

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

На правах рукопису

СЕРІЛКО ДМИТРО ЛЕОНІДОВИЧ

УДК 621.867.42

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ТА ПАРАМЕТРІВ ЗАБІРНИХ
ПРИСТРОЇВ ВЕРТИКАЛЬНИХ ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ**

05.05.05 – піднімально-транспортні машини

Дисертація

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Науковий керівник
доктор технічних наук
професор Рогатинський Р.М.

Тернопіль – 2015

Зміст

Вступ	5
РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД І ВИБІР НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1 Галузь застосування гвинтових конвеєрів.....	10
1.2. Аналіз результатів досліджень роботи гвинтових конвеєрів.....	13
1.2.1. Аналіз результатів теоретичних досліджень.....	16
1.3 Способи завантаження та аналіз конструкцій забірних пристроїв гвинтових конвеєрів.....	22
1.3.1 Гравітаційне завантаження.....	23
1.3.2 Завантаження гвинтових конвеєрів за допомогою забірних пристроїв.....	24
1.4 Огляд досліджень забірних пристроїв.....	30
1.5 Результати дослідження реологічних властивостей сипких матеріалів	39
1.6 Висновки та завдання дослідження.....	41
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	42
2.1. Методика теоретичних досліджень.....	42
2.2 Моделювання процесу завантаження вертикального гвинтового конвеєра.....	43
2.2 Визначення тиску сипкого матеріалу в забірній частині гвинтового конвеєра.....	53
2.4. Обґрунтування параметрів подавального механізму забірною пристрою гвинтового конвеєра.....	64
2.5. Висновки.....	77
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	79
3.1. Програма експериментальних досліджень.....	79
3.2 Обладнання для експериментального дослідження бокового витікання сипкого матеріалу із бункера.....	80

3.3. Методика експериментальних досліджень.....	82
3.4 Обладнання для проведення експериментальних досліджень процесу завантаження та транспортування гвинтовим конвеєром, оснащеного забірним пристроєм із забірним пристроєм.....	87
3.5 Методика дослідження процесу висипання сипкого матеріалу через гвинтові канали додаткового елемента забірною пристрою гвинтового конвеєра.....	90
3.6 Методика дослідження продуктивності додаткового елемента забірною пристрою.....	91
3.7 Методика дослідження роботи гвинтового конвеєра, оснащеного забірним пристроєм.....	92
3.8 Висновки	93
РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	94
4.1 Експериментальні дослідження бокового витікання сипкого матеріалу із бункера.....	94
4.2 Результати дослідження процесу висипання сипкого матеріалу через гвинтові канали додаткового елемента забірною пристрою гвинтового конвеєра.....	112
4.3 Результати експериментальних досліджень роботи забірних пристроїв вертикальних гвинтових конвеєрів	113
4.4. Результати дослідження транспортування сипких матеріалів вертикальним швидкохідним гвинтовим конвеєром, який оснащеного забірним пристроєм.....	114
4.5. Висновки.....	115
РОЗДІЛ 5 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ ШВИДКОХІДНИХ ВЕРТИКАЛЬНИХ ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ.....	116
5.1 Основні напрямки зниження енергоємності процесу транспортування сипких матеріалів вертикальними гвинтовими конвеєрами	116

5.2. Методика інженерного розрахунку забірною пристрою вертикального гвинтового конвеєра.....	124
5.3 Розрахунок економічної ефективності від зменшення матеріаломісткості робочого органу.....	131
5.3.1 Розрахунок матеріаломісткості гвинтового конвеєра.....	133
5.3.2 Розрахунок матеріаломісткості забірною пристрою.....	134
5.4.Висновки.....	135
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	136
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	138
Додаток А Патенти на корисні моделі	153
Додаток Б Обладнання для регулювання та вимірювання частоти обертання	186
Додаток В Акт впровадження у виробництво.....	188
Додаток Г Комп'ютерні моделі елементів гвинтового конвеєра.....	189
Додаток Є Графічні залежності кутової швидкості додаткового гвинта від геометричних параметрів додаткового елемента.....	192

ВСТУП

Актуальність теми. Простота конструкції гвинтових конвеєрів, мала трудомісткість робіт з їх виготовлення, а також порівняно невелика вартість, можливість транспортування матеріалів без забруднення навколишнього середовища і втрат зумовило їх широке застосування в різних галузях промисловості та сільського господарства для транспортування сипких, порошкоподібних, дрібнокускових матеріалів.

Разом з тим до основних недоліків цих транспортуючих засобів відносять порівняно низьку продуктивність і високу енергоємність процесу транспортування. Особливо це стосується вертикальних швидкохідних гвинтових конвеєрів. Це пов'язано з тим, що при значних кутових швидкостях гвинта відцентрові сили інерції в зоні завантаження стають більшими за гравітаційні, під дією яких сипкий матеріал поступає в гвинтовий канал шнека. А тому дослідження процесу завантаження вертикального гвинтового конвеєра та розробка нових конструкцій забірних пристроїв цих транспортерів з обґрунтуванням їх конструктивно-кінематичних параметрів є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дослідження, що складають основу дисертаційної роботи, виконано відповідно до наукової тематики Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя і є складовою частиною тем: «Розробка теорії та дослідження транспортно-технологічних та перевантажувальних систем з розрідженими потоками» (№ державної реєстрації 0105U000742), «Розробка теорії транспортування сипких вантажів швидкісними гвинтовими конвеєрами із еластичними робочими органами» (№ державної реєстрації 0108U001105), «Синтез систем неперервного транспорту на основі розкриття закономірностей формування потоку вантажу робочими поверхнями» (№ державної реєстрації 0111U002586).

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – підвищення продуктивності та зниження енергоємності процесу транспортування сипких

матеріалів гвинтовими конвеєрами шляхом розробки конструкцій та обґрунтування параметрів забірних пристроїв цих транспортуючих засобів.

Відповідно до мети було визначено такі завдання:

- провести аналіз відомих способів завантаження гвинтових конвеєрів та конструкцій їх забірних пристроїв і окреслити шляхи їх вдосконалення;
- розробити математичну модель процесу завантаження гвинтового конвеєра;
- обґрунтувати аналітичні залежності для визначення розподілу тиску сипкого матеріалу в бункері з розташованим у ньому гвинтовим конвеєром із урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалу та висоти його засипки;
- на основі проведеного аналізу процесу завантаження гвинтового конвеєра розробити конструкції ефективних забірних пристроїв та обґрунтувати їх конструктивно-кінематичні параметри;
- експериментально дослідити закономірності впливу конструктивних і кінематичних параметрів забірних пристроїв на показники процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовим конвеєром;
- розробити методику розрахунку забірною пристроєм вертикального гвинтового конвеєра.

Об’єкт дослідження – процеси та системи завантаження вертикальних швидкохідних гвинтових конвеєрів сипким матеріалом.

Предмет дослідження – закономірності завантаження та впливу конструктивних і режимних параметрів вертикальних швидкохідних гвинтових конвеєрів із новими забірними пристроями на їхню продуктивність та енергоефективність.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проведено з використанням фундаментальних засад теоретичної механіки, механіки суцільного середовища, методів диференціального та інтегрального числення, теорії математичного та комп’ютерного моделювання. Експериментальні дослідження виконували з використанням методу

математичного планування експерименту на спеціально розробленому устаткуванні. Статистичну обробку експериментальних даних проведено з використанням прикладних програм для ПЕОМ.

Наукова новизна отриманих результатів:

– вперше побудовано математичну модель руху сипкого середовища в забірній частині гвинтового конвеєра, на основі якої встановлено закономірності впливу кутової швидкості гвинта та геометричних параметрів забірної частини швидкохідного гвинтового конвеєра на його продуктивність;

– вперше визначено розподіл тиску сипкого матеріалу в бункері, в якому знаходиться гвинтовий конвеєр, що дозволило встановити його взаємозв'язок з геометричними параметрами бункерів різної форми;

– побудовано модель впливу параметрів бункера на витрату сипкого матеріалу при боковому витіканні на основі регресійної залежності, що дало можливість уточнити закономірності руху сипкого матеріалу у гвинтовому каналі забірної пристрою гвинтового конвеєра;

– виведено залежності швидкостей руху частинок сипкого матеріалу по нерухомій гвинтовій поверхні від її геометричних параметрів, коефіцієнту тертя та початкової швидкості, які дозволили визначити конструктивно-кінематичні параметри запропонованого забірної пристрою швидкохідного гвинтового конвеєра.

Практичне значення отриманих результатів:

Розроблено, виготовлено та експериментально досліджено конструкцію забірної пристрою, який забезпечує необхідний коефіцієнт заповнення вертикального гвинтового конвеєра незалежно від частоти обертання гвинта при менших розмірах і, відповідно, масі та вартості даного транспортного засобу. За результатами теоретичних і експериментальних досліджень розроблено методику розрахунку забірної пристрою.

Технічну новизну розроблених конструкцій захищено 7 патентами України на корисні моделі. Результати досліджень впроваджено на

підприємстві «ТОВ ПІІ Ізотерм-С» в Рівненській області, окремі результати роботи впроваджено в навчальний процес підготовки бакалаврів за напрямком підготовки «Машинобудування», та спеціалістів за спеціальністю «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання» в Національному університеті водного господарства та природокористування.

Особистий внесок здобувача.

Основні теоретичні та експериментальні дослідження за темою дисертаційної роботи виконано автором самостійно [103, 106, 108, 109, 111]. У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачем розроблені математичні моделі руху сипкого середовища в забірній частині гвинтового конвеєра, обґрунтовано параметри та методику розрахунку забірних пристроїв гвинтових конвеєрів [95, 97, 98, 99, 100, 104, 105, 107, 110, 133]. Запропоновано нові конструкції гвинтових конвеєрів [77, 79, 80, 82, 83, 84, 85].

Апробація результатів дисертацій. Основні положення та результати роботи доповідали та обговорювали на міжнародній науково-технічній конференції «Актуальні проблеми водного господарства та природокористування присвяченій 85-річчю НУВГП», м. Рівне (21-22 листопада 2007 р.); науковому семінарі «Проблеми та перспективи розвитку підйомно-транспортних, будівельних та дорожніх машин», м. Краматорськ (17-20 вересня 2007 р.); дванадцятій науковій конференції ТДТУ, м. Тернопіль (14-15 травня 2008 р.); всеукраїнській науковій конференції ТДТУ, м. Тернопіль (13-14 травня 2009 р.); третій міжнародній конференції: «Актуальні проблеми водного господарства та природокористування НУВГП», м. Рівне (21-23 жовтня 2009 р.); міжнародній науково - технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», ТНТУ, м. Тернопіль (19-21 травня 2010); 10-му міжнародному симпозиуму українських інженерів-механіків у Львові (25-27 травня 2011 р.); науковому семінарі «Підйомно-транспортні машини» Підйомно-транспортної Академії

наук України, м. Тернопіль (29-29 березня 2012 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Нові досягнення в галузі проектування і експлуатації підйомно-транспортних, будівельних і дорожніх машин», ХНАДУ, м. Харків (19-21 вересня 2012 р); міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», ТНТУ, м. Тернопіль (19-20 грудня 2012 р); XVIII Науковій конференції ТНТУ, м. Тернопіль (29-30 жовтня 2014); III Міжнародній конференції молодих учених та студентів ТНТУ, м. Тернопіль (19 - 20 листопада 2014). У повному обсязі дисертація доповідалась і отримала позитивний відгук на наукових семінарах у Національному університеті водного господарства і природокористування та Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя.

Публікації. Результати наукових досліджень викладено у 22 друкованих працях (5 – одноосібних), з яких – 7 статей у наукових фахових виданнях України та 1 стаття в закордонному періодичному фаховому виданні, 7 матеріалів тез конференцій і симпозіумів, 7 патентів України на корисні моделі.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації – 192 сторінки, у тому числі 99 рисунків, 26 таблиць, список використаних джерел із 136 найменувань і 5 додатків на 39 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації – 137 сторінок.

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД І ВИБІР НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Галузь застосування гвинтових конвеєрів

Гвинтові конвеєри широко застосовують у різних галузях народного господарства для переміщення штучних, сипких, в'язкопластичних і рідких вантажів. Найбільш широко гвинтові конвеєри застосовують у якості однієї із ланок складної транспортної чи технологічної систем.

У сфері механізації навантажувально-розвантажувальних робіт, при перевезенні сільськогосподарських вантажів гвинтові конвеєри застосовують у вигляді пересувної похилої конструкції, а також у вигляді пересувного вертикального транспортера. Широке застосування мають спеціальні навантажувачі з гвинтовими конвеєрами на базі автомобільного шасі.

Загальновідоме застосування гвинтових конвеєрів у зернозбиральних комбайнах. На практиці було перевірено їх високу надійність та ефективність, в порівнянні із транспортерами, які застосовували раніше [36].

У дорожньому машинобудуванні гвинтові конвеєри широко застосовують в машинах із колісним та гусеничним приводами. Наприклад, у шнеково-роторних снігоочисниках, підмітально-прибиральних машинах, тощо.

У хімічній галузі гвинтові конвеєри важливу роль відіграють у технологічних операціях, транспортуванні сировини і готової продукції, зокрема застосовують для виготовлення суперфосфату за безперервною схемою, яка є ефективнішою з економічної точки зору та має вищу продуктивність у порівнянні з циклічною схемою.

Широке розповсюдження автоматів для фасування та упакування харчових, хімічних, будівельних та інших насипних вантажів зумовило появу значної кількості конвеєрів (в основному гвинтових) для їхнього завантаження. В основному це невеликі круто нахилені гвинтові конвеєри із забірним бункером, оснащеним змішувачем, який працює від окремого

приводу. На рис. 1.1. зображено вертикальні, похилі та горизонтальні гвинтові конвеєри різних світових виробників.

Вертикальні



Precision Products, Індія



Hebei Ji Ao Machinery, Китай

Похилі



ЧП "СТС", м. Біла Церква



ООО "ЭКВИПТЕХ", м. Дніпропетровськ

Горизонтальні



ООО "Компания Механик" г. Ярославль



Завод «АРТАТЕХ» м. Біла Церква

Рис. 1.1 Конструкції гвинтових конвеєрів

Переваги застосування гвинтових конвеєрів.

Аналіз роботи гвинтових конвеєрів дозволяє виділити ряд їх переваг у порівнянні з іншими транспортними засобами:

- простота конструкції, компактність і надійність в експлуатації;
- маса таких конвеєрів в 2-3 рази менша (при рівних продуктивності і висоті транспортування), ніж у скребкових конвеєрів чи елеваторів;
- розвантаження гвинтових конвеєрів можливе практично в будь-якому місці і напрямку на шляху транспортування;
- повна "герметичність" шляху транспортування, що дозволяє транспортувати порошкоподібні, дрібнокускові зернисті, матеріали без забруднення навколишнього середовища;
- менша, в порівнянні із пневматичними установками, відносна витрата енергії;

Фірма "Simon-Garver" [55] наводить порівняльні дані щодо затрати енергії на транспортування 100 тонн кормового зерна за годину на відстань 1м (таблиця 1.1.).

Таблиця 1.1.

Витрата енергії на транспортування 100 тонн кормового зерна за годину на відстань 1м

Тип конвеєра	Затрата енергії, кВт·г
Стрічковий ковшовий	35-40
Ланцюговий вертикальний (скребковий або ковшовий)	45-50
Гвинтовий вертикальний	50-55
Пневматична система	120-130

Недоліки гвинтових конвеєрів.

На ряду з вищенаведеними перевагами гвинтових конвеєрів, суттєвим недоліком таких пристроїв є зниження їх продуктивності при великих частотах обертання гвинта внаслідок збільшення відцентрових сил у зоні

завантаження, що приводить до зростання енергоємності процесу транспортування даними пристроями. Це викликано збільшенням втрат енергії на перемішування матеріалу в бункері гвинтового конвеєра

Так при вертикальному транспортуванні, після деякого критичного значення довжини гвинта в забірній частині, подальше збільшення довжини не впливає на продуктивність гвинтового конвеєра, а підвищення продуктивності шляхом збільшення забірної частини пов'язано із збільшенням питомої енергоємності процесу транспортування, особливо при великих кутових швидкостях обертання гвинта. Ліквідувати ці недоліки можна шляхом вибору оптимальної конструкції забірної пристрою гвинтового конвеєра.

1.2. Аналіз результатів досліджень роботи гвинтових конвеєрів

Основними завданнями досліджень роботи гвинтових конвеєрів є визначення продуктивності Q і споживаної потужності N у залежності від геометричних і кінематичних параметрів шнека, а також від ступеня заповнення і фізико - механічних властивостей матеріалу, який транспортують.

До геометричних параметрів гвинтових конвеєрів відносять: діаметр вала d , діаметр гвинта D , крок гвинта S , внутрішній діаметр кожуха D_k . Кінематичним параметром є кутова швидкість ω , або частота обертання n . Крім того в теорії швидкохідного гвинтового конвеєра використовують таку характеристику, як коефіцієнт швидкохідності G_ω , який дорівнює відношенню відцентрової сили інерції, яка діє на точку, що знаходиться на кромці гвинта, до сили тяжіння.

Для узагальнення експериментальних даних необхідно встановити взаємозв'язок між величинами, які впливають на продуктивність і споживану потужність гвинтових конвеєрів.

У загальному випадку цей взаємозв'язок можна подати у вигляді таких залежностей між безрозмірними комбінаціями основних параметрів шнеків [135]:

$$\eta_v = \eta_v(k_d; k_s; G_\omega; f_0; f_1; f_2);$$

$$\eta_N = \eta_N(k_d; k_s; G_\omega; f_0; f_1; f_2),$$

де η_v - об'ємний к.к.д. гвинтового конвеєра (коефіцієнт продуктивності k_{II}); η_N - енергетичний к.к.д гвинтового конвеєра; $k_d = d/D$ - відношення діаметра вала до зовнішнього діаметрів гвинта; $k_s = S/D$ - відношення кроку до діаметра гвинтового конвеєра; $G_\omega = \omega^2 D / 2g$ - коефіцієнт швидкохідності шнека; f_0 - коефіцієнт внутрішнього тертя сипкого матеріалу; f_1 - коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні гвинта; f_2 - коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні кожуха гвинтового конвеєра.

При математичній обробці експериментальних даних можна прийняти такі загальні критерії продуктивності та енергоємності [135]:

$$\eta_v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \cdot S \cdot n}; \quad (1.1)$$

$$\eta_N = \frac{N}{Q \cdot \gamma \cdot H}, \quad (1.2)$$

де Q – об'ємна продуктивність гвинтового конвеєра, $\text{м}^3/\text{с}$; n – частота обертання, $\text{об}/\text{с}$; N - споживана потужність, Вт ; γ – насипна вага, $\text{Н}/\text{м}^3$; H – висота піднімання, м .

У таблиці 1.2 наведено максимальні значення коефіцієнтів продуктивності, отриманих експериментальним шляхом.

Транспортування сипких матеріалів гвинтовими конвеєрами можна розділити на такі основні етапи:

1. Подача матеріалу в зону захоплення гвинтом, яка може забезпечуватися як під дією сили тяжіння, так і примусовим способом.
2. Розгін матеріалу до стійкого руху в гвинтовому каналі.
3. Транспортування сипкого матеріалу в режимі усталеного руху.
4. Вивантаження матеріалу.

Максимальні значення коефіцієнта продуктивності які отримано
експериментальним шляхом

Діаметр гвинта, мм	Діаметр вала гвинта, мм	Крок гвинта, мм	Матеріал	Частота обертання об/хв	Продук- тивність гвинтового конвеєра т/год	Коефі- цієнт продук- тивності	Джерело
Гвинтовий конвеєр без забірної пристрою							
150	50	150	Пшениця	670	28	0,295	[36]
200	60	200	Пшениця	450	38	0,17	[26]
56	35	67	Пісок	250	10,8	0,257	[13]

Найбільш вивченим є режим усталеного руху потоку сипкого матеріалу, якому присвячено праці багатьох вітчизняних та закордонних вчених: К. А. Адигамов [4-6], Л. М. Александр [8], М. П. Александров [9], О. Д. Алімов [10], Ф. Є. Алтинбеков [11], К. В. Алферов [12], П. І. Басов [14], В. М. Богацький [15], А. А. Вайнсон [18], П. М. Василенко [19], Б.М. Гевко [23-25], І.Б. Гевко [26-28], Р.Б. Гевко [29-30], Х. Герман [35], О. М. Григор'єв [36-37], І. Е. Груздєв [39], А. В. Євстратова [41-42], В. П. Желтов [43-45], П. М. Заїка [47-48], Р. Л. Зенков [50, 51], В. Г. Іванов [52, 53], Ф.К. Іванченко [54], Г.В. Корнеєв [61], В.В. Красніков [63, 64], Л.М. Куцин [65], В.С. Ловейкін [66-68], Д. Мак-Келві [129], І.В. Морін [73], В.І Пономарьов [88], П.А. Преображенский [89], М.І. Пилипець [87], Р.М. Рогатинський [94-101], О.Р. Рогатинська [91-93], А.Я. Соколов [114], А.О. Співаковський [116], М.К. Штуков [38, 122, 123], Г. Шенкель [119], .В. Ф. Ярошенко [128].

В більшості із цих робіт сипкий матеріал, який транспортується, розглядається як матеріальна точка, яка рухається по лопаті гвинтового конвеєра, оскільки процеси транспортування об'ємів сипких матеріалів ще недостатньо вивчені.

1.2.1. Аналіз результатів теоретичних досліджень

Найповніше досліджено рух матеріальної точки по гвинтовій поверхні в роботах О.М. Григор'єва [36], В.П. Желтова [44]. В них наведено рівняння руху частинки матеріалу в швидкохідному гвинтовому конвеєрі. Аналізуючи ці рівняння, можливо визначити характерні значення таких параметрів:

- оптимальний кут підйому гвинтової лінії, при якому частинка матеріалу буде рухатися із максимальною осьовою швидкістю;
- критичний радіус, при якому матеріальна точка набуває кутової швидкості гвинта і осьове переміщення припиняється;
- критичну кутову швидкість гвинта, при якій припиняється осьовий рух частинки матеріалу.

В основі розрахунку вертикального гвинтового конвеєра по методу Л.М. Александра [8] покладено розроблену ним теорію руху як матеріальної точки, так і потоку матеріалу. При цьому вважають, що об'єм вантажу, який рухається в гвинтовому каналі, обмежено кривими, характер яких зображено на рис. 1.2. а.

В основі роботи, пов'язаної із рухом матеріалу в швидкохідному гвинтовому конвеєрі, Л.Г. Нільсона [134] лежать три основні положення:

- сипкий матеріал внаслідок вібрацій, які виникають при обертанні гвинта, поводить себе як в'язка нестислива рідина і розподіляється в гвинтовому каналі подібно рідині в циліндрі, який обертається (рис. 1.2. б);
- частинки потоку матеріалу не перемішуються і рухаються з однаковою осьовою швидкістю;
- розподіл тиску по поверхні валу гвинта, лопатях і кожусі здійснюється по гідростатичному закону.

Проведені Л.Г. Нільсоном дослідження показали, що оптимальними геометричними параметрами, з точки зору мінімальних енергозатрат, є $k_d = 0,25 - 0,3$, $k_s = 0,75$, оптимальним коефіцієнтом заповнення $\varphi = 0,6 - 0,8$.



Рис. 1.2. Характер розподілу вантажу в межах кроку вертикального гвинтового конвеєра по теорії Л.М. Александра (а) та Л.Г. Нільсона (б)

Припущення Л.Г. Нільсона підтверджують дослідження І.В.Ширка [120, 121], Севіджа [72, 136], згідно з якими при великих відносних швидкостях сипке середовище поводить себе подібно до в'язкої нестисливої рідини.

Іванов В.Г. у роботі [53] для швидкохідних конвеєрів рекомендує приймати коефіцієнт заповнення:

$$\varphi = 1 - A \frac{n}{1000}, \quad (1.3)$$

де A - коефіцієнт, що залежить від діаметра гвинта.

Хозіна П.І. рекомендує [117] для похилих гвинтових конвеєрів приймати:

$$\varphi = \frac{A}{\sqrt{n}} (1 - 0,4 \sin \beta) m \quad (1.4)$$

де m - коефіцієнт, що залежить від довжини завантажувального вікна.

Для вертикальних шнеків у роботі Соколова А.Я. [114]:

$$\varphi = 1 - R_{кр}^2 / R_{эс}^2 \quad (1.5)$$

де $R_{эс}$ - радіус кожуха; $R_{кр}$ - критичний радіус.

Для визначення коефіцієнта заповнення φ вертикального шнека Григор'єв О.М. пропонує використовувати залежність [36]:

$$\varphi_0 = 0,25 \lg \left(\frac{630}{G_{\omega}} \right) - 0,05 \quad (1.6)$$

яку можна використовувати з різними D при $k_S = 1$, для сухих, сипучих вантажів з внутрішнім коефіцієнтом тертя $f_0 = 0,5$, при гравітаційній подачі матеріалу та нормальному витоку з бункера.

Проте, як вважають ряд дослідників [36, 54, 73], максимальне значення коефіцієнта заповнення можна визначати лише експериментальним шляхом.

У роботі Григор'єва О.М. [36] наведено експериментальні криві (рис.1.3), що відображають залежність φ від коефіцієнта швидкохідності G_ω .

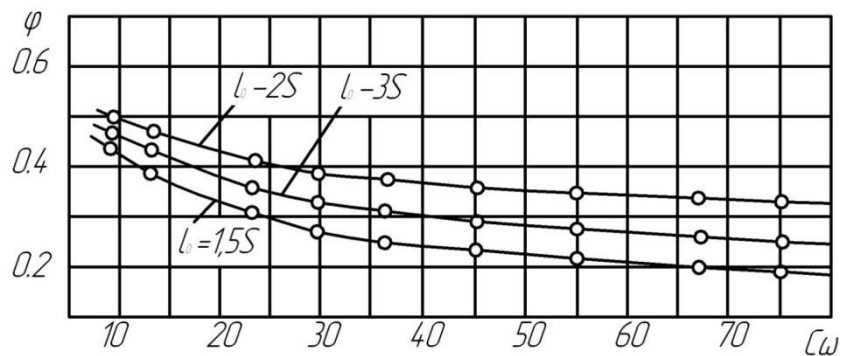


Рис. 1.3 Графічна залежність коефіцієнту заповнення φ від параметра G_ω

У загальному випадку:

$$\varphi = \varphi_0 k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 \quad (1.7)$$

де k_1 - коефіцієнт довжини завантажувального отвору l_0 , k_2 - коефіцієнт внутрішнього тертя f_0 , від якого залежить швидкість надходження матеріалу в завантажувальний отвір; тому на основі механіки сухих легко сипучих вантажів отримано:

$$k_2 = \sqrt{\frac{0,5}{f_0}} \quad (1.8)$$

де k_3 - коефіцієнт конструкції завантажувального отвору, k_4 - коефіцієнт який враховує геометрію гвинта. k_5 - коефіцієнт який враховує вологість матеріалу.

$$k_4 = \sqrt{\frac{k_S \left(\frac{l_0}{S} + 1\right)}{k_S \frac{l_0}{S} + 1}} \quad (1.9)$$

При подачі матеріалу з ростом ω і G_ω продуктивність шнека Q спочатку зростає, а потім спадає у зв'язку зі зменшенням коефіцієнта заповнення.

Орієнтовне значення G_ω , за якого досягається максимальна продуктивність, наведено у табл. 1.3 [36].

Таблиця 1.3.

l_0/S	1 – 1,25	1,5 – 2	2,5 – 3
G_ω	15 – 20	30 – 40	60 – 80

Може виявитися, що шнек з прийнятим діаметром не забезпечить необхідної продуктивності при високих ω . Тоді для розрахунку зручно застосувати формулу [40], яка дає співвідношення між потужністю двох подібних шнеків з однаковими $H, P, l_0/S, k_s$ і β :

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{N'}{N} = \left(\frac{D'}{D}\right)^{2,5}. \quad (1.10)$$

Якщо відомі Q і N для шнека з діаметром D , то легко визначити діаметр D' , продуктивність Q' , потужність N' . Кутову швидкість для шнека з D' визначають за формулою [40]:

$$\omega_b' = \omega_b \sqrt{\frac{D}{D'}}. \quad (1.11)$$

На рис (1.4) наведено експериментальні криві [36] Q, N для гвинтового конвеєра $D=0,15\text{м}$, $S=0,15\text{ м}$, $K_d=0,33$, $l_0=2S$, $H=2,44\text{ м}$, із круговим завантаженням, при транспортуванні пшениці із $\rho=750\text{ кг/м}^3$, та $f_1=f_2=0,35$. Крапками нанесені розрахункові значення. Із графіків видно, що теоретичні залежності дають достатню точність у діапазоні швидкостей із 300-900 об/хв.

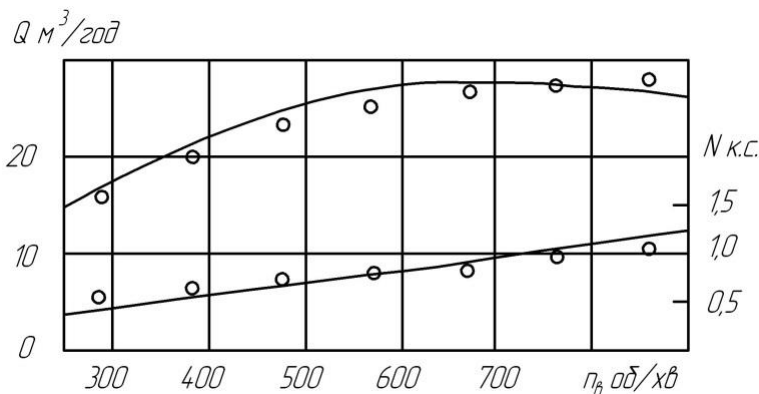


Рис. 1.4. Експериментальні криві продуктивності та споживаної потужності гвинтового конвеєра

В.І. Юзовим [126, 127] проведено порівняння продуктивності і споживаної потужності (рис. 1.5), (рис. 1.6) розрахованими за методиками Л.М.Александра [8], О.М. Григор`єва [36], В.П. Желтова [45], Л. Г. Нільсона [134], Е.В. Рачкова [90] з експериментальними даними.

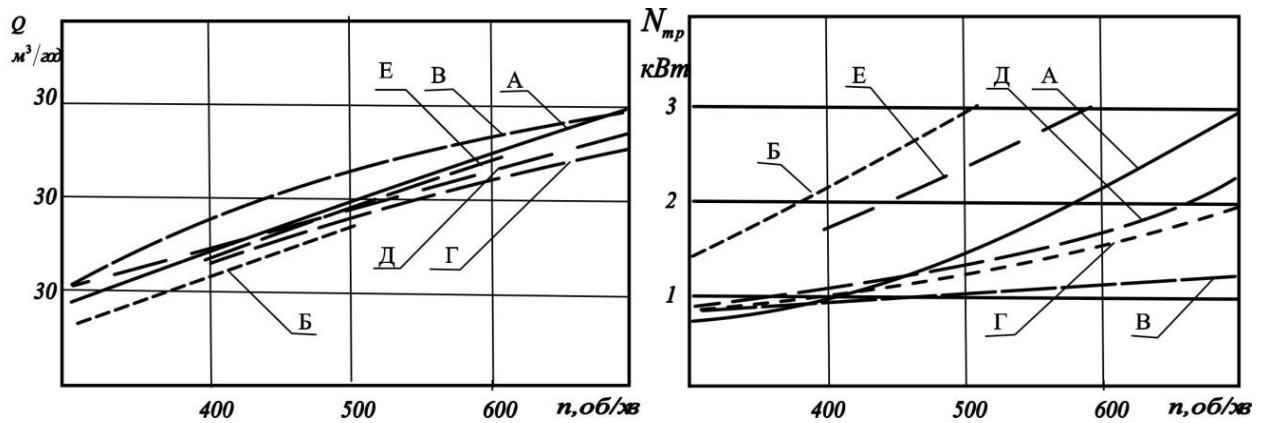


Рис. 1.5. Експериментальні (А), та теоретичні дослідження $Q=f(n_0)$, та, $N=f(n_0)$, при степені завантаження $\varphi_3=0,6$. Розрахунки за методом Л. М. Александра (Б), О.М.Григор'єва (В), В.П. Желтова (Г), Л. Г. Нільсона (Д), Е.В. Рачкова (Е)

Ним встановлено таке:

- розрахунки за методикою Л. М. Александра споживаної потужності приблизно в два рази вищі експериментальної, а продуктивності на 10...30% нижче отриманої дослідним шляхом;

- отримані за методикою О. М. Григор'єва розрахункові значення потужності занижені по відношенню до фактичних в 1.5–2 рази, а продуктивності – завищені на 15...20% при коефіцієнті швидкохідності $G_\omega = 15...20$. При $G_\omega < 20$ задовільна розбіжність результатів експерименту й розрахунку згідно з методикою В. П. Желтова, однак при $G_\omega > 20$, розходження збільшуються і складають для продуктивності 12%, а для потужності 32% ($G_\omega = 40$). Проведені розрахунки по методиці Е.В. Рачкова дають задовільну збіжність з експериментальними даними за продуктивністю і значне розходження (30...100) % за потужністю.

Аналіз розглянутих методик показав, що найменша розбіжність результатів експерименту й розрахунку Q і N_{mp} забезпечуються за умови використання методики В.П. Желтова і Л. Г. Нільсона, однак при коефіцієнті заповнення $\varphi > 0,6$ розрахунки для Q і N_{tr} занижені відповідно на 20-25% і 15-20% відповідно.

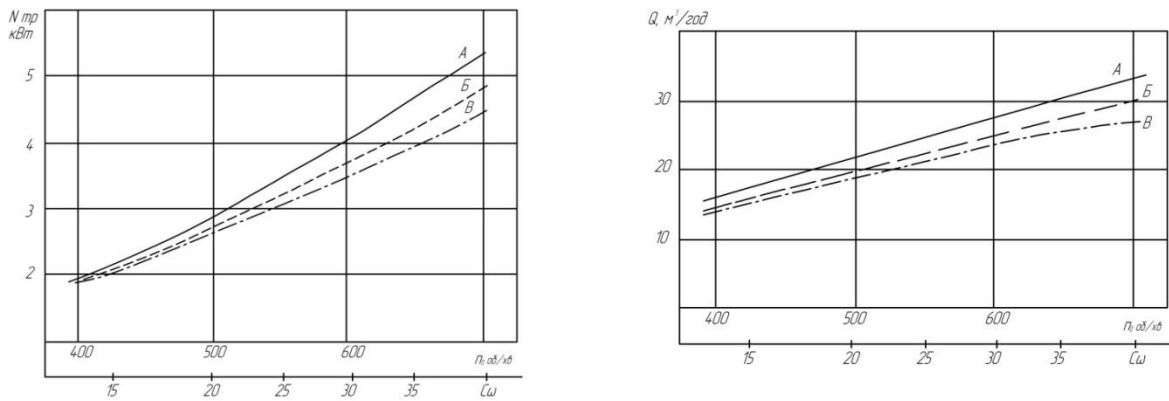


Рис. 1.6. Дослідні (А) та розрахункові залежності $Q=f(n_0)$, та, $N_{mp}=f(n_0)$ при $\varphi_3=0,8$. Розрахункові залежності, отримані за методом Л.Г. Нільсона (Б) і В.П. Желтова (В)

Найбільш відомі залежності для визначення продуктивності та споживаної потужності гвинтових конвеєрів наведено в табл. 1.4.

Таблиця 1.4.

Залежності для визначення продуктивності гвинтових конвеєрів

Автор	Продуктивність ГК	Джерело
А.А.Вайнсон	$Q=47D^3\rho\varphi v c k_m$	[18]
Р.Л.Зенков	$Q=0,25\pi\varphi v^2(D^2-d^2)$	[51]
В.І.Пономарьов	$Q=15\rho\varphi\pi D^2 T n$	[88]
В.В.Красніков	$Q=3600\rho F_c v$	[63]
А.М.Григор'єв	$Q=15\pi D^2\rho\varphi T n c$	[36]
С.В. Бондарев	$Q=47,1[(D+2\lambda)^2-d^2]T\rho\varphi n c$	[17]
М.П.Александров	$Q=0.047D^2 T \rho n \varphi \lambda$	[9]

У наведених залежностях: D , d - зовнішній і внутрішній діаметри шнека; T - крок гвинта; ρ - насипна густина сипкого вантажу; n - частота обертання гвинта; φ - коефіцієнт заповнення конвеєра; F_c - середня площа поперечного перерізу потоку, λ - радіальний зазор; $h = D - l_{\text{вин}} \times \text{tg}(\gamma + \alpha_{\text{зр}})$, де $\alpha_{\text{зр}}$ - кут зрушення, пов'язаний із коефіцієнтом внутрішнього тертя f залежністю $\text{tg}\alpha_{\text{зр}} = f$; v - осьова швидкість вантажу в тихохідному конвеєрі: $v = T \times n / 60$; $k_m = T/D$ - коефіцієнт кроку гвинта; k_3 - вплив конструкції завантажувального пристрою; k_n - коефіцієнт осьової швидкості (для швидкохідних 0,6...0,7; тихохідних 0,8...0,9); c - коефіцієнт впливу на продуктивність кута нахилу гвинта.

Оскільки вертикальний гвинтовий конвеєр і забірний пристрій є однією ланкою транспортуючої системи, то точність розрахункових параметрів конвеєра, продуктивність Q , і споживана потужність N впливають на вибір параметрів забірного пристрою.

1.3. Способи завантаження та аналіз конструкцій забірних пристроїв гвинтових конвеєрів

Ефективність завантаження вертикальних гвинтових конвеєрів у значній мірі залежить від конструкції забірного пристрою. Як показують проведені дослідження, гвинтові конвеєри повинні бути заповненні на 60...80 % від вільного об'єму [90].

Способи завантаження гвинтових конвеєрів наведені на рис. 1.7.

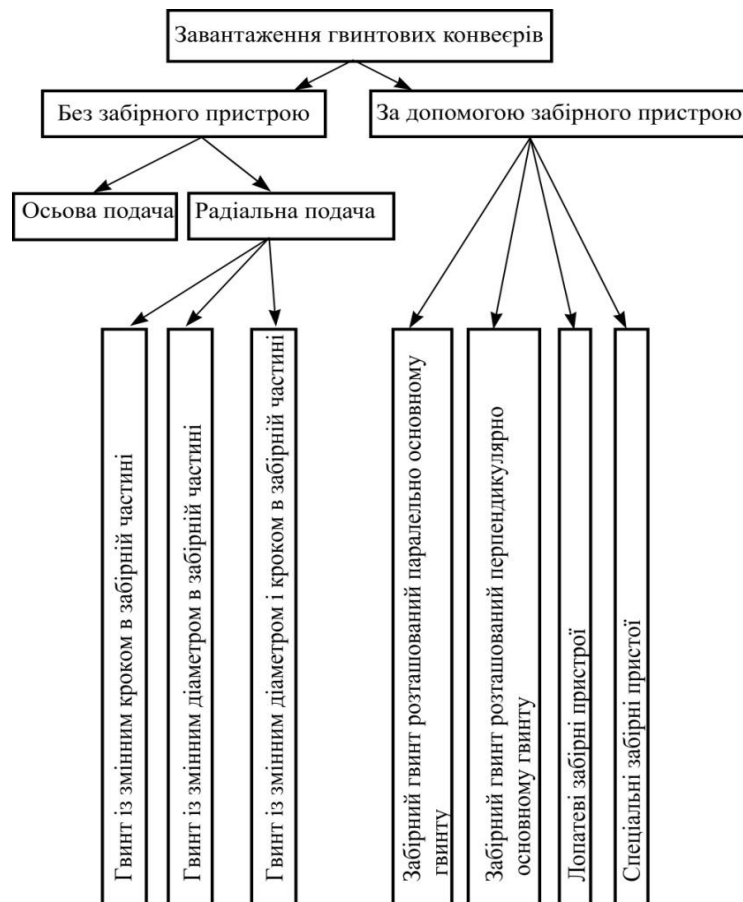


Рис. 1.7. Класифікація способів завантаження гвинтових конвеєрів

Розглянемо два способи завантаження гвинтових конвеєрів – гравітаційний, при вільному просипанні сипкого матеріалу в зону дії гвинта, та примусовий за допомогою спеціальних забірних пристроїв.

1.3.1. Гравітаційне завантаження.

При гравітаційному завантаженні відкрита ділянка конвеєра занурена в бункер (рис. 1.8.) певних розмірів [126]. Розрізняють неповно кругове (рис. 1.9.а.) і кругове (рис. 1.9.б.) завантаження [36]. В першому випадку на ділянці l_0 кожух частково обмежений, а на другому – повністю відсутній. Обов'язковою умовою при гравітаційному завантаженні є забезпечення гарантованого занурення відкритої ділянки конвеєра в шар сипкого матеріалу.

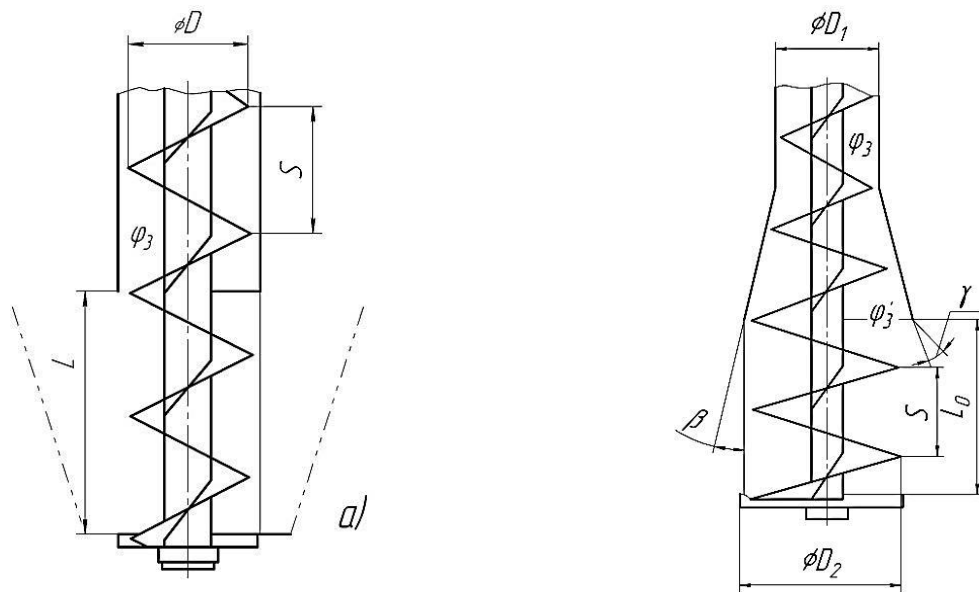


Рис. 1.8. Гравітаційне завантаження вертикального гвинтового конвеєра:

а) циліндричного, в) конічного

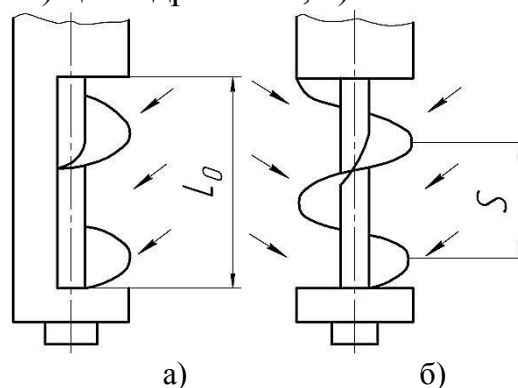


Рис. 1.9. Завантажувальні отвори гвинтового конвеєра

Коефіцієнт заповнення можна збільшити, використовуючи гвинтовий конвеєр, у якому діаметр забірної частини (рис.1.8.в) більший діаметра основного гвинта:

$$D_2 = k_y D_1, \quad (1.12)$$

де k_y - відношення діаметрів основної та забірної частини гвинтового конвеєра. Рекомендовано приймати [43] $k_y = 1,3..1,6$.

Величину кута перехідного конуса визначають з умови розгону матеріалу до уставленого режиму $\beta_k = \frac{\pi}{36} - \frac{\pi}{30}$ рад; $\beta_k = 5...6^\circ$.

Аналіз гвинтових конвеєрів із гравітаційним завантаженням показує, що при правильному виборі параметрів забірної частини і малих значеннях коефіцієнтів швидкохідності, можна отримати коефіцієнт заповнення близький до оптимального.

1.3.2 Завантаження гвинтових конвеєрів за допомогою забірних пристроїв.

Для завантаження швидкохідних гвинтових конвеєрів використовують спеціальні забірні пристрої. Найбільш широке застосування отримали горизонтальні шнекові та лопатеві живильники.

Гвинтові живильники (рис. 1.10.) рекомендовано застосовувати при транспортуванні погано сипких і легких матеріалів [43]. Вони дозволяють збільшити коефіцієнт заповнення гвинтового конвеєра в порівнянні з гравітаційним способом завантаження на 10–15%.

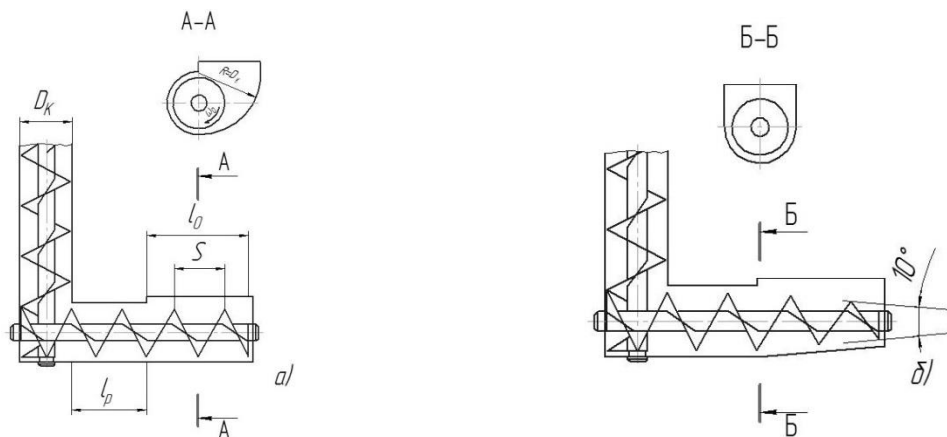


Рис. 1.10. Гвинтові живильники

Відома конструкція шнекового підйомника [2] ЦПКБ Мінрічфлоту (рис. 1.11.), який складається із зовнішньої труби 1 із розвантажувальним отвором 2, шнека 3, забірної лопаті 4 і привода 5. Шнек 1 складається з вала 6 і витків 7. Забірна лопать 4 розташована кромкою 8 під нижнім торцем 9

зовнішньої труби 1 і задньою стінкою 10 з'єднана із радіальною кромкою 11 нижнього витка 7 шнека 3 і вала 6.

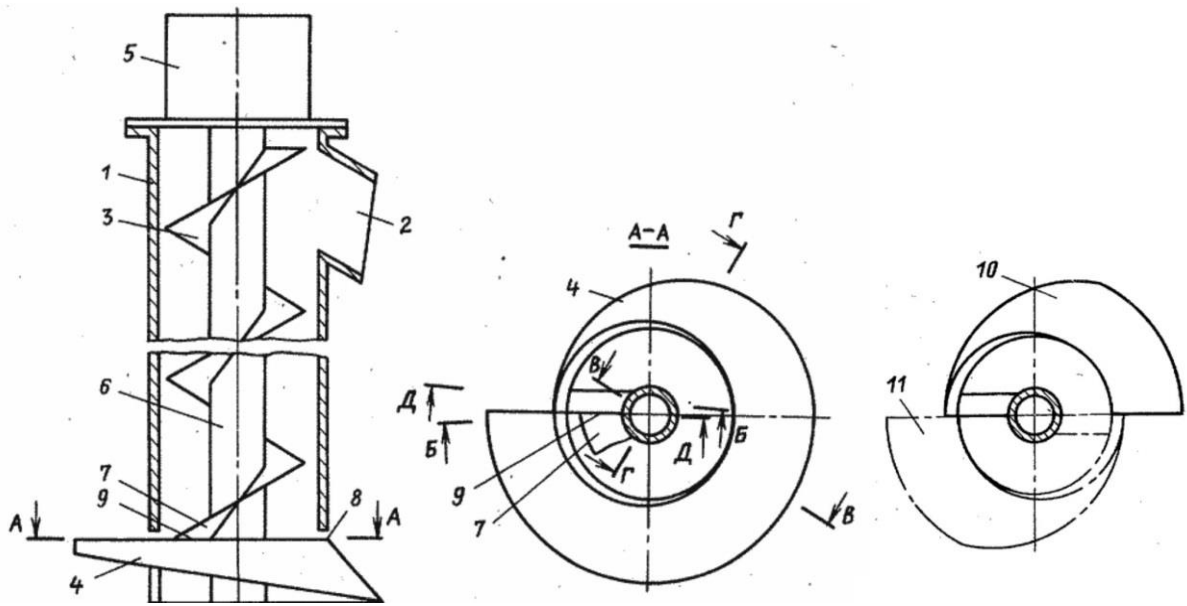


Рис. 1.11. Живильник гвинтового конвеєра

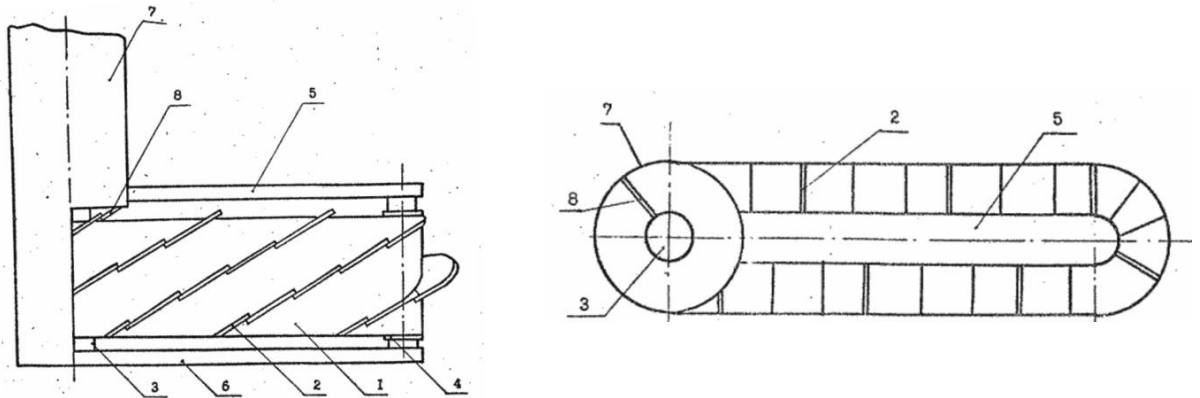
Шнековий підйомник працює так: забірня лопать 4, яка обертається за допомогою привода 5, занурюється в сипкий матеріал, який транспортується. Матеріал, який знаходиться під забірною лопаттю 4, яка обертається, підгрибається нею до валу 6, і витискується нею в трубу 1, де потрапляє на витки 7 шнека 3. Недоліком пристрою є те, що його продуктивність збільшується тільки до деякої величини кутової швидкості гвинта.

Забірний пристрій [3] (рис.1.12) складається з нескінченної стрічки 1 з прикріпленими до неї лопатями 2, яка огинає вал гвинта 3 і натяжний барабан 4. Вісь барабана 4 обертається в опорах закріплених до кронштейнів 5 і 6, які у свою чергу жорстко зв'язані з корпусом 7 гвинтового конвеєра. Матеріал поступає на стрічку з бункера 8.

З метою перешкоджання ковзання стрічки 1 по поверхні вала 3, остання виконана рифленою.

Пристрій працює так: під час обертання вала 3 починає рухатися стрічка 1, яка транспортує матеріал, що поступає з бункера 8 в простір між кожухом і валом гвинта. При переході часток матеріалу через лінію дотику стрічки 1 і вала 3 вони під дією відцентрових сил притискуються до кожуха

гвинтового конвеєра і внаслідок сили тертя починають рухатись вздовж лопаті 2, яка у свою чергу трансформується в гвинтову поверхню і стає початком лопаті гвинта.



а)

б)

Рис.1.12. Забірний пристрій гвинтового конвеєра

а) загальний вигляд; б) вигляд зверху

На рис. 1.13 зображено схему корабельного розвантажувача шведської фірми «Siwertell» [55, 132], який складається із вертикального гвинтового конвеєра 1, із кожухом – головкою яка обертається. Конвеєр змонтований на стрілі, яка може повертатися та нахилитися із допомогою гідроциліндра 3. За допомогою герметичного рукава матеріал перевантажується на другий гвинтовий конвеєр, який встановлено на стрілі, а далі на третій, що знаходиться на платформі 4, і на магістральний стрічковий конвеєр 5.

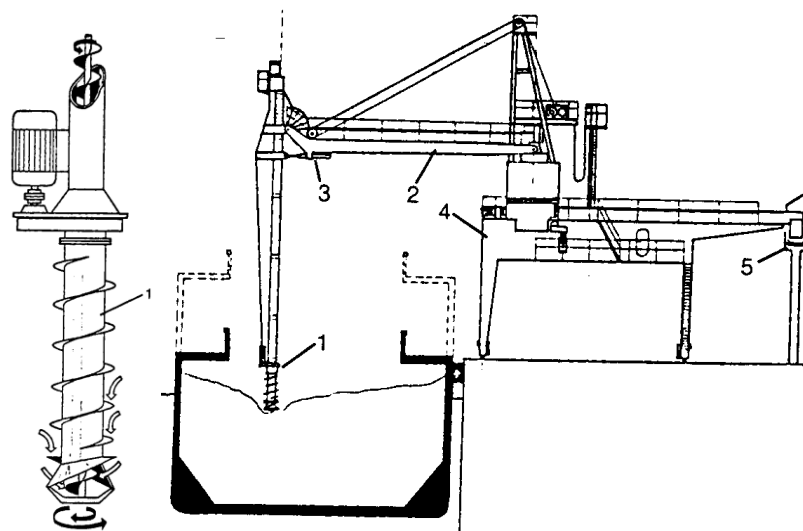


Рис. 1.13. Схема корабельного розвантажувача

Основною перевагою портового перенавантажувача є наявність спеціального лопатевого живильника, який забезпечує практично будь-яке заповнення конвеєра в широкому діапазоні частот обертання гвинта.

Відома конструкція вертикального гвинтового конвеєра [86] (рис. 1.14) для транспортування сипких матеріалів, яка складається з циліндричного кожуха 1, в якому розташований транспортуючий гвинт 2, завантажувальної камери 3, яка виготовлена у вигляді кругової конусоподібної воронки і розвантажувального патрубку 4 на верхньому кінці кожуха 1.

