

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний
(повна назва інституту/факультету)

Приладобудування
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 20__ р.

**Магістерська дисертація
на здобуття освітнього ступеня магістр**

зі спеціальності (спеціалізації) 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (Комп'ютерно-інтегровані технології та системи точної механіки)

(код і назва спеціальності)

на тему: Визначення параметрів потоку сипких матеріалів

Виконав: студент 2 курсу, групи ПМ-61м
(шифр групи)

Ходячий Владислав Валерійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник Нікітін Олександр Костянтинович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант _____
(назва розділу) _____ (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) _____ (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) _____ Приладобудівний _____
(повна назва)

Кафедра _____ Приладобудування _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою
програмою

Спеціальність (спеціалізація) 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології (Комп'ютерно-інтегровані технології та системи точної механіки) _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ М. Д. Гераїмчук _____
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2018 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Ходячого Владиславу Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації **Визначення параметрів потоку сипких матеріалів**
науковий керівник дисертації _____ Нікітін О.К. к.т.н. доцент _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації _____ 10 травня 2018 р. _____

3. Об'єкт дослідження поток сипкого матеріалу

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за
освітньо-професійною програмою) визначення процесу взаємодії потоку
сипкого матеріалу та тіл обтікання.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Вступ. Огляд матеріалів за темою
магістерської дисертації. Теоретичні аспекти процесу витoku сипких
матеріалів. Теоретичні аспекти процесу взаємодії сипкого матеріалу з тілом
обтікання. Експериментальні дослідження процесу витoku сипкого матеріалу.

Експериментальні дослідження процесу взаємодії потоку сипкого матеріалу і тіла обтікання. Розроблення стартап-проекту. Висновки

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу: презентаційний аркуш ф. А1; матеріали досліджень 5 арк. Ф. А1.

7. Орієнтовний перелік публікацій 2 стаття у фаховому виданні

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 14.03.2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літератури за темою	14.03.18 – 29.03.18	
2	Розроблення схеми підключення стенду і збирання його.	30.03.18 – 16.04.18	
3	Експериментальні дослідження з витоком потоку сипкого матеріалу з бункера	10.04.18 – 20.04.18	
4	Експериментальні дослідження взаємодії сипкого матеріалу з тілом обтікання.	10.04.18 – 21.04.18	
7	Обробка і аналіз отриманих результатів	27.04.18 – 07.05.18	
8	Оформлення МД та її графічної частини	07.05.18	
9	Передача МД на перевірку науковому керівнику	08.05.18	
10	Передача матеріалів МД на перевірку виявлення збігів/схожості текстів	09.05.18	
11	Представити МД на рецензію	10.05.18	
12	Представити МД на затвердження зав. Кафедри	11.05.18	
13	Передача електронної версії МД о бібліотеки	17.05.18	
14	Представити МД до екзаменаційної		

	комісії НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»	18.05.18	
--	--	----------	--

Студент

(підпис)

В.В. Ходячий
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

О.К. Нікітін
(ініціали, прізвище)

Реферат

Магістерська дисертація містить 104 сторінки, 58 ілюстрації, 49 таблиць, 2 додатків і 23 джерел літератури.

Актуальність теми. На сьогоднішній день правильне дозування сипких матеріалів, є важливим завданням для багатьох галузей господарювання. Всі рішення, які зараз є доступними, не дають змогу вирішувати це питання длялюбих видів сипкого матеріалу не залежно від форми і ваги їх.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Експериментальні та теоретичні дослідження по темі дисертації проводилися на кафедрі Приладобудування НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Мета і задачі дослідження. Метою даної дисертації є розробка найоптимальнішого методу визначення параметрів потоку сипких матеріалів, за допомогою різних твердих тіл обтікання.

Об'єкт дослідження є потік сипкого матеріалу.

Предмет дослідження. Визначення параметрів процесу взаємодії сипкого матеріалу та тіл обтікання.

Методи дослідження. В роботі використовувалися методи математичного моделювання і експериментальні дослідження.

Наукова новизна одержаних результатів.

- метрологічні аспекти процесу витоку сипкого матеріалу з отвору бункера;
- метрологічні аспекти процесу взаємодії потоку сипкого матеріалу з та твердих тіл.

Практичне значення одержаних результатів. Отриманий результат, який може бути використаний при створенні засобів вимірювання витоку сипкого матеріалу.

Апробація результатів дисертації. XI науково-практична конференція студентів і аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування».

Публікації. По результатам досліджень було опубліковано 2 статті на такі теми:

- «Определение параметров потока сыпучих материалов при истечении из бункера»;
- «Определение параметров взаимодействия потока сыпучего материала и твердых тел».

Ключові слова: Сипкий матеріал, тіла обтікання, бункер, масова витрата.

Abstract

The master's dissertation contains 104 pages, 58 illustrations, 49 tables, 2 additional and 23 sources of literature.

Relevance of theme. To date, proper dispensing of bulk materials is an important task for many industries. All solutions that are now available do not allow this issue to be solved for any type of bulk material, regardless of shape and weight.

Relationship of work with scientific programs, plans, themes. Experimental and theoretical studies on the topic of the dissertation were conducted at the Department of Instrumentation NTUU KPI `Igor Sikorsky.

The purpose and tasks of the study. The purpose of this dissertation is to develop the most optimal method for determining the parameters of the flow of bulk materials, using various solid bodies of flow.

The object of research is the flow of loose material.

Subject of research. Determination of the parameters of the process of interaction of the bulk material and the bodies of the flow.

Research methods. Methods of mathematical modeling and experimental research were used in this work.

Scientific novelty of the obtained results.

- metrological aspects of the process of leakage of bulk material from the hopper opening;
- metrological aspects of the process of interaction between the flow of bulk material and solids.

The practical value of the results. The result obtained, which can be used to create the means for measuring the leakage of loose material.

Approbation of the results of the dissertation. XI Scientific and Practical Conference of Students and Postgraduates "A Look at the Future of Instrumentation".

Publications. According to the results of the research, 2 articles were published on the following topics:

- "Determination of the flow parameters of bulk materials at the expense of the hopper";
- "Determination of the parameters of the interaction of the flow of bulk material and solids".

Key words: bulk material, body of flow around, hopper, mass flow.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	7
1. Огляд матеріалів за темою магістерської дисертації.....	8
1.1. Особливості сипкого матеріалу.....	8
1.2. Особливості процесу витoku сипкого матеріалу з бункера.....	13
1.3. Засоби вимірювання параметрів потоку сипких матеріалів.....	17
Висновки до розділу 1.....	32
2. Теоретичні аспекти процесу витoku сипких матеріалів.....	33
Висновки до розділу 2.....	37
3. Теоретичні аспекти процесу взаємодії сипкого матеріалу з тілом обтікання.....	38
Висновки до розділу 3.....	39
4. Експериментальні дослідження процесу витoku сипкого матеріалу.....	40
4.1. Методика експериментальних досліджень.....	40
4.2. Опис лабораторного стенда(обладнання).....	40
4.3. Характеристика використаного сипкого матеріалу.....	47
4.4. Результати експериментальних досліджень.....	48
Висновки до розділу 4.....	58
5. Експериментальні дослідження процесу взаємодії потоку сипкого матеріалу і тіла обтікання.....	60
5.1. Методика експериментальних досліджень.....	60
5.2. Опис лабораторного стенда(обладнання).....	61
5.3. Результати експериментальних досліджень.....	65
Висновки до розділу 5.....	84
6. Розроблення стартап-проекту.....	87
6.1. Опис ідеї проекту.....	87
6.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	88
6.3. Аналіз ринкових можливосте запуску стартап-проекту.....	89
6.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	95
6.5. Розроблення маркетингової програми старап-проекту.....	97
6.6. Висновки до стартап-проекту.....	100
ВИСНОВКИ.....	101
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	103
ДОДАТКИ.....	106

ВСТУП

На сьогоднішній день правильне дозування сипких матеріалів, є важливим завданням для багатьох галузей господарювання. Всі рішення, які зараз є доступними, не дають змогу вирішувати це питання длялюбих видів сипкого матеріалу не залежно від форми і ваги їх.

Для магістерської дисертації був створений стенд для визначення параметрів сипких матеріалів, який складається з бункера, тензорезисторного вимірювального перетворювача сили, аналого – цифрового перетворювача, тіл обтікання та діафрагм. Для дослідів був використаний сипкий матеріал, що масою більше п'яти кілограм.

Першим етапом роботи було дослідження процесу витоку сипкого матеріалу з бункера. В якому ми визначали витрати сипкого матеріалу при різних отворах витоку.

Наступним етапом роботи було дослідження процесу взаємодії потоку сипкого матеріалу з тілами обтікання. В якості обтікання було обрано три види тіл: диск, конус, і балка. В загальному обсязі, ми досліджували взаємодіє з 9 різними тілами обтікання.

Метою даної дисертації є розробка оптимальнішого методу визначення параметрів потоку сипких матеріалів, за допомогою різних твердих тіл обтікання.

Об'єктом дослідження є потік сипкого матеріалу. Предметом дослідження є визначення параметрів процесу взаємодії сипкого матеріалу та тіл обтікання.

Магістерська дисертація включає в себе 104 сторінки, 58 ілюстрації, 49 таблиць, 2 додатків і 23 джерел літератури.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

СМ – сипкий матеріал;

ТВПС – тензорезисторний вимірювальний перетворювач сили;

МНК – метод найменших квадратів;

t – час, с;

G – вага, г;

q_m – масова витрата, г/с;

V – об'єм, м³;

ρ – густина, кг/м²;

d – діаметр, м;

l, b, h – відповідно довжина, ширина і висота, м;

W – вологість, г/м³;

P – тиск, Па;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

S – площа, м²;

F – сила, Н;

m – маса, кг;

t_α – коефіцієнт Стюдента для надійності α ;

σ – середнє квадратичне відхилення;

K – варіаційний коефіцієнт;

R – коефіцієнт кореляції.

1. Огляд матеріалів за темою магістерської дисертації

1.1. Особливості сипкого матеріалу

Сипучий матеріал – це сукупність твердих частинок довільної форми. Існує велике різноманіття сипучих матеріалів, таких як: зерно, крупа, борошно, цукор, гранули, руда, вугілля та інші. Сипучий матеріал характеризується:

- розмірами, формою;
- щільністю в стані спокою;
- фізичними і хімічними властивостями;
- здатність до ущільнення;
- характерними ознаками форми.

З сипучим матеріалом пов'язане поняття потоку. Потік сипучого матеріалу може формуватися різними методами:

- за допомогою механічного примусового відбору сипучого матеріалу з ємності;
- формування потоку сипучого матеріалу на стрічці транспортера;
- та інші методи.

Завдання визначення параметрів потоку сипучого матеріалу є однією з основних при проектуванні технологічних процесів в яких в якості робочого тіла виступає сипучий матеріал. Потік сипучого матеріалу характеризується наступними параметрами:

- видом сипучого матеріалу;
- фізичними, хімічними і геометричними властивостями сипучого матеріалу;
- природою формування потоку;
- формою і розмірами поперечного перерізу;
- швидкістю;

- витратою;
- щільністю при русі;
- конструкцій і властивостями поверхонь, що обмежують потік.

За гранулометричному складу сипучих матеріалів оцінюють кількісний розподіл складових його частинок за лінійними розмірами. Більшість сипучих матеріалів має частки неправильної форми, для яких в якості визначального лінійного розміру може бути прийнятий умовний діаметр d_i , який розраховується за трьома вимірами частки (довжині, ширині і висоті частки), як середнє арифметичне:

$$d_i = \frac{lbh}{3}, \quad (1.1)$$

або середнє геометричне значення:

$$d_i = \sqrt[3]{\frac{lbh}{3}}, \quad (1.2)$$

де l , b , h - відповідно довжина, ширина і висота частки [1 – 2].

Сипучий матеріал тільки в рідкісних випадках складається з частинок однакового розміру. Найчастіше в ньому величина d_i змінюється дискретно делікатно-томінімального розміру $d_{\min}$ до максимального $d_{\max}$. Відношення $d_{\min} / d_{\max}$ у деяких сипучих матеріалів може приймати дуже великі значення (понад 1000). Гранулометричний склад полідисперсних матеріалів можна характеризувати рядом розподілу дискретної випадкової величини d_i в якому перераховуються виміряні значення цієї випадкової величини $d_1; d_2; \dots d_n$ з відповідними їм ймовірностями $p_1, p_2, \dots, p_n$ або частотами $n_1, n_2, \dots, n_n$. Визначення всього ряду дискретних випадкових значень d_i для полідисперсних матеріалів з великим відношенням $d_{\min} / d_{\max}$ викликає затруднення, тому цей ряд замінюють дискретним рядом класів (фракцій) значень d_i . Залежно від розміру часток сипучі матеріали підрозділяють на кускові ($d_{\max} > 10$ мм), грубозернисті ($d_{\max} = 2 \dots 10$ мм), дрібнозернисті ($d_{\max} = 0,5 \dots 2$ мм), порошкоподібні ($d_{\max} = 0,05 \dots 0,5$ мм), пилоподібні ($d_{\max} < 0,05$ мм). Для визначення гранулометричного складу сипучих матеріалів використовують методи: прямого виміру, ситового аналізу, фільтрації,

розділення в полі відцентрових сил, електрокласифікації, фотоімпульсний, телевізійний і кондуктометричний [2].

Насипною щільністю, або об'ємною масою сипучого матеріалу ρ_n називають масу матеріалу, що знаходиться в одиниці займаного ним обсягу. Величину ρ_n використовують при визначеннях необхідного обсягу бункерів, змішувачів, при розрахунках витрати енергії на перемішування сипучих матеріалів, тиску стовпа сипучого матеріалу на стінки бункерів і т.д. Насипна щільність сипучого матеріалу залежить від розміру складових його частинок, їх середньої щільності, вологості, від щільності укладання частинок в шарі. Вона не залишається постійною навіть при спокої сипучого матеріалу. Під впливом вібрацій стінок посудини сипучий матеріал з часом ущільнюється і його насипна щільність досягає деякого граничного значення $\rho_{\max}$. У процесі руху, переміщення, змішання, навпаки, відбувається розпушення матеріалу. Насипна щільність при цьому зменшується, наближаючись до граничного значення $\rho_{\min}$. Відношення $\rho_{\max} / \rho_{\min}$ для деяких матеріалів досягає значень 1,52 [2].

Насипна щільність, як правило, збільшується в міру подрібнення частинок сипучого матеріалу, тому завжди необхідно вказувати, при яких значеннях середнього розміру часток вона отримана [3]. За величиною насипної щільності розрізняють сипучі матеріали: легкі (до 600 кг / м³), середні (600 ... 1100 кг / м³), важкі (1100 ... 2000 кг / м³), вельми важкі (більше 2000 кг / м³). Насипну щільність визначають за допомогою приладу (рис. 1.1), що складається з стакана 1, у верхній частині якого закріплена штирем 2 рухлива царга 3. Досліджуваний матеріал завантажують в прилад до верхнього рівня царги, після чого вона повертається в положенні *a*, і матеріал, що знаходиться в ній, скидається на піддон 4. Нижня кромка царги вирівнює рівень сипучого матеріалу в стакані 1. Після зняття царги з штиря 2 стакан зважують [2].

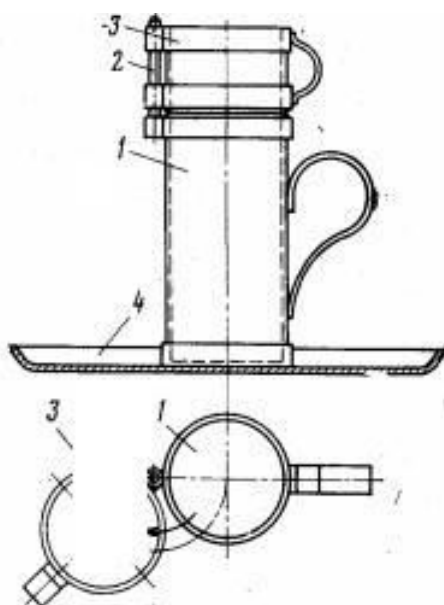


Рисунок 1.1 - Прилад для визначення насипної щільності сипучих матеріалів

Насипну щільність досліджуваного сипучого матеріалу підраховують за формулою:

$$\rho_n = \frac{G_1 - G^3}{V}, \quad (1.1)$$

де G_1 і G - вага склянки з матеріалом і без нього, кг;

V - внутрішній об'єм склянки, м³ [2].

Вологість сипучих матеріалів впливає на багато їх властивостей: плинність, коефіцієнт внутрішнього тертя, замерзання, вільно утворення, злипання, щільність і т.д. Зв'язок вологи з матеріалом може бути механічною, фізико – хімічної і хімічною. Волога, що знаходиться між частинками матеріалу і на їх поверхні, має механічну зв'язок з матеріалом. Фізико – хімічний зв'язок з матеріалом має та волога, яка проникає в пори частинок за рахунок адсорбції або дифузії. Хімічно зв'язаної є волога гідратна або кристалізаційна. Простим тепловим висушуванням можна видалити механічно пов'язану вологу і частково фізико – хімічну. Цю видалену висушуванням вологу називають вільної вологою, а решту при цьому в матеріалі вологу - гигроскопической, яка не може бути видалена повністю з матеріалу простим нагріванням. Для характеристики кількості

вологи, що міститься в твердих тілах, використовують два поняття: вологість і вологовміст [2].

Під вологістю W_B розуміють відношення ваги води, що міститься в сипучому матеріалі, до ваги вологого матеріалу:

$$W_B = \frac{G_B - G_C}{G_B}, \quad (1.2)$$

де G_B і G_C - вага вологого і вага абсолютно сухого матеріалу [2].

Під змістом води W розуміють відношення ваги води, що міститься в сипучому матеріалі, до ваги абсолютно сухого матеріалу:

$$W = \frac{G_B - G_C}{G_C}, \quad (1.3)$$

Величини W_B і W в деяких випадках виражають у відсотках. Присутність води в сипучому матеріалі збільшує його щільність [2].

Плинність сипучих матеріалів характеризує їх здатність впливати з тією чи іншою швидкістю з отворів [4]. Вона залежить від гранулометричного складу матеріалу, форми і розміру часток, коефіцієнта внутрішнього тертя, вологості і т.д. Плинність сипучих матеріалів визначає багато конструктивні особливості бункерних і дозуючих пристроїв, змішувачів. Від неї залежить тривалість операцій заповнення і спорожнення змішувачів. Плинність можна характеризувати коефіцієнтом плинності, який у багатьох авторів [1, 3-4] визначається по-різному.

Однією з причин слід вважати різні підходи до цього параметру, наприклад в деяких випадках здатність матеріалу текти, визначають по масовій, а не лінійної швидкості переміщення потоків сипких матеріалів [2].

Частинки сипучих матеріалів здатні прилипати до твердих поверхонь. Це властивість, як і в разі прилипання рідин до поверхонь, називають адгезією. У процесах змішування, зберігання, транспортування адгезія - шкідлива властивість сипучих матеріалів [3, 5-6]. Її необхідно враховувати при конструюванні, виготовленні та експлуатації змішувачів, бункерів, випускних пристроїв, транспортних ліній. Адгезія частинок до твердих поверхонь обумовлена силами, різними за своєю природою: молекулярними,

капілярними, електричними і кулоновськими. Ці сили в більшості випадків діють одночасно. Однак в певних умовах кожна з них може переважати над іншими. Молекулярні сили адгезії обумовлені ван-дер-ваальсовими взаємодіями молекул частинок сипучого матеріалу і матеріалу підкладки. Вони починають проявлятися ще до безпосереднього контакту частинок з поверхнею і залежать від властивостей пари контактуючих тіл, розміру часток, шорсткості підкладки, площі контакту [2].

При тривалому зберіганні без переміщень багато дрібнозернисті і порошкові матеріали здатні ущільнюватися, злежуватися, втрачаючи сипкість. Ущільнюється матеріал внаслідок перерозподілу часток в шарі: дрібні частинки під впливом незначних вібрацій вклинюються в зазори між великими частками. Це призводить до збільшення площі контакту між частинками і, як наслідок, до зростання сил адгезії частинок між собою, яку іноді називають аутогезія. Злежуваність підвищується зі збільшенням вологості повітря, що пояснюється збільшенням капілярної сили адгезії. Деякі матеріали, наприклад порошкоподібні добрива, здатні злежуватися в щільні маси. Оцінюють ступінь злежуваності сипучих матеріалів непрямыми методами: по опору вдавненню в шар матеріалу голки певного профілю, по опору руйнуванню стовпчика з матеріалу під навантаженням. В останньому випадку ступінь злежуваності оцінюється величиною руйнівного навантаження, що припадає на одиницю площі випробовується стовпчика [2].

1.2. Особливості процесу витоку сипкого матеріалу з бункера

На даний момент відомо два види витоку сипучих матеріалів з бункерів: нормальне і гідравлічне.

При нормальному витоку (рис.1.2,а) в центральній частині бункера над отвором виникає потік сипучого матеріалу ABCD; по краях бункера

з'являються застійні зони LKBC і MNAB; потік поповнюється за рахунок зісковзування частинок в зону потоку по похилим спусках NA і KB; на поверхні сипучого матеріалу утворюється воронка [7].

При гідравлічному витoku (рис.1.2. Б) матеріал опускається «всім стовпом», без створення воронки на поверхні. Верхній шар АВ в процесі опускання зберігає первісну плоску форму, послідовно займаючи положення A_1B_1 , A_2B_2 і т.д.; крайні частини потоку ковзають по стінках бункера; застійні зони відсутні. Гідравлічне витікання спостерігається при не дуже великих значеннях кута α нахилу стінок бункера до вертикалі. Як правило, для зерна $\alpha \leq 35^\circ - 40^\circ$ [7].

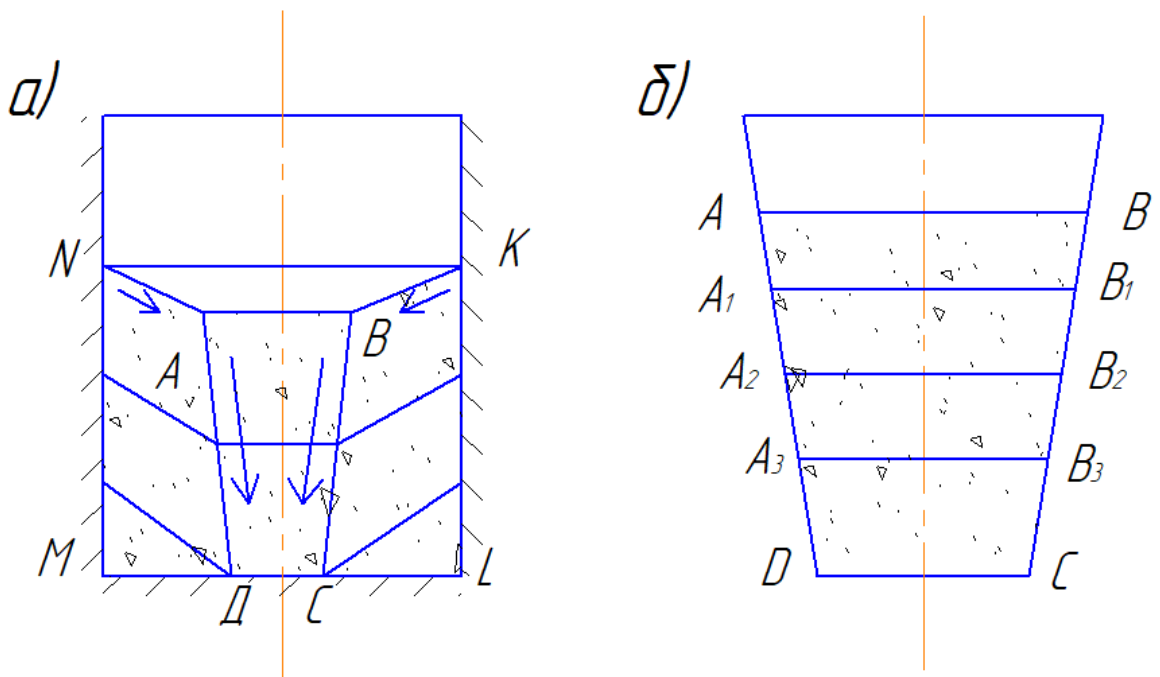


Рисунок 1.2 - Два види витoku сипучих матеріалів:

а - нормальне; б - гідравлічне.

Перераховані ознаки двох видів витoku сипкого матеріалу свідчать про суттєві різниці між ними (воронка на поверхні, застійні зони - при нормальному витoku; відсутність воронки, ковзання частинок по стінках бункера - при гідравлічному витoku). Однак, між розглянутими видами витоків є і спільність - потік ABCD сипучого тіла в одному випадку обмежений стінками бункера (гідравлічний витік; рис.1.2, б), а в іншому -

нерухомими частинками самого сипучого матеріалу (нормальний витік, рис.1.2, а) [7].

Відшукування закономірностей гідравлічного витікання є, очевидно, більш простим завданням, ніж визначення відповідних законів нормального витоку, оскільки при гідравлічному витоку форма потоку сипучого тіла заздалегідь відома - вона задана формою стінок бункера. У разі нормального витоку сипкого матеріалу форма потоку невідома і має бути попередньо визначена з урахуванням фізико - механічних властивостей матеріалу. Після цього обидва завдання стають тотожними [7].

1.3. Засоби вимірювання параметрів потоку сипких матеріалів

Витратоміри сипучих матеріалів - цікаве рішення для визначення витрати в трубах і жолобах. Витратоміри сипучих матеріалів застосовуються в харчовій, хімічній (виробництво мінеральних добрив), металургійної та інших галузях промисловості [8].

Існують кілька типів витратомірів сипучих матеріалів і кожен з них має свої переваги і недоліки [8].

Ударний витратомір

Ударний - найбільш популярний тип витратоміра сипучих речовин, так його часто називають. За допомогою жолобів або труб створюється спеціальна траєкторія руху сипкого матеріалу, що спрямовується на плоску чутливу пластину і вдаряється об неї. Сила удару створює вплив, що вимірюється за допомогою датчиків ваги або LVDT (лінійно-диференційний перетворювач). Наскільки відхиляється пластина під дією потоку речовини, настільки датчик ваги або LVDT змінює сигнал, який перетворюється в витрату в інтеграторі. По-перше, вони можуть працювати як з малим, так і з великим діапазоном витрат. По-друге, відкладення матеріалу на чутливій

пластині не вплине на точність або повторюваність вимірювання, тому що тільки горизонтальна сила удару викликає зміна сигналу на датчику. Будь додаткову вагу, налипає на поверхню сенсора, не впливає на вихідний сигнал системи. Це найстаріша з усіх технологій, яка використовується понад 60 років. Ударні витратоміри сипучих речовин можуть бути дуже компактними - деякі всього 650 мм у висоту, а інші підходять для великого навантаження і 2500 мм у висоту. З розміром витратоміра змінюється і вартість, при цьому всі витратоміри виготовлені із захистом від пилу, легко очищаються і калибруються. [8] Схема витратоміра представлена на рис.1.3

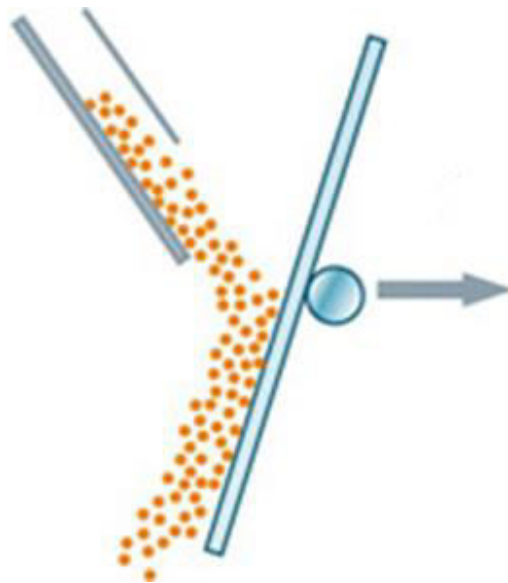


Рисунок 1.3 - Ударний витратомір

Переваги:

- точність 1%;
- широкий діапазон вимірювань 0-900 т / год.

Недоліки:

- габарити витратомірів;
- висока вартість.

Відцентровий витратомір

Відцентровий - змінений вид ударного витратоміра. Відцентровий витратомір сипучих речовин вимірює витрату через вимірювання сили

впливу середовища на вигнуту пластину, до якої приєднані датчики ваги. Потік речовини повинен бути спрямований паралельно пластині, і коли матеріал починає рухатися по кривій, то починає діяти тангенціальна сила, яка передається на інтегратор, дозволяючи перевести силу впливу за видатками. Відцентрові витратоміри сипучих матеріалів могли б взяти приз за точність, але слід проявляти обережність при застосуванні даного виду продукції. З характеристиками і правильним потоком матеріалу, відцентрові рішення можуть бути надзвичайно точні. Проте, якщо матеріал липкий і якимось чином починає налипає на чутливу пластину, сигнал з відцентрових витратомірів починає зміщуватися і вимірюється як тангенціальне зусилля. Межа витрати також обмежується конструкцією даного витратоміра, але ця технологія також пропонує пилонепроникні корпусу і легку калібрування. Схема витратоміра представлена на рис.1.4 [8].

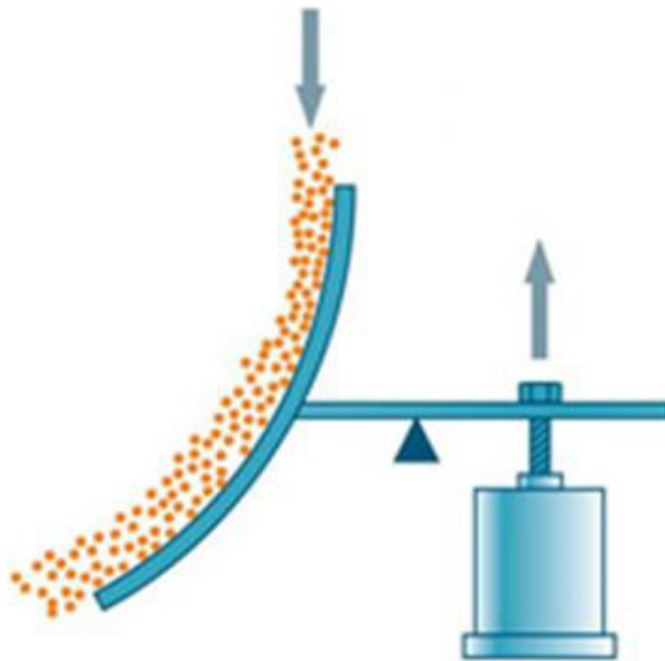


Рисунок 1.4 – Відцентровий витратомір

Переваги:

- точність 0,5%.

Недоліки:

- габарити витратомірів;
- неможливість застосовувати на липкі матеріали;

- висока вартість.

Витратомір Коріоліса

Витратомір Коріоліса сипучих речовин не використовує той же принцип, що і для рідини. Для вимірювання сипучих тіл, речовина, потрапляючи в витратомір, падає на лопаті, що обертаються електродвигуном. Двигун підключений до утримує важеля, на який встановлений датчик ваги. Подача матеріалу змінює силу Коріоліса, відповідно змінюючи крутний момент двигуна. Датчик ваги виявляє це і посилає сигнал на інтегратор, який переводить його в витрата. Витратомір Коріоліса сипучих речовин - хороша альтернатива при високій швидкості потоку і високоточних застосуваннях. Високі швидкості потоку і вимоги до точності здається нормою в процесі розвитку вимірювальних приладів. Конструкція Коріоліса також випробувана і точність вірна, але вона має деякі недоліки. Матеріал, який є абразивним, може передчасно зношувати лопаті витратоміра, його потрібно замінити. Великі розміри частинок можуть стати проблемою забивання або засмічення вивантаження. Ще один недолік коріолісового витратоміра - то, що пристрій приводиться в рух двигуном високої напруги. Для всіх інших типів витратомірів потрібно стандартне харчування, в той же час двигунів змінного струму потрібно від 120 до 600 В. Схема витратоміра представлена на рис.1.5 [8].

Переваги:

- точність 1%;
- вимір великих витрат 0-600 т / год.

Недоліки:

- висока вартість;
- неможливість вимірювати абразивні матеріали.



Рисунок 1.5 – Витратомір Коріоліса

Мікрохвильовий витратомір.

