливу параметрів сітки та щітки на силу тертя і забезпечить найменший вплив на досліджувані параметри.

Методика. Для досягнення поставленої мети у роботі використано аналітичні методи та методи комп'ютерного моделювання у програмному забезпеченні SOLIDWORKS. Формулювання цілей дослідження на експериментальній установці. Розробка технічних вимог до установки. Опис можливих конструкцій експериментальних установок, виявлення їх переваг і недоліків. Проведення комп'ютерних експериментів у програмному забезпеченні SOLIDWORKS з використанням доповнення SOLIDWORKS Motion для перевірки та доведення припущених нерівномірних похибок, та не доцільність конструкції експериментальної установки. Виявлення та обґрунтування раціональної конструкції експериментальної установки.

Результати. У роботі представлені результати аналітичних та комп'ютерних досліджень, що мають практичну значимість для виявлення ефективної фізичної експериментальної установки для дослідження очистки фільтрувальної сітки щітковим очищувачем. Описані три варіанти експериментальних установок, серед яких виявлена і обґрунтована оптимальна експериментальна установка, яка забезпечує можливість дослідження необхідних сил та параметрів.

Практична значимість. Описані конструкції експериментальної установки дозволяють виявити та обрати найбільш ефективну установку для дослідження очистки фільтрувальної сітки щітковим очищувачем. Результати досліджень можуть бути використані для проведення фізичного експерименту.

Ключові слова: експериментальна установка, очистка фільтрувальної сітки, дротяний щітковий очищувач, промисловий фільтр.

Вступ. Промислові підприємства використовують технічну воду, джерело якої є поверхневі та підземні води. На металургічних і гірничо-збагачувальних підприємствах технічна вода використовується на різні потреби (охолодження діючих теплообмінних агрегатів, живлення котлів, збагачення і очистку продуктів, що випускаються, переміщення зернистого матеріалу, видалення промислових відходів і т.п.) і в залежності від потреби встановлюється норма по кількості грубих суспензій

у технічній воді. Для видалення з технічної води грубих суспензій застосовуються промислові фільтри. Поширеним типом фільтрів є сітчатий фільтр із щітковим очищувачем [1]. Огляд літературних джерел показав відсутність експериментальних даних про ефективність очищення сітчастого фільтроелементу щіткою при її русі з постійною швидкістю та різними геометричними параметрами. Тому необхідно провести експеримент і визначити як впливає на ефективність очищення сітчастого фільтроелемента розташування щіток в очиснику щодо сітки, глибину занурення щетинки в комірку сітки, кут нахилу щетинки щодо утворюючої сітки, довжину щетинки необхідну для виштовхування частинок забруднення з чарунок сітки, сили опору переміщення щітки по сітці (чистої та забрудненої): зі стану спокою і під час швидкості руху. Для таких досліджень потрібна експериментальна установка.

Основна частина. Експериментальна установка необхідна для вимірювання зусилля опору руху щітки по сітки фільтроелементу, яка залежить від геометричних параметрів щітки, сітки та ступеня забруднення сітки. Вихідні дані, які має забезпечувати експериментальна установка:

- можливість змінювати сітку (діапазон розмірів чарунок сітки 0,1x0,1 мм; 0,5x0,5 мм; 1x1 мм);

- тягові зусилля до 300Н (зусилля розраховані та наведені у [2]);

- можливість змінювати заглиблення країв дротинки у чарунки сітки.

Експериментальна установка має забезпечити можливість дослідження:

- сили опору переміщення щітки по сітці зі стану спокою;

- сили опору переміщення щітки по сітці під час її руху;

- залежності сил опору переміщення зі стану спокою та під час руху від «глибини» занурення щетинки в сітку, від розміру осередку сітки, від кількості зволікань у щітці;

- кут нахилу та довжини щетинки для «виштовхування» частинок забруднювача із осередку сітки;

- залежності сили опору руху щітки від забрудненості сітки (по чистій та забрудненій сітках).