У завантажувальній патрубку 3 з транспортуючим гвинтом 2 розміщена стрічкова спіраль 5, яка охоплює гвинт 2. Стрічкова спіраль 5 нижнім кінцем жорстко кріпиться до ступиці 6, яка вільно закріплена на валу гвинта 2.

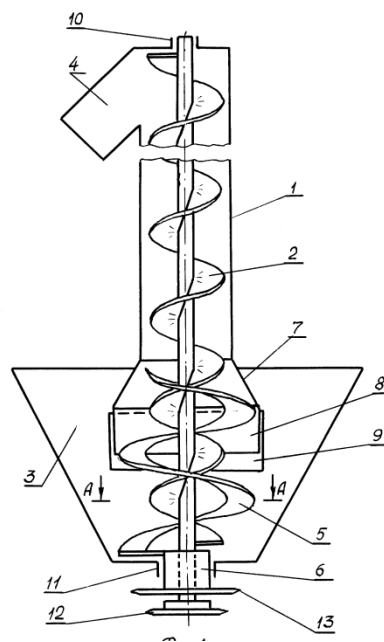


Рис. 1.14. Гвинтовий конвеєр

Підібравши оптимальними параметри транспортуючої пари гвинт-спіраль, можна досягти максимальної продуктивності, надійної роботи при мінімумі затрат енергії і металоємкості вертикального гвинтового конвеєра.

Відомий також вертикальний гвинтовий конвеєр [78] (рис. 1.15.) , який складається зі шнека 1 із однозахідною спіраллю 2, і кожуха 3. В нижній частині шнека встановлено змінний наконечник 4 з двома спіралями, причому основна спіраль навита по всій довжині наконечника, а допоміжна

спіраль 6 вкорочена із торця наконечника. Конвеєр має завантажувальний бункер 7 та вивантажувальний патрубок 8.

Працює конвеєр так: матеріал, який транспортується із завантажувального бункера 7 двома спіралями наконечника 4, при переміщенні вгору перевантажується із вкороченої спіралі 6 на основну 5, звідки поступає на спіраль 2 шнека 1 і піднімається до вивантажувального патрубка 8.

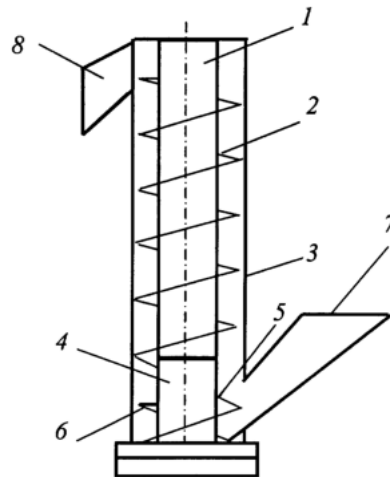


Рис. 1.15. Вертикальний шнековий конвеєр

Експериментальним методом було встановлено, що довжина наконечника може бути не більшою довжини одного кроку навивки спіралі на наконечнику.

Недоліком цього конвеєра є те, що він може ефективно працювати при незначних кутових швидкостях (до 250 об/хв) при діаметрі гвинта 0,076 м, що відповідає коефіцієнту швидкості $G_{\omega} = 7$.

Відома конструкція [1] забірної пристрою вертикального гвинтового конвеєра (рис 1.16.) складається з корпусу 1, з розширеною початковою частиною 2, гвинта 3 із валом 4. Вал виготовлений пустотілим, в розширеній початковій частині 5, і має вікнами 6, із розміщеними між ними лопатями 7. У торці вала 4 встановлено підшипник 8, на який опирається нерухома вісь 9, жорстко зв'язана з корпусом 2 вилкою 10. Співвісно до вісі 9 встановлений із можливістю обертатися пустотілий вал 11, із лопатями додаткового гвинта 12. На осі 9 жорстко закріплена вилка 13, із фрикційними колесами 14, які

входять у зачеплення із валом 11 і втулкою 15, яка жорстко встановлена в торці валу 4.

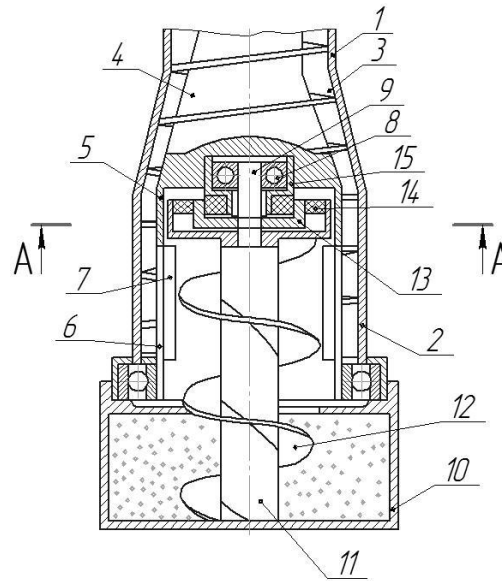


Рис. 1.16. Забірний пристрій гвинтового конвеєра

Пристрій працює так: під час обертання валу 4 і жорстко зв'язаної з ним втулки 15 із кутовою швидкістю ω_1 починають обертатися колеса 14 із швидкістю ω_2 . Оскільки колеса 14 також входять у зачеплення із валом 11, то він також буде обертатися із швидкістю ω_3 , яка залежить від радіусу втулки 15 і вала 11.

Додатковий гвинт транспортує сипкий матеріал в пустотілу частину гвинта 3, де він потрапляє на лопаті 7. Під дією відцентрової сили матеріал рухається по лопатях 7, проходить через вікна 6, підхоплюється гвинтом конвеєра 3.

Відомий також вертикальний гвинтовий конвеєр [81] (рис. 1.17.), який складається із рами 1, на якій закріплено електричний двигун 2 та циліндричний корпус 3, у якому розміщено вал 4 з гвинтовою стрічкою 5, який змонтований на два опорних підшипника 6 і 7, причому вал 4 із гвинтовою стрічкою 5 утворюють робочий орган - гвинт 8. У циліндричному корпусі 3 виконано завантажувальний 9 і вивантажувальний 10 отвори.

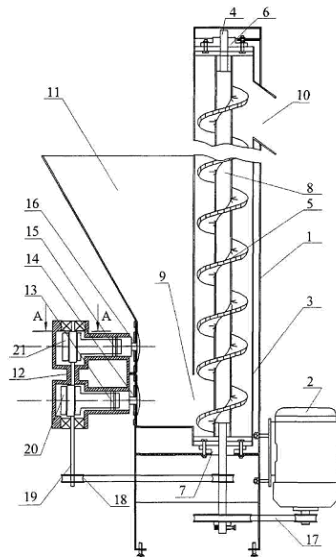


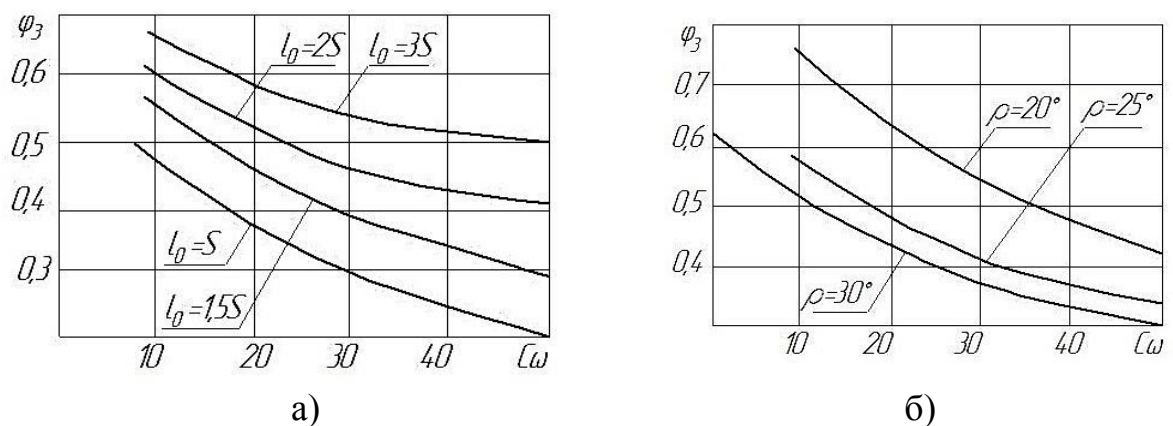
Рис.1.17. Вертикальний гвинтовий конвеєр

1.4. Огляд досліджень забірних пристроїв

Найбільшу кількість робіт присвячено експериментальним дослідженням роботи гвинтових конвеєрів.

Значний вплив на коефіцієнт заповнення вертикального гвинтового конвеєра мають фізико-механічні властивості матеріалів, що транспортуються, коефіцієнта швидкохідності G_ω та довжини забірної частини.

На рис. 1.18 а) зображено [44] залежності коефіцієнтів заповнення вертикального гвинтового конвеєра φ_3 від коефіцієнта швидкохідності G_ω при різних значеннях відносної довжини завантажувального вікна l_0/S .

Рис. 1.18. Залежності коефіцієнту заповнення вертикального гвинтового конвеєра φ_3 від коефіцієнта швидкохідності G_ω

Конвеєр має постійний діаметр гвинта, а крок рівний діаметру. На рис. 1.18.б) наведено залежності коефіцієнтів заповнення вертикального гвинтового конвеєра φ_3 від коефіцієнта швидкості G_ω при різних значеннях кута внутрішнього тертя різних матеріалів.

Дослідженнями Ю.В. Волкова [20-22] встановлено, що гвинтова лопать є складною перешкодою на шляху потоку матеріалу в забірній камері, на який діють пульсуючі удари і рух стає нерівномірним. Внаслідок цього із збільшенням кутової швидкості забірна здатність гвинта зменшується. Для більш ефективної роботи шнека з великою частотою обертання необхідно застосовувати забірні пристрої.

У цих же роботах приведено порівняльний аналіз експериментальних досліджень роботи гвинтових конвеєрів при різних способах завантаження. На рис. 1.19. приведено графіки [20] продуктивності гвинтового конвеєра в залежності від кутової швидкості гвинта при різних формах завантажувального бункера. Отже, оптимальним є кругове завантаження при довжині завантажувального вікна $l_0 = (2...4)S$. Максимальна продуктивність досягається при $n=1200...1700$ об/хв для шнеків малого діаметру $D=(0,05...0,09)$ м і при $n=600...800$ об/хв для шнеків великого діаметру $D=(0,1...0,15)$ м. Встановлено також, що до 50% споживаної шнеком потужності витрачають на забір матеріалу.

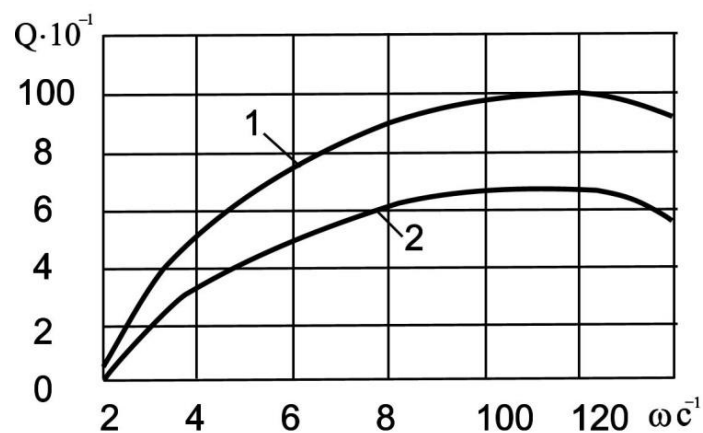
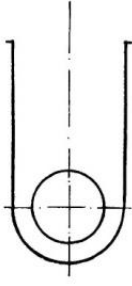
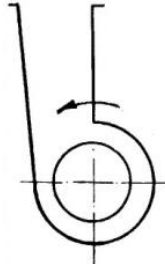
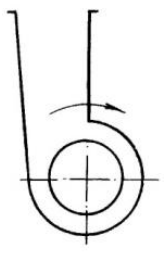
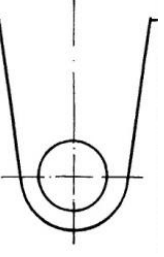
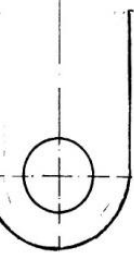


Рис.1.19. Вплив форми бункера та кутової швидкості на продуктивність гвинтового конвеєра: 1- кругове завантаження; 2 - бокове завантаження

У табл. 1.5 приведено коефіцієнти порівняльної оцінки щодо продуктивності в залежності від форми завантажувального бункера, отримані в результаті досліджень горизонтальних тихохідних гвинтових конвеєрів, проведених в Саратовському інституті механізації сільського господарства [21].

Таблиця 1.5.

Значення коефіцієнтів порівняльної оцінки щодо продуктивності транспортуючих шнеків у залежності від форми завантажувального бункера

Форма бункера					
Коефіцієнт порівняльної оцінки по продуктивності	0,69	0,73	0,78	0,94	1,00

Досліджуючи роботу вертикального гвинтового конвеєра Л. М. Александр [8], у своїй роботі приходять до висновку, що обов'язковою умовою нормальної роботи вертикального шнека, є створення надлишкового тиску в завантажувальному отворі. Величину цього тиску можна визначити за формулою:

$$p = 0,3\gamma HS. \quad (1.13)$$

де γ – насипна вага, H/m^3 ; H – висота піднімання вантажу, m ; S – площа завантажувального отвору, m^2 .

А.С. Щербаковим і М.В. Мурашовим [74, 75] проведено експериментальні дослідження різноманітних способів завантаження гвинтових конвеєрів і надані рекомендації щодо вибору оптимальних режимів роботи і відношенню довжини завантажувального вікна до кроку гвинта в залежності від конструкції забірної частини шнека.

Можемо зробити висновок, що для гвинтових конвеєрів з частотою обертання шнека до 60 c^{-1} , рекомендується приймати відношення довжини забірної вікна до кроку гвинта $l_0/S = 3$, а при частоті обертання більшій 60 c^{-1} , $l_0/S = 4 \dots 4,5$, з кроком гвинта в забірній частині рівним діаметру шнека.

У роботі Байбари С.Н. [13] наведено результати дослідження вертикальних гвинтових конвеєрів із різним кутом нахилу лопаті по відношенню до його валу (рис. 1.20, рис. 1.21.) і дослідним шляхом встановлено, що максимальна продуктивність вертикального гвинтового конвеєра при транспортуванні сипких матеріалів забезпечується при куті підйому гвинтової лінії в діапазоні $20 \dots 24^\circ$, що відповідає кроку гвинта $S = 1,2 \dots 1,4D$, і частоті обертання шнека $n = 150 \dots 200 \text{ об/хв}$ (рис 1.22.).

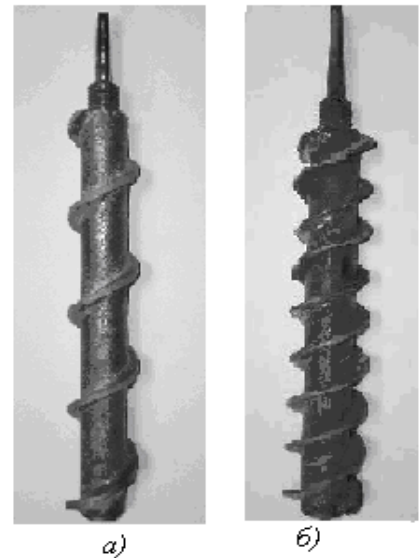
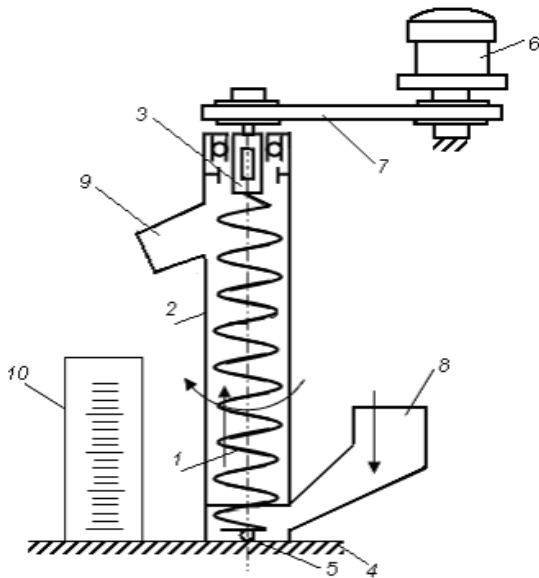


Рис. 1.20. Схема експериментального стенда. Рис. 1.21. Дослідні шнеки.

1 - шнек, 2 - кожух, 3 - шпиндель, 4 - станина, 1. однозахідний,
5 - шарова опора, 6 - електродвигун, 7 - клино- 2. двозахідний
пасова передача, 8 - забірний пристрій,
9 - лоток, 10 - мірна ємкість

Встановлено, що для покращення енергетичних показників процесу транспортування вертикальними гвинтовими конвеєрами необхідно, щоб лопаті гвинта було встановлено під кутом $10 \dots 15^\circ$ вниз щодо його валу. Доведено, що гвинтові конвеєри з такою гвинтовою лопаттю мають на

48...50% більшу продуктивність у порівнянні з гвинтовими конвеєрами типової конструкції.

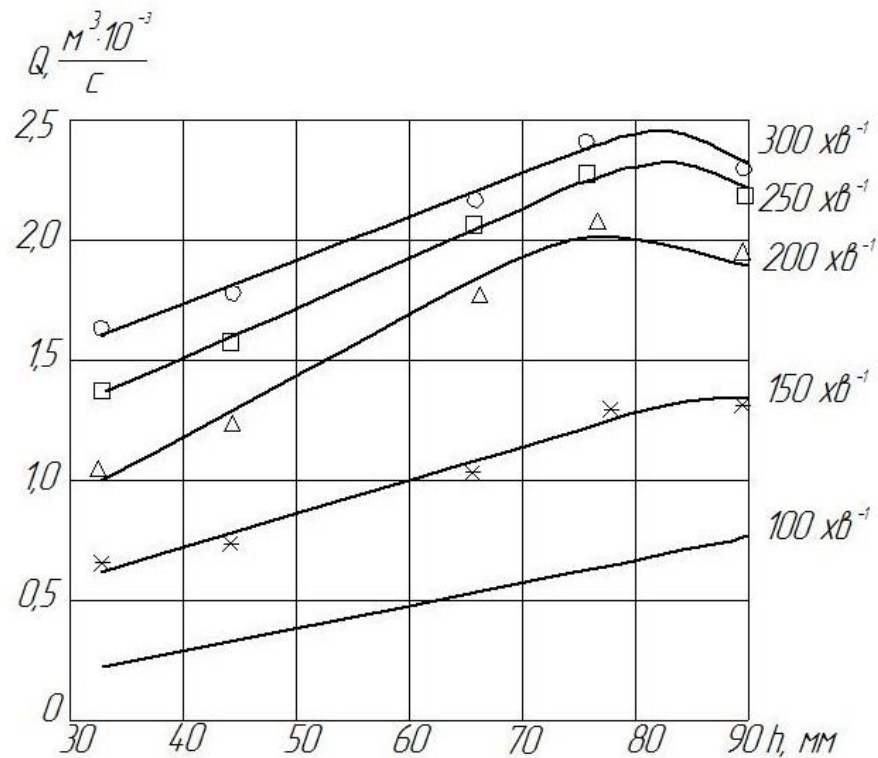


Рис 1.22. Залежність продуктивності гвинтового конвеєра від кроку гвинта

У роботах А.С. Щербакова [124, 125] наведено результати експериментальних досліджень трьох різних шнеків із різними приймальними частинами на довжині завантажувального вікна, та три різні забірні пристрої, які забезпечують різні способи подачі сипкого матеріалу в кожух конвеєра.

Схеми забірних пристроїв наведено на рис 1.23., а конструкцій шнека на рис 1.24.

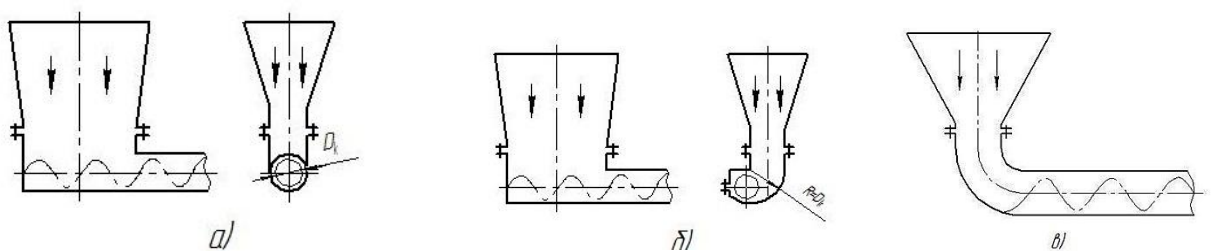


Рис. 1.23. Конструкції забірних пристроїв. а - шнек із вертикальною подачею; б - шнек із боковою подачею; в - шнек із осьовою подачею

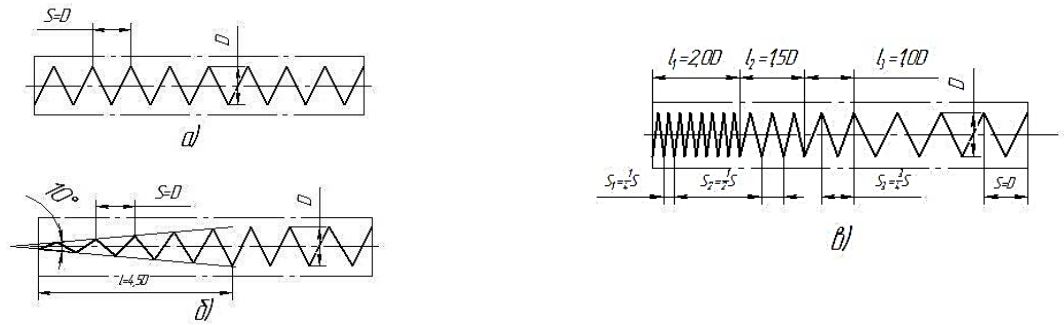


Рис. 1.24. Конструкції шнеків. а - шнек із кроком, рівним діаметру по всій довжині; б - конусоподібний шнек; в - шнек із змінним кроком

За результатами досліджень можна зробити висновок, що для швидкохідних гвинтових конвеєрів рекомендується застосовувати бокову подачу матеріалу і шнек з кроком, який дорівнює діаметру по всій довжині гвинта. При вертикальній подачі матеріалу потрібно застосовувати кожух із конусною приймальною частиною.

Результати досліджень продуктивності гвинтового конвеєра для різних матеріалів наведено на рис. 1.25.

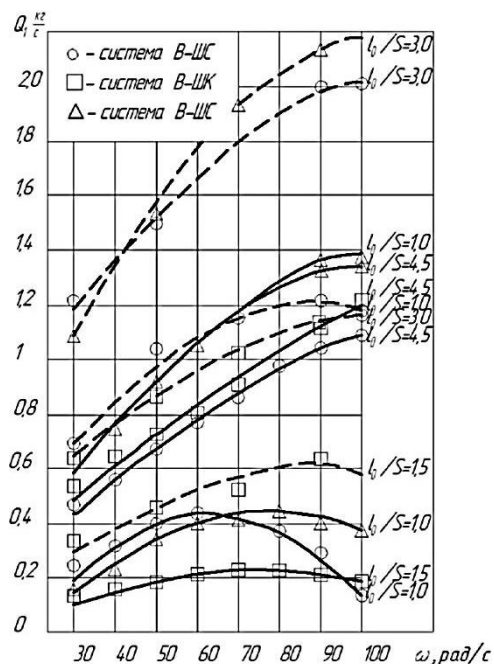


Рис. 1.25. Залежність продуктивності гвинтового конвеєра від конструктивних і швидкісних факторів та типу торфу. – торф №1, --торф №2

За умови мінімальної питомої енергоємності Щербаков А.С рекомендує такі оптимальні швидкісні режими: для конвеєра із системою "бокове завантаження" і кроком – рівним по всій довжині гвинта –

$\omega = 50 \dots 90 \text{ рад/с}$, а з системою "вертикальне завантаження – конусний шнек" – $\omega = 60 \dots 80 \text{ рад/с}$.

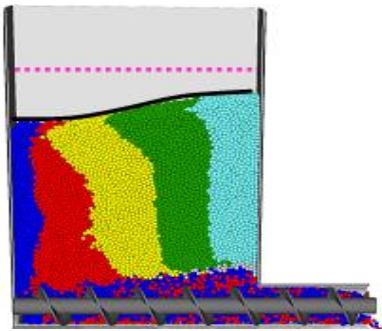
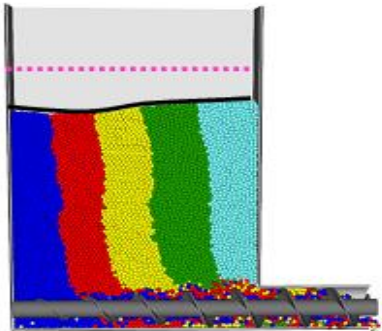
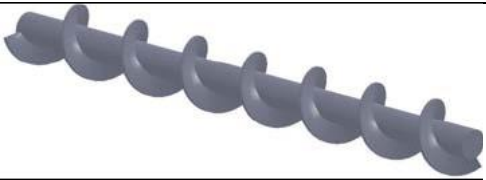
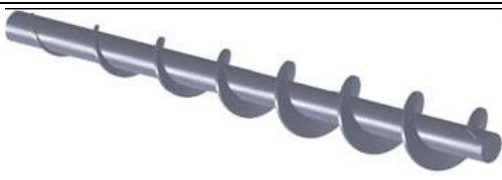
Е.В. Рачков [90] значну увагу у своїй роботі відводив визначенню оптимального значення коефіцієнта заповнення φ_3 . Встановлено, що коефіцієнт заповнення φ_3' , за умови максимальної продуктивності в рівних умовах завжди більший від коефіцієнта заповнення φ_3'' , за умови мінімальних енергозатрат, тому рекомендує приймати φ_3 середнім, між φ_3' та φ_3'' . Згідно з дослідженнями Е.В. Рачкова, оптимальна величина ступеня заповнення знаходиться в межах $\varphi_3^{opt} = 0,85 \dots 0,95$.

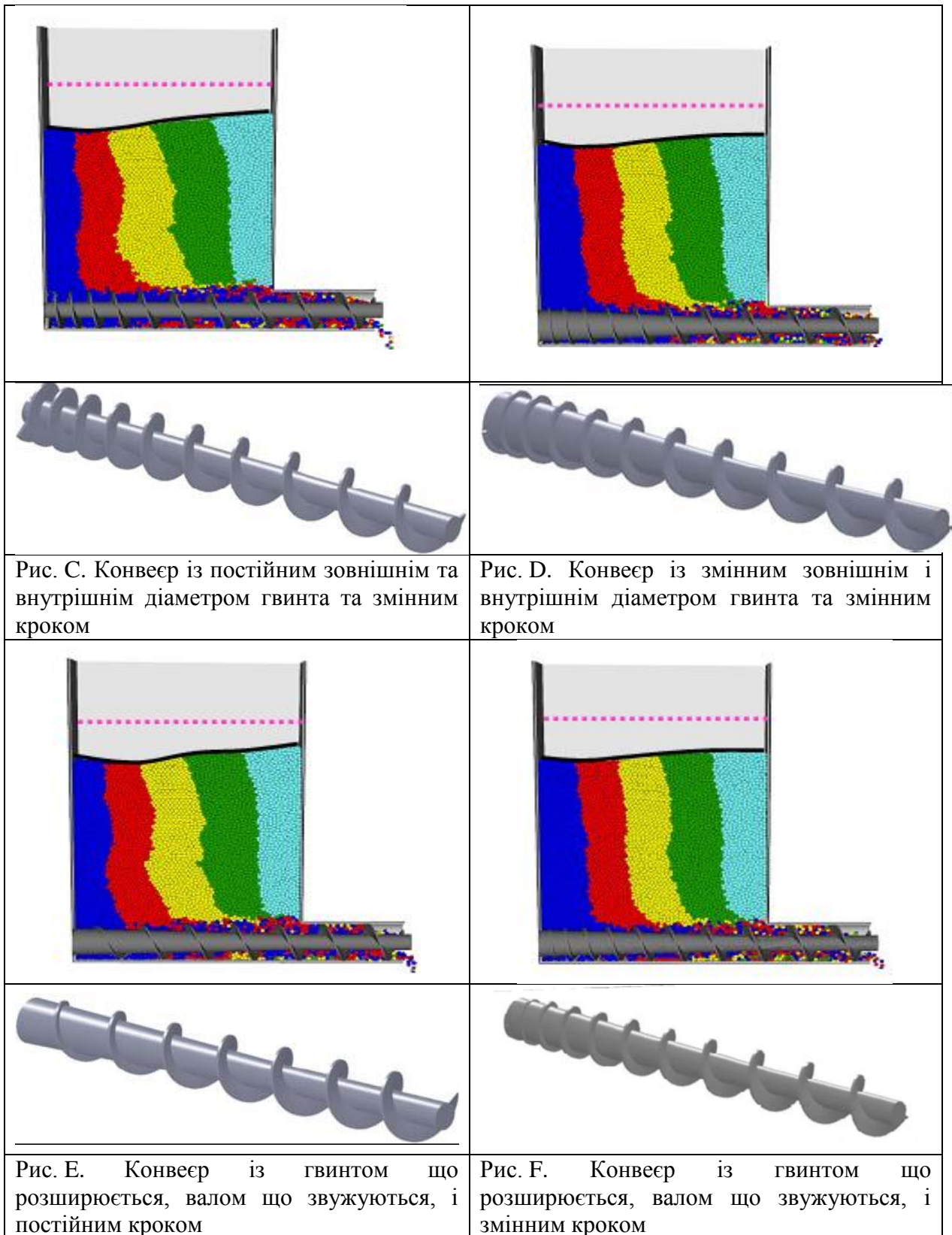
За результатами проведених досліджень зроблено висновок, що для гвинтових конвеєрів із кутовою швидкістю до 60 рад/с рекомендується притримуватися відношення $l_0/S = 3$, а при кутовій швидкості більше 60 рад/с, $l_0/S = 4 \dots 4,8$.

У роботі Джастіна Фернандеса [131] наведено результати експериментальних досліджень руху сипкого середовища в забірній частині гвинтового конвеєра (табл.1.6.) .

Таблиця 1.6.

Залежність витрати матеріалу по довжині гвинта, для різних типів гвинтів

	
	
<p>Рис. А. Конвеєр із постійним зовнішнім та внутрішнім діаметром гвинта, та незмінним кроком</p>	<p>Рис. В. Конвеєр із звуженим зовнішнім діаметром, постійним внутрішнім діаметром гвинта, та незмінним кроком</p>



В установці використовують 6 типів гвинтів які вготовляє промисловість, геометричні характеристики наведено в табл. 1.7.

У них змінні зовнішній і внутрішній діаметр та крок гвинта.

Геометричні характеристики гвинтів

Конвеєр	Зовнішній діаметр гвинта, мм	Діаметр вала, мм	Крок гвинта, мм
A	52,5	22,5	52,5
B	22,5-52,5	22,5	52,5
C	52,5	22,5	12-52,5
D	52,5	45-22,5	12-52,5
E	37,5-52,5	37,5-22,5	52,5
F	37,5-52,5	37,5-22,5	12-52,5

На рис. 1.26 наведено розподіл витрат матеріалу по довжині гвинта.

Бачимо, що гвинт типу С забезпечує найбільшу продуктивність, при чому матеріалу, який транспортується, має відсоткове співвідношення 54 % – матеріал синього кольору, 32 % - матеріал червоного кольору, 12 % – матеріал жовтого кольору, 2 % – матеріал зеленого кольору і 0 % – матеріал блакитного кольору.

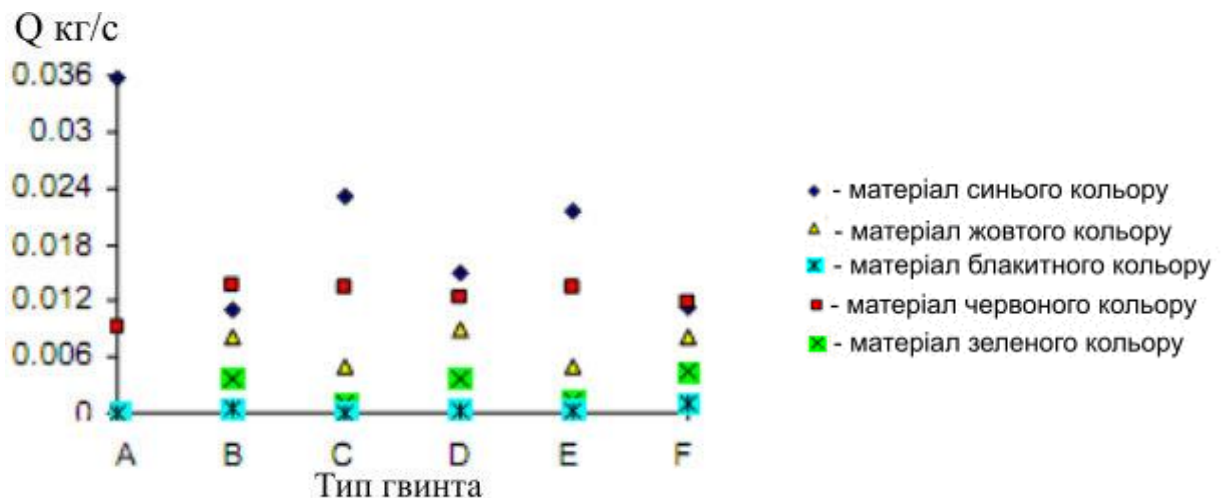


Рис. 1.26. Витрата матеріалу по довжині гвинта, для різних моделей гвинта

Автором проведено дослідження впливу коефіцієнта тертя матеріалу по поверхні гвинта на масову продуктивність та енергетичні показники.

Встановлено, що при збільшенні коефіцієнта тертя з 0,367 до 0,567 - продуктивність конвеєра зменшується на 7%, а споживана потужність зростає на 10%; при зменшенні коефіцієнта тертя з 0,307 до 0,167

продуктивність гвинтового конвеєра збільшилася приблизно на 30 %, а споживана потужність зменшується на 60%.

1.5. Результати дослідження реологічних властивостей сипких матеріалів

Реологічні рівняння суцільних середовищ – це рівняння, які встановлюють залежність між компонентами тензора напружень, деформації та їх похідними по часу. Такі рівняння можуть бути не залежними від конкретних обставин руху суцільного середовища, тобто однаковими при різноманітних рухах цього середовища або бути залежними від характеру його руху [58, 59, 60, 112].

Сипким матеріалом називають широкий клас дисперсних матеріалів, які знаходяться в контакті один з одним.

Термін “гранульовані” використовують для позначення сипкого матеріалу з розмірами частинок 0,1-1 мм (гранульовані частинки), та 3-4 мм (гранульовані матеріали) [70, 71].

Для опису руху сипких матеріалів є декілька моделей.

У роботі А.Ю Ішлинського [57] розглядається плоский рух сипкого середовища (пісок). При цьому, для побудови рівнянь руху автором прийнято такі припущення:

- 1) середовище пружне і не стискається;
- 2) величина напружень у середовищі не залежить від величини швидкості її деформації;
- 3) тензор швидкостей деформації коаксіальний тензору напружень;
- 4) напружений стан середовища задовольняє тим самим умовам, що і напружений стан граничної рівноваги сипкого середовища [115].

Разом з тим В. Н. Ніколаевский [76] наголошує, що формально введена гіпотеза про коліарність тензора напружень і швидкостей деформації сипкого нестисливого кулонівського середовища суперечить фізично зрозумілому поняттю, а напрямок найбільшого опору середовища співпадає з напрямком найбільшого зсуву.

Л.С. Загайнов [46] розкрив деякі властивості різних моделей сипкого середовища та виявив переваги моделі, яку запропонував Жослен де Йонг [130].

На основі цієї моделі встановлено залежності між компонентами швидкостей деформації та напруженнями і наведено рівняння руху сипкого середовища.

А.А. Ілюшин у своїй роботі [56] зазначив, що для ідеального нестисливого середовища – умовно-твердого тіла (сухий пісок, зерно, гранульовані породи), девіатори напружень і швидкостей деформацій співпадають. Запропонована автором залежність може бути використана для сухих сипких матеріалів із достатньою газопроникністю, коли повітря суттєво не впливає на характер руху твердої фази [33, 34].

У механіці сипких середовищ розглядають також широкий клас рухів гранульованих матеріалів, характер яких можна віднести до типу швидких рухів [72]. Поведінка частинок таких матеріалів подібна до поведінки в'язкої рідини і відрізняється від їхнього опису в рамках теорії пластичності [76].

Для опису гідродинаміки сипкого середовища з досить дрібними розмірами частинок в роботі [118] запропонована така реологічна модель:

$$\sigma_{ij} = \eta^n I^{n-1} e_{ij}, \quad (1.17)$$

де σ_{ij} - тензор напружень; e_{ij} - тензор швидкостей деформацій; I - інтенсивність швидкостей деформації; η - в'язкість; n - реологічний параметр, який характеризує ступінь не ньютонівської поведінки матеріалу.

При $n = 1$ дана модель перетворюється у відомий закон Ньютона [69].

1.6. Висновки та завдання дослідження

Аналіз викладених вище досліджень дозволив зробити такі висновки:

- аналіз руху процесу завантаження швидкохідних гвинтових конвеєрів ґрунтується в основному на експериментальних дослідженнях;
- відсутні дослідження по визначенню тиску матеріалу в бункері, в якому знаходиться гвинтовий конвеєр;
- проведений патентний пошук конструкцій забірних пристроїв гвинтових конвеєрів свідчить про те, що для забезпечення необхідного коефіцієнта заповнення швидкохідного гвинтового конвеєра необхідно розробити ефективні технічні засоби.

У результаті проведеного огляду та аналізу невирішених питань визначено напрямки дослідження, що полягають в:

- моделюванні процесу завантаження вертикального гвинтового конвеєра;
- обґрунтуванні параметрів бункера з розташованим у ньому гвинтовим конвеєром;
- розробці та дослідженні принципово нових рішень забірних пристроїв, у яких відцентрові сили інерції не перешкоджають завантаженню гвинтових конвеєрів;
- експериментальному підтвердженні основних теоретичних досліджень та обґрунтуванні параметрів забірних пристроїв гвинтових конвеєрів.

За вказаними напрямками сформульовано конкретні завдання дисертаційної роботи, які наведено у вступній частині.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Методика теоретичних досліджень

Для дослідження руху сипкого матеріалу в забірній частині швидкохідного вертикального гвинтового конвеєра необхідно враховувати різні чинники, які впливають на процес транспортування. Перш за все, це характер руху суцільного середовища в бункері з врахуванням відцентрових сил інерції, які виникають в масі матеріалу внаслідок обертання гвинта; вплив форми та геометричних параметрів бункера; реологічні та фізико-механічні властивості сипких матеріалів, які транспортуються гвинтовими конвеєрами.

До завдань теоретичних досліджень входило: побудова математичної моделі процесу завантаження вертикального гвинтового конвеєра; обґрунтування параметрів бункерних пристроїв та виявлення закономірностей руху сипкого матеріалу в запропонованому забірному пристрої.

Програма та методика теоретичних досліджень передбачала:

- вивчення руху сипкого матеріалу в забірній частині вертикального гвинтового конвеєра, зокрема на плоскій моделі напружено-деформованого стану сипкого середовища;
- визначення тиску сипкого середовища на кожух гвинтового конвеєра, який знаходиться в бункері;
- вивчення впливу геометричних і кінематичних параметрів забірною пристрою на продуктивність гвинтового конвеєра;
- перевірку результатів дослідження за отриманими моделями відомими експериментальними даними.

2.2. Моделювання процесу завантаження вертикального гвинтового конвеєра

Розглянемо гвинтовий конвеєр, який знаходиться в бункері, заповненому сипким матеріалом, із заданими фізико-механічними властивостями. Висоту засипки матеріалу H_0 будемо вважати постійною величиною рис 2.1.

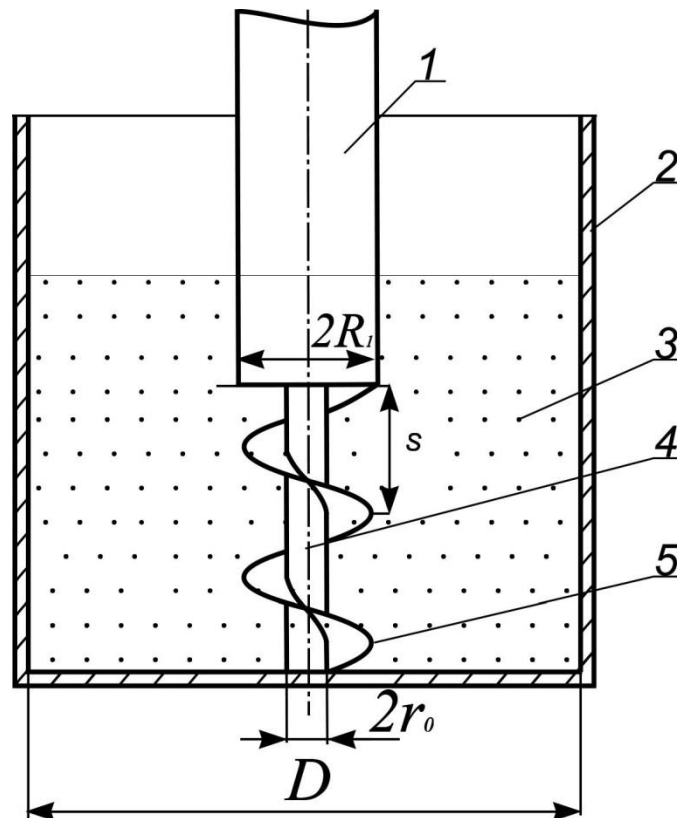


Рис. 2.1. Схема бункера з гвинтовим конвеєром

1 - кожух, 2 - бункер, 3 - сипкий матеріал, 4 - вал гвинта, 5 - гвинт

Для дослідження руху сипкого матеріалу у гвинтовому каналі шнека в загальному випадку використовують гвинтову систему координат $(0\varphi rz)$, яка жорстко зв'язана із шнеком, але отримати навіть наближений розв'язок рівнянь руху в цій системі досить складно. Тому з метою спрощення поставленої задачі, замість гвинтової використовують циліндричну систему координат. При цьому треба враховувати, що це не кільцевий рух, оскільки він не є замкнутим.

Оскільки ми розглядаємо швидкохідний вертикальний гвинтовий конвеєр, то в першому наближенні прийmemo, що під дією відцентрових сил вантаж заповнює периферійну зону гвинтового каналу. Приймемо $l = R_1 - R_0$ (рис 2.2) [134].

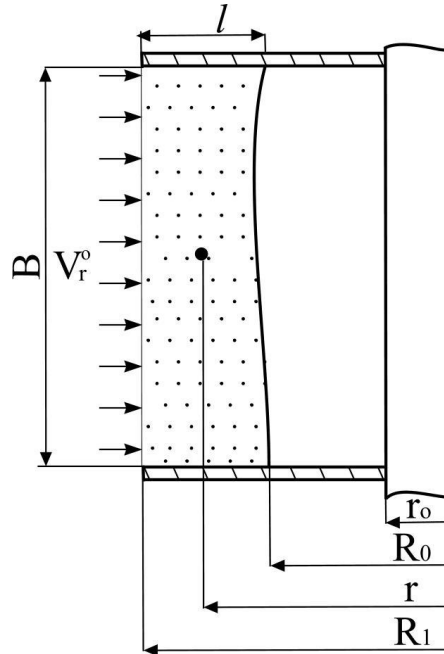


Рис. 2.2. Схема розташування сипкого матеріалу в перерізі гвинтового каналу

У цьому випадку коефіцієнт заповнення буде рівний

$$K_3 = \frac{R_1^2 - R_0^2}{R_1^2 - r_0^2}, \quad (2.1)$$

де r_0 - радіус вала гвинта.

$$\text{Звідки } R_0 = \sqrt{R_1^2 - K_3(R_1^2 - r_0^2)}.$$

Якщо прийняти $K_3 = 0,8$, $r_0 = 0,3R_1$, то будемо мати $R_0 \approx 0,5R_1$.

Отже, надалі будемо розглядати рух матеріалу в «умовному» каналі гвинта, радіус вала якого рівний R_0 .

При цьому звичайно відсутня сила тертя між матеріалом і валом шнека, а також тиск вала на поверхню шнека.

Оскільки $l/B \ll 1$, $l = R_1 - R_0$, $B \approx 2R_1$, то можна розглянути квазіплоску модель руху сипкого середовища в гвинтовому каналі (рис. 2.3).

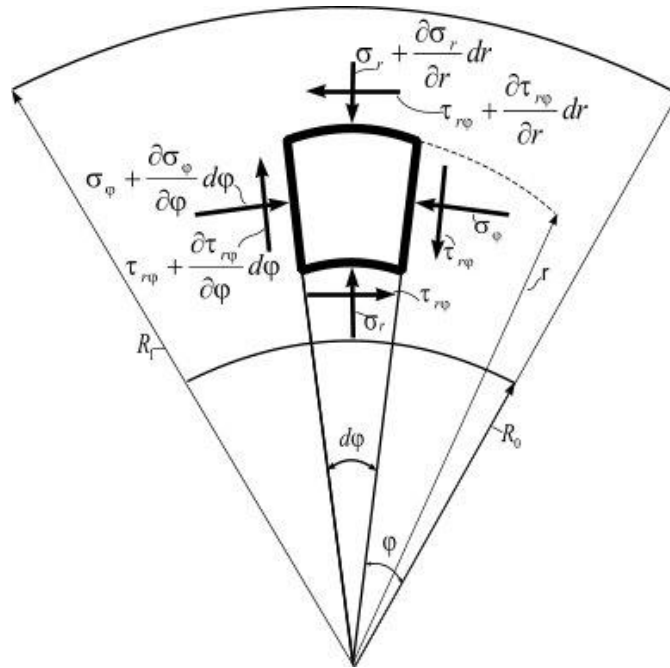


Рис. 2.3. Плоска модель руху сипкого середовища в гвинтовому каналі

У цьому випадку з врахуванням того, що рух матеріалу має характер шарів, приймемо, що $V_z = 0$, $\partial V_\varphi / \partial z = 0$.

Рівняння руху суцільного середовища (в полярній системі координат) [102] матимуть вигляд:

$$\rho \left(V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + V_\varphi \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \varphi} - \frac{V_\varphi^2}{r} \right) = \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} + \rho F_r; \quad (2.2)$$

$$\rho \left(V_r \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + V_\varphi \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} - \frac{V_r V_\varphi}{r} \right) = \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{2\tau_{r\varphi}}{r} + \rho F_\varphi; \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} = 0, \quad (2.4)$$

де V_r, V_φ - проекції вектора швидкості частинки матеріалу відповідно на напрямок радіус-вектора та на перпендикулярний до нього напрямок;

F_φ, F_r - проекції масових сил на ті ж напрямки;

$\sigma_r, \sigma_\varphi, \tau_{r\varphi}$, - компоненти тензора напружень в полярних координатах.

Рівняння (2.2), (2.3) є рівняннями руху суцільного середовища, записаних у змінних Ейлера, а рівняння (2.4) – рівняння неперервності в полярних координатах. На відміну від пластичного середовища приймаємо

правило знаків для напружень, згідно з яким на площадці зовнішня нормаль, до якої співпадає з додатнім напрямком координатної осі, додатні компоненти напружень мають напрямки – протилежні напрямкам відповідних координатних осей.

Згідно з дослідженнями [131], швидкість V_r^0 , з якою сипкий матеріал поступає в гвинтовий канал забірної частини шнека зменшується від максимального значення до нуля по лінійному закону:

$$V_r^0 = 2V_c \left(1 - \frac{R_1}{L_0} \varphi \right) = 2V_c \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_1} \right), \quad (2.5)$$

де V_c – середня швидкість, з якою матеріал поступає з бункера у гвинтовий канал;

φ_1 – кінцеве значення координати φ .

$$V_c = \frac{Q}{L_0 B}, \quad (2.6)$$

де Q – об’ємна продуктивність гвинтового конвеєра $\text{м}^3/\text{с}$;

B – ширина гвинтового каналу $B = S \cdot \cos \alpha$;

S – крок гвинта;

α – кут підйому гвинтової лінії;

L_0 – довжина гвинтового каналу в забірній частині $L_0 = \varphi_1 R_1$.

Тоді кут $\varphi_1 = L_0 / R_1$.

Оскільки в нашому випадку висота каналу набагато більша від його довжини, то можна прийняти, що радіальна швидкість зменшується від максимального значення V_z^0 до нуля вздовж радіуса за лінійним законом

$$\frac{\partial V_r}{\partial r} = C. \quad (2.7)$$

Звідки
$$V_r = C(\varphi)r + C_0, \quad (2.8)$$

де $C = C(\varphi)$ – деяка функція, яка залежить від координати φ (рис 2.4).

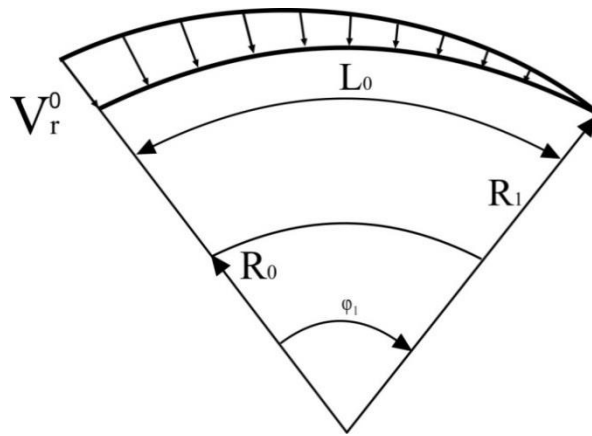


Рис. 2.4. Епюра розподілу швидкості матеріалу в забірній частині
ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА

На рис. 2.5. зображена розгортка гвинтового каналу

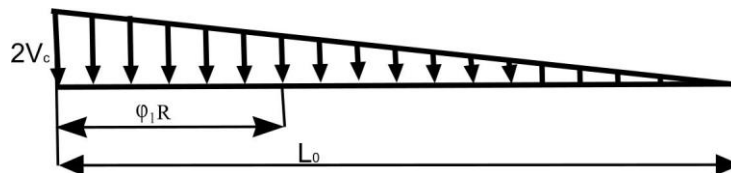


Рис. 2.5 Розгортка гвинтового каналу

Запишемо граничні умови:

$$V_{r/r=R_0} = 0, V_{r/r=R_1} = -V_r^0. \quad (2.9)$$

Знак «мінус» вказує на те, що рух частинок сипкого матеріалу відбувається в протилежний від додатного напрямку координати r .

Тоді з рівняння (2.8), з врахуванням (2.9) отримаємо:

$$C(\varphi) = \frac{V_r^0}{R_1 - R_0}; \quad (2.10)$$

$$C_0(\varphi) = \frac{V_r^0}{R_1 - R_0} \cdot R_0; \quad (2.11)$$

$$V_r = \frac{V_r^0(r - R_0)}{R_0 - R_1} = \frac{2V_c(r - R_0)}{R_0 - R_1} \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_1}\right). \quad (2.12)$$

З рівняння неперервності отримаємо:

$$C(\varphi) + \frac{V_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} = 0, \quad (2.13)$$

або

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} &= -V_r - C(\varphi)r = \frac{2V_c(r - R_0)}{R_0 - R_1} \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_1}\right) + r2V_c \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_1}\right) = \\ &= 2V_c \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_1}\right) \cdot \left(\frac{r - R_0}{R_0 - R_1} + r\right). \end{aligned} \quad (2.14)$$

Інтегруючи це рівняння будемо мати:

$$V_\varphi = 2V_c \left(\frac{2r - R_0}{R_0 - R_1}\right) \left(\varphi - \frac{\varphi^2}{2\varphi_1}\right) + \psi(r), \quad (2.15)$$

де $\psi(r)$ – деяка функція від r .

Для визначення $\psi(r)$ приймаємо, що відносні кутові швидкості частинки матеріалу в гвинтовому каналі транспортуючої частини шнека розподіляються за законом [32].

$$\omega = \omega_0 - \frac{CR_0}{r^2}, \quad (2.16)$$

де ω_0 – кутова швидкість гвинта;

C – деяка константа, яка залежить від геометричних параметрів гвинта.

Тоді об'ємна продуктивність гвинтового конвеєра буде рівна:

$$Q = B \times \int_{R_0}^{R_1} \frac{\omega r dr}{\cos \alpha_c} = \frac{B}{\cos \alpha_c} \left[0.5 \omega_0 (R_1^2 - R_0^2) - CR_0 \ln \frac{R_1}{R_0} \right], \quad (2.17)$$

де $B = S \cos \alpha_c$.