Мікрохвильовий витратомір сипучих матеріалів використовує мікрохвильову технологію, джерело випромінює енергію в 24-125 ГГц. Використовуючи принцип Доплера, зміна відображених мікрохвиль передається сенсором, як сигнал 4-20 мА в контролер для перетворення за видатками. Мікрохвильові витратоміри можна використовувати в пневматичних системах подачі, тому що додаткова сила потоку не впливає на вимірювання витрати, як в трьох попередніх типах витратомірів. Мікрохвильовий витратомір підкуповує своєю низькою вартістю, низька точність - це альтернатива великим громіздким витратомірам, про це вже говорилося. Продукт, який поміщається у Вас в руці і може бути встановлений менш, ніж за годину, в порівнянні необхідності крана з блоком вище тебе, має свої переваги. Калібрування виконується швидко і просто, і немає обертових або контактують з матеріалом частин, це робить його дуже привабливим. Однак будь-який процес, де потрібна точність, не виграє від

цього виду продукту. Мікрохвильові витратоміри також можна використовувати з будь-яким типом системи, будь то самотливий потік або пневматичні транспортери. Мікрохвильові витратоміри сипучих продуктів приблизно виглядають як мікрохвильові датчики рівня. Схема витратоміра представлена на рис.1.6 [8].



Рис.1.6. Мікрохвильовий витратомір

Переваги:

- компактність;
- проста калібрування;
- низька вартість;
- можливість вимірювати витрати в важкодоступних місцях і пневмотранспорту.

Недоліки:

- низька точність 3-5%;
- вимірювання витрати до 20 т / год.

Ємнісний витратомір

Ємнісний – вимірювання засноване на двох незалежних вимірах. Одним з них є вимірювання ємності порожньої труби до повної труби, яка пропорційна концентрації матеріалу. Інше - вимірювання швидкості, в якому використовуються 2 датчики, щоб виміряти час, який буде потрібно, щоб матеріал перейшов від одного датчика до другого. Сигнали цих вимірювань передаються на інтегратор для обчислення витрат. Ємнісний витратомір також може бути використано пневматичними системами. Ємнісні витратоміри сипучих продуктів також були на ринку протягом деякого часу.

Використання двох вимірювальних принципів допомагає підвищити точність загального вимірювання витрати, але цей пристрій не може працювати з великими обсягами матеріалу. Установка проста і зрозуміла, як установка звичайного витратоміра для рідин. Калібрувати також легко, але точність не дуже хороша в порівнянні з великими пристроями. Ємнісні витратоміри можуть використовуватися в соматичних і пневматичних системах, і також - дуже конкурентоспроможне рішення в порівнянні з великими механічними пристроями. Ємнісні витратоміри сипучих продуктів схожі на витратоміри для рідин та виглядають як електромагнітні витратоміри. Схема витратоміра представлена на рис.1.7 [8].

Переваги:

- проста калібрування;
- низька вартість;
- можливість вимірювати витрати в важкодоступних місцях.

Недоліки:

- низька точність 3-5%;
- вимірювання витрати до 150 т / год.

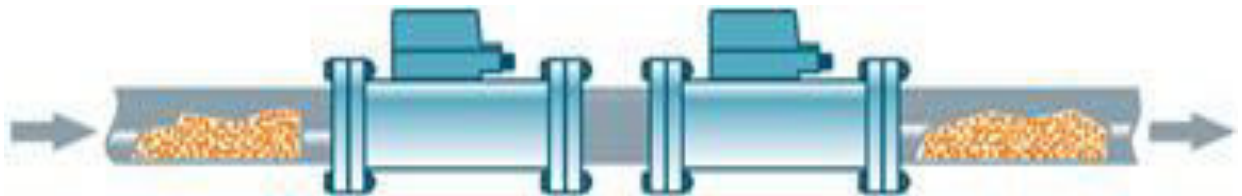


Рисунок 1.7 – Ємнісний витратомір.

Давайте розглянемо вже існуючі рішення для розрахунку витрат сипких матеріалів.

Витратомір MaxxFlow

MaxxFlow масовий витратомір великих (від 20 т / год) витрат сипучих речовин на ділянках вільного падіння.

Витратомір MaxxFlow (рис.1.8) розроблений спеціально для вимірювання великих витрат (від 20 тон / годину) сипучих речовин у

вільному падінні. Витратоміри виразний конструкції призначений для вертикальної врізки в продуктопроводи діаметром не більше 250 мм [9].

Завдяки легко встановлюється, повністю відкритого перетворювача витрати і компактним розмірам, масовий витратомір сипучих продуктів MaxxFlow може знайти застосування скрізь, де раніше застосовувалися механічні за оптовою ціною або різні тензOMETричні датчики сенсорні [9].



Рисунок 1.8 – Витратомір MaxxFlow

У перетворювачі витрати генерується спеціальне змінне мікрохвильове поле, тверді частинки сипучої маси, потрапляючи всередину цього поля, поглинають енергію електромагнітного поля. Зміна концентрації матеріалу K проходить датчик витрати у вільному падінні, викликає пропорційне зміна енергії поля і відповідно сигналу з сенсора [9]. Як працюють електромагнітні хвилі у витратомірі показано на рис.1.9.

У витратомірі сипучих речовин встановлено два сенсора, що дозволяє виміряти час прольоту частинок між двома сенсорами. Відстань між сенсорами незмінно, це дозволяє обчислити швидкість V переміщення вільного потоку сипучого матеріалу [9].

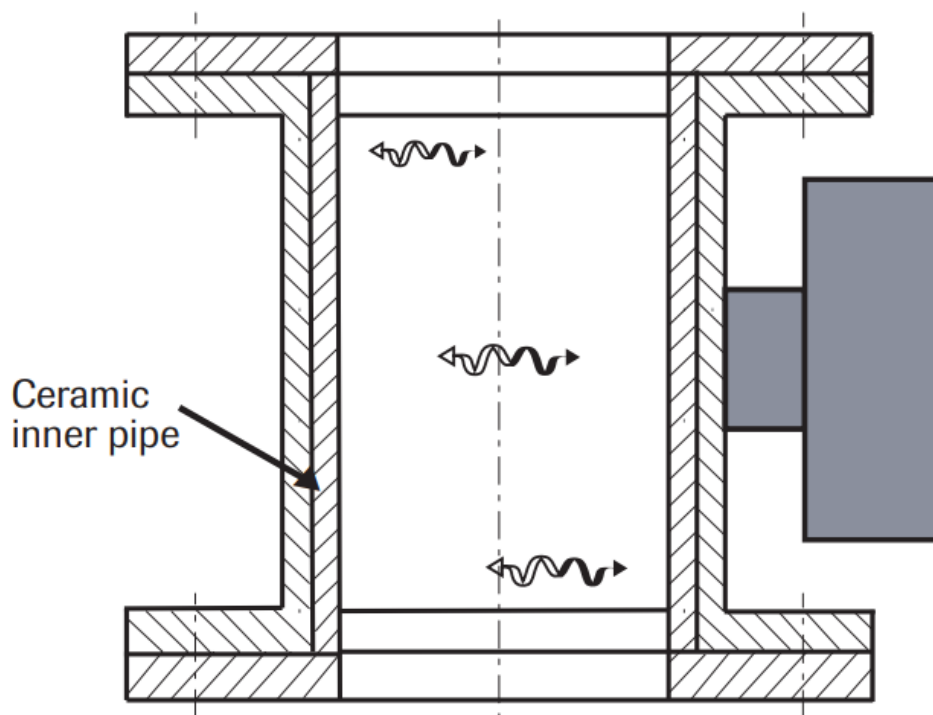


Рисунок 1.9 – Робота електромагнітних хвиль в витратомірі MaxxFlow

Результат множення $K * V$ при незмінному перетині вимірювача витрати A дозволяють обчислити витрату $Q = K * V * A$, пропорційно значенню витрати формується сигнал струмового петлі 4 ... 20 мА.

Витратомір MaxxFlow для вимірювання витрати сипучих матеріалів включає в себе наступні компоненти:

- вимірювальна секція (перетворювач витрати) для врізки в трубопровід;
- модуль обробки сигналів перетворювача витрати MFE 100 [9].

Приєднання вимірювача витрати до модулю обробки проводиться 5-жильним екранованим кабелем. Відстань між модулем обробки і сенсором не повинно перевищувати 300 м. MaxxFlow призначений для установки в трубопроводи круглого перетину діаметром 150/200/250 мм. Найбільша точність вимірювання витрати досягається при заповненні умовного проходу сенсора не менше, ніж на 20%. [9] Схему підключення витратоміра до модуля обробки сигналів показано на рис.1.10.

Переваги

- прохід в вимірювальній секції вільний від виступів і западин, тому утворення відкладень і заторів трубопроводу неможливий;

- відсутня обмеження максимального значення вимірюваного витрати сипучих речовин;
- перед встановленням зверніть увагу невеликий вертикальний ділянку продуктопроводу (400 мм);
- точність вимірювання не залежить від об'ємної маси швидкості прольоту матеріалу;
- легкий монтаж і демонтаж;
- перед вимірювальної секцією досить 200 мм прямолінійного ділянки;
- пряма ділянка на виході не потрібно;
- регулятор потоку MaxxFlow не вимагає додаткового обслуговування;
- відсутні механічні частини, елементи сенсора не мають прямого контакту з матеріалом [9].

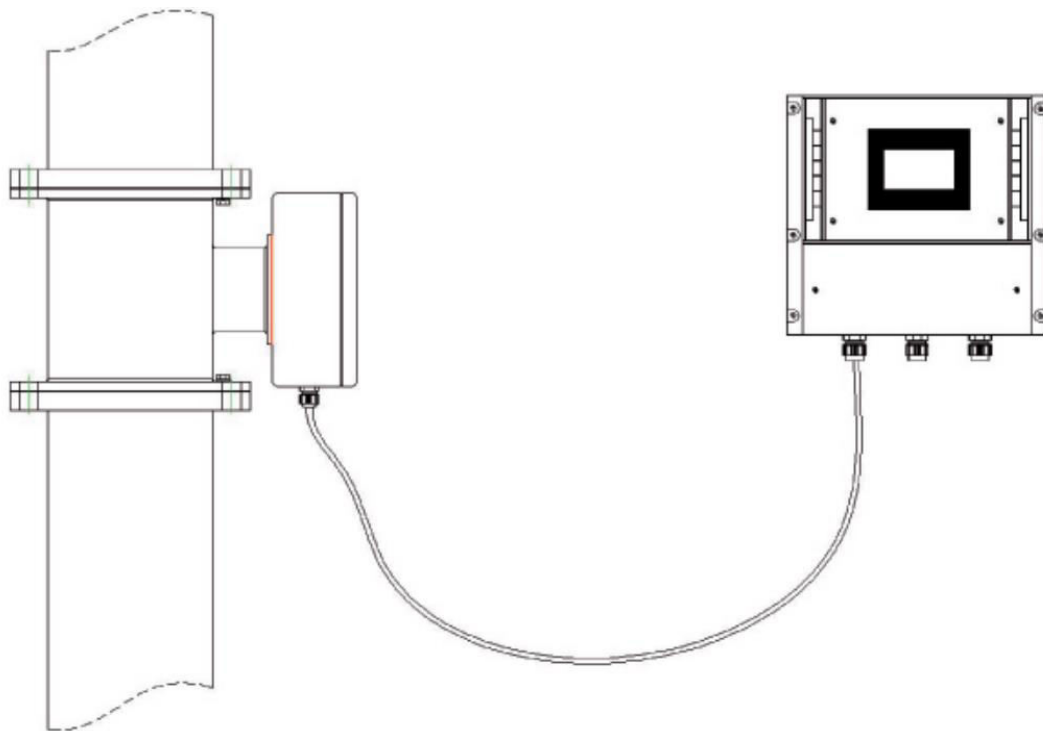


Рисунок 1.10 – Схема підключення витратоміра і модуля обробки

Приклади застосування витратоміра MaxxFlow:

Сипучий матеріал, що надходить з бункера або силосу, незважаючи на постійні обороти поворотною заслінки або шнекового конвеєра, на

подальший переділ матиме флуктуації масової витрати. Застосовуючи витратомір масовий MaxxFlow ці флуктуації потоку відслідковуються і компенсуються за рахунок керування швидкістю поворотною заслонкою (рис.1.11) або швидкістю шнека конвеєра (рис.1.12) [9].

У будівельній промисловості необхідно змішувати різні добавки з вихідним матеріалом. Щоб домогтися точності і постійності пропорцій змішування, потрібно акуратне дозування добавок до вихідного матеріалу. Вимірюється приладом MaxxFlow кількість витрати вихідної речовини використовується в якості опорного значення для визначення дозування добавок [9].

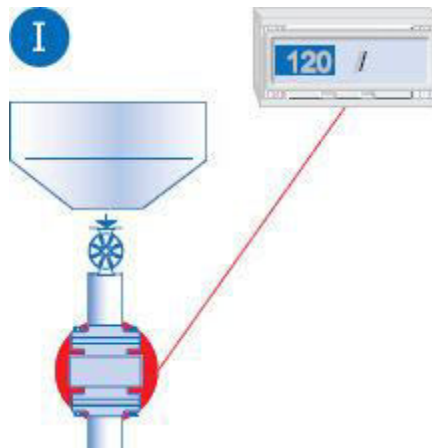
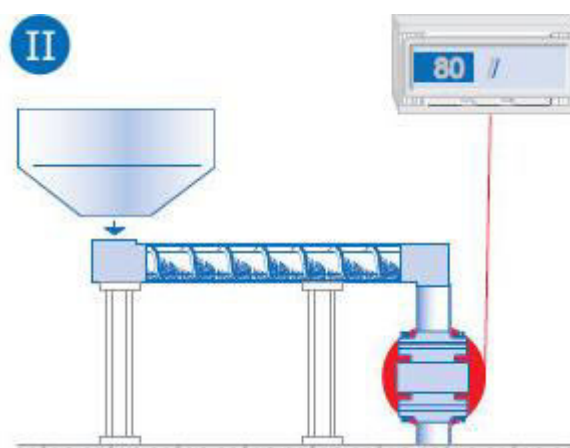


Рисунок 1.11 – Застосування витратоміра для управління поворотною засувкою



Рисинок.1.12 – Застосування витратоміра у шнековому конвеєрі

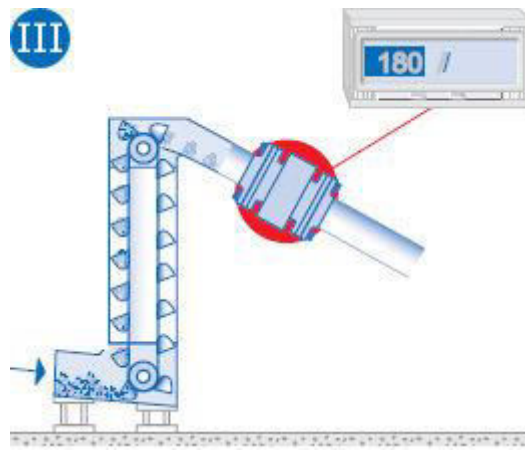


Рисунок 1.13 – Застосування на ковшовому елеваторі

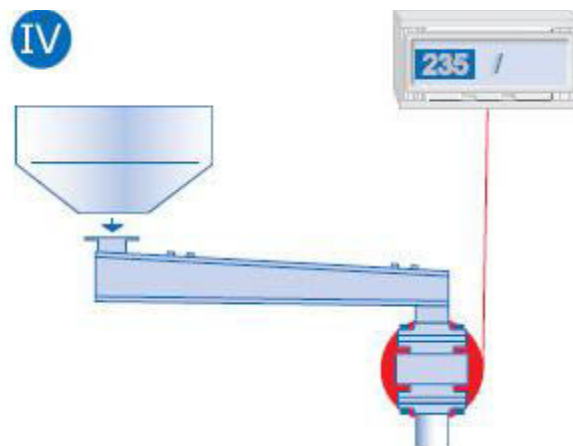


Рисунок 1.14 – Застосування на виході пневмопривода

Витратомір FLOWSLIDE

FLOWSLIDE – це одне із найкращих із рішень для вимірювання витрати сипких матеріалів. Невеликі розміри витратоміра не вимагають великого місця для монтажу. Специфічне покриття частин, що рухаються назустріч з продуктом, буде добрим захистом від абразивних матеріалів [10]. Конструкція витратоміра показана на рис.1.15.

Принцип дії витратоміра створений на законі відцентрової сили. Сипкий матеріал за допомогою жолобу направляється на радіальну вимірювальну пластину, створюючи її механічне відхилення. При радіальному русі сипкого матеріалу крім відцентрових сил, спрямованих до центру радіусу, діють доцентрові сили, які задержують сипкий матеріал на окружності. При цьому оптимально розташованому вимірювальному механізмі, відцентрова сила, викликана рухом сипкого матеріалу, прямо

пропорційна масі потоку. Горизонтальна складова цього відхилення перетворюється в електричний сигнал ваговимірювальним ланки. Сигнал з ланки передається на електронний вимірювальний перетворювач, на дисплеї якого постійно відображаються кількість сипкого матеріалу і витрату. Через те, що вимірюється лише горизонтальна складова сили, будь-які вертикальні зусилля, що виникають із-за налипань частин матеріалу на пластині за межами падіння, не впливають на результат. Після пластини продукт безперешкодно рухається далі, тобто порушення процесу руху продукту не виникає [10].

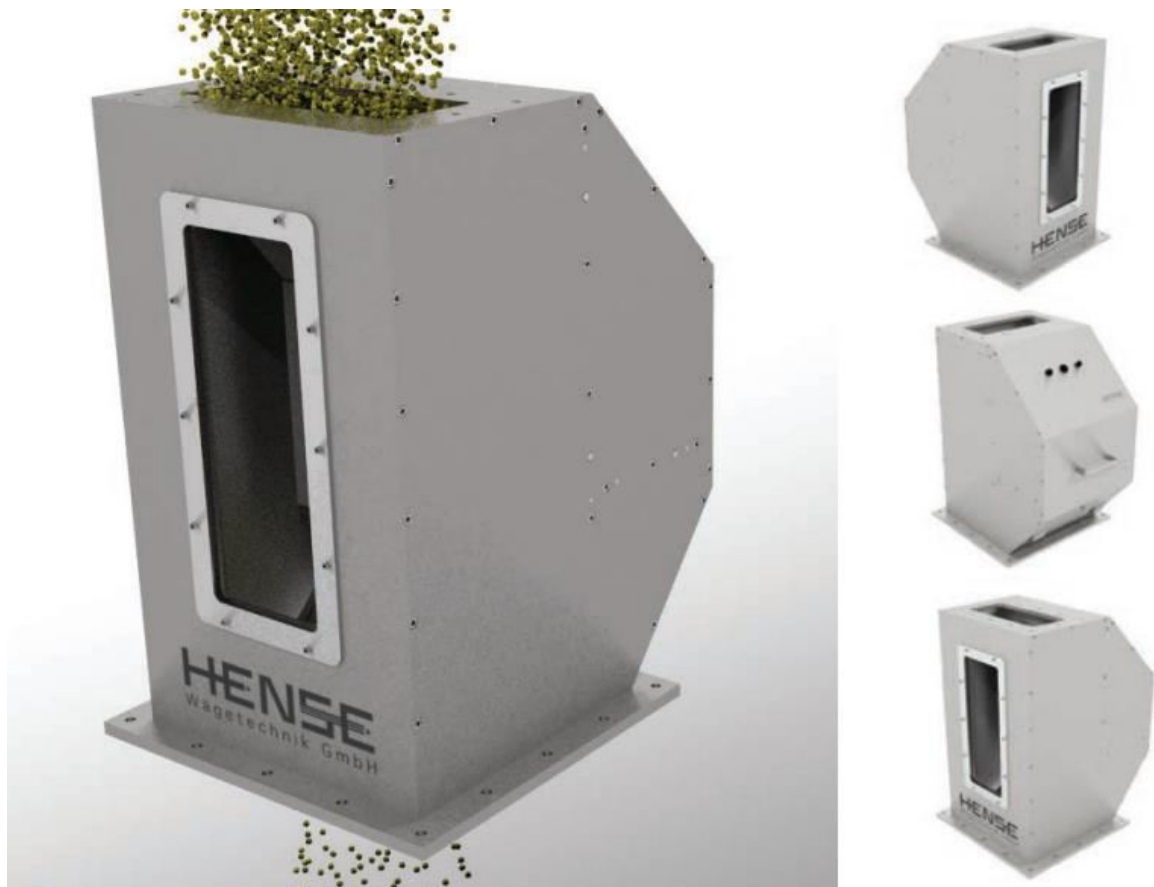


Рисунок 1.15 – Витратомір сипких матеріалів FLOWSLIDE

Усередині пристрою сипкий матеріал падає на зігнуту пластину. При цьому створюється відцентрова сила прямо пропорційна швидкості потоку. Завдяки особливій передачі зусилля на тензодатчик, виміри практично не залежать від густини сипкого матеріалу, розміру і тертя. Процес сипання сипкого матеріалу показано на рисунку 1.16.

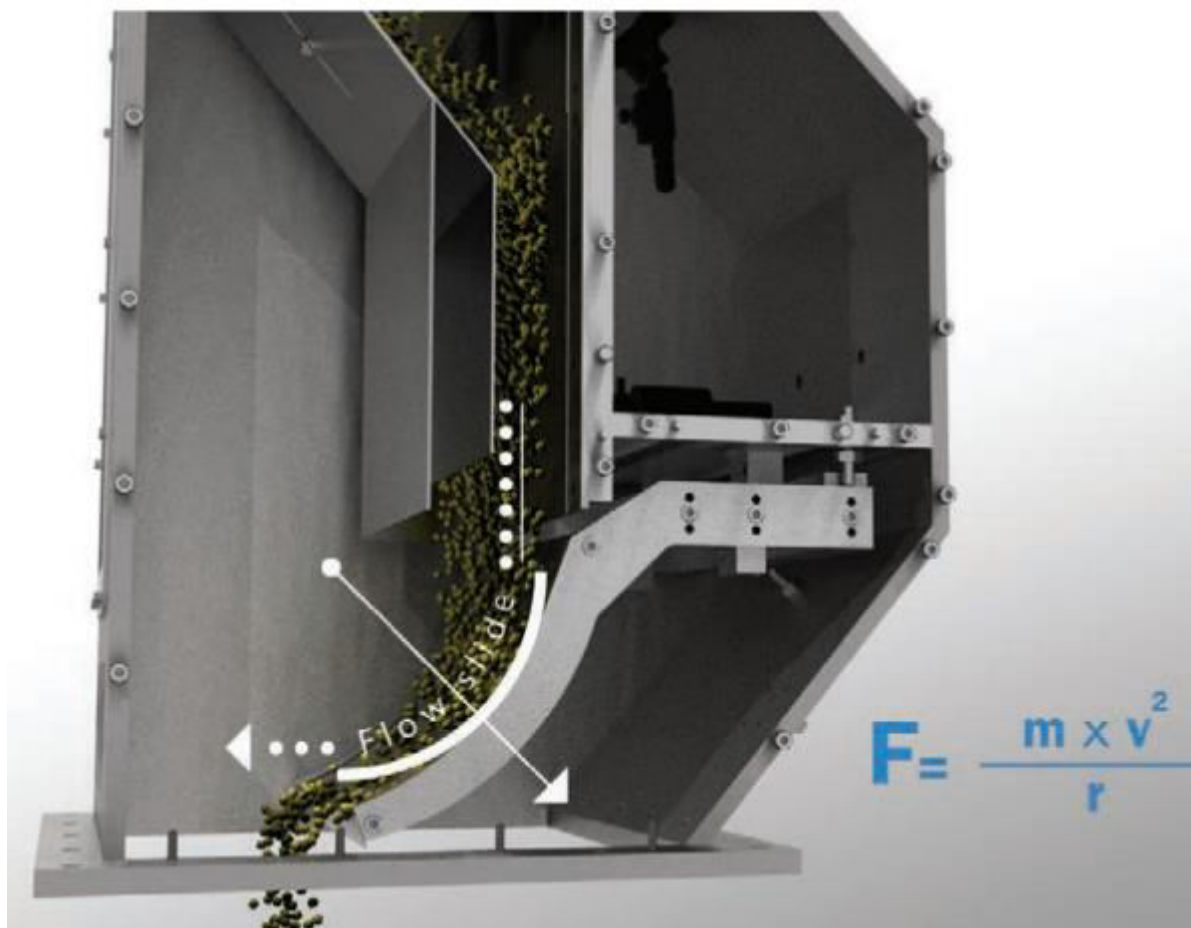


Рисунок 1.16 – Вид всередині витратоміра FLOWSLIDE

Витратомір SolidFlow

У сучасній харчовій промисловості для випадку потоку сипучих матеріалів невеликої щільності, що переміщається з відносно великою швидкістю, отримали гарний відгук від фахівців і знайшли застосування витратоміри SolidFlow, спеціально розроблені для визначення витрати сипучих матеріалів, що рухаються по металевих трубопроводах [11].

SolidFlow витратомір (рис.1.17), розроблений спеціально для вимірювання масової витрати сипучих матеріалів, що транспортуються по металевим пневмотрубопроводу. Врізана конструкція призначена для установки в продуктопроводи діаметром до 600 мм. SolidFlow пройшов випробування при вимірах масової витрати: речовин, що транспортуються по продуктопроводами, матеріалів у вільному падінні з конвеєрних систем, різних порошків, гранулятов і пилу з гранулометричним складом від 1

нанометра до 1 сантиметра. Витратомір потоку SolidFlow виготовляється з зносостійких матеріалів, інсталяція і настройка проста і доступна [12].



Рисунок 1.17 - Витратомір сипких матеріалів SolidFlow

Принцип роботи. Регулятор потоку SolidFlow використовує в своїй роботі сучасні досягнення мікрохвильових технологій і призначений для використання виключно в металевих транспортних системах [12].

Перетворення витрати відбувається за рахунок взаємодії мікрохвильового поля з транспортуються матеріалом і стінками трубопроводу [12].

Енергія електромагнітного поля відбивається від частинок контрольованого матеріалу і приймається сенсором приладу. Прийнятий сигнал обробляється вбудованою електронікою по частоті / фазі і амплітуді [12]. Принцип роботи витратоміра показано на рис. 1.18.

Блок обробки працює в режимі лічильника, підраховуючи кількість рухомих частинок в одиницю часу. Застосування частотної селекції відбитого сигналу, підраховуються тільки рухомі частинки, а відбитий сигнал від нерухомих відкладень і стінок пригнічується. Амплітуда і частота відбитого сигналу не залежить від температури і тиску в продуктопроводі [12].

Інсталяція та калібрування перетворювача витрати проводиться безпосередньо на місці установки натисненням кнопки і введенням заздалегідь відведених калібрувальної дози [12].

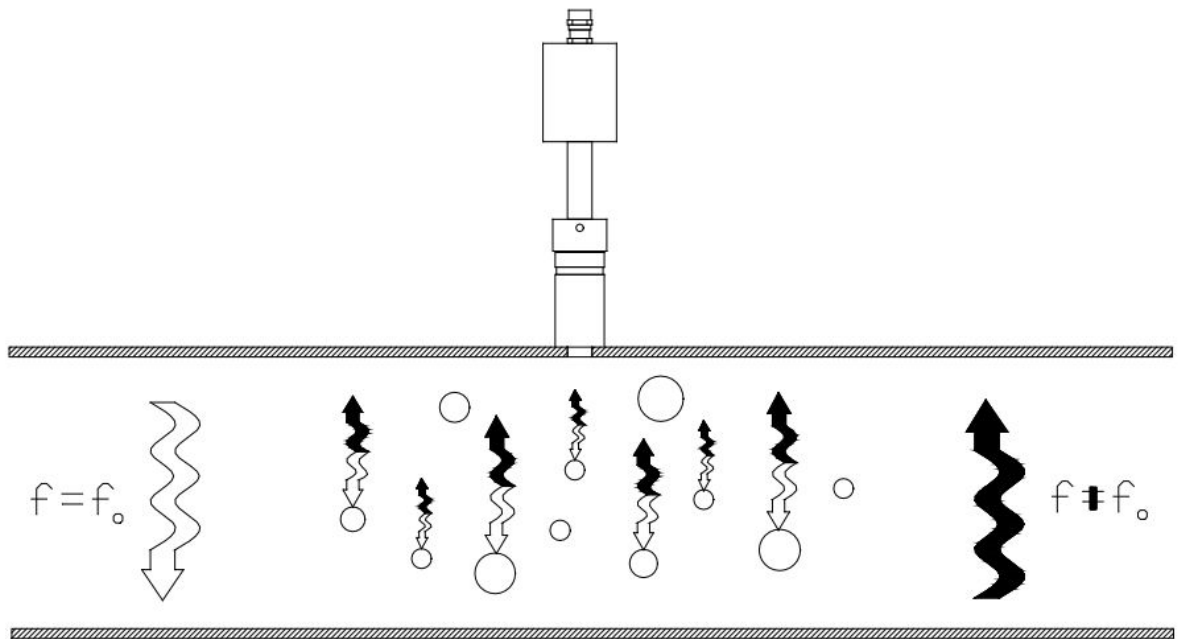


Рисунок 1.18 – Принцип роботи витратоміра SolidFlow

У комплект вимірника масової витрати сипучих речовин SolidFlow входять наступні компоненти:

- муфта і заглушка для монтажу перетворювача витрати;
- мікрохвильовий перетворювач витрати з 2-метровим приєднувальним кабелем;
- модуль цифрової обробки сигналів мікрохвильового перетворювача витрати з лічильником;
- монтажний кабельний бокс для з'єднання кабелю перетворювача витрати з модулем цифрової обробки [12].

Витратомір SolidFlow рекомендується для використання на підприємствах харчової промисловості для використання систем пропорційного дозування і організації технологічного обліку сипких матеріалів [11].

Система обліку сипких матеріалів (наприклад борошно) складається з сенсора (1), що знаходиться в пневмотрубопроводі, перетворювача (2), регулюючих органів (4) і контролера (3). Завдяки цьому, можна змінювати витрату матеріалу, а також закривати потік сипкого матеріалу в разі надзвичайних ситуацій. З використанням витратоміра SolidFlow видається і

відміряється в технологічний ланцюжок потрібну кількість сипкого матеріалу. Система надає можливість здійснювати контроль процесу і мануально (оператор), а масив даних за кількісними показниками технологічного процесу реєструвати і документувати в табличному або графічному вигляді, що є основою для впровадження автоматизованого документообігу на підприємстві [11].

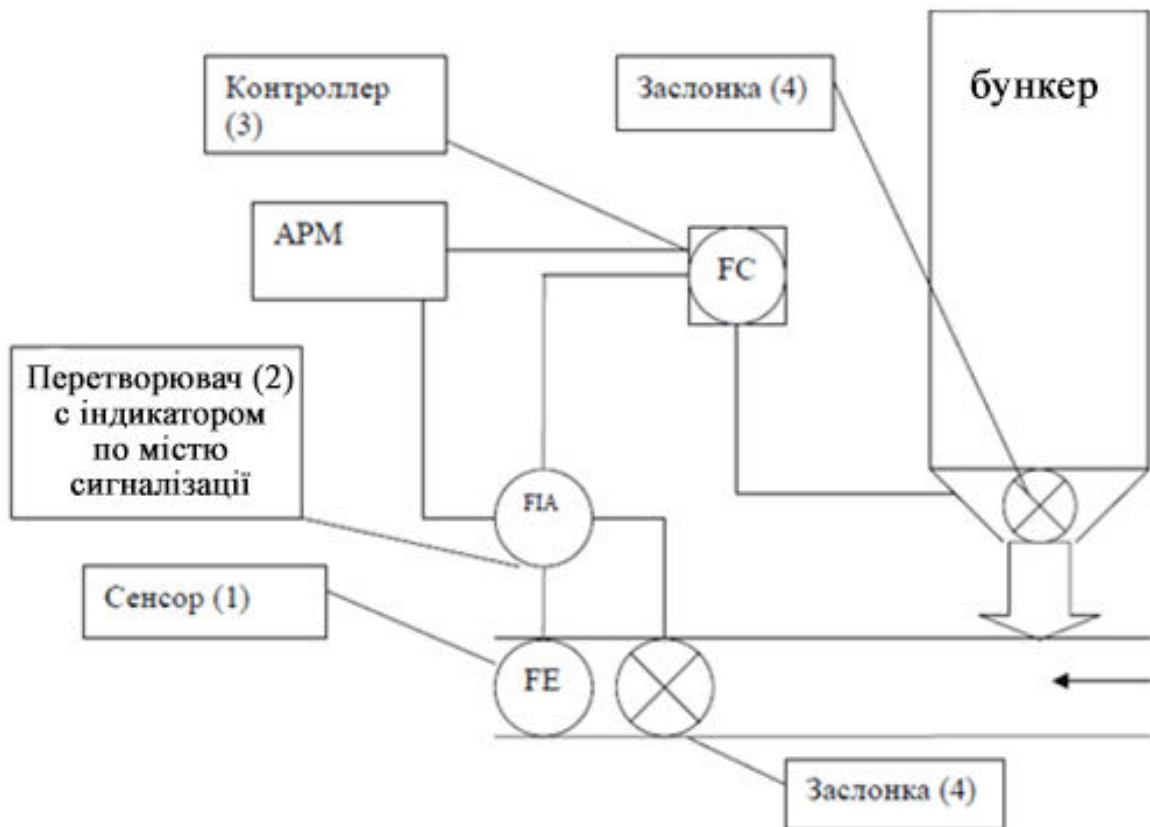


Рисунок 1.19 – Система вимірю технологічної витрати муки

Пропонована нашою компанією продукція, володіє наступними перевагами:

- малі габарити;
- простота монтажу;
- мінімальні вимоги до місця установки приладу;
- широкі можливості установки приладів в різних точках технологічних ліній без їх суттєвої модернізації;
- висока точність технологічних вимірювань;

- широкий спектр вихідних сигналів для передачі даних в систему АСУТП підприємства;
- виключення людського фактору;
- оптимальне співвідношення ціна / якість [11].