Раніше в роботі [2] були описані результати проведення експериментів щодо визначення сили опору проходження щітки по чистій сітці з розміром чарунки 5x5 мм та діаметром дротинки 0,35 мм і доведено, що щетинки в щітці працюють не як ресора, а як набір окремих щетинок із зволікання. З отриманих результатів, теоретично можна визначити силу опору руху щітки з n числом щетинок. Але отримані значення були усередненими через можливості вимірювального приладу. З даних раніше неможливо визначити силу опору переміщенню щітки по сітці зі стану спокою і силу опору руху щітки по сітці під час її руху.

Для вибору конструкції експериментальної установки проведемо порівняльний аналіз варіантів конструкцій, їх переваг та недоліків.

Варіант № 1 конструкції установки:

Вигнута по радіусу металева сітка (1) підвішена за кути на нитках (2), радіус вигину сітки прийнятий рівним довжині ниток. Над сіткою закріплений консольно струбцинами (4) важіль, на якому розміщена щітка (3). Відстань щітки від сітки та

величину проникнення щетинок у осередки сітки регулюється зміною довжини ниток, довжину ниток заміряємо рулеткою, величину заглиблення щетинок у осередки сітки заміряємо штангенциркулем (рис. 1). Сітку з одного боку конструкції за допомогою закріпленого на ній динамометра протягуємо із постійною швидкістю вздовж нерухомої щітки. Зусилля вимірюється динамометром.

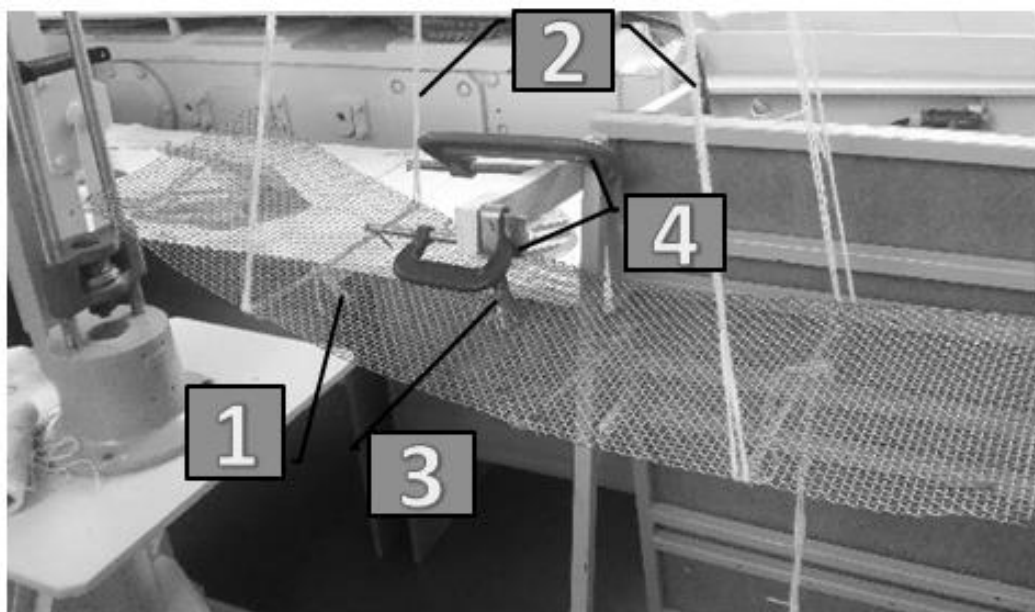


Рис. 1. Фото конструкції експериментальної установки №1:
1 – сітка; 2 – нитка; 3 – фрагмент щітки; 4 – струбцини

Переваги:

- простота регулювання відстані щітки від сітки;
- відсутність жорстких опор для переміщення сітки, відтак немає впливу сил тертя.