Враховуючи, що:

$$Q = \frac{\pi [D_1^2 - D_0^2]}{4} \cdot n \cdot S \cdot K_n = \pi (R_1^2 - R_0^2) B \cdot n \cdot S \cdot K_n, \quad (2.18)$$

де $n = \frac{\omega}{2\pi}$ – частота обертання об/с;

K_n – коефіцієнт продуктивності, гвинтового конвеєра,

отримаємо:

$$C = \frac{\omega_0 (R_1^2 - R_0^2)}{2R_0 \ln \frac{R_1}{R_0}} (1 - K_n). \quad (2.19)$$

Оскільки при $\varphi = \varphi_1$, $V_\varphi = \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) r$, визначимо функцію $\psi(r)$

$$\begin{aligned} V_{\varphi=\varphi_1} &= 2V_c \left(\frac{2r - R_0}{R_0 - R_1} \right) \left(\varphi_1 - \frac{\varphi_1^2}{2\varphi_1} \right) + \psi(r) = 2V_c \left(\frac{2r - R_0}{R_0 - R_1} \right) \left(\frac{2\varphi_1^2 - \varphi_1^2}{2\varphi_1} \right) + \psi(r) = \\ &= V_c \left(\frac{2r - R_0}{R_0 - R_1} \right) \varphi_1 + \psi(r). \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\psi(r) = \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) r - V_c \left(\frac{2r - R_0}{R_0 - R_1} \right) \varphi_1. \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} V_\varphi &= 2V_c \left(\frac{2r - R_0}{R_0 - R_1} \right) \left(\varphi - \frac{\varphi^2}{2\varphi_1} \right) - V_c \left(\frac{2r - R_0}{R_0 - R_1} \right) \varphi_1 + \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) r = \\ &= \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) r + V_c \frac{(2r - R_0)}{R_0 - R_1} \left(2 \left(\varphi - \frac{\varphi^2}{2\varphi_1} \right) - \varphi_1 \right) = \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) r + \\ &+ V_c \frac{(2r - R_0)}{R_0 - R_1} \left(2 \left(\frac{2\varphi\varphi_1 - \varphi^2}{2\varphi_1} \right) - \varphi_1 \right) = \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) r + \\ &+ V_c \frac{(2r - R_0)}{R_0 - R_1} \left(\frac{2\varphi\varphi_1 - \varphi^2 - \varphi_1^2}{\varphi_1} \right) = \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) r - \frac{V_c (2r - R_0)}{\varphi_1 (R_0 - R_1)} (\varphi_1 - \varphi)^2. \end{aligned} \quad (2.22)$$

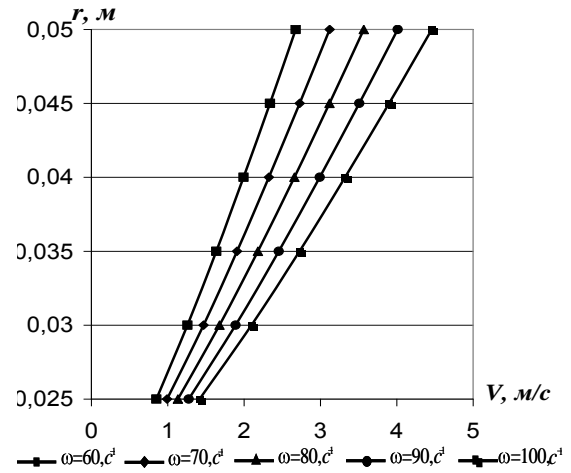
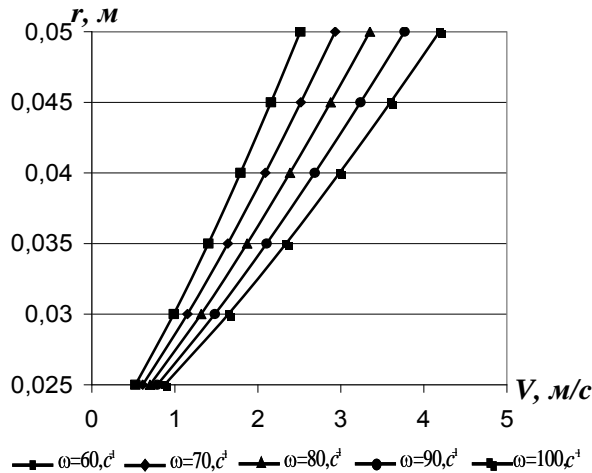


Рис. 2.6. Епюри розподілу відносних швидкостей частинок матеріалу в транспортуючій частині гвинтового каналу шнека при $K_{II} = 0,7$

Рис. 2.7. Епюри розподілу відносних швидкостей частинок матеріалу в транспортуючій частині гвинтового каналу шнека при $K_{II} = 0,8$

На рис. 2.6, рис. 2.7, наведено епюри розподілу відносних швидкостей частинок матеріалу в транспортуючій частині гвинтового каналу шнека з

параметрами: радіус гвинта $R=0,1$ м, радіус вала гвинта $r=0,05$ м, при різних коефіцієнтах продуктивності $K_{II} = 0.7$ (рис. 2.6), $K_{II} = 0.8$ (рис. 2.7).

Оскільки ми розглядаємо безнапірний гвинтовий конвеєр, то для кінцевої ділянки забірної частини можна прийняти:

$$\begin{cases} \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial \varphi} = 0; \\ \sigma_{\varphi} = k\sigma_r; \\ V_{\varphi} = \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) \cdot r; \\ V_{r/\varphi} = 0, \end{cases} \quad (2.23)$$

де k – коефіцієнт бокового тиску, $k = \frac{1 - \sin \varphi_0}{1 + \sin \varphi_0}$, де φ_0 – кут внутрішнього тертя [49].

З рівняння (2.12) отримаємо:

$$\frac{\partial V_r}{\partial \varphi} = \frac{2V_c(R_0 - r)}{(R_0 - R_1)\varphi_1}, \quad (2.24)$$

або

$$V_{\varphi} \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \varphi} = \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) \cdot \frac{2V_c(R_0 - r)}{(R_0 - R_1)\varphi_1}. \quad (2.25)$$

Тоді рівняння (2.2), з врахуванням (2.23) та (2.25) матиме вигляд:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial r} + \frac{\sigma}{r} = \rho \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right)^2 r - \rho \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) \frac{2V_c(R_0 - r)}{(R_0 - R_1)\varphi_1}, \quad (2.26)$$

де

$$\sigma = \sigma_r - \sigma_{\varphi}. \quad (2.27)$$

Знайдемо загальний розв'язок рівняння (2.26) без правої частини:

$$\frac{d\sigma}{dr} + \frac{\sigma}{r} = 0; \quad (2.28)$$

$$\frac{d\sigma}{\sigma} = -\frac{dr}{r}; \quad (2.29)$$

$$\ln \sigma = -\ln r + \ln C; \quad (2.30)$$

$$\ln \sigma = \ln \frac{C}{r}, \quad \sigma = \frac{C}{r}. \quad (2.31)$$

Замінімо сталу інтегрування C невідомою функцією $u = u(r)$ і будемо мати:

$$\sigma = \frac{u}{r}. \quad (2.32)$$

Тоді

$$\frac{d\sigma}{dr} = \frac{d}{dr}(u \cdot r^{-1}) = \frac{du}{dr} \cdot r^{-1} + u(-r^{-2}) = \frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \frac{u}{r^2}. \quad (2.33)$$

Підставимо (2.31) в (2.26)

$$\frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \frac{u}{r^2} + \frac{u}{r^2} = \rho \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right)^2 r - \rho \left(\omega_0 - \frac{CR_0}{r^2} \right) \frac{2V_c(r - R_0)}{(R_1 - R_0)\varphi_1}; \quad (2.34)$$

$$\frac{du}{dr} = \rho \left[\left(\omega_0 - \frac{B}{r^2} \right)^2 r^2 - \left(\omega_0 - \frac{B}{r^2} \right) r A (r - R_0) \right], \quad (2.35)$$

де $B = CR_0, \quad A = \frac{2V_c}{(R_1 - R_0)\varphi_1}. \quad (2.36)$

Розділимо змінні і проінтегруємо

$$\int du = \rho \int \left[\left(\omega_0 - \frac{B}{r^2} \right)^2 r^2 - \left(\omega_0 - \frac{B}{r^2} \right) \cdot A (r - R_0) r \right] dr; \quad (2.37)$$

$$\begin{aligned} u &= \rho \left[\int \left(\omega_0^2 - \frac{2B}{r^2} + \frac{B^2}{r^4} \right) r^2 dr - A \int \left(\omega_0 - \frac{B}{r^2} \right) r^2 dr + A \int \left(\omega_0 - \frac{B}{r^2} \right) r R_0 dr \right] + C_1 = \\ &= \rho \left[\frac{\omega_0^2 r^3}{3} - 2B\omega_0 r - \frac{B^2}{r} - A \left(\frac{\omega_0 r^3}{3} - Br \right) + AR_0 \left(\frac{\omega_0 r^2}{2} - B \ln r \right) \right] + C_1 = \\ &= \rho \left[\frac{(\omega_0^2 - A\omega_0) r^3}{3} + \frac{AR_0 \omega_0 r^2}{2} + Br(A - 2\omega_0) - \frac{B^2}{r} - AR_0 B \ln r \right] + C_1; \quad (2.38) \end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{\rho}{r} \left[\frac{(\omega_0^2 - A\omega_0) r^3}{3} + \frac{AR_0 \omega_0 r^2}{2} + Br(A - 2\omega_0) - \frac{B^2}{r} - AR_0 B \ln r \right] + \frac{C_1}{r}. \quad (2.39)$$

Сталу інтегрування C_1 визначаємо з умови: $\sigma_{r=R_0} = 0$

$$C_1 = -\rho \left[\frac{(\omega_0^2 - A\omega_0^2) R_0^3}{3} + \frac{A\omega_0 R_0^3}{2} + BR_0(A - 2\omega_0) - \frac{B^2}{R_0} - AR_0 B \ln R_0 \right]. \quad (2.40)$$

Остаточно отримаємо

$$\sigma = \frac{\rho}{r} \left[\frac{(\omega_0^2 - A\omega_0)r^3}{3} + \frac{AR_0\omega_0r^2}{2} + Br(A - 2\omega_0) - \frac{B^2}{r} - AR_0B \ln r \right] - \frac{\rho}{r} \left[\frac{(\omega_0^2 - A\omega_0^2)R_0^3}{3} + \frac{A\omega_0R_0^3}{2} + BR_0(A - 2\omega_0) - \frac{B^2}{R_0} - AR_0B \ln R_0 \right]. \quad (2.41)$$

На рис. 2.8. наведені залежності напружень σ_r в кінці забірної частини гвинтового каналу з діаметром гвинта $D=0,1$ м та діаметром вала $d=0,05$ м від кутової швидкості гвинта для різних значень коефіцієнта продуктивності K_{II} . Очевидно, що необхідна величина σ_r дорівнює боковому тиску сипкого матеріалу в бункері, який можна визначити аналітичним шляхом [106].

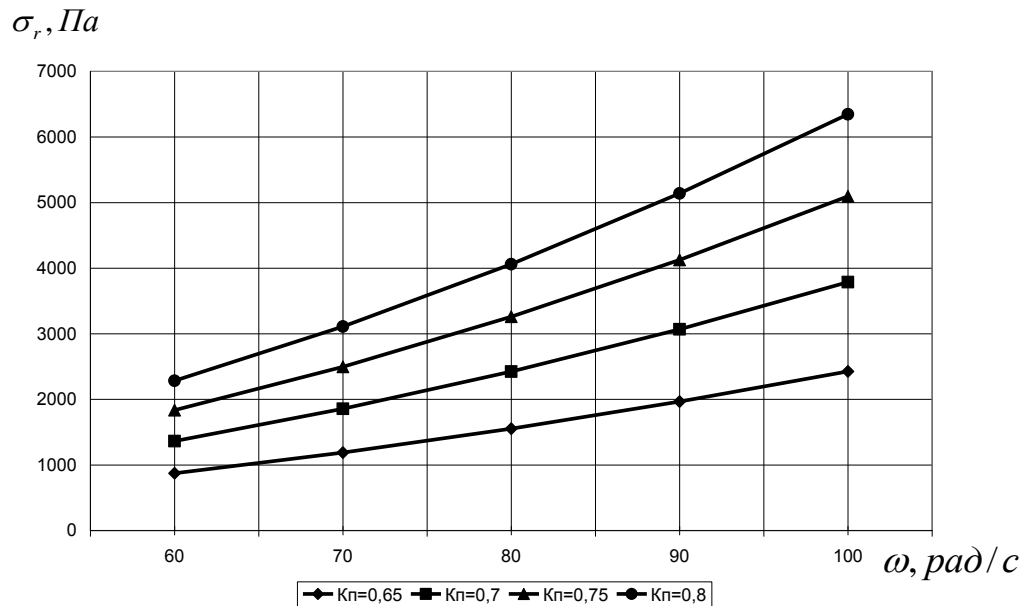


Рис.2.8. Залежності напружень у сипкому середовищі, яке знаходиться в забірній частині гвинтового конвеєра, від кутової швидкості гвинта і коефіцієнта продуктивності

Аналізуючи отримані залежності робимо висновок, що для забезпечення коефіцієнту транспортування $K_{II} = 0,7 \dots 0,75$, що відповідає раціональним значенням коефіцієнту заповнення $\varphi_s = 0,6 \dots 0,8$, необхідно створити в зоні завантаження надлишковий тиск $P = 1,8 \dots 2,5$ кПа при кутовій швидкості гвинта $\omega = 70$ рад/с і $P = 3,0 \dots 4,2$ кПа при $\omega = 90$ рад/с

Вирішити цю задачу можна шляхом збільшення розмірів бункера або застосовуючи примусову подачу матеріалу в забірну частину конвеєра.

Залежність коефіцієнту продуктивності K_{II} від кутової швидкості гвинта ω наведено на рис. 2.9 при $\sigma_r = 2\text{кПа}$, що відповідає гравітаційному завантаженню гвинтового конвеєра.

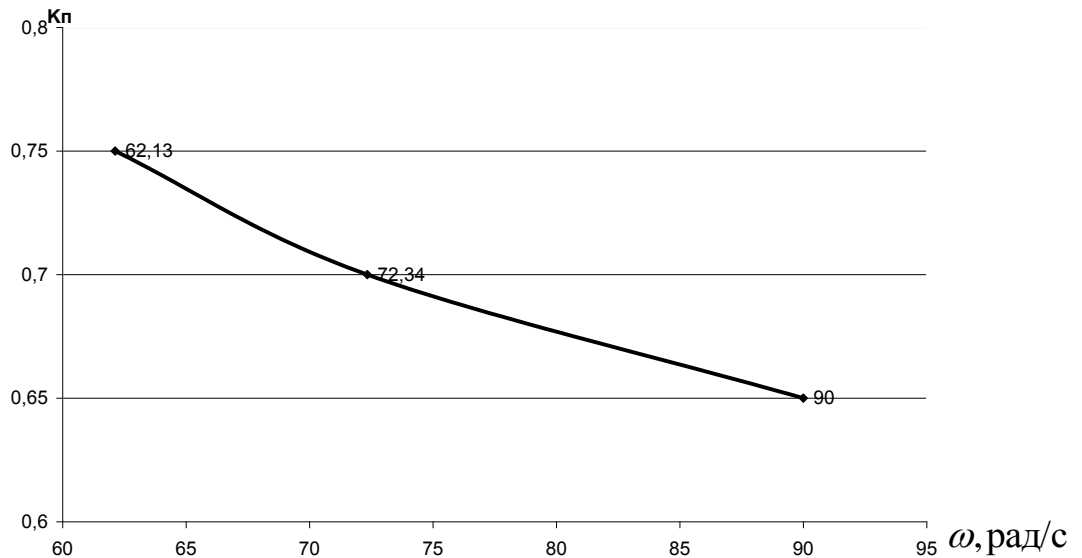


Рис.2.9. Залежність коефіцієнту продуктивності гвинтового конвеєра K_{II}

від кутової швидкості гвинта ω при $\sigma_r = 2$ кПа

Оскільки продуктивність швидкохідного гвинтового конвеєра зменшується із збільшенням частоти обертання гвинта, що підтверджується більшістю опублікованими експериментальними результатами [20], [36], то для забезпечення необхідної продуктивності цього транспортного засобу необхідно використовувати забірні пристрої.

2.3 Визначення тиску сипкого матеріалу в забірній частині гвинтового конвеєра

Згідно з вищенаведеними дослідженнями (розділ 2.2), обов'язковою умовою нормальної роботи гвинтового конвеєра є створення надлишкового тиску в зоні завантаження. Це підтверджено в роботі Александра Л.М. [8].

Як відомо, в бункері циліндричної форми осьовий тиск визначають за формулою Янсена [16, 49]:

$$P = \frac{\rho g D}{4k f_1} \left(1 - e^{-\frac{4k f_1 y}{D}} \right), \quad (2.42)$$

де ρ – щільність матеріалу кг/м³; D – діаметр бункера, м; f_1 – коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні бункера; y – висота шару засипки; k – коефіцієнт бокового тиску, для не глибоких бункерів можна прийняти [49]:

$$k = \frac{1 - \sin \varphi_0}{1 + \sin \varphi_0}, \text{ де } \varphi_0 \text{ – кут внутрішнього тертя.}$$

Для аналітичного визначення тиску сипкого матеріалу розглянемо гвинтовий конвеєр, який знаходиться в бункері, заповненому сипким матеріалом із заданими фізико-механічними властивостями (рис.2.10). Висоту засипки матеріалу H будемо вважати постійною величиною.

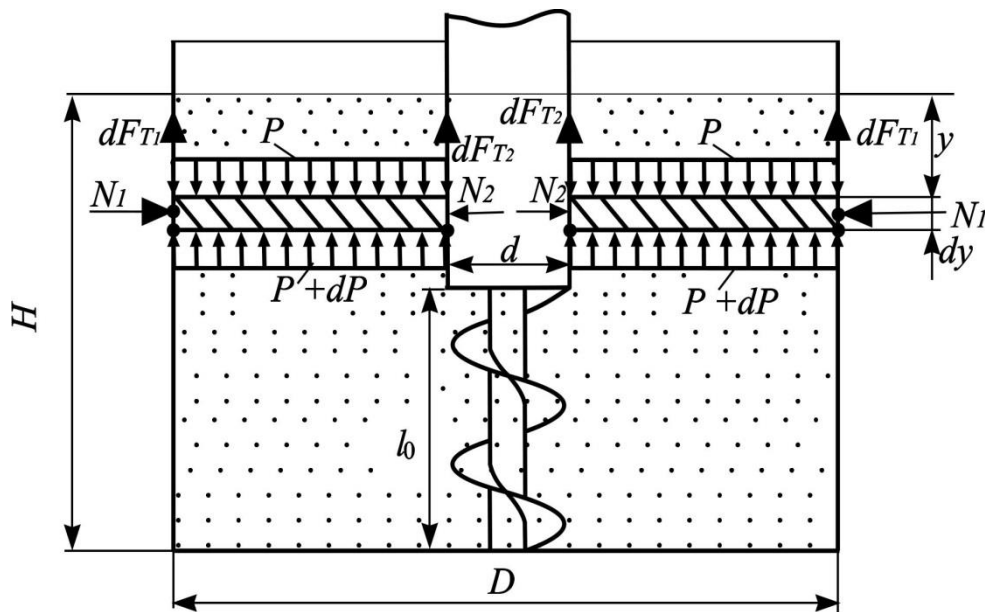


Рис. 2.10. Розрахункова схема гвинтового конвеєра, який знаходиться в бункері циліндричної форми із сипким матеріалом

Виділимо шар матеріалу, товщиною dy , який розташований на відстані y від поверхні матеріалу і знаходиться в рівновазі, під дією сил: тяжіння G , сили тертя між виділеним шаром і стінками бункера dF_{T_1} , сили тертя між виділеним шаром і кожухом гвинтового конвеєра dF_{T_2} .

$$G = \rho \cdot g \cdot A_E \cdot dy, \quad (2.43)$$

де $A_E = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$ – площа поперечного перерізу виділеного елемента;
 d – діаметр кожуха конвеєра, м ;

$$dF_{T_1} = f_1 \cdot N_1 = f_1 \cdot \pi \cdot D \cdot q \cdot dy; \quad (2.44)$$

$$dF_{T_2} = f_2 \cdot N_2 = f_2 \cdot \pi \cdot d \cdot q \cdot dy, \quad (2.45)$$

де $q = kP$ – боковий тиск, Па ; N_1 – сила тиску стінки бункера на виділений елемент; N_2 – сила тиску кожуха гвинтового конвеєра на виділений елемент.

Тоді рівняння рівноваги виділеного елемента матиме вигляд:

$$G + P \cdot A_E - (P + dP) \cdot A_E - dF_{T_1} - dF_{T_2} = 0. \quad (2.46)$$

Підставляючи значення, отримаємо :

$$\rho g A_E dy - A_E dP - f_1 \pi D k P dy - f_2 \pi d k P dy = 0; \quad (2.47)$$

$$A_E dP = (\rho g A_E - k \pi (f_1 D + f_2 d) P) dy; \quad (2.48)$$

$$\text{або: } A_E dP = (B_1 - B_2 P) dy, \quad (2.49)$$

де $B_1 = \rho g A_E$,

$$B_2 = k \pi (f_1 D + f_2 d).$$

Розділимо змінні та проінтегруємо:

$$\frac{A_E dP}{(B_1 - B_2 P)} = dy; \quad (2.50)$$

$$-\frac{A_E}{B_2} \ln(B_1 - B_2 P) = y + C. \quad (2.51)$$

Запишемо початкові умови.

При $y = 0$, $P = 0$:

$$C = -\frac{A_E}{B_2} \ln B_1; \quad (2.52)$$

$$-\frac{A_E}{B_2} \ln(B_1 - B_2 P) = y - \frac{A_E}{B_2} \ln B_1; \quad (2.53)$$

$$-\frac{A_E}{B_2} \ln\left(\frac{B_1 - B_2 P}{B_1}\right) = y. \quad (2.54)$$

Звідки:

$$P = \frac{B_1}{B_2} \left(1 - e^{\frac{-B_2 y}{A}} \right). \quad (2.55)$$

Підставивши значення B_1 і B_2 , будемо мати:

$$P = \frac{\rho g (D^2 - d^2)}{4k(f_1 D + f_2 d)} \times \left(1 - e^{\frac{4k(f_1 D + f_2 d)}{D^2} y} \right). \quad (2.56)$$

У випадку, якщо $f_1 = f_2 = f$:

$$P = \frac{\rho g (D - d)}{4fk} \left(1 - e^{\frac{-4fk}{D-d} y} \right). \quad (2.57)$$

За відсутності конвеєра, ($d = 0$) вираз (2.57) перетворюється у відому формулу Янсена [16].

Результати теоретичних досліджень наведені на графіку (рис.2.11).

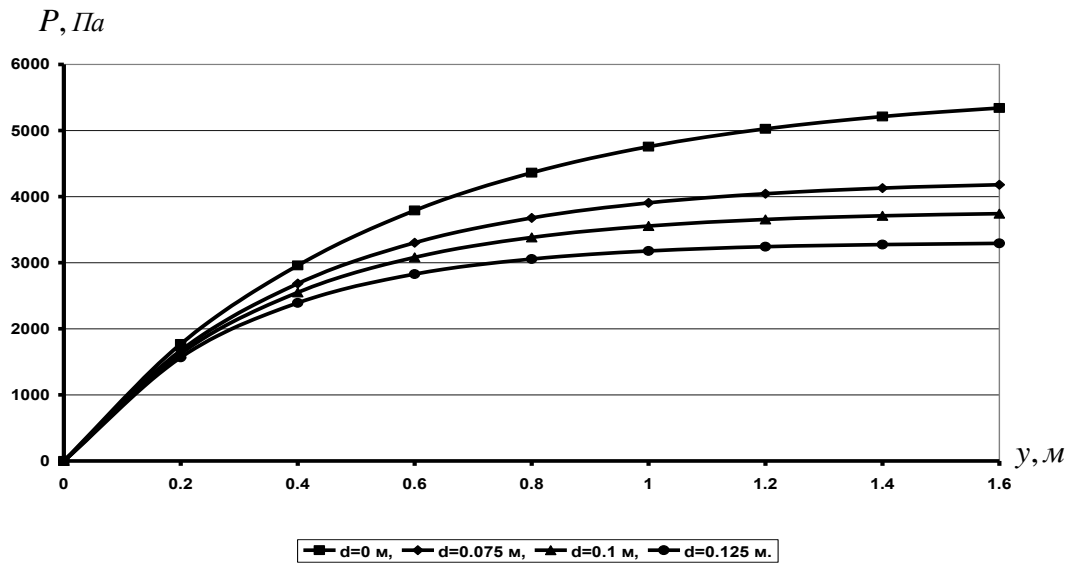


Рис. 2.11. Залежність тиску сипкого матеріалу в бункері від висоти шару

засипки: $D = 0,3 \text{ м}$, $\rho = 1060 \text{ кг/м}^3$, $f = 0,35$

З графіків 2.11 випливає, що за відсутності кожуха гвинтового конвеєра в бункері, при відношенні $y = 5D$, значення тиску практично не залежить від висоти засипки y (розходження з максимальним значенням становить 6%). За наявності кожуха в бункері значення максимального тиску досягають при значно меншій висоті шару матеріалу в бункері. Ця величина залежить від відношення діаметрів бункера D і кожуха гвинта d . Тобто при значеннях

$\gamma=(2\dots 3)D$ максимальний тиск буде залежати практично від діаметрів кожуха і бункера, але ця величина суттєво зменшується при збільшенні діаметра кожуха

Як бачимо з рівняння (2.57), на величину максимального тиску також суттєво впливає коефіцієнт тертя матеріалу по внутрішній поверхні бункера та кожуха гвинтового конвеєра (рис.2.12).

Отже, в тому випадку, у зв'язку з технічними причинами слід зменшити розміри бункера, зменшують величину сили тертя за рахунок відповідної механічної обробки або покриття внутрішніх стін бункера та поверхні кожуха спеціальними антифрикційними матеріалами.

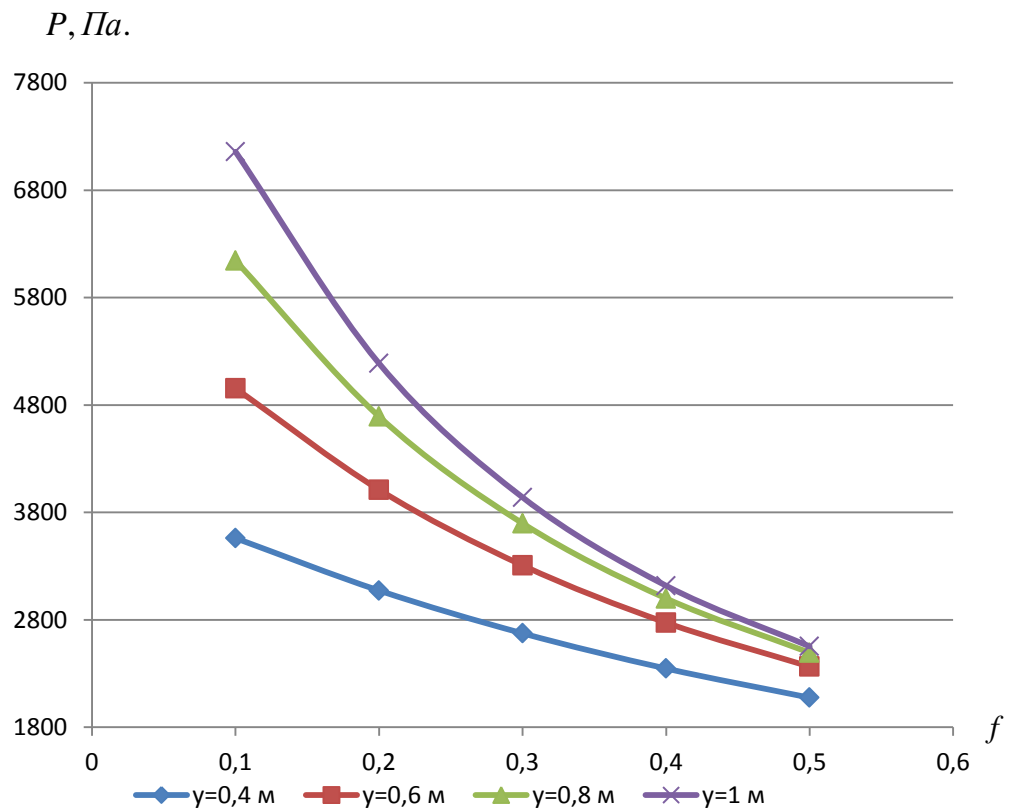


Рис. 2.12. Залежність максимального тиску в циліндричному бункері від коефіцієнту тертя сипкого матеріалу ($d=0,1$ м, $D=0,3$ м)

Якщо ми розглядаємо бункер прямокутного перерізу, з довжинами сторін a та b (рис.2.13), то рівняння рівноваги виділеного елемента товщиною « du » матиме вигляд:

$$G_u + A_E P - A_E (P + dP) - dF_1 - dF_2 = 0 \quad (2.58)$$

або
$$G - A_E dP - dF_1 - dF_2 = 0, \quad (2.59)$$

де $A_E = ab - \frac{\pi d^2}{4}$ - площа поперечного перерізу виділеного елемента;

d - діаметр кожуха конвеєра;

$dF_1 = f_1 q u_1 dy$ - сила тертя між виділеним елементом і поверхнею кожуха гвинтового конвеєра;

$q = kP$ - боковий тиск;

$u_1 = \pi d$ - периметр кожуха конвеєра;

$dF_2 = f_2 q u_2 dy$ - сила тертя між виділеним елементом і стінками бункера;

$u_2 = 2(a + b)$ - периметр бункера;

$G = \rho g A_E \cdot dy$ - вага виділеного елемента.

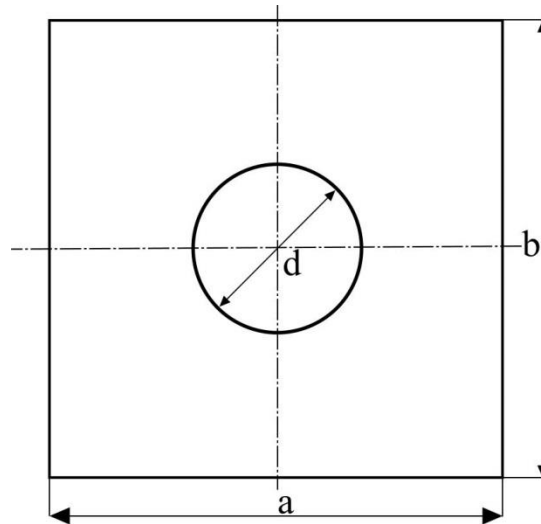


Рис.2.13 Переріз бункера

Підставляючи отримані значення в рівняння (2.59), будемо мати:

$$A_E dP = G - dF_1 - dF_2 = \rho g A_E dP - k \rho f_1 a_1 dy - k \rho f_2 u dy \quad (2.60)$$

або

$$A_E dP = dy(B_1 - EP), \quad (2.61)$$

де $B_1 = \rho g A_E$, $E = k(f_1 u_1 + f_2 u_2)$.

Розділимо змінні та проінтегруємо, враховуючи, що при $y=0$, $P=0$:

$$\int_0^P \frac{A_E d(B_1 - EP)}{-E(B_1 - EP)} = \int_0^y dy. \quad (2.62)$$

$$\frac{A_E}{E} \ln B_1 - \frac{A_E}{E} \ln(B_1 - EP) = y. \quad (2.63)$$

Звідки остаточно отримаємо:

$$P = \frac{\rho g A_E}{k(f_1 u_1 + f_2 u_2)} \cdot \left(1 - e^{\frac{k(f_1 u_1 + f_2 u_2)}{A} y} \right). \quad (2.64)$$

У разі відсутності конвеєра в бункері ($d = 0$, $u_1 = 0$, $f_1 = f_2 = f$), вираз 2.64 перетворюється у відому залежність [51]:

$$P = \frac{\rho g a b}{2k f (a + b)} \cdot \left(1 - e^{\frac{-2k f (a+b)}{a b} y} \right). \quad (2.65)$$

На рис. 2.14 наведено графіки залежності тиску сипкого матеріалу в бункері від різних значень параметрів a та b .

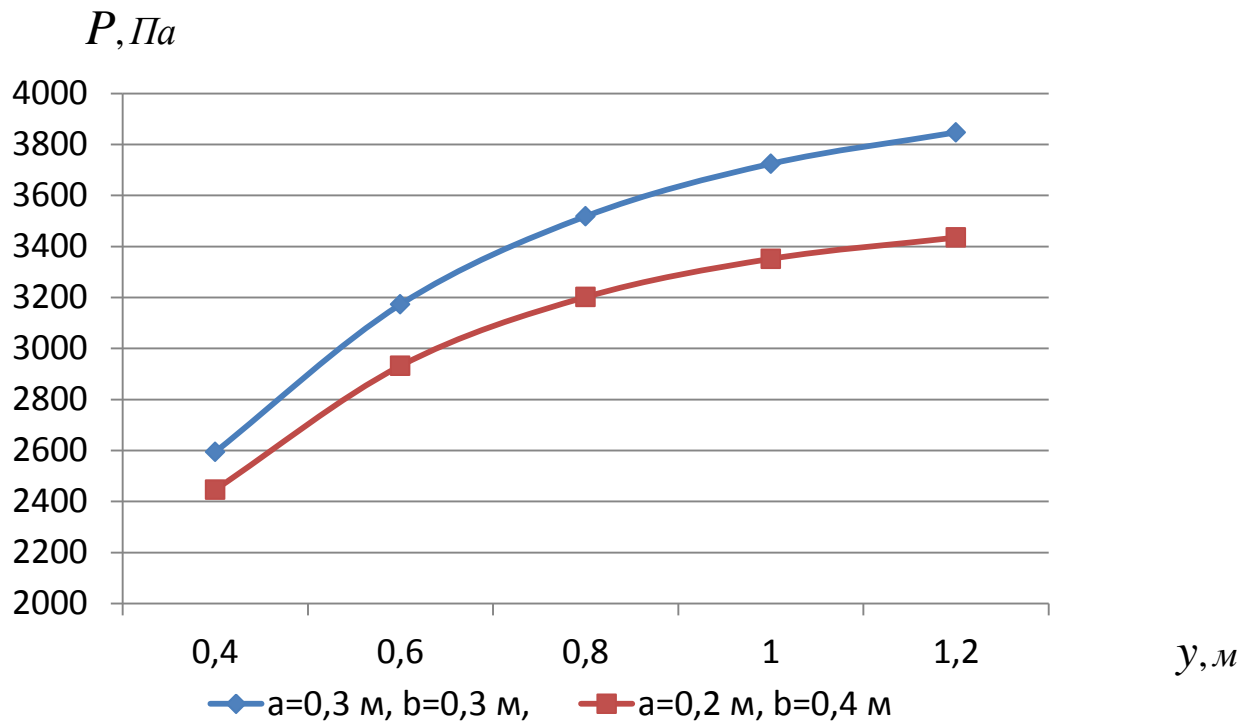


Рис. 2.14. Залежність тиску сипкого матеріалу в бункері від різних значень параметрів a та b

Як бачимо на рис. 2.14 максимальне значення тиску буде для квадратного перерізу при однаковому значенню периметру u_2 .

Дійсно, якщо максимальне значення тиску в бункері (при відсутності конвеєра) буде рівне [49]:

$$P = \frac{\rho g a b}{2k f(a+b)} \quad (2.66)$$

або
$$P = K_1 \frac{ab}{2u}, \quad (2.67)$$

де $K_1 = \frac{\rho g}{fk}$, $u = 2(a+b)$ - периметр бункера.

Враховуючи, що $b = \frac{u}{2} - a$, отримаємо:

$$P = K_1 \frac{a(u-2a)}{4u}. \quad (2.68)$$

Оскільки $K_1 = const$, то визначимо максимум функції $P_1 = P_1(a)$,

де $P_1 = P/K_1$.

Візьмемо похідну $\frac{dP_1}{da}$ і прирівняємо її до нуля:

$$\frac{dP_1}{da} = \frac{d}{da} \left(\frac{a}{4} - \frac{a^2}{2u} \right) = \frac{1}{4} - \frac{a}{u} = 0. \quad (2.69)$$

Звідки
$$a = \frac{u}{4} = \frac{2(a+b)}{4} = \frac{a}{2} + \frac{b}{2}$$

або
$$a = b. \quad (2.70)$$

Тобто максимальне значення тиску сипкого матеріалу в бункері буде в тому випадку, коли він буде мати квадратний переріз (при однакових значеннях периметру), отже, і матеріаломісткість такого бункера буде мати мінімальне значення.

Якщо порівняти значення максимального тиску в циліндричному і призматичному бункерах, то при однакових периметрах більше значення тиску буде в циліндричному бункері на величину $\pi/4$.

Розглянемо гвинтовий конвеєр, який знаходиться в бункері конічної форми (рис. 2.15).

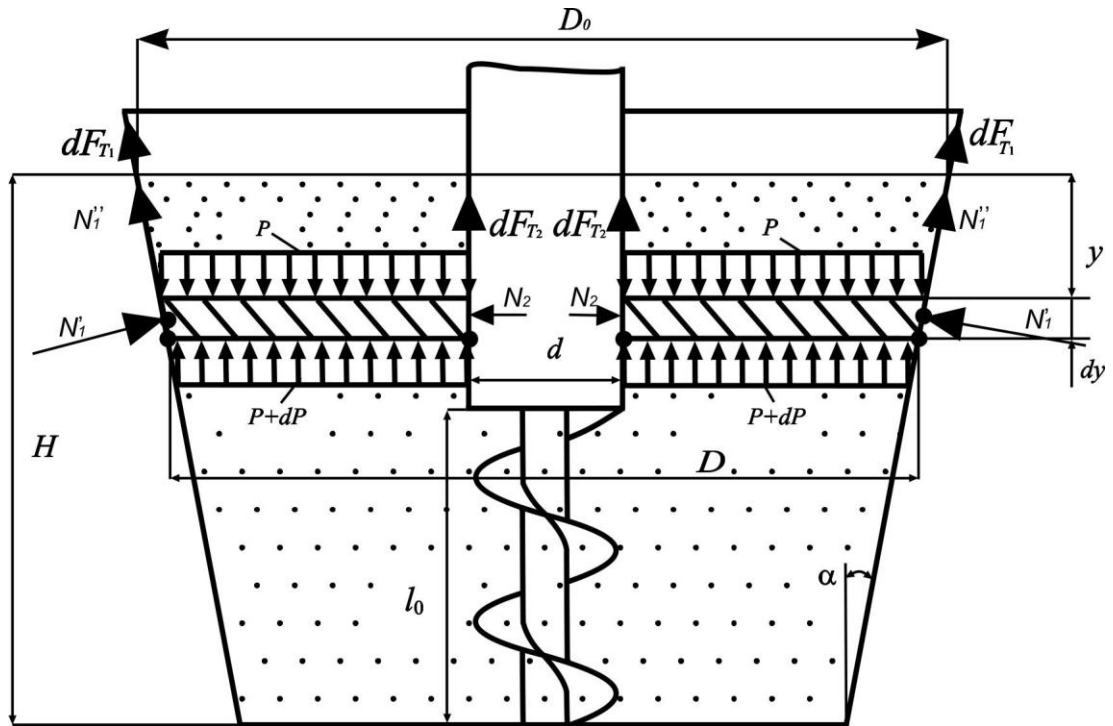


Рис. 2.15. Розрахункова схема гвинтового конвеєра, який знаходиться в бункері конічної форми із сипким матеріалом

Виділимо на відстані y від поверхні сипкого матеріалу елементарний шар товщиною dy . На нього діють: зверху тиск P , знизу $P + dP$, по периметру боковий тиск q і сила тертя: dF_{T1} – між виділеним елементом і боковою стінкою, dF_{T2} – між виділеним елементом і кожухом шнека, N_1' – нормальна складова реакції бункера, N_1'' – дотична складова реакції бункера, N_2 – реакція кожуха конвеєра, а також сила тяжіння G .

Згідно [49]:

$$N_1' = P(\cos^2 \alpha + k \sin^2 \alpha) u_1 dy; \quad (2.71)$$

$$N_1'' = P(1 - k) \sin \alpha \cos \alpha u_1 dy; \quad (2.72)$$

$$N_2 = k P u_2 dy, \quad (2.73)$$

де $u_1 = \pi D$;

$u_2 = \pi d$;

$D = D_0 - 2ytg \alpha$;

D_0 – діаметр бункера конічної форми на рівні насипки, м; α – кут нахилу стінки бункера до вертикалі, град.

Тоді сила тертя буде рівна:

$$dF_{T_1} = f_1 N_1' = f_1 P (\cos^2 \alpha + k \sin^2 \alpha) \pi D dy; \quad (2.74)$$

$$dF_{T_2} = f_2 N_2 = f_2 k P \pi d dy. \quad (2.75)$$

Рівняння рівноваги для виділеного елемента:

$$A_E P - A_E (P + dP) - dF_{T_1} \cos \alpha - dF_{T_2} - N_1' \sin \alpha - N_1'' \cos \alpha + G = 0, \quad (2.76)$$

де $A_E = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$ – площа виділеного елемента;

$G = \rho g A dy$ – вага виділеного елемента.

Після перетворення рівняння (2.76) матиме вигляд:

$$\frac{dP}{dy} = - \frac{4P[D(C_1 + C_2) + f_2 d]}{D^2 - d^2} + \rho g, \quad (2.77)$$

де $C_1 = (f_1 \cos \alpha + \sin \alpha)(\cos^2 \alpha + k \sin^2 \alpha)$;

$C_2 = (1 - k) \sin \alpha \cos^2 \alpha$.

Інтегруючи рівняння (2.77) чисельним методом при заданих початкових умовах (при $y = 0$ $P = 0$), отримаємо залежність тиску в бункері від висоти шару матеріалу $P = P(y)$.

Очевидно, що рівняння (2.76, 2.77) будуть справедливими для значень $y > \frac{D_0}{2 \operatorname{tg} \alpha}$.

Результати теоретичних досліджень наведено на графіку, (рис.2.16).

Порівнюючи значення максимального тиску сипкого матеріалу в циліндричному і конічному бункерах, можна зробити висновок, що в порівнянні з циліндричним бункером, бункер, який виконаний у формі зрізаного конуса, має менше значення максимального тиску.

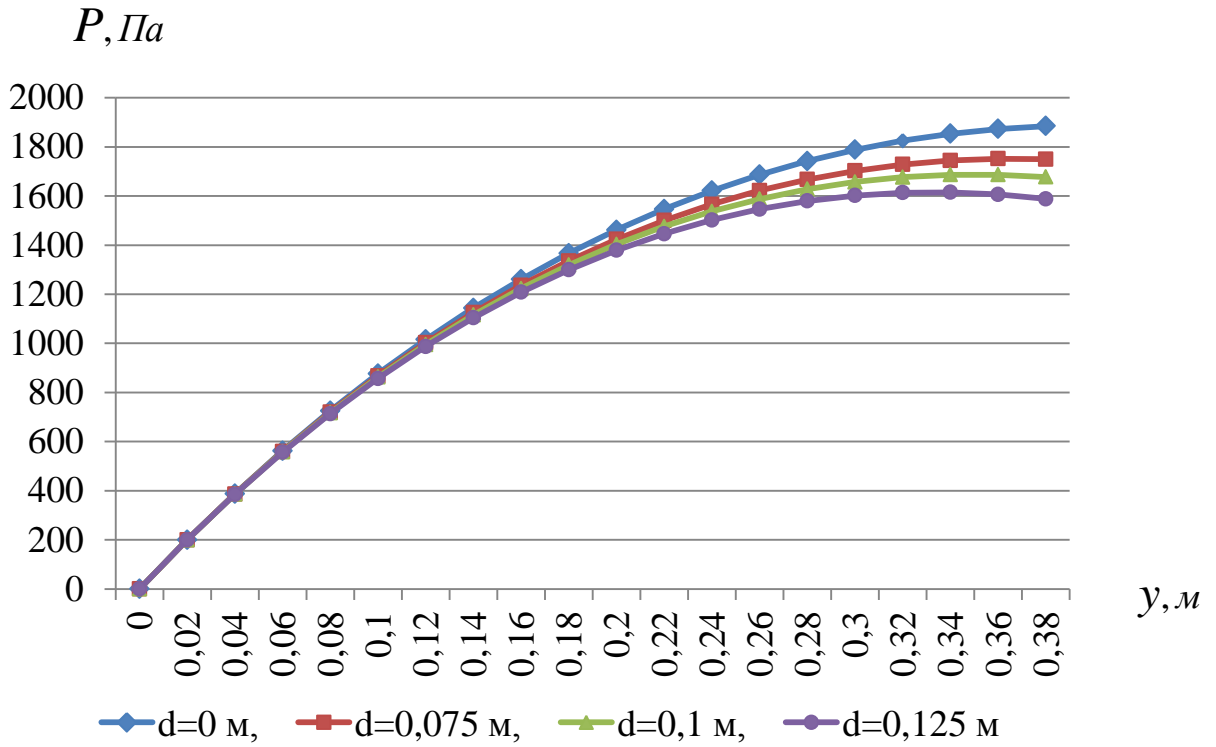


Рис. 2.16 Залежність тиску сипкого матеріалу в бункері від висоти шару засипки. $D = 0,3\text{м}$, $\rho = 1060\text{кг/м}^3$, $f = 0,35$

Це пояснюється тим, що зменшення тиску відбувається не тільки внаслідок дії сил тертя, але й від нормальної складової реакції бункера на шар сипкого матеріалу. Цей вплив збільшується із зростанням кута нахилу стінок бункера.

У запропонованих формулах (2.56), (2.65), (2,77) для визначення тиску в бункерах гвинтових конвеєрів є ряд припущень[49]:

1. Величина горизонтального і вертикального тиску на стінки бункера та кожух конвеєра не залежать від внутрішнього зчеплення частинок сипкого середовища.
2. Масу продукту в бункері розглядають як ідеально сипке середовища, властивості якого постійні для будь-якої точки об'єму маси.
3. Диференціальні рівняння, з яких отримано ці формули, виведені з умови рівноваги елементарного об'єму. Крім того, приймається постійною величина коефіцієнту бокового тиску.
4. Під час руху сипкого матеріалу величини осьового та бокового

тисків відрізняються від статичних значень, але якщо діаметр кожуха набагато менший від діаметру бункера то похибка не перевищує 10% [31].

Однак, незважаючи на прийняті припущення ці формули дозволяють отримати результати, які практично співпадають з експериментальними даними.

2.4. Обґрунтування параметрів подавального механізму забірною пристрою гвинтового конвеєра

Для забезпечення необхідного коефіцієнта заповнення гвинтового конвеєра було розроблено нову конструктивну схему забірною пристрою, яку зображено на рис 2.17 [80].

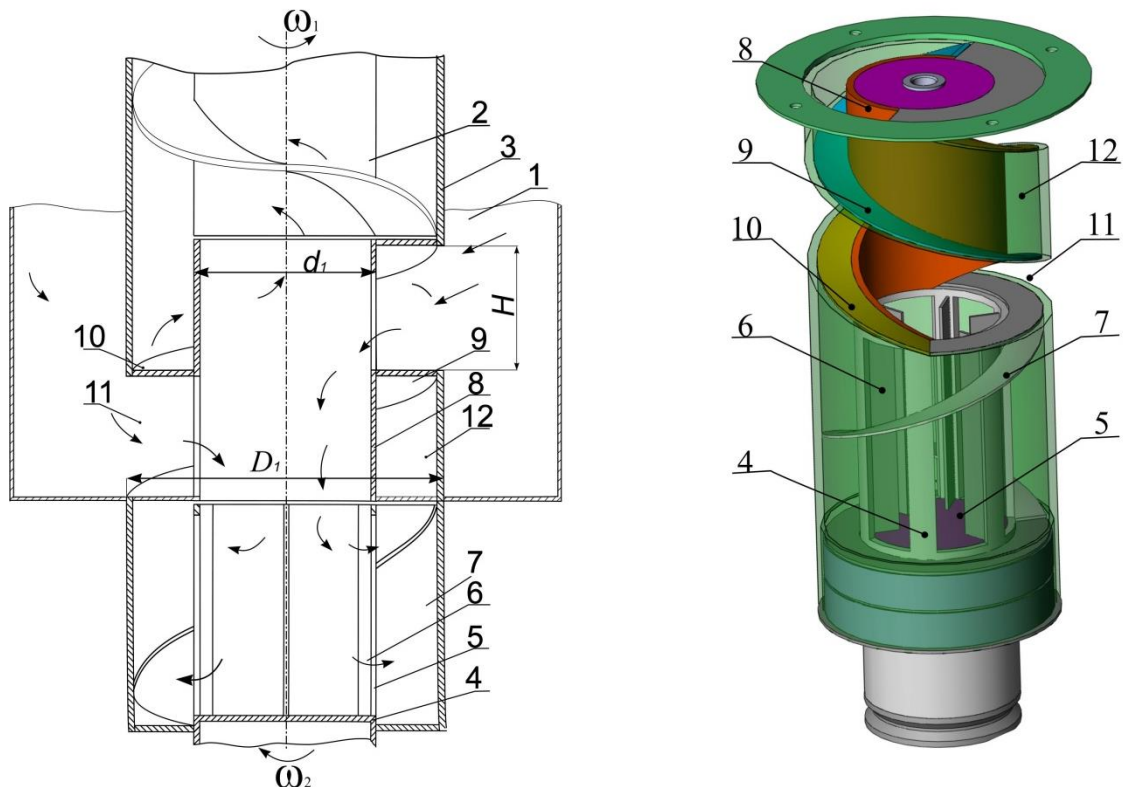


Рис. 2.17. Схема та комп'ютерна модель забірною пристрою гвинтового конвеєра

Конвеєр складається з бункера 1, основного гвинта 2, розміщеного в корпусі гвинтового конвеєра 3 і розміщеного співосно з основним гвинтом 2 додатково пустотілого гвинта 4, з вікнами 5, між якими розміщені лопаті 6, та гвинтовою лопаттю 7. Між основним та додатковими гвинтами розміщений додатковий елемент, який складається з пустотілого циліндра 8,

зовні якого розміщені дві гвинтові лопаті 9 та 10, які утворюють два гвинтові канали 11, 12, один з яких служить для транспортування сипкого матеріалу із забірного бункера 1 в середину додаткового гвинта 4, а другий для транспортування матеріалу із лопаті 7 на лопать гвинтового конвеєра 8.

Гвинтовий конвеєр працює так: сипкий матеріал із бункера 1 через гвинтовий канал потрапляє на лопаті 6 гвинта 4 і внаслідок відцентрових сил інерції рухається через вікна 5 і потрапляє на лопать 7, яка транспортує його до гвинтового каналу, який має таку за напрямком навивку, як і основний гвинт. По інерції матеріал рухається по гвинтовому каналу і потрапляє на лопаті основного гвинта 2, який транспортує його до вивантажувального патрубку.

Метою теоретичного розрахунку є встановлення взаємозв'язку між конструктивними параметрами основного і додаткового гвинтів (діаметрів, кроків, кутів підйому гвинтової лінії), а також їх кутових швидкостей.

Очевидно, що для нормальної роботи гвинтового конвеєра необхідно, щоб продуктивність основного і додаткового гвинта були однакові.

Оскільки теоретична продуктивність гвинтового конвеєра визначаються за формулою:

$$Q_T = \frac{\pi(D_1^2 - d_1^2)}{4} \cdot S \cdot n \cdot K_n, \quad (2.78)$$

де D_1 – зовнішній діаметр гвинта; d_1 – внутрішній діаметр гвинта S – крок гвинта; n – частота обертання гвинта; K_n – коефіцієнт продуктивності, то, при заданих геометричних параметрах, можна визначити кутові швидкості основного і додаткового гвинтів;

Разом з тим, значення кутової швидкості додаткового гвинта повинна забезпечити рух матеріалу по всій довжині гвинтової лопаті, яка розташована в додатковому елементі.

Для цього розглянемо рух частинки сипкого матеріалу по гвинтовій поверхні (рис. 2.18, 2.19) додаткового елемента.

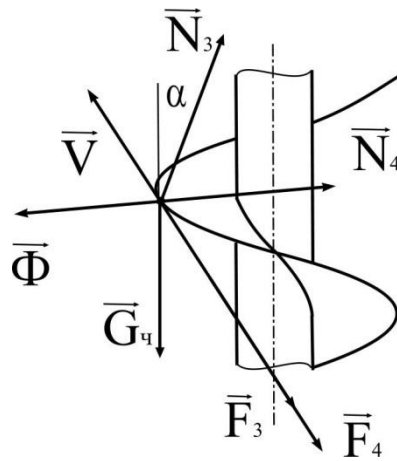


Рис. 2.18. Схема сили, прикладених до частинки матеріалу, яка розташована на гвинтовій поверхні

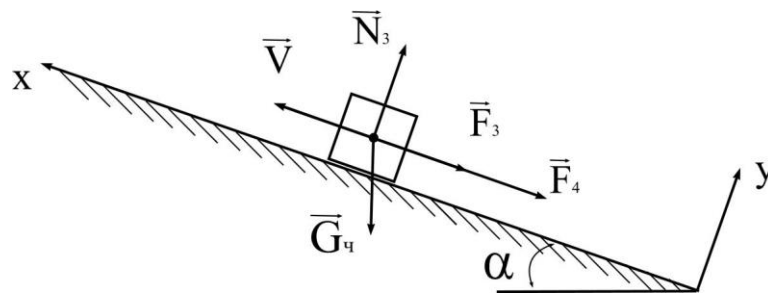


Рис. 2.19. Розгортка лопаті гвинтової поверхні

Диференціальне рівняння руху частинки матеріалу по гвинтовій поверхні матиме вигляд:

$$m \frac{dV}{dt} = -G_q \sin \alpha - F_3 - F_4, \quad (2.79)$$

де G_q – вага частинки матеріалу; α – кут підйому гвинтової лінії; F_3 – сила тертя частинки матеріалу по поверхні гвинтової лопаті; F_4 – сила тертя частинки матеріалу по поверхні кожуха.

Враховуючи, що:

$$F_3 = f_3 N_3 = f_3 m g \cos \alpha;$$

$$F_4 = f_4 N_4 = f_4 m \frac{V^2}{R},$$

де f_3, f_4 – коефіцієнти тертя частинок матеріалу по гвинтовій поверхні і по поверхні кожуха; Φ – відцентрова сила інерції; N_3 – нормальна реакція гвинтової поверхні; N_4 – нормальна реакція кожуха конвеєра; V – швидкість

частинки матеріалу; R – радіус зовнішнього циліндра в додатковому елементі, то рівняння (2.79) матиме вигляд:

$$\frac{dV}{dt} = -g \sin \alpha - f_3 g \cos \alpha - f_4 \frac{V^2}{R}, \quad (2.80)$$

або

$$\frac{dV}{dt} = A_1 V^2 + B_3, \quad (2.81)$$

де $A_1 = -\frac{f_4}{R}$; $B_3 = -g(\sin \alpha + f_3 \cos \alpha)$.

Оскільки: $\frac{dV}{dt} = V \frac{dV}{dS}$, (2.82)

де S – дугова координата, то підставивши (2.81) в (2.82) і проінтегрувавши отримане рівняння будемо мати:

$$\ln |A_1 V^2 + B_3| = 2A_1 S + C. \quad (2.83)$$

Для визначення сталої інтегрування C запишемо початкові умови:
при $S = 0$, $V = V_0$.

Тоді рівняння (2.83) матиме вигляд:

$$\ln \left| \frac{A_1 V^2 + B_3}{A_1 V_0^2 + B_3} \right| = 2A_1 S. \quad (2.84)$$

Якщо відомі геометричні параметри додаткового елемента та кутова швидкість додаткового гвинта, то можна визначити витрату сипкого матеріалу, який рухається по гвинтовому каналу додаткового елемента.

Розглянемо векторну діаграму абсолютного руху частинки матеріалу, яка рухається по гвинтовій поверхні додаткового шнека (рис. 2.20).