З огляду на прагнення виробників до зниження витрат на виробництво, а також зниження витрат при виготовленні продукції, застосування витратомірів SolidFlow дозволяє забезпечити рішення даної проблеми. Новітні наукоємні технології і досвід, накопичений фахівцями нашої компанії по впровадженню пропонованої продукції на підприємствах, дозволяють з гордістю заявити, що продукція компанії SWR Engineering відповідаємо найвищим світовим стандартам. Прилади мають достатню точність для застосування в технологічному обліку і управлінні виробничими процесами [11].

Висновки до розділу I

В різних галузях промисловості такі як, сільськогосподарства, харчової промисловості, фармакології, в мукомельній промисловості мають справу з різноманітними сипкими матеріалами.

Загальна чисельність сипких матеріалів орієнтовно складає декілька сотень найменувань. Сипкий матеріал суттєво відрізняються один від одного за геометричними, фізичними та хімічними властивостями.

Приймаючи до уваги особливості технологічних процесів, в яких задіяний сипкий матеріал слід виділити таку категорію сипкого матеріалу, як потік сипкого матеріалу.

Вивчення та визначення параметрів потоку сипкого матеріалу є актуальною сьогоденішньою задачею.

2. Теоретичні аспекти процесу витоку сипких матеріалів

Сучасна техніка наполегливо вимагає розробки теорії руху сипучих тіл, що включає ряд практично важливих задач [13].

Можна намітити три основних типи таких задач, і, відповідно до цього, три напрямки в динаміці сипучих матеріалів [13].

1. Теорія руху сипучих тіл в закритих судинах, нерухомих або рухомих з яких-небудь законам. Так само як рух сипучих тіл в трубах і бункерах, нерухомих або здійснюють будь - які рух.
2. Теорія руху сипучих тіл у відкритих посудинах (лотках, жолобах, скребкових елеваторах).
3. Теорія обтікання сипучими матеріалами рухомих в них твердих тіл (мішалки, робочі орган, ґрунтообробних машин і ін.) [13].

У всіх випадках спостерігається відносно рух частинок всього обсягу сипучого тіла. Так, при русі сипучого тіла в звужуючій трубі або бункері прилеглі до стінок частки вклинюються між сусідніми; ті в свою чергу, розсовують суміжні частинки, і в результаті в відносний рух приходять всі частинки, що заповнюють рухомий обсяг. При переміщенні сипучих матеріалів скребком по жолобу, частинки знаходяться в переміщуваний скребком обсязі, здійснюють вихровий рух. Процес обтікання сипучим тілом рухається в ньому поверхні будь - якого робочого органу супроводжується складним абсолютним і відносним рухом частинок [13].

Зі сказаного випливає, що у всіх перерахованих випадках сипучі тіло не може розглядатися як моноліт, рух якого відбувається лише шляхом зміщення частин моноліту по окремим площинах ковзання. У зв'язку з цим при дослідженні динаміки сипучих тіл навряд чи можуть виявитися корисними методи статички суцільний сипучої серед, які передбачають як і у випадку твердих тіл, можливість руйнування лише по окремим площинах [13].

Закономірності рухам сипучих тіл істотно залежать від фізико - механічних властивостей, форм і розмірів частинок. Діючі на стінки судин (і з боку стінок на сипуча тіло) сили різні для сипучих тіл, що розрізняються, наприклад, тільки розмірами частинок.

Реальні властивості фізичних тіл завжди складні і суперечливі. Деякі з цих властивостей в певних умовах є головними, інші - другорядними. Тому, розробка теорії будь - якого фізичного явища зазвичай починається зі схематизації досліджуваного об'єкта його спрощення. Виходить модель об'єкта, яка зберігає лише головні його властивості [13].

Основні відміну будь-якого сипучого матеріалу від суцільних середовищ полягає в дискретності його частинок. Можливість (або неможливість) відносного руху зерна визначає характер руху сипучого матеріалу [13].

Остання ознака дозволяє поділити дискретні матеріали на два принципово різних види:

1. «Ідеально сипучі», матеріали, у яких дія стискають сил призводить до відносного руху частинок (зерно, гранульовані мінеральні добрива, сухий пісок і т.п.).
2. Матеріали, у яких форма і властивості поверхонь частинок такі, що стискають зусилля не могу привести до їх відносного руху (мука, полова, волокнисті і соломистого матеріали і т.п.). Такий дискретний матеріал при стисненні поводитьсь подібно твердому деформованість тіла; схематично його можна уподібнити сукупності правильно покладених кубиків [13].

У сучасній механіці сипучих тіл, що розуміється у вузькому сенсі, самостійно існують і розвиваються два напрямки:

- а) вивчення сил, що діють на стінки і дно судин (теорія тиску сипких тіл);
- б) вивчення закономірностей закінчення сипучих тіл з судин [13].

Ще в давнину була помічена характерна особливість процесу витікання сипучих матеріалів, що полягає в сталості швидкості витікання даного сипучого матеріалу з даного отвори і незалежності швидкості витікання від висоти стовпа сипучого тіла над отвором [13].

Ця особливість процесу витікання знайшла відображення у винаході пісочного годинника. Застосовуваних до теперішнього часу [13].

У багатьох роботах, за даними Я. Ціборовський і М. Бондзинькі, формула для вагового витрати сипучого матеріалу з отвору має вигляд:

$$q = cD^a h^b, \quad (2.1)$$

де q – вагова витрата;

D – діаметр отвору;

h – висота стовпа сипучого тіла;

a, b, c – сталі [13].

Істотний вплив висоти h стовпа сипучого тіла на швидкість витікання визнає лише один з десяти авторів Хаген [14], у якого $d = 2,5$, $b = 0,5$. Інші автори вважають що $b = 0$, а показник a змінюється в діапазоні від 2,5 до 3,0.

По даним Я. Циборовського і М. Бондзиньські, визнається вплив на швидкість витоку не тільки діаметру отвору, а і інших факторів (діаметру частинок, кута природного відкосу матеріалу, кута внутрішнього тертя частинок, кута нахилу стінок конусного дна). Формули мають різних вид та приводять до різних результатів [14 – 15].

Р.Л. Зенков [16] згідно теореми о зміні кінетичної енергії отримав формулу для визначення швидкості витоку сипкого матеріалу у такому вигляді:

$$V = \lambda \sqrt{\frac{2gP}{\rho_n}}, \quad (2.2)$$

де V – швидкість витоку сипкого матеріалу із отвору; λ – постійний коефіцієнт; g – прискорення вільного падіння; P – тиск слоїв сипкого матеріалу, що розташовані над отвором; ρ_n – насипна густина сипкого матеріалу [13].

Л.В. Гячев [17] отримав диференціальні рівняння руху ідеального сипкого середовища. Проте при вирішенні рівнянь відступає від спільності і отримує закономірності витку сипких матеріалів з нескінченно малими зернами, тобто закономірності руху свого роду «ідеальної» рідини, що володіє Кулонівським тертям.

Для конічного бункеру Л.В. Гячевим отримана формула, що визначає граничну витрату сипкого матеріалу у такому вигляді:

$$Q_0 = \pi r^2 \sqrt{\frac{gr}{2b}}, \quad (2.3)$$

де Q_0 – гранична витрата сипкого матеріалу; r – радіус випускного отвору бункера; b – тангенс кута між віссю бункера і його стінкою конічної частини [13].

К.В. Алферов та Р.Л. Зенков [18] розглядаючи види витoku сипких матеріалів з бункерів прийшли до наступних висновків: за наявності гідравлічного виду витoku і при розмірах отворів, що зазвичай зустрічаються на практиці, швидкість витoku визначається по формулі:

$$V \approx \lambda \sqrt{2gH}, \quad (2.4)$$

де V – середня швидкість витoku сипкого матеріалу з отвору бункера; g – прискорення вільного падіння; H – висота шару сипкого матеріалу в бункері; λ – коефіцієнт витoku [13].

Математичні моделі визначення витрат сипкого матеріалу при витoku з бункерів, зазначеними різними авторами, представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Математичні моделі витрати сипких матеріалів при витoku з бункерів та силосів

Автор	Посилання	Математичні моделі для визначення об'ємної Q , м ³ /с та масової витрати Q_M , т/год
П.Н. Платонов	[19]	$Q_M = 3600\mu\rho_n S R_\Gamma$
Р.Л. Зенков	[16]	$Q = \lambda S \sqrt{2gXR_\Gamma}$

Продовження таблиці 3.1.

Автор	Посилання	Математичні моделі для визначення об'ємної Q , м ³ /с та масової витрати Q_m , т/год
Л.В. Гячев	[17]	$Q = \pi r^2 \sqrt{\frac{gr}{2b}}$
К.В. Алферов, Р.Л. Зенков	[18]	$Q = \lambda S \sqrt{2gH}^*, Q = \lambda S \sqrt{3,2gR_r}^{**},$
Ф.Е. Кенеман	[20]	$Q = 21(d - 2,5d_q)^{2,5}$
В.Б. Фасман		$Q = \mu K S \sqrt{4gR_r}$

де * - формула використовується при гідравлічному виду витоку; ** - формула використовується при нормальному виду витоку; R_r – гідравлічний радіус отвору, м; μ - постійна, що визначається дослідним шляхом; S – площа випускного отвору бункера, м²; ρ_n – насипна густина, т/м³; K – коефіцієнт, що враховує розмір і форму отвору; λ – коефіцієнт витоку; X – коефіцієнт, що залежить від величини тертя; g – прискорення вільного падіння, м/с²; H – висота стовпа сипкого матеріалу над випускними отвором; d – діаметр отвору, м; d_q – середній діаметр частинок сипкого матеріалу, м; r – радіус випускного отвору, м [13].

Висновки до розділу 2

Особливості процесу витоку сипкого матеріалу з ємності розглядалися на та вивчалися багатьма авторами. Основними методами розгляду процесу витоку сипкого матеріалу з ємності є методи, що сформовані на аналітичних документах авторів. Роботи з результатами експериментальних досліджень процесів витоку сипкого матеріалу майже відсутні. Вважаємо за доцільне провести експериментальне визначення метрологічних показників процесу витоку зерен перлової крупи, як типового представника сипких матеріалів харчової та аграрної промисловостей.

3. Теоретичні аспекти процесу взаємодії сипкого матеріалу з тілом обтікання

Питання взаємодії потоку сипучого матеріалу і твердих тіл пов'язані зі створенням засобів вимірювання параметрів потоку і зокрема витрати. Витрата - це фізична величина, яка визначає кількість сипучого матеріалу, що проходить через контрольне перетин в одиницю часу.

Процес взаємодії потоку сипучого матеріалу і твердого тіла визначається наступними факторами:

- щільністю окремих частинок сипучого матеріалу;
- щільністю потоку сипучого матеріалу в місці взаємодії потоку і твердого тіла;
- площею поперечного перерізу потоку сипучого матеріалу (діаметром потоку, діаметром / площею отвору закінчення бункера);
- розміром і формою твердого тіла на яке впливає потік сипучого матеріалу;
- відстанню між отворами закінчення бункера і тілом обтікання;

На першому етапі була розроблена конструкція засобу для вимірювання кількості і витрати сипкого матеріалу за допомогою тіла обтікання, вона передбачала використання її безпосередньо в трубі, в котрій сипкий матеріал під дією вільного падіння падає і діє на тіло обтікання. Дана схема показана на рисунку 3.1.

Для засобу вимірювання параметрів потоку сипкого матеріалу була розроблена нами математична модель яка описується формулою 3.1:

$$F = S * \frac{2\rho gH}{2}, \quad (3.1)$$

де S – площа на яку діє потік сипкого матеріалу залежить від форми і розміру тіла обтікання, m^2 ;

ρ – густина сипкого матеріалу, kg/m^3 ;

g - прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

H – відстань початку потоку до тіла обтікання, м^2 .

В процесі дисертації буде обрано декілька різних тіл обтікання, яку будуть відрізнятися формою і розмірами. Буде проведено дослідження і визначено при яких результат буде найкращими.

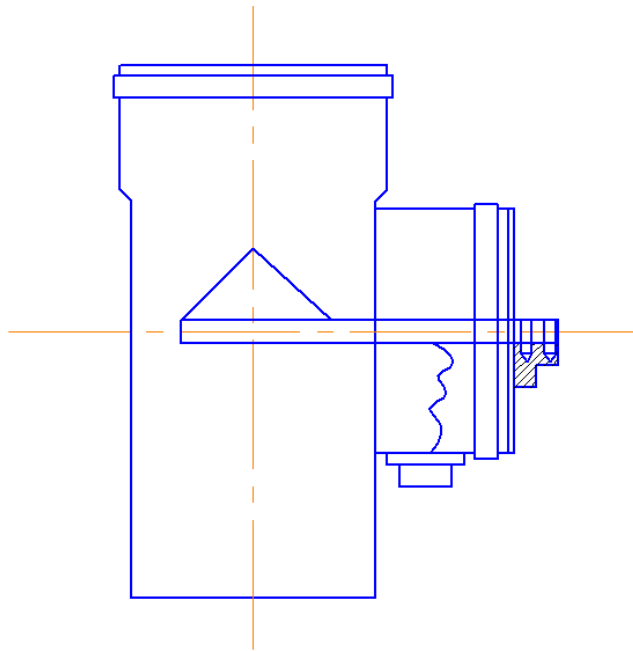


Рисунок 3.1 – Схематичне зображення засобу для вимірювання кількості та витрати потоку сипкого матеріалу

Висновки до розділу 3

Відзначається практична відсутність в науково- технічних джерелах матеріалів з питань визначення параметрів процесу взаємодії потоків сипкого матеріалу з твердими тілами.

Приймаючи до уваги науковий та практичний інтерес к питанням пов'язаними з вивченням параметрів процесу взаємодії потоку сипкого матеріалу та твердих тіл, вважається за доцільне провести вказані експериментальні дослідження с використанням сучасного лабораторного та комп'ютерного обладнання.

4. Експериментальні дослідження процесу витоку сипкого матеріалу

4.1. Методика експериментальних досліджень

Практичне розв'язання задач вимірювання кількості сипучого матеріалу на перший план висуває необхідність вивчення питань визначення витрати сипучого матеріалу в межах гравітаційного потоку. Крім того заслуговує увагу питання, пов'язане з вивченням можливостей використання потоку, який формується при вільному гравітаційному закінченні в якості заходів для градування вимірювальних перетворювачів витрати сипучих матеріалів.

В даній магістерській дисертації наведені результати по експериментальному вивченню метрологічної характеристики витрати гравітаційного потоку сипучого матеріалу при вільному витіканні з даного отвору бункера.

Використаний метод заснований на безперервному вимірі ваги бункера з якого висапається сипучий матеріал.

Перед проведенням експериментальних досліджень була проведена градування перетворювача сили, за допомогою аналого – цифрового перетворювача і гирі на 1 кілограм. На ТВПС була навантажена гиря, і на аналого – цифрового перетворювачі було зазначено, що цей сигнал який він отримує дорівнює одному кілограму, і подальше градування тензорезисторний вимірювального перетворювача не потрібна була.

4.2. Опис лабораторного стенда(обладнання)

При проведенні експериментальних досліджень було використано наступне обладнання:

1. Тензорезисторний вимірювальний перетворювач сили (ТВПС) типу CZL-601. ТВПС є консольною балку довжиною 130 мм, висотою 22 мм і шириною 30 мм. Тип ТВПС - паралелограмний. Номінальна силове навантаження 200 Н. У використаному лабораторному стенді ТВПС виконує дві функції - він є несучою конструкцією для бункера і одночасно є перетворювачем ваги бункера з сипучим матеріалом в вихідний аналоговий електричний сигнал.
2. Бункер являє собою циліндрически-конусної конструкції з круглими отворами в даній частині. Бункер шарнірно підвішений до консольної частини ТВПС. Конструкція даної частини бункера дозволяє встановлювати на виході тонкі суміжні діафрагми із завданнями різними отворами закінчення. Тут же знаходяться елементи бункера, що дозволяють встановлювати заслінку перекриває потік.
3. Аналого - цифровий перетворювач WE2110 класом точності 0.015. За допомогою інтерфейсу RS-485 на 4 дроти, підключений до ТПС, і через інтерфейс RS-232 дублює дані з табло на комп'ютер.
4. Комп'ютер. На комп'ютері встановлені програми для приймання і обробку даних з аналого-цифрового перетворювача.
5. Діафрагми.

ТВПС показаний на рисунку 4.1. Аналого - цифровий перетворювач WE2110 показано на рисунку 4.2.

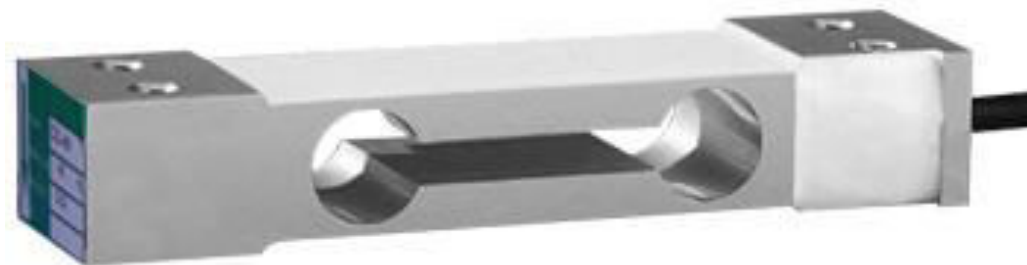


Рисунок 4.1 – Тензорезисторний вимірювальний перетворювач сили CZL-601



Рисунок 4.2 - Аналого - цифровий перетворювач WE2110

Load cell 4-wire

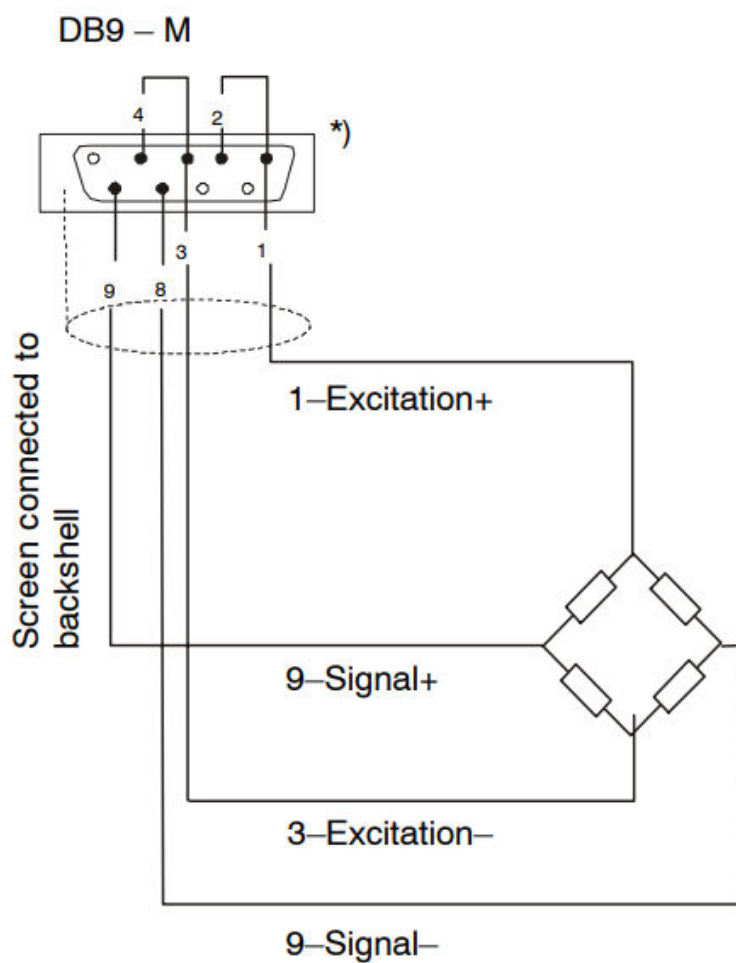


Рисунок 4.3 – Схема підключення ТВПС до аналого - цифровий перетворювач WE2110

Тензорезисторний вимірювальний перетворювач сили за допомогою чотирьох дротів які відповідають два за сигнал, а два за живлення підключаються до інтерфейсу аналого – цифрового перетворювача WE2110 Load Cell. Схему підключення показано на рисунку 4.3.

На комп'ютері були встановленні дві програми для налаштування і обробки аналого – цифрового перетворювача WE2110. Для налаштування використовувалася WE2110 – Panel (рисунок 4.5.), а для отримання даних і записування їх в файл View 5000 (рисунок 4.4).

Загальний схематичний вигляд лабораторного стенду представлений на рисунку 4.6, а фотографія стенду представлено на рисунку 4.7.

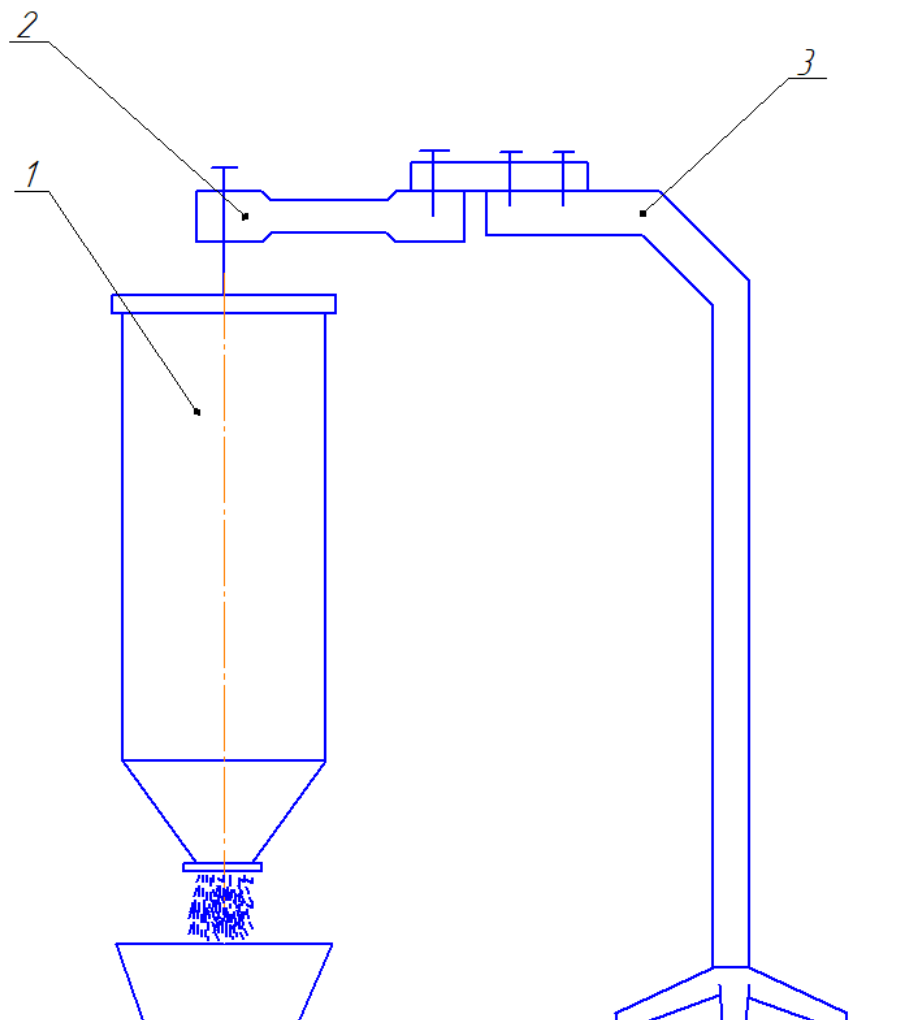


Рисунок 4.6 – Схематичне зображення стенду для дослідження процесу витоку сипкого матеріалу:

1 – бункер; 2 – ТВПС; 3 – кронштейн

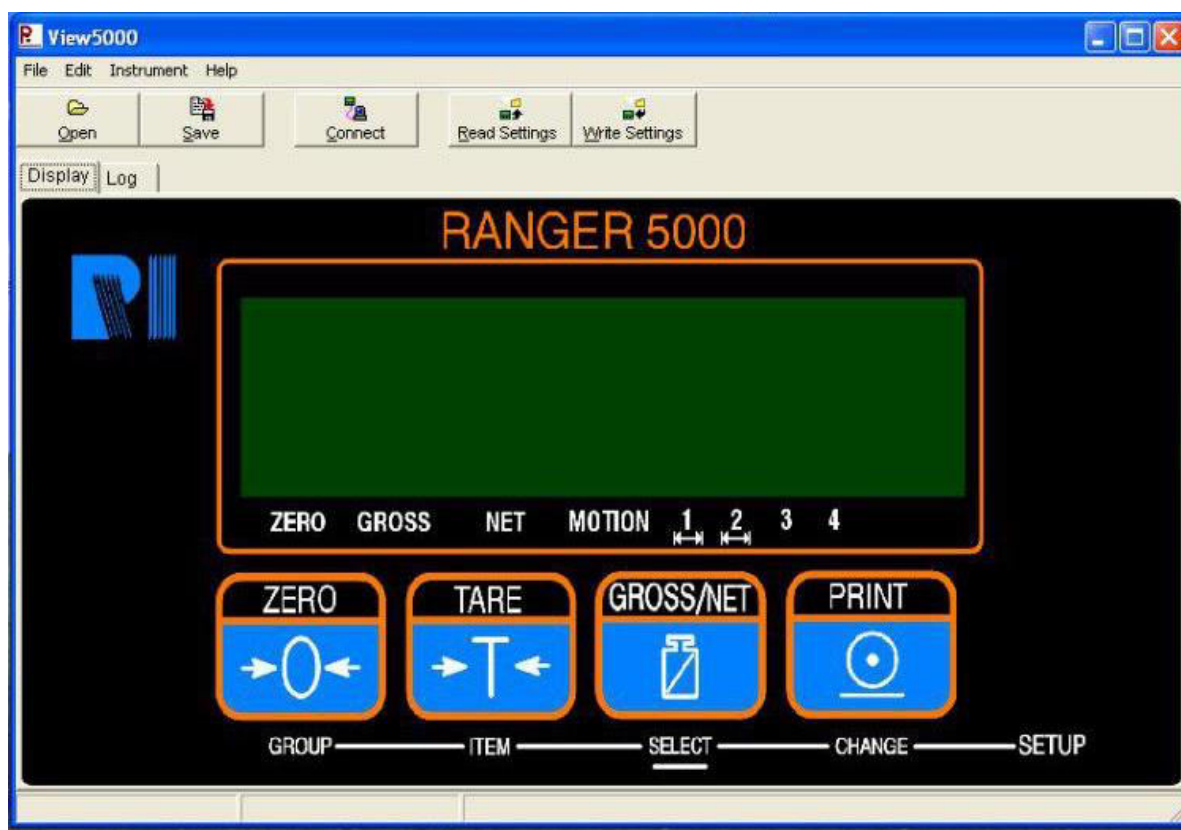


Рисунок 4.4 – View 500

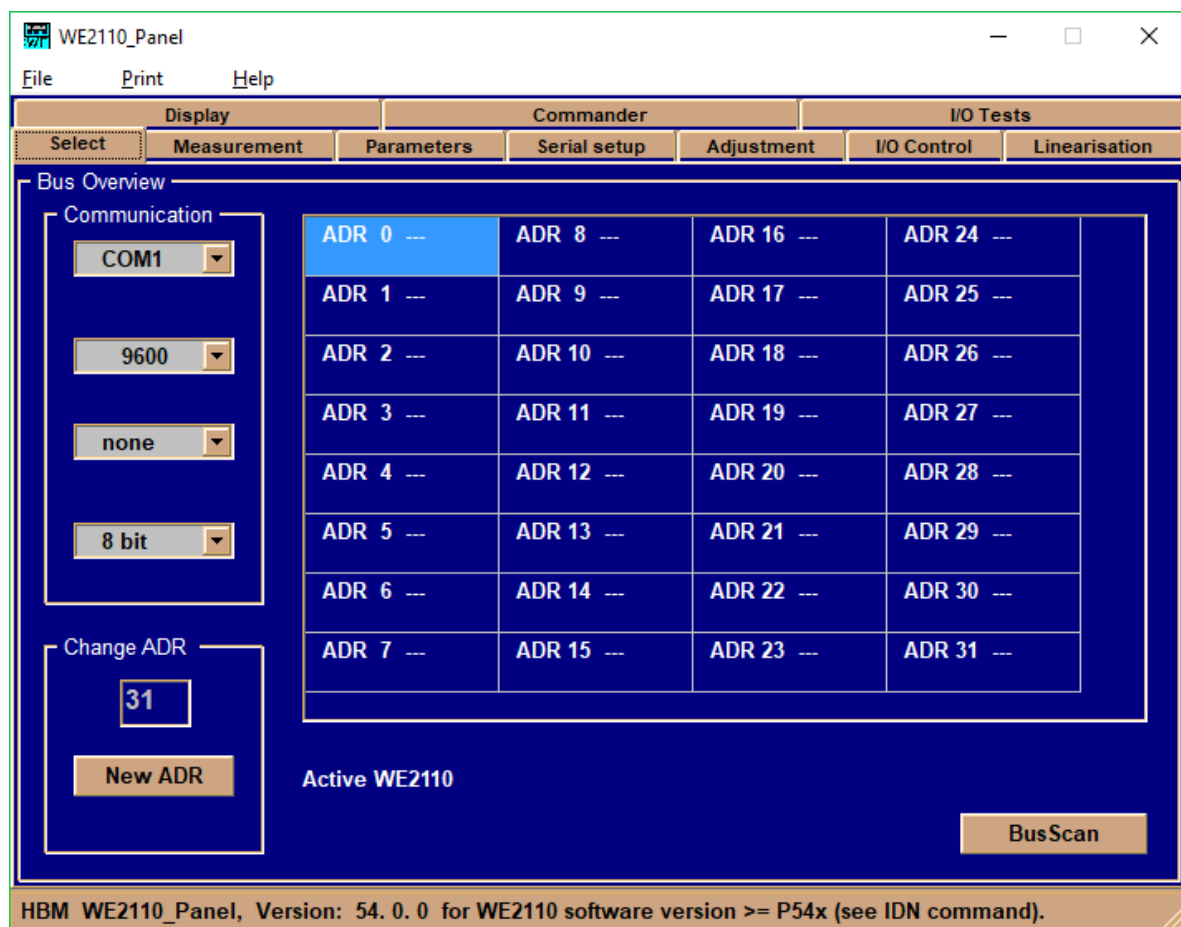


Рисунок 4.5 – WE2110 – Panel



Рисунок 4.7 – Фотографія стенду для дослідження процесу витоку СМ

Для дослідження були використані чотири діафрагми з отворами витікання $d_A = 54$ мм; $d_B = 40$ мм; $d_C = 32$ мм, $d_D = 22,5$ мм. Зображення цих діафрагм показано на рисунку 4.8.