Недоліки:

- неточний радіус вигину;
- непостійність радіусу вигину, оскільки сітка підвішується на нитках, які мають властивість розтягуватися;
 - динамометр показує усереднене значення сили опору, визначити силу опору стану спокою і в процесі руху неможливо;
 - частинки забруднень будуть по-різному поводитися залежно від їх розташування на різній висоті країв сітки.

Варіант № 2 конструкції установки:

На плоскій горизонтальній поверхні (6) розташовані ролики (7), на які спирається плоска рама з сіткою (1), над якою закріплена нерухома щітка (2). До рами (1) прикріплений один кінець нитки (3), нитка перекинута через блок (4) чаша (5) закріплена на другому кінці нитки та навантажується вантажами відомої маси (рис. 2). Зусилля опору руху щітки визначається сумою ваги вантажів. Недоліком установки є те, що неможливо розділити силу опору початку руху зі

стану спокою від сили опору руху зі сталою швидкістю. Цей недолік є суттєвим, але така установка може бути використана на першому етапі дослідження.

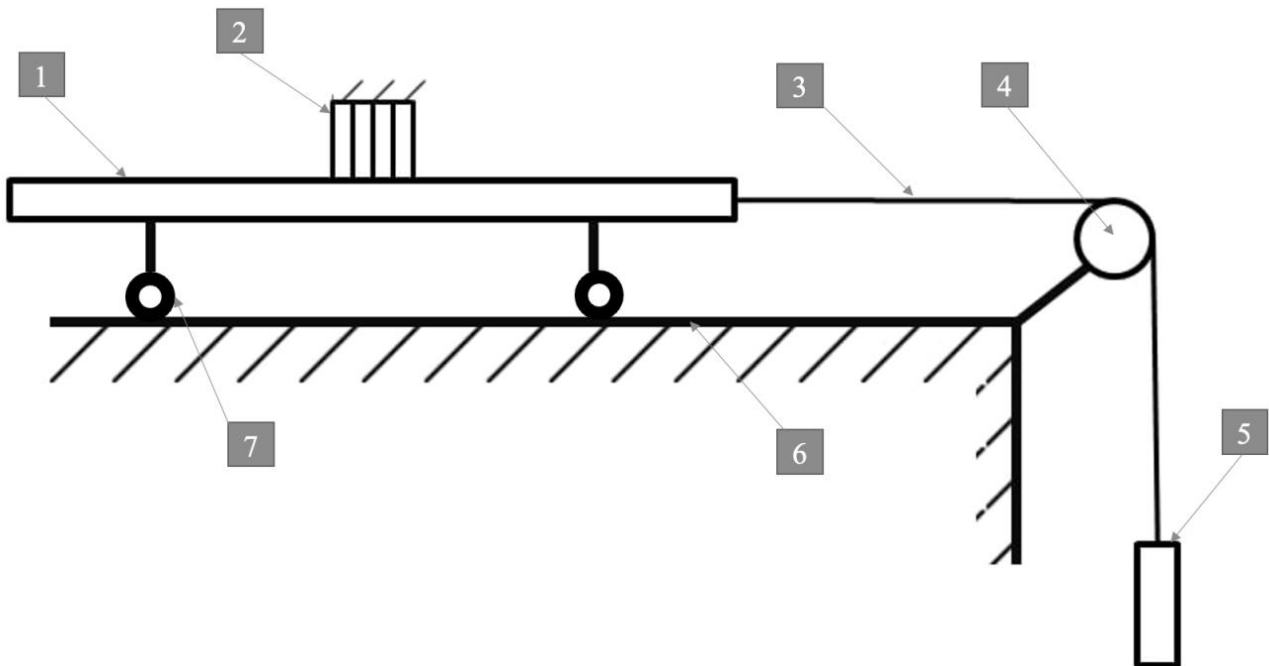


Рис. 2. Схема конструкції експериментальної установки №2: 1 – рама з сіткою; 2 – щітка; 3 – нитка; 4 – блок; 5 – чаша; 6 – горизонтальна поверхня; 7 – ролики

Переваги:

- простота регулювання відстані щітки від сітки;
- плоска сітка дозволяє більш точно розрахувати силу, потрібну для виштовхування забруднення з сітки щіткою;
- переміщення візка по прямій траєкторії без відхилень;
- простота вимірювання сили опору зі стану спокою.