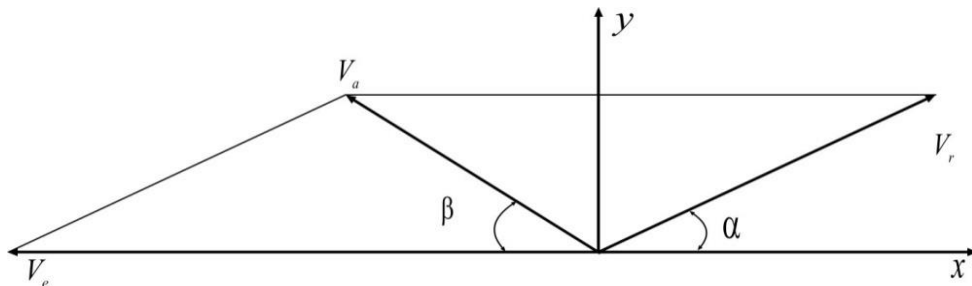


Рис. 2.20 Векторна діаграма абсолютного руху частинки матеріалу, яка рухається по гвинтовій поверхні додаткового шнека

$$\vec{V}_a = \vec{V}_e + \vec{V}_r \quad (2.85)$$

де \vec{V}_a - абсолютна швидкість руху частинки матеріалу по гвинтовій поверхні;

\vec{V}_e - переносна швидкість руху частинки матеріалу по гвинтовій поверхні;

\vec{V}_r - відносна швидкість руху частинки матеріалу по гвинтовій поверхні.

Спроекуємо векторне рівняння (2.90) на осі x та y :

$$\begin{cases} -V_a \cos \beta = -V_e + V_r \cos \alpha; \\ V_a \sin \beta = V_r \sin \alpha. \end{cases} \quad (2.86)$$

З цієї системи будемо мати:

$$V_a = V_e \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \alpha \cos \beta + \sin \beta \cos \alpha} \right) = \frac{V_e \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad (2.87)$$

де

$$V_e = \omega \cdot R.$$

Величина кута β визначається з рівняння [92, 96].

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{1 - Sc}{Sc + C_\beta}, \quad (2.88)$$

де Sc та C_β безрозмірні параметри, які є відповідно критеріями динамічної та кінематичної подібності конвеєрів. Їхні раціональні значення, що мінімізують енергоємність гвинтового конвеєра, не залежать від геометричних розмірів конвеєрів, і в меншій мірі, ніж інші параметри, залежать від фізико-механічних властивостей транспортованого матеріалу:

$$Sc = \sqrt{\frac{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1)}{fG_\omega}}; \quad (2.89)$$

$$C_\beta = \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.90)$$

де φ_1 - коефіцієнт внутрішнього тертя сипкого матеріалу.

На рис 2.21 наведено залежності кута β від кутової швидкості ω додаткового гвинта при різних значеннях коефіцієнта тертя.

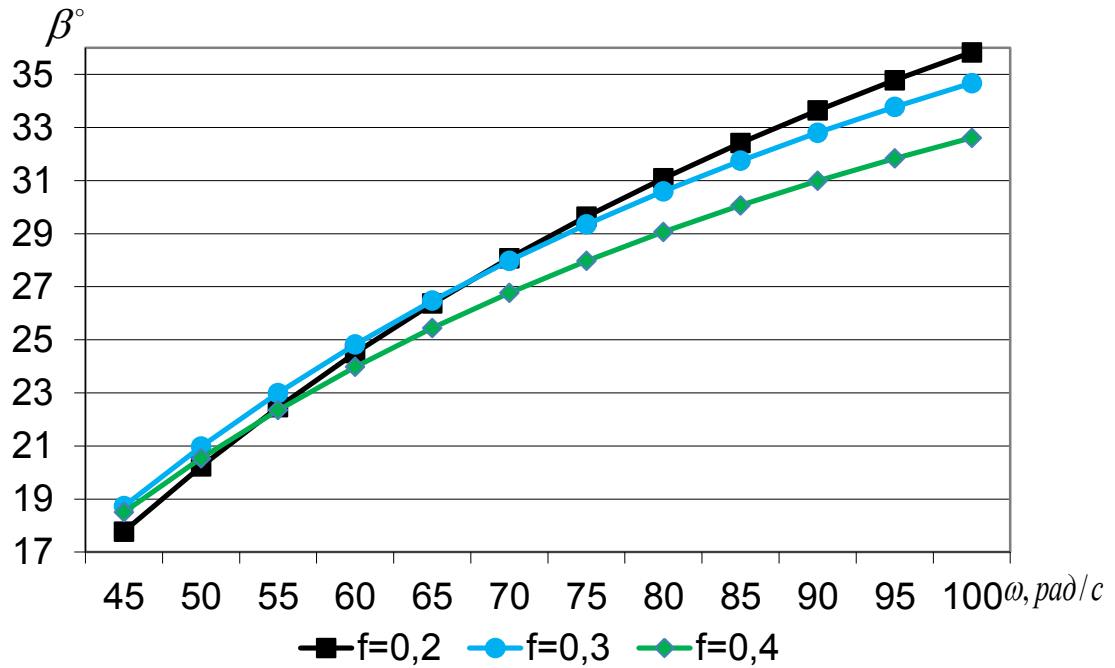


Рис.2.21. Залежності кута β° від кутової швидкості ω додаткового гвинта при різних значеннях коефіцієнта тертя при $\alpha = 17^\circ$

Оскільки початкова швидкість $V_0 = V_a$, то з рівняння (2.84) визначимо швидкість в кінці гвинтового каналу:

$$V_1 = \sqrt{\frac{(A_1 V_0^2 + B_3) \cdot e^{2A_1 L} - B_3}{A_1}}, \quad (2.91)$$

де L - довжина гвинтового каналу.

Тоді витрата сипкого матеріалу в гвинтовому каналі додаткового елемента забірної пристрою гвинтового конвеєру буде рівна:

$$Q = V_1 \cdot A_\kappa, \quad (2.92)$$

де A_κ - площа поперечного перерізу каналу.

Якщо обидва гвинтові канали мають однаковий поперечний переріз, то ця площа буде рівна:

$$A_\kappa = \frac{(R - r)H \cos \alpha_c}{2}, \quad (2.93)$$

де α_c - середнє значення кута підйому гвинтового каналу; H - висота каналу.

На (рис. 2.22 ... 2.27) наведено залежності витрати сипкого матеріалу в гвинтовому каналі додаткового елемента забірною пристрою гвинтового конвеєру від його геометричних та кінематичних параметрів.

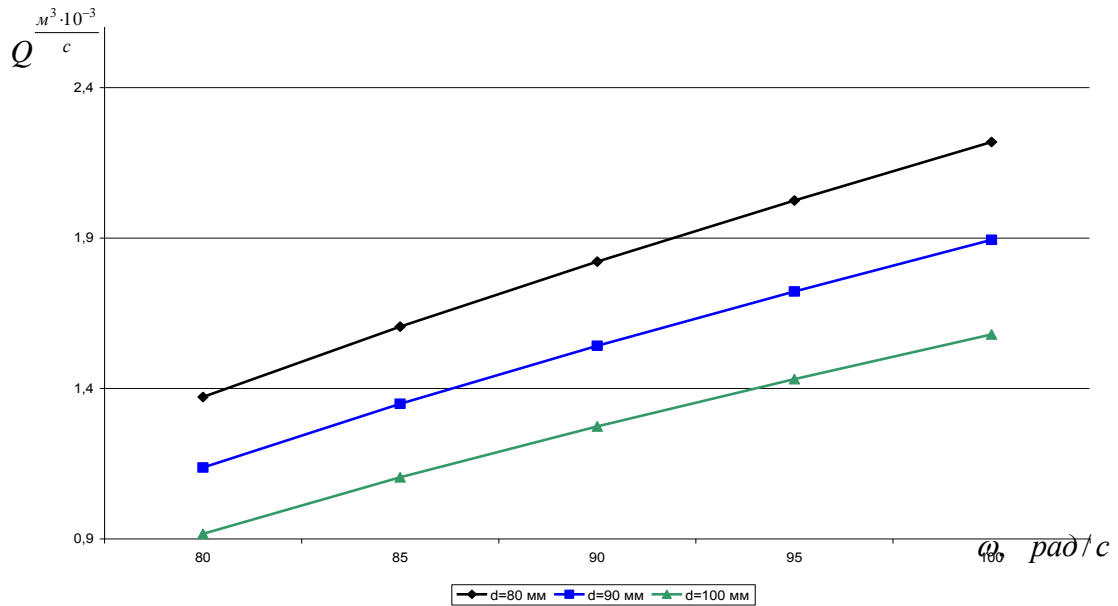


Рис. 2.22. Залежність витрати сипкого матеріалу у гвинтовому каналі додаткового елемента забірною пристрою гвинтового конвеєру від його геометричних і кінематичних параметрів ($H=70$, мм)

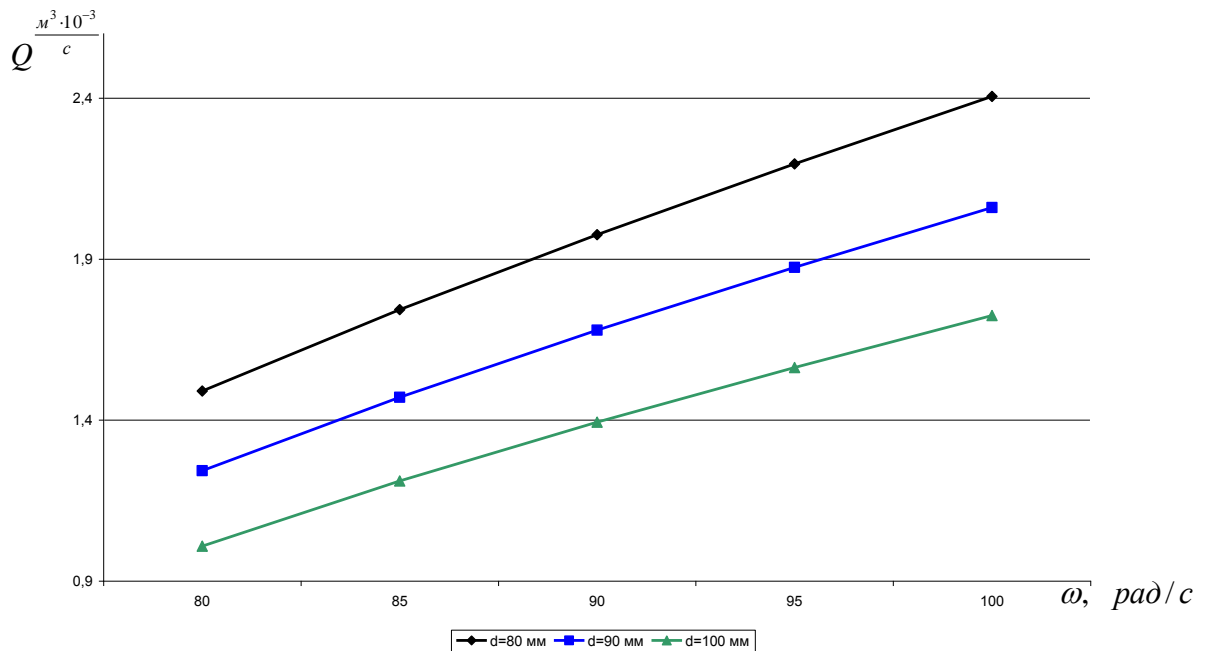


Рис. 2.23. Залежність витрати сипкого матеріалу у гвинтовому каналі додаткового елемента забірною пристрою гвинтового конвеєру від його геометричних і кінематичних параметрів ($H=80$, мм)

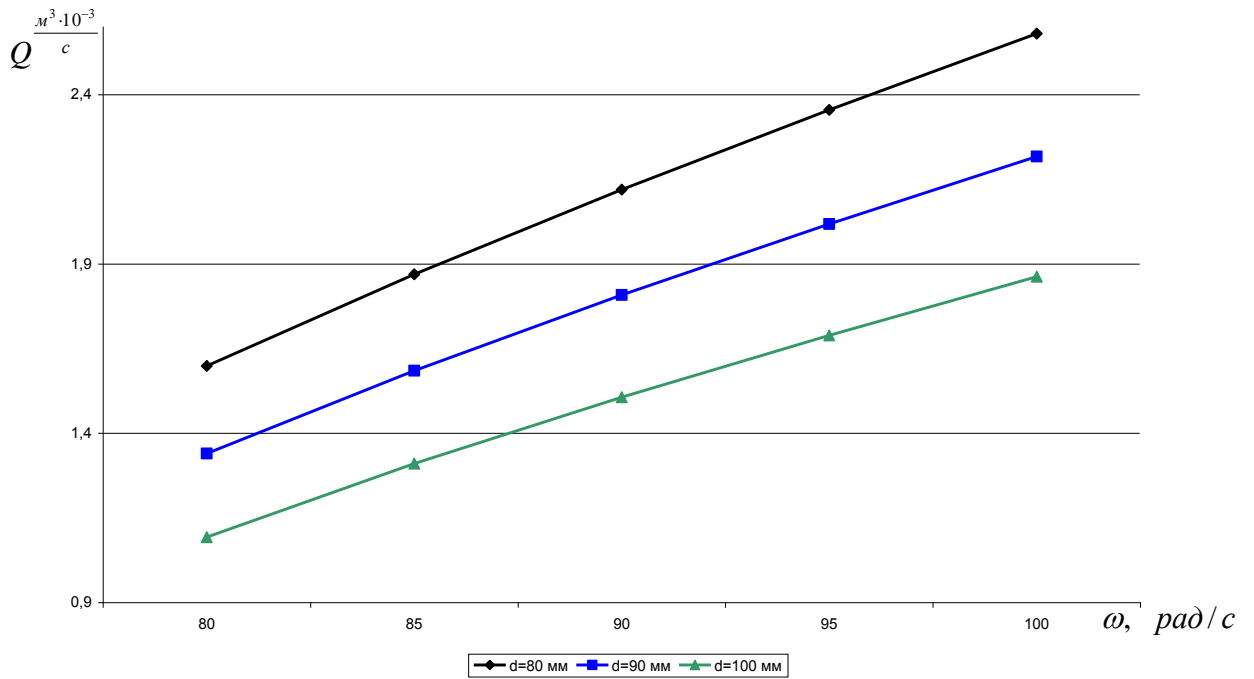


Рис. 2.24. Залежність витрати сипкого матеріалу у гвинтовому каналі додаткового елемента забірною пристрою гвинтового конвеєру від його геометричних і кінематичних параметрів ($H=90$, мм)

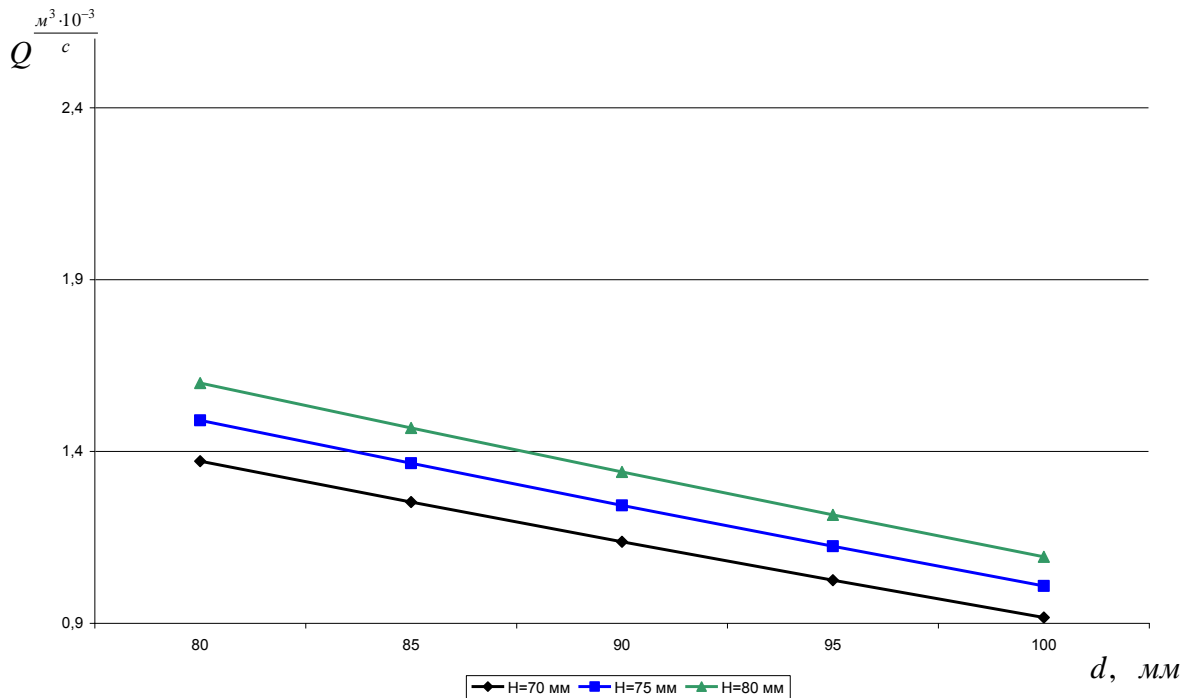


Рис. 2.25. Залежність витрати сипкого матеріалу у гвинтовому каналі додаткового елемента забірною пристрою гвинтового конвеєру від його геометричних і кінематичних параметрів ($\omega=80$, rad/s)

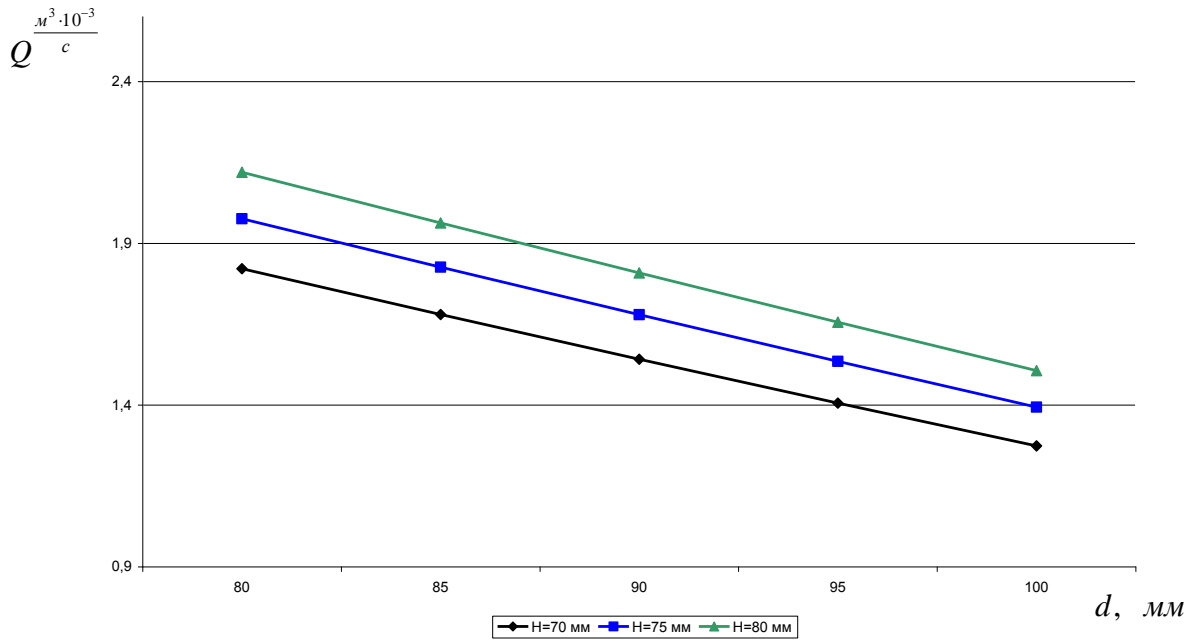


Рис. 2.26. Залежність витрати сипкого матеріалу у гвинтовому каналі додаткового елемента забірною пристрою гвинтового конвеєру від його геометричних і кінематичних параметрів ($\omega=90, \text{rad/s}$)

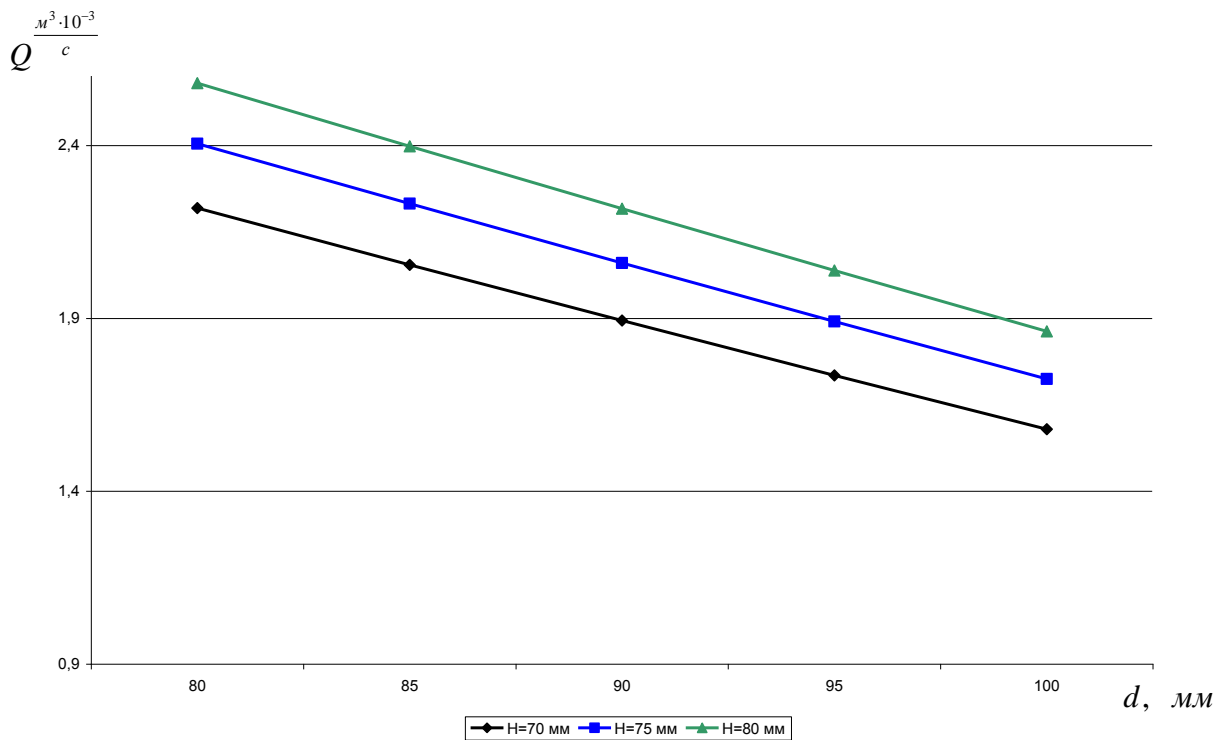


Рис. 2.27. Залежність витрати сипкого матеріалу у гвинтовому каналі додаткового елемента забірною пристрою гвинтового конвеєру від його геометричних та кінематичних параметрів ($\omega=100, \text{rad/s}$)

Розрахунки проведено для таких вихідних даних: $\alpha = 17^\circ$ – кут підйому гвинтової лінії, $D=0,16$ м – зовнішній діаметр додаткового елемента, $f_3 = f_4 = 0,35$ – коефіцієнти тертя частинок матеріалу по гвинтовій поверхні і по поверхні кожуха додаткового елемента забірною пристрою гвинтового конвеєра.

Для зменшення сили тертя частинки матеріалу по кожуху, запропонована конструкція гвинтового конвеєра, у якого лопать нахилена під деяким кутом до осі гвинтового конвеєра [83] (рис. 2.28).

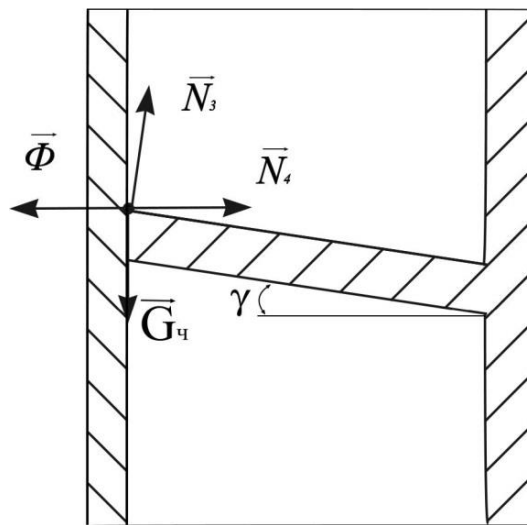


Рис. 2.28. Схема сил, прикладених до частинки матеріалу на похилій лопаті

З рівнянь рівноваги частинки матеріалу будемо мати:

$$\sum F_{xx} = 0; N_4 - \Phi + N_3 \sin \gamma = 0; \quad (2.94)$$

$$\sum F_{yy} = 0; N_3 \cos \gamma - G_q = 0, \quad (2.95)$$

де $N_3 = \frac{G_q}{\cos \gamma}$.

Розв'язуючи систему рівнянь (2.94), (2.95), отримаємо:

$$N_4 = \Phi - N_3 \sin \gamma = \Phi - \frac{G_q \sin \gamma}{\cos \gamma} = \Phi - G_q \operatorname{tg} \gamma. \quad (2.96)$$

Тоді диференціальне рівняння руху точки по гвинтовій поверхні матиме вигляд:

$$\frac{dV}{dt} = -g \sin \alpha \cos \gamma - f_3 g \cos \alpha \cos \gamma - f_4 \left(\frac{V^2}{R} - ctg \gamma \right), \quad (2.97)$$

або

$$\frac{dV}{dt} = A_1 V^2 + B_3', \quad (2.98)$$

де $A_1 = -\frac{f_4}{R}$; $B_3' = -g \cos \gamma (\sin \alpha + f_3 \cos \alpha) + f_4 ctg \gamma$.

Після інтегрування рівняння (2.98) аналогічно рівнянню (2.81), при початкових умовах $V_{s=0} = V_0$ отримаємо:

$$\ln \left| \frac{A_1 V^2 + B_3'}{A_1 V_0^2 + B_3'} \right| = 2A_1 S. \quad (2.99)$$

З рівняння (2.99) визначимо швидкість частинки матеріалу в кінці гвинтового каналу:

$$V_1 = \sqrt{\frac{(A_1 V_0^2 + B_3') \cdot e^{2A_1 L} - B_3'}{A_1}}, \quad (2.100)$$

де L - довжина гвинтового каналу.

Оскільки початкова швидкість $V_0 = V_a$, то враховуючи залежність (2.87) визначимо кутову швидкість додаткового гвинта:

$$\omega = \frac{V_e}{R} \quad (2.101)$$

де R – радіус додаткового гвинта.

На рис.2.29 зображено залежності кутової швидкості додаткового гвинта від довжини гвинтової лопаті для різних значень коефіцієнти тертя частинок матеріалу по гвинтовій поверхні і по поверхні кожуха ($f_3 = f_4 = f$, $V_1 = 0$) для прямої та похилої лопаті.

Розрахунки проведено для таких вихідних даних: $\alpha = 17^\circ$, $D = 0,16m$, $\gamma = 30^\circ$

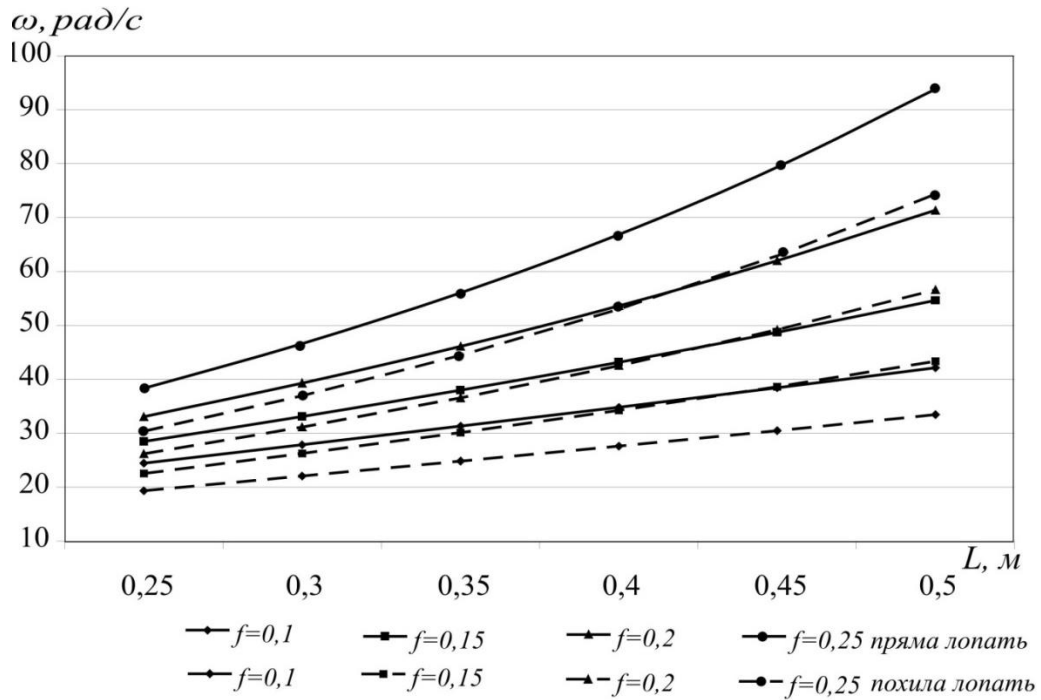


Рис. 2.29. Залежності кутової швидкості додаткового гвинта від довжини гвинтової лопаті

Аналізуючи отримані графічні залежності, можна зробити висновок, що коефіцієнти тертя сипкого матеріалу по поверхнях лопаті та кожуха додаткового елемента суттєво впливають на швидкість руху матеріалу в гвинтовому каналі, від якої залежить кутова швидкість додаткового гвинта. Так, при значеннях $f_3 = f_4 = 0,25$, $\omega = 96$ рад/с, а при $f_3 = f_4 = 0,15$, $\omega = 54$ рад/с.

Знаючи залежність швидкості руху від координати S , визначаємо роботу, затрачену на транспортування матеріалу.

У випадку прямої лопаті:

$$\begin{aligned}
 A_{II} &= \int_0^L m \left(g(\sin \alpha + f_1 \cos \alpha) + f_2 \frac{V^2}{R} \right) dS = \\
 &= \int_0^L m(AV^2 + B) dS = \frac{m(AV_0^2 + B)}{2A} (e^{2AL} - 1).
 \end{aligned} \tag{2.102}$$

У випадку нахиленої лопаті:

$$\begin{aligned}
 A_H &= \int_0^L m \left(g \cos \gamma (\sin \alpha + f_3 \cos \alpha) + f_4 \left(\frac{V^2}{R} - g t g \gamma \right) \right) dS = \\
 &= \int_0^L m(A_1 V^2 + B_3') dS = \frac{m(A_1 V_0^2 + B_3')}{2A_1} (e^{-2A_1 L} - 1),
 \end{aligned} \tag{2.103}$$

де m – маса частинки.

Враховуючи, що у випадку нахиленої лопаті початкова швидкість частинки матеріалу буде рівна :

$$V_0^H = \sqrt{\frac{B_3'(e^{-2A_1L} - 1)}{A_1}}. \quad (2.104)$$

При однаковій довжині гвинтової лінії відношення початкових швидкостей нахиленої V_0^H і прямої V_0^H лопатей буде рівна:

$$\frac{V_0^H}{V_0^H} = \sqrt{\frac{B_3'}{B_3}}, \quad (2.105)$$

Тоді відношення робіт, які затрачають на переміщення частинки матеріалу по прямій A_{II} та нахиленій лопаті A_H буде рівне:

$$\frac{A_{II}}{A_H} = \frac{A(V_0^H)^2 + B_3}{A(V_0^H)^2 + B_3'} = \frac{A(V_0^H)^2 + B_3}{A(V_0^H)^2 \frac{B_3'}{B_3} + B_3'} = \frac{B_3}{B_3'}. \quad (2.106)$$

На рис. 2.30. зображені графік відношення A_{II}/A_H від кута нахилу гвинтової лопаті γ , для різних значень коефіцієнтів тертя.

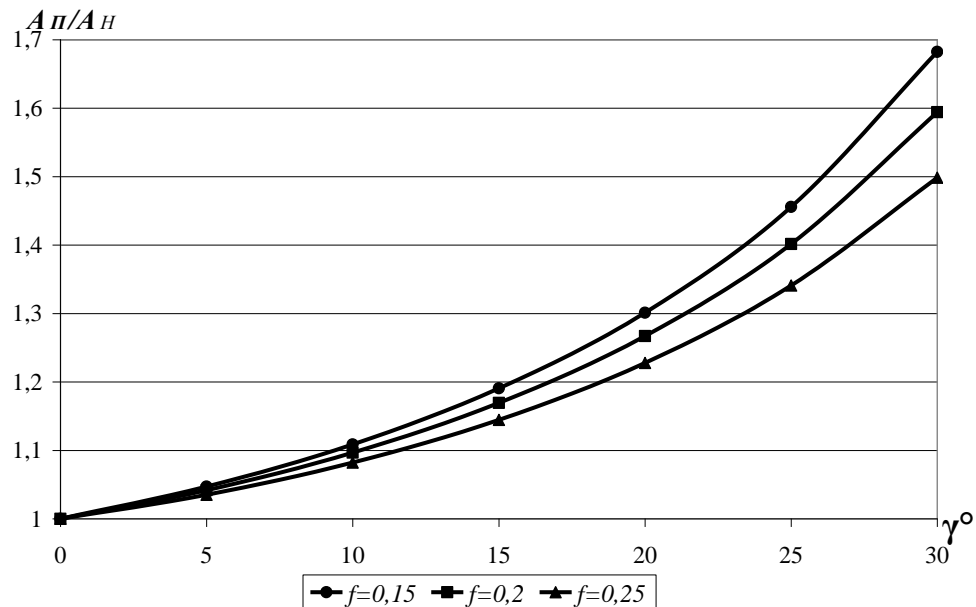


Рис. 2.30. Залежності зміни відношення робіт, які затрачаються на переміщення частинки матеріалу по прямій A_{II} та нахиленій лопаті A_H , в залежності від кута нахилу лопаті, при різних значеннях коефіцієнта тертя

Із наведених графічних залежностей бачимо, що у випадку нахилу гвинтової лопаті додаткового елемента забірною пристрою до осі гвинтового каналу на кут 75° , робота, яка затрачується на переміщення частинки матеріалу по прямій A_{II} та нахиленій лопаті A_{II} зменшується на 14...19 % при різних значеннях коефіцієнта тертя.

Оскільки робота, яка затрачається на переміщення сипкого матеріалу по гвинтовому каналу додаткового елемента, суттєво залежить від коефіцієнта тертя, то для зменшення енергозатрат на транспортування, та розмірів забірною пристрою на стінки каналу необхідно наносити антифрикційне покриття.

2.5 Висновки

1. Для забезпечення стабільного та надійного процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовими конвеєрами необхідно створити тиск у забірній частині, величина якого залежить від кутової швидкості гвинта та коефіцієнта продуктивності конвеєра.

2. Встановлено, що наявність гвинтового конвеєра в бункері з сипким матеріалом суттєво впливає на величину осьового та бокового тисків сипкого матеріалу. Ця величина не залежить від висоти засипки матеріалу в бункері при $H > 5D$. З точки зору мінімальної матеріалоемності, при однакових значеннях тиску сипкого матеріалу в бункері, необхідно проектувати його циліндричної форми.

3. На основі проведених теоретичних досліджень і побудови математичної моделі процесу завантаження гвинтових конвеєрів розроблено теоретичні передумови для вдосконалення конструкцій забірних пристроїв гвинтових конвеєрів, які характеризуються максимальними або мінімальними значеннями комплексу необхідних характеристик продуктивності, затраченої потужності та металоємкості.

4. Проведений аналіз руху частинки сипкого матеріалу в гвинтовому каналі додаткового елемента забірною пристрою. На основі отриманих

закономірностей побудовані графіки залежності швидкості частинок від параметрів забірної пристрою та кутової швидкості додаткового гвинта.

5. Проведений аналіз руху частинки сипкого матеріалу у гвинтовому каналі додаткового елемента забірної пристрою. На основі отриманих закономірностей побудовані графіки залежності витрати сипкого матеріалу у гвинтовому каналі додаткового елемента забірної пристрою гвинтового конвеєру від його геометричних та кінематичних параметрів.

6. Встановлено, що розміщення лопаті гвинтового каналу під кутом до осі додаткового елемента забірної пристрою зменшує роботу сили тертя при переміщенні частинки по лопаті.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження проводили для підтвердження теоретичних передумов і правомірності отриманих залежностей, обґрунтування конструктивно-технологічних рішень. Основною метою цих досліджень було визначення раціональних конструктивних, технологічних і кінематичних параметрів забірних пристроїв гвинтових конвеєрів.

Програма експериментальних досліджень передбачала такі етапи:

- створення експериментального бункерного пристрою зі змінними геометричними параметрами для дослідження процесу витікання сипкого матеріалу;
- розроблення і створення експериментального вертикального гвинтового конвеєра, який оснащений спеціальним забірним пристроєм із змінними кінематичними параметрами;

Дослідження та випробування були проведені в 2008–2015 роках в науково-дослідних лабораторіях МАЛТТС ТНТУ імені Івана Пулюя та кафедри будівельних, дорожніх меліоративних сільськогосподарських машин і обладнання НУВГП.

Основними завданнями експериментальних досліджень були:

- Дослідити процес бокового витікання сипких матеріалів із бункерів для вертикальних гвинтових конвеєрів;
- Експериментально підтвердити основні теоретичні положення та обґрунтувати параметри теоретичної моделі;
- За результатами теоретичних і експериментальних досліджень обґрунтувати раціональні параметри забірних пристроїв гвинтових конвеєрів;
- На основі проведених досліджень перевірити адекватність теоретичних положень за результатами експериментальних даних.

3.2. Обладнання для експериментального дослідження бокового витікання сипкого матеріалу із бункера

Для визначення витрати сипкого матеріалу при боковому витіканні із бункера розроблено експериментальну установку з плоским прозорим бункером (рис. 3.1.), яка імітує процес завантаження забірною пристроєю вертикального гвинтового конвеєра.

Особливістю устаткування є можливість зміни параметрів бункера:

- а) ширини бункера (a);
- б) довжини завантажувального патрубку (b);
- в) висоти завантажувального отвору (h);
- г) кут нахилу стінки бункера (α).

Ці параметри є змінними в межах $a=100-250$ мм., $h=40-80$ мм., $b=25-35$ мм., $\alpha=0-45^\circ$.

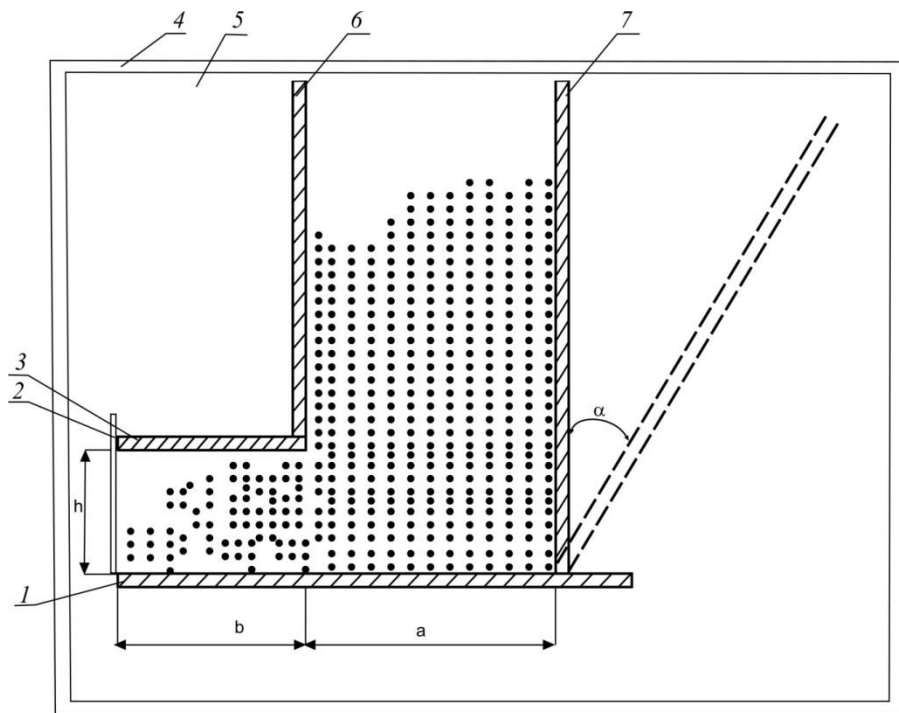


Рис. 3.1. Схема установки для дослідження бокового витікання сипкого матеріалу із бункера: 1 – дно бункера; 2 – шибер; 3 – завантажувальний патрубок; 4 – основа; 5 – прозора стінка із органічного скла для проведення спостережень; 6 – стінка-кожух бункера; 7 – бокова стінка бункера

У процесі експериментальних досліджень проводили фото та відео зйомку процесу витікання сипкого матеріал (пісок, кукурудза, пшениця, гірчиця, полістирол) з бункера, та вимірювання витрати при різних геометричних параметрах.

У плоскій моделі бункера було проведено ряд експериментів із різними параметрами бункера та для різних матеріалів і досліджено вплив геометричних параметрів бункера на витрату матеріалу.



Рис. 3.2. Витікання сипкого матеріалу із плоскої моделі бункера: а- пісок, б – гірчиця, в – кукурудза, г – пшениця

3.3. Методика експериментальних досліджень

З метою визначення швидкості витікання вантажу з бункера було поставлено та реалізовано чотирихфакторний експеримент за ортогональним планом другого порядку.

Етапами планування і проведення експерименту є: кодування факторів, складання матриць експерименту, рандомізація дослідів; вибір кількості повторюваності дослідів у кожній точці; перевірка відтвореності дослідів, перевірка адекватності моделі, оцінка значущості коефіцієнтів регресії.

Експериментальні дослідження проводили за методикою чотирихфакторного експерименту за ортогональним планом другого порядку.

Планування експерименту проводили в кодованих факторах x_i , в яких повне квадратне рівняння чотирихфакторного експерименту має вигляд [113]:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2. \quad (3.1)$$

Для ортогонального плану другого порядку рівняння (3.1) запишемо у вигляді:

$$\begin{aligned} \tilde{y} &= b_0^*x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + \\ &+ b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2 = \quad (3.2) \\ &= b_0^*x_0 + \sum_{i=1}^{k=2} b_i x_i + \sum_{j=1}^{k-1=1} \sum_{i=j+1}^{k=2} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{k=2} b_{ii} x_i^2, \end{aligned}$$

де
$$x_0 = 1, x_1 = \frac{2(b - b_{\max})}{b_{\max} - b_{\min}} + 1, x_2 = \frac{2(a - a_{\max})}{(a_{\max} - a_{\min})} + 1,$$

$$x_3 = \frac{2(\alpha - \alpha_{\max})}{\alpha_{\max} - \alpha_{\min}} + 1, x_4 = \frac{2(h - h_{\max})}{h_{\max} - h_{\min}} + 1,$$

$$x_i^* = x_i^2 - \beta_0, b_0^* = b_0 + \beta_0 \sum_{i=1}^{k=4} b_{ii}, \tilde{y} = w;$$

b_i, b_{ij}, b_{ii} - коефіцієнти регресії при відповідних значеннях;

β_0 - постійна, яка залежить від кількості факторів k :

$$\beta_0 = \sum_{i=1}^N x_i^2 / N = \frac{(2^{k-p_0} + 2\bar{\alpha}^2)}{N} = 0,333, \quad (3.3)$$

де $2^{k-p_0} = 4$ - кількість дослідів у ядрі плану;

p_0 - постійна, яка характеризує репліку від ПФЕ типу 2^k (частковий факторний експеримент ЧФЕ 2^{k-p}), для ПФЕ $p = 0$;

$$\bar{\alpha} - \text{величина зоряного плеча, } \bar{\alpha} = \sqrt{2^{\frac{k-p_0}{2}-1} \left(\frac{1}{N^2} - 2^{\frac{k-p_0}{2}} \right)} = 1,$$

N - загальна кількість дослідів ортогонального плану:

$$N = 2^{k-p_0} + 2k + n_0 = 25, \quad (3.4)$$

де k - кількість досліджуваних факторів;

n_0 - кількість дослідів у нульовій точці (звичайно приймають $n_0 = 1$);

$2k = 4$ - кількість дослідів за зоряним точками.

Згідно з планом експерименту проведемо кодування факторів (таблиця 3.1) та складаємо план-матрицю (таблиця 3.2).

Таблиця 3.1.

Кодування факторів

Кодоване значення факторів	Довжина патрубкa	Ширина бункера	Кут нахилу стінки бункера	Висота патрубкa
	$x_1 - b$, мм	$x_2 - a$, мм	$x_3 - \alpha$, °	$x_4 - h$, мм
$x_{i0} = 0$	30	200	22,5	60
$x_{i\alpha} = \bar{\alpha}$	37,07	270,71	54,31	88,28
$x_{i-\alpha} = -\bar{\alpha}$	22,93	129,29	-9,31	31,71
$x_{i\max} = 1$	35	250	45	80
$x_{i\min} = -1$	25	150	0	40

Проведено статистичну обробку експерименту за типовою методикою [7, 62].

Дисперсія, що характеризує розсіювання результатів в u - му досліді

$$S_u^2 = \frac{1}{m_0 - 1} \sum_{i_k=1}^{m_0} (y_{ui_k} - \bar{y}_u)^2, \quad (3.5)$$

де i_k - номер повторюваності;

u - індекс досліду;

\bar{y}_u - середнє арифметичне значення вихідного параметра в серії

$$\text{досліду, } \bar{y}_u = \frac{\sum_{i_k=1}^{m_0} P_{ui_k}}{m_0};$$

y_{ui_k} - вихідний параметр при i_k повторюваності, $y_{ui_k} = P_{ui_k}$;

m_0 - число повторювань (дублювання дослідів рівномірне $m_0 = \text{const} = 3$).

Таблиця 3.2

План матриця експерименту

№	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_1X_2	X_1X_3	X_1X_4	X_2X_3	X_2X_4	X_3X_4
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1
3	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
4	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1
5	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
6	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1
7	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1
8	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1
9	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1
10	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
11	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1
12	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1
13	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1
14	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1
15	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	-1,414	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	1	1,414	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	1	0	-1,414	0	0	0	0	0	0	0	0
20	1	0	1,414	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1	0	0	-1,414	0	0	0	0	0	0	0
22	1	0	0	1,414	0	0	0	0	0	0	0
23	1	0	0	0	-1,414	0	0	0	0	0	0
24	1	0	0	0	1,414	0	0	0	0	0	0
25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Коефіцієнти регресії визначають за залежністю:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{y}_u x_{iu}}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2}, b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{y}_u x_{iu} x_{ju}}{\sum_{u=1}^N (x_{iu} x_{ju})^2}, b_{ii} = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{y}_u x_{iu}^*}{\sum_{u=1}^N (x_{iu}^*)^2}, b_0^* = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{y}_u x_{0u}}{\sum_{u=1}^N x_{0u}^2}, x_{iu}^* = x_{iu}^2 - \beta_0, \quad (3.5)$$

де i, j - індекси рядка;

u - індекс досліду.

За критерієм Кохрена проведено оцінку відтворюваності для перевірки гіпотези про однорідність дисперсій.

$$G = \frac{S_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^N S_u^2} < G_{\text{табл}}(\alpha; f, N), \quad (3.6)$$

де $S_{u \max}^2$ - максимальна дисперсія з проведених дослідів;

$G_{\text{табл}}(\alpha, f, N)$ - табличне значення G - критерію Кохрена [113];

α - рівень значущості, $\alpha = 0,05$ для машинобудування;

f - число ступенів вільності, $f = m_0 - 1$, $f = 5 - 1 = 4$;

N - загальна кількість серій дослідів.

За критерієм Фішера проведено перевірку адекватності рівняння.

Адекватність справджується, якщо виконується нерівність:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} < F(\alpha_3; f_{ad}; f_y), \quad (3.7)$$

де S_{ad}^2 - дисперсія адекватності;

$F(0,05; f_{ad}; f_y)$ - табличне значення критерію Фішера при α_3 - рівні значності;

f_{ad} - число ступенів вільності дисперсії адекватності, $f_{ad} = n - k - 1$;

k - число факторів;

f_y - число ступенів вільності дисперсії відтворюваності, $f_y = n(m_0 - 1)$.

Дисперсію S_{ad}^2 визначено за формулою:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{n - k - 1} \sum_{u=1}^n (y - \bar{y}_u)^2, \quad (3.8)$$

де y - розрахункове значення відгуку в i - му досліді.

За критерієм Ст'юдента визначено значущість коефіцієнтів регресії. Коефіцієнт вважається значимим, якщо виконується умова:

$$|b_a| \geq \Delta b_a = t(0,05; f_y) \frac{S_y}{\sqrt{n}}, \quad (3.9)$$

де b_a – коефіцієнти b_0, b_i і b_{ij} ;

Δb_a - довірча границя;

$t(0; 0,05; f_y)$ - критерій Ст'юдента при 5% -му рівні значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності f_y .

Після проведення чотирифакторного експерименту було виявлено, що коефіцієнти при x_2, x_3 є незначними, тому було складено план-матрицю двофакторного експерименту (таблиця 3.3). Кодування факторів представлено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.3.

План-матриця двофакторного експерименту

№	X_1	X_2	X_1X_2
1	-1	-1	1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	1
5	0	0	0
6	0	1	0
7	0	-1	0
8	1	0	0
9	-1	0	0

Таблиця 3.4.

Кодування факторів

Кодоване значення факторів	Довжина патрубку $x_1 - b$, мм	Висота патрубка $x_2 - h$, мм	
		Дрібнозернисті матеріали (пісок, гірчиця, полістирол)	Крупнозернисті матеріали (пшениця, кукурудза)
$x_{i0} = 0$	30	60	100
$x_{i\max} = 1$	35	80	120
$x_{i\min} = -1$	25	40	80

3.4. Обладнання для проведення експериментальних досліджень процесу завантаження та транспортування гвинтовим конвеєром оснащеного забірним пристроєм

Для проведення експериментальних досліджень по транспортуванню сипких матеріалів гвинтовим конвеєром, оснащеного спеціальним забірним пристроєм (рис. 3.7), було розроблено та виготовлено дослідну установку, конструктивна схема якої представлена на рис 3.3.

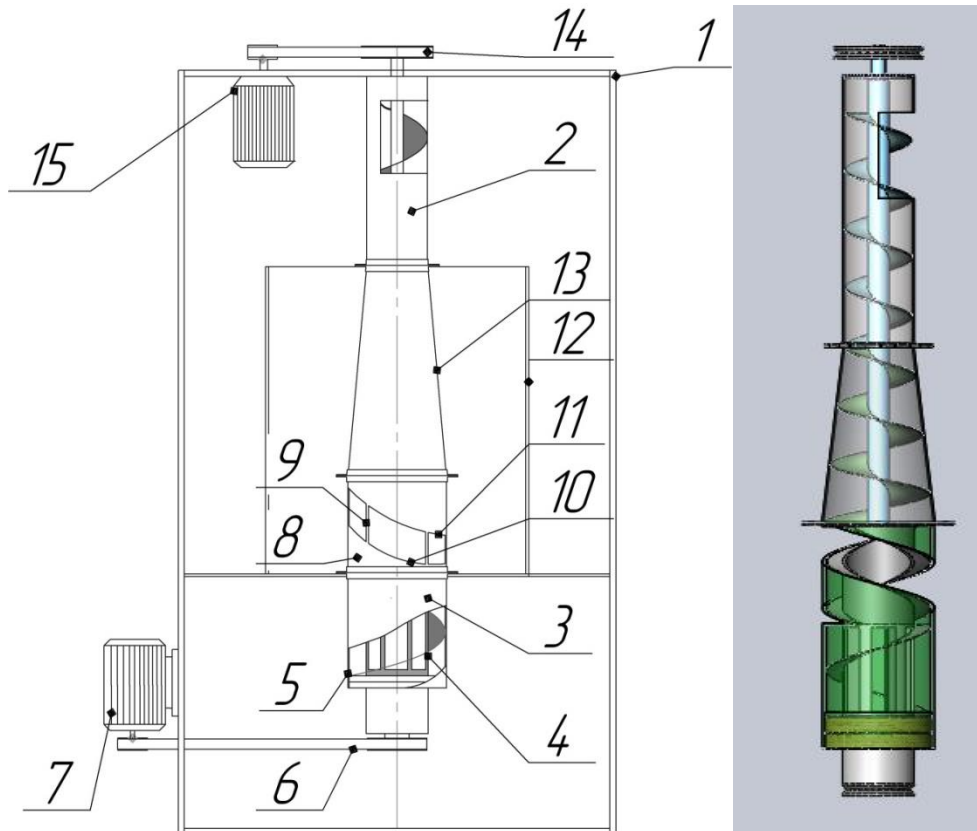


Рис. 3.3. Схема дослідної установки

На рамі 1 дослідної установки встановлений з можливістю повздовжнього переміщення та фіксації вертикальний гвинтовий конвеєр 2, оснащений забірним пристроєм 3, який складається з пустотілого гвинта 4, розміщеного в корпусі 5, привід якого здійснюється за допомогою клинопасової передачі 6 від електродвигуна 7. Між гвинтовим конвеєром 2 та додатковим 4 гвинтом, розміщено додатковий елемент 8, який складається з пустотілого циліндра 9, зовні якого розміщені дві гвинтові лопаті 10 та 11, які утворюють два гвинтові канали, один з яких служить для транспортування сипкого матеріалу із бункера 12 всередину додаткового

гвинта 4, а другий для транспортування сипкого матеріалу на лопать конічної частини 13 гвинтового конвеєра 2. Привід основного гвинта 2 здійснюється за допомогою клинопасової передачі 14 від електродвигуна 15.

Окремі елементи забірного пристрою зображено на (рис. 3.4...3.7), а загальний вигляд установки на рис 3.9.

Параметри забірного пристрою (рис. 3.4, рис. 3.7):

Діаметр зовнішнього кожуха – 162 мм;

Зовнішній діаметр гвинта – 156 мм;

Внутрішній діаметр гвинта – 102 мм;

Крок гвинта – 150 мм.

Параметри конусної частини (рис. 3.6):

Діаметр верхньої частини – 102 мм;

Діаметр нижньої частини – 162 мм;

Довжина конусної частини – 340 мм.

Параметри гвинтового конвеєра (рис. 3.5):

Діаметр кожуха – 102 мм;

Зовнішній діаметр гвинта – 90 мм;

Внутрішній діаметр гвинта 25 мм;

Крок гвинта 100 мм.