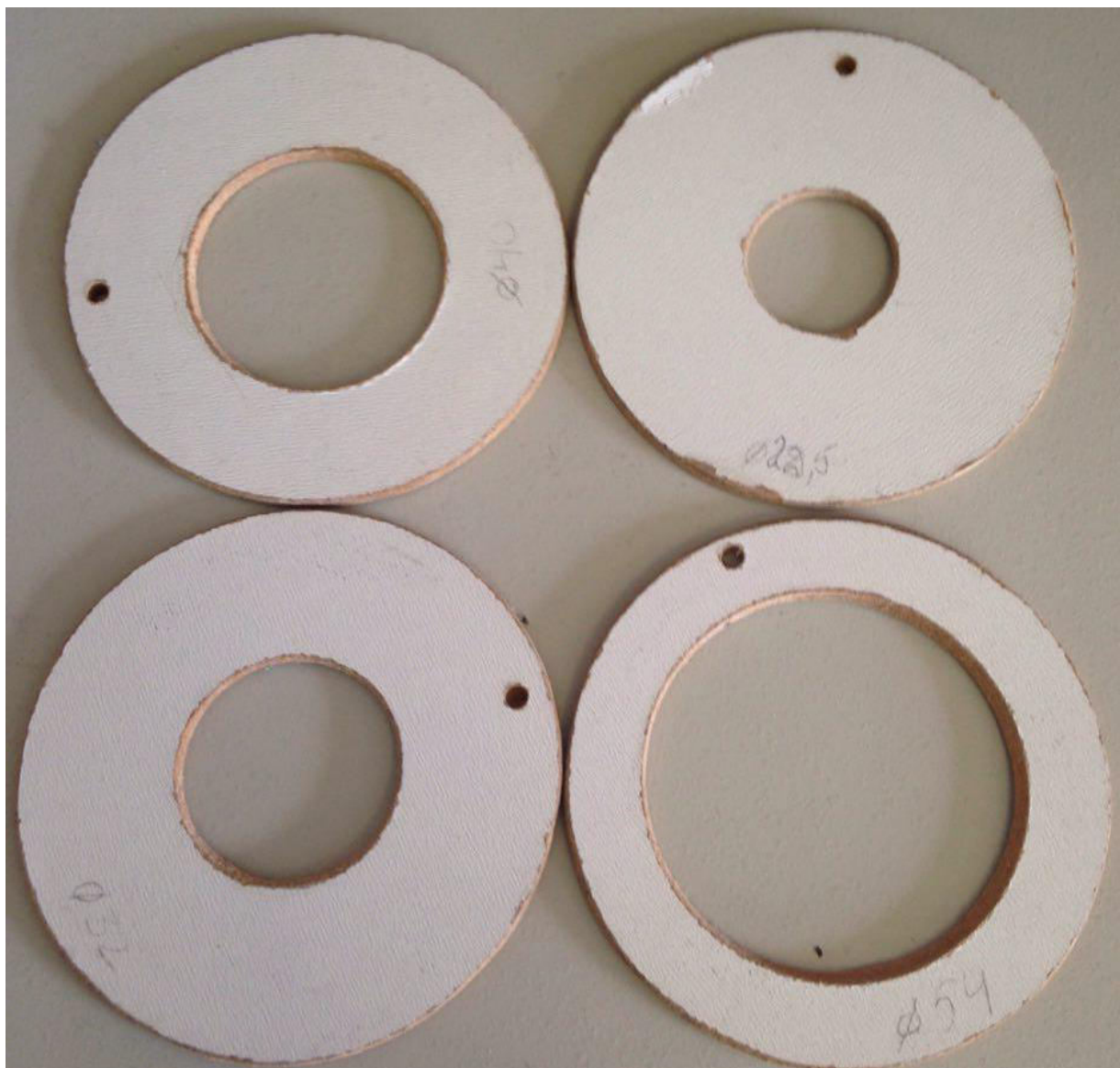


Рисунок 4.8 – Діафрагми для зміни діаметра отвору в бункері

4.3. Характеристика використаного сипкого матеріалу

Для дослідження в якості сипучого матеріалу використовувалося крупа перлова в кількості чуть більше 5 кілограм. Перед початком досліджень була розрахована густина перлової крупи за допомогою стакана (рис.4.9) і кухонних вагів.

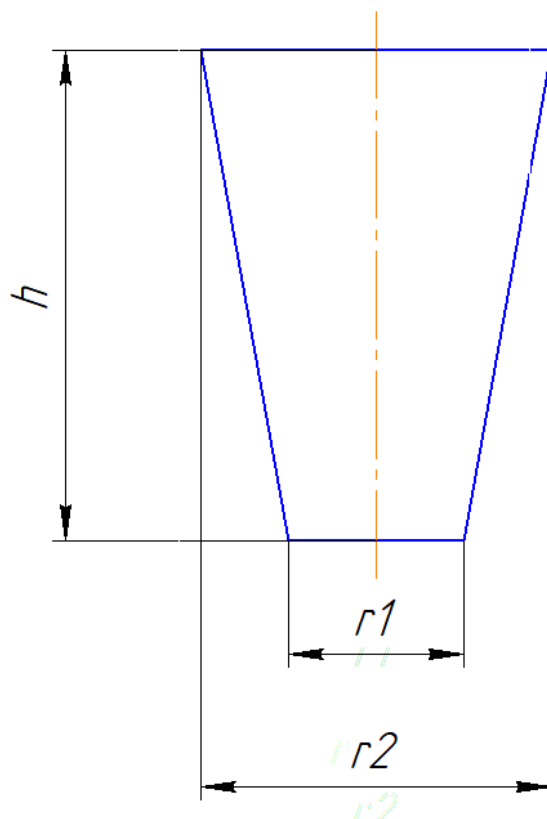


Рисунок 4.9 – Мірний стакан

Для визначення густини крупи будемо використовувати формулу:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (4.1)$$

де ρ – густина, кг/м³;

m – маса крупи, кг;

V – об'єм яку займає вся маса крупи, м³.

В свою чергу об'єм для мірного стакана визначали за формулою:

$$V = \frac{1}{3}\pi h(r_1^2 + r_1r_2 + r_2^2), \quad (4.2)$$

де h – висота стакана, м;

r_1, r_2 – радіус нижньої і верхньої поверхності відповідно, м.

Отже в нашому випадку $h = 100$ мм, $r_1 = 25$ мм, $r_2 = 27,5$ мм, $m = 180$ гр. Підставивши ці значення в формули густини, мы отримаємо формули 4.3:

$$\rho = \frac{0,18}{\frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot (0,025^2 + 0,025 \cdot 0,0275 + 0,0275^2)} = 831,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \quad (4.3)$$

Отже, були визначено на майбутні досліди, що густина перлової крупи при стану покою дорівнює $831,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Але ми розуміємо що коли крупа буде сипатися, її густина буде іншою, і ми зможемо визначити її вже після проведення всіх дослідів.

4.4 Результати експериментальних дослідження

Після створення і підключення лабораторного стенду, були проведені перші дослідження з висипанням сипучого матеріалу з бункера. Першим етапом було встановлення в бункер діафрагми, а потім отвір витікання закривається, і в бункер засипається перлова крупа. Процес висипання перлової крупи фіксувався зважуванням ваги самого бункера, і за допомогою цього ми визначали масову витрату.

Кількість просипок для кожної діафрагми було прийнято рівним трьом. Результати вимірювань фіксувались і представлялися початком вимірювання у вигляді таблиці числових значень і графіків. Для кожної з просипок на різних діафрагмах ми отримували по $d_{22,5} = 4900$, $d_{32} = 2300$, $d_{40} = 1100$, $d_{54} = 500$ числових значень. Всі отриманні дані записувались в файл з розширенням «.log». Потім з цих файлів, дані були перенесені в Microsoft Excel, і по цим даним були побудовані графіки процесу висипання сипкого матеріалу з бункера, і проведенні всі розрахунки.

Фрагмент таблиці числових значень наведено в таблиці 4.1., а графіки просипок для різних діафрагм наведені на рисунках 4.10-4.13.

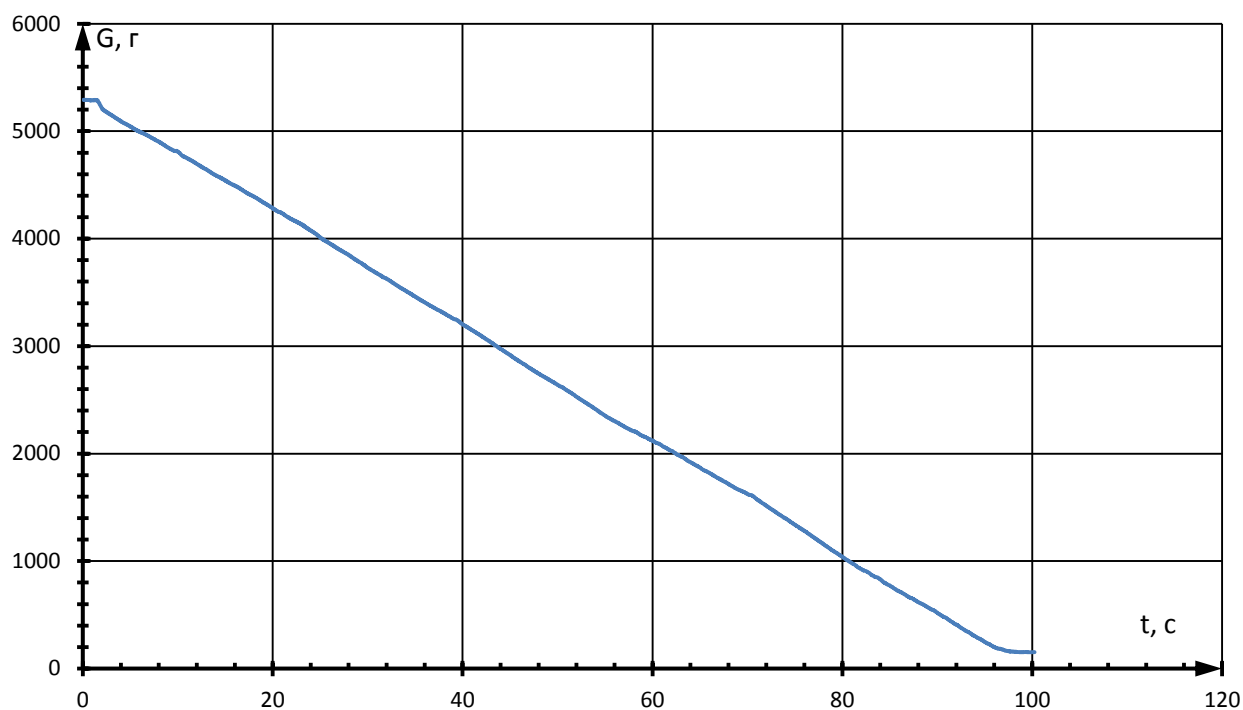


Рисунок 4.10 – Графік процесу висипання крупи з бункера при діафрагмі 25,5 мм

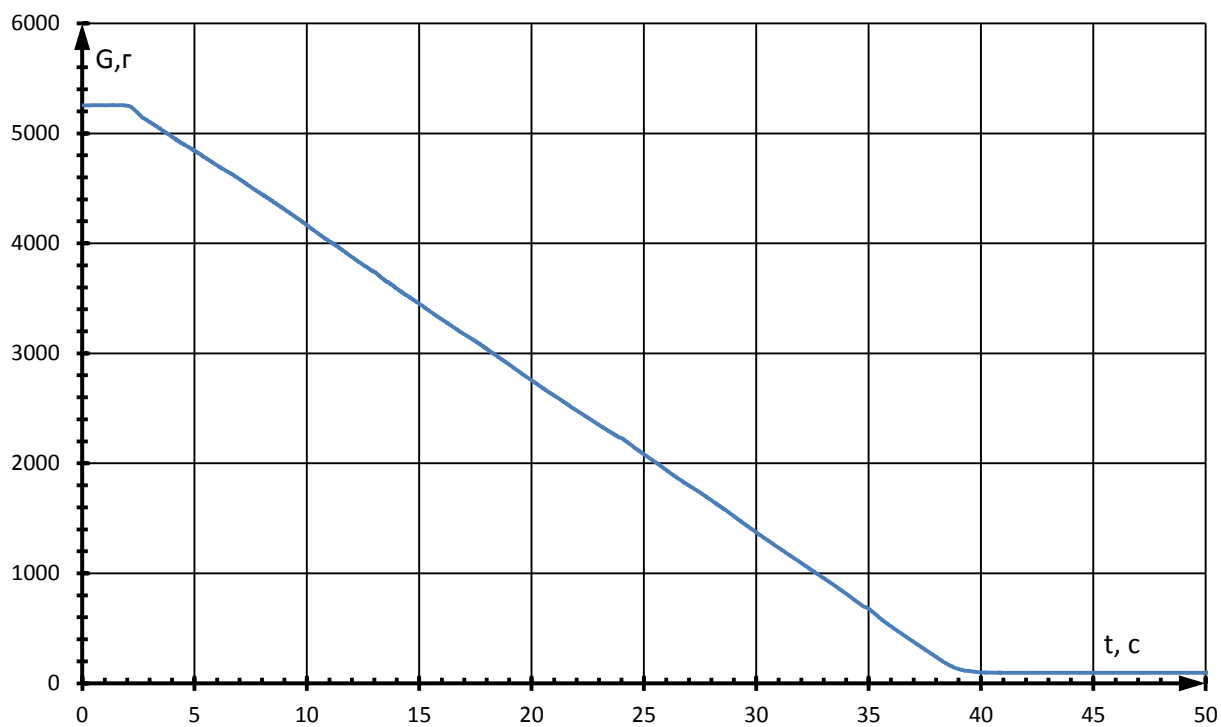


Рисунок 4.11 – Графік процесу висипання крупи з бункера при діафрагмі 32 мм

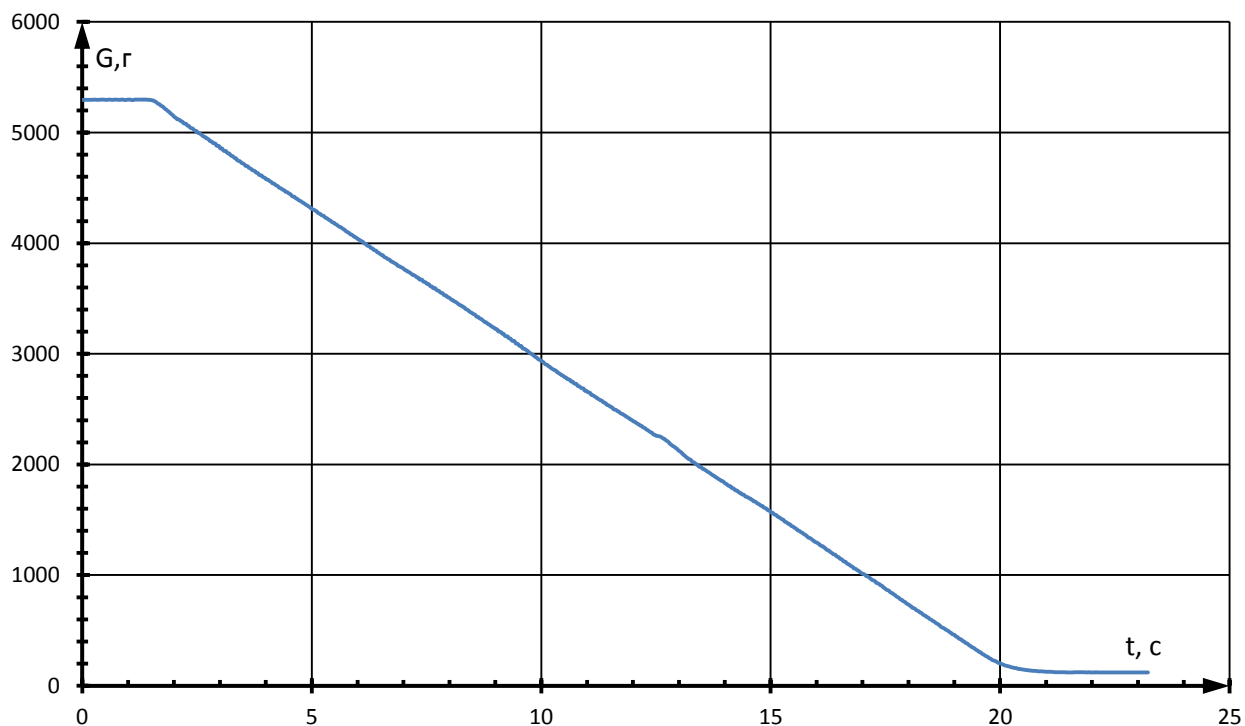


Рисунок 4.12 – Графік процесу висипання крупи з бункера при діафрагмі 40
мм

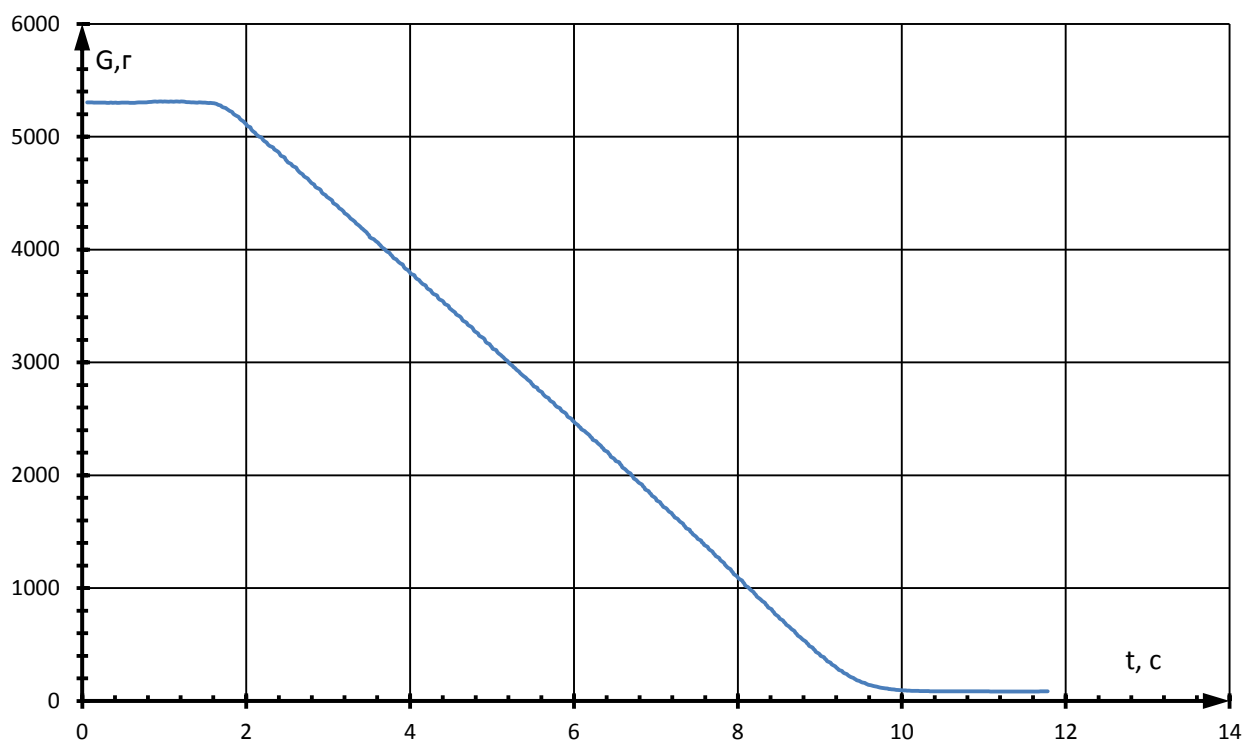


Рисунок 4.13 – Графік процесу висипання крупи з бункера при діафрагмі 54
мм

Таблиця 4.1. Фрагмент таблиці числових значень

t,c	G,г	q _m , г/с	t,c	G,г	q _m , г/с	t,c	G,г	q _m , г/с
6	2476	-500	6,83	1918	-400	7,64	1352	-1400
6,01	2464	-1200	6,84	1904	-1400	7,66	1338	-700
6,05	2444	-500	6,86	1890	-700	7,69	1324	-466,67
6,06	2432	-1200	6,87	1874	-1600	7,7	1310	-1400
6,08	2422	-500	6,91	1860	-350	7,72	1296	-700
6,09	2408	-1400	6,92	1846	-1400	7,73	1284	-1200
6,13	2392	-400	6,94	1834	-600	7,77	1268	-400
6,14	2384	-800	6,95	1820	-1400	7,78	1254	-1400
6,16	2372	-600	6,98	1806	-466,67	7,8	1240	-700
6,19	2354	-600	7	1792	-700	7,83	1224	-533,33
6,2	2342	-1200	7,01	1776	-1600	7,84	1210	-1400
6,22	2330	-600	7,05	1762	-350	7,86	1194	-800
6,23	2314	-1600	7,06	1748	-1400	7,88	1180	-700
6,27	2302	-300	7,08	1732	-800	7,91	1168	-400
6,28	2292	-1000	7,09	1720	-1200	7,92	1154	-1400
6,3	2278	-700	7,12	1710	-333,33	7,94	1138	-800
6,33	2260	-600	7,14	1696	-700	7,95	1124	-1400
6,34	2248	-1200	7,16	1678	-900	7,98	1110	-466,67
6,36	2236	-600	7,19	1666	-400	8	1094	-800
6,37	2222	-1400	7,2	1654	-1200	8,02	1080	-700
6,41	2208	-350	7,22	1638	-800	8,05	1068	-400
6,42	2196	-1200	7,23	1626	-1200	8,06	1056	-1200
6,44	2180	-800	7,26	1616	-333,33	8,08	1038	-900
6,45	2164	-1600	7,28	1600	-800	8,09	1022	-1600
6,48	2152	-400	7,3	1586	-700	8,12	1010	-400
6,5	2138	-700	7,33	1572	-466,67	8,14	996	-700
6,51	2126	-1200	7,34	1558	-1400	8,16	982	-700
6,55	2116	-250	7,36	1542	-800	8,19	966	-533,33
6,56	2102	-1400	7,37	1530	-1200	8,2	954	-1200
6,58	2086	-800	7,41	1518	-300	8,22	940	-700
6,59	2070	-1600	7,42	1502	-1600	8,23	926	-1400
6,62	2056	-466,67	7,44	1490	-600	8,26	910	-533,33
6,64	2042	-700	7,45	1478	-1200	8,28	898	-600
6,66	2028	-700	7,48	1462	-533,33	8,3	884	-700
6,69	2016	-400	7,5	1448	-700	8,33	870	-466,67
6,7	2002	-1400	7,51	1436	-1200	8,34	856	-1400
6,72	1988	-700	7,55	1422	-350	8,36	842	-700
6,73	1972	-1600	7,56	1406	-1600	8,37	828	-1400
6,76	1958	-466,67	7,58	1396	-500	8,41	814	-350
6,78	1942	-800	7,59	1382	-1400	8,42	800	-1400
6,8	1930	-600	7,63	1366	-400	8,44	786	-700

Ці дані нам потрібно якось усереднити, і було вирішено зробити це за допомогою метода найменших квадратів. Рівняння, що описує зміну ваги бункера з сипучим матеріалом:

$$G = a_0 + a_1 t, \quad (4.4)$$

де a_0 і a_1 - коефіцієнти, що визначають методом найменших квадратів. [21]

Для визначення цих коефіцієнтів потрібно вирішити систему рівнянь (4.5):

$$\left. \begin{aligned} na_0 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i &= \sum_{i=1}^n y_i, \\ a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 &= \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{aligned} \right\}$$

Вирішуючи дану систему рівнянь щодо a_0 і a_1 отримуємо:

$$a_0 = \frac{\bar{y} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x} \sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x} \sum_{i=1}^n x_i}, \quad (4.6)$$

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \bar{y} \sum_{i=1}^n x_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x} \sum_{i=1}^n x_i} \quad (4.7)$$

де

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (4.8)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (4.9)$$

Були вивчені і оброблені дані всіх просіпок в діапазонах t_1 - t_2 (рис. 4.14). Межі розглянутого діапазону відповідають початку і кінця лінійної залежності G від t . [21]

У результатах обробки вимірювальної інформації були визначені:

1. Середня витрата для кожної просіпки.

$$q_{A1} = \frac{\Delta G_{A1}}{\Delta t_{A1}}, \quad (4.10)$$

де q_{A1} - витрата сипучого матеріалу для діафрагми А, першої просіпка;

ΔG_{A1} - вага сипучого матеріалу розсипаного в тимчасовому інтервалі Δt_{A1} ;

Δt_{A1} - часовий інтервал рівний $t_2 - t_1$.

2. Рівняння що описує зміну ваги бункера з сипучим матеріалом (4.4)
3. Усереднене рівняння виду (4.4) для трьох просипок для всіх діафрагм.
4. Оцінки стандартний відхилень і довірчих інтервалів рівнянь пункту 2 і 3.

При оцінці помилок визначення параметрів a_0 і a_1 обчислюють оцінки їх стандартних відхилень S_{a_0} і S_{a_1} і встановлюють довірчі інтервали:

$$S_{a_0} = S \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - n^2 \bar{x}^2}}, \quad (4.11)$$

$$S_{a_1} = S \frac{1}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - n^2 \bar{x}^2}}, \quad (4.12)$$

де

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i)^2}, \quad (4.13)$$

Інтервали в яких із установленою ймовірністю α можуть знаходитися параметри a_0 і a_1 , записують у вигляді $a_0 \pm \Delta a_0$ і $a_1 \pm \Delta a_1$ де:

$$\Delta a_1 = t_{\alpha, n-2} \cdot S_{a_1}, \quad (4.14)$$

$$\Delta a_0 = t_{\alpha, n-2} \cdot S_{a_0}, \quad (4.15)$$

де $t_{\alpha, n-2}$ – коефіцієнт Стюдента для надійності α і значенню параметру $n-2$. [21]

5. Усереднення поточні значення ΔG_i (q_{mi}) в інтервалах часу $\Delta t = 0,1$ с.
6. Середні значення витрати q_{mi} при трьох просипках для кожної діафрагми.
7. Середнє квадратичне відхилення витрати при трьох просипках для кожної з діафрагми.

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_{mi} - \bar{q}_m)^2}{n-1}}, \quad (4.16)$$

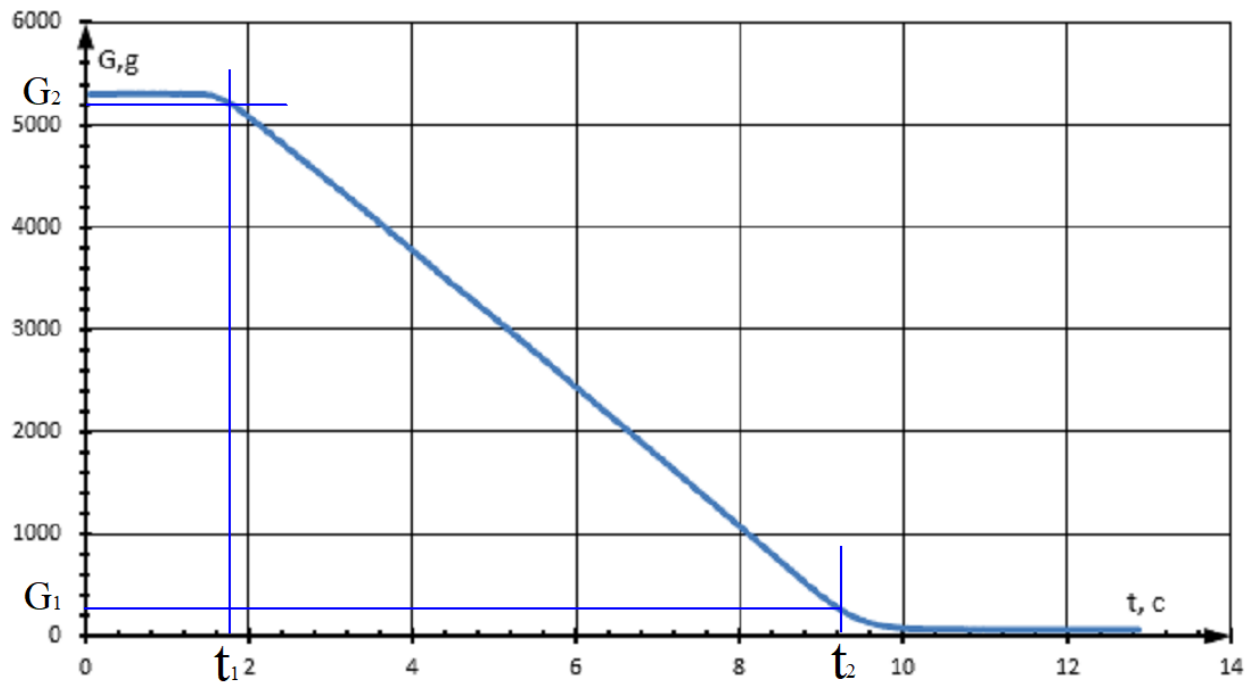


Рисунок 4.14 – Графік зміни ваги бункера

Результати розрахунків.

1. Середня витрата q_m (табл.4.2).

Таблиця 4.2 – Середня витрата

Діафрагм <i>a</i>	<i>A</i>			<i>B</i>			<i>C</i>			<i>D</i>		
№ просипки	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
q_m , г/с	647, 1	641, 1	649, 7	267, 3	272, 3	274, 4	140, 4	142, 9	138, 9	50, 9	53, 6	53, 3

2. Рівняння що описує зміну ваги бункера з сипучим матеріалом(табл 4.3).

Для визначення рівнянь методом найменших квадратів, був вибраний діапазон значень які лежать в межах t_1 і t_2 . На рисунку 4.15 показаний той самий діапазон і графік який побудований по рівнянню 4.4.

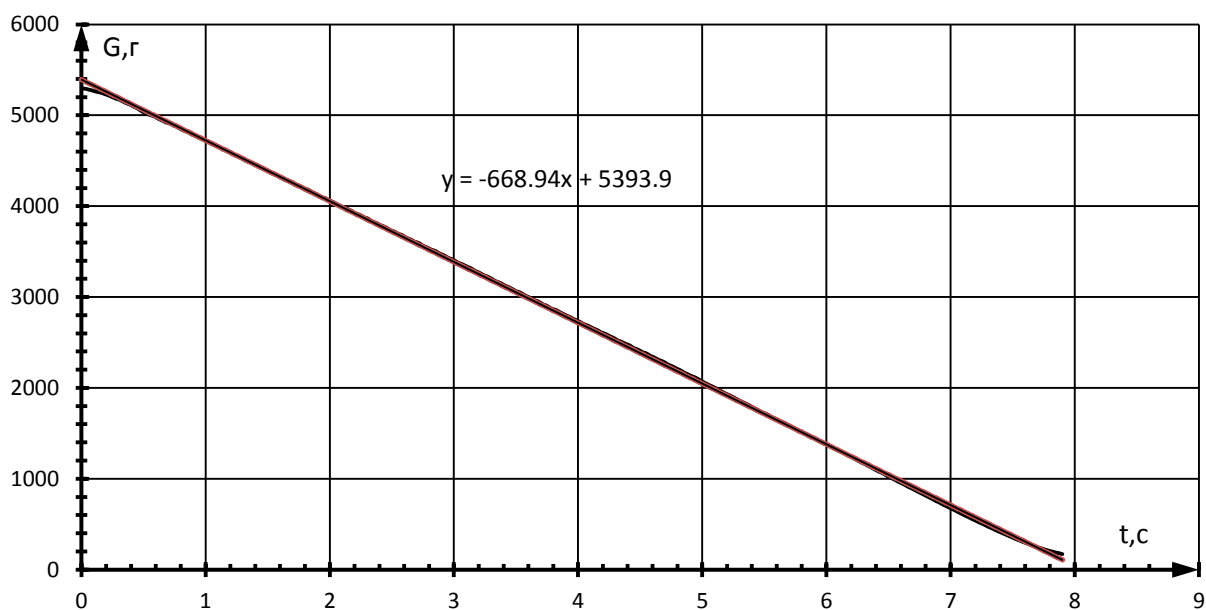


Рисунок 4.15 – Діапазон значень t_1 і t_2

Таблиця 4.3 – Рівняння, що описують зміну ваги бункера

A1	$G = 5429,6 - 667,58 \cdot t$	C1	$G = 5159,79 - 140,58 \cdot t$
A2	$G = 5439,11 - 660,41 \cdot t$	C2	$G = 5127,12 - 144,53 \cdot t$
A3	$G = 5393,86 - 668,94 \cdot t$	C3	$G = 5158,88 - 139,91 \cdot t$
B1	$G = 5155,2 - 268,29 \cdot t$	D1	$G = 5201,9 - 51,72 \cdot t$
B2	$G = 5164,66 - 271,83 \cdot t$	D2	$G = 5192,19 - 54,32 \cdot t$
B3	$G = 5148,03 - 276,7 \cdot t$	D3	$G = 5187,42 - 54,4 \cdot t$

3. Усереднені рівняння (табл.4.4).

Таблиця 4.4 – Усереднені рівняння, що описують зміни ваги бункера

A	$G = 5420,86 - 665,64t$
B	$G = 5155,96 - 272,27t$
C	$G = 5177,64 - 141,67t$
D	$G = 5193,84 - 53,48t$

4. Оцінка стандартних відхилень і довірчих інтервалів (табл.4.5)

Таблиця 4.5. Оцінка стандартних відхилень і довірчих інтервалів

Діафрагма	A			B			C			D		
№Прос.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Sa0	44,8 4	37,5 2	42,6 2	19,2 5	25,2 0	18,1 0	42,4 8	32,6 2	24,2 4	73,2 9	50,8 4	34,8 1

Продовження таблиці 4.5.