Недоліки:

- додатковий опір тертя у підшипниковому вузлі блоку (4);
- додатковий опір тертя нитки блоку (4);
- неможливість визначення зусилля переміщення «візка» з швидкістю, що встановилася.

Варіант №2 конструкції установки також має ряд недоліків, так як виникають додаткові опори тертя нитки по блоку та в підшипниковому вузлі блоку. Максимальне зусилля для руху візка передбачається приблизно 300 Н, слід визначити силу тертя на блоці установки, щоб виявити доцільність цієї конструкції. Якщо втрати від тертя блоку експериментальної установки будуть менше 10% від зусилля на пересуванні візка, конструкцію можна приймати за робочу.

Для визначення сили тертя, що діє на блоці, вирішено перевірити експериментально за допомогою програми SOLIDWORKS Motion. Для цього було створено спрощену модель блоку з ниткою перекинutoю через блок.

Вхідні данні спрощеної 3Д моделі установки:

- діаметр нити =1мм, матеріал капрон;
- підшипник ковзання серії iglidurG 10x16 пластик;
- смазка не вікорістовується (для запобігання зайвих похибок у фізичній експериментальній установці).

Краї нитки навантажуються різними силами для обчислення, коли прикладена сила перевищить силу тертя і створить переміщення. Тоді різниця між більшою і меншою силою доданої до країв нитки і визначатиме силу тертя на блоці.

Розглянемо кілька отриманих результатів:

1. У першому випадку прикладена сила $F_1 = 1\text{Н}$ на один кінець нитки та сила $F_2 = 2\text{Н}$ на інший кінець. Переміщення немає, отже конструкція продовжує перебувати у рівновазі (рис.3).