Рис. 3.4. Загальний вигляд додаткового гвинта



Рис. 3.5. Загальний вигляд транспортуючого гвинтового конвеєра



Рис. 3.6. Загальний вигляд конусного шнека

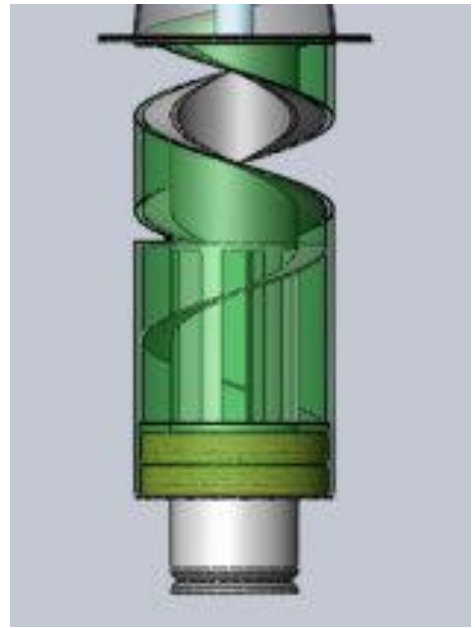


Рис. 3.7. Загальний вигляд забірною пристрою



Рис. 3.8. Загальний вигляд дослідної установки

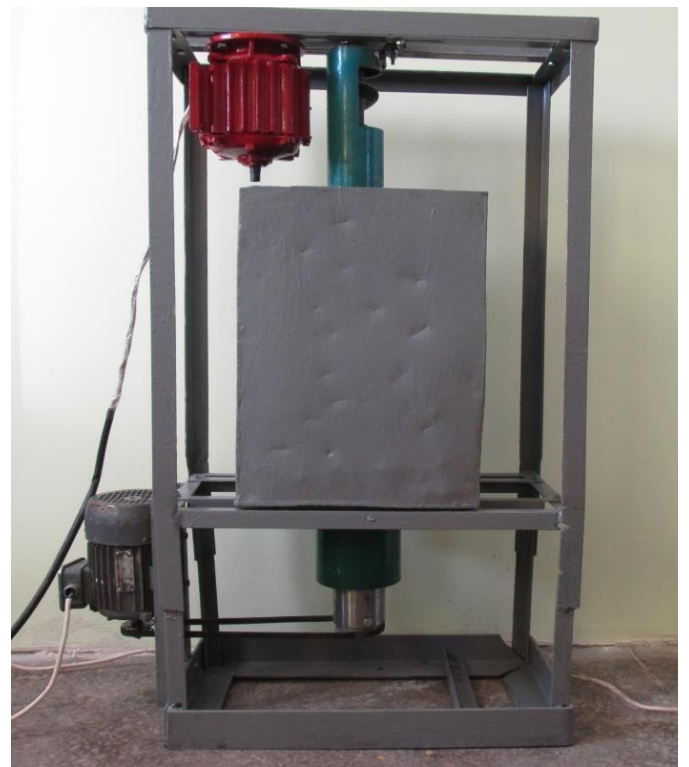


Рис. 3.9. Загальний вигляд дослідної установки з бункером

3.5. Методика дослідження процесу висипання сипкого матеріалу через гвинтові канали додаткового елемента забірною пристрою гвинтового конвеєра

Для визначення продуктивності просипання сипкого матеріалу через гвинтовий канал додаткового елемента забірною пристрій без додаткового гвинта розміщували в бункері із сипким матеріалом (рис. 3.10).



Рис. 3.10 Процес висипання сипкого матеріалу через гвинтові канали додаткового елемента забірною пристрою гвинтового конвеєра.

Після стабілізації процесу висипання сипкого матеріалу через гвинтові канали потік направляли в мірну ємність і фіксували час її наповнення. Експерименти проводилися з трикратною повторюваністю для різних матеріалів (пісок, гірчиця, полістирол).

3.6. Методика дослідження продуктивності додаткового елемента забірної пристрою

На цьому етапі експериментальних досліджень визначали продуктивність додаткового гвинта. Для цього в бункері 12 розташовувався забірний пристрій 3 (рис 3.3). Після пуску двигуна 7, сипкий матеріал поступав через гвинтові канали в забірну частину і транспортувався додатковим гвинтом 4 через гвинтові канали до конічної частини 13.

У процесі транспортування (рис. 3.11) виміряли продуктивність забірної пристрою в залежності від кутової швидкості додаткового гвинта. Для регулювання частоти обертання двигуна 1, а отже, і додаткового гвинта 12 використовували перетворювач частоти Altivar 31.

Кутова швидкість додаткового гвинта змінювалася в межах $\omega=(0...100)рад/с$. Для дослідження продуктивності забірної пристрою використовували такі матеріали: пісок, гірчиця полістирол.



Рис. 3.11. Процес транспортування

3.7. Методика дослідження роботи гвинтового конвеєра оснащеного забірним пристроєм

На цьому етапі визначали продуктивність вертикального гвинтового конвеєра з забірним пристроєм. Для цього в бункер забірною пристрою гвинтового конвеєра 12 засипали сипкий матеріал. Запустили електродвигун 15, який через клинопасову передачу 14 приводив у рух гвинт основного конвеєра 2. Вмикали електродвигун 7, який через клинопасову передачу 6 приводить в рух гвинт 4 забірною пристрою 3. Після стабілізації процесу транспортування проводили забір матеріалу, який висипається із вивантажувального патрубку в мірну тару та фіксували час заповнення.

Дослідження проводили з п'ятьма повторюваностями. Частоту обертання основного гвинта змінювали в межах від $n=100\dots 1000$ об/хв. Для регулювання частоти обертання двигуна використовували перетворювач частоти Altivar 31. Частоту обертання основного та додаткового гвинтів визначали за допомогою тахометра ТЧ-10Р.

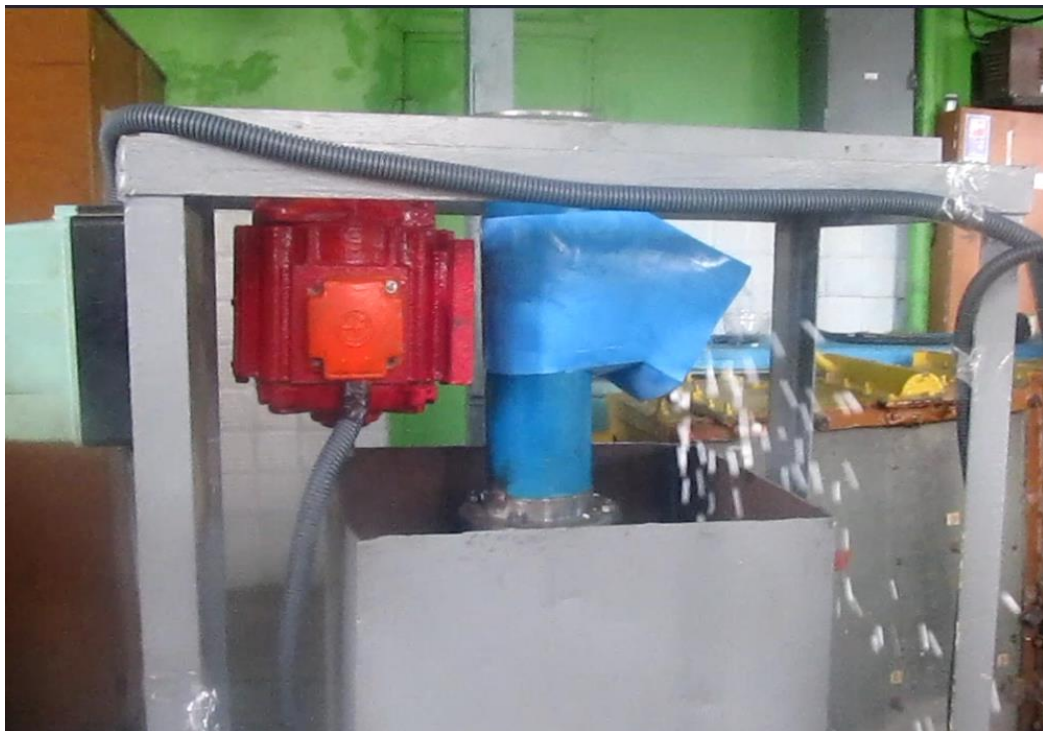


Рис. 3.12. Процес транспортування сипкого матеріалу вертикальним гвинтовим конвеєром, який оснащений спеціальним забірним пристроєм

3.8 Висновки

1. Для дослідження процесу бокового витікання сипкого матеріалу з бункера створено модель бункера із змінними геометричними параметрами, розроблено методику проведення багатофакторного експерименту, що дало можливість оцінити характер витікання та особливості руху у випускному патрубку для вибору раціональних параметрів пристрою.

2. Розроблено програму та методику експериментальних досліджень, приведено опис і загальний вигляд обладнання (устаткування).

3. Розроблено та виготовлено експериментальний вертикальний гвинтовий конвеєр, який оснащено спеціальним забірним пристроєм із можливістю регулювання кутових швидкостей основного та додаткового гвинтів.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Експериментальні дослідження бокового витікання сипкого матеріалу із бункера

Дослідження витрати сипкого матеріалу при боковому витіканні із бункера проводили згідно з методикою, викладеною в розділі 3.3.

Результати досліджень, які отримано в результаті проведення 25 експериментів за трьома повторюваностями, наведено в табл. 4.1, де показано залежність витрати сипкого матеріалу при боковому витіканні з бункера від його параметрів.

Таблиця 4.1.

Витрата сипкого матеріалу при боковому витіканні з бункера
(матеріал – пісок)

<i>№ П/П</i>	<i>Q1, см³/хв</i>	<i>Q2, см³/хв</i>	<i>Q3, см³/хв</i>	<i>Qс, см³/хв</i>
1	65,8	65,7	62,7	64,7
2	41,5	41,3	39,8	40,9
3	64,6	63,9	66,1	64,9
4	39,3	40,1	38,2	39,2
5	69,9	67,8	65,9	67,9
6	42,6	42,6	44,6	43,3
7	65,4	66,6	66,6	66,2
8	45,2	45,0	44,5	44,9
9	222,2	217,4	241,5	227,0
10	168,4	171,2	172,2	170,6
11	205,8	218,3	213,7	212,6
12	179,2	179,2	185,2	181,2
13	227,3	252,5	321,5	267,1
14	210,1	188,0	194,6	197,6
15	237,0	231,5	209,2	225,9
16	181,2	182,5	181,2	181,6
17	134,0	144,1	135,5	137,9
18	95,1	97,5	90,4	94,3
19	123,5	110,1	115,7	116,4
20	140,8	123,5	134,0	132,8
21	125,0	111,1	119,6	118,6
22	102,0	102,9	114,7	106,5
23	22,0	23,3	21,4	22,2
24	255,1	261,8	277,8	264,9
25	115,7	118,2	110,7	114,9

У кодованих змінних залежність продуктивності від досліджуваних факторів має вигляд:

$$Q = F(x_1, x_2, x_3, x_4) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2. \quad (4.1)$$

Згідно критерію Кохнера ($G = 0,11 < G_{Табл}$) підтверджено відтворюваність експерименту.

Отримана регресійна залежність адекватно відтворює взаємозв'язок між функцією і параметрами моделі ($F < F_{Табл}$).

Тоді рівняння 4.1 набуває вигляду:

$$Q = F(x_1, x_2, x_3, x_4) = 128,61 - 17,932x_1 - 1,971x_2 + 3,871x_3 + 78,745x_4 + 3,327x_1x_2 - 1,395b_{13}x_1x_3 - 6,638x_1x_4 - 3,238x_2x_3 - 3,716x_2x_4 + 4,263x_3x_4 - 0,411x_1^2 + 3,838x_2^2 - 2,168x_3^2 + 13,322x_4^2. \quad (4.2)$$

При переході до натуральних змінних отримано рівняння регресії:

$$Q = F(b, c, \alpha, h) = 107,0726 - 2,1052b + 1,7212h + 0,2254c + 0,6129\alpha - 0,0072bc + 0,0124b\alpha - 0,0664bh + 0,0029c\alpha + 0,0095ah + 0,0164b^2 + 0,0015c^2 + 0,0333h^2, \quad (4.3)$$

де a – ширина бункера, мм;

b – довжина патрубк, мм;

h – висота патрубк, мм;

α – кут нахилу стінки бункера, град.

За перевіркою на незначущість коефіцієнтів за критерієм Ст'юдента значущими є тільки коефіцієнти $b_0 = 128,161$, $b_1 = -17,932$, $b_4 = 78,745$, $b_{14} = -6,638$, $b_{44} = 13,372$, а всіма іншими коефіцієнтами можна знехтувати, тому було проведено двофакторний експеримент план, якого наведено в табл. 3.4.

Результати досліджень, які отримано в результаті проведення 9 експериментів за трьома повторюваностями для різних матеріалів, наведено в таблицях. 4.2...4.6, де показано залежність витрати сипкого матеріалу від параметрів бункера.

Таблиця 4.2.

Витрата сипкого матеріалу при боковому витіканні з бункера
(матеріал – пісок)

№ П/П	$Q1,$ $см^3/хв$	$Q2,$ $см^3/хв$	$Q3,$ $см^3/хв$	$Qс,$ $см^3/хв$	$Qе,$ $см^3/хв$	Похибка %
1	63,9	66,1	64,8	64,93	64,2	1,13
2	32,4	30,5	31,5	31,47	28,62	9,05
3	218,3	213,7	212,6	214,87	216,52	0,77
4	179,2	185,2	181,2	181,87	180,46	0,77
5	128,9	129,2	130,4	129,50	135,36	4,53
6	208,3	212,3	207,6	209,40	200,24	4,37
7	53,8	53,5	53,6	53,63	48,16	10,21
8	104,4	105,7	167,5	125,87	115,7	8,08
9	152,9	168,9	146,6	156,13	151,52	2,95

Таблиця 4.3.

Витрата сипкого матеріалу при боковому витіканні з бункера
(матеріал – кукурудза)

№ П/П	$Q1,$ $см^3/хв$	$Q2,$ $см^3/хв$	$Q3,$ $см^3/хв$	$Qс,$ $см^3/хв$	$Qе,$ $см^3/хв$	Похибка %
1	209,20	215,05	206,18	210,14	212	0,89
2	148,8095	157,4803	144,0922	150,1274	144,14	3,99
3	423,72	452,48	401,60	425,94	432	1,42
4	377,35	348,43	322,58	349,45	347,66	0,51
5	263,15	255,75	257,72	258,88	256,1	1,07
6	375,93	363,63	392,15	377,24	377,58	0,09
7	160,77	158,22	162,33	160,44	165,82	3,35
8	230,4147	228,833	202,0202	220,4226	230,3	4,48
9	311,52	303,03	317,46	310,67	306,4	1,37

Таблиця 4.4.

Витрата сипкого матеріалу при боковому витіканні з бункера
(матеріал – пшениця)

№ П/П	$Q1,$ $см^3/хв$	$Q2,$ $см^3/хв$	$Q3,$ $см^3/хв$	$Qс,$ $см^3/хв$	$Qе,$ $см^3/хв$	Похибка %
1	229,35	214,13	218,34	220,61	239,82	8,71
2	177,35	169,77	172,71	173,26	195,12	12,62
3	444,44	440,52	427,35	437,44	453,62	3,70
4	378,78	350,87	359,71	363,12	382,12	5,23
5	289,01	288,18	284,90	287,36	307,22	6,91
6	425,53	392,15	393,70	403,79	420,62	4,17
7	208,33	191,20	201,61	200,38	220,22	9,90
8	273,25	253,80	245,70	257,57	275,42	6,93
9	324,67	311,52	306,74	314,31	333,52	6,11

Таблиця 4.5.

Витрата сипкого матеріалу при боковому витіканні з бункера
(матеріал – гiрчиця)

№ П/П	$Q1,$ $см^3/хв$	$Q2,$ $см^3/хв$	$Q3,$ $см^3/хв$	$Qс,$ $см^3/хв$	$Qе,$ $см^3/хв$	Похибка %
1	330,03	312,50	321,54	321,36	309,98	3,54
2	257,73	245,10	251,26	251,36	250,98	0,15
3	598,80	529,10	574,71	567,54	561,38	1,09
4	495,05	520,83	490,20	502,03	506,78	0,95
5	401,61	386,10	425,53	404,41	393,33	2,74
6	515,46	571,43	534,76	540,55	541,33	0,14
7	288,18	272,48	277,78	279,48	287,73	2,95
8	366,30	369,00	363,64	366,31	357,68	2,36
9	398,41	386,10	442,48	408,99	414,48	1,34

Таблиця 4.6.

Витрата сипкого матеріалу при боковому витіканні з бункера
(матеріал – полістирол)

№ П/П	$Q1,$ $см^3/хв$	$Q2,$ $см^3/хв$	$Q3,$ $см^3/хв$	$Qс,$ $см^3/хв$	$Qе,$ $см^3/хв$	Похибка %
1	340,02	319,42	332,36	321,36	309,98	2,55
2	265,41	252,12	269,73	251,36	250,98	0,27
3	617,81	546,18	590,16	567,54	561,38	0,27
4	512,06	530,16	508,06	502,03	506,78	1,46
5	407,23	396,12	418,62	404,41	393,33	0,43
6	535,71	592,14	566,72	540,55	541,33	1,05
7	296,17	283,15	291,14	279,48	287,73	2,66
8	379,21	382,14	376,14	366,31	357,68	2,18
9	412,15	408,16	438,85	408,99	414,48	2,40

У кодованих змінних залежність витрати від досліджуваних факторів має вигляд:

$$Q = F(x_1, x_2) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2; \quad (4.4)$$

для піску:

$$Q = F(x_1, x_2) = 138,27 - 16,122x_1 + 76,07x_2 + 0,117x_1x_2 - 1,656x_1^2 - 11,139x_2^2 \quad (4.5)$$

для пшениці:

$$Q = F(x_1, x_2) = 288,27 - 29,73x_1 + 101,67x_2 - 6,74x_1x_2 - 2,79x_1^2 + 13,35x_2^2; \quad (4.6)$$

для кукурудзи:

$$Q = F(x_1, x_2) = 255,14 - 37,79x_1 + 105,32x_2 - 4,12x_1x_2 - 12,27x_1^2 + 15,57x_2^2; \quad (4.7)$$

для гірчиці:

$$Q = F(x_1, x_2) = 396,72 - 29,7x_1 + 126,32x_2 + 1,12x_1x_2 - 5,22x_1^2 + 17,15x_2^2; \quad (4.8)$$

для полістиролу:

$$Q = F(x_1, x_2) = 405,54 - 29,44x_1 + 130,52x_2 + 0,05x_1x_2 - 5,2x_1^2 + 27,84x_2^2 \quad (4.9)$$

При переході до натуральних змінних отримано рівняння регресії:

для піску:

$$Q = F(b, h) = -150,9 + 0,69b + 7,186h - 0,0012bh - 0,07b^2 - 0,0279h^2; \quad (4.10)$$

для пшениці:

$$Q = F(b, h) = 10,52 + 7,49b + 0,42h + 0,067bh - 0,11b^2 + 0,033h^2; \quad (4.11)$$

для кукурудзи:

$$Q = F(b, h) = 662,4 - 32,89b - 1,27h - 0,0412bh + 0,49b^2 + 0,039h^2; \quad (4.12)$$

для гірчиці:

$$Q = F(b, h) = 231,73 + 10,62b - 4,59h + 0,011bh - 0,29b^2 + 0,053h^2; \quad (4.13)$$

для полістиролу:

$$Q = F(b, h) = 243,8 + 10,54b - 5,32h + 0,06bh - 0,28b^2 + 0,082h^2, \quad (4.14)$$

де: b – довжина патрубку,

h – висота патрубку.

Використовуючи отримане рівняння регресії залежно від параметрів, згідно яких проводили експериментальні дослідження, побудовано графіки, що характеризують цей вплив на процес витікання сипких матеріалів із бункера (рис. 4.1....4.10.).

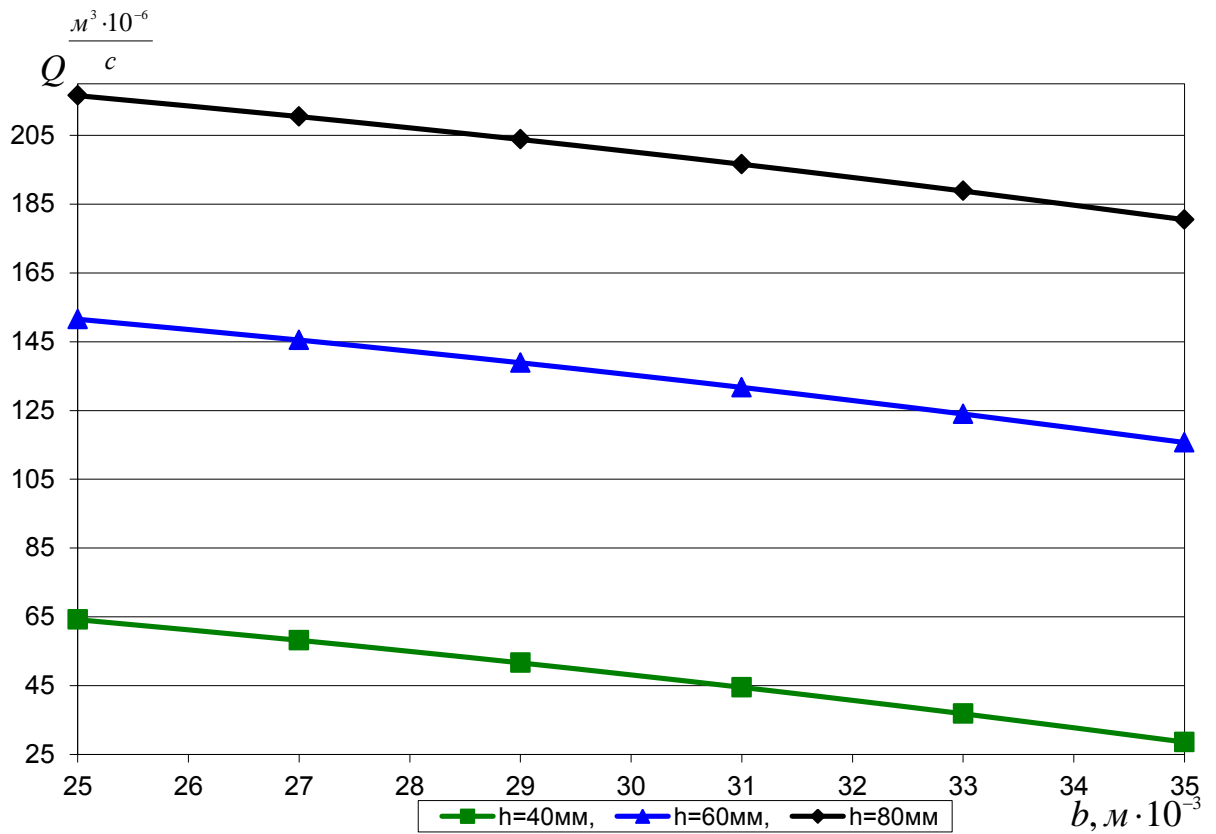


Рис. 4.1. Залежність витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від довжини патрубку b (матеріал пісок)

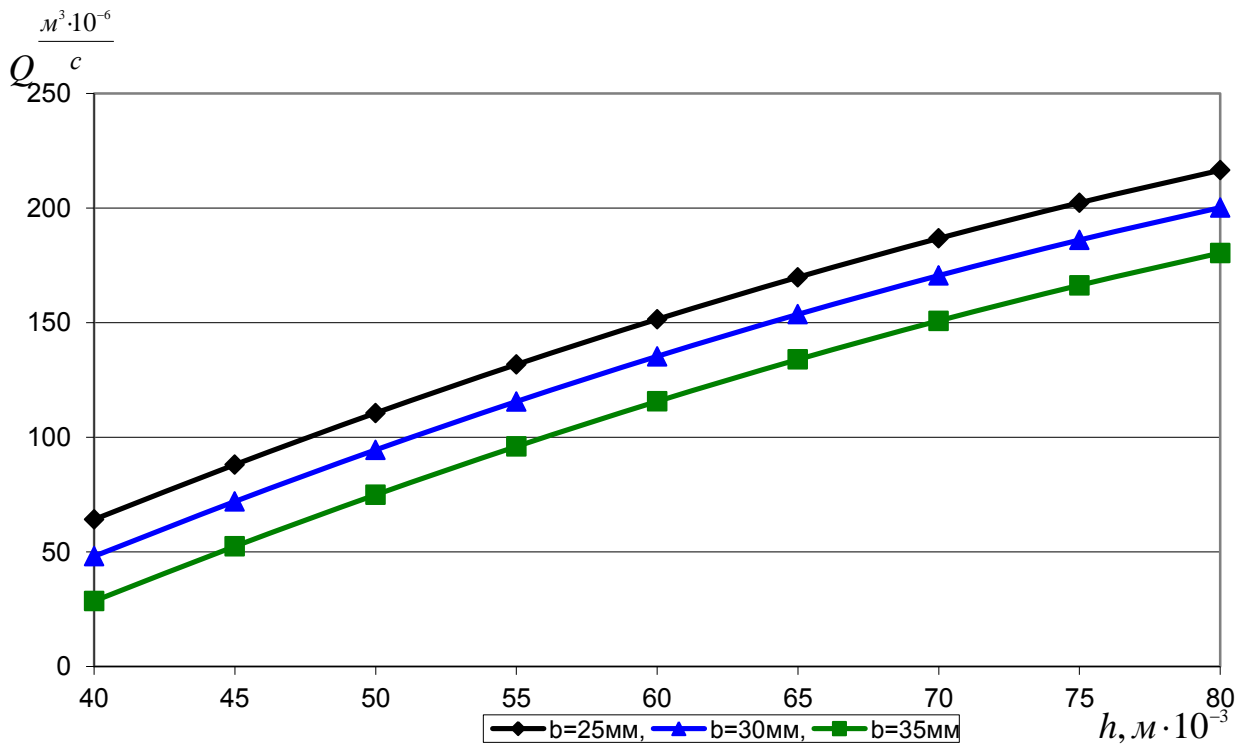


Рис. 4.2. Залежність витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від висоти патрубку h (матеріал пісок)

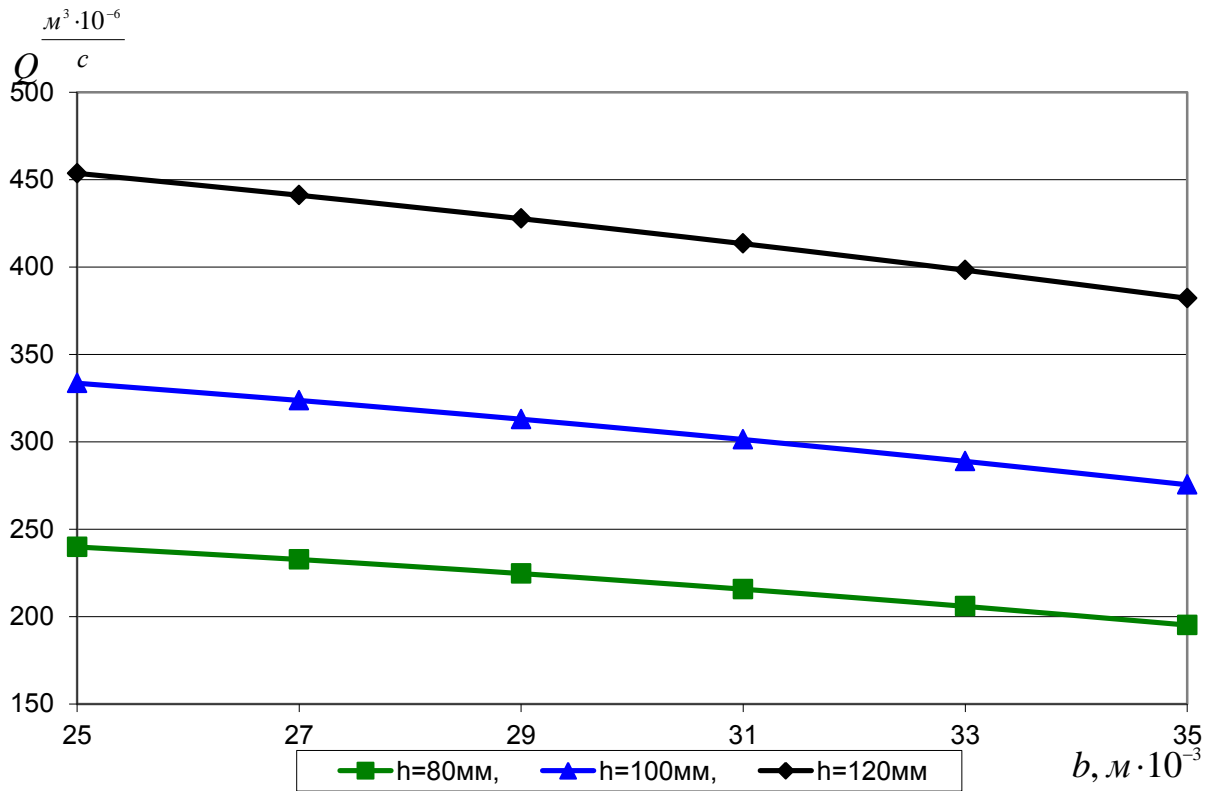


Рис. 4.3. Залежність витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від довжини патруба b (матеріал пшениця)

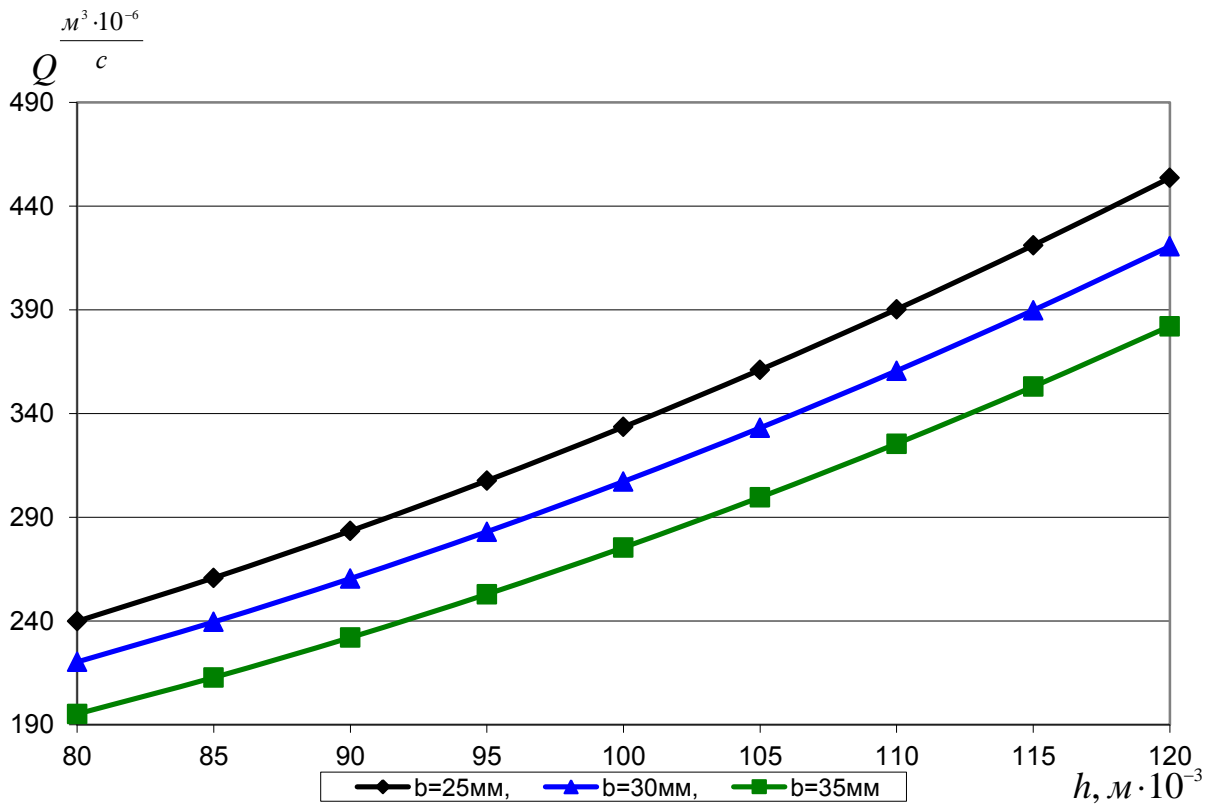


Рис. 4.4. Залежність витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від висоти патрубка h (матеріал пшениця)

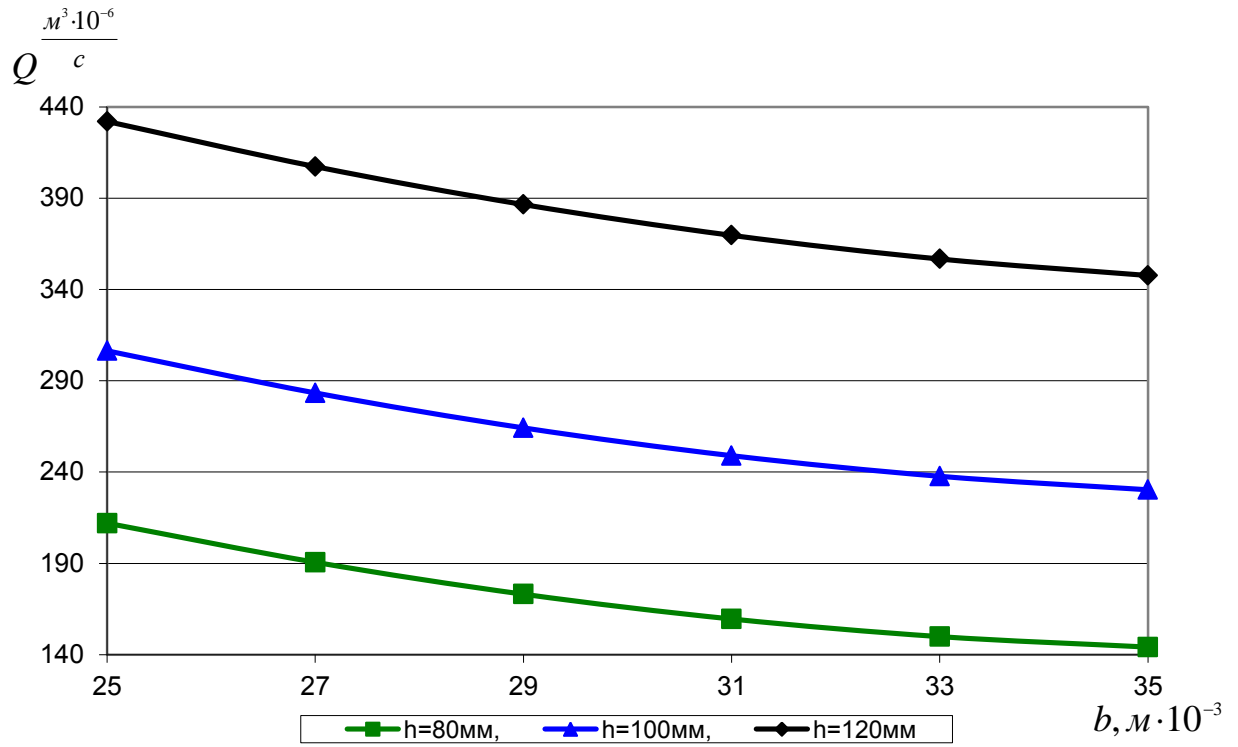


Рис. 4.5. Залежність витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від довжини патрубка b (матеріал кукурудза)

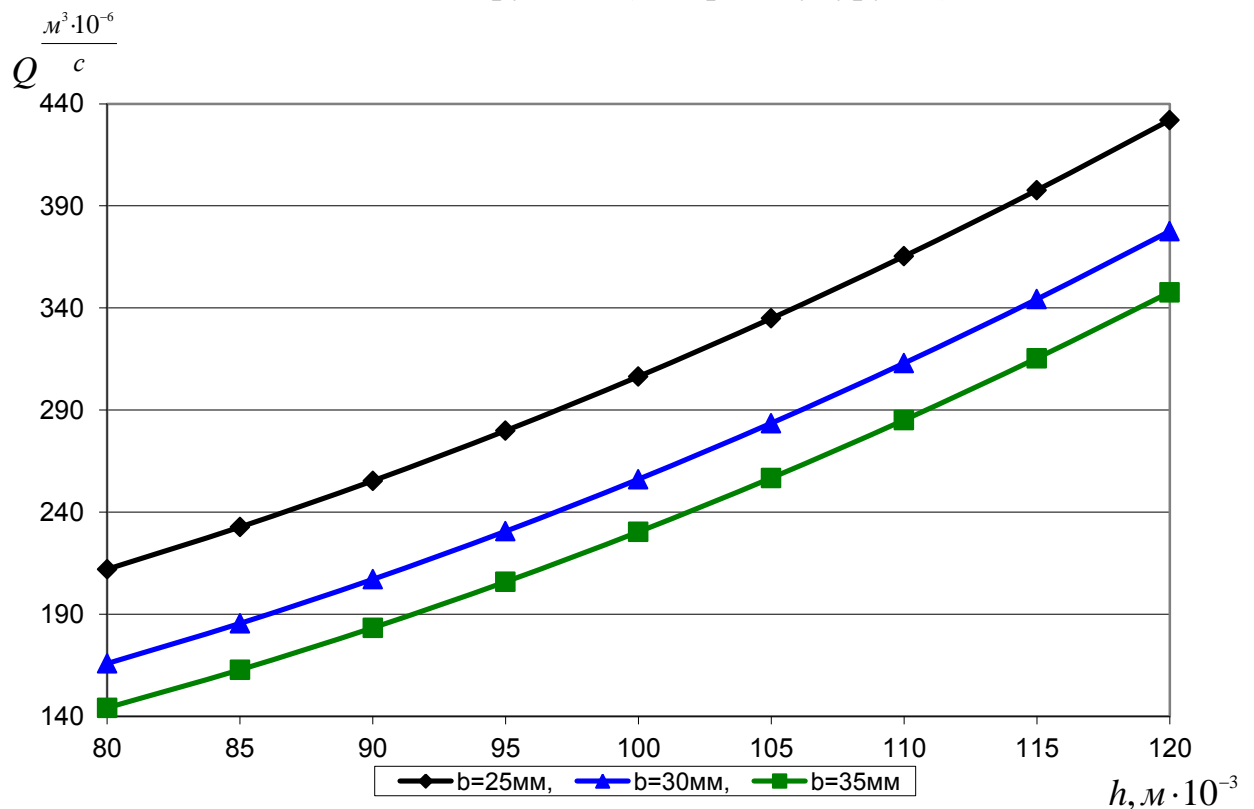


Рис. 4.6. Залежність витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від висоти патрубка h (матеріал кукурудза)

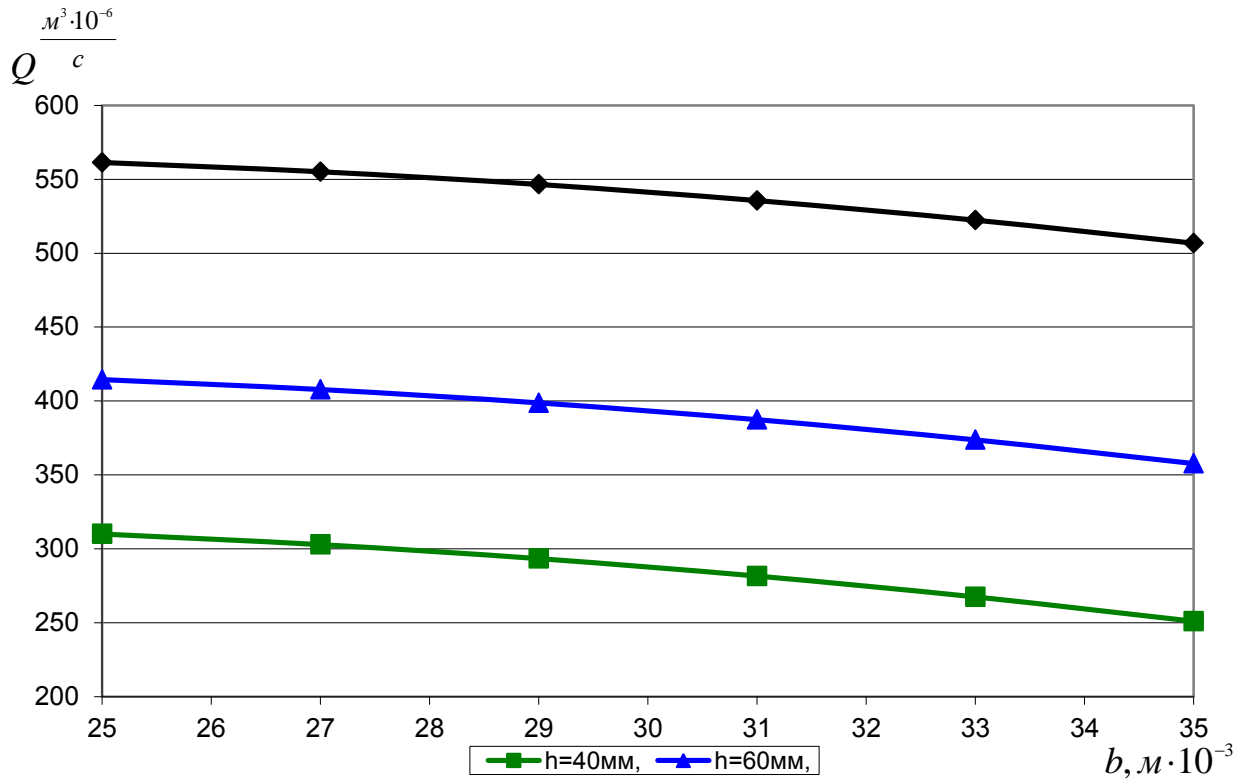


Рис. 4.7. Залежність витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від довжини патрубку b (матеріал гірчиця)

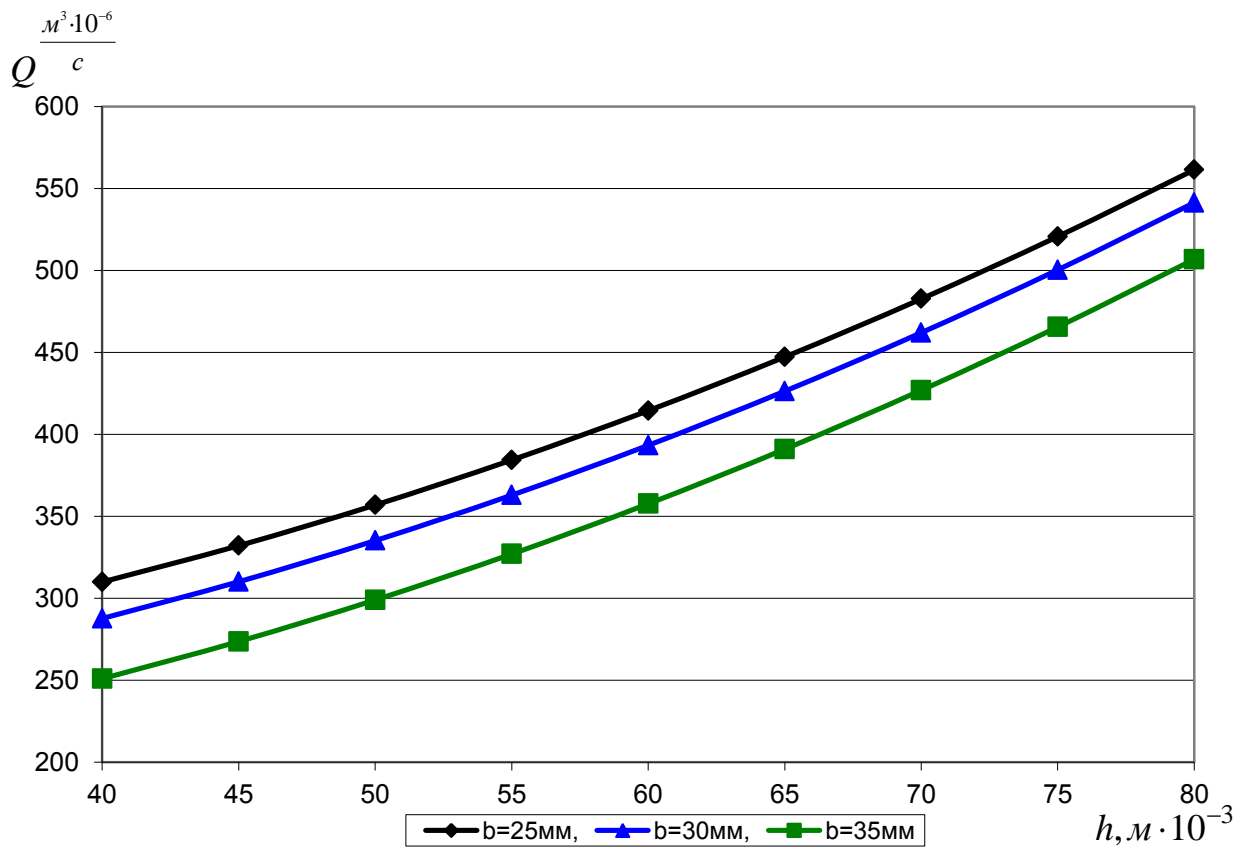


Рис. 4.8. Залежність витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від висоти патрубку h (матеріал гірчиця)

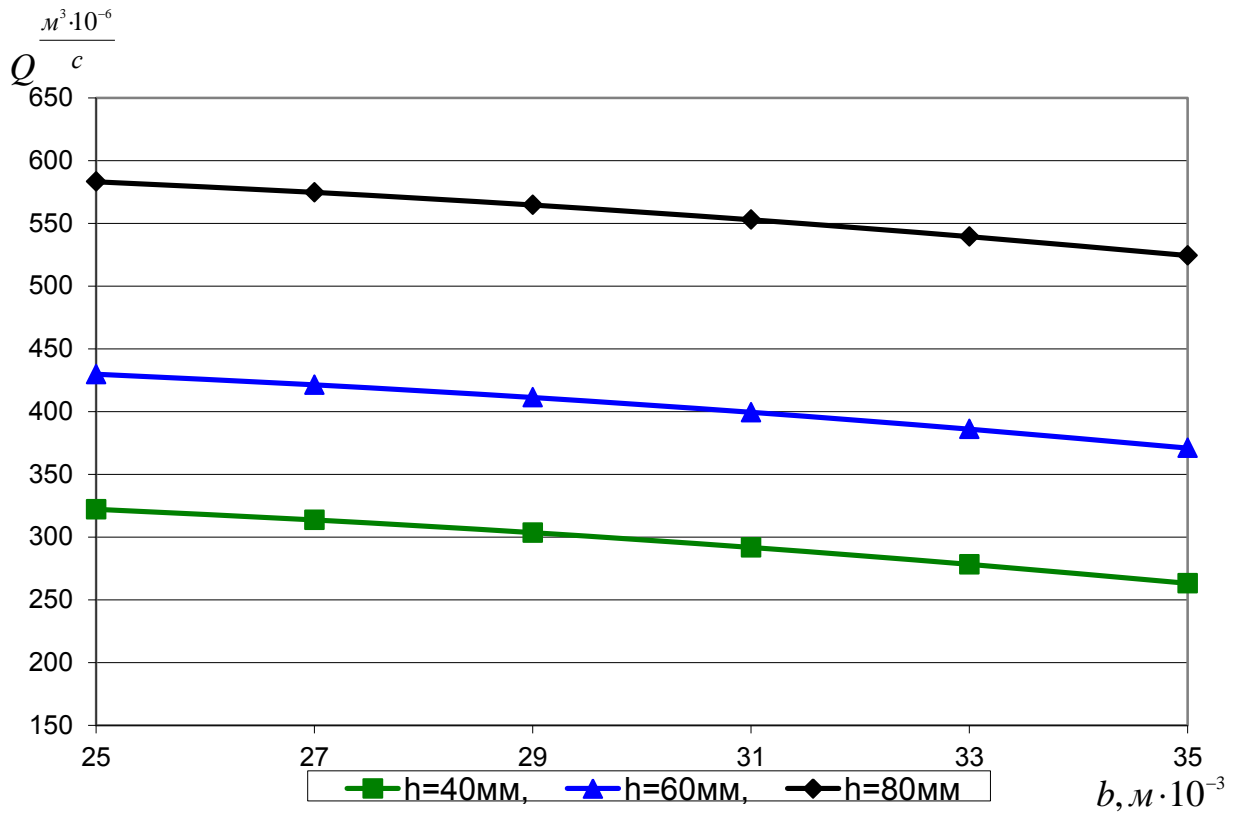


Рис. 4.9. Залежність витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від довжини патрубку b (матеріал полістирол)

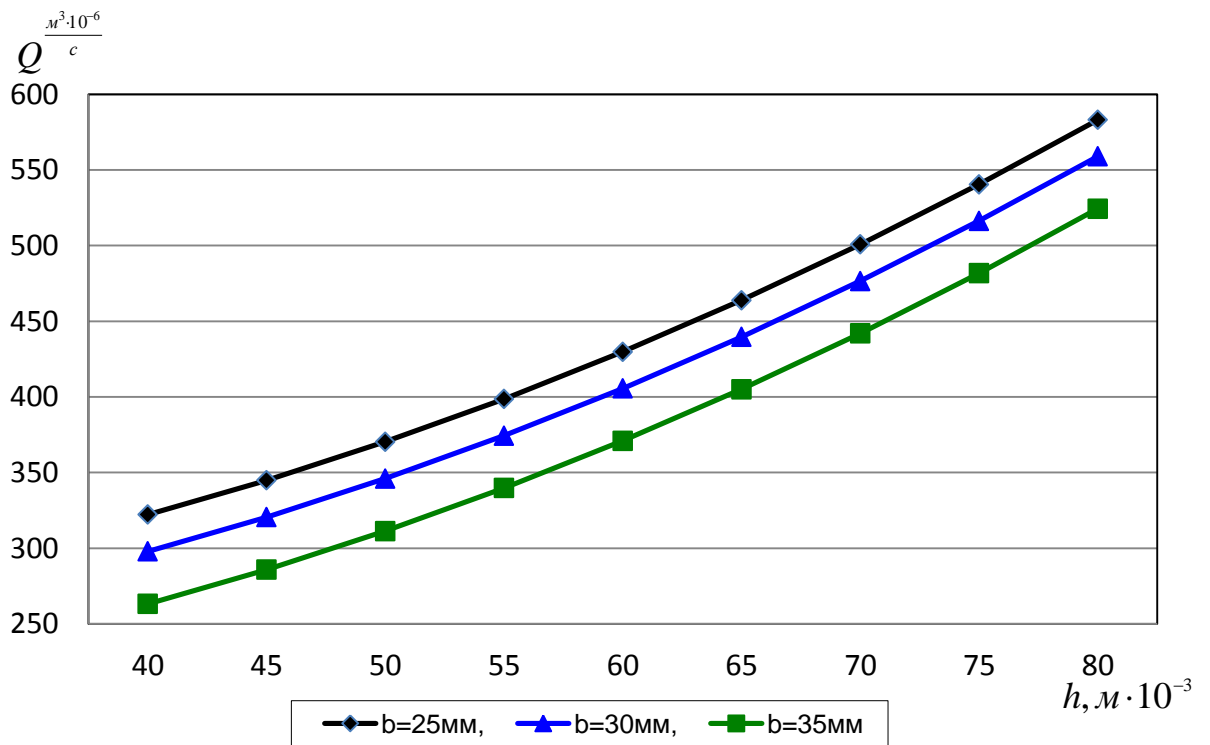


Рис. 4.10. Залежність витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від висоти патрубку h (матеріал полістирол)

Витрата матеріалу на одиницю ширини отвору

$$q = \frac{Q}{l}, \quad (4.15)$$

де l - ширина патрубку, в нашому випадку $l = 2,5$ см.

Тоді з рівнянь 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 будемо мати:

для піску:

$$q = F(b, h) = -60.36 + 0,276b + 2,874h - 0,00048bh - 0,028b^2 - 0,00112h^2; \quad (4.16)$$

для пшениці:

$$q = F(b, h) = 4.202 + 2.996b + 0,168h - 0,0268bh - 0,044b^2 + 0,0132h^2; \quad (4.17)$$

для кукурудзи:

$$q = F(b, h) = 264.96 - 13.156b - 0.508h - 0,0164bh + 0,196b^2 + 0,0156h^2; \quad (4.18)$$

для гірчиці:

$$q = F(b, h) = 92,69 + 4,248b - 1,836h + 0,0044bh - 0,116b^2 + 0,0212h^2; \quad (4.19)$$

для полістиролу:

$$q = F(b, h) = 97.523 + 4,154b - 2,125h + 0,0241bh - 0,122b^2 + 0,0313h^2. \quad (4.20)$$

Для визначення витрати сипкого матеріалу Q , який просипається через гвинтовий канал додаткового елемента забірною пристрою, розгорнемо його в площину і розіб'ємо його на три частини (рис. 4.11).

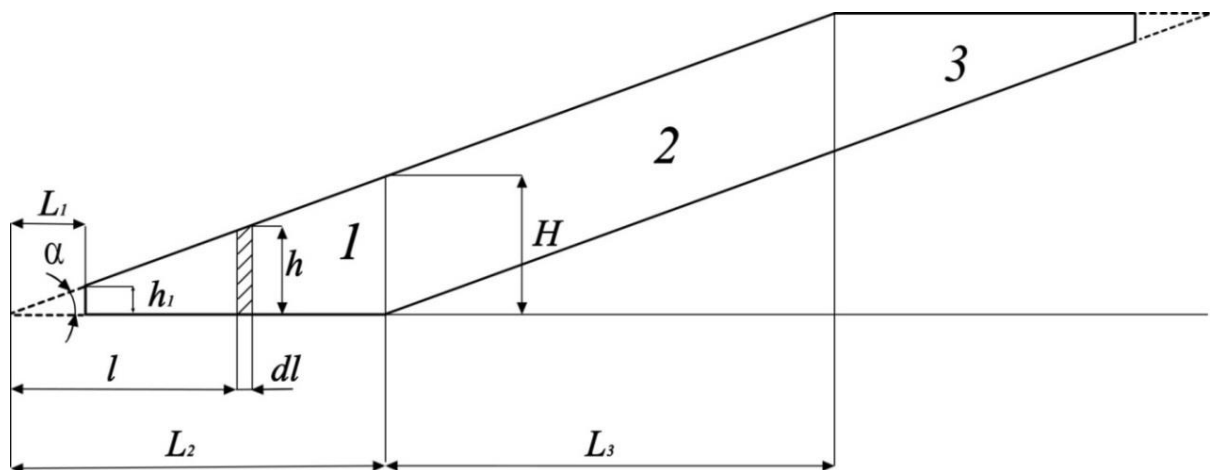


Рис. 4.11. Розгортка гвинтового каналу.