Діафрагма <i>a</i>	<i>A</i>			<i>B</i>			<i>C</i>			<i>D</i>		
№Просипки.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Sa1	0,49	0,41	0,47	0,06	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01
Δa_0	87,9 2	73,5 7	83,5 7	37,7 7	49,4 4	35,5 1	83, 3	63,9 7	47,5 3	143,7 3	99,6 9	68,2 6
Δa_1	0,97	0,81	0,92	0,12	0,16	0,11	0,1	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02

5. Усереднення поточних значень, $\Delta t = 0.1$ с (табл.4.6).

Таблиця 4.6. Усереднені поточних значень за 1 секунду

Діафрагма	<i>A</i>			<i>B</i>			<i>C</i>			<i>D</i>		
№ просипки	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
q_m , Г/с	680	620	560	200	260	280	140	160	120	60	100	40
	540	640	720	300	300	240	140	180	120	40	40	60
	720	700	660	220	300	300	200	180	180	40	60	80
	660	640	620	380	200	280	240	220	220	60	80	40
	620	600	660	200	280	260	100	140	120	20	60	60
	660	720	700	280	320	260	160	140	200	60	40	60
	660	700	680	280	220	300	160	140	160	40	80	80
	680	580	600	300	280	240	120	160	100	20	60	40
	600	700	740	240	280	280	120	120	100	60	40	60
	680	700	620	260	260	320	140	180	220	60	60	60

6. Середнє значень витрати q_m (табл.4.7).

Таблиця 4.7. Середнє значень витрати

Діафрагма	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
q_m , Г/с	655,33	270,67	156	55,33

7. Середньоквадратичне відхилення (табл.4.12).

Для визначення середньоквадратичного відхилення, беремо з табл.7 середнє значення для кожної з діафрагм і порахуємо відхилення для кожних 0,1 секунди. (табл.4.8 – 4.11)

Таблиця 4.8 – Відхилення для 3 просіпок діафрагми 54 мм

Діафрагма	А					
№ просіпки	1		2		3	
q_m , г/с	q_{mi}	Δq_m	q_{mi}	Δq_m	q_{mi}	Δq_m
	680	24,67	620	-35,33	560	-95,33
	540	-115,33	640	-15,33	720	64,67
	720	64,67	700	44,67	660	4,67
	660	4,67	640	-15,33	620	-35,33
	620	-35,33	600	-55,33	660	4,67
	660	4,67	720	64,67	700	44,67
	660	4,67	700	44,67	680	24,67
	680	24,67	580	-75,33	600	-55,33
	600	-55,33	700	44,67	740	84,67
	680	24,67	700	44,67	620	-35,33

Таблиця 4.9 – Відхилення для 3 просіпок діафрагми 40 мм

Діафрагма	В					
№ просіпки	1		2		3	
q_m , г/с	q_{mi}	Δq_m	q_{mi}	Δq_m	q_{mi}	Δq_m
	200	-70,67	260	-10,67	280	9,33
	300	29,33	300	29,33	240	-30,67
	220	-50,67	300	29,33	300	29,33
	380	109,33	200	-70,67	280	9,33
	200	-70,67	280	9,33	260	-10,67
	280	9,33	320	49,33	260	-10,67
	280	9,33	220	-50,67	300	29,33
	300	29,33	280	9,33	240	-30,67
	240	-30,67	280	9,33	280	9,33
	260	-10,67	260	-10,67	320	49,33

Таблиця 4.10 – Відхилення для 3 просіпок діафрагми 32 мм

Діафрагма	С					
№ просіпки	1		2		3	
q_m , г/с	q_{mi}	Δq_m	q_{mi}	Δq_m	q_{mi}	Δq_m
	140	-16	160	4	120	-36
	140	-16	180	24	120	-36
	200	44	180	24	180	24
	240	84	220	64	220	64
	100	-56	140	-16	120	-36
	160	4	140	-16	200	44
	160	4	140	-16	160	4

Продовження таблиці 4.10

Діафрагма	С					
№ просипки	1		2		3	
q_m , Г/с	q_{mi}	Δq_m	q_{mi}	Δq_m	q_{mi}	Δq_m
	120	-36	160	4	100	-56
	120	-36	120	-36	100	-56
	140	-16	180	24	220	64

Таблиця 4.11 – Відхилення для 3 просипок діафрагми 22,5 мм

Діафрагма	D					
№ просипки	1		2		3	
q_m , Г/с	q_{mi}	Δq_m	q_{mi}	Δq_m	q_{mi}	Δq_m
	60	4,67	100	44,67	40	-15,33
	40	-15,33	40	-15,33	60	4,67
	40	-15,33	60	4,67	80	24,67
	60	4,67	80	24,67	40	-15,33
	20	-35,33	60	4,67	60	4,67
	60	4,67	40	-15,33	60	4,67
	40	-15,33	80	24,67	80	24,67
	20	-35,33	60	4,67	40	-15,33
	60	4,67	40	-15,33	60	4,67
	60	4,67	60	4,67	60	4,67

Таблиця 4.12 - Середньоквадратичне відхилення

Діафрагма	A	B	C	D
σ_i , Г/с	50,84	39,91	39,09	17,95

Висновки до розділу 4

Номінальна масова витрата вибраного сипкого матеріалу у відповідності до діаметра отвору діаметра склала (табл. 4.13):

Таблиця 4.13. Номінальна масова витрати

Діаметр діафрагми, мм	54	40	32	22,5
q_m , Г/с	665,64	272,27	141,61	53,48

Середньоквадратичне відхилення масової витрати склала (табл.4.14):

Таблиця 4.14. Середньоквадратичне відхилення.

Діаметр діафрагми, мм	54	40	32	22,5
σ_i , г/с	50,84	39,91	39,09	17,95

В розділі був визначений діапазон зміни масової витрати сипкого матеріалу в інтервалі однієї секунди з кроком 0,1 с. Отриманні методом найменших квадратів аналітичні залежності виду $G = a_0 + a_0 t$.

5. Експериментальні дослідження процесу взаємодії потоку сипкого матеріалу і тіла обтікання

5.1. Методика експериментальних досліджень

Методика дослідження процесу взаємодії потоку сипких матеріалів і тіл обтікання, полягає в вимірі сили дії на тіло обтікання, під час висипання сипкого матеріалу з бункера.

Так як і в попередньому випадку, після зміни конструкції для подальшого проведення дослідження, було проведене градування датчика сили.

Дослідження процесу взаємодії потоку сипкого матеріалу та тіл обтікання буде проводитися при витoku сипкого матеріалу з бункера, і під дією вільного падіння, крупа буде падати на тіло обтікання, тим самим діяти на перетворювач сила, на якому в свою чергу і закріплене тіло обтікання. Результат, який ми отримаємо в процесі витoku сипкого матеріалу, буде оцифрований і занесений в Microsoft Excel, де в свою чергу по цим даним будуть побудовані графіки залежностей.

В роботі буде проводиться дослідження з 9 різними тілами обтікання, які в свою чергу відрізняються між собою формою і розмірами, та при різних діаметрах витoku сипкого матеріалу з бункера. По результатам, ми зможемо сформулювати висновок, при який отворах, які краще використовувати тіла обтікання, чи залежить розмір і форма на результат визначення витрати і кількості сипкого матеріалу.

5.2. Опис лабораторного стенда(обладнання)

Зазначене в розділі 4.2 обладнання залишається і до нього добавляються ще тіла обтікання і змінюється сама конструкція стенду. Схематичне зображення стенду показано на рисунку 5.1, а фотографія на рисунку 5.2.

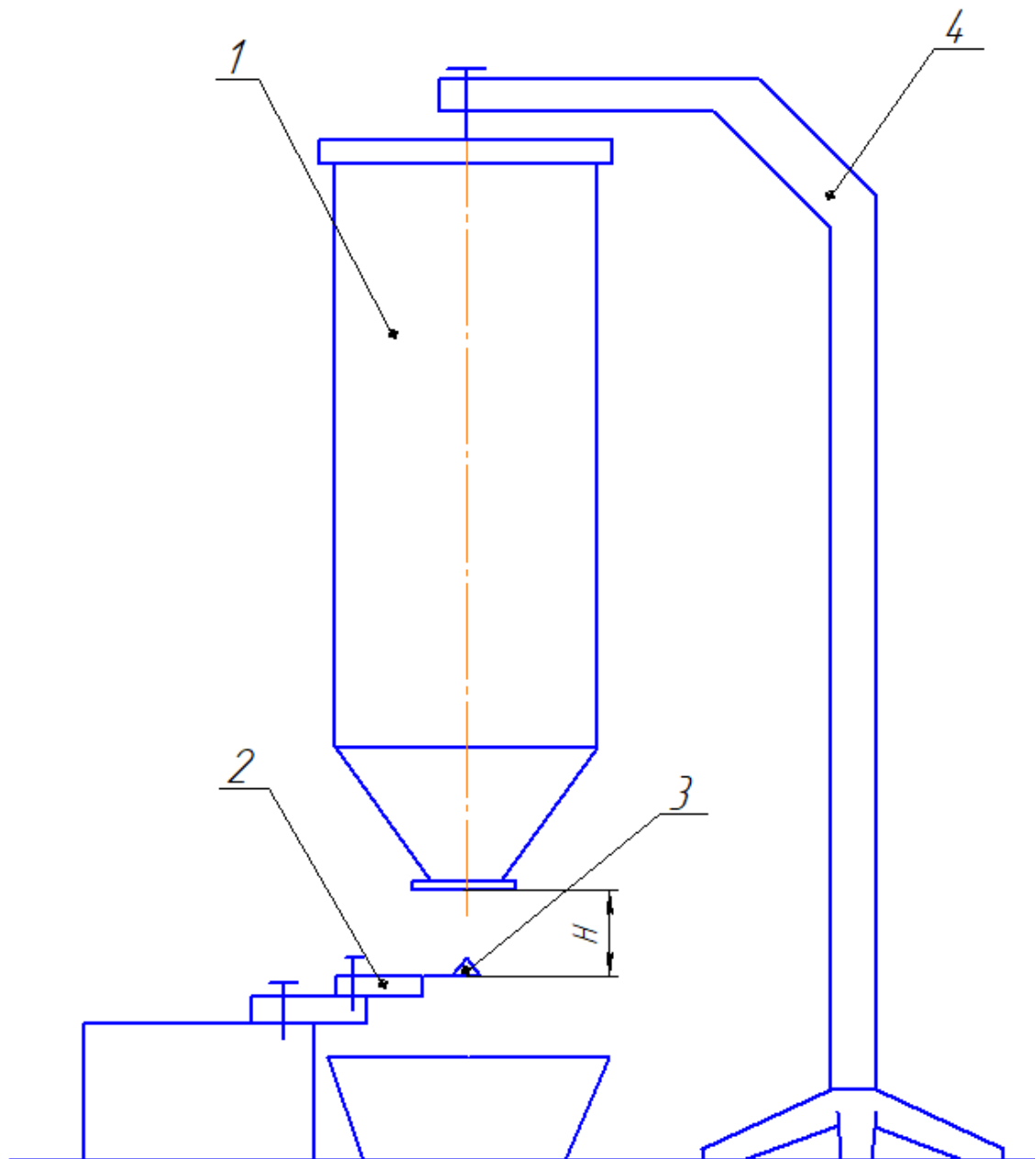


Рисунок 5.1 – Схематичне зображення стенду для дослідження процесу взаємодії потоку сипкого матеріалу і тіла обтікання:

1 – бункер; 2 – ТВПС; 3 – тіло обтікання; 4 – кронштейн



Рисунок 5.2 – Стенд для дослідження взаємодії потоку сипкого матеріалу з тілом обтікання

Для роботи було обрано такі тіла обтікання як: балка, конус і диск. Вони були виготовленні з листу ДВП 4мм, і кріпилися до тензодатчика болтами, а конус і диск в свою чергу спочатку закріплювалися болтом до балки, а потім балка кріпилася до тензодатчика. Для кожного типу тіл обтікання було створено 3 різних з різними розмірами, що в сумі нам дало 9 різних тіл обтікань. Схематичне їх зображення з розмірами та фотографії тіл обтікання і способу закріплення на тензорезисторном вимірювальному перетворювачі можна побачити на рисунках 5.3 – 5.8.

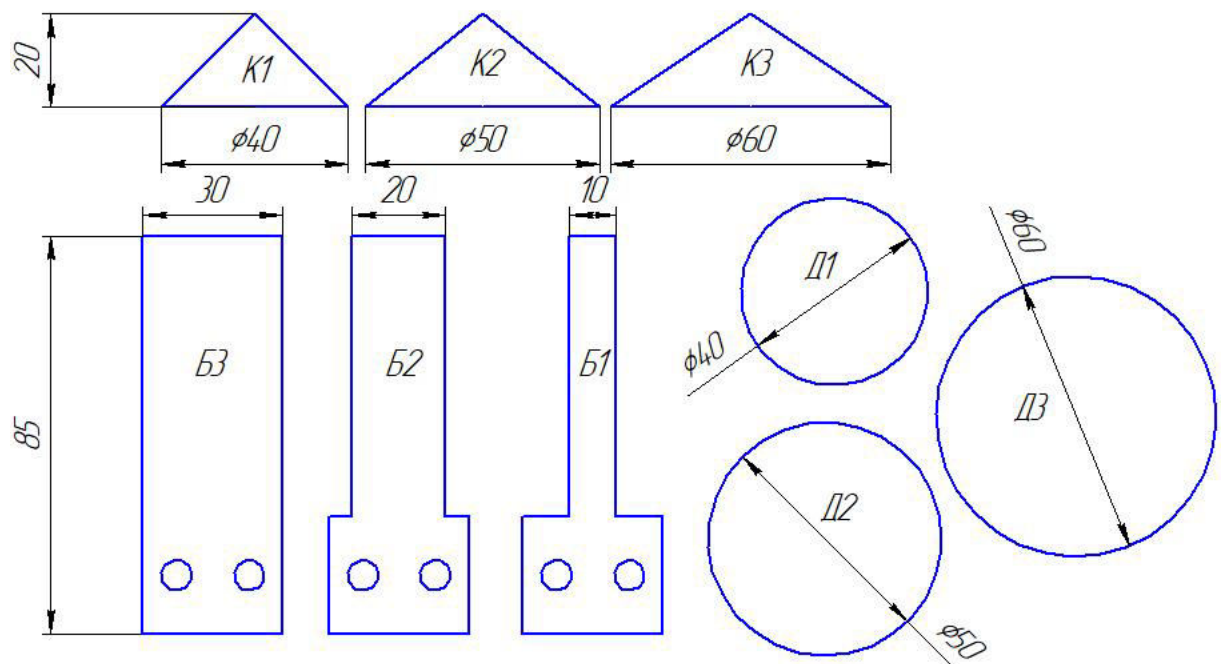


Рисунок 5.3 – Тіла обтікання і їх розміри



Рисунок 5.4 – Тіла обтікання – конуси

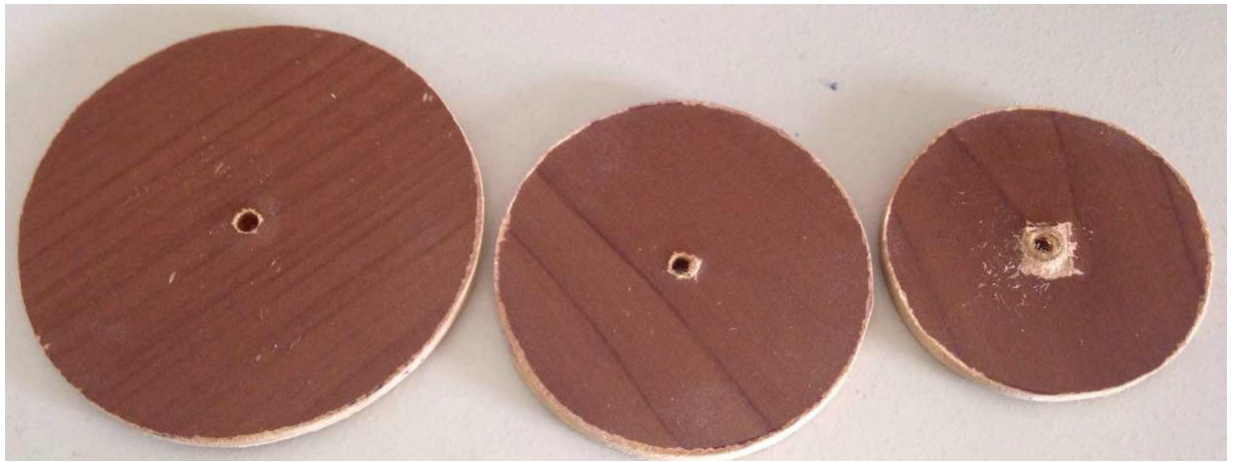


Рисунок 5.5 – Тіла обтікання – диски

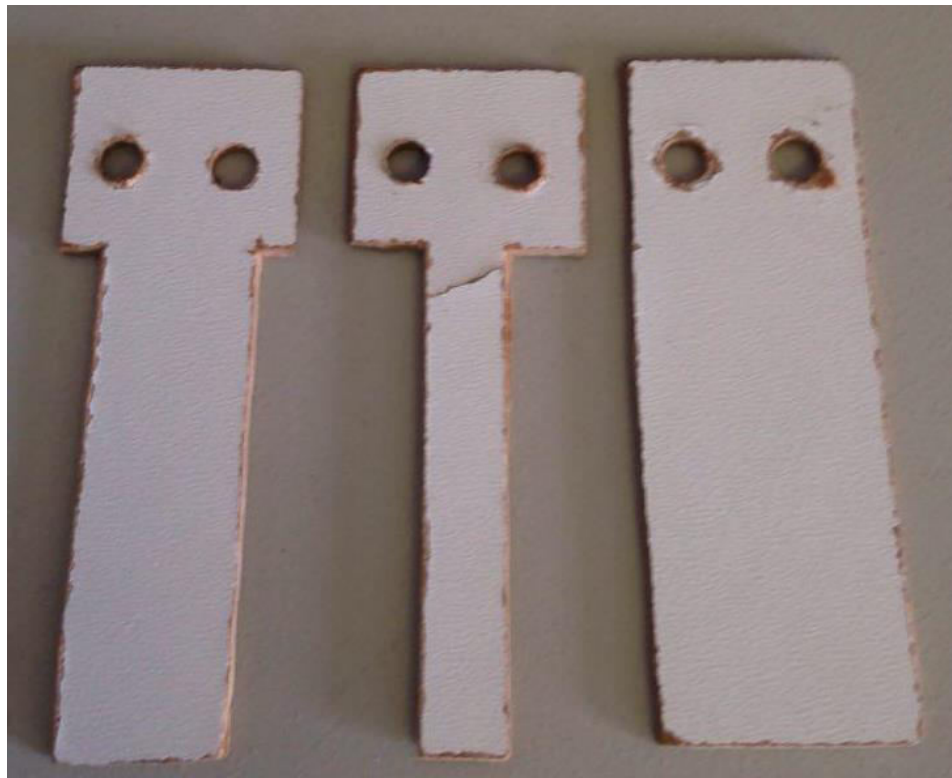


Рисунок 5.6 – Тіла обтікання – балки



Рисунок 5.7 – Приклад закріплення тіл обтікання на балці



Рисунок 5.8 – Закріплення тіла обтікання на тензодатчику

5.4. Результати експериментальних дослідження

Виміри проводилися при наступних умовах:

- сипучий матеріал - перлова крупа в кількості 5 кг. Характеристика вибраної крупи описана в розділі 4.3;
- діаметри отворі в діафрагмах - 54, 40, 32, 22.5 мм;
- тіла обтікання: балки Б1, Б2, Б3; конуса К1, К2, К3; диски Д1, Д2, Д3. Їх форми та розміри зображені на рисунку 5.3;
- відстані від нижньої поверхні мембрани до верхньої площини ТВПС - 180 мм (відстань Н на рисунку 5.1).

План проведення вимірювання представлені у вигляді таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. План проведення вимірів

<i>Тіла обтікання</i>	<i>Діаметр отворів в діафрагмах, мм</i>			
	<i>54</i>	<i>40</i>	<i>32</i>	<i>22,5</i>
Балка Б1	+	+	+	+
Балка Б2	+	+	+	+
Балка Б3	+	+	+	+
Диск Д1	+	+	+	+
Диск Д2	+	+	+	+
Диск Д3	+	+	+	+
Конус К1	+	+	+	+
Конус К2	+	+	+	+
Конус К3	+	+	+	+

Результати вимірювання фіксувалися і представлялися каналом вимірювання у вигляді таблиці числових значень і графіків. Фрагмент таблиці числових значень і один з графіків наведені відповідно в таблиці 5.2 і на рисунку 5.9.

Таблиця 5.2 – Фрагмент таблиці числових значень

t, с	F, г	t, с	F, г	t, с	F, г	t, с	F, г
2,3	64	3,03	66	3,7	68	4,55	66
2,31	64	3,05	66	3,73	68	4,58	66
2,33	64	3,08	66	3,84	3,75	68	4,61
2,34	64	3,09	66	3,87	3,77	4,59	4,64
2,37	64	3,11	66	3,89	3,8	68	4,66
2,39	64	3,13	66	3,91	3,81	68	4,67
2,41	64	3,16	66	4	3,83	68	4,69
2,42	64	3,17	64	4,02	68	4,72	66
2,45	64	3,19	64	4,03	68	4,73	64
2,47	64	3,2	66	4,05	68	4,75	66
2,48	66	3,23	66	4,08	70	4,77	66
2,52	64	3,25	64	4,09	68	4,8	66
2,53	66	3,27	64	4,11	68	4,81	66
2,55	66	3,3	64	4,14	68	4,83	66
2,56	66	3,31	64	4,16	68	4,86	68
2,59	66	3,33	64	4,17	68	4,87	66
2,61	68	3,34	64	4,19	68	4,89	66
2,63	68	3,37	66	4,22	68	4,91	66
2,66	66	3,39	64	4,23	68	4,94	66
2,67	66	3,41	64	4,25	68	4,95	66
2,69	66	3,44	66	4,27	68	4,97	66
2,7	68	3,45	66	4,3	68	5	68
2,73	68	3,47	66	4,31	68	5,02	68
2,75	66	3,48	66	4,33	68	5,03	66
2,77	66	3,52	66	4,36	68	5,05	68
2,8	66	3,53	66	4,38	68	5,08	66
2,81	66	3,55	66	4,39	68	5,09	66
2,83	66	3,58	66	4,41	68	5,17	66
2,84	66	3,59	66	4,44	68	5,2	66
2,94	66	3,61	66	4,45	68	5,22	66
2,95	66	3,62	66	4,47	66	5,23	64
2,97	66	3,66	68	4,5	66	5,25	64
2,98	66	3,67	68	4,52	66	5,28	64
3,02	66	3,69	68	4,53	66	5,3	64

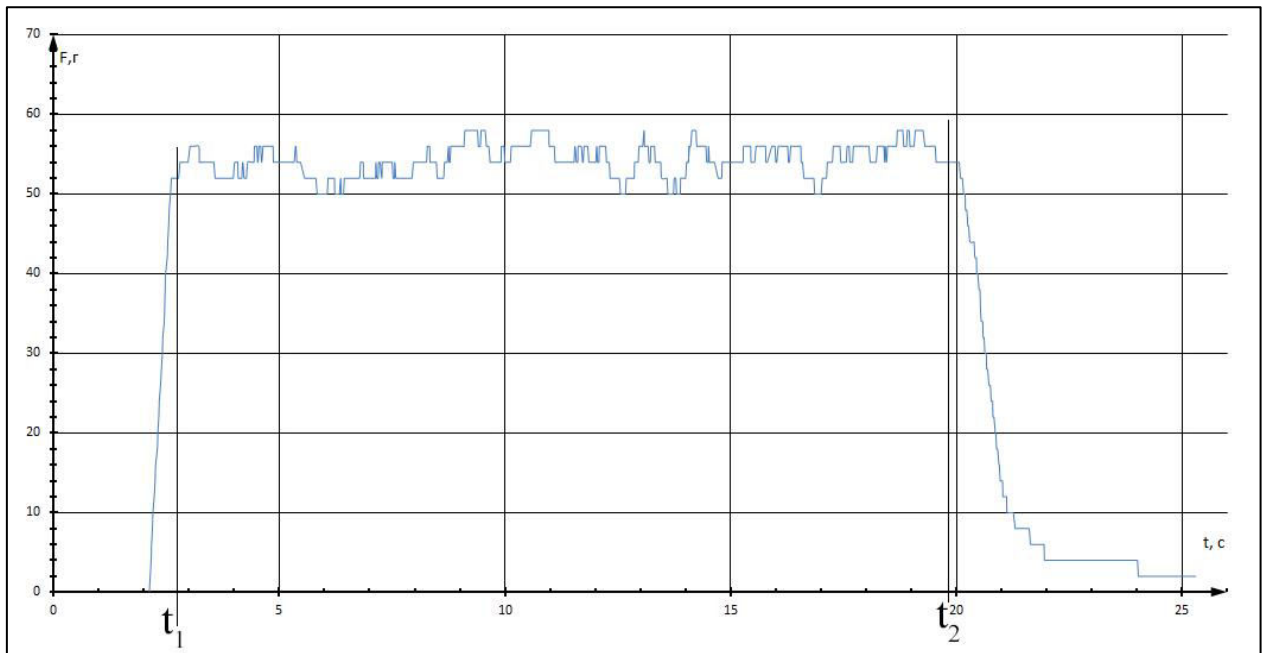


Рисунок 5.9 – Графік зміни діючої сили на тіло обтікання в часі

Найцікавіші для вивчення горизонтальні ділянки графіків. На рисунку 5.9 це діапазон від t_1 до t_2 . Для кожного з поєднань (діафрагма – тіло обтікання) з урахуванням всіх отриманих числових значень трьох вимірювань були визначені:

- середнє арифметичне значення сили, що діє на тіло обтікання:

$$F_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n} \quad (5.1)$$

- середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta F_i)^2}{n-1}} \quad (5.2)$$

- варіаційний коефіцієнт:

$$K = \pm \frac{100\sigma}{F_{cp}} \quad (5.3)$$

Отримані чисельні значення F_{cp} , σ , K для вивчених поєднань наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати розрахунків

Тіла обтікання	Діаметр діафрагма, мм	F _{ср.} , гс	σ, г	K, %
Балка Б1	22,5	10,33	1,32	12,78
	32	19,22	1,68	8,76
	40	35,25	1,53	4,33
	54	63,86	2,86	4,48
Балка Б3	22,5	15,02	1,84	12,22
	32	32,62	2,00	6,22
	40	53,75	2,33	4,33
	54	101,05	3,42	3,40
Диск Д1	22,5	16,16	1,69	10,47
	32	36,97	1,87	5,06
	40	60,16	2,68	4,46
	54	131,41	3,33	2,54
Диск Д3	22,5	18,31	1,87	10,15
	32	38,95	2,38	6,10
	40	70,63	3,30	4,67
	54	165,90	3,55	2,14
Конус К1	22,5	12,99	1,86	14,02
	32	25,84	1,73	6,70
	40	43,80	1,97	4,51
	54	93,86	3,13	3,33
Конус К3	22,5	13,19	1,40	10,61
	32	29,33	1,75	5,97
	40	51,58	2,17	4,20
	54	118,24	2,76	2,33

Наступник кроком в розрахунках є порівняти отримані результати F_{ср} з силою, що визначається за формулою:

$$F = S * \frac{\rho V^2}{2}, \quad (5.4)$$

де S – площа на яку діє потік сипкого матеріалу, м²;

ρ – густина сипкого матеріалу, кг/м³;

V – швидкість падіння, яка визначається за формулою 5.5, м/с.

$$V = \sqrt{2gH} \quad (5.5)$$

де, g – прискорення вільного падіння, м/с²;

H – відстані від нижньої поверхні мембрани до верхньої площини ТВПС (рис.5.1), м.

Результати показані в таблиці 5.3. С них видно що, розрахована сила дії на тіло обтікання відрізняється, від фактичної сили яку ми отримали внаслідок експерименту. Це можна пояснити тим, що густина сипкого матеріалу, в нашому випадку перлової крупи, в стані падіння відрізняється від густини в стані покою. Отже ми можемо з формули 5.4 виразити густину і розрахувати можливий діапазон значень для густини сипкого матеріалу при вільному падінні.

Таблиця 5.3 – Порівняння отриманих значень сил з розрахованими

Тіла обтікання	Діаметр діафрагми, мм	$S, \text{ м}^2$	$F_{\text{ср}}, \text{ гс}$	$F_{\text{фактичне}}, \text{ Н}$	$F_{\text{розраховане}}, \text{ Н}$
Балка Б1	22,5	0,000225	10,335	0,101	0,348
	32	0,00032	19,225	0,189	0,495
	40	0,0004	35,247	0,346	0,619
	54	0,00054	63,855	0,626	0,836
Балка Б2	22,5	0,00045	14,036	0,138	0,697
	32	0,00064	31,136	0,305	0,991
	40	0,0008	48,262	0,473	1,238
	54	0,00108	103,350	1,014	1,672
Балка Б3	22,5	0,00050625	15,017	0,147	0,784
	32	0,00096	32,624	0,320	1,486
	40	0,0012	53,748	0,527	1,857
	54	0,00162	101,046	0,991	2,508
Диск Д1	22,5	0,000397406	15,530	0,152	0,615
	32	0,00080384	36,975	0,363	1,244
	40	0,001256	63,213	0,620	1,944
	54	0,001256	131,406	1,289	1,944
Диск Д2	22,5	0,000397406	14,958	0,147	0,615
	32	0,00080384	37,189	0,365	1,244
	40	0,001256	67,414	0,661	1,944
	54	0,0019625	150,745	1,478	3,038

Продовження таблиці 5.3.

Тіла обтікання	Діаметр діафрагми, мм	$S, \text{ м}^2$	$F_{\text{ср}}, \text{ гс}$	$F_{\text{фактичне}}, \text{ Н}$	$F_{\text{розраховане}}, \text{ Н}$
Диск ДЗ	22,5	0,0003974 06	18,313	0,180	0,615
	32	0,0008038 4	38,954	0,382	1,244
	40	0,001256	70,626	0,693	1,944
	54	0,0022890 6	165,89 9	1,627	3,543
Конус К1	22,5	0,0003974 06	12,992	0,127	0,615
	32	0,0008038 4	25,843	0,253	1,244
	40	0,001256	43,803	0,430	1,944
	54	0,001256	93,858	0,920	1,944
Конус К2	22,5	0,0003974 06	10,969	0,108	0,615
	32	0,0008038 4	24,082	0,236	1,244
	40	0,001256	42,911	0,421	1,944
	54	0,0019625 8	101,23 8	0,993	3,038
Конус К3	22,5	0,0003974 06	13,192	0,129	0,615
	32	0,0008038 4	29,332	0,288	1,244
	40	0,001256	51,583	0,506	1,944
	54	0,0022890 6	118,24 5	1,160	3,543

Площа з формули 5.4 – це та площа на яку діє сипкий матеріал при вільному падіння на тіло обтікання, більш наглядно показано на рисунку 5.10.

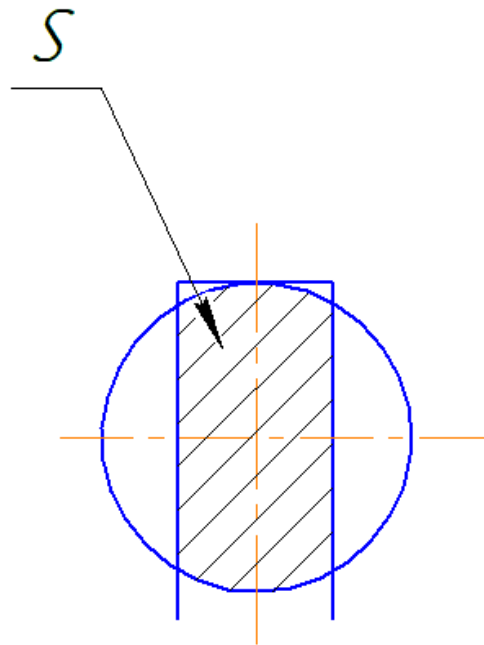


Рисунок 5.10 – Площа дії сипкого матеріалу на тіло обтікання, на прикладі балки

Формула для розрахунку густини з формули 5.4:

$$\rho = \frac{2F}{SV^2}, \quad (5.5)$$

Отже отриманий результат діапазону значень представлено в таблиці 5.4. З цього результату видно, що при збільшенні діаметру діафрагми витoku потоку сипкого матеріалу, збільшується густина.