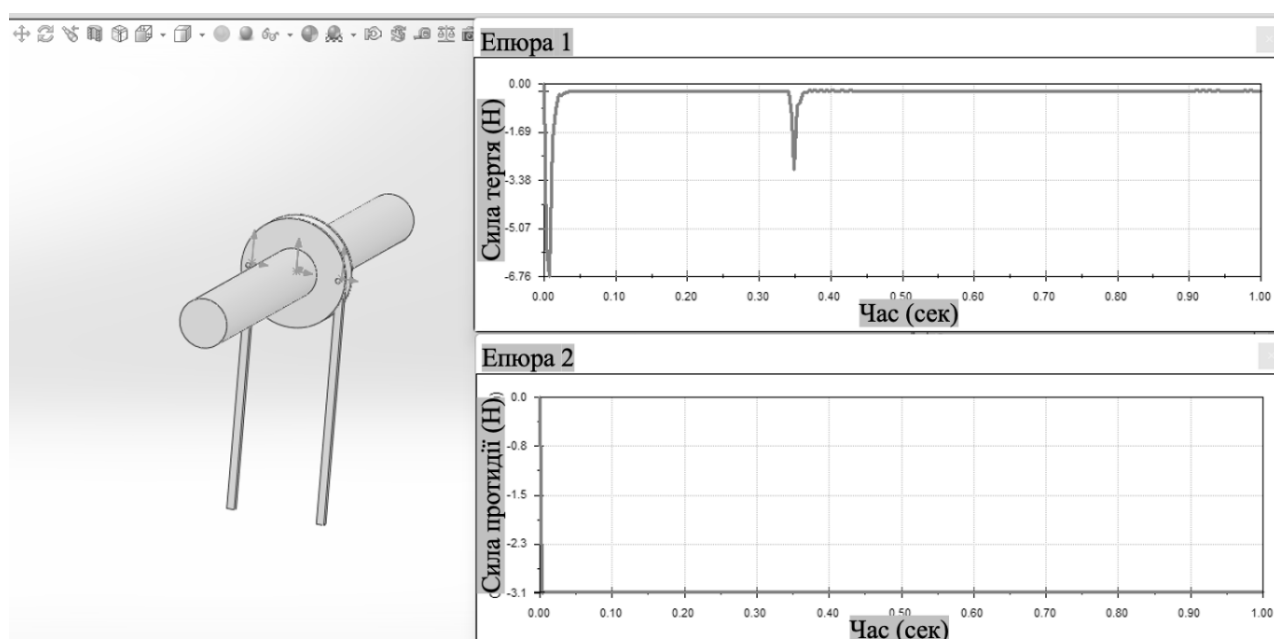


Рис. 3. Інтерфейс програми SOLIDWORKS Motion з результатами розрахунку сили тертя при прикладених сил 1Н та 2Н

2. У другому випадку прикладена сила $F_1 = 1\text{Н}$ на один кінець нитки та сила $F_2 = 4,14\text{Н}$ на інший кінець. Сила 4,14 Н мінімальна потрібна для переміщення блоку. При силі 4,13Н блок не переміщується (рис.4).

Встановлено, що при навантаженні однієї гілки нитки $F_1 = 1\text{Н}$ мінімальна сила для провертання блоку потрібна $F_2 = 4,14\text{Н}$. Для даного випадку сила тертя дорівнює 3,14 Н.

Оскільки вага необхідна для проведення експериментів на установці планується не більше 400 грам, визначимо силу тертя для спрощеної 3Д установки у програмному забезпеченні SolidWorks при прикладеній силі діапазону від 0,1 до 4 Н.