Очевидно, що витрата в середній частині отвору 2 при заданій довжині патрубку буде рівна:

$$Q_2 = q \cdot L_3. \quad (4.21)$$

Довжину отвору приймаємо рівною: $b = (D - d)/2$.

Якщо площі першої і третьої частинки однакові, то будемо мати $Q_1 = Q_3$.

Виділимо на відстані l елементарну площадку dl . Тоді елементарна витрата через цю площадку буде рівна

$$dQ = qdl, \dots\dots\dots(4.22)$$

Питому витрату q можна подати у вигляді:

$$q = a_0 + a_1b + a_2h + a_{12}bh + a_{11}b^2 + a_{22}h^2, \quad (4.23)$$

або, враховуючи що $h = l \cdot \operatorname{tg} \alpha$, де $\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{L_2}$,

будемо мати:

$$\begin{aligned} q &= a_0 + a_1b + a_2l\operatorname{tg} \alpha + a_{12}bl\operatorname{tg} \alpha + a_{11}b^2 + a_{22}l^2\operatorname{tg}^2 \alpha = \\ &= a_0 + a_1b + a_{11}b^2 + (a_2 + a_{12}b)l\operatorname{tg} \alpha + a_{22}l^2\operatorname{tg}^2 \alpha. \end{aligned} \quad (4.24)$$

Приймаючи, що

$$a_0 + a_1b + a_{11}b^2 = C_0;$$

$$(a_2 + a_{12}b)\operatorname{tg} \alpha = C_1;$$

$$a_{22}\operatorname{tg}^2 \alpha = C_2$$

рівняння (4.24) матиме вигляд:

$$q = C_0 + C_1l + C_2l^2. \quad (4.25)$$

Тоді отримаємо

$$Q_1 = \int_{L_1}^{L_2} qdl = \int_{L_1}^{L_2} (C_0 + C_1l + C_2l^2)dl = C_0(L_2 - L_1) + \frac{C_1}{2}(L_2^2 - L_1^2) + \frac{C_2}{2}(L_2^3 - L_1^3). \quad (4.26)$$

Прийmemo, що:

$$L_3 = \frac{\pi d}{3}, \quad L_2 = \frac{\pi d}{2}, \quad L_1 = \frac{h_1}{H} L_2, \quad D = 160\text{мм}, \quad h_1 = 30\text{мм}.$$

Оскільки $Q = 2Q_1 + Q_2$, то можемо побудувати графіки витрати сипкого матеріалу Q , який просипається через гвинтовий канал додаткового

елементу забірною пристрою, в залежності від його геометричних параметрів (рис. 4.12, рис. 4.13, рис. 4.14, рис. 4.15).

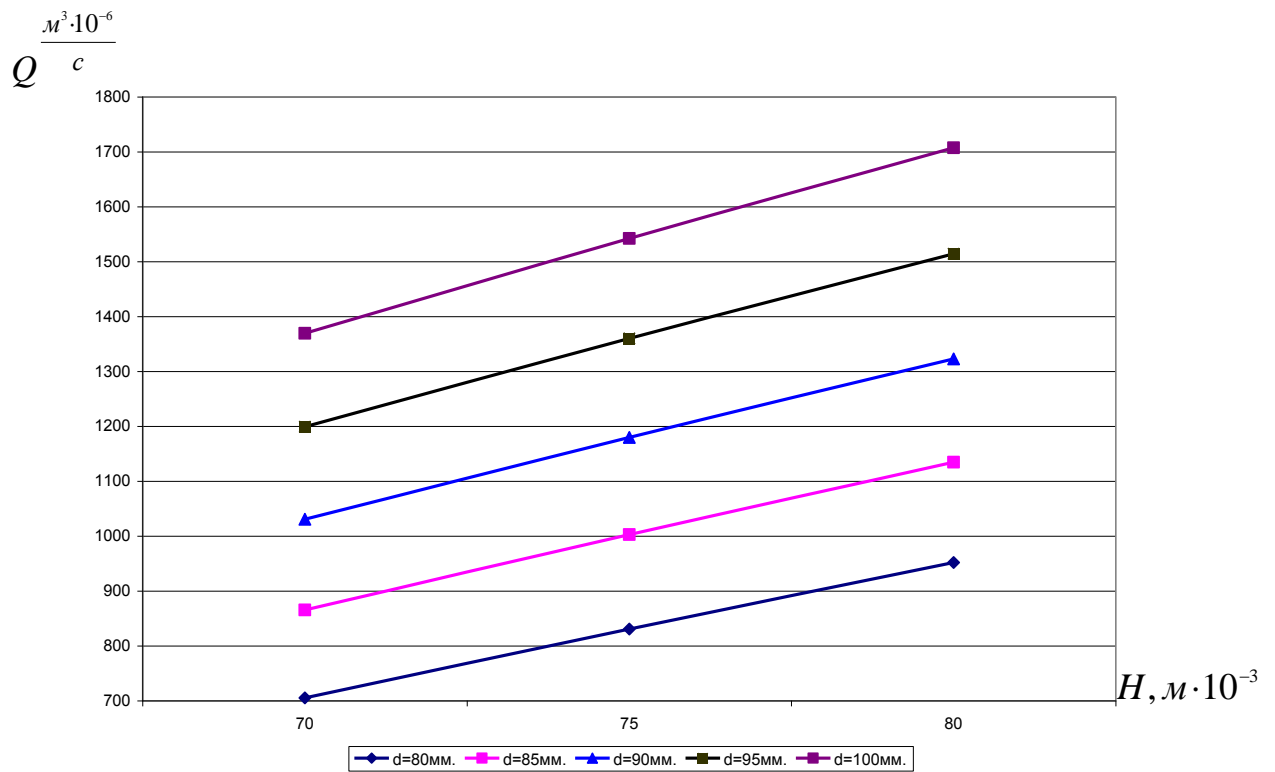


Рис. 4.12. Залежність витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від висоти отвору додаткового елемента H (матеріал пісок).

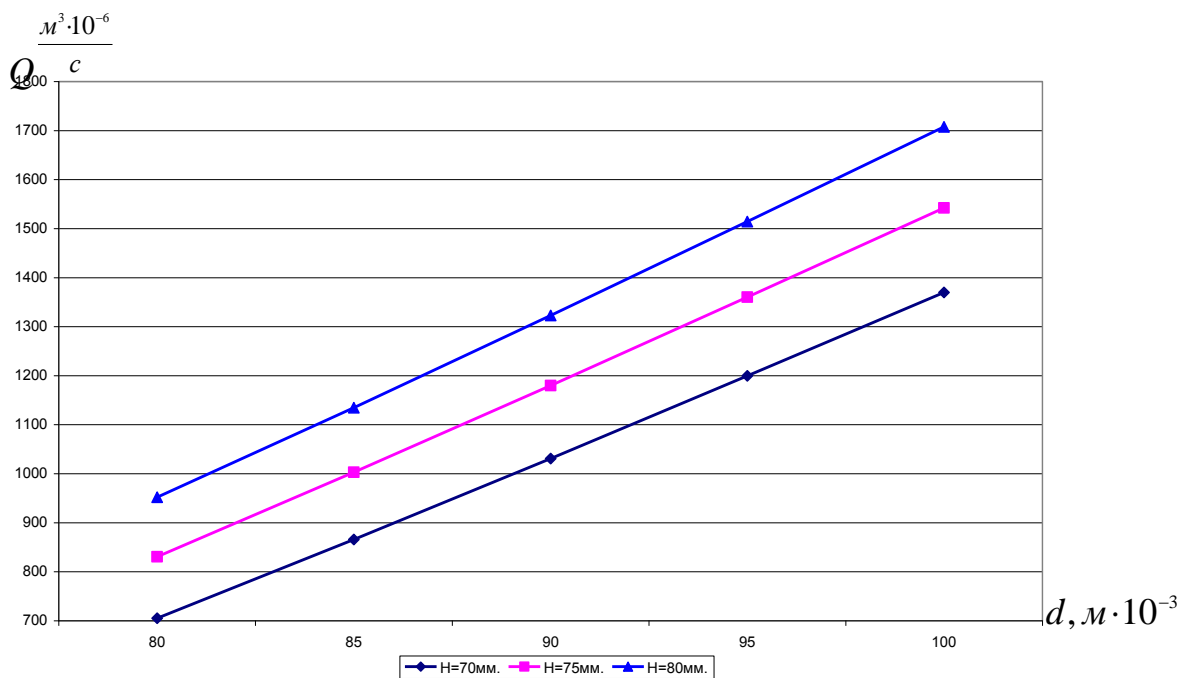


Рис. 4.13. Залежність витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від внутрішнього діаметру додаткового елемента d (матеріал пісок)

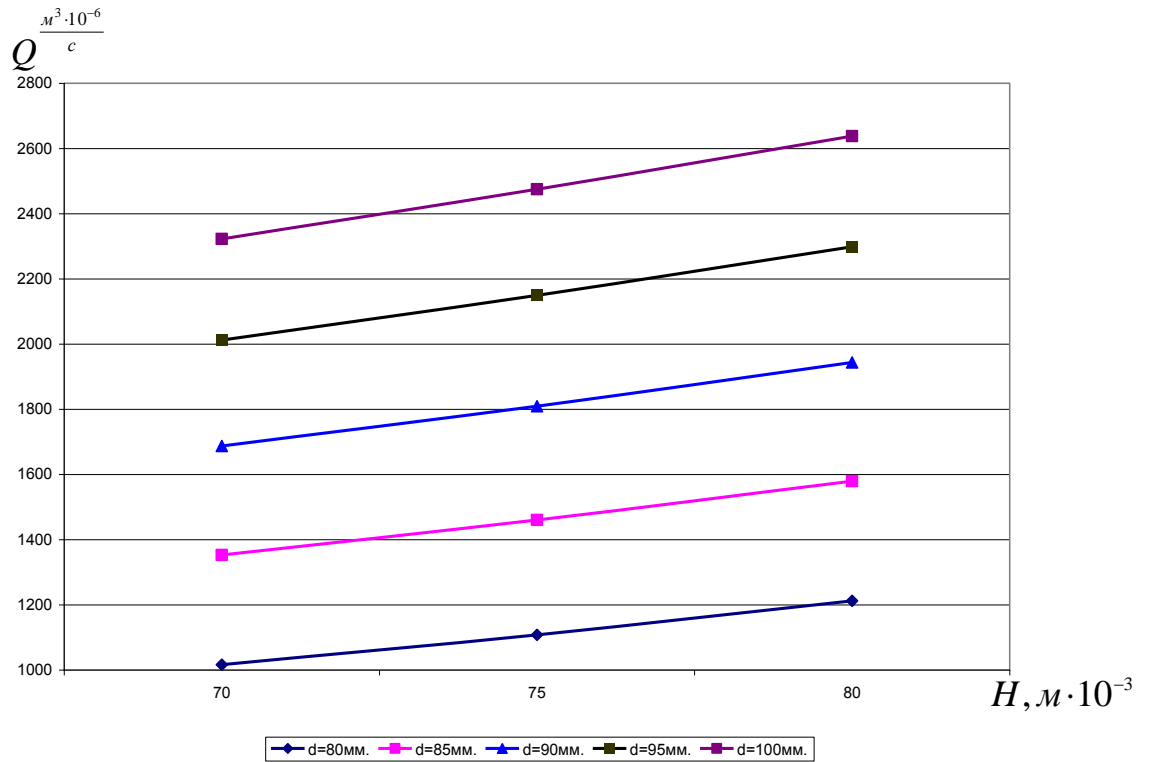


Рис. 4.14. Залежність витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від висоти отвору додаткового елемента H (матеріал гірчиця)

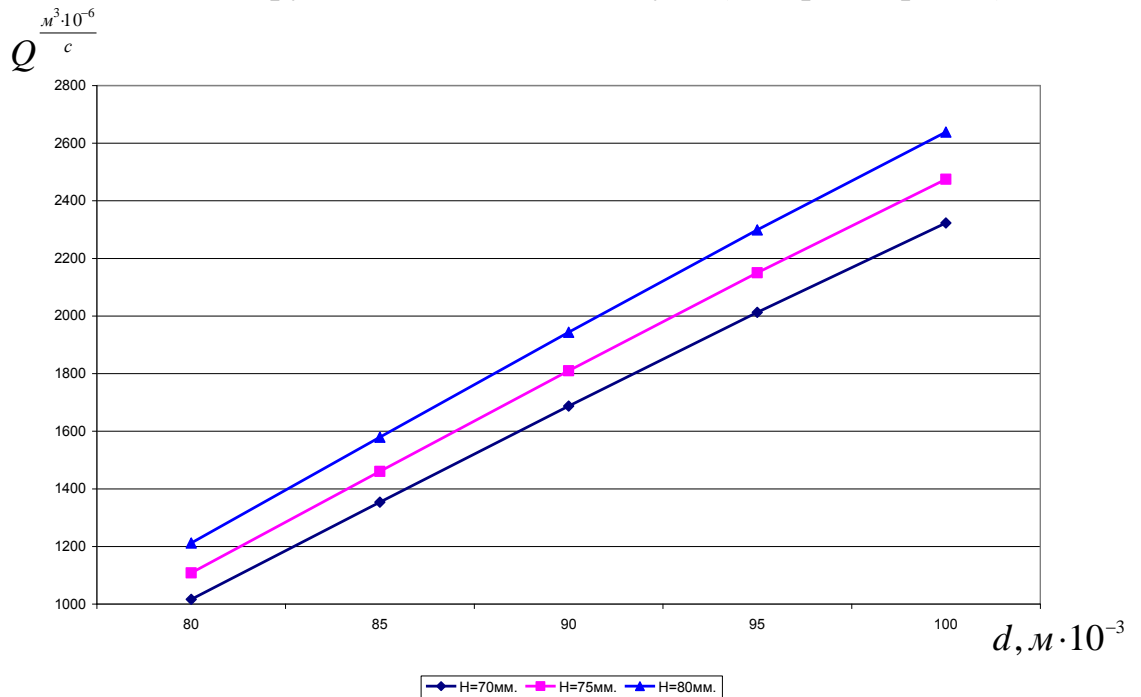


Рис. 4.15. Залежність витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від внутрішнього діаметру додаткового елемента d (матеріал гірчиця)

На рис. 4.16, рис. 4.17 наведено поверхні відгуку залежності витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від внутрішнього діаметру d та висоти отвору додаткового елемента H .

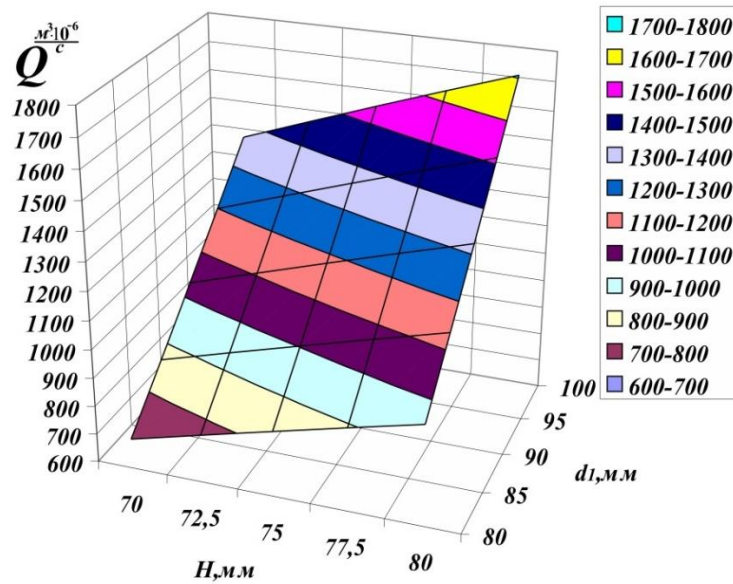


Рис. 4.16. Поверхня відгуку залежності витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від внутрішнього діаметру d та висоти отвору додаткового елемента H (матеріал пісок)

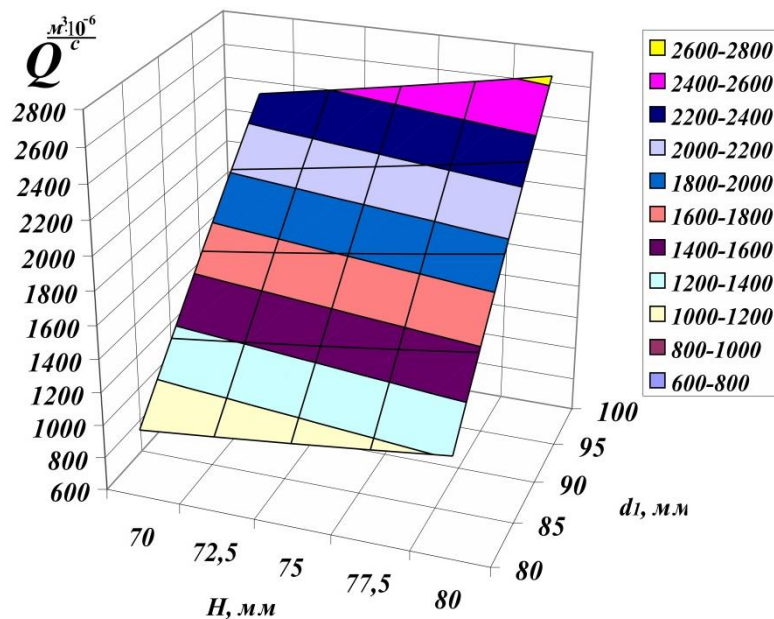


Рис. 4.17. Поверхня відгуку залежності витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від внутрішнього діаметру d та висоти отвору додаткового елемента H (матеріал гірчиця)

Аналізуючи поверхні, які описують залежність витрати Q від геометричних параметрів d і H (рис.4.16, рис.4.17), можна зробити висновок, що вона є близькою до площини, тому використовуючи метод

найменших квадратів, апроксимуємо цю поверхню площиною, рівняння якої має вигляд:

$$Q = A_2 d + A_3 H + A_4. \quad (4.27)$$

Значення коефіцієнтів, A_2 , A_3 , A_4 будуть рівні:

Для піску: $A_2 = 29,21$; $A_3 = 35,57$; $A_4 = -4210$.

Для гірчиці: $A_2 = 25,59$; $A_3 = -68,45$; $A_4 = -6276$.

Тоді залежність витрати Q від параметрів d і H будемо описувати такими рівняннями:

Для піску:

$$Q = f(d,H) = 29.21d + 35.57H - 4210. \quad (4.28)$$

Для гірчиці:

$$Q = f(d,H) = 25,59d + 68,45H - 6276. \quad (4.29)$$

У таблиці 4.7, 4.8 наведено порівняння витрати сипкого матеріалу отриману експериментальним шляхом Q_E , та внаслідок розв'язку рівнянь (4.28, 4.29) Q_T .

Таблиця 4.7.

Порівняння витрати сипкого матеріалу(пісок)

H , мм	d , мм	$Q_E \frac{м^3 \cdot 10^{-6}}{с}$	$Q_T \frac{м^3 \cdot 10^{-6}}{с}$	Відносна похибка %
1	2	3	4	5
70	80	705,31	616,70	12,6
	85	865,76	762,75	11,9
	90	1030,94	908,80	11,8
	95	1199,38	1054,85	12,1
	100	1369,58	1200,90	12,3
72,5	80	768,49	705,62	08,2
	85	934,84	851,67	08,9
	90	1106,01	997,72	09,8
	95	1280,48	1143,77	10,7
	100	1456,756	1289,82	11,5
75	80	830,740	794,55	4,4
	85	1002,79	940,60	6,2
	90	1179,75	1086,65	7,9
	95	1360,07	1232,72	9,4
	100	1542,22	1378,75	10,6

1	2	3	4	5
77,5	80	891,906	883,47	0,9
	85	1069,49	1029,52	3,7
	90	1252,05	1175,57	6,1
	95	1438,03	1321,62	8,1
	100	1625,87	1467,67	9,7
80	80	951,882	972,40	2,2
	85	1134,82	1118,45	1,4
	90	1322,81	1264,50	4,4
	95	1514,26	1410,55	6,8
	100	1707,60	1556,6	8,8

Таблиця 4.8.

Порівняння витрати сипкого матеріалу (гірчиця)

h, мм	d, мм	$Q_E \frac{\text{м}^3 \cdot 10^{-6}}{\text{с}}$	$Q_T \frac{\text{м}^3 \cdot 10^{-6}}{\text{с}}$	Відносна похибка %
70	80	1016,27	1000,30	1,6
	85	1353,23	1342,55	0,8
	90	1687,20	1684,80	0,1
	95	2012,32	2027,05	0,7
	100	2322,74	2369,30	2,0
72,5	80	1060,76	1064,27	0,3
	85	1405,40	1406,52	0,1
	90	1747,05	1748,77	0,1
	95	2079,76	2091,02	0,5
	100	2397,57	2433,27	1,5
75	80	1108,14	1128,25	1,8
	85	1460,34	1470,51	0,7
	90	1809,57	1812,75	0,2
	95	2149,77	2155,01	0,2
	100	2474,90	2497,25	0,9
77,5	80	1158,55	1192,22	2,9
	85	1518,26	1534,47	1,1
	90	1874,99	1876,73	0,1
	95	2222,63	2218,98	0,2
	100	2555,05	2561,23	0,2
80	80	1212,13	1256,22	3,6
	85	1579,30	1598,45	1,2
	90	1943,52	1940,71	0,1
	95	2298,57	2282,95	0,7
	100	2638,26	2625,21	0,5

На рис 4.18, рис. 4.19 зображено двомірний переріз апроксимованої поверхні залежності витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від внутрішнього діаметру d та висоти отвору додаткового елемента H.

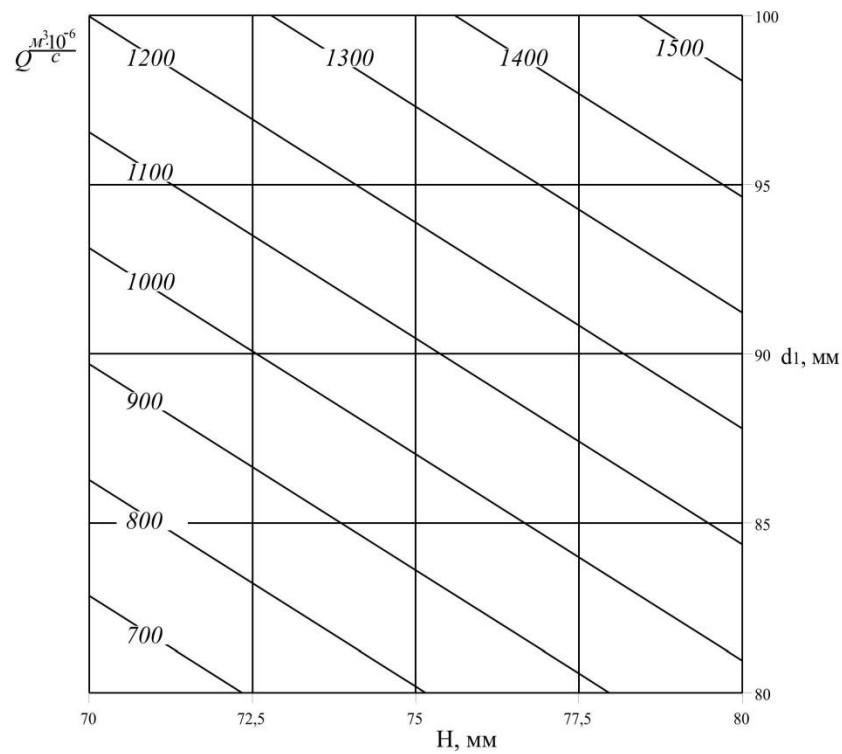


Рис. 4.18. Двомірний переріз апроксимованої поверхні залежності витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від внутрішнього діаметру d та висоти отвору додаткового елемента H (матеріал пісок)

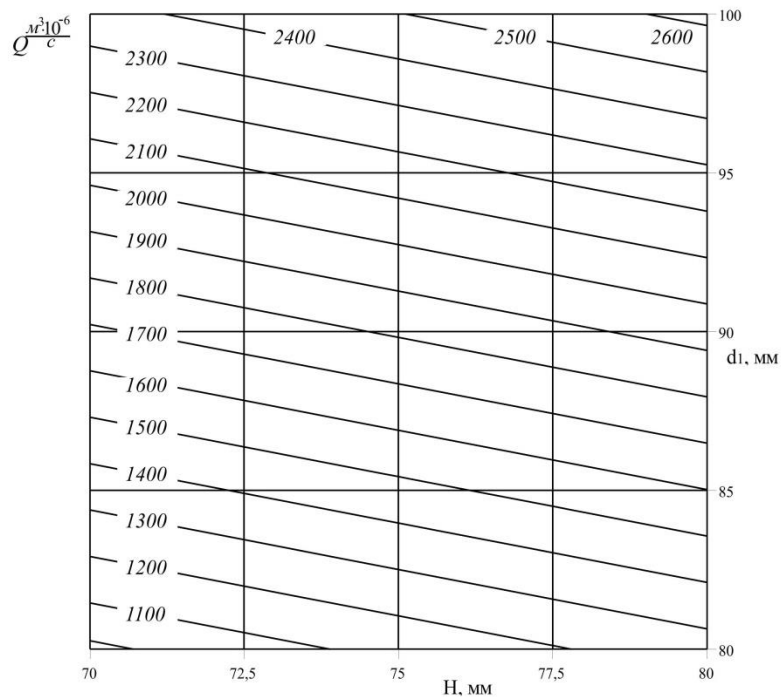


Рис. 4.19. Двомірний переріз апроксимованої поверхні залежності витрати висипання сипкого матеріалу із бункера Q від внутрішнього діаметру d та висоти отвору додаткового елемента H (матеріал гірчиця)

4.2. Результати дослідження процесу висипання сипкого матеріалу через гвинтові канали додаткового елемента забірною пристрою гвинтового конвеєра

У таблиці 4.9 наведено результати дослідження продуктивності просипання сипкого матеріалу через гвинтовий канал додаткового елемента отриманих за допомогою рівнянь (4.21, 4.26) та експериментальним шляхом. Методика проведення дослідження наведено в розділі 3.5. Конструкцію забірною пристрою гвинтового конвеєра наведено в розділі 3.4. Основні параметри такі : $D=160\text{мм}$, $d=102\text{ мм}$, $H=80\text{ мм}$.

Таблиця 4.9.

Матеріал	№ досліджу	Q_E $\frac{\text{м}^3 \cdot 10^{-6}}{\text{с}}$	Q_{E_c} $\frac{\text{м}^3 \cdot 10^{-6}}{\text{с}}$	Q_T $\frac{\text{м}^3 \cdot 10^{-6}}{\text{с}}$	Відносна похибка %
Пісок	1	1740	1616	1707	5,6
	2	1590			
	3	1580			
Гірчиця	1	2230	2400	2638	8,9
	2	2640			
	3	2330			
Полістирол	1	2670	2964	3331	11,1
	2	3120			
	3	3110			

Розходження експериментальних даних з результатами, отриманими з рівнянь 4.21, 4.26, пояснюється тим, що ці рівняння були отримані після обробки експериментальних даних просипання сипкого матеріалу через прямокутний патрубок, а в даному випадку рух матеріалу відбувався в гвинтовому каналі, який розташований між двома циліндрами.

4.3. Результати експериментальних досліджень роботи забірних пристроїв вертикальних гвинтових конвеєрів

Параметри експериментального забірного пристрою (рис. 3.7): діаметр додаткового гвинта 156 мм, діаметр вала гвинта 102 мм, діаметр кожуха забірного пристрою 162 мм, крок гвинта 160 мм, довжина додаткового гвинта 0,5 м, діаметр шківів на валу додаткового гвинта 100 мм, діаметр шківів на двигуні 50 мм.

Експеримент було проведено при різних частотах обертання додаткового гвинта. Результати досліджень витрати сипкого матеріалу в залежності від кутової швидкості гвинта наведено на рис. 4.20.

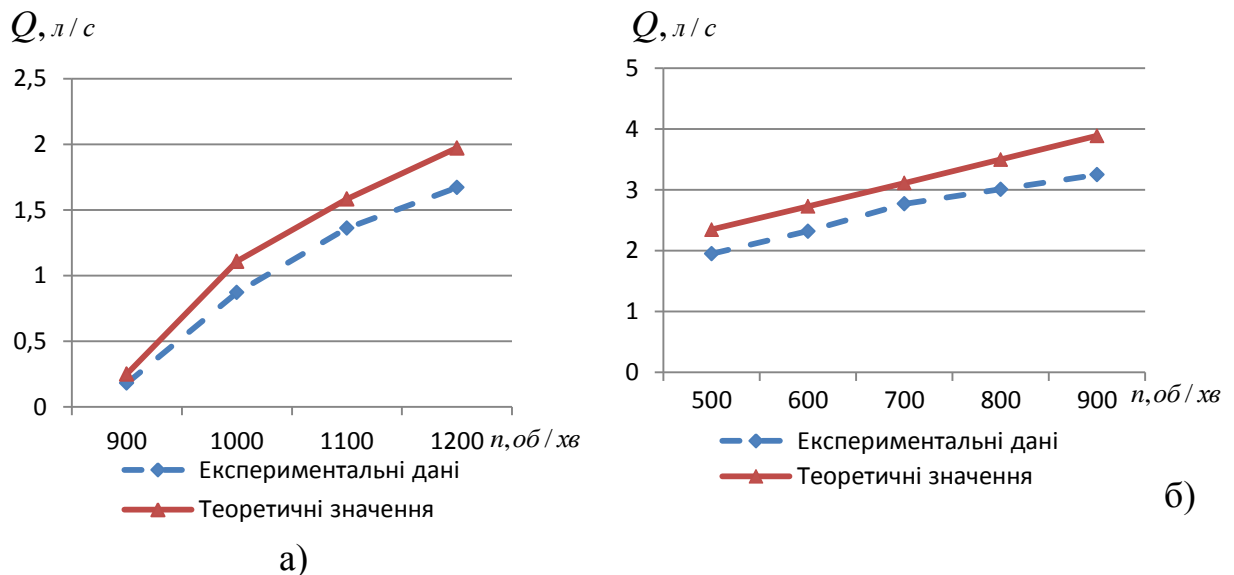


Рис. 4.20. Залежність продуктивності забірного пристрою від частоти обертання гвинта а - без покриття гвинтового каналу, б - з покриттям гвинтового каналу

Як бачимо з наведених графіків, експериментальні дані задовільно узгоджуються з теоретичними значеннями, які отримано за допомогою рівнянь (2.92). Розходження цих значень пояснюємо тим, що швидкість руху частинок зменшується по ширині каналу, а сам канал не повністю заповнений сипким середовищем, яке транспортується.

Для збільшення продуктивності гвинтового конвеєра необхідно змінювати розміри гвинтових каналів додаткового елемента, які б

забезпечували необхідну витрату просипання в середину додаткового гвинта.

4.4. Результати дослідження транспортування сипких матеріалів вертикальним швидкохідним гвинтовим конвеєром, який оснащено забірним пристроєм.

Дослідження процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовим конвеєром, який оснащений забірним пристроєм проводили, згідно з методикою, викладеною в розділі 3. Результати експериментальних досліджень наведено на рис.4.21.

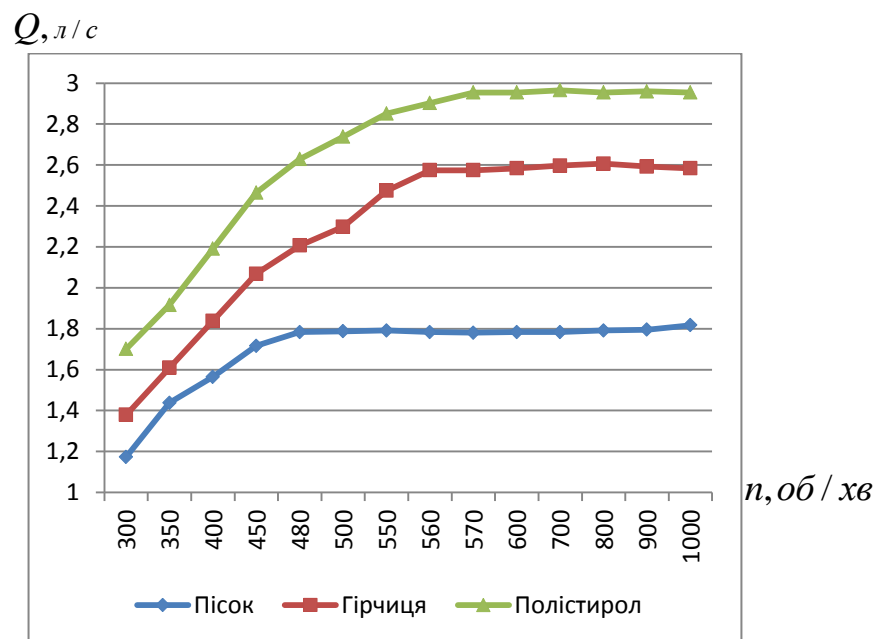


Рис.4.21. Залежність продуктивності вертикального гвинтового конвеєра від частоти обертання гвинта

Очевидно, що продуктивність гвинтового конвеєра досягає максимального значення, яке дорівнює витраті просипання через гвинтові канали додаткового елемента забірної пристрою, і надалі залишається практично незмінною, при зростанні кутової швидкості основного гвинта.

Значення коефіцієнта продуктивності вертикального гвинтового конвеєра наведено в таблиці 4.10.

Результати експериментальних досліджень

Матеріал	Частота обертання додаткового гвинта, об/хв	Частота обертання основного гвинта, об/хв	Продуктивність, л/с	Коефіцієнт продуктивності
Пісок	880	480	1,8	0,38
Гірчиця	775	560	2,6	0,47
Полістирол	743	570	2,9	0,54

З таблиці 4.8 бачимо, що коефіцієнт продуктивності гвинтового конвеєра, який оснащений забірним пристроєм, на 48-56% більший, в порівнянні з гравітаційним завантаженням (таблиця 1.2).

4.5. Висновки

1. У результаті проведеного чотирифакторного експерименту по дослідженню витрати сипкого матеріалу при боковому витіканні із бункера було встановлено, що ширина бункера і нахил стінки суттєво не впливають на величину витрати, тому було проведено двофакторний експеримент, у результаті якого встановлено залежність витрати сипкого матеріалу Q від значущих факторів – параметрів патрубку дослідної установки b та h в області їх зміни: $b_{\min} = 25$ мм, $b_{\max} = 35$ мм, $h_{\min} = 40$ мм, $h_{\max} = 80$ мм.

2. Результати експериментального дослідження продуктивності просипання сипкого матеріалу через гвинтовий канал додаткового елемента забірної пристрою гвинтового конвеєра показали, що вони задовільно узгоджуються з теоретичними даними, які отримано за допомогою рівнянь регресії.

3. Аналіз результатів експериментального дослідження транспортування сипких матеріалів вертикальним швидкохідним гвинтовим конвеєром, який оснащений забірним пристроєм, показав, що коефіцієнт продуктивності даного гвинтового конвеєра знаходиться в межах 0,38...0,54, що на (48...56)% більше, в порівнянні з гравітаційним завантаженням.

РОЗДІЛ 5

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ ШВИДКОХІДНИХ ВЕРТИКАЛЬНИХ ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ

5.1 Основні напрямки зниження енергоємності процесу транспортування сипких матеріалів вертикальними гвинтовими конвеєрами

Проведений в першому розділі аналіз відомих досліджень впливу конструктивно-технологічних параметрів забірних пристроїв гвинтових конвеєрів на процес транспортування сипких матеріалів дозволив виявити основні напрямки зменшення енергоємності процесу транспортування гвинтовими конвеєрами. До основних напрямків зниження енергоємності процесу транспортування гвинтовими конвеєрами можна віднести: технологічні та конструктивні (Рис 5.1).

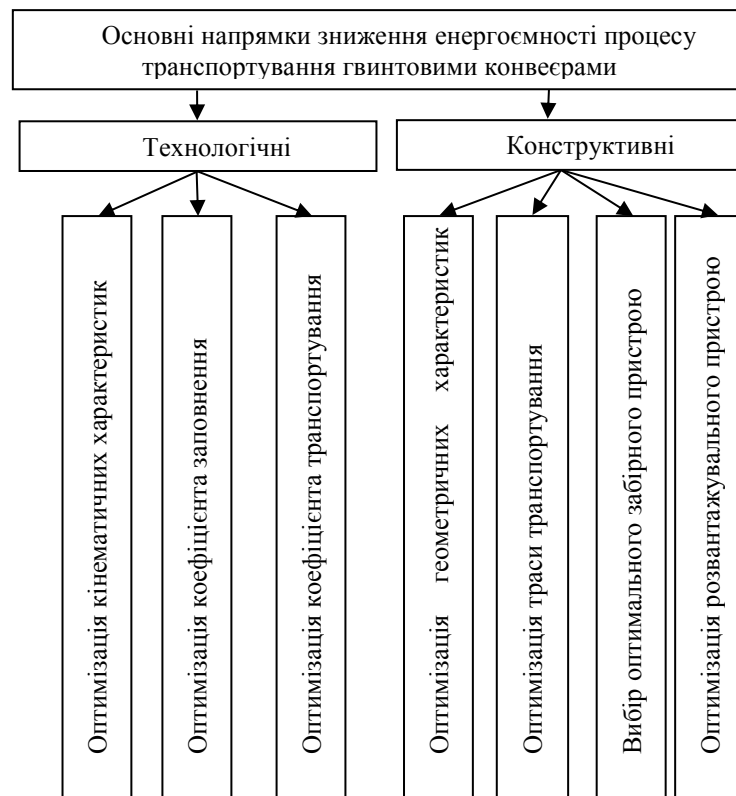


Рис. 5.1 Основні напрямки зниження енергоємності процесу транспортування гвинтовими конвеєрами

Звернемо увагу у своїх дослідженнях на обґрунтування оптимального забірної пристрою. При збільшенні частоти обертання гвинта, збільшуються і відцентрові сили інерції, які діють на частинки сипкого матеріалу в зоні завантаження, що призводить до зростання енергоємності процесу транспортування гвинтовими конвеєрами. Ліквідувати ці недоліки можна шляхом обґрунтування оптимальної конструкції забірної пристрою гвинтового конвеєра.

Виходячи з аналізу існуючих забірних пристроїв, можна зробити висновок, що вони, в основному, не усувають негативну дію відцентрової сили інерції, а тільки зменшують її вплив. Отже, для вирішення поставленого завдання слід запропонувати таку схему, яка б забезпечила оптимальний коефіцієнт заповнення конвеєра при будь-якій частоті обертання гвинта. Очевидно, що перспективними напрямками розробки конструкцій забірних пристроїв гвинтових конвеєрів є такі, в яких відцентрові сили інерції не зменшують коефіцієнт заповнення, а збільшують його.

На базі теоретичних і експериментальних досліджень у Тернопільському національному технічному університеті імені І.Пулюя та Національному університеті водного господарства та природокористування розроблено нові конструкції пристроїв для підвищення продуктивності шнекових механізмів із покращеними енергетичними показниками [77, 79, 80, 82, 83, 84, 85].

На рис. 5.2 зображено схему гвинтового конвеєра [77]. Запропонована конструкція спрямована на зменшення відцентрових сил, які діють на частинки матеріалу в зоні навантаження, і можуть бути більшими від сил тяжіння, під дією яких матеріал поступає із периферійної зони бункера до гвинта, що дає змогу збільшити коефіцієнт заповнення, а значить і продуктивність гвинтового конвеєра при тих же енергозатратах.

Забірний пристрій складається з бункера 1, основного гвинта 2, розміщеного в кожусі гвинтового конвеєра 3 і розміщеного співвісно з

основним гвинтом 2 додаткового гвинта 4, який має в порівнянні з основним гвинтом 2 різні за напрямком навивки.

Забірний пристрій працює так: при обертанні гвинтів 2 та 4 їх лопаті захоплюють частинки сипкого матеріалу, який знаходиться в бункері, і транспортують їх в напрямку кожуха. Оскільки основний і додатковий гвинти обертаються в різні боки, то і частинки матеріалу, які знаходяться в бункері вище та нижче площини А-А, будуть обертатися внаслідок сил тертя в різні боки і взаємно гальмувати одне одного, що зменшуватиме виникнення відцентрових сил інерції, які зменшують коефіцієнт заповнення конвеєра.

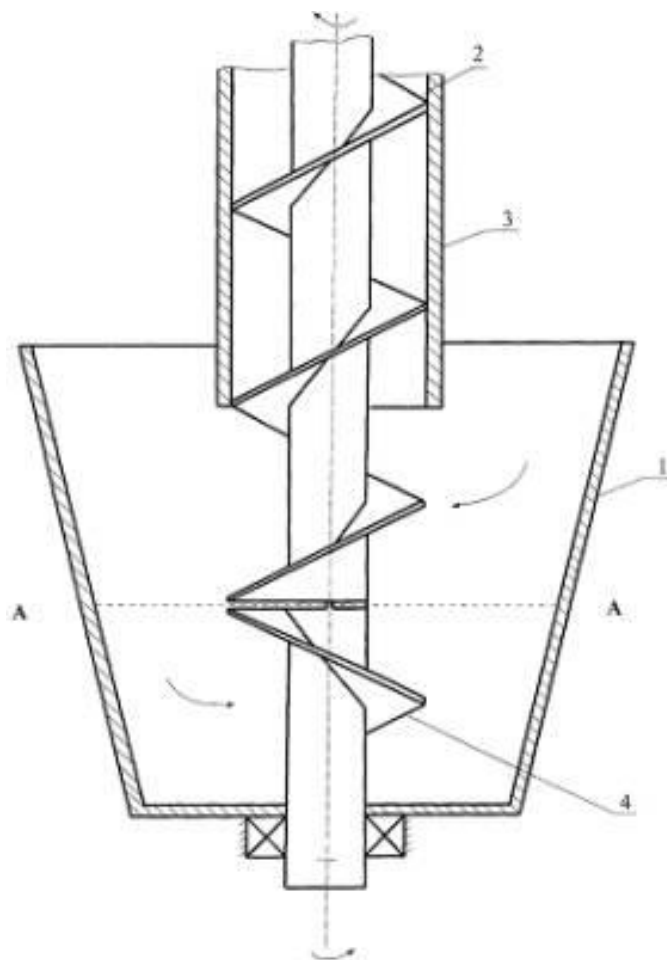


Рис. 5.2. Гвинтовий конвеєр

На рис. 5.3 зображено схему гвинтового конвеєра [79], який складається з бункера 1, гвинта 2, розміщеного в корпусі 3 і розміщених співосно з гвинтом кілець 4, з'єднаних між собою стержнями 5, які приводяться в рух за допомогою вібратора 6.

Гвинтовий конвеєр працює так: при обертанні гвинта 2 його лопаті захоплюють частинки матеріалу, який знаходиться в бункері, і транспортують їх у середину кожуха. Ті частинки, які рухаються з бункера до гвинта і знаходяться між кільцями в наслідок того, що сила тертя в радіальному і дотичному напрямках буде меншою ніж в осьовому напрямку не будуть обертатися, а значить на них не буде діяти відцентрова сила інерції, яка перешкоджає руху цих частинок з бункера до гвинта.

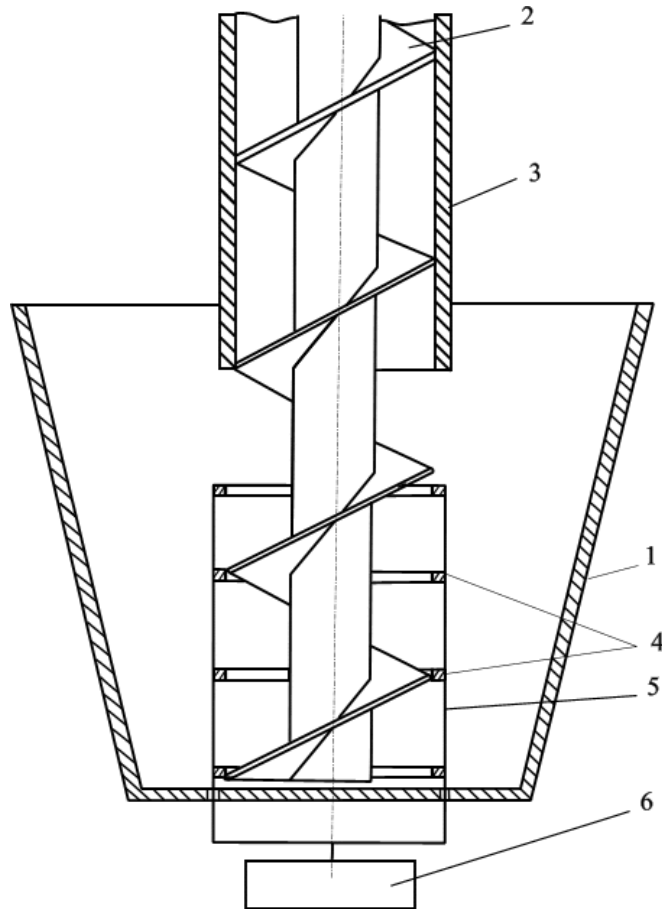


Рис. 5.3. Гвинтовий конвеєр

На рис. 5.4 зображено забірний пристрій гвинтового конвеєра [82], який складається з корпусу 1, початкова частина 2 якого розширена, гвинта 3 з валом 4, початкова частина якого 5 пустотіла, розширена і має вікна 6, з розташованими між ними лопатями 7. Нижня частина забірної пристрою знаходиться в бункері 8, який встановлений з можливістю коливання у вертикальній площині за допомогою вібратора 9. Сипкий матеріал поступає в додатковий бункер 8 з основного бункера 10.

Забірний пристрій працює так: при коливанні додаткового бункера 8, за допомогою вібратора 9, сипкий матеріал, який знаходиться в бункері 8, переходить у псевдозріджений стан і під дією гідростатичного тиску потрапляє в пустотілу частину гвинта 5, де захоплюється лопатями 7. Під дією відцентрових сил матеріал рухається по лопатях 7, проходить через вікна 6, захоплюється лопатями гвинта 3, і транспортується до вивантажувального патрубку.

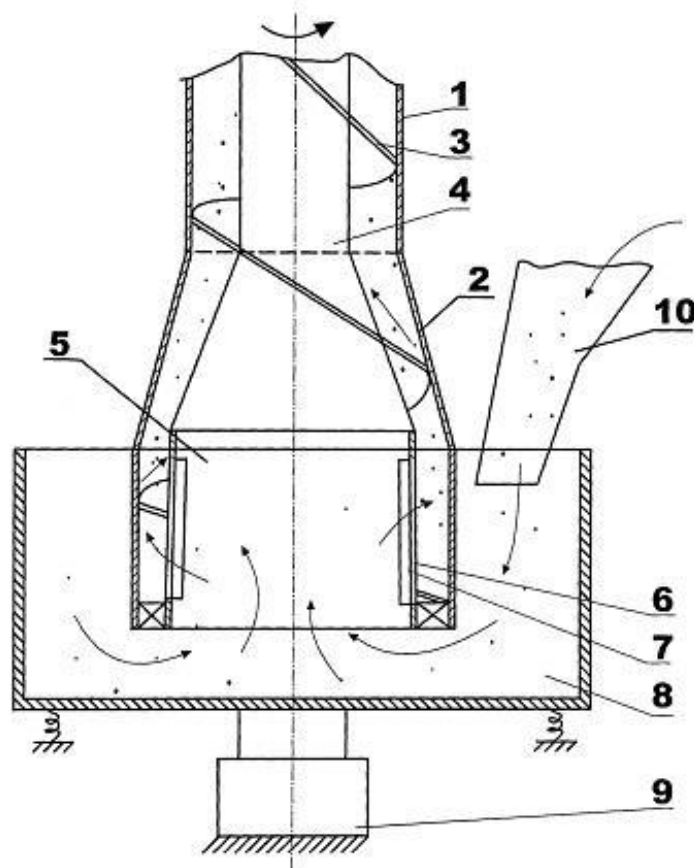


Рис. 5.4. Забірний пристрій гвинтового конвеєра

На рис. 5.5 зображено гвинтовий конвеєр [80], який складається з бункера 1, основного гвинта 2, розміщеного в корпусі гвинтового конвеєра 3 і розміщеного співвісно з основним гвинтом 2 додатково пустотілого гвинта 4, з вікнами 5, між якими розміщені лопаті 6, та гвинтовою лопаттю 7. Між основним і додатковими гвинтами розміщений додатковий елемент, який складається з пустотілого циліндра 8, зовні якого розміщено дві гвинтові лопаті 9 та 10, які нахилені вгору по вертикалі до вала гвинта і утворюють

два гвинтові канали, один з яких служить для транспортування сипкого матеріалу із забірного бункера 1 всередину додаткового гвинта 4, а другий для транспортування матеріалу із лопаті 7 на лопать гвинтового конвеєра 8.

Гвинтовий конвеєр працює так: сипкий матеріал із бункера 1 через гвинтовий канал потрапляє на лопаті 6 гвинта 4 і за допомогою відцентрових сил інерції рухається через вікна 5 і попадає на лопать 7, яка транспортує його до гвинтового каналу, який має таку ж по напрямку навивку як і основний гвинт. По інерції матеріал рухається по гвинтовому каналу і потрапляє на лопаті основного гвинта 2, який транспортує його до вивантажувального патрубку.

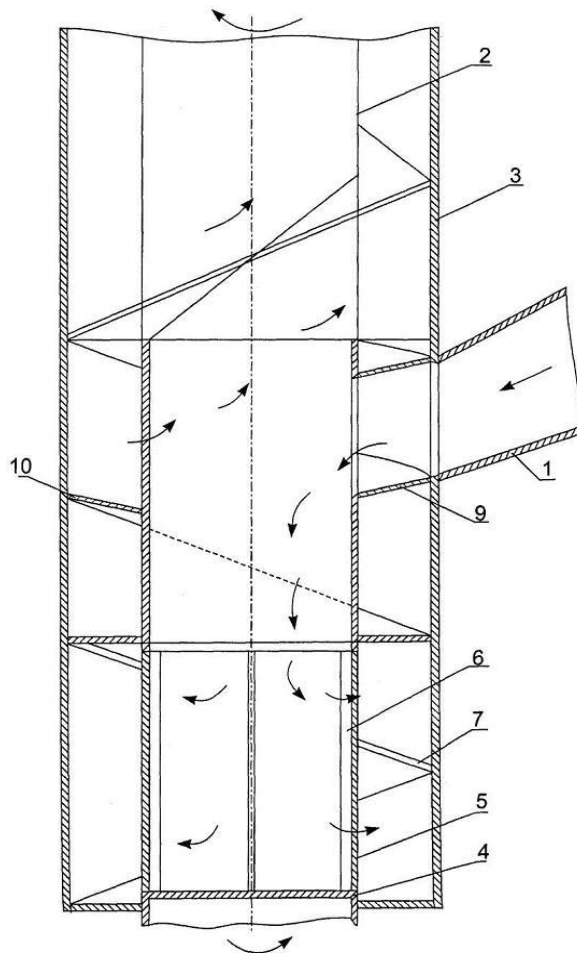


Рис. 5.5. Гвинтовий конвеєр

На рис. 5.6 зображено гвинтовий конвеєр [84], який складається з нескінченної стрічки 1 на якій встановлені лопаті 2. Стрічка огинає вал гвинта конвеєра 3 та натяжний барабан 4, вісь якого встановлена з можливістю обертатися в опорах кронштейнів 5, 6, які з'єднані із кожухом 7

гвинтового конвеєра. Між основним гвинтом 8 та забірною частиною встановлений конічний шнек 9. Кут нахилу і крок лопаті 2 дорівнюють куту нахилу і кроку конічного шнека 9.

Гвинтовий конвеєр працює так: під час обертання вала 3 починає рухатися стрічка 1 з лопатями 2, які занурені в сипкий матеріал, який під дією сили тяжіння заповнює простір між лопатями 2. При переході частинки матеріалу через лінію дотику стрічки 1 і вала 3, вони під дією відцентрової сили притискаються до кожуха гвинтового конвеєра, і внаслідок дії сили тертя починають рухатися вздовж стрічки 2 та потім переходять на гвинтову поверхню конусного шнека 9, яка переміщує сипкий матеріал до основного гвинта.

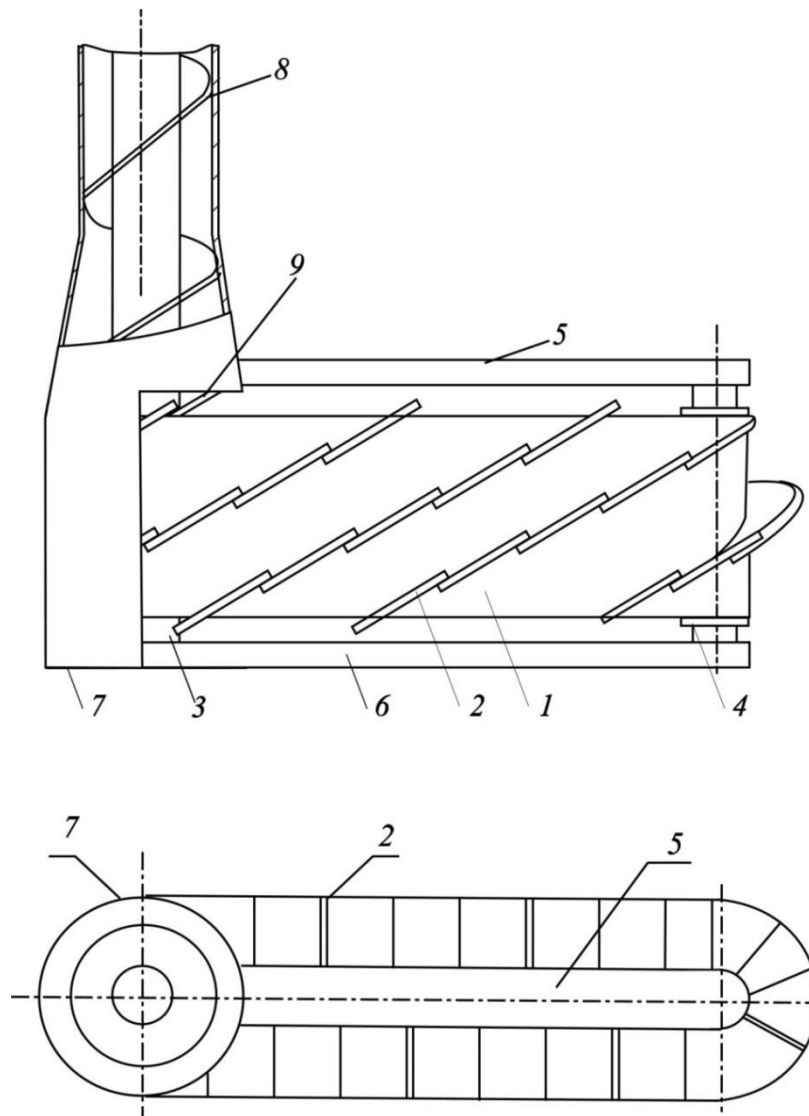


Рис. 5.6. Гвинтовий конвеєр

На рис. 5.7 зображено гвинтовий конвеєр [85], який складається з основного гвинта 1, що розташований в кожусі 2, на поверхні якого розміщена гвинтова лопать 3, яка має в порівнянні з основним гвинтом 1 різні навивки і кожна обертається в різні боки. Додатковий гвинт 3 знаходиться всередині нерухомого кожуха 4, який розміщений в бункері 5.

Гвинтовий конвеєр працює так: при обертанні гвинта 1 його лопаті захоплюють частинки сипкого матеріалу, який знаходиться в бункері 5 і транспортує їх в напрямку рухомого кожуха 2. Оскільки кожух 2 також обертається, то лопать 3 також захоплює частинки матеріалу і транспортує їх в напрямку нерухомого кожуха 4. Оскільки гвинт 1 та кожух 2 обертаються в різні боки, то ті частинки матеріалу, які знаходяться в бункері вище та нижче площини А-А, будуть обертатися в наслідок сил тертя в різні боки і взаємно гальмувати одна одну, що зменшуватиме виникнення відцентрових сил інерції, які негативно впливають на коефіцієнт заповнення гвинтового конвеєра.

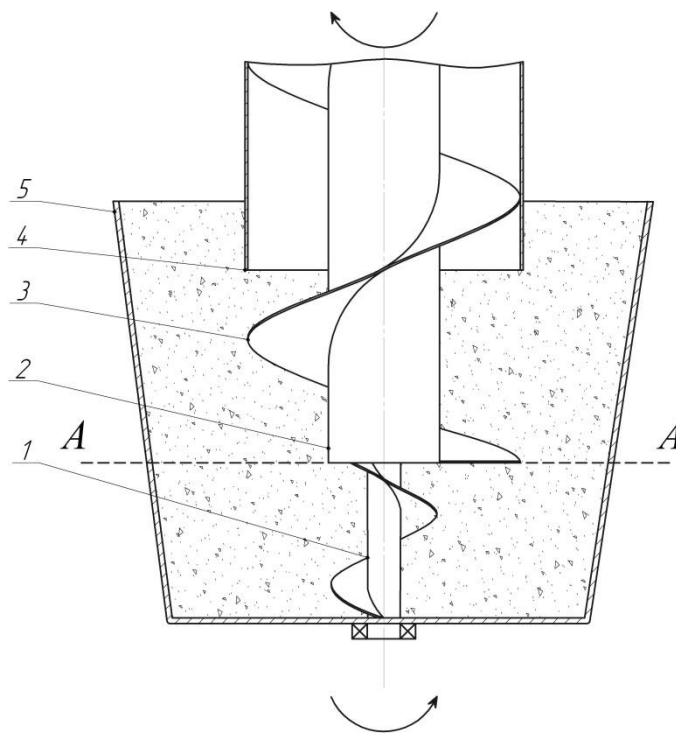


Рис. 5.7 Гвинтовий конвеєр

5.2. Методика інженерного розрахунку забірною пристрою вертикального гвинтового конвеєра.

При заданих продуктивності гвинтового конвеєра Q та фізико-механічних властивостях сипкого матеріалу, який транспортується, методика інженерного розрахунку конструктивних параметрів передбачає таку послідовність:

Раціональний кут підйому зовнішнього діаметру основного гвинта, його кутову швидкість і діаметр вибирають з умови мінімальної енергоємності процесу транспортування швидкохідними вертикальними гвинтовими конвеєрами у відповідності з методикою, викладеною в [92], [96]. Оскільки гвинтовий конвеєр оснащений забірним пристроєм, то знімається обмеження на умову відсутності протидії з боку обертового гвинта під час завантаження.

За отриманими значеннями конструктивні параметри вертикального гвинтового конвеєра проводять згідно з методикою [36], яка мінімізує матеріаломісткість конвеєра.

Величину кута перехідного конуса (рис.1.8.б) визначають з умови розгону матеріалу до усталеної швидкості (1.12), [43].

Тоді діаметр $D_{\text{кн}}$ і довжина перехідного конуса $L_{\text{кн}}$ будуть рівні:

$$D_{\text{кн}} = k_1 D_2, \quad (5.1)$$

де D_2 – діаметр гвинтового конвеєра; $k_1 = 1,3 \dots 1,6$ [43].

$$L_{\text{кн}} = \frac{1}{2} (D_2 - D_1) \cdot \text{ctg} \beta_1. \quad (5.2)$$

Кут підйому гвинтового каналу додаткового елемента приймаємо рівним куту підйому гвинтової лінії кінцевого шнека, щоб сипкий матеріал безперешкодно потрапляв у гвинтовий канал кінцевої частини.

Із конструктивних міркувань максимальний діаметр конусного шнека і додаткового гвинта приймаємо однаковими, і рівним діаметру кожуха додаткового елемента.

Згідно з експериментальними даними витрата просипання сипкого матеріалу всередину додаткового елемента забірною пристрою через гвинтові канали визначається з рівнянь (4.21-4.26), як функція внутрішнього d та зовнішнього D діаметру гвинтового каналу, та його висоти H .

Ця витрата дорівнює продуктивності основного гвинтового конвеєра, та витраті сипкого матеріалу, який рухається по інерції у гвинтовому каналі додаткового елемента і яка визначається з рівняння (2.92).

За цільову функцію приймаємо кутову швидкість додаткового гвинта ω_0 , яка залежить від початкової швидкості V_0 , з якою частинки сипкого матеріалу поступають з лопаті додаткового гвинта всередину гвинтового каналу, від якої залежить енергоємність процесу завантаження гвинтового конвеєра за допомогою забірною пристрою. Цю швидкість визначають з рівняння (2.91):

$$V_0 = \sqrt{\frac{(A_1 V_1^2 + B_3) e^{-2AL} - B_3}{A_1}}, \quad (5.3)$$

$$\text{де } V_1 = \frac{Q}{A_k} = \frac{4Q}{(D-d)H \cos \alpha_c}; \quad H = (\pi D t g \alpha) / 2.$$

Величину кута α приймаємо рівною величині кута β (рис. 2.20) (2.88) для того, щоб сипкий матеріал безперешкодно потрапляв з лопаті додаткового гвинта в середину гвинтового каналу.

Довжина гвинтового каналу буде рівна:

$$L = \frac{(L_2 + L_3)}{\cos \alpha_c}. \quad (5.4)$$

Оскільки витрата просипання рівна:

$$Q = 2Q_1 + Q_2, \quad (5.5)$$

а витрата Q_1 не залежить від значення L_3 , то будемо мати:

$$L_3 = \frac{Q - 2Q_1}{q}, \quad (5.6)$$

$$\text{де } q = a_0 + a_1 b + a_2 H + a_{12} b H + a_{11} b^2 + a_{22} H^2,$$

$$b = \frac{D - d}{2}.$$

Враховуючи отримані залежності (5.3), матиме вигляд:

$$V_0 = \sqrt{\left[\left(A_1 \left(\frac{4Q}{(D-d)H \cos \alpha_c} \right)^2 + B_3 \right) \cdot \exp \left(\frac{-2A_1(L_2 + (Q - 2Q_1)/q)}{\cos \alpha_c} \right) - B_3 \right] / A_1}. \quad (5.7)$$

Переносна швидкість частинок сипкого матеріалу у додатковому гвинті :

$$V_e = V_a \left(\frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha} \right). \quad (5.8)$$

Кутову швидкість додаткового гвинта можна визначити за формулою:

$$\omega_0 = \frac{V_e}{R_c}, \quad (5.9)$$

де R_c - середнє значення радіуса додаткового гвинта.

За функцію обмеження приймемо мінімальні і максимальні значення параметрів, які окреслюють область значення незалежних параметрів $x_1 = d$, $x_2 = D$.

Функція Лагранжа в цьому випадку матиме вигляд:

$$F(D, d) = f_0(x_1, x_2) + \sum_{i=1}^n u_i f_i. \quad (5.10)$$

Основним обмеженням є забезпечення заданої продуктивності:

$$Q \geq Q_3.$$

Оскільки, при проведенні експериментальних досліджень бокового витікання сипкого матеріалу з бункера, довжина патрубку змінювалася в межах від b_1 до b_2 , а висота від h_1 до h_2 , то обмеження розмірів D , d будуть визначатися:

$$D_2 - d_2 \geq 2b_1;$$

$$D_2 - d_1 \leq 2b_2;$$

$$D_1 - d_1 \geq 2b_1;$$

$$D_1 - d_2 \leq 2b_2;$$

$$(\pi D_2 t g \alpha) / 2 \leq h_2;$$

$$(\pi D_1 t g \alpha) / 2 \geq h_1,$$

де D_1, d_1 - мінімальні значення, а D_2, d_2 - максимальні значення цих величин.

Крім того, враховуючи (5.1) будемо мати:

$$D_1 \geq 1,3D_2;$$

$$D_2 \leq 1,6D_1.$$

Тоді обмеження f_i матимуть вигляд:

$$f_1 = Q - Q_3 \geq 0$$

$$f_2 = d - d_2 \leq 0;$$

$$f_3 = -d + d_1 \leq 0;$$

$$f_4 = D - D_2 \leq 0;$$

$$f_5 = -D + D_1 \leq 0.$$

Точку глобального мінімуму функції $\omega_0(D, d)$ визначають із системи диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial f_0}{\partial x_1} = \frac{\partial \omega_0}{\partial d} = 0; \\ \frac{\partial f_0}{\partial x_2} = \frac{\partial \omega_0}{\partial D} = 0. \end{cases} \quad (5.11)$$

Результати числового розв'язку цієї задачі, які отримано при заданих обмеженнях:

$$b_1 = 25 \text{ мм}, b_2 = 35 \text{ мм};$$

$$h_1 = 40 \text{ мм}, h_2 = 80 \text{ мм};$$

$$Q_3 = 2 \text{ л/с (пісок)}, Q_3 = 3 \text{ л/с (гірчиця)}, Q_3 = 4 \text{ л/с (полістирол)},$$

проілюстровано графічно на рис. 5.8.

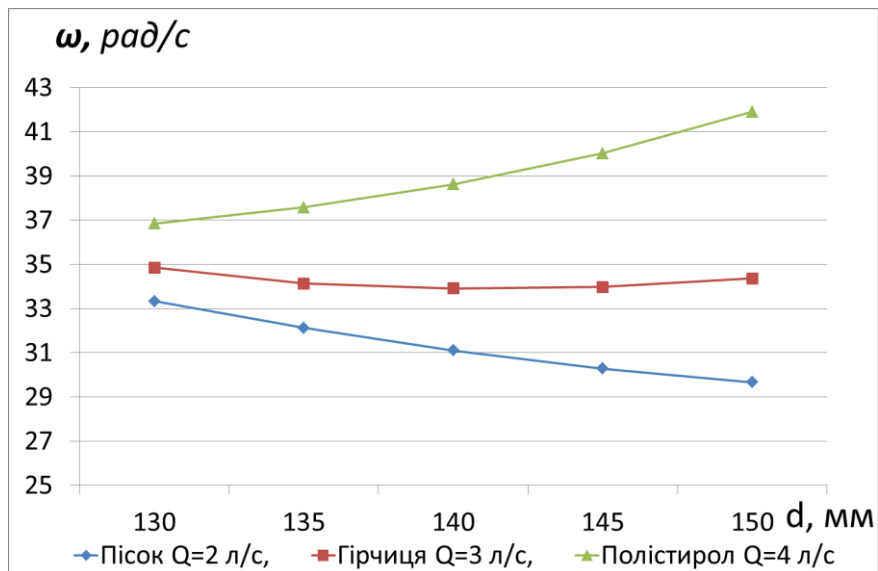


Рис. 5.8. Залежність кутової швидкості додаткового гвинта від геометричних параметрів додаткового елемента забірною пристрою гвинтового конвеєра ($D=200$ мм)

Рекомендовані раціональні значення параметрів забірною пристрою гвинтового конвеєра, які мінімізують енергоємність процесу руху сипкого матеріалу в додатковому елементі забірною пристрою наведені в табл.5.1.

Таблиця 5.1.

Матеріал	Продуктивність $Q, \frac{m^3 \cdot 10^{-6}}{c}$	Зовнішній діаметр $D, \text{мм}$	Внутрішній діаметр $d, \text{мм}$	Кутова швидкість додаткового гвинта $\omega, \text{рад/с}$
Пісок	2	200	160	29,3
Гірчиця	3	200	140	33,9
Полістирол	4	200	130	32,8

У тому випадку, коли при отриманні значень параметрів забірною пристрою неможливо досягнути заданої витрати просипання, необхідно змінити величину діаметру D та висоти гвинтового каналу, але при цьому кут нахилу гвинтової поверхні додаткового елемента повинен бути не менший за величину кута підйому гвинтової поверхні конічного шнека. Якщо зовнішній діаметр додаткового елемента не змінюється, то можна змінювати внутрішній діаметр d та висоту гвинтового каналу додаткового елемента H .

Необхідна продуктивність може бути при різних комбінаціях H і d , то очевидно, що з точки зору мінімальних енергозатрат потрібно вибрати таке

співвідношення H і d , при яких значення кутової швидкості додаткового гвинта буде мати найменше значення.

Так, наприклад, при витраті $Q=1,5$ л/сек (матеріали: гірчиця, пісок) графік залежності $H=N(d)$ матиме вигляд (рис. 5.9):

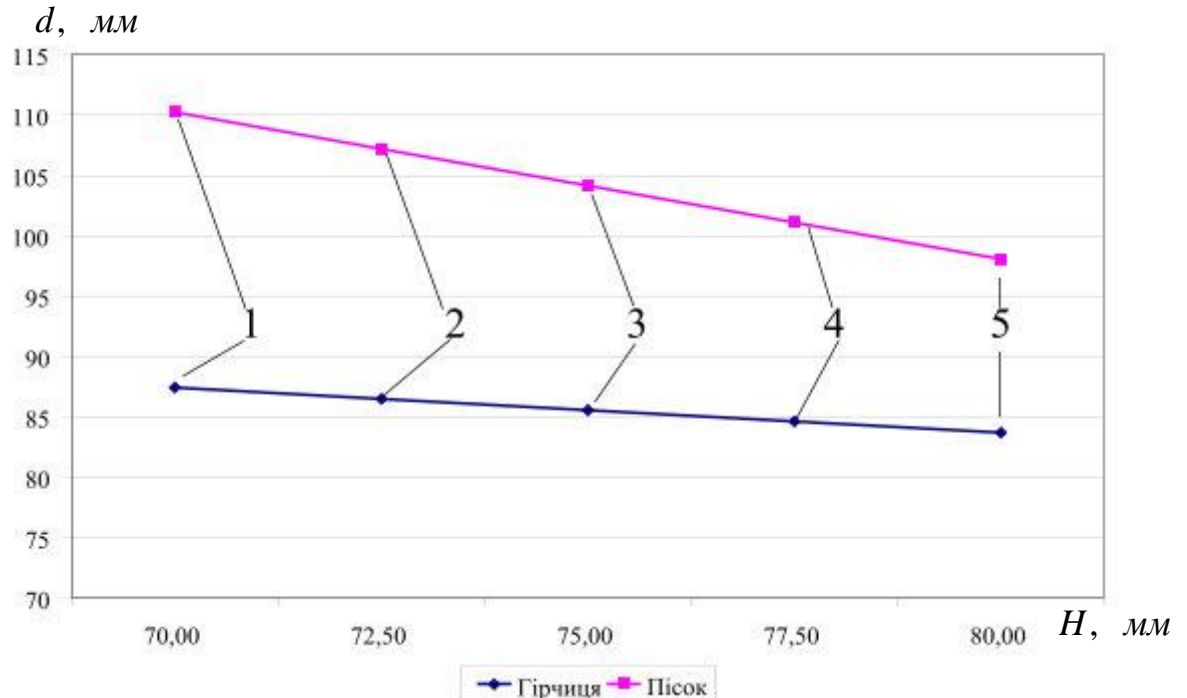


Рис. 5.9. Залежність геометричних параметрів додаткового елемента при сталій витраті ($Q=1,5$ л/сек)

Виберемо ряд точок, що лежать на прямій, яка відповідає значенню заданої витрати. В таблиці 5.2 наведено значення H і d для цих точок.

Таблиця 5.2.

Точка	H , мм	Пісок	Гірчиця
		d , мм	d , мм
1	70	110,24	87,43
2	72,5	107,20	86,50
3	75	104,15	85,56
4	77,5	101,11	84,63
5	80	98,06	83,69

З рівняння (2.92) визначаємо площу поперечного перерізу гвинтового каналу забірною пристрою, а з рівняння (2.91) – необхідну швидкість V_1 , яка забезпечує задану витрату сипкого матеріалу в гвинтовому каналі

додаткового елемента забірною пристрою. Отримані значення наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3.

Точка	Пісок		Гірчиця	
	A_k см ²	V_1 м/с	A_k см ²	V_1 м/с
1	7,80	1,92	11,17	1,34
2	8,50	1,77	11,61	1,29
3	9,20	1,63	12,05	1,24
4	9,93	1,51	12,49	1,20
5	10,66	1,41	12,93	1,16

Тоді з рівняння (2.91) необхідна швидкість з якою частинки сипкого матеріалу потрапляють у гвинтовий канал буде рівна:

$$V_0 = \sqrt{\frac{(A_1 V_1^2 + B_3) \cdot e^{-2AL} - B_3}{A_1}}. \quad (5.12)$$

Використовуючи (5.12), (5.8), (5.9) отримаємо залежність кутової швидкості додаткового гвинта при різних геометричних параметрах додаткового елемента, графік якої наведено на рис. 5.10.

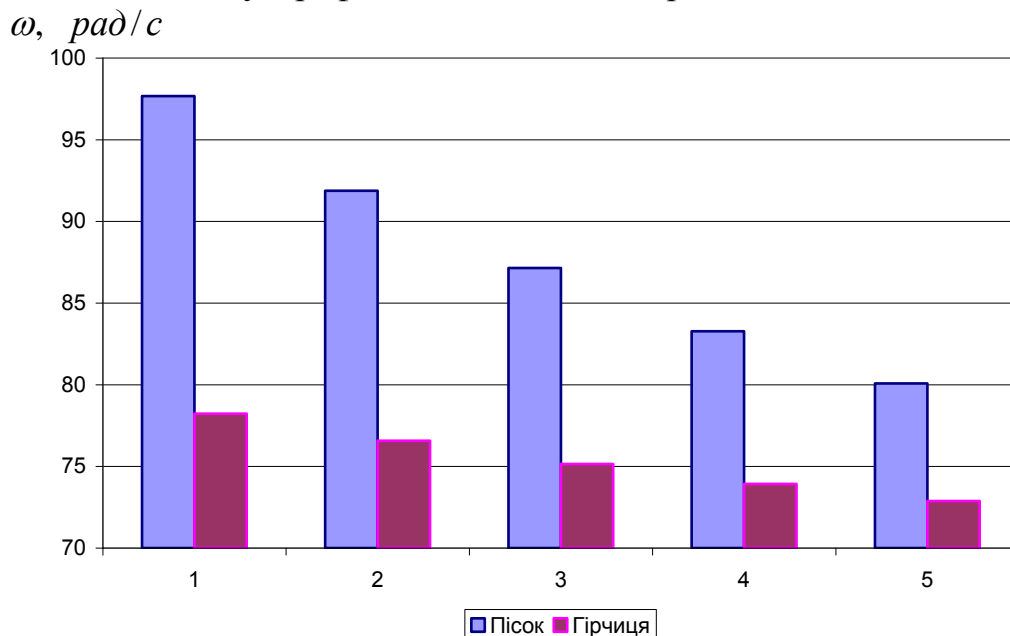


Рис. 5.10 Залежність кутової швидкості додаткового гвинта від геометричних параметрів додаткового елемента

Аналізуючи отриманий графік приходимо до висновку що при заданій продуктивності мінімальне значення кутової швидкості додаткового гвинта буде при таких параметрах додаткового елемента:

для піску $d=100$ мм, $H=80$ мм, $\omega=80,1$ рад/с;

для гірчиці $d=84$ мм, $H=80$ мм, $\omega=73$ рад/с.

5.3. Розрахунок економічної ефективності від зменшення матеріаломісткості робочого органу

Економічний ефект від застосування розробленого гвинтового конвеєра у порівнянні з базовим полягає в зменшенні матеріаломісткості, а також енергозатратах на процес транспортування сипкого матеріалу.

За базовий беруть гвинтовий конвеєр, який використовують на різних підприємствах для транспортування сипких матеріалів. Як відомо, збільшення продуктивності цих пристроїв за рахунок підвищення частоти обертання гвинта можливе до певної величини, оскільки при великих кутових швидкостях збільшується відцентрова сила інерції в зоні завантаження, яка зменшує коефіцієнт заповнення гвинтового конвеєра.

Кутову швидкість основного гвинта шнека вибираємо з умови мінімальної енергоємності процесу транспортування швидкохідними вертикальними гвинтовими конвеєрами, $\omega = 50...70$ рад/с, але в деяких випадках, для зменшення діаметра кожуха, а отже, і матеріалоємності, шнекового транспортера, кутову швидкість можна збільшити до 100 рад/с, що приблизно відповідає частоті обертання 1000 об/хв [63].

На відміну від існуючих конструкцій шнекових транспортерів, запропонований гвинтовий конвеєр із забірним пристроєм дозволяє зменшити габаритні розміри, а отже металоємність і вартість виробу. Крім того, збільшення частоти обертання гвинта також дозволяє спростити його привід, тобто замість редуктора використовувати пасову або ланцюгову передачу.

За базовий варіант приймаємо вертикальний гвинтовий конвеєр [36] з такими параметрами: діаметр гвинта $D_1 = 0,15$ м, крок гвинта $S_1 = 0,15$ м, діаметр вала гвинта $d_1 = 0,05$ м, довжина забірної частини $l_0 = 2S = 0,3$ м.

Матеріал, який транспортується: пшениця, густина $\rho = 750$ кг/м³, коефіцієнт внутрішнього тертя $f_0 = 0,47$, коефіцієнт тертя гвинта по поверхні кожуха $f_1 = f_2 = 0,36$, максимальна продуктивність при частоті обертання $n = 680$ об/хв, $Q = 26$ м³/год, коефіцієнт продуктивності $K_{\Pi} = 0,29$.

Для запропонованого варіанту приймали коефіцієнт продуктивності $K_{\Pi} = 0,6$ при частоті обертання $n = 1000$ об/хв.

Тоді діаметр гвинта буде рівний, якщо прийняти $S_2 = D_2$:

$$D_2 = D_1 \sqrt[3]{\frac{K_{\Pi_1} n_1}{K_{\Pi_2} n_2}} = 150 \sqrt[3]{\frac{0,29 \cdot 670}{0,6 \cdot 1000}} \approx 100 \text{ мм};$$

$$S_2 = 100 \text{ мм}; d_2 = 30 \text{ мм}.$$

Перевіримо значення отриманих конструктивних параметрів по методиці, яка викладена в роботах [92, 96].

У нашому випадку будемо мати:

$\omega = 100$ рад/с, $D = 0,1$ м, $\alpha = 17^\circ$, $K_{\Pi} = D/D_{\Pi} = 1,1$ - коефіцієнт зведення моделі до потоку, $\varphi_1 = 26^\circ$.

$$S_{c_{\Pi}} = \frac{\omega_{\Pi}}{\omega} = K_{\Pi} \sqrt{\frac{2g}{\mu_2 D \omega^2} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1)} = K_{\Pi} \sqrt{\frac{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1)}{\mu_2 G_{\omega}}},$$

де μ_2 - коефіцієнт тертя матеріалу по кожуху;

$$G_{\omega} = \frac{\omega^2}{2g} = \frac{100^2 \cdot 0,1}{2 \cdot 9,81} = 50,06 \text{ - коефіцієнт швидкості}.$$

Тоді

$$S_{c_{\Pi}} = 1,1 \sqrt{\frac{\operatorname{tg}(17 + 26)^\circ}{0,3 \cdot 50,96}} = 0,297.$$

Собівартість виготовлення одного гвинтового конвеєра становить:

$$C = C_M \cdot M,$$

де C_M – питома вартість одного кілограма машини аналогічного призначення і конструктивної складності, грн;

M – маса конвеєра, кг.

5.3.1 Розрахунок матеріаломісткості гвинтового конвеєра

Для визначення маси одного погонного метра гвинтового конвеєра визначаємо:

1. Розміри заготовки.

$$D_0 = d_0 + (D-d), \text{ м,}$$

$$d_0 = \frac{(D-d)\sqrt{S^2 + (\pi d)^2}}{\sqrt{S^2 + (\pi D)^2} - \sqrt{S^2 + (\pi d)^2}}, \text{ м,}$$

де D – зовнішній діаметр гвинта, м;

d – діаметр вала, м;

S – крок гвинта, м.

2. Визначаємо кут вирізу.

$$\beta = \frac{360(\pi d_0 - \sqrt{H^2 + (\pi d)^2})}{\pi d_0}, \text{ град.}$$

3. Маса одного витка.

$$M_B = \left(\frac{\pi D_0^2}{4} - \frac{\pi d_0^2}{4} \right) \left(\frac{360 - \beta}{360} \right) \delta \rho, \text{ кг,}$$

де δ – товщина витка, м;

ρ_M – густина металу. Приймемо $\rho_M = 7800 \text{ кг/м}^3$.

4. Маса гвинтової навивки.

$$M_{\text{шт}} = \frac{L}{S_1} M_B, \text{ кг,}$$

де L – довжина шнека, м.

5. Маса шнекового вала.

$$M_B = \frac{\pi d^2}{4} L \rho_M, \text{ кг.}$$

6. Маса кожуха гвинтового конвеєра.

$$M_K = \left(\frac{\pi D_2^2}{4} - \frac{\pi D_1^2}{4} \right) L \rho, \text{ кг},$$

де D_1, D_2 – зовнішній та внутрішній діаметри кожуха гвинтового конвеєра.

7. Маса гвинтового конвеєра, кг.

$$M_{об} = M_{шн} + M_K + M_B, \text{ кг},$$

Дані розрахунку занесемо в таблицю 5.4.

Таблиця 5.4.

Результати розрахунку матеріаломісткості гвинтового конвеєра

	D, м.	d, м.	S, м.	M _{К,кг}	M _{шн, кг}	M _{В, кг}	M _{об, кг}
Шнек 1	0,15	0,05	0,15	11,24	1,8	12,4	25,45
Шнек 2	0,1	0,03	0,1	7,56	1,2	5,5	14,28

При довжині гвинтового конвеєра 5 м маса базового конвеєра становить 127 кг, а запропонованого 71 кг.

5.3.2 Розрахунок матеріаломісткості забірної пристрою

Згідно з [80], забірний пристрій складається з основної частини та конусної.

1. Розрахунок конусної частини.

Із конструктивних міркувань максимальний діаметр конусного шнека і додаткового гвинта приймаємо однаковими. Як і діаметри кожуха додаткового гвинта і діаметр додаткового елемента.

Маса перехідного конуса, кг

$$M_{к.ч} = \frac{1}{3} \pi \rho L \left[(R_1^2 + R_1 R_2 R_2^2) - (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2) \right].$$

2. Розрахунок основної частини.

Маса основної частини забірної пристрою.

$$M_{об} = M_{шн} + M_K + M_B, \text{ кг},$$

де $M_{шн}$ – маса гвинтової навивки, кг; M_B – маса шнекового вала, кг; M_K – маса кожуха.

Маса шнекового вала

$$M_B = \left(\frac{\pi D_1^2}{4} - \frac{\pi d_1^2}{4} \right) L \rho_M, \text{ кг.}$$

Дані розрахунку занесемо в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5.

	D, м.	d, м.	S, м.	M _{К,кг}	M _{шн, кг}	M _{в, кг}	M _{об, кг}
Основна частина	0,15	0,1	0,15	7,44	0,26	4,7	12,41
Конусна частина забір ного пристрою	0,15	0,1	0,1	4,5	1,67	4,52	12

З урахуванням забірною пристрою маса конвеєра буде рівна 96 кг. Приймаючи $C_m=146$ грн/кг, вартість базового конвеєра становитиме 17145 грн, а запропонованого 12960 грн. Очікуваний економічний ефект від впровадження, за рахунок зменшення матеріаломісткості становитиме приблизно 4520 грн.

5.4. Висновки

1. На підставі проведених досліджень окреслено основні напрямки зниження енергоємності процесу транспортування сипких матеріалів швидкохідними вертикальними гвинтовими конвеєрами та розроблено нові конструкції забірних пристроїв цих механізмів для підвищення їх продуктивності, які захищено сімома патентами України на корисні моделі.

2. Розроблено методику інженерного розрахунку забірною пристрою вертикального гвинтового конвеєра, яка дозволяє на стадії проектування закласти раціональні геометричні та кінематичні параметри цього пристрою з мінімальним рівнем енергоємності.

3. Очікуваний економічний ефект від впровадження запропонованого гвинтового конвеєра, за рахунок зменшення матеріаломісткості становитиме приблизно 4520 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення та нове теоретичне вирішення наукової задачі, яка полягає у підвищенні продуктивності швидкохідних вертикальних гвинтових конвеєрів за рахунок зменшення відцентрових сил інерції, які діють на частинки сипкого матеріалу в бункері і перешкоджають їх стабільному рухові у міжвитковий простір, що призводить до зменшення коефіцієнта заповнення гвинтового конвеєра.

2. Встановлено, що необхідною умовою для забезпечення раціонального значення коефіцієнта заповнення $\varphi_z = 0,6..0,8$ вертикального швидкохідного гвинтового конвеєра є створення надлишкового тиску в забірній частині в межах 1,8..4,2 кПа при кутовій швидкості гвинта 70...90 рад/с.

3. Встановлено, що наявність кожуха гвинтового конвеєра в бункері з сипким матеріалом суттєво впливає на величину осьового, а отже, і радіального тиску матеріалу, від якого залежить ефективність роботи конвеєра. При висоті засипки $y=(2..3)D$ значення тиску практично не залежить від висоти засипки, але його максимальне значення суттєво зменшується при збільшенні діаметру кожуха. Так, наприклад, при відношенні діаметра кожуха до діаметра циліндричного бункера $d/D = 0,4$ тиск зменшується в 1,6 раз, в порівнянні з тиском в аналогічному бункері без конвеєра.

4. На основі математичної моделі руху частинки матеріалу по нерухомій гвинтовій поверхні додаткового елемента забірної пристрою гвинтового конвеєра встановлено вплив його параметрів на витрату сипкого матеріалу, який рухається в гвинтовому каналі цього елемента. Розміщення гвинтової лопаті під кутом 75° до осі гвинта зменшує величину роботи, яка затрачується на переміщення частинки сипкого матеріалу по цій лопаті на 14...19 % в порівнянні з лопаттю, яка розміщена перпендикулярно до осі гвинта, а нанесення на стінки гвинтового каналу антифрикційного покриття

(тефлонової стрічки) для зниження коефіцієнту тертя, дозволяє зменшити розміри додаткового елемента забірною пристрою та кутову швидкість додаткового гвинта з 96 до 54 рад/с.

5. На основі проведеного багатофакторного експерименту отримано регресивну залежність з визначенням впливу висоти і довжини патрубку бункера на витрату сипкого матеріалу, яка дозволяє визначити раціональні параметри додаткового елемента забірною пристрою гвинтового конвеєра. Так, для гвинтового конвеєра, продуктивність якого становить 4 л/с зовнішній діаметр забірною пристрою дорівнює 200 мм, а внутрішній 130 мм.

6. Встановлено, що запропонована конструкція гвинтового конвеєра дозволяє збільшити коефіцієнт продуктивності до величини 0,38...0,54, що дозволить зменшити розміри конвеєра, а отже, його металомісткість. Так маса одного погонного метра вертикального гвинтового конвеєра продуктивністю 5 м³/год зменшується з 25,45 до 14,28 кг.

7. Економічний ефект від впровадження одного вертикального швидкохідного гвинтового конвеєра продуктивністю 5 м³/год при висоті транспортування 5 м, оснащеного запропонованим забірним пристроєм, який отриманий за рахунок зменшення матеріалоемності становить 4520 грн.

Результати досліджень впроваджено на «ТОВ ПІ Ізотерм – С» в Рівненській області.

Розроблені експериментальні установки передано для використання в навчальному процесі на кафедрі будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. А. с. 1715683 СССР. Заборное устройство винтового конвейера / Генералов М. Б., Серилко Л. С., Татьяна В. Н. (СССР). – Оpubл. в Б. И., 1992. №8.
2. А. с. 984956 СССР. Шнековый подъемник / Центральное проектно-констр. Бюро Минречфлота; авт. Изобрет. Н. С. Чулин. (СССР). – Заявл. 19.12.81, № 32225896/27-03; Оpubл. В Б.И 1982, №48.
3. А.с. 1808797 (СССР). Заборное устройство винтового конвейера / Генералов М. Б., Татьяна В. Н., Хижняков А. В. – Оpubл. в Б. И., 1993. №14
4. Адигамов К. А. Критическая частота вращения вертикального шнека / К. А. Адигамов, С. Н. Байбара, Г. В. Черненко. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2009. – №2 (132) – С. 9-10.
5. Адигамов К. А. Кинематика работы шнекового конвейера / К. А. Адигамов, В. В. Ширяев // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – №3. – 2000. – №3. С. 17-23.
6. Адигамов К. А. Кинематика вертикального шнекового конвейера с неподвижным кожухом / К. А. Адигамов, В. В. Ширяев, С. Н. Байбара // Изв.вузов. Сев.-Кавк. регион. Технические науки. Техника, технология и экономика сервиса. – 2004. С. 42-47.
7. Адлер Ю. П. Планирования эксперимента при поиске оптимальных условий. Изд. 2-е перер. и доп. / Ю. П Адлер, Ю. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1986. – 325с.
8. Александр Л. М. Теория вертикального шнека. – Труды ЦНИИ РФ. вып. VII. М – Л. Речиздат. 1950. – С. 27-46.
9. Александров М. П. Подъемно-транспортные машины. / Александров М. П. – М.: Машиностроение, 1974. – 503 с.
10. Алимов О. Д. Теория вертикальных шнековых механизмов/ Алимов О. Д., Манжосов В. К., Мамасаидов М. Т. // Фрунзе : Илим, 1978. – 186 с.

11. Алтынбеков Ф. Е. Исследование процесса транспортировки сыпучих грузов вертикальным быстроходным шнеком: автореф. дис. канд. техн. наук : спец. 05.10.07 . / Алтынбеков Ф. Е – Л., 1969. – 18 с.
12. Алферов К. В. Бункерные установки. / Алферов К. В., Зенков Р. Л. // – М.: Машиностроение, 1975. – 307 с.
13. Байбара С. Н. Обоснование параметров однозаходного вертикального шнекового конвейера с двухлопастной загрузкой : автореферат дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.13. «Машини агрегати і процеси » / Байбара С. Н – Ш, 2008. – 24 с.
14. Басов Н. И. Процесс транспортировки сыпучих материалов в аппаратах шнекового типа / Н. И. Басов // Теор. основы хим. технол. – 1980. №5 – Т. 25. С.713.
15. Богацький В. М. Удосконалення конструкції та обґрунтування параметрів шнекового дозатора порошкових реагентів для позапічної обробки сталі: автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.05.08 «Машини для металургійного виробництва» / В. М. Богацький : – Донецьк, 2004. – 18 с.
16. Богомягих В. А. Теория и расчет бункеров для зернистых материалов / В. А. Богомягих. – Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1973.– 152 с.
17. Бондарев С. В. Підйомно – транспортні машини : Розрахунки піднімальних і транспортних машин: підручник / С. В. Бондарев, О. І. Дубинець, М. П. Колісник, [та ін.]. – К.: Вища школа, 2009. – 734 с.
18. Вайнсон А. А. Подъемно-транспортные машины / А. А. Вайнсон. – М.: Машиностроение, 1989. – 536 с.
19. Василенко П. М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П. М. Василенко. – К.: УСХА, 1960. – 216 с.
20. Волков Ю. В. К исследованию заборной способности винтового транспортера / Ю. В. Волков. // – Труды СИСХМ. Вып. 43. – Саратов, 1970. – С. 27 - 32.

21. Волков Ю. В. К исследованию загрузочного устройства винтового транспортера / Ю. В. Волков // Труды СИСХМ. Вып. 41, Ч. II. – Саратов, 1968. – С. 21 - 22.
22. Волков Ю. В. К исследованию процессов в заборной камере винтового транспортера / Ю. В. Волков // Труды СИСХМ. Вып. 42, Ч. I. – Саратов, 1969. – С. 19 - 21.
23. Гевко Б. М. Механізми з гвинтовими пристроями / [Б. М. Гевко, М. Г. Данильченко, Р. М. Рогатинський, та ін]. - Львів: Світ, 1993. - 208 с.
24. Гевко Б. М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин / Б. М. Гевко, Р. М. Рогатинский. – Львов: Вища школа, 1989. – 176 с.
25. Гевко Б. М. Оптимизация конструктивных параметров шнековых конвейеров / Б. М. Гевко, Р. М. Рогатинский. // Машиностроение. – 1987. – №5. – С. 109 - 114.
26. Гевко І. Б. Дослідження вертикальних гвинтових конвеєрів / [І. Б. Гевко, О. Р. Рогатинська, Т. М. Пелешок та ін.] // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. – 2006. – № 44, Т. 2. – С. 221 - 226.
27. Гевко І. Б. Динамічна модель процесу транспортування сипучих матеріалів гвинтовим конвеєром / І. Б. Гевко., А. О. Вітровий, О. Я. Гурик // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. Вип. 8. – Луцьк: ЛДТУ, 2000. – С. 72 - 82.
28. Гевко І. Б. Дослідження вертикальних гвинтових конвеєрів / І. Б. Гевко, О. Р. Рогатинська, Т. М. Пелешок // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. – 2006. – № 44, Том 2. – С. 221 - 226.
29. Гевко Р. Б. Результати експериментальних досліджень завантажувального патрубку гвинтового конвеєра / Р. Б. Гевко, Р. І. Розум // Сільськогосподарські машини. Вип. II: зб. наук. ст. Луцьк: ЛДТУ. – 2003. – С. 92 - 96.

30. Гевко Р. Б. Розрахунок завантажувального патрубку гвинтового конвеєра / Р. Б. Гевко, Р. І. Розум // Сільськогосподарські машини. Вип. 10: зб. наук. ст. – Луцьк: ЛДТУ, – 2002. – С. 188 - 195.
31. Генералов М. Б. Истечение сыпучих материалов из аппаратов / М. Б. Генералов // Теор. основы хим. технол – 1985. – Т. 19. С. 53-58.
32. Генералов М. Б. Движение сыпучего материала в шнековом питателе бункера // Теор. основы хим. технол. – 1988, – №1. Т. 22. С. 78 - 83.
33. Генералов М. Б. Механика твердых дисперсных сред в процессах химической технологии: учебное пособие для вузов / М. Б. Генералов. – Калуга: Изд. Н. Бочкаревой. – 2002. – 592 с.
34. Генералов М. Б. Реологические свойства твердых дисперсных систем / М. Б. Генералов // Теор. основы хим. технол. – 2001, – №1. Т. 35. С. 85-89.
35. Герман Х. Шнековые машины в технологии ФРГ / Пер. с нем. Х. Герман. – Л.: Химия, 1975. - 230 с.
36. Григорьев А. М. Винтовые конвейеры / А. М. Григорьев – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
37. Григор'єв О. М. Комплексна механізація і автоматизація вантажно-розвантажувальних і транспортних робіт в машинобудуванні і приладобудуванні / О. М. Григор'єв, П. А. Преображенський. – К.: Наукова думка, 1967. – 116 с.
38. Григорьева В. А. К вопросу оценки затрат мощности транспортирующими шнеками / В. А. Григорьева, Н. К. Штуков. // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1972. – №1. – С. 43 - 48.
39. Груздев И. Э. Теория шнековых устройств / И. Э. Груздев, В. Г. Мирзоев, В. И. Янков. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. – 144 с.
40. Дмитрів Д. В. Розробка конструкції та обґрунтування параметрів малогабаритних кормозмішувачів: автореф. дис... канд. техн. наук: спец. 05.05.11 «Сільськогосподарські машини» / Д. В. Дмитрів. – Тернопіль, 2001. – 20 с.

41. Евстратова А. В. Повышение эксплуатационных показателей вертикального винтового конвейера путем рационального выбора конструктивных и режимных параметров шнекового вала / А. В. Евстратова, Ю. Олигов // Известия высших учебных заведений : Северо-Кавказский регион : технические науки. – 2009. – №4. – С. 82 - 89.
42. Евстратова А. В. Влияние угла наклона шнековой лопасти на производительность вертикального винтового конвейера / А. В. Евстратова, Ю. Б. Олигов // Материалы Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Т. IV. – Нальчик : Каб. – Балк. ун-т, 2009. – С. 38-42.
43. Желтов В. П. Расчеты специальных винтовых конвейеров / В. П. Желтов // Вестник машиностроения. – 1980. – №1. – С. 30 - 32.
44. Желтов В. П. Один из способов определения производительности быстроходного шнека / В. П. Желтов. // Тр. Казанского химико-технологического института им. Кирова. Вып. 35. – 1965. – С. 278 - 284.
45. Желтов В. П. Расчет производительности и мощности вертикального шнека / В. П. Желтов, А. Г. Новширванов // Тр. Казанского химико-технологического института им. Кирова. Вып. 42. – 1971. – С. 79 - 88.
46. Загайнов Л. С. Об уравнении плоского установившегося движения сыпучей среды / Л. С. Загайнов // Механика твердого тела. – 1967. – №2. С. 188-196.
47. Заика П. М. О выборе параметров винтовых транспортеров зерновых комбайнов / П. М. Заика // Сельхозмашина. – 1958. – № 2. – С. 22 - 24.
48. Заика П. М. О производительности винтовых транспортеров зерновых комбайнов / П. М. Заика // Сельхозмашина. – 1957. – № 8. – С. 7-10.
49. Зенков Р. Л. Бункерные устройства / Р. Л. Зенков. – М.: Машиностроение, 1972. – 182 с.
50. Зенков Р. Л. Механика насыпных грузов / Р. Л. Зенков – М.: Машиностроение 1973. – 220 с.

51. Зенков Р. Л. Машины непрерывного транспорта / Р. Л. Зенков, И. И. Ивашков, Л. Н. Колобов. // – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.
52. Иванов В. Г. Изучение с помощью скоростной киносъемки процесса перемещения зерна скоростным шнеком / В. Г. Иванов // Тр. ВИМ. – 1963. – Т. 32. – С. 86 - 87.
53. Иванов В. Г. Исследование режимов работы скоростных винтовых транспортеров зернопогрузчиков: автореф. дис... канд. техн. наук: Спец. 05.05.05. «Подъемно-транспортные машины» / В. Г. Иванов. – Иркутск, 1963. – 18 с.
54. Иванченко Ф. К. Конструкция и расчёт подъемно-транспортных машин / Ф. К. Иванченко // – К.: Выща школа, 1988. – 426 с.
55. Израйлевич М. Л. От грейфера к конвейеру: портовые перегрузочные комплексы для навалочных грузов / М. Л. Израйлевич. // ПТО. – 2002. – №2. С. 9-10.
56. Ильюшин А. А. Механика сплошной среды: учебник / А. А. Ильюшин. – 3-е изд. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 310 с.
57. Ишлинский А. Ю. О плоском движении песка / Ишлинский А. Ю. // Украинский математический журнал. – 1954. – Т. VI. – 1954. С. 430 - 441.
58. Каталымов А. В. Аналитический метод определения поля скоростей сыпучего материала / А. В. Каталымов, П. И. Лукьянов // Теор. основы хим. технол. – 1973. – №2 – Т. 7. С. 228.
59. Кенеман Ф. Е. О механике свободного истечения сыпучих тел / Ф. Е. Кенеман // Изв. АН СССР. – 1960. – №2. – С. 46 - 54.
60. Кирия Р. В. Описание процесса истечения сыпучего груза из бункера с помощью структурно – механических моделей / Р. В. Кирия. – Системные технологии.: 2009. – 19 с.
61. Корнеев Г. В. Транспортеры и элеваторы сельскохозяйственного назначения. Теория и проектирование / Г. В. Корнеев – М. – К.: Машгиз, 1961.– 261 с.

62. Красовский Г. И. Планирование эксперимента / Г. И. Красовский, Г. Ф. Филаретов – Минск : изд-во БГУ, 1982. – 302 с.
63. Красников В. В. Подъемно-транспортные машины в сельском хозяйстве / В. В. Красников. – М.: Колос, 1973. – 464 с.
64. Красников В. В. Экспериментально-теоретические основы определения производительности винтового транспортера / В. В. Красников, Ю. И. Волков // Механизация погрузочно-разгрузочных и транспортных работ в сельскохозяйственном производстве. Вып. 101 – Саратов. 1977, – С. 67 - 81.
65. Куцин Л. М. Механико – технические основы создания транспортирующих, дозирующих и смешивающих устройств для приготовления кормов на животноводческих фермах : автореф. дис. на здобуття наук ступення доктора техн. наук: 05.02.13 «Машины, агрегаты и процессы» / Л. М. Куцин. – Ростов-на-Дону, 1982. – 38 с.
66. Ловейкін В. С. Вибір раціональних параметрів та режимів роботи вертикальних гвинтових конвеєрів / В. С. Ловейкін, О. Р. Рогатинська // Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. – Вип. 23. – Вінниця: ВДАУ, 2005. – С. 181-195.
67. Ловейкін В. С. До розрахунку швидкохідних гвинтових конвеєрів / В. С. Ловейкін, О. Р. Рогатинська // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Вип. 21. – Мелітополь: ТДАТА, 2004. – С. 130-141.
68. Ловейкін В. С. Оптимізація режимів роботи гвинтових конвеєрів / В. С. Ловейкін, О. Р. Рогатинська // Підйомно-транспортна техніка, 2004. №2. – С. 8-15.
69. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. / Л. Г. Лойцянский. - изд. 4-е, перераб. и доп. - М.: Наука, 1973 – 848 с.
70. Лукьянов П. И. Апараты с движущимся зернистым слоем / П. И. Лукьянов. М.: Машгиз, 1974. –184 с.
71. Лукьянов П. И. Уравнение истечения сыпучих материалов из отверстий / П. И. Лукьянов – Теор. основы хим. технол. – 1968. – №2. Т. 2. С. 279.

72. Механика (Новое в зарубежной науке). Механика гранулированных сред, теория быстрых движений. М.: Мир, 1985. – 87 с.
73. Морин И. В. Упрощение расчета производительности шнека / И. В. Морин // Тр. АЧИМЭСХ. – 1964. – № 18. – С. 61 - 67.
74. Мурашов М В. Влияние конструкции заборной части шнека винтового конвейера на его производительность / М. В. Мурашов, А. С. Щербаков // Торфяная промышленность. 1978. – №7. – С. 17 - 19.
75. Мурашов М. В. Пассивная область в наклонном шнеке / М В. Мурашов, А. М. Григорьев // Известие вузов. Машиностроение. – 1971. – №4. – С. 137 - 141.
76. Николаевский В. Н. Определяющие уравнения пластического деформирования сыпучей среды / В. Н. Николаевский // Прикладная математика и механика. Вып. 5. – М. 1971. С. 1070-1081.
77. Пат. 7934 Україна, МПК В 65 G 33/00. Гвинтовий конвеєр / Л. Ф. Кожушко, Л. С. Серілко, Д. Л. Серілко, заявник і патентовласник Національний університет водного господарства та природокористування. - № 20041210452 ; заявл. 20.12.04 ; опубл. 15.07.05, Бюл. № 7.
78. Пат. 2264969 Российская Федерация, МПК 7 В65 G 33/00, 65/46 Вертикальный шнековый конвейер [Текст] / С. Н. Байбара, К. А. Адигамов; заявитель и патентообладатель Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса. – № 2003116643; заявл. 04.06.2003; опубл. 27.11.2005, Бюл. № 33.
79. Пат. 29678 Україна, МПК В 65 G 33/00. Гвинтовий конвеєр / Р. М. Р. М. Рогатинський, Д. Л. Серілко, О. В. Хижняков; заявник і патентовласник Національний університет водного господарства та природокористування. – № u200709893 ; заявл. 03.09.07 ; опубл. 25.01.08, Бюл. № 2.
80. Пат. 39080 Україна, МПК В 65 G 33/00. Гвинтовий конвеєр / Р. М. Рогатинський, Д. Л. Серілко, О. В. Хижняков; заявники і патентовласники Р. М. Рогатинський, Д. Л. Серілко, О. В. Хижняков. – № u200806597 ; заявл. 15.05.08 ; опубл. 10.02.09, Бюл. № 3.

81. Пат. 41284, Україна, МПК В65G 33/00. Вертикальний гвинтовий конвеєр / Р. М. Рогатинський, Т. М. Пелешок; заявник і патентовласник Тернопільський національний технічний університет – № u200900039; заявл. 05.01.2009; опубл. 12.05.2009, Бюл. № 9.

82. Пат. 49764 Україна, МПК В 65 G 33/00. Забірний пристрій гвинтового конвеєра / Р. М. Рогатинський, Л. С. Серілко, Д. Л. Серілко; заявник і патентовласник Національний університет водного господарства та природокористування. – № u200718814 ; заявл. 19.11.09 ; опубл. 10.05.10, Бюл. № 9.

83. Пат. 69213 Україна, МПК В 65 G 33/14. Гвинтовий конвеєр / Р. М. Рогатинський, Л. С. Серілко, Д. Л. Серілко ; заявник і патентовласник Національний університет водного господарства та природокористування. – № u201111229 ; заявл. 21.09.11 ; опубл. 25.04.12, Бюл. № 8.

84. Пат. 97258 Україна, МПК В 65 G 33/00. Гвинтовий конвеєр / Р. М. Рогатинський, Л. С. Серілко, Д. Л. Серілко; заявник і патентовласник Національний університет водного господарства та природокористування. – № u201408721 ; заявл. 01.08.14 ; опубл. 10.03.2015, Бюл. № 5.

85. Пат. 98955 Україна, МПК В 65 G 33/08. Гвинтовий конвеєр / Р. М. Рогатинський, Л. С. Серілко, Л. Р. Рогатинська, Д. Л. Серілко, О. В. Макарчук; заявник і патентовласник Національний університет водного господарства та природокористування. – № u201408721 ; заявл. 11.12.14 ; опубл. 12.05.15, Бюл. № 9.

86. Пат. 124669 Российская Федерация, МПК U1 МПК В 65 G 33/14 Вертикальный винтовой конвейер для транспортирования сыпучих материалов / А. И. Обертышев, В. С. Обертышева, А. С. Обертышев, А. А. Байсара, А. М. Жмырко –. № 2010143231/11 ; заявл. 21.10.2010 ; опубл. 27.02.11

87. Пилипець М. І., Гурик О. Я. Дослідження процесу транспортування і змішування сипких матеріалів шнеково-лопатевим агрегатом / М. І. Пилипець, О. Я. Гурик // Зб. наук. пр. НАУ «Механізація

сільськогосподарського виробництва» К.: Вид-во НАУ. – 2000. – Т. ІХ. – С. 206 - 214.

88. Пономарев В. И. Винтовые транспортеры / В. И. Пономарев // Стандартизация и рационализация, 1933. – С. 105 – 106.

89. Преображенский П. А. Определение оптимальной угловой скорости транспортирующего винта быстроходного шнека / П. А. Преображенский // Тр. КХТИ им. С.М. Кирова, 1965. – № 35. – С. 21 – 24.

90. Рачков Е. В.. Определение энергозатрат на транспортирования быстроходными шнеками по удельным кинетическим параметрам / Е. В. Рачков // Сб. научн. тр. Ленинград ин-т. водн. тр-та, вып. 136. – Л. : Транспорт, 1972. – С. 133 - 138.

91. Рогатинська О. Р. Модель транспортування вантажу гвинтовим конвеєром / О. Р. Рогатинська // Земляні дорожні та транспортні машини : Респ. міжвідомч. наук.-техн. збірник. Вип. 39. – К: КНУБА, 2004. – С. 63.

92. Рогатинська О. Р. Обґрунтування навантаження і конструкцій гвинтових конвеєрів : Автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.05 «Піднімально-транспортні машини» / О. Р. Рогатинська ; ТДТУ. – Тернопіль, 2006. – 20 с.

93. Рогатинська О. Р. Вибір оптимальних режимів роботи гвинтових конвеєрів/ О. Р. Рогатинська // Мат. VI наук. конф. ТДТУ ім. І. Пулюя. – Тернопіль : ТДТУ, 2002. – С. 65.

94. Рогатинський Р. М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів із сировиною сільськогосподарського виробництва : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05.20.01 «Піднімально-транспортні машини», 05.05.05 «Механізація сільськогосподарського виробництва» / Р. М. Рогатинський. – Київ, 1997. – 52 с.

95. Рогатинський Р. М. Проектування бункерів гвинтових конвеєрів / Р. М. Рогатинський, Т. М. Пелешок, Д. Л. Серілко // Актуальні задачі сучасних технологій : матеріали наук.-техн. конф. молодих студентів та

учених Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя, 19-20 грудня 2012 р. : тези допов. – Тернопіль, 2012. – С. 217-218.

96. Рогатинський Р. М. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно - технологічних механізмів : монографія / Р. М. Рогатинський, І. Б. Гевко, А. Е. Дячун. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2014. – 280 с.

97. Рогатинський Р. М. Методика визначення коефіцієнта тертя сипкого вантажу по поверхнях гвинтового конвеєра / Р. М. Рогатинський, Д. Л. Серілко, О. Р. Рогатинська // Матеріали XX наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені І. Пулюя, 14-15 травня 2008 р. : тези допов. – Тернопіль, 2008. – С. 130.

98. Рогатинський Р. М. Аналіз конструкцій гвинтових конвеєрів та перспективи їх розвитку // Р. М. Рогатинський, Д. Л. Серілко // Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : матеріали міжнар. наук.-техн. конф. Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя, 13-14 травня 2009 р. : тези допов. – Тернопіль, 2009. – С. 68.

99. Рогатинський Р. М. Завантаження сипких матеріалів забірними пристроями вертикальних гвинтових конвеєрів / Р. М. Рогатинський, Л. С. Серілко, Д. Л. Серілко // Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : матеріали міжнар. наук.-техн. конф. Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя, 19-21 травня 2010 р. : тези допов. – Тернопіль, 2010. – С. 217-218.

100. Рогатинський Р. М. Моделювання процесу завантаження вертикального гвинтового конвеєра / Д. Л. Серілко, Р. М. Рогатинський // Вісник Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя. – Тернопіль, 2010. - Т. 15, № 3. - С. 36 - 41.

101. Рогатинський Р. Оптимізація швидкохідних гвинтових конвеєрів за енергоємністю [Електронний ресурс] / Р. Рогатинський, І. Гевко,

О. Рогатинська, Л. Рогатинська // ТНТУ, ELARTU – 2013. – 20 с. – Режим доступу до журн. : <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789>.

102. Седов Л. И. Механика сплошной среды. / Л. И. Седов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Наука, 1984. – 560 с.

103. Серілко Д. Л. Вплив конструктивно-технологічних параметрів забірних пристроїв гвинтових конвеєрів на процес транспортування сипких матеріалів / Д. Л. Серілко // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. - Рівне : НУВГП, 2007. - Вип. 4(40), Ч. 3. – С. 31-36.

104. Серілко Д. Л. До питання вибору забірних пристроїв гвинтових конвеєрів / Д. Л. Серілко, Л. С. Серілко, О. В. Хижняков // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – Рівне : НУВГП, 2007. - Вип. 2(38), Ч. 2. – С. 300-305

105. Серілко Д. Л. Реологічні властивості сипких матеріалів / Д. Л. Серілко, Л. С. Серілко // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. - Рівне : НУВГП, 2009. - Вип. 4(48). – С. 150-156.

106. Серілко Д. Л. Визначення тиску сипкого матеріалу в забірній частині гвинтового конвеєра / Д. Л. Серілко // Вісник Тернопільського національного технічного університету імені І. Пулюя. – Тернопіль, 2010. – Т. 15, № 4. – С. 97-102.

107. Серілко Д. Л. Обґрунтування параметрів забірною пристрою гвинтового конвеєра / Д. Л. Серілко, Л. Р. Рогатинська // Матеріали 10-го Міжнародного симпозіуму українських інженерів-механіків у Львові, 25-27 травня 2011 р. : тези допов. – Львів, 2011. – С. 212-214.

108. Серілко Д. Л. Обґрунтування параметрів забірною пристрою гвинтового конвеєра / Д. Л. Серілко // Машинознавство. – Львів, 2011. – № 5-6. – С. 52-55.

109. Серілко Д. Л. Дослідження руху сипкого середовища в забірній частині вертикального гвинтового конвеєра / Д. Л. Серілко // Вестник

Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Харьков, 2012. - Вип. 57. – С. 304-307.

110. Серілко Д. Л. Обґрунтування параметрів живильників горизонтальних гвинтових конвеєрів / Д. Л. Серілко, Л. Р. Рогатинська, Л. С. Серілко // Матеріали XVIII Наук. конф. Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя, 29-30 жовтня 2014 р. : тези допов. – Тернопіль, 2014. – С. 48-49.

111. Серілко Д. Л. До питання визначення тиску в забірній частині вертикального гвинтового конвеєра / Д. Л. Серілко // Матеріали III міжнар. конф. молодих учених та студентів Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя, 19-20 листопада 2014 р. : тези допов. – Тернопіль, 2014. – С. 56-57.

112. Сивко В. Й. Основи механіки будівельних сумішів. / В. Й. Сивко. – К. : Вища школа – 1998. – 168 с.

113. Сиденко В. М. Основы научных исследований / В. М. Сиденко, И. М. Грушко – Харьков : “Вища школа”, 1976. – 200 с.

114. Соколов А. Я. Транспортирующие и перегрузочные машины для комплексной механизации пищевых производств / А. Я. Соколов. – М. : Пищевая промышленность, 1964. – 214 с.

115. Соколовський В. В. Статика сыпучей среды / В. В. Соколовський // – М. : Гостехиздат, 1954.

116. Спиваковский А. О. Транспортирующие машины / А. О. Спиваковский, В. К. Дьячков. – М. : Машиностроение, 1968. – 504 с.

117. Хозина П. И. О коэффициенте наполнения винтовых транспортеров / П. И. Хозина журнал Саратовского института механизации сельского хозяйства. – 1965. – №31. – С. 60-67.

118. Шваб А. В. Моделирование трехмерного движения плотного слоя гранулированных материалов на основе кинематической модели / А. В. Шваб, Е. В. Асадчая // Сиб. физ.-тех. жур., 1991. Вып. 3. С.– 82-87.

119. Шенкель Г. Шнековые прессы для пластмас : пер. с нем. / Г. Шенкель. – Л.: Госхимиздат, 1962. – 468 с.
120. Ширко И. В. Статистические исследования течений гранулированных сред / И. В. Ширко // деп. в ВИНЛ ТП №1738-51. НФТИ. 1982. – 12 с.
121. Ширко И. В. Феноменологическая теория быстрых движений гранулированной среды, основанная на методах статистической механики. / И. В. Ширко, В. А. Сахаров // Теор. основы хим. технол. – 1987 – №5 , Т 21. – С. 661.
122. Штуков Н. К. Влияние параметров шнека на осевую скорость транспортируемого материала : автореферат дис. на здобуття наук. ступення канд. техн. наук : 05.05.05. «Підіймально – транспортні машини» / Н. К. Штуков. – Харків, 1969. – 22 с.
123. Штуков Н. К. Варианты уравнений для исследования осевого перемещения частиц в шнеках / Н. К. Штуков, А. М. Григорьев // В кн. : Исследования по механизации электрификации сельского хозяйства. – 1968. – С. 94 – 105.
124. Щербаков А. С. О различии понятий «коэффициент производительности» и «коэффициент наполнения» винтового конвейера Новое в технике и технологии добыче торфа и комплексном его использовании / А. С. Щербаков // Труды ВНИИТП, восп. 37. – Л., 1976. – С. 49-52.
125. Щербаков А. С. Исследование влияния конструктивных факторов на производительность быстроходных винтовых конвейеров / А. С. Щербаков, А. С. Левитин // Строительные и дорожные машины. – Ярославль, 1980. – Вып. 4. – С.83-88.
126. Юзов В. И. Исследования процесса загрузки вертикального винтового конвеера для портовых перегрузочных машин: дис. ... канд. тех. наук. /В. И. Юзов. – Л. : ЛИВТ, 1985. – 188 с.

127. Юзов В. И. Результаты экспериментальных исследований вертикального винтового конвейера с высокой степенью заполнения транспортирующей системы. Совершенствование технологии перегрузочных работ и методы расчёта портовых подъемно-транспортной техники. / В. И. Юзов // Сб. науч. трудов Ленинград. ин-т. водн. тр-та, вып. 139. – Л. : Транспорт, 1985. – С. 122 -127.

128. Ярошенко В. Ф. Уточнения коефіцієнту заповнення міжвиткового простору горизонтального гвинтового транспортера / В. Ф. Ярошенко, В. М. Білоножко, В. В. Петровський // Науковий вісник НАУ. – 2002. – № 49. – С. 380 - 384.

129. Mc Kelvey J.M. : Polymer Proceseimg. New York : John Wiley A. Sons, Inc. 1962.

130. De Jossellinde de Jong G. Statics and kinematics in the failable zone of a granular material. Delft – Waltman, 1959.

131. Fernandezi J. Efefekt of screw design on hopper draw down by a horizontal screw feeder /J. Fernandezi, P. Cleary, W. McBride // Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO (Melbourne, Australia, 9-11 December 2009).

132. Lake Ekelund. Screw conveyor № 4,717,014 B65G65/16. – Date of Patent: Jan. 5, 1988.

133. Lyashuk O. L. Modelling of the vertical screw conveyer loading / O. L.Lyashuk, O. R. Rogatynska, D. L. Serilko // INMATEH. Agricultural Engineering. – Bucharest, 2015. – vol. 45, no 1. – P. 87-94

134. Nilsson L. - G. On the vertical serew conveyor for non- cohesive buek materials / L. G. Nilsson; Acla polytechnica Scandinavica. – Stokholm, 1971. – 96

135. Rehkugler Gerald E. Screw conveyors – state of the art. Trans. ASAE, 1967, 10, №5, 615–618, 621.

136. Savage S. B. Stresses developede by dry cohesionless granular materials greader in an annular shear call /S. B. Savage, M. Saged //J. Fluid Mech. – 1984. V. 142. P.– 391.

«Додаток А»

Патенти на корисні моделі



УКРАЇНА

(19) (UA)

(11) **7934**

(51) 7 B65G33/00



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

**Деклараційний патент
на корисну модель**

видано відповідно до Закону України
"Про охорону прав на винаходи і корисні моделі"

Голова Державного департаменту
інтелектуальної власності

 **М. Паладій**



(21) 20041210452

(22) 20.12.2004

(24) 15.07.2005

(46) 15.07.2005. Бюл.№ 7

(72) Кожушко Леонід Федорович, Серілко Леонід Степанович, Серілко Дмитро
Леонідович

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

(54) ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР

УКРАЇНА





УКРАЇНА

(19) UA (11) 7934 (13) U

(51) 7 B65G33/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР

1

(21) 20041210452
(22) 20.12.2004
(24) 15.07.2005
(46) 15.07.2005, Бюл. № 7, 2005 р.
(72) Кожушко Леонід Федорович, Серілко Леонід Степанович, Серілко Дмитро Леонідович

2

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
(57) Гвинтовий конвеєр, який складається з корпусу з розміщеним у ньому гвинтом, який відрізняється тим, що в забірній частині гвинт виконаний у вигляді двох співісних частин, які мають різні за напрямком навівки і обертаються в різні боки.

Корисна модель відноситься до підйомно-транспортних машин і може бути використана при завантаженні сипких матеріалів в різних галузях промисловості та сільського господарства.

Відомий вертикальний гвинтовий конвеєр для транспортування сипких матеріалів, який складається з бункера, в якому розміщені забірні частини гвинта та нерухомі напрямляючі лопаті. [1]

Недоліком даного пристрою є те, що він не перешкоджає виникненню відцентрових сил інерції при збільшенні кутової швидкості гвинта. Найбільш близьким за технічною сутністю є відомий шнековий конвеєр, який складається з основного гвинта і розміщеної зовні кожуха гільзи з лопатями, яка обертається в протилежний бік від обертання гвинта. [2]

Недоліком даного пристрою є те, що забезпечуючи необхідний коефіцієнт заповнення він не перешкоджає виникненню відцентрових сил інерції в частинках матеріалу, а отже збільшення продуктивності конвеєра супроводжується значним збільшенням споживаної потужності.

Запропонована корисна модель спрямована на зменшення відцентрових сил, які діють на частинки матеріалу в зоні навантаження, і можуть бути більшими від сил тяжіння, під дією яких матеріал поступає із периферійної зони бункера до гвинта, що дасть змогу збільшити коефіцієнт заповнення, а значить і продуктивність гвинтового конвеєра при тих же енергозатратах.

Для цього у гвинтовому конвеєрі який складається з корпусу з розміщеним в ньому гвинтом, в забірній частині гвинт виконаний у вигляді двох співісних частин які мають різні за напрямком навівки і обертаються в різні боки.

Оскільки забірні частини гвинта виконані у вигляді двох частин, які обертаються в різні боки, то відповідно і частинки матеріалу в бункері будуть мати різні напрямки обертання, тобто будуть взаємно гальмувати одна одну, що призводить до зменшення відцентрових сил інерції в зоні завантаження і відповідно сприятиме збільшенню продуктивності конвеєра при тих же енергозатратах.

На Фіг. представлена схема забірної пристрою.

Забірний пристрій складається з бункера 1, основного гвинта 2, розміщеного в кожусі гвинтового конвеєра 3 і розміщеного співісно з основним гвинтом 2 додаткового гвинта 4, який має в порівнянні з основним гвинтом 2 різні за напрямком навівки. Основний та додатковий гвинти обертаються в різні боки.

Забірний пристрій працює наступним чином: при обертанні гвинтів 2 та 4 їх лопаті захоплюють частинки сипкого матеріалу, який знаходиться в бункері, і транспортують їх в напрямку кожуха. Оскільки основний та додатковий гвинти обертаються в різні боки, то і частинки матеріалу, які знаходяться в бункері вище та нижче площини А-А будуть обертатися внаслідок сил тертя в різні боки

(13) U

(11) 7934

(19) UA

3

7934

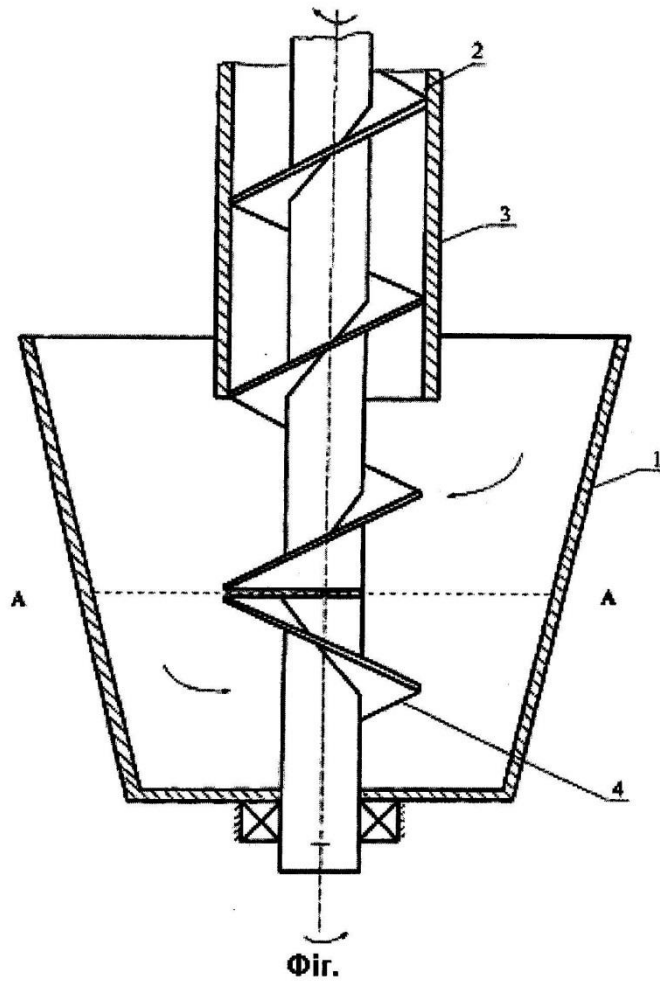
4

і взаємно гальмувати одне одного, що зменшувати-
ме виникнення відцентрових сил інерції, які змен-
шують коефіцієнт заповнення конвеєра.

Використання запропонованого пристрою до-
зволить покращити енергетичні показники процесу
транспортування сипких матеріалів швидкохідни-
ми гвинтовими конвеєрами.

Джерела інформації.

1. А.с СССР №1189754. В65G33/20, 1985.
Б.И.№41.
2. Патент СССР №349153. В65G33/20, 1972.
Б.И.№25.



Комп'ютерна верстка Н. Лисенко

Підписне

Тираж 28 прим.

Міністерство освіти і науки України

Державний департамент інтелектуальної власності, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

УКРАЇНА

UKRAINE



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 29678

ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **25 січня 2008 р.**

Голова Державного департаменту
інтелектуальної власності

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "M.V. Paladiy", is written over the printed name.

М.В. Паладій



(11) **29678**(19) **UA**(51) МПК (2006)
B65G 33/00

-
- (21) Номер заявки: **u 2007 09893**
- (22) Дата подання заявки: **03.09.2007**
- (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.01.2008**
- (46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **25.01.2008, Бюл. № 2**
- (72) Винахідники:
**Рогатинський Роман Михайлович (UA),
Серілко Дмитро Леонідович (UA),
Хижняков Олександр Володимирович (UA)**
- (73) Власник:
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ,
вул.Соборна,11, м.Рівне, 33000,
Україна, UA**
-

(54) Назва корисної моделі:

ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР

(57) Формула корисної моделі:

Гвинтовий конвеєр, який складається з корпусу з розміщеним у ньому гвинтом, який відрізняється тим, що в забірній частині, співвісно гвинту, розміщено ряд кілець, з'єднаних між собою з можливістю здійснення коливального руху в напрямку, паралельному осі гвинта.



УКРАЇНА

(19) UA (11) 29678 (13) U
(51) МПК (2006)
B65G 33/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР

1

2

(21) u200709893

(22) 03.09.2007

(24) 25.01.2008

(72) РОГАТИНСЬКИЙ РОМАН МИХАЙЛОВИЧ, UA,
СЕРІЛКО ДМИТРО ЛЕОНІДОВИЧ, UA, ХИЖНЯ-
КОВ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ, UA

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО
ГОСПОДАРСТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ,
UA

(57) Гвинтовий конвеєр, який складається з корпусу з розміщеним у ньому гвинтом, який відрізняється тим, що в забірній частині, співвісно гвинту, розміщено ряд кілець, з'єднаних між собою з можливістю здійснення коливального руху в напрямку паралельному осі гвинта.

Корисна модель відноситься до підйомно-транспортних машин і може бути використана для транспортування різноманітних сипких матеріалів в різних галузях промисловості та сільського господарства.

Відомий вертикальний гвинтовий конвеєр для транспортування сипких матеріалів, який складається з бункера, в якому розміщені забірні частини гвинта та нерухомі напрямляючі лопаті [1].

Недоліком даного пристрою є те, що він не перешкоджає виникненню відцентрових сил інерції при збільшенні кутової швидкості гвинта, що приводить до зменшення продуктивності гвинтового конвеєра.

Найбільш близьким за технічною сутністю є відомий гвинтовий конвеєр, який складається з корпусу з розміщеним в ньому гвинтом, в забірній частині гвинт виконаний у вигляді двох співвісних частин які мають різні по напрямку навівки і обертаються в різні боки [2].

Недоліком даного пристрою є те, що зменшення відцентрових сил інерції відбувається тільки у зоні, яка розміщена між двома частинами гвинта.

Запропонована корисна модель спрямована на зменшення відцентрових сил, які діють на частинки матеріалу в зоні завантаження, і можуть бути більшими від сил тяжіння, під дією яких матеріал поступає із периферійної зони бункера до гвинта.

Для цього у гвинтовому конвеєрі, який складається з корпусу з розміщеним у ньому гвинтом, в

забірній частині, співвісно гвинту розміщено ряд кілець, з'єднаних між собою з можливістю здійснення коливального руху в напрямку паралельно осі гвинта.

Оскільки кільця здійснюють коливальний рух, то частинки сипкого матеріалу, які рухаються з бункера до гвинта і які перебувають в даний момент часу між кільцями також здійснюють коливальний рух.

Внаслідок цього руху швидкість частинок, які знаходяться між кільцями в середньому значно більша в осьовому напрямку гвинта ніж у радіальному і дотичному напрямках, а отже і сила тертя між цими частинками і частинками, які знаходяться на лопаті гвинта буде максимальною в осьовому напрямку, а значить обертальний рух від гвинта не буде передаватись частинкам, які знаходяться в бункері і тому зменшиться вплив відцентрових сил у зоні завантаження.

На Фіг. представлена схема гвинтового конвеєра.

Гвинтовий конвеєр складається з бункера 1, гвинта 2, розміщеного в корпусі 3 і розміщених співвісно з гвинтом кілець 4, з'єднаних між собою стержнями 5, які приводяться в рух за допомогою вібратора 6.

Гвинтовий конвеєр працює наступним чином: при обертанні гвинта 2 його лопаті захоплюють частинки матеріалу, який знаходиться в бункері 1, і транспортують їх у середину корпусу 3. Ті частинки, які рухаються з бункера 1 до гвинта 2 і знаходяться між кільцями 4, які приводяться в рух за

(13) U

(11) 29678

(19) UA

3

29678

4

допомогою вібратора 6, внаслідок того, що сила тертя в радіальному і дотичному напрямках буде меншою ніж в осьовому напрямку, не будуть обертатися, а значить на них не буде діяти відцентрова сила інерції, яка перешкоджає руху цих частинок з бункера до гвинта.

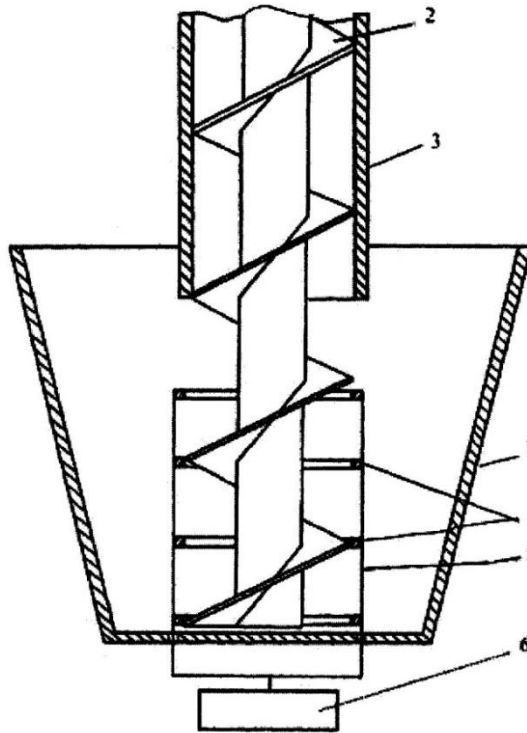
Використання запропонованого пристрою дозволить збільшити коефіцієнт заповнення, а зна-

чить і продуктивність гвинтового конвеєра при тих же енергозатратах.

Джерела інформації.

1. А.с СССР №1189754. В65G33/20, 1985. Б.И. №41.

2. Декларційний патент на корисну модель №7934 В65633/00, 2005, Бюл. №7.



Фіг.

Комп'ютерна верстка Н. Лисенко

Підписне

Тираж 26 прим.

Міністерство освіти і науки України

Державний департамент інтелектуальної власності, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

УКРАЇНА

UKRAINE



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 39080

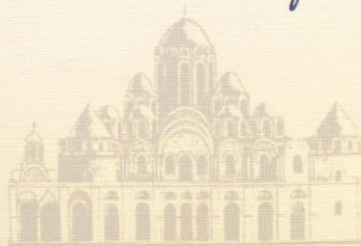
ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **10.02.2009**.

Голова Державного департаменту
інтелектуальної власності

М.В. Паладій



(11) **39080**(19) **UA**(51) **МПК (2009)
B65G 33/00**(21) Номер заявки: **u 2008 06597**(22) Дата подання заявки: **15.05.2008**(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну модель: **10.02.2009**(46) Дата публікації відомостей
про видачу патенту та
номер бюлетеня: **10.02.2009,
Бюл. № 3**

(72) Винахідники:

**Рогатинський Роман
Михайлович (UA),
Серілко Дмитро Леонідович
(UA)**

(73) Власники:

**Рогатинський Роман
Михайлович,
вул. Орлика, 5/30, м. Тернопіль,
46018, Серілко Дмитро
Леонідович,
вул. Черняка, 2, кв. 20, м. Рівне,
33022**

(54) Назва корисної моделі:

ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР

(57) Формула корисної моделі:

Гвинтовий конвеєр, який складається із корпусу з розміщеним в забірній частині основного і додаткового гвинтів, які мають різні за напрямком навівки і обертаються в різні боки, який відрізняється тим, що додатковий гвинт виконаний пустотілим з вікнами, між якими розміщені лопаті, а між основним і додатковим гвинтами розміщений додатковий елемент, який складається з пустотілого циліндра, зовні якого розміщені дві гвинтові лопаті, які утворюють два гвинтові канали, один з яких служить для транспортування сипкого матеріалу із забірного бункера до внутрішньої частини додаткового гвинта, а другий - для транспортування матеріалу із лопаті додаткового гвинта на лопать основного.



УКРАЇНА

 (19) UA (11) 39080 (13) U
 (51) МПК (2009)
 B65G 33/00

 МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
 І НАУКИ УКРАЇНИ
 ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ

 ОПИС
 ДО ПАТЕНТУ
 НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

 Видається під
 відповідальність
 власника
 патенту

(54) ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР

1

(21) u200806597
 (22) 15.05.2008
 (24) 10.02.2009
 (46) 10.02.2009, Бюл.№ 3, 2009 р.
 (72) РОГАТИНСЬКИЙ РОМАН МИХАЙЛОВИЧ, UA,
 СЕРІЛКО ДМИТРО ЛЕОНІДОВИЧ, UA
 (73) РОГАТИНСЬКИЙ РОМАН МИХАЙЛОВИЧ, UA,
 СЕРІЛКО ДМИТРО ЛЕОНІДОВИЧ, UA
 (57) Гвинтовий конвеєр, який складається із корпусу з розміщеним в забірній частині основного і додаткового гвинтів, які мають різні за напрямком навівки і обертаються в різні боки, який **відрізня-**

2

ється тим, що додатковий гвинт виконаний пустотілим з вікнами, між якими розміщені лопаті, а між основним і додатковим гвинтами розміщений додатковий елемент, який складається з пустотілого циліндра, зовні якого розміщені дві гвинтові лопаті, які утворюють два гвинтові канали, один з яких служить для транспортування сипкого матеріалу із забірної бункера до внутрішньої частини додаткового гвинта, а другий - для транспортування матеріалу із лопаті додаткового гвинта на лопать основного.

Корисна модель відноситься до підйомно-транспортних машин і може бути використана для транспортування різноманітних сипких матеріалів в різних галузях промисловості та сільського господарства.

Відомий вертикальний гвинтовий конвеєр для транспортування сипких матеріалів, який складається з бункера, в якому розміщені забірна частина гвинта та нерухомі напрямляючі лопаті [1]. Недоліком даного пристрою є те, що він не перешкоджає виникненню відцентрових сил інерції при збільшенні кутової швидкості гвинта.

Найбільш близьким за технічною сутністю є відомий гвинтовий конвеєр, який складається з корпусу з розміщеним на ньому гвинтом, в забірній частині гвинт виконаний у вигляді двох співосних частин які мають різні по напрямку навівки і обертаються в різні боки [2].

Недоліком даного пристрою є те, що він зменшує вплив відцентрових сил лише в зоні, яка розділяє дві частини гвинта.

Для цього у гвинтовому конвеєрі, який складається із корпусу з розміщеним в забірній частині основного і додаткового гвинтів, які мають різні за напрямком навівки і обертаються в різні боки, додатковий гвинт виконаний пустотілим, з вікнами, між якими розміщені лопаті, а між основним і додатковим гвинтами розміщений додатковий елемент, який складається з пустотілого циліндра, зовні якого розміщені дві гвинтові лопаті які утворюють два гвинтові канали, один з яких служить для транспортування сипкого матеріалу із забірної бункера до внутрішньої частини додаткового

гвинта, а другий - для транспортування матеріалу із лопаті додаткового гвинта на лопать основного.

Оскільки сипкий матеріал потрапляє в середину додаткового гвинта, то відцентрові сили не впливають на зменшення коефіцієнта заповнення гвинтового конвеєра, що позитивно впливає на енергетичні показники процесу транспортування.

На Фіг.1 представлена схема гвинтового конвеєра.

Гвинтовий конвеєр складається з бункера 1, основного гвинта 2, розміщеного в корпусі гвинтового конвеєра 3 і розміщеного співосно з основним гвинтом 2 додатково пустотілого гвинта 4, з вікнами 5, між якими розміщені лопаті 6, та гвинтовою лопаттю 7. Між основним та додатковими гвинтами розміщений додатковий елемент, який складається з пустотілого циліндра 8, зовні якого розміщені дві гвинтові лопаті 9 та 10, які утворюють два гвинтові канали, один з яких служить для транспортування сипкого матеріалу із забірної бункера 1 в середину додаткового гвинта 4, а другий для транспортування матеріалу із лопаті 7 на лопать гвинтового конвеєра 8.

Гвинтовий конвеєр працює наступним чином: сипкий матеріал із бункера 1 через гвинтовий канал потрапляє на лопаті 6 гвинта 4 і внаслідок відцентрових сил інерції рухається через вікна 5 і попадає на лопать 7, яка транспортує його до гвинтового каналу який має таку ж по напрямку навівку як і основний гвинт. По інерції матеріал рухається по гвинтовому каналу і потрапляє на лопаті основного гвинта 2, який транспортує його до вантажувального патрубку.

(19) UA (11) 39080 (13) U

3

39080

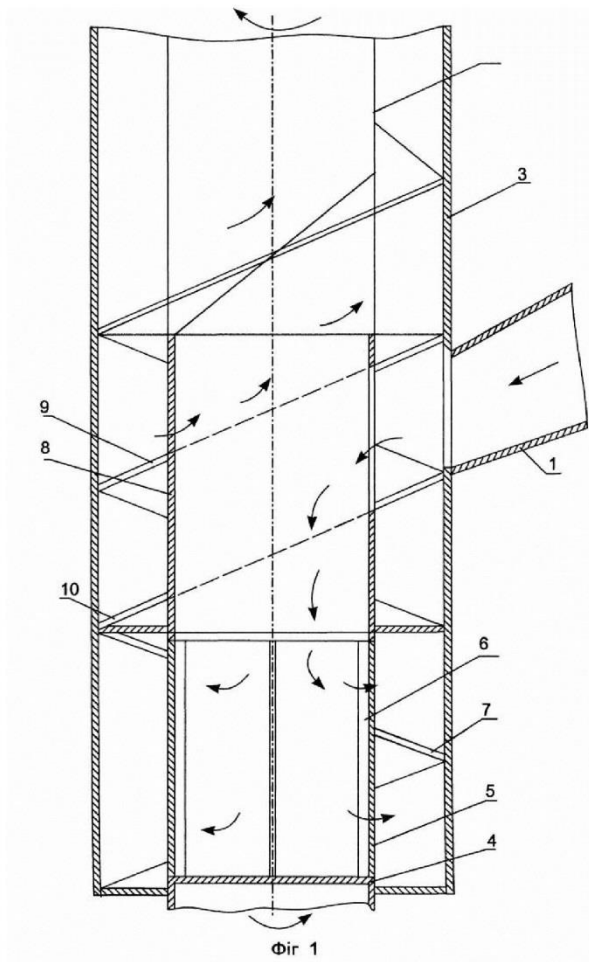
4

Використання запропонованого пристрою дозволить покращити енергетичні показники процесу транспортування сипких матеріалів швидкохідними гвинтовими конвеєрами.

Джерела інформації:

1. А.с СССР №1189754. В65G33/20, 1985. Б.И.№41.

2. Декларацийний патент на корисну модель №7934 В65633/00, 2005, Бюл. №7.



Комп'ютерна верстка Л.Лигвиненко

Підписне

Тираж 28 прим.

Міністерство освіти і науки України

Державний департамент інтелектуальної власності, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

УКРАЇНА

UKRAINE



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 49764

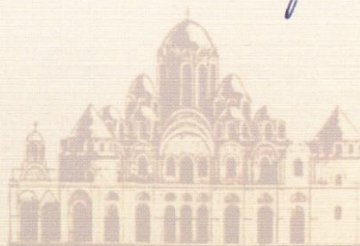
ЗАБІРНИЙ ПРИСТРІЙ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зарєєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **11.05.2010**.

Голова Державного департаменту
інтелектуальної власності

М.В. Паладій



(11) 49764**(19) UA****(51) МПК (2009)
B65G 33/00**

(21) Номер заявки:	u 2009 11814	(72) Винахідники:
(22) Дата подання заявки:	19.11.2009	Рогатинський Роман Михайлович, UA, Серілко Леонід Степанович, UA, Серілко Дмитро Леонідович, UA
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	11.05.2010	(73) Власник:
(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня:	11.05.2010, Бюл. № 9	НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ, вул.Соборна,11, м.Рівне, 33000, UA

(54) Назва корисної моделі:**ЗАБІРНИЙ ПРИСТРІЙ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА****(57)** Формула корисної моделі:

Забірний пристрій, що складається з корпусу, нижня частина якого розширена, гвинта з валом, нижня частина якого також розширена, який відрізняється тим, що нижня частина корпусу опущена в додатковий бункер, який встановлений з можливістю коливання у вертикальній площині.



УКРАЇНА

 (19) UA (11) 49764 (13) U
 (51) МПК (2009)
 B65G 33/00

 МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
 І НАУКИ УКРАЇНИ

 ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ

**ОПИС
 ДО ПАТЕНТУ
 НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

 видається під
 відповідальність
 власника
 патенту

(54) ЗАБІРНИЙ ПРИСТРІЙ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА

1

(21) u200911814
 (22) 19.11.2009
 (24) 11.05.2010
 (46) 11.05.2010, Бюл.№ 9, 2010 р.
 (72) РОГАТИНСЬКИЙ РОМАН МИХАЙЛОВИЧ,
 СЕРІЛКО ЛЕОНІД СТЕПАНОВИЧ, СЕРІЛКО ДМИ-
 ТРО ЛЕОНІДОВИЧ

2

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО
 ГОСПОДАРСТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
 (57) Забірний пристрій, що складається з корпусу,
 нижня частина якого розширена, гвинта з валом,
 нижня частина якого також розширена, який відрі-
 зняється тим, що нижня частина корпусу опущена
 в додатковий бункер, який встановлений з можли-
 вістю коливання у вертикальній площині.

Корисна модель належить до підйомно-
 транспортних машин і може бути використана для
 транспортування різноманітних сипких матеріалів
 в різних галузях промисловості та сільського гос-
 подарства.

Відомий забірний пристрій гвинтового конвеє-
 ра, який складається з корпусу із розширеною по-
 чатковою частиною та розширеним пустотілим
 гвинтом, який має вікна і розміщені між ними лопа-
 ті [1].

Недоліком даного пристрою є те, що він може
 працювати тільки при горизонтальному положенні
 гвинтового конвеєра.

Найбільш близьким за технічною сутністю є
 відомий забірний пристрій гвинтового конвеєра,
 який складається з корпусу, нижня частина якого
 розширена, гвинта з валом, нижня частина якого
 теж пустотіла і розширена, та має вікна з розта-
 шованими між ними лопатями. Всередині розши-
 реної частини вала розміщений додатковий гвинт,
 обертання якого здійснюється від фрикційної або
 зубчатої передачі [2].

Недоліком даного пристрою є зменшення ко-
 ефіцієнта заповнення, а отже і продуктивності гви-
 нтового конвеєра, внаслідок виникнення відцент-
 рових сил інерції в частинах матеріалу, які
 знаходяться біля кромок додаткового гвинта, при
 значних кутівих швидкостях.

Запропонована корисна модель спрямована
 на збільшення коефіцієнта заповнення і відповідно
 продуктивності вертикального гвинтового конвеє-
 ра, а також зменшення споживання потужності
 шляхом усунення відцентрових сил інерції в час-
 тинах матеріалу, які знаходяться біля кромок гви-
 нта конвеєра.

Для цього забірний пристрій, який складається
 з корпусу, нижня частина якого розширена, гвинта
 з валом, нижня частина якого також розширена,
 відрізняється тим, що нижня частина корпусу опу-
 щена в додатковий бункер, який встановлений з
 можливістю коливання. Оскільки додатковий бун-
 кер здійснює коливальний рух, то частинки сипкого
 матеріалу, які знаходяться в додатковому бункері,
 при певному співвідношенні частоти та амплітуди
 переходять у псевдозріджений стан і під дією гід-
 ростатичного тиску потрапляють всередину пусто-
 тілої частини вала гвинта, звідки під дією відцент-
 рової сили інерції проходять через вікна і
 захоплюються лопатями гвинта.

На Фіг. представлена схема гвинтового конвеє-
 ра.

Забірний пристрій гвинтового конвеєра скла-
 дається з корпусу 1, початкова частина 2 якого
 розширена, гвинта 3 з валом 4, початкова частина
 якого 5 пустотіла, розширена і має вікна 6, з роз-
 ташованими між ними лопатями 7. Нижня частина
 забірного пристрою знаходиться в бункері 8, який
 встановлений з можливістю коливання у вертика-
 льній площині за допомогою вібратора 9. Сипкий
 матеріал поступає в додатковий бункер 8 з основ-
 ного бункера 10.

Забірний пристрій працює наступним чином:

При коливанні додаткового бункера 8, за до-
 помогою вібратора 9, сипкий матеріал, який зна-
 ходиться в бункері 8, переходить у псевдозрідже-
 ний стан і під дією гідростатичного тиску
 потрапляє в пустотілу частину гвинта 5, де захоп-
 люється лопатями 7. Під дією відцентрових сил
 матеріал рухається по лопатях 7, проходить через

(19) UA (11) 49764 (13) U

3

49764

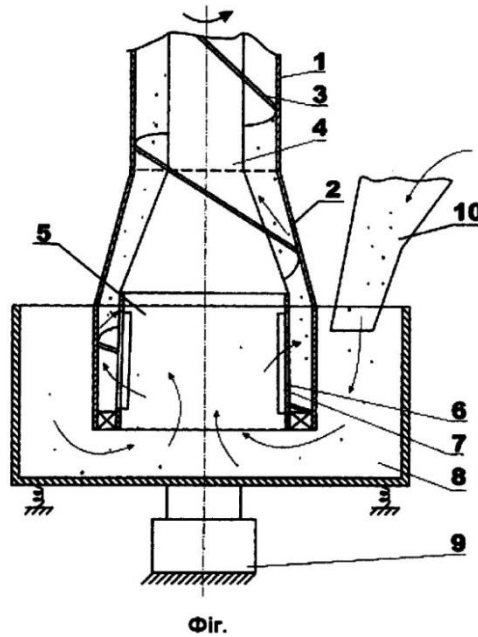
4

вікна 6, захоплюється лопатями гвинта 3, і транспортується до вивантажувального патрубку.

Використання запропонованого пристрою дозволить збільшити коефіцієнт заповнення, а значить і продуктивність гвинтового конвеєра при тих же енергозатратах.

Джерела інформації.

1. А.с СССР №1468825. В65G33/24, 1989. Бюл. №12.
2. А.с СССР №1715683. В65G33/24, 1992. Бюл. №8.



Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

Підписне

Тираж 26 прим.

Міністерство освіти і науки України

Державний департамент інтелектуальної власності, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



(11) **69213**(19) **UA**(51) МПК
B65G 33/14 (2006.01)

(21) Номер заявки: **u 2011 11229**
 (22) Дата подання заявки: **21.09.2011**
 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.04.2012**
 (46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **25.04.2012, Бюл. № 8**

(72) Винахідники:
Рогатинський Роман Михайлович, UA, Серілко Дмитро Леонідович, UA, Серілко Леонід Степанович, UA

(73) Власник:
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ, вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33000, Україна, UA

(54) Назва корисної моделі:

ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР

(57) Формула корисної моделі:

Гвинтовий конвеєр, що складається із корпусу з розміщеними у ньому основним і додатковим гвинтами, які мають різні за напрямком навівки і обертаються в різні боки, причому додатковий гвинт виконаний пустотілим з вікнами, між якими розміщені лопаті, а між основним і додатковим гвинтами розміщений додатковий елемент, який складається з пустотілого циліндра, зовні якого розміщені дві гвинтові лопаті, які утворюють два гвинтові канали, один з яких служить для транспортування сипкого матеріалу із забірного бункера до внутрішньої частини додаткового гвинта, а другий - для транспортування матеріалу із лопаті додаткового гвинта на лопать основного, який відрізняється тим, що лопаті гвинтового каналу в додатковому елементі нахилені вгору відносно осі вала гвинта.



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **69213** (13) **U**
(51) МПК
B65G 33/14 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2011 11229**
(22) Дата подання заявки: **21.09.2011**
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.04.2012**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **25.04.2012, Бюл.№ 8**

(72) Винахідник(и):
**Рогатинський Роман Михайлович (UA),
Серілко Дмитро Леонідович (UA),
Серілко Леонід Степанович (UA)**
(73) Власник(и):
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33000, Україна
(UA)**

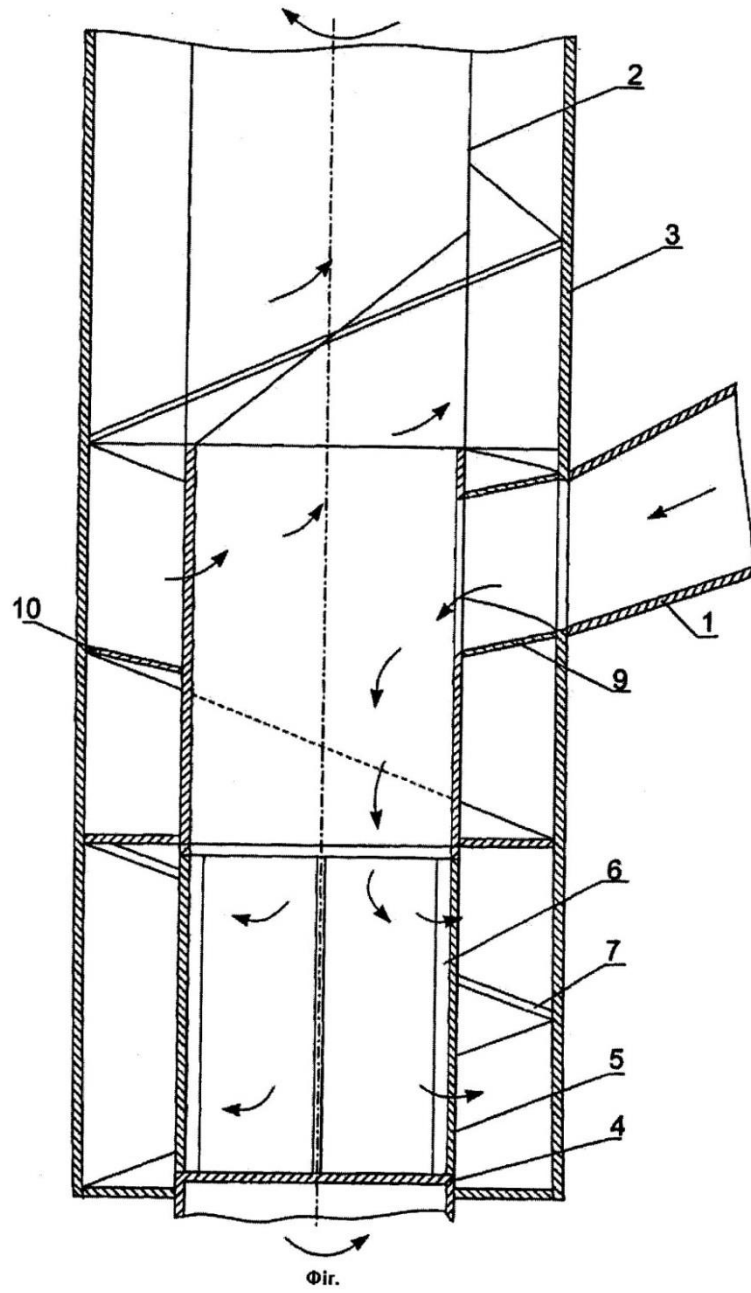
(54) ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР

(57) Реферат:

Гвинтовий конвеєр складається із корпусу з розміщеними у ньому основним і додатковим гвинтами, додатковим елементом. Гвинти мають різні за напрямком навивки і обертаються в різні боки. Додатковий елемент складається з пустотілого циліндра, зовні якого розміщені дві гвинтові лопаті, які утворюють два гвинтові канали, лопаті гвинтового каналу в додатковому елементі нахилені вгору відносно осі вала гвинта.

UA 69213 U

UA 69213 U



UA 69213 U

Корисна модель належить до підйомно-транспортних машин і може бути використана для транспортування різноманітних сипких матеріалів в різних галузях промисловості та сільського господарства.

5 Відомий вертикальний гвинтовий конвеєр, який складається з корпусу з розміщеним на ньому гвинтом, в забірній частині гвинт виконаний у вигляді двох співвісних частин, які мають різні по напрямку навивки і обертаються в різні боки [1].

Недоліком даного пристрою є те, що він зменшує вплив відцентрових сил лише в зоні, яка розділяє дві частини гвинта.

10 Найбільш близьким за технічною суттю є відомий гвинтовий конвеєр [2], який складається з корпусу з розміщеними в забірній частині основного і додаткового гвинтів, які мають різні за напрямком навивки і обертаються в різні боки, додатковий гвинт виконаний пустотілим, з вікнами, між якими розміщені лопаті, а між основним і додатковим гвинтами розміщений додатковий елемент, який складається з пустотілого циліндра, зовні якого розміщені дві

15 гвинтові лопаті, які утворюють два гвинтові канали, один з яких служить для транспортування сипкого матеріалу із забірної бункера до внутрішньої частини додаткового гвинта, а другий - для транспортування матеріалу із лопаті додаткового гвинта на лопать основного.

Недоліком даного пристрою є наявність сили тертя між частинками матеріалу і кожухом

20 гвинта в гвинтовому каналі додаткового елемента, яка знижує енергетичні показники процесу транспортування сипкого матеріалу в гвинтових конвеєрах.

Задачею корисної моделі є зменшення сили тертя між частинками матеріалу і кожухом

25 гвинта в гвинтовому каналі додаткового елемента, яка знижує енергетичні показники процесу транспортування сипкого матеріалу в гвинтових конвеєрах.

Поставлена задача вирішується тим, що у гвинтовому конвеєрі, який складається із корпусу

30 з розміщеним в ньому основним і додатковим гвинтами, які мають різні за напрямком навивки і обертаються в різні боки, причому додатковий гвинт виконаний пустотілим з вікнами, між якими розміщені лопаті, а між основним і додатковим гвинтами розміщений додатковий елемент, який складається з пустотілого циліндра, зовні якого розміщені дві гвинтові лопаті, які утворюють два гвинтові канали, один з яких служить для транспортування сипкого матеріалу із забірної

35 бункера до внутрішньої частини додаткового гвинта, а другий - для транспортування матеріалу із лопаті додаткового гвинта на лопать основного, лопаті гвинтового каналу в додатковому елементі нахилені вгору відносно осі вала гвинта.

В запропонованій конструкції гвинтового конвеєра лопаті гвинтового каналу нахилені вгору

40 відносно осі вала гвинта і сила тяжіння зменшує силу тиску частинок матеріалу від відцентрової сили інерції, а отже і силу тертя, внаслідок чого покращуються енергетичні показники процесу транспортування сипких матеріалів гвинтовим конвеєром.

На кресленні представлена схема гвинтового конвеєра.

45 Гвинтовий конвеєр складається з бункера 1, основного гвинта 2, розміщеного в корпусі гвинтового конвеєра 3 і розміщеного співвісно з основним гвинтом 2 додатково пустотілого гвинта 4, з вікнами 5, між якими розміщені лопаті 6, та гвинтовою лопаттю 7. Між основним та

50 додатковими гвинтами розміщений додатковий елемент, який складається з пустотілого циліндра 8, зовні якого розміщені дві гвинтові лопаті 9 та 10, які нахилені вгору по вертикалі до вала гвинта і утворюють два гвинтові канали, один з яких служить для транспортування сипкого матеріалу із забірної бункера 1 всередину додаткового гвинта 4, а другий для транспортування матеріалу із лопаті 7 на лопать гвинтового конвеєра 8.

Гвинтовий конвеєр працює наступним чином: сипкий матеріал із бункера 1 через гвинтовий

55 канал потрапляє на лопаті 6 гвинта 4 і за допомогою відцентрових сил інерції рухається через вікна 5 і попадає на лопать 7, яка транспортує його до гвинтового каналу, який має таку ж по напрямку навивку як і основний гвинт. По інерції матеріал рухається по гвинтовому каналу і потрапляє на лопаті основного гвинта 2, який транспортує його до вивантажувального патрубку.

Використання запропонованого пристрою зменшить силу тертя між матеріалом, який

транспортується, і кожухом гвинта, а отже і споживану потужність вертикального швидкохідного

гвинтового конвеєра.

Джерела інформації.

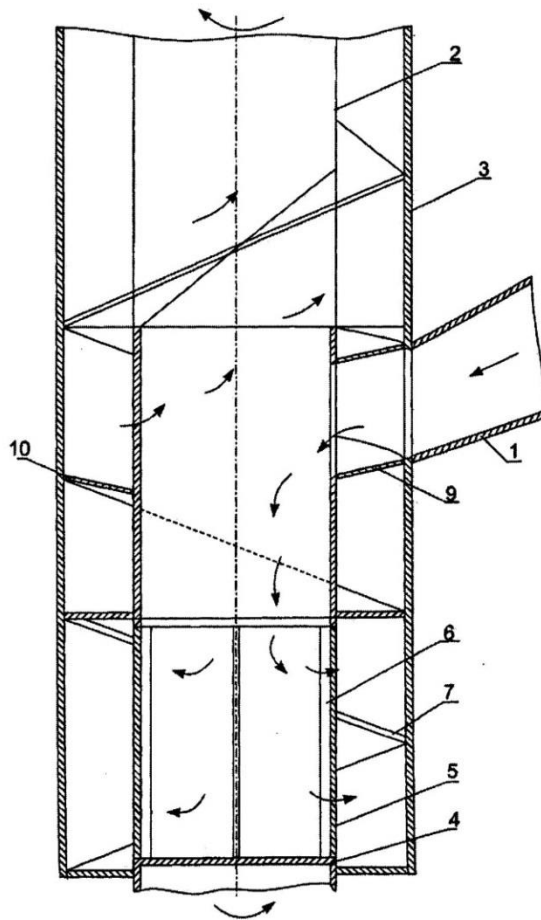
55 1. Деклараційний патент на корисну модель № 7934 В6533/00, 2005, Бюл. № 7.

2. Деклараційний патент на корисну модель № 39080 В6533/00, 2009, Бюл. № 3.

UA 69213 U

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- Гвинтовий конвеєр, що складається із корпуса з розміщеними у ньому основним і додатковим гвинтами, які мають різні за напрямком навівки і обертаються в різні боки, причому додатковий гвинт виконаний пустотілим з вікнами, між якими розміщені лопаті, а між основним і додатковим гвинтами розміщений додатковий елемент, який складається з пустотілого циліндра, зовні якого розміщені дві гвинтові лопаті, які утворюють два гвинтові канали, один з яких служить для транспортування сипкого матеріалу із забірного бункера до внутрішньої частини додаткового гвинта, а другий - для транспортування матеріалу із лопаті додаткового гвинта на лопаті основного, який відрізняється тим, що лопаті гвинтового каналу в додатковому елементі нахилені вгору відносно осі вала гвинта.



Комп'ютерна верстка В. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ - 42, 01601





ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **97258** (13) **U**
(51) МПК (2015.01)
B65G 33/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2014 08721</p> <p>(22) Дата подання заявки: 01.08.2014</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.03.2015</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.03.2015, Бюл.№ 5</p>	<p>(72) Винахідник(и): Рогатинський Роман Михайлович (UA), Серілко Леонід Степанович (UA), Серілко Дмитро Леонідович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ, вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33000 (UA)</p>
---	--

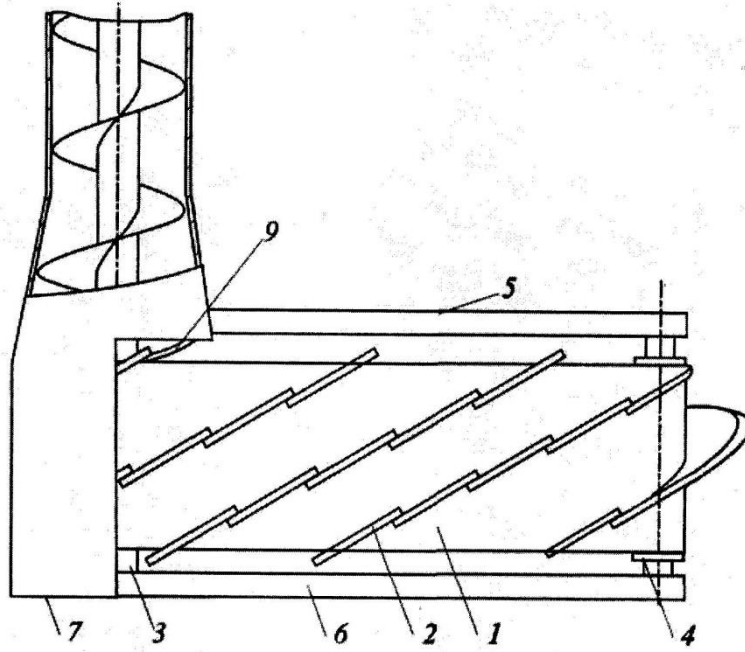
(54) ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР

(57) Реферат:

Гвинтовий конвеєр, забірня частина якого складається з нескінченної стрічки з лопатями, яка огинає вал гвинта та натяжний барабан. Між забірною частиною та основним гвинтом встановлений конічний шнек. Діаметр гвинта в забірній та основній частині вибрано за умови рівності продуктивності забірної і основної частин гвинтового конвеєра.

UA 97258 U

UA 97258 U



Фиг. 1

UA 97258 U

Корисна модель належить до підйомно-транспортних машин і може бути використана для завантаження сипких матеріалів в різних галузях промисловості та сільського господарства.

Відомий шнековий конвеєр, який складається з основного гвинта і розміщеної зовні кожуха гільзи з лопатями, яка обертається в протилежний бік від обертання гвинта [1].

5 Недоліком даного пристрою є те, що забезпечуючи необхідний коефіцієнт заповнення, він не перешкоджає виникненню відцентрових сил інерції в частинках матеріалу які знаходяться в бункері, а отже збільшення продуктивності конвеєра супроводжується значним збільшенням споживаної потужності.

10 Найбільш близьким за технічною суттю є гвинтовий конвеєр, забірна частина якого складається з нескінченної стрічки з лопатями, яка огинає вал гвинта та натяжний барабан, при цьому лопаті виконані з декількох частин і закріплені на стрічці з кутром нахилу і кроком, який дорівнює кроку і куту нахилу гвинтової поверхні конвеєра [2].

15 Недоліком даного пристрою є періодичне, тобто нерівномірне завантаження гвинтового каналу конвеєра, що призводить до зниження його коефіцієнта заповнення, а отже і продуктивності.

Запропонована корисна модель спрямована на усунення нерівномірності завантаження гвинтового каналу конвеєра, яка зменшує коефіцієнт заповнення і відповідно продуктивність вертикального гвинтового конвеєра.

20 Для цього у гвинтовому конвеєрі, забірна частина якого складається з нескінченної стрічки з лопатями, яка огинає вал гвинта та натяжний барабан, між забірною частиною та основним гвинтом встановлений конічний шнек, причому діаметр гвинта в забірній та основній частині вибрано з умови рівності продуктивності забірної і основної частин гвинтового конвеєра.

25 Оскільки діаметр гвинта в забірній частині більший від діаметра основного гвинта, то незважаючи на періодичне завантаження гвинта в забірній частині, основний гвинт буде мати необхідний коефіцієнт заповнення