Таблиця 5.4 - Діапазон значень густини при вільному падінні, для різних діаметрів витoku

Діаметр діафрагми, мм	ρ , кг/м ²
22,5	145,36 – 242,69
32	157,78 – 316,41
40	179,94 – 464,09
54	271,69 – 622,79

Як і з дослідженням процесу витoku сипкого матеріалу, в цій частині проводити подальші розрахунки будемо з допомогою методу найменших квадратів. Але в цей раз оцінку стандартних відхилень будемо проводити по іншому. Отже скористаємося формулою:

$$y_i = \beta x_i + \alpha, \quad (5.6)$$

де x_i і y_i – результати i -го виміру величин x і y ;

α і β – шукані величини [22].

Позначимо A і B оцінки величин α і β , які є випадковими величинами. Обмежимося розглядом випадку, коли x і y вимірюючи безпосередньо вага пари значень рівноймовірно [22].

Геометрична задача вимірювання α і β складається з визначення параметрів деякої прямої: значення ординати при нульовому значенні абсциси і тангенса кута нахилу відповідно [22].

Оцінка B_1 і оцінка A може бути представлена у вигляді:

$$B_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}, \quad (5.7)$$

$$A = \bar{y} - B \bar{x}, \quad (5.8)$$

де

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (5.8)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (5.9)$$

Оцінка стандартного відхилення коефіцієнта B_1 виражається наступним чином:

$$S_{b_1} = \frac{S_y}{S_x} \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}, \quad (5.10)$$

де

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (5.11)$$

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (5.12)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{(n-1)S_x S_y}, \quad (5.13)$$

Оцінка стандартного відхилення коефіцієнта B_1 [23] виражається наступним чином:

$$S_{b_0}^2 = \frac{n S_u^2}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}, \quad (5.14)$$

де

$$S_u^2 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n-2} - \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n(n-2)} - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i - n \sum_{i=1}^n x_i y_i)^2}{n(n-2)(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2)} \quad (5.15)$$

Інтервал в якому з встановленою випадковістю α може знаходитися коефіцієнт α , β , записується у вигляді:

$$B_0 - t_{\alpha, n-2} S_{B_0} \leq \beta \leq B_0 + t_{\alpha, n-2} S_{B_0}, \quad (5.16)$$

$$B_1 - t_{\alpha, n-2} S_{B_1} \leq \alpha \leq B_1 + t_{\alpha, n-2} S_{B_1} \quad (5.17)$$

$$B_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (5.18)$$

$$B_0 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (5.19)$$

де B – визначається по формулі 5.7, або по формулі 5.18;

S_{B_1} – визначається по формулі 5.10;

S_{B_1} – визначається по формулі 5.14;

$t_{\alpha, n-2}$ – коефіцієнт Стюдента для надійності α і значення параметра $n - 2$;

n – число пар точок.

Також визначимо вибіркового коефіцієнта кореляції. Статистична оцінка для коефіцієнта кореляції визначається по формулі:

$$r(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (5.20)$$

Коефіцієнт кореляції володіє наступними властивостями:

1. Абсолютна величина коефіцієнту кореляції не більше одиниці.
2. Якщо дві величини X і Y незалежні, тоді коефіцієнт кореляції дорівнює нулю.
3. Якщо коефіцієнт кореляції не дорівнює нулю, тоді він своєю величиною показує не тільки наявність, але і на силу статистичного лінійного зв'язку між X і Y . Чим більше абсолютна величина $r(X, Y)$, тим сильніше кореляція між X і Y .

Особливо велика інформаційна цінність r , коли з якої – небудь теоретичних міркувань раніше відомо, що величина X і Y лінійно залежна, тобто рівняння регресії лінійне:

$$Y = aX + b, \quad (5.21)$$

Згладжування екстремальних даних методом найменших квадратів:

$$f(x) = ax + b, \quad (5.22)$$

$$a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i, \quad (5.23)$$

$$a \sum_{i=1}^n x_i + bn = \sum_{i=1}^n y_i, \quad (5.24)$$

Коефіцієнт кореляції для різних тіл обтікання при залежності сили дії потоку сипкого матеріалу до розміру тіла обтікання представлено в таблиці 5.5

Таблиця 5.5 – Коефіцієнт кореляції

Тіло обтікання	Діаметр витоку, мм	r
Балка	22,5	0,915
	32	0,868
	40	0,972
	54	0,835
Диск	22,5	0,666
	32	0,785
	40	0,992
	54	0,995
Конус	22,5	0,065
	32	0,641
	40	0,742
	54	0,965

Для кожного з тіл обтікання з різними діафрагмами були побудовані залежності по формули 5.1, які представлені в таблиці 5.8 Також для значень α , β в рівняннях були розраховані інтервали стандартних відхилень. Ці значення представлені в таблиці 5.7.

Стандартні відхилення за формулами 4.10 – 4.14 представлені в таблиці 5.6.

На рисунках 5.11 – 5.16 зображені динаміка зміни сили дії потоку СМ на різні тіла обтікання при діаметру витоку 22,5 мм і 54 мм. А при 32 мм і 40 мм графіки представлені в Додатку А.

Наступник кроком був побудований графік залежності сили дії на тіло обтікання до витрати (в залежності від діафрагми) для різних видів тіл обтікання, він показаний на рисунку 5.23.

Таблиця 5.6. Стандартні відхилення

Тіло обтікання	Діаметр витоку, мм	S	Sa ₀	Sa ₁	Δa ₀	Δa ₁
Балка	22,5	2,526	2,227	0,034	5,123	0,079
	32	9,367	8,261	0,127	19,000	0,293
	40	5,519	4,867	0,075	11,194	0,173
	54	29,969	26,430	0,408	60,789	0,938
Диск	22,5	3,812	7,885	0,052	18,135	0,119
	32	1,910	3,950	0,026	9,086	0,060
	40	1,128	2,333	0,015	5,366	0,035
	54	4,287	8,866	0,058	20,393	0,134
Конус	22,5	3,746	7,748	0,051	17,821	0,117
	32	5,116	10,581	0,070	24,336	0,160
	40	8,600	17,788	0,117	40,911	0,269
	54	8,059	16,668	0,110	38,335	0,252

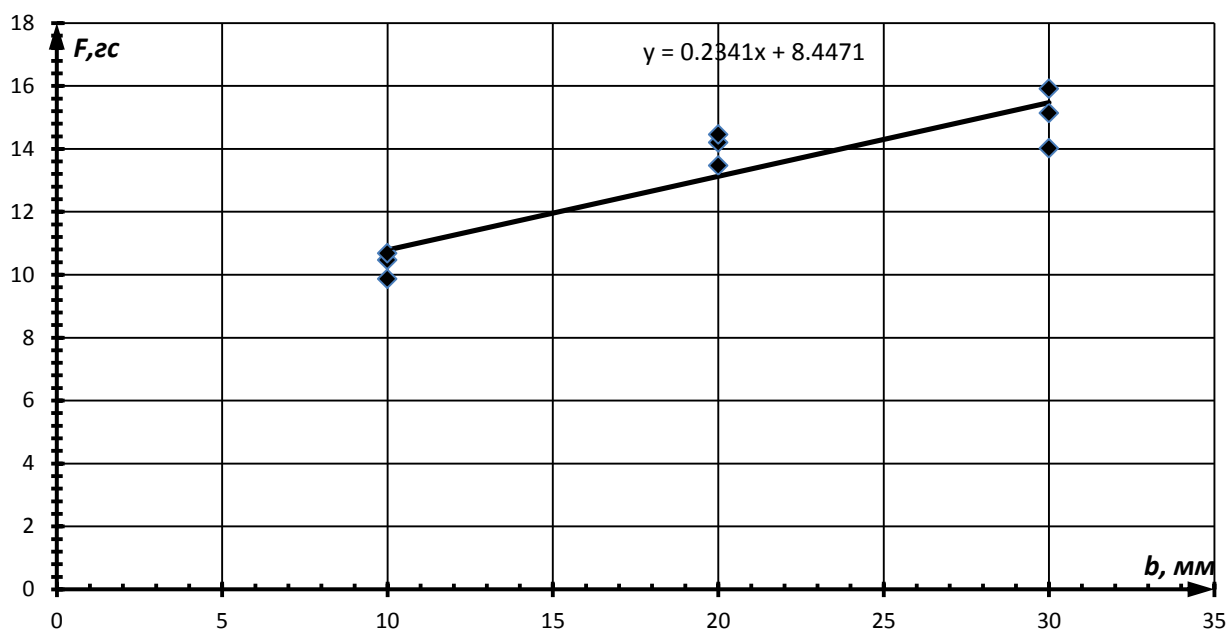


Рисунок 5.11 – Графік залежності сили від розміру балки з використанням діафрагми 22,5 мм

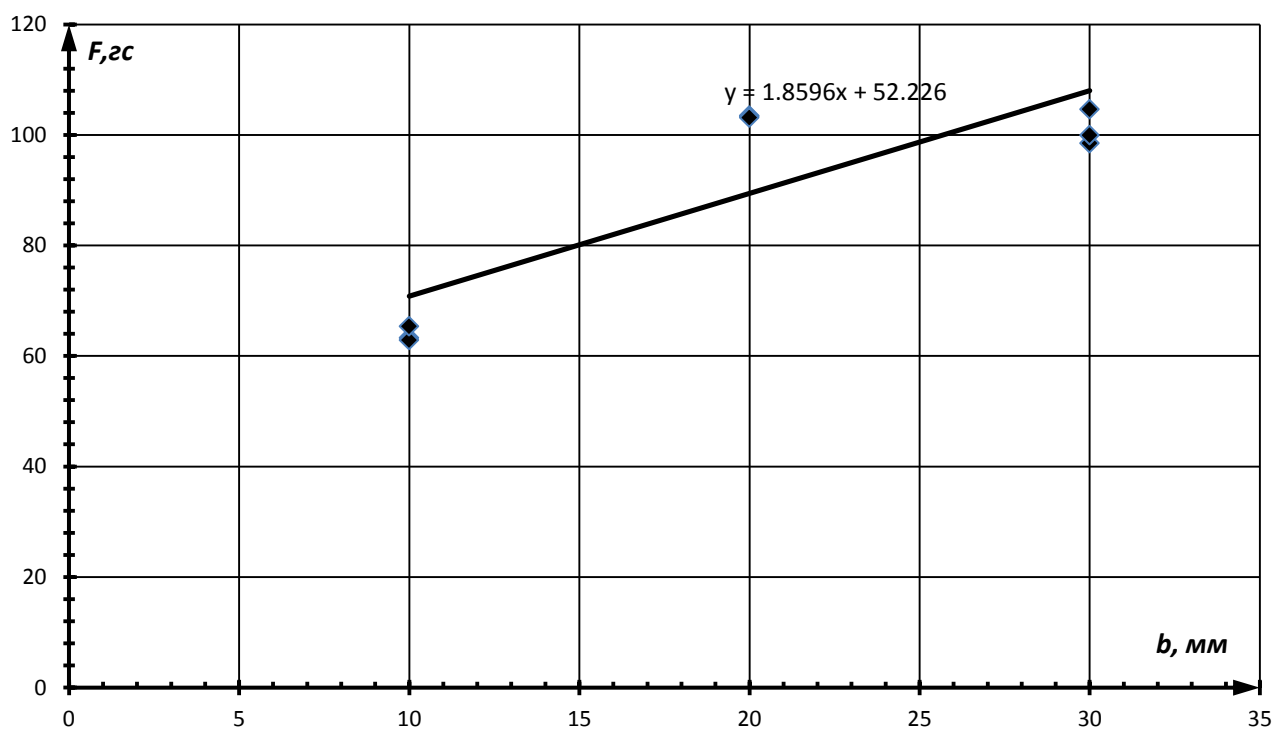


Рисунок 5.12 – Графік залежності сили від розміру балки з використанням діафрагми 54 мм

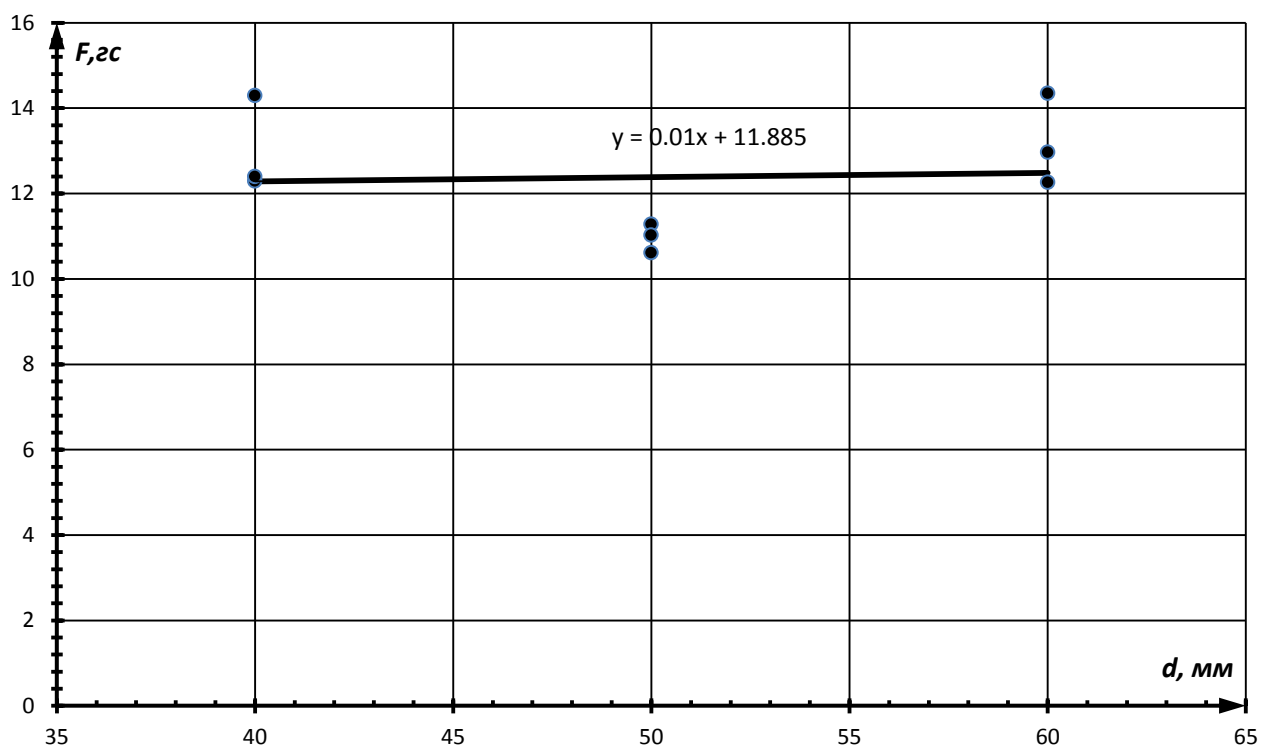


Рисунок 5.13 – Графік залежності сили від розміру конуса з використанням діафрагми 22,5 мм

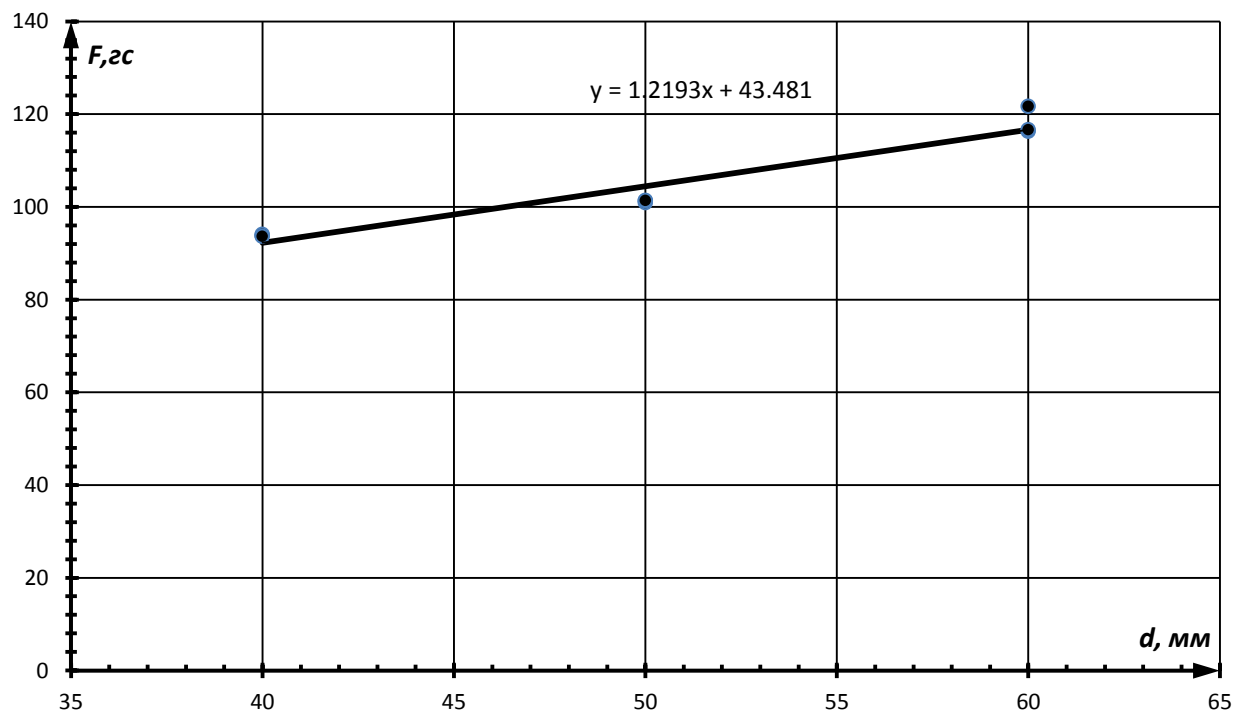


Рисунок 5.14 – Графік залежності сили від розміру конуса з використанням діафрагми 54 мм

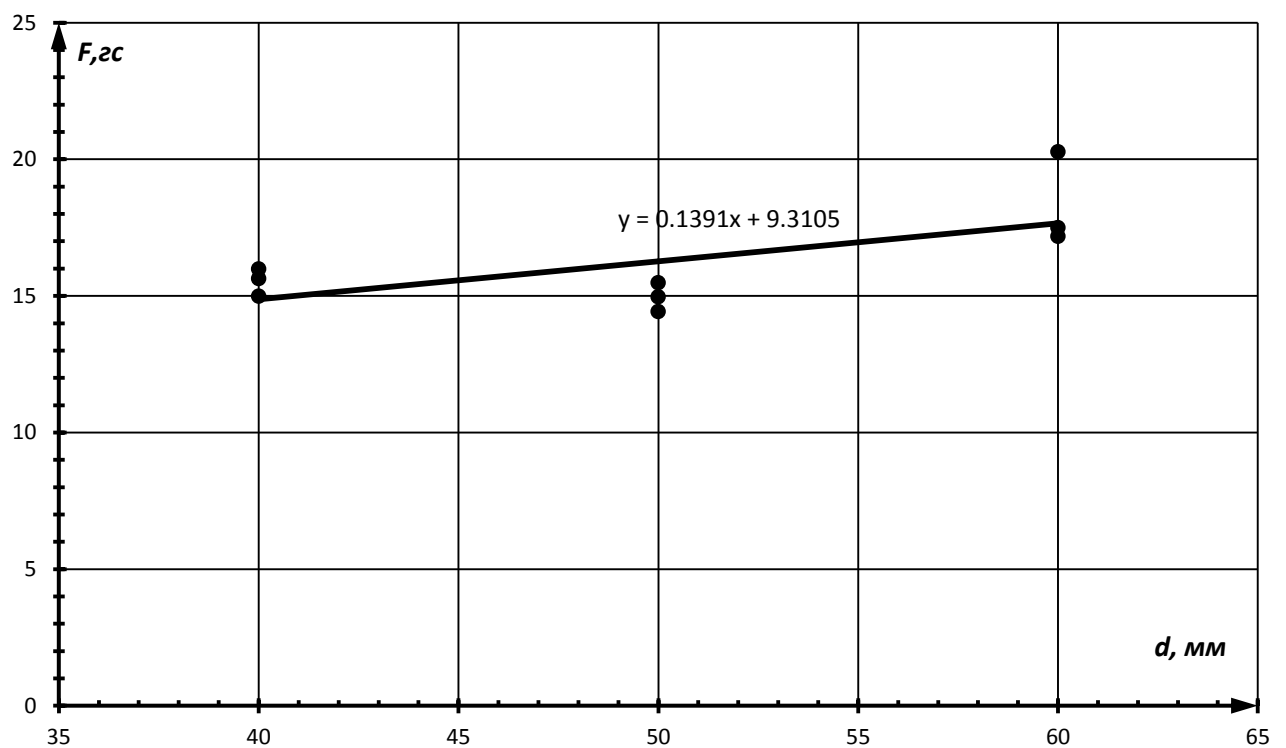


Рисунок 5.15 – Графік залежності сили від розміру диску з використанням діафрагми 22,5 мм

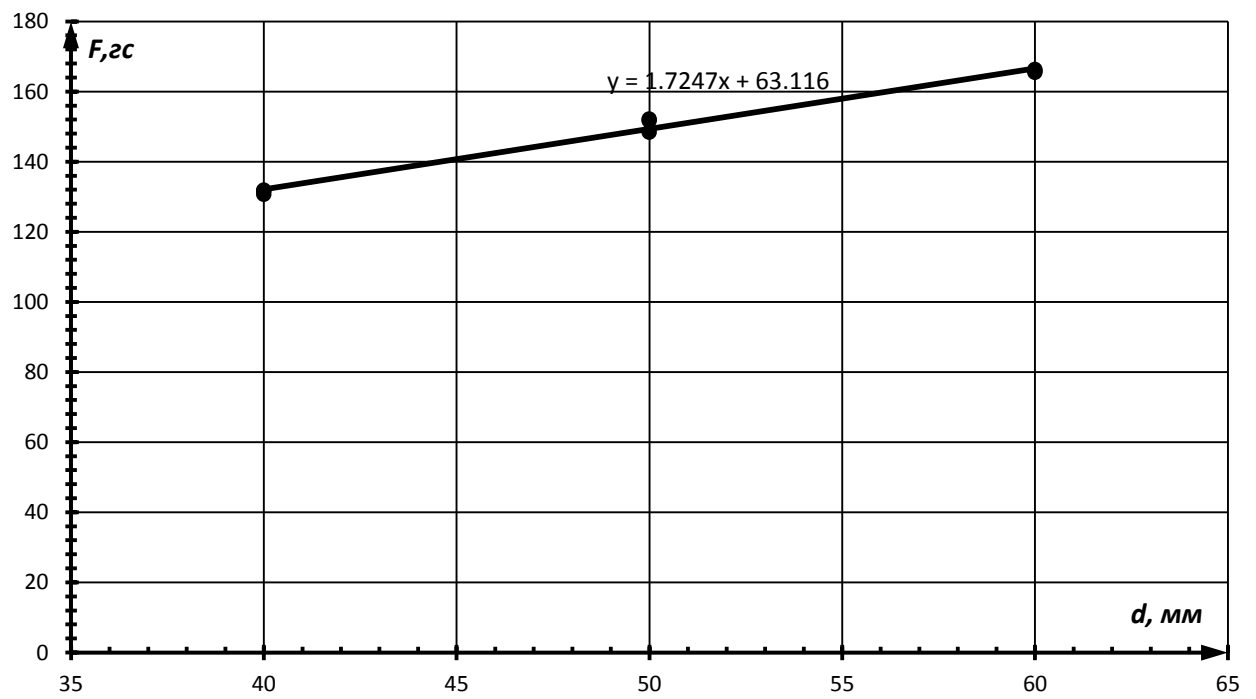


Рисунок 5.16 – Графік залежності сили від розміру диску з використанням діафрагми 40 мм

Таблиця 5.7. Результати розрахунків

Тіло обтікання	Діаметр витоку, мм	Sy	Sx	Su ²	SB0	SB1	B0	B1
Балка	22,5	2,2153	8,6603	0,9113	0,8419	0,0390	8,4471	0,2341
	32	6,6806	8,6603	12,5338	3,1223	0,1445	14,2623	0,6700
	40	8,2455	8,6603	4,3506	1,8395	0,0852	27,2512	0,9251
	54	19,2773	8,6603	128,3062	9,9897	0,4624	52,2262	1,8596
Диск	22,5	1,8079	8,6603	2,0761	2,9802	0,0588	9,3105	0,1391
	32	1,0910	8,6603	0,5211	1,4931	0,0295	32,7584	0,0989
	40	3,2346	8,6603	0,1818	0,8819	0,0174	48,5520	0,3706
	54	15,0129	8,6603	2,6254	3,3512	0,0661	63,1160	1,7247
Конус	22,5	1,3273	8,6603	2,0049	2,9286	0,0578	11,8846	0,0100
	32	2,3567	8,6603	3,7389	3,9993	0,0789	17,6965	0,1744
	40	4,5380	8,6603	10,5661	6,7231	0,1327	26,6496	0,3890
	54	10,9372	8,6603	9,2774	6,2997	0,1243	43,4809	1,2193

Таблиця 5.8 Рівняння аналітичної залежності і інтервал відхилення

Тіло обтікання	Діаметр витоку, мм	Рівняння	β	α
Балка	22,5	$y = 0,234x + 8,447$	$6,427 < \beta < 10,468$	$0,141 < \alpha < 0,328$
	32	$y = 0,67x + 14,262$	$6,769 < \beta < 21,756$	$0,323 < \alpha < 1,017$
	40	$y = 0,925x + 27,251$	$22,836 < \beta < 31,666$	$0,721 < \alpha < 1,129$
	54	$y = 1,86x + 52,226$	$28,251 < \beta < 76,201$	$0,75 < \alpha < 2,969$
Диск	22,5	$y = 0,139x + 9,311$	$2,158 < \beta < 16,463$	$-0,002 < \alpha < 0,28$
	32	$y = 0,099x + 32,758$	$29,175 < \beta < 36,342$	$0,028 < \alpha < 0,17$
	40	$y = 0,371x + 48,552$	$46,436 < \beta < 50,668$	$0,329 < \alpha < 0,412$
	54	$y = 1,725x + 63,116$	$55,073 < \beta < 71,159$	$1,566 < \alpha < 1,883$
Конус	22,5	$y = 0,01x + 11,885$	$4,856 < \beta < 18,913$	$-0,129 < \alpha < 0,149$
	32	$y = 0,174x + 17,696$	$8,098 < \beta < 27,295$	$-0,015 < \alpha < 0,364$
	40	$y = 0,389x + 26,65$	$10,514 < \beta < 42,785$	$0,071 < \alpha < 0,707$
	54	$y = 1,219x + 43,481$	$28,362 < \beta < 58,6$	$0,921 < \alpha < 1,518$

Також була побудована залежність сили дії потоку сипкого матеріалу на тіло обтікання до масової витрати, яка залежить від отвору витоку. Так, як і в попередньому випадку, були розраховані стандартні відхилення за формулами 4.10 – 4.14 (таблиця 5.10) , побудовані графіки за рівняння залежностей по формулі 5.6 (рис.5.17 – 5.22) і проведені розрахунки за формулами 5.6 – 5.19 (таблиця 5.11), також до них розраховані інтервал відхилень α і β (таблиця 5.12). Графіки залежності сили дії потоку СМ від масової витрати для Б2, Д2 і К2 представлені в додатку Б.

Так як і в попередньому випадку, був розрахований коефіцієнт кореляції, який показав кращі значення, чим в випадку в залежності сили дії потоку СМ до розмірів тіл обтікання. Коефіцієнт кореляції представлений в таблиці 5.9.

Таблиця 5.9. Коефіцієнт кореляції

Тіло обтікання	Розмір	r
Балка	10	0,9928
	20	0,9984
	30	0,9927
Диск	40	0,9980
	50	0,9993
	60	0,9999
Конус	40	0,9986
	50	0,9999
	60	0,9992

Таблиця 5.10. Стандартні відхилення

Тіло обтікання	Розмір	S	S _{a0}	S _{a1}	Δa_0	Δa_1
Балка	10	8,4733	3,8398	0,0030	8,8316	0,0069
	20	6,4756	2,9345	0,0023	6,7494	0,0053
	30	13,4748	6,1064	0,0048	14,0447	0,0110
Диск	40	9,4726	4,2927	0,0034	9,8732	0,0078
	50	6,4846	2,9386	0,0023	6,7588	0,0053
	60	2,8635	1,2977	0,0010	2,9846	0,0023
Конус	40	5,5995	2,5375	0,0020	5,8363	0,0046
	50	1,4330	0,6494	0,0005	1,4936	0,0012
	60	5,4912	2,4884	0,0020	5,7234	0,0045

Таблиця 5.11. Результати розрахунків

Тіло обтікання	Розмір	S _y	S _x	Su ²	S _{B0}	S _{B1}	B ₀	B ₁
Балка	10	21,2724	244,4931	7,1797	1,2143	0,0033	7,6981	0,086
	20	35,0294	244,4931	4,1933	0,9280	0,0025	8,6748	0,143
	30	33,6842	244,4931	18,1571	1,9310	0,0053	11,8680	0,137
Диск	40	45,5424	244,4931	8,9731	1,3575	0,0037	9,1203	0,186
	50	53,7985	244,4931	4,2049	0,9293	0,0025	5,2875	0,220
	60	59,0550	244,4931	0,8200	0,4104	0,0011	5,0353	0,242
Конус	40	32,1288	244,4931	3,1355	0,8024	0,0022	6,9516	0,131
	50	36,0424	244,4931	0,2054	0,2054	0,0006	3,0449	0,147
	60	41,8211	244,4931	3,0154	0,7869	0,0021	4,6726	0,171

Таблиця 5.12. Рівняння аналітичної залежності і інтервал відхилення

Тіло обтікання	Розмір	Рівняння	β	α
Балка	10	$y = 0,086x + 7,698$	$4,905 < \beta < 10,491$	$0,079 < \alpha < 0,094$
	20	$y = 0,143x + 8,675$	$6,448 < \beta < 10,902$	$0,137 < \alpha < 0,149$
	30	$y = 0,137x + 11,868$	$7,234 < \beta < 16,502$	$0,124 < \alpha < 0,149$
Диск	40	$y = 0,186x + 9,12$	$5,998 < \beta < 12,242$	$0,177 < \alpha < 0,194$
	50	$y = 0,22x + 5,287$	$3,15 < \beta < 7,425$	$0,214 < \alpha < 0,226$
	60	$y = 0,242x + 5,035$	$4,092 < \beta < 5,979$	$0,239 < \alpha < 0,244$
Конус	40	$y = 0,131x + 6,952$	$5,106 < \beta < 8,797$	$0,126 < \alpha < 0,136$
	50	$y = 0,147x + 3,045$	$2,573 < \beta < 3,517$	$0,146 < \alpha < 0,149$
	60	$y = 0,171x + 4,673$	$2,863 < \beta < 6,483$	$0,166 < \alpha < 0,176$

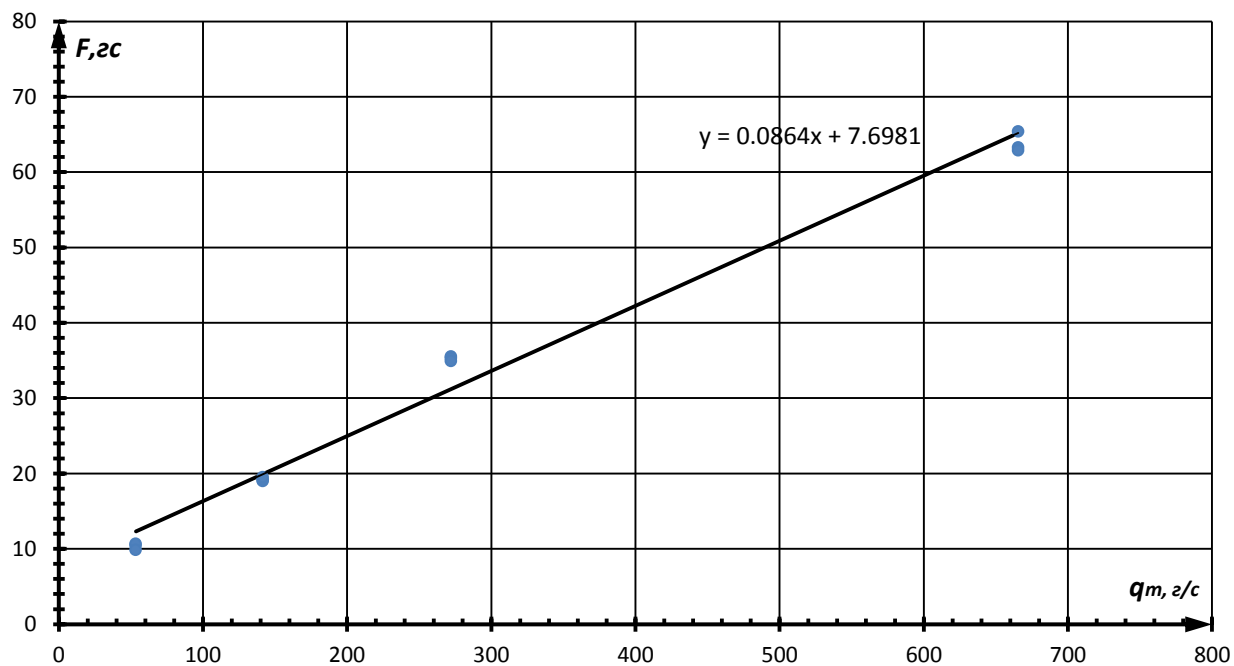


Рисунок 5.17 Графік залежності сили від масової витрати СМ для балки Б1

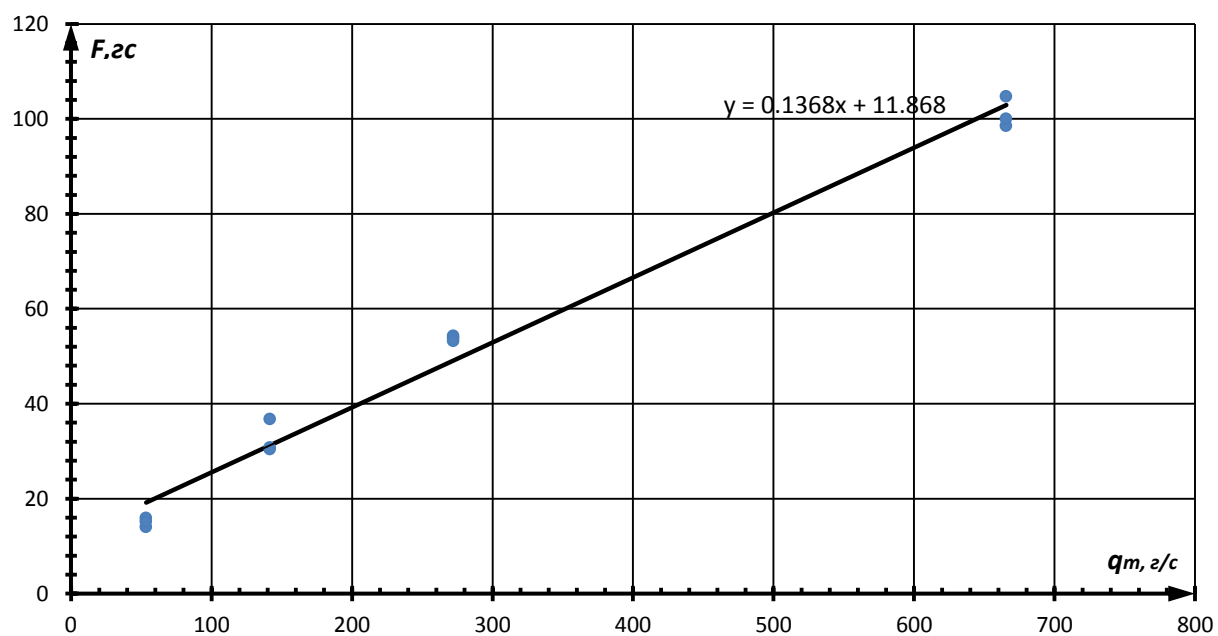


Рисунок 5.18 Графік залежності сили від масової витрати СМ для балки Б3

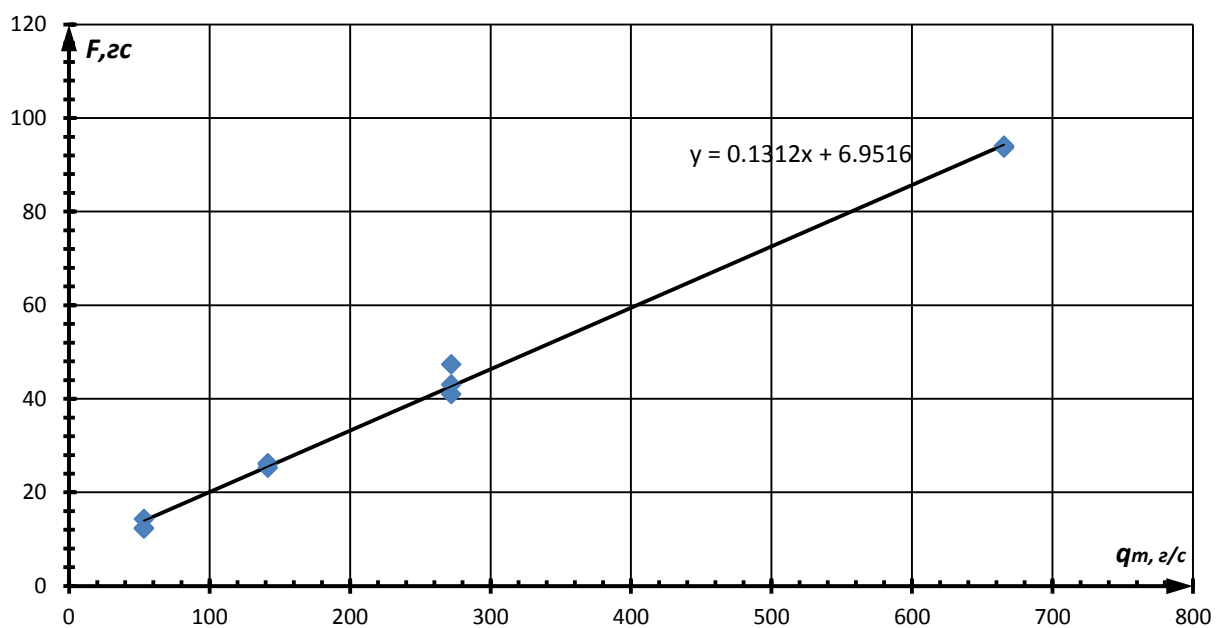


Рисунок 5.19 Графік залежності сили від масової витрати СМ для конуса К1

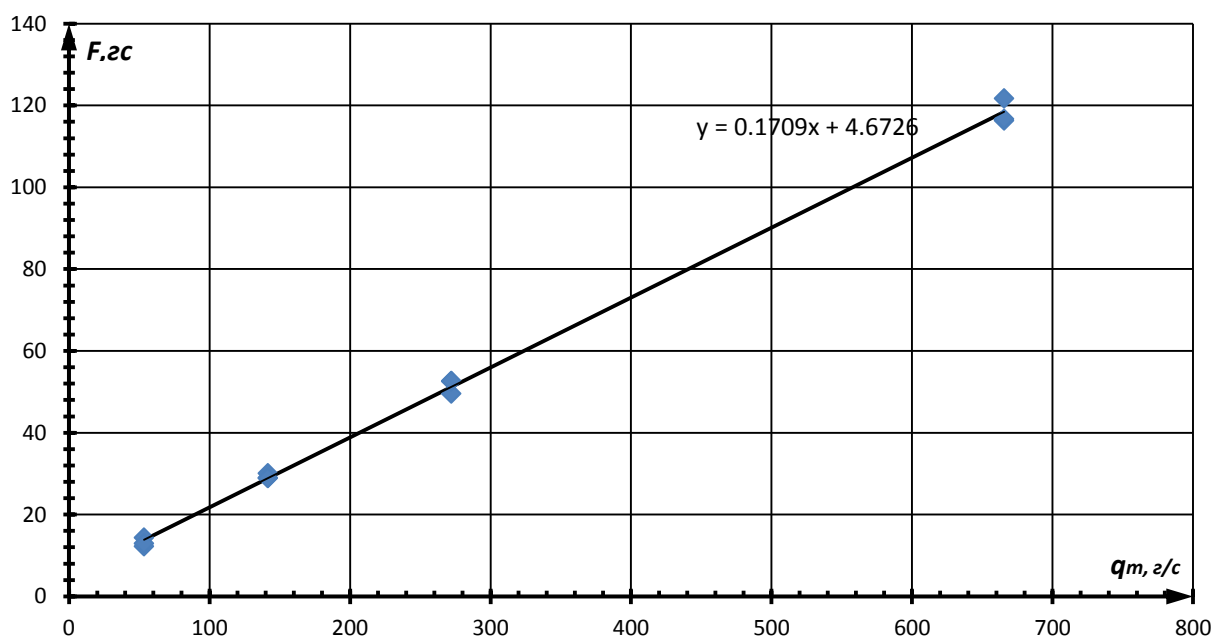


Рисунок 5.20 Графік залежності сили від масової витрати СМ для конуса К3

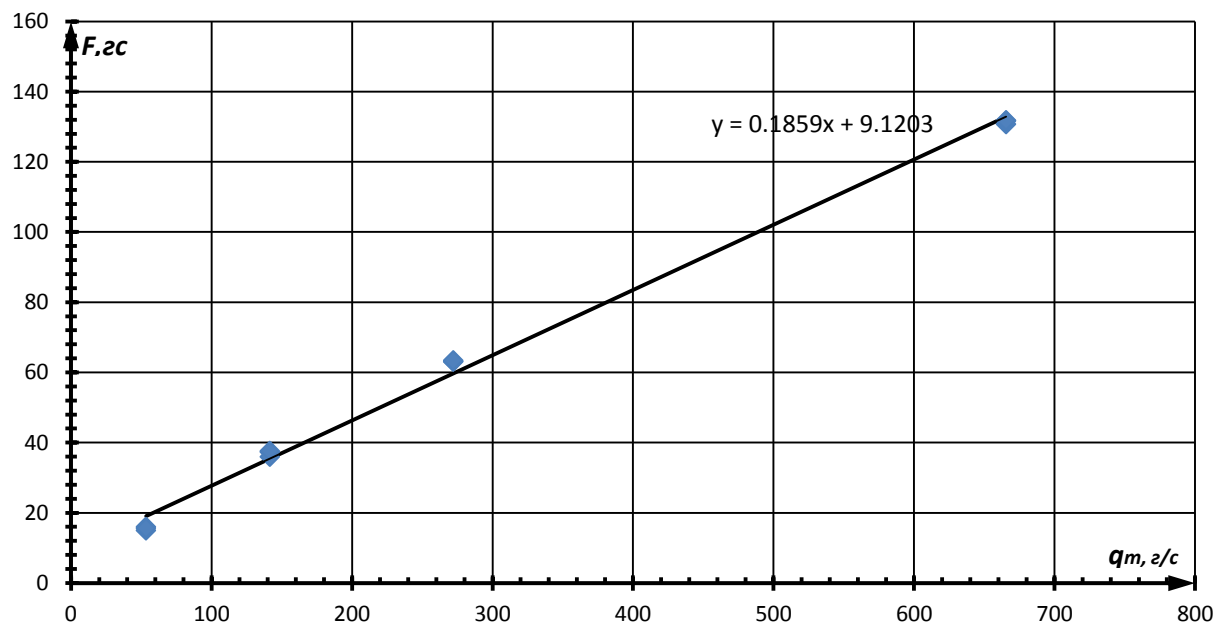


Рисунок 5.21 Графік залежності сили від масової витрати СМ для диску Д1

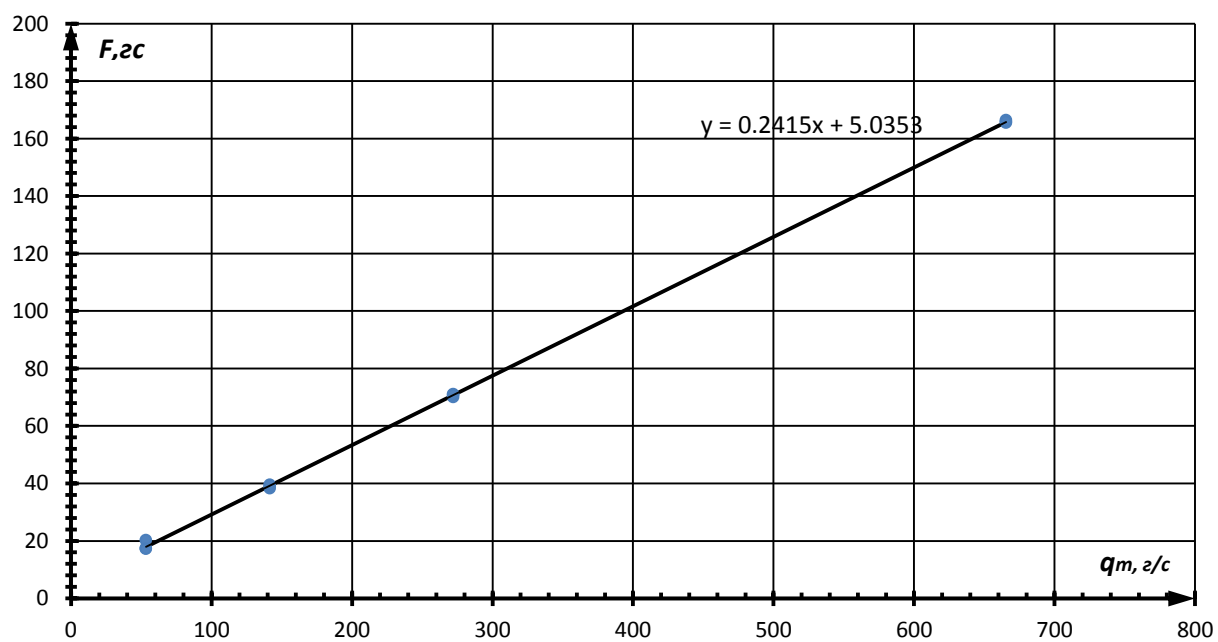


Рисунок 5.22 Графік залежності сили від масової витрати СМ для диску Д3

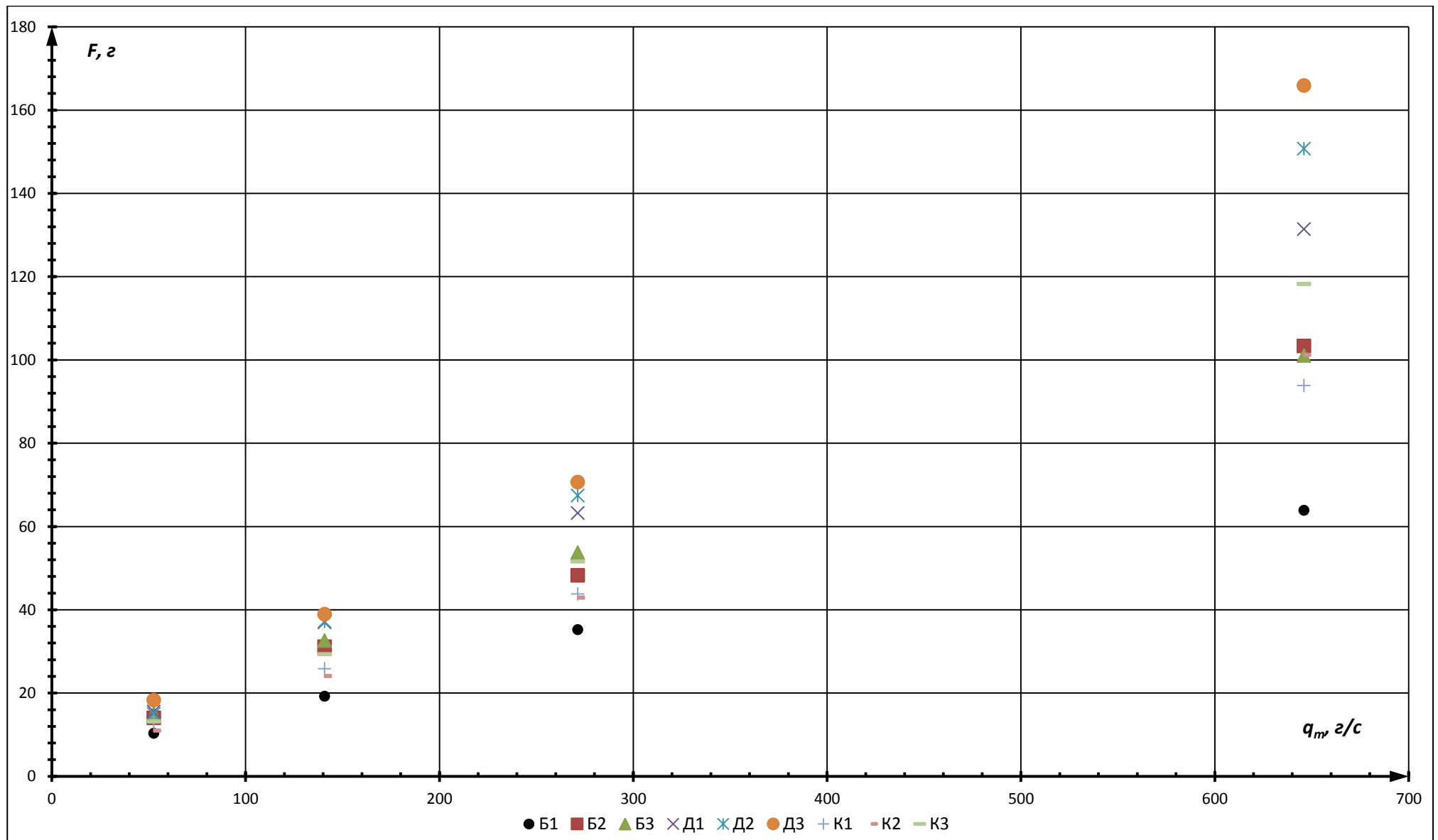


Рисунок 5.23 – Графік залежності витрати від сили дії для різних тіл обтікання

Висновок до розділу 5

Експериментальні дослідження по визначенню параметрів взаємодії потоку сипкого матеріалу та твердого тіла показали:

- сила, з якою потік сипкого матеріалу діє на тверде тіло, може розглядатися як інформативний параметр, що визначає масову витрату:
- діапазон, в межах якого визначені сили взаємодії, складає від 10,33 гс до 165,90 гс.
- всі отримані результати вимірювань оброблені методом найменших квадратів;
- отримані аналітичні залежності виду $q_m = a_0 + a_0 F$;
- визначена оцінка стандартних відхилень.

6. Розроблення стартап-проекту «Засіб вимірювання параметрів сипкого матеріалу»

6.1. Опис ідеї проекту

Засіб вимірювання параметрів сипкого матеріалу призначений для вимірювання параметрів сипкого матеріалу за допомогою дії сили сипкого матеріалу при вільному падінні на тіло обтікання. Цей прилад дає змогу визначати такі параметри як масову витрату і кількість сипкого матеріалу. В свою чергу це дає можливість на підприємствах робити коректне дозування сипкого матеріалу.

З напрямків застосування цього засобу ми виділили три основних, такі як сільське господарство, виробництво зернових продуктів і логістика (перевезення зернових вантажів). Також його можна використовувати наприклад для дозування кількості кофе на підприємствах яке запаковує зерна. Наш продукт відрізняється від аналогів тим що, в якості сипкого матеріалу ми можемо використовувати будь-який не залежно від форми і його ваги.

Таблиця 6.1 Опис ідеї стартап-проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Засіб вимірювання параметрів сипкого матеріалу	1. Сільське господарство	Визначення кількості видобутку зернових продуктів
	2. Виробництво зернових продуктів	Коректне дозування круп для виробництва продукту
	3. Логістика	Дозування кількості сипкого матеріалу для перевезення

Висновок: в таблиці наведені основні напрямки, де зараз може застосуватися цей прилад, такі як: сільське господарство, виробництво зернових продуктів, логістика. На нашу думку є можливість в майбутньому пошук нових напрямків застосування нашого продукту.

Таблиця 6.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик

№ n/ n	Техніко- економічні характерис- тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слаб- ка стор- она)	N (нейтрал- ьна сторона)	S (сильн- а сторо- на)
		Мій проект	Конкурент КСК Автоматиз- ація	Конку- рент SWR Engineer- ing	Конку- рент RHT system			
1.	Простота конструкції	+	+	+	+		+	
2.	Похибка вимірюванн- я, %	+	+	+	+		+	
3.	Гнучкість	+	-	-	-			+
4.	Швидкість вимірюванн- я	+	+	-	-			+
5.	Надійність	+	+	+	+		+	

Висновок: Наш товар має значні переваги, чим у аналогічних товарів конкурентів. Одним із найважливіших характеристик це гнучкість, що підрозуміває під собою вимірювання витрати та кількості будь-якого сипкого матеріалу, не залежно від його форми, ваги, густини і тд. Більшість основних техніко-економічних характеристик спостерігається і в конкурентах.

6.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 6.3 Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ n/n	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Збільшення швидкості вимірювання	Використання нових датчиків і оновлення програмного забезпечення	Наявна	Доступна
2	Використання будь-якого сипкого матеріалу	Виконується завдяки тіл обтікання	Необхідно розробити	Доступна

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Всі технології, які потрібно використовувати для створення нашого приладу є доступними і наявними, отже ідея створити можна. Частина ідеї спирається на нашу розробку вимірювання кількості сипкого матеріалу з використанням тіл обтікання. Були вже проведені як і теоретичні так і експериментальні дослідження.

6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 6.4 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Показники стану ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	6000000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає обмежень
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	33%

Висновки: по даній таблиці можна побачити, що ринок є зростаючим і з кожним попит на продукцію збільшується, а кількість головних гравців не багато, це свідчить про те, що за останні роки не появлялось продукту який мав новизну і спрощував процес визначення параметрів потоку сипких матеріалів. Рентабельність продукції дає змогу зрозуміти, що є можливим в швидкий термін погасити затратені кошти на реалізацію продукцію і отримати прибуток.

Таблиця 6.5 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1	Визначення кількості використаного сипкого матеріалу і коректне дозування його	Сільське господарство, виробництво зернової продукції, логістика	Різний вид сипкого матеріалу (кофе, зерно, мука і тд)	- надійність - швидка обробка даних - мала похибка вимірювання - дешевизна

Висновки: Група клієнтів формується потребою ринку, і багато галузей потребують надійні зі швидкою обробкою даних, дешевизною рішення для визначення кількості і дозування сипкого матеріалу. Групою клієнтів є сфери в яких використовується дозування і вимірювання кількості сипкого матеріалу, не залежно від форми і ваги його.

Таблиця 6.6 Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1.	Конкуренція	Конкуренти вже давно мають свій авторитет у споживачів	Покращення
2.	Стан в країні	При економічній кризі, такі сфери в який використовуватимися цей прилад можуть бути ліквідованими	Пропонувати свій продукт на зарубіжний ринок
3.	Собівартість	Підвищення ціни на комплектуючі	Пошук нових постачальників
4.	Якість	Погана якість зібраного приладу	Утилізація приладу
5.	Судові позови	Можливі позови по патенту	Прийом на роботу адвокатів

Висновки: Головною проблемою для підприємства є конкуренція, так як в цій сфері конкуренти вже давно сформовані, і роблять на протязі багатьох років. Собівартість виготовлення в них продукції на початковому етапі буде набагато менше чим у нас, так як кількість замовлень в них буде більше, і це прямо впливає на ціну виробництва приладу.

Таблиця 6.7 Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1.	Збільшення клієнтів	Наплив нових клієнтів які зацікавленні в купівлю	Збільшення кількості виробництва
2.	Знаходження нових сфер для збуту товару	Використання нашого приладу в тих сферах, які раніше не розглядали його як один із основних засобів вимірювання	Збільшення кількості виробництва, відкриття нових робочих груп
3.	Вихід на міжнародний ринок	Збільшення зацікавленості нашим продуктом закордонними підприємствами	Відкриття відділів продажу закордоном (можливо роботи по системі дистриб'юторів)
4.	Стати №1 на ринку	Можливість бути кращим на ринку	Збільшення кількості виробництва
5.	Закриття конкурентів	Ліквідація компаній основних конкурентів	Збільшення виробництва

Висновки: Головною можливістю якому ми можемо скористатися, є збільшення клієнтів завдяки зацікавленості новизною нашої технології. Також основною метою компанію, буде пошук інших сфер, в яких є можливість використовувати наш засіб, як основний.

Таблиця 6.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Вказати тип конкуренції - чиста	Не дуже багато постачальників на ринку	Аналіз ринку з подальшою інтеграцією рішень щодо вдосконалення мінусів конкурентів на своєму підприємстві

Продовження таблиці 6.8

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
2. За рівнем конкурентної боротьби - Міжнародна	Можливість отримання замовлень не тільки в локальній країні, але і за кордоном	Вихід на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою - міжгалузева	Можливість використовувати в різних галузях	Пропонувати на різні сфери діяльності впровадження даного продукту, і пошук нових галузей
4. Конкуренція за видами товарів: - Товарно-родова	Конкуренція між видами товарів, які виконують такі ж функції	Адаптація до ринку
5. За характером конкурентних переваг - цінова	Вартість і точність є одним із найважливіших пунктів у виборі товару у споживачів	Пошук резервів зниження собівартості продукції і при цьому збільшені якості
6. За інтенсивністю - марочна	Бренд на ринку відіграє дуже важливу роль, і споживачі орієнтуються на бренд	Реклама бренду

Висновки: На ринку не дуже багато є конкурентів, і зараз той час коли найкраще заходити на ринок. Можливий збір даних о конкурентах, о тих перевагах які вони надають своє продукцією і знаходження мінус які в них є. Це дасть змогу нам збільшити конкурентоспроможність нашою продукції.

Таблиця 6.9 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари-замінники</i>
<i>Складові аналізу</i>	КСК Автоматизація	SWR Engineering	I-ves, CZL	ДАК «Хліб України», Миронівський хлібопродукт	Zemic - tenzo
Висновки:	Конкуренція буде складною .	Строк виходу на ринок впродовж року, і він є не складним.	Постачальники не диктують умов.	Клієнти не диктують умови крім, якості і ціни.	Обмежень щодо товарів замінників не існує

Таблиця 6.10 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
1.	Ціноутворення	Завдяки використанню нової технології, зменшення кількості потрібних комплектуючих чим у конкурентах, і це зменшує собівартість продукції
2.	Простота конструкції	Простота конструкції виробу і простота у використанні
3.	Гнучкість	Можливість використання різного виду сипкого матеріалу

Висновки: Використання нової технології визначення параметрів потоку сипких матеріалів, дає велику перевагу над конкурентами, також простота у використанні і конструкції, і можливість використання різного виду сипкого матеріалу, дасть змогу закріпити себе на ринку.

Таблиця 6.11 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ n/n	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні КСК Автоматизація						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Ціноутворення	18			-1				
2	Простота конструкції	15					+1		
3	Гнучкість	20		-2					

Висновки: Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін показав, що конкуренти не можуть зрівнятися з нашими основними факторами конкурентоспроможності, такі ціноутворення і гнучкість у використання будь-якого сипкого матеріалу. Але у деяких конкурентів є приладі які просте у використанні чим наш.

Таблиця 6.12 SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. Простота конструкції 2. Похибка вимірювання 3. Гнучкість 4. Швидкість вимірювання 5. Надійність	Слабкі сторони: 1. Залежність від ціни постачальників обладнання 2. Залежні від економічного стану в країні
Можливості: 1. Збільшення клієнтів 2. Знаходження нових сфер для збуту товару 3. Вихід на міжнародний ринок 4. Стати №1 на ринку 5. Закриття конкурентів	Загрози: 1. Конкуренція 2. Стан в країні 3. Собівартість 4. Якість 5. Судові позови

Таблиця 6.13 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ n/n	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Максимізація власного виграшу (індивідуалізм)	Висока	1 рік

Продовження таблиці 6.13

<i>№ n/n</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
2	Максимізація відносного виграшу(суперництво)	Низька	24 місяця

Висновки: Альтернативна ринково впровадження було обрано індивідуалізм. Так, як за короткий термін, при високій ймовірності отримання ресурсів, ми зможемо розробити продукт, який по багатьом характеристикам буде набагато кращим чим у конкурентів.

6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 6.14 Вибір цільових груп потенційних споживачів

<i>№ n/n</i>	<i>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</i>	<i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i>	<i>Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)</i>	<i>Інтенсивність конкуренції в сегменті</i>	<i>Простота входу у сегмент</i>
1.	Сільське господарство	+	+	Середня	-
2.	Виробництво зернових продуктів	+	+	Середня	+
3.	Логістика	-	-	Низька	+
Які цільові групи обрано: Сільське господарство було обрана як основна цільова група, так як готовність споживачів прийняти цей продукт є високою і попит на них також високий. В майбутньому коли нашу продукцію оцінять логістичні компанії, тоді основною цільовою групою можуть стати вони, так як ми будемо там першовідкривачами.					

Таблиця 6.15 Визначення базової стратегії розвитку

<i>№ п/п</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
	Індивідуалізм	Стратегія сегментної спеціалізації	Використання розроблених нами технологій, покращення характеристик свого продукту	Стратегія диференціації

Висновки: Було обрано стратегію спеціалізації. Це дає змогу нам оцінити ринок, його побажання і втілити все це в своєму продукту. І подальше ми зможемо стати лідером на ринку з унікальним рішенням засобу вимірю кількості і витрати сипкого матеріалу.

Таблиця 6.16 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ п/п</i>	<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
	Ні, не є	Компанія буде шукати нові канали збуту продукції, і переманювати у конкурентів клієнтів	Ні, товар є унікальним	Наслідування лідеру

Висновок: На ринку вже є сформовані конкуренти зі схожими рішеннями, але наш продукт є доцільним до реалізації, так як пропонує унікальну технологію визначення параметрів потоку сипких матеріалів. Було обрано стратегію наслідування лідеру, так як на початкових етапах надіятися на отримання значної частини ринку не потрібно, і залучати всі можливі ресурси також не дасть потрібний результат, а ця стратегія розуміє під собою поступовий розвиток.

Таблиця 6.17 Визначення стратегії позиціонування

<i>№ n/n</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувані комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i>
1.	Надійність	Стратегія диференціації	Якість, надійність	Високий рівень надійності, гарантія
2.	Гнучкість	Стратегія диференціації	Можливість пошуку резервів збуту в нових галузях	Можливість використовувати різні види сипкого матеріалу

Висновки: Позиціонування себе на ринку буде проводитися завдяки пропонуванню рішення для визначення кількості і витрати сипкого матеріалу, з можливістю використовувати будь-який сипкий матеріал.

6.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 6.18 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
	Необхідність визначати витрати і кількість сипкого матеріалу	Дешевизна, простота конструкція, легка в користуванні, можливість використовувати будь який сипкий матеріал	У конкурентів пропонуючи рішення будуть дорожче коштувати. Для кожного із виду сипкого матеріалу потрібний різний вид приладу у конкурентів.

Висновки: Переваги зазначені вище, дадуть змогу знайти свого клієнта. Інші виробники не пропонують рішення, яке могло б використовувати любий сипкий матеріал для визначення параметрів.

Таблиця 6.19 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Засіб дає змогу вимірювати витрату і кількість будь-якого сипкого матеріалу(який не залежить від його форми и ваги).		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Швидкість роботи	М	Тх
	2. Точність вимірювання	М	Тх
	3. Ціна	Нм	Вр
	4. Надійність	М	Тх
	5. Гнучкість	М	Тл
	Якість: сертифікація для використання у сільському господарстві		
	Пакування: упаковка з картону		
Марка: GoLMaterials			
III. Товар із підкріпленням	До продажу: комплектація товару, доставка		
	Після продажу: гарантійне обслуговування, консультація		
Захист від копіювання і використання приладу буде проводиться за допомогою патентування технології і самого приладу.			

Висновки: В зазначеній вище інформації було узагальнена інформація про виріб, і основні його характеристики.

Таблиця 6.20 Визначення меж встановлення ціни

<i>№ n/n</i>	<i>Рівень цін на товари- замінники</i>	<i>Рівень цін на товари- аналоги</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i>
	1430 – 1650 у.о.	985 – 1150 у.о.	Від 8000 у.о до максимально можливого	2050 – 2450 у.о

Висновки: Була проаналізована ціна на комплектуючі, і обрані надійніші постачальники, з найкращими пропозиціями щодо ціни на товар. Також Було спрогнозований рівень доходу (місячний) компаній які можуть будуть зацікавлені в удосконаленні свого виробництва.

Таблиця 6.21 Формування системи збуту

<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
1.	Продаж	Продаж товару замовникам, з подальшою його обслуговуванням	Нульового рівня	Пряма
2.	Надання в оренду	Надавати в оренду обладнання і на тестовий термін.	Нульового рівня	Пряма

Висновки: Було обрана два канали збуту такі як продаж і надання в оренду (тимчасове користування, випробний термін). Надання в оренду були вирішення додати, щоб клієнт зміг познайомитися з продуктом і вирішити для себе брати чи ні.

Таблиця 6.22 Концепція маркетингових комунікацій

<i>№ п/ п</i>	<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій, якими користуютьс я цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціонуванн я</i>	<i>Завдання рекламного повідомленн я</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
	Пошук нових, більш надійніших і дешевших рішень	- Реклама - пропонування продукції на фірмах яким вона можливо потрібна	- надійність - дешевизна - простота - швидка обробка даних	Переконання споживача чим наша продукція краща чим інші	Демонстрація простоти використання засобу і можливості використання будь-якого сипкого матеріалу

Висновки: Ціль маркетингового просування заключається в тому, щоб донести до споживачів цінність нашого продукту, можливості його використання і чим він краще за засоби які пропонують конкуренти. Можливість в майбутньому вихід на зарубіжні СМІ для реклами нашого продукту закордоном.

6.6. Висновки до старт-апу

Після проведення маркетингового аналізу ринку було виявлено, що динаміка ринку є позитивна, і є можливості виходу на ринок нашого засобу вимірювання кількості і витрати сипкого матеріалу. Рівень рентабельності показав нам, що є затрати на засіб окупляться і він буде приносити прибуток. Попит на продукцію є, також є можливість вихід нашого продукту на міжнародний ринок і не обмежувати себе локальними підприємствами.

В цьому розділі був проведений маркетинговий аналіз і стан ринку, перспективи реалізацію нашого виробу, можливості і загрози які можуть з'явитися в майбутньому. Був проведений конкурентний аналіз, порашовані затрати на продукт і можливість його реалізації для обраних позиціонуваннях і стратегії ринку.

В процесі аналізу були визначенні три основні сфери збуду нашого виробу: сільське господарство, логістика, виробництво зернових продуктів. Подальшою метою буде пошук нових сфер в який буде можливим використання нашого засобу.

Однієї з найважливіших характеристик конкурентоспроможності нашого засобу є можливість використовувати будь-який сипкий матеріал для вимірювання параметрів потоку сипкого матеріалу. Це дасть змогу стати конкурентоспроможним на ринку і завоювати свого клієнта.

Було вирішено обрати індивідуалізм як альтернативна ринково впровадження. Це дає змогу нам оцінити ринок, його побажання і ми зможемо розробити продукт, який по багатьом характеристикам буде набагато кращим чим у конкурентів. Потім ми зможемо стати лідером на ринку з унікальним рішенням засобу вимірю кількості і витрати сипкого матеріалу. Подальша імплементація проекту є можливою і доцільною, так як всі ресурси доступні і немає ніяких обмежень.

ВИСНОВКИ

- Після проведення огляду за темою магістерської дисертації відзначається практична відсутність в науково – технічних джерелах матеріалів з питань визначення параметрів процесу взаємодії потоків сипкого матеріалу з твердими тілами. Отже проведені дослідження в роботі є доцільними і можуть подальше використані.

- Бункер з донним отвором в рамках роботи забезпечував формування гравітаційних потоків вибраного сипкого матеріалу з параметрами:

$$q_{mA} = 665,64 \pm 50,84 \text{ г/с для } d_a = 54 \text{ мм}$$

$$q_{mB} = 272,27 \pm 39,91 \text{ г/с для } d_a = 40 \text{ мм}$$

$$q_{mC} = 141,61 \pm 39,09 \text{ г/с для } d_a = 32 \text{ мм}$$

$$q_{mD} = 53,48 \pm 17,95 \text{ г/с для } d_a = 22,5 \text{ мм}$$

- Встановлена орієнтовна функціональна залежність між масовими витратами сипкого матеріалу і силою з якою потів діє на тверде тіло.

- Після проведення експериментальних досліджень в магістерської дисертації можна зробити наступні висновки:

- при збільшенні діаметра отвору витікання збільшуватися витрата;
- найбільше значення довірчих інтервалу і середньквдратичного відхилення спостерігається при Ø 54 мм;
- найбільші сили при взаємодії потоку сипучого матеріалу і тіл обтікання отримані при використанні дисків;
- найменше значення розкиду сили в межах $\pm 3\sigma$ має місце при поєднанні балки Б1 і отвори Ø 22,5 мм;
- найбільша зміна сили, що діє на тіло обтікання спостерігається при використанні дисків.

- Процес взаємодії потоку сипкого матеріалу та твердого тіла може успішно використовуватися для створення вимірювальних перетворювачі масових витрат сипких матеріалів.

- Бункер з донними отвором може розглядатися як задавач масової витрати сипких матеріалів.
- Частково розглянутий в магістерській дисертації напрям наукових досліджень – «Метрологічні аспекти потоків сипких матеріалів» потребує подальшого розгляду та вивченню.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Макаров Ю. В. Аппараты для смешения сыпучих материалов. / Ю. В. Макаров. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
2. Шубин И. Н. Технологические машины и оборудование. Сыпучие материалы и их свойства: Учеб. пособие. / И. Н. Шубин, М. М. Свиридов, В. П. Таров. – Тамбов: ТГТУ, 2005. – 76 с.
3. Андрианов Е. И. Методы определения структурно-механических характеристик порошкообразных материалов. / Е. И. Андрианов. – М.: Химия, 1982. – 256 с.
4. Свиридов М. М. Текучесть сыпучего материала / М. М. Свиридов, В. П. Таров, И. Н. Шубин. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 1999. – №4. – С. 55.
5. Виденеев Ю. Д. Дозаторы непрерывного действия. / Ю. Д. Виденеев. – М.: Энергия, 1978. – 184 с.
6. Каталымов А. В. Дозирование сыпучих и вязких материалов. / А. В. Каталымов, В. А. Любартович. – Л.: Химия, 1990. – 240 с.
7. Гячев Л. В. Основы теории бункеров и силосов / Л. В. Гячев., 1986. – 84 с.
8. Измерение расхода сыпучих материалов [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.swrsystems.ru/izmerenie-rashoda-sypuchih-materialov.html>.
9. Расходомер МаххFlow [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://rusautomation.ru/rashodomer-maxxflow>.
10. Расходомер сыпучих материалов FlowSlide [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://kck.ua/dir/oborudovanie_dlya_sypuchih/rashod/rackhodomer-cypuchikh-materialov-flowslide.html.

11. Расходомер SolidFlow альтернатива весовому методу измерения в пищевой промышленности [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.swrsystems.ru/foodprom.html>.
12. SolidFlow 2.0. Solid mass flow measurement., 2018. – 6 с.
13. Гячев Л. В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах / Л. В. Гячев. – М.: Машиностроение, 1968. – 183 с.
14. Циборовский Я. Свободное истечение сыпучего материала через отверстие в конусном днище сосуда / Я. Циборовский, М. Бондзыньски // Инженерно физический журнал. – 1937. – №7. – С.26–35.
15. Сігодзінський А. В. Визначення витрат сипких матеріалів / А. В. Сігодзінський, Ю. О. Корнева, О. К. Нікітін. // Вісник інженерної академії України. – 2011. – №2. – С. 91–94.
16. Зенков Р.Л. Машины непрерывного транспорта / Р.Л. Зенков, И.И. Ивашков, Л.Н. Колобов. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.
17. Гачев Л.В. Основы теории бункеров / Л.В. Гячев. – Новосибирск : НГУ, 1992. – 312 с.
18. Алферов К.В. Бункерные установки / К.В. Алферов, Р.Л. Зенков. – М. : Машгиз, 1955. – 308 с.
19. Платонов П.Н. Пропускная способность выпускных отверстий силосов и бункеров / П.Н. Платонов, Е.А. Банит // Мукомольно-элеваторная промышленность. – 1958. - № 8. – С. 28-30.
20. Кеньман Ф.Е. Исследование вероятности сводообразования при свободном истечении сыпучих тел. / Ф.Е. Кенеман, Н.Г. Залогин, О.С. Антошина // Энерготехнологическое использование топлива. – М. : АН СССР, 1963. - № 4. – С.38-43.
21. Інформативність фізичних процесів. Експериментальна механіка: метод, вказівки до викон. лаборатор. робіт / Уклад. : О.К. Нікітін, В.М. Зайцев – Вид, 2-ге, перероб. – Київ: ім. Ігоря Сікорського вид-во «Політехніка», 2017.- 154 с.

22. Деденко Л. Г. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента / Л. Г. Деденко, В. В. Керженцев., 1977. – 112 с.
23. Кондрашов А. П. Основы физического эксперимента и математическая обработка результатов измерений / А. П. Кондрашов, Е. В. Шестопалов., 1977. – 200 с.

Додатки

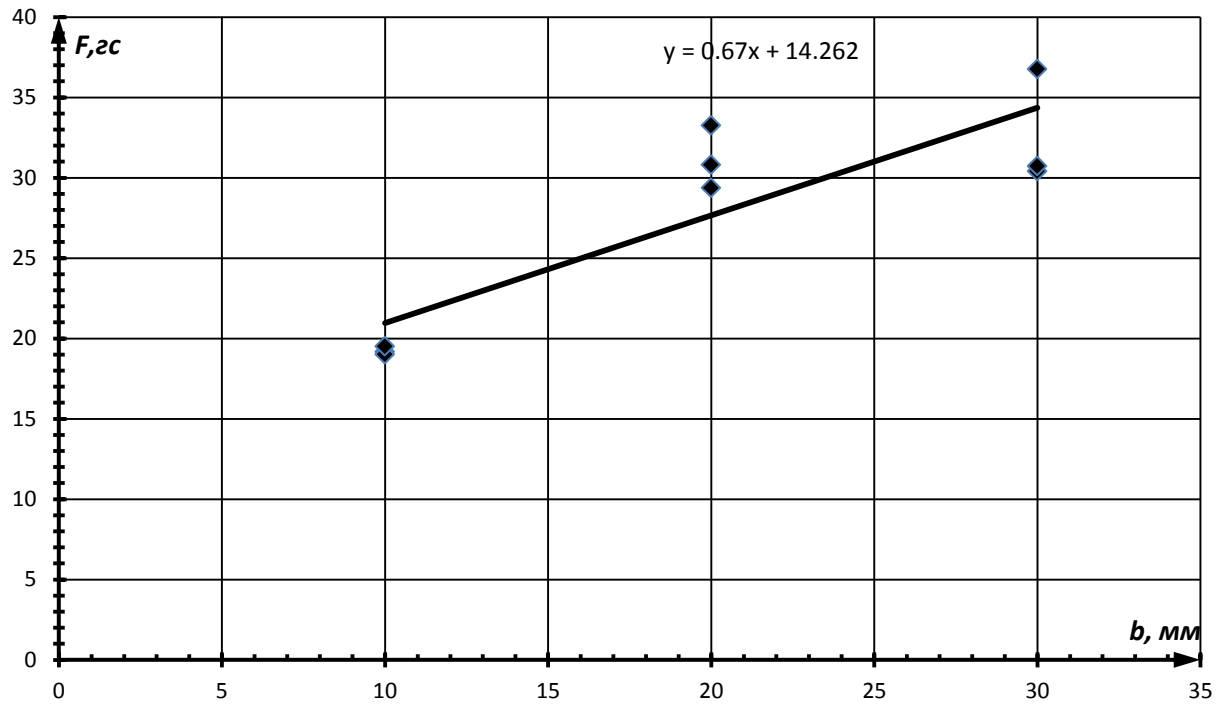


Рисунок А.1 – Графік залежності сили від розміру балки з використанням діафрагми 32 мм

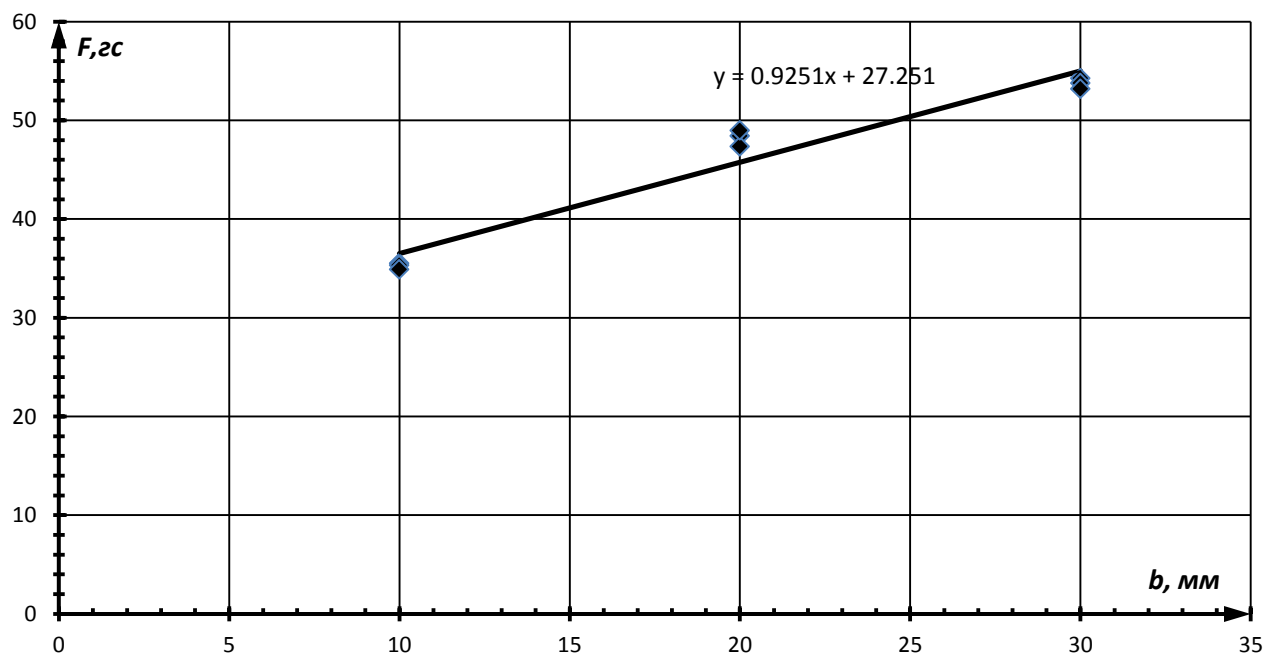


Рисунок А.2 – Графік залежності сили від розміру балки з використанням діафрагми 40 мм

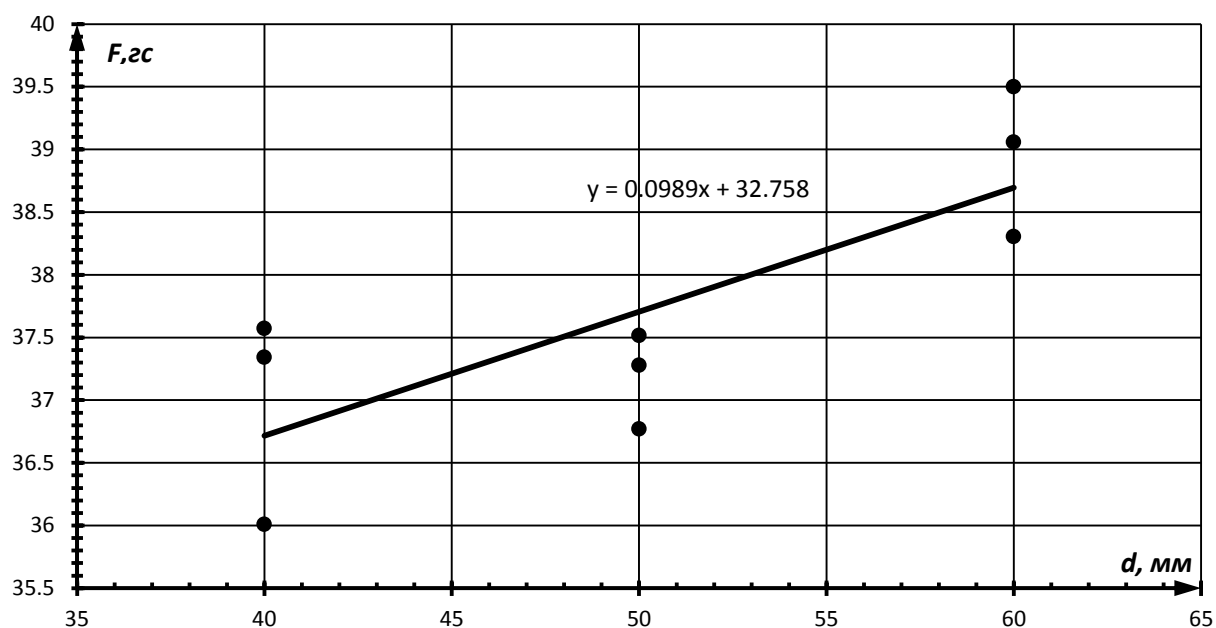


Рисунок А.3 – Графік залежності сили від розміру диска з використанням діафрагми 32 мм

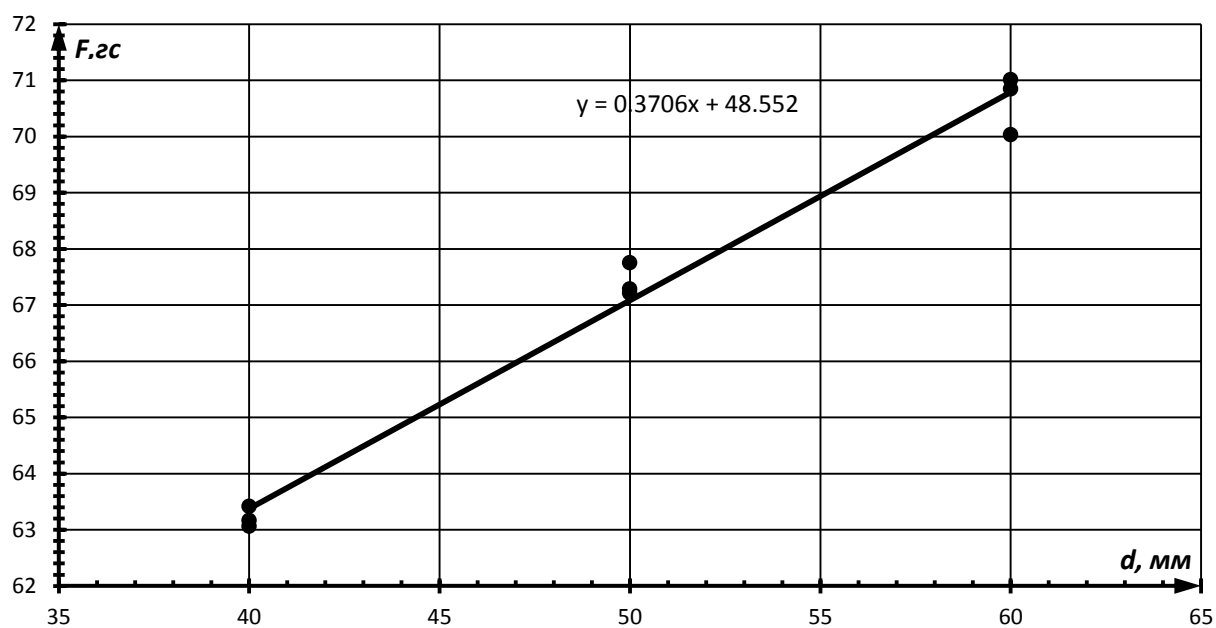


Рисунок А.4 – Графік залежності сили від розміру диска з використанням діафрагми 40 мм

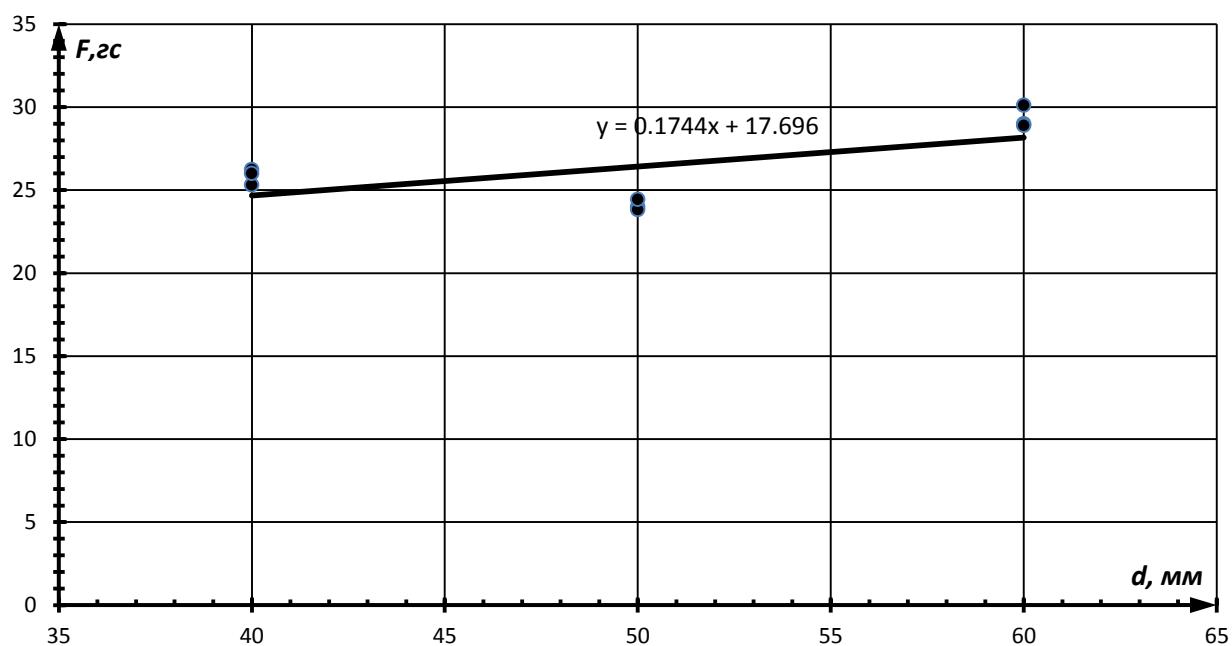


Рисунок А.5 – Графік залежності сили від розміру конуса з використанням діафрагми 32 мм

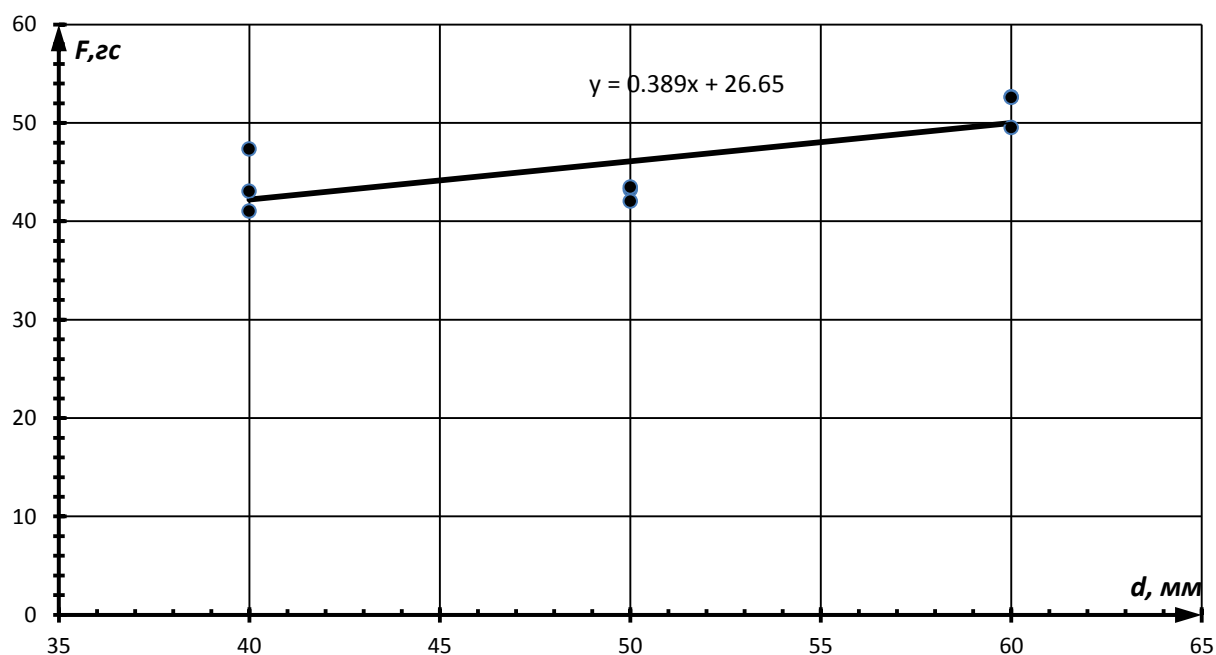


Рисунок А.6 – Графік залежності сили від розміру конуса з використанням діафрагми 40 мм

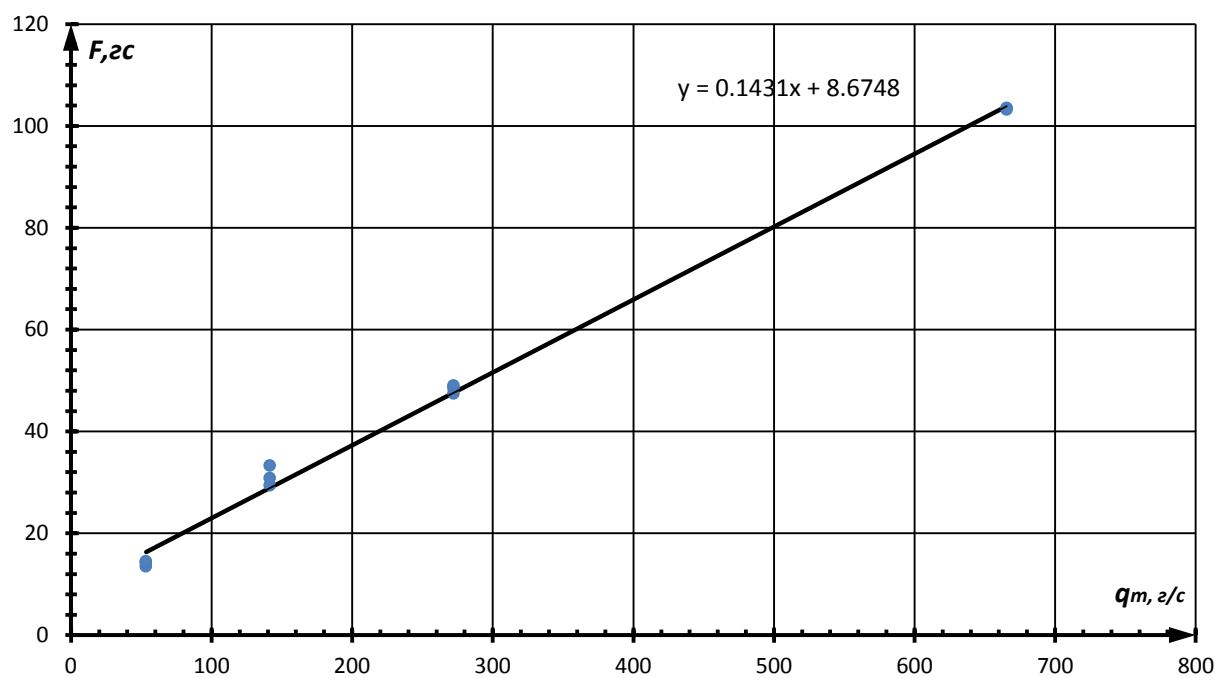


Рисунок Б.1 – Графік залежності сили від масової витрати СМ для диска Б2

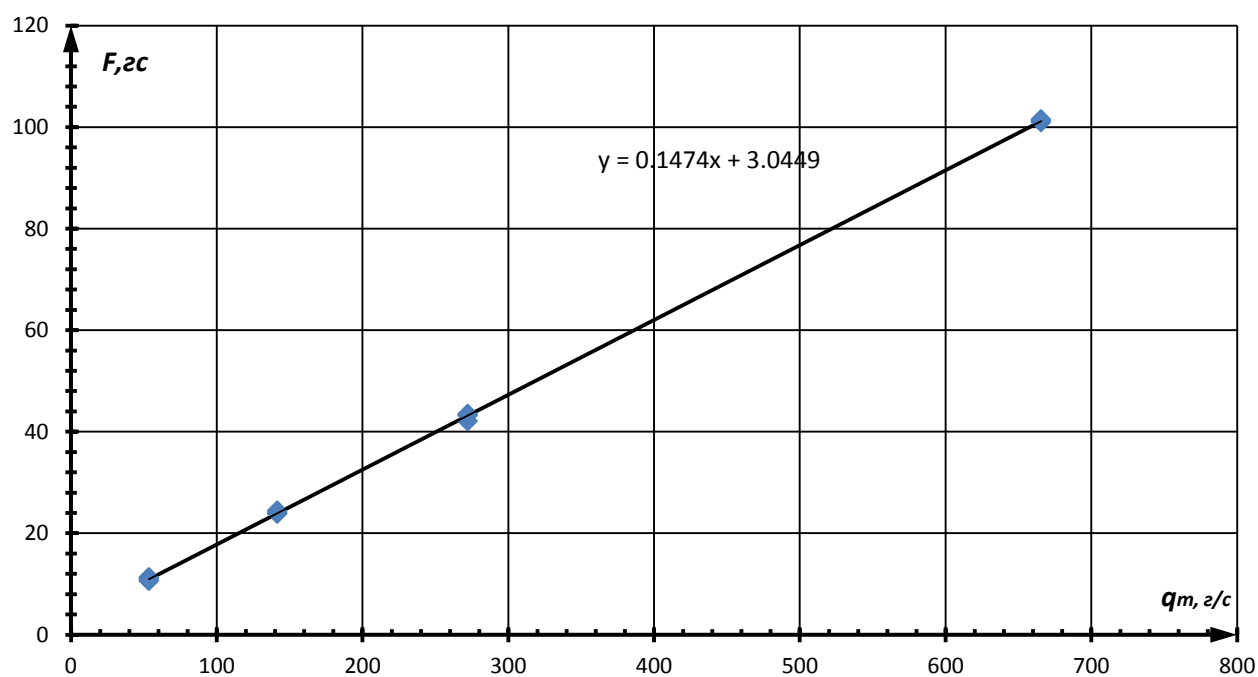


Рисунок Б.2 – Графік залежності сили від масової витрати СМ для диска К2

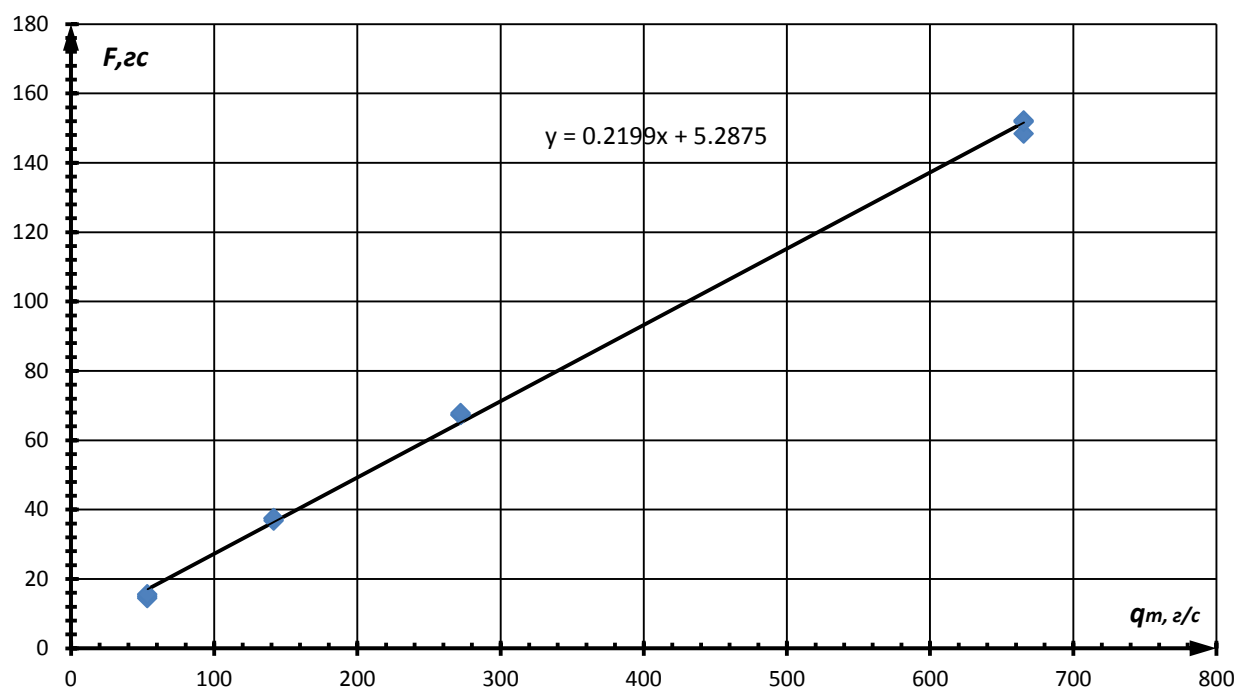


Рисунок Б.3 – Графік залежності сили від масової витрати СМ для диску Д2