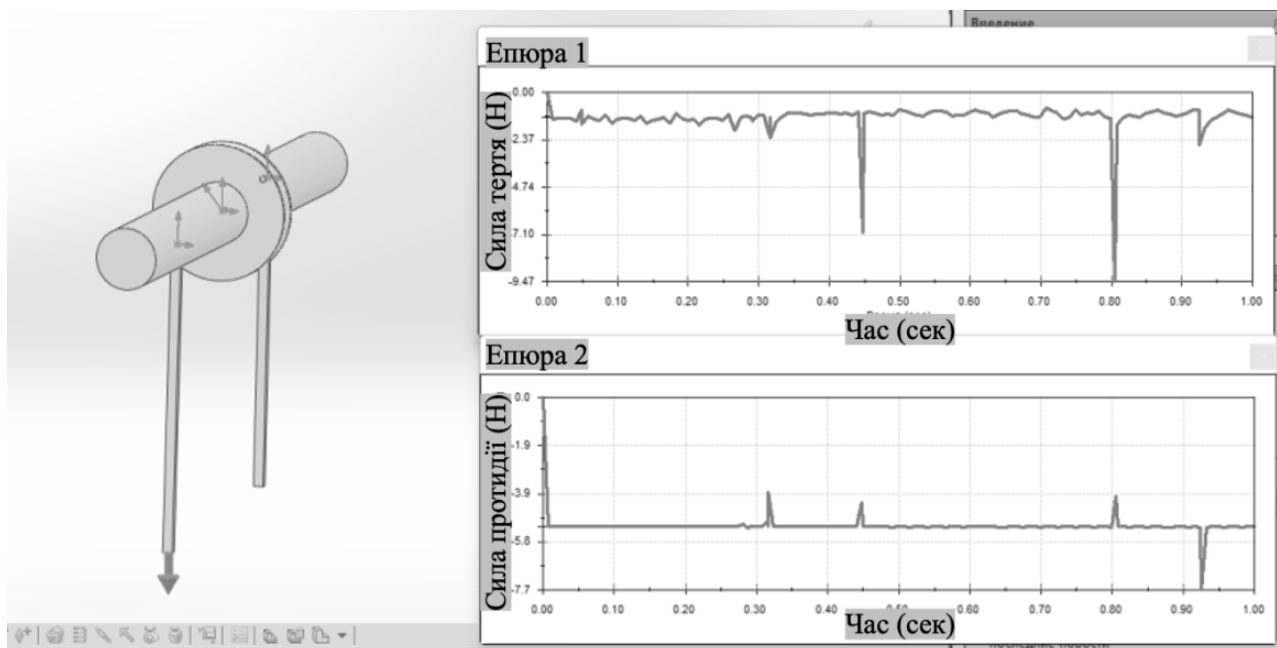


Рис. 4. Інтерфейс програми SOLIDWORKS Motion з результатами розрахунку сили тертя при прикладених сил 1Н та 4,14Н

Результати розрахунків сили тертя залежно від сил F_1 і F_2 , що змінюються, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати проведених експериментів у SolidWorks Motion

F1, Н	F2, Н	Сила тертя, Н
0,10	3,28	3,18
0,20	4,00	3,80
0,30	3,50	3,20
0,40	3,57	3,17
0,50	3,68	3,18
0,60	3,77	3,17
0,70	3,87	3,17
0,80	3,97	3,17
0,90	4,06	3,16
1,00	4,14	3,14
2,00	5,25	3,25
3,00	6,25	3,25

Виходячи з отриманих результатів видно, що сила тертя блоку про його вісь має непостійне значення, що призводить до додаткових нерівномірних похибок при проведенні досліджень на експериментальній установці.

У процесі проведення фізичного експерименту виявлено проблему неможливості точно визначити необхідне зусилля для руху візка. Очевидно, що вага

вантажу для початку руху візка зі стану спокою більша, ніж необхідна вага для продовження руху. Якщо в процесі руху розвантажувати край нитки для меншої ваги через втручання створюються додаткові коливальні навантаження, що зумовлюють випадкові похибки результатів.

Варіант № 3 конструкції установки:

На плоскій горизонтальній поверхні (5) розташовані ролики (6), на які спирається плоска рама із сіткою (1), над якою нерухомо закріплено щітку (2). До рами (1) прикріплено один кінець нитки (3), на інший кінець нитки прикріплено пружинний динамометр, тарований еталонними вантажами (рис. 5).

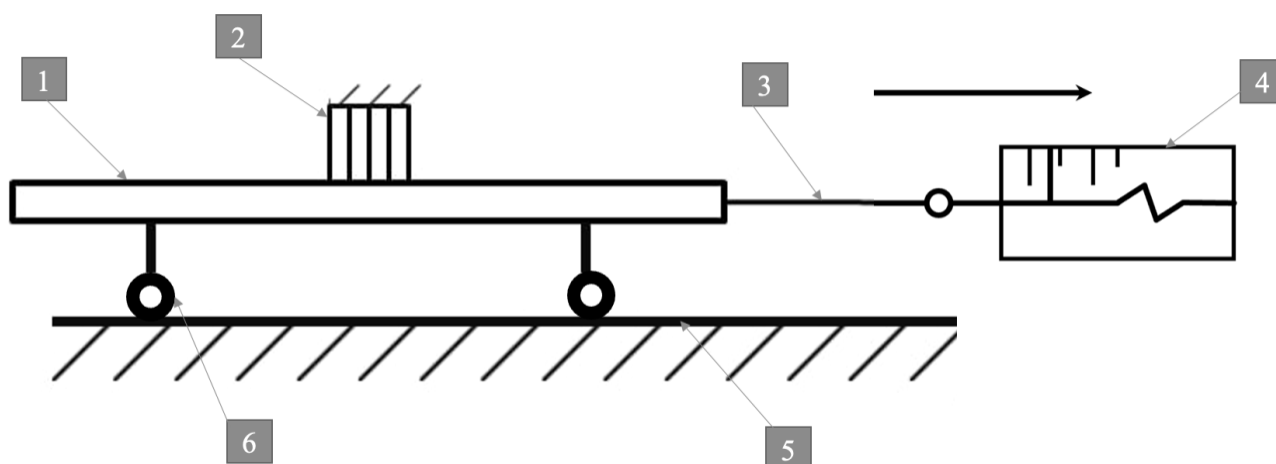


Рис. 5. Схема конструкції експериментальної установки №3: 1 – рама з сіткою; 2 – щітка; 3 – нитка; 4 – пружинний динамометр; 5 – горизонтальна поверхня; 6 – ролики

Переваги:

- плоска сітка дозволяє більш точно розрахувати силу, потрібну для виштовхування забруднення з сітки щіткою;
- простота вимірювання сили опору зі стану спокою та опір під час руху рами;
- точний результат за допомогою відеофіксації миттєвого значення зусилля переміщення візка на пружинному динамометрі;
- простота налаштування відстані щітки від сітки.

Недоліки:

- непостійна швидкість руху сітки щодо щітки, оскільки поступальний рух здійснюється від прикладеної сили людиною, відповідно, створюються додаткові похибки.

Із запропонованих конструкцій експериментальних установок, найбільш повно задовольняє вимоги для проведення досліджень установка №3. На ній можна провести необхідні дослідження.

Для відсутності перекосів у русі рами із сіткою використовувати напрямні. Для зменшення похибок вимірів зусиль слід максимально рівномірно наводити раму з сіткою в рух, без ривків.

Висновки. Описано 3 варіанти конструкцій експериментальних установок для дослідження очистки фільтрувальної сітки щітковим очищувачем. Описані їх недоліки та переваги для виявлення оптимальної конструкції для описаних потреб.

Виявлений недолік стосовно додаткових опорів тертя розрахований та підтверджений за допомогою комп'ютерних експериментів у програмному забезпеченні SolidWorks Motion.

З наведених конструкцій експериментальних установок виявлена конструкція, яка найбільш повно задовольняє вимоги для проведення експерименту.

Перелік посилань

1. *Технология очистки воды от крупных механических загрязнений* (n.d.) Труба.уа. <https://www.truba.ua/library/art-tehnologija-ochistki-vody-ot-krupnyh>
2. Norenko, D., & Kukhar, V. (2021). Експериментальне обґрунтування параметрів щіткового очищувача сітчастого фільтра технічної води. *Збірник наукових праць НГУ*, 64, 175–187. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/64.175>

ABSTRACT

Purpose. Analyze possible designs of an experimental facility for measuring the movement resistance force of the brush along a filter mesh of an industrial filter. Identify and justify the advantages and disadvantages of the specified facility designs. Justify the optimal design of the experimental facility for the physical experiments, which will provide the possibility of studying the friction force of the brush on the filter mesh, the influence of the parameters of the grid and the brush on the friction force and provide the least impact on the studied parameters.

The methods. Analytical computations and computer modellings methods in SOLIDWORKS software were used to aim the goal. Objectives of the study on the experimental facility. A list of technical requirements for the experimental facility. Description of possible designs of experimental facilities, their advantages and disadvantages, justification of the efficient design of the experimental facility. Carrying out computer experiments in SOLIDWORKS software using the SOLIDWORKS Motion add-on to check and prove the assumed uneven errors, and not the expediency of the design of the experimental setup. Identification and justification of the rational design of the experimental facility.

Findings. The article contains results of analytical and computer studies that has the practical importance to identify an effective experimental facility for the studying the cleaning process of the filter mesh with the brush cleaner. Three variants of experimental facility are described, among which the optimal experimental installation is revealed and substantiated, which provides an opportunity to study the necessary forces and parameters. The justification results have the practical implementation.

Practical implementation. Described experimental facility designs allows to choose the most efficient design for research of the filter mesh cleaning up by the brush cleaner. The results of research can be used to conduct a physical experiment.

Keywords: *experimental facility, the filter mesh cleaning up, wire brush cleaner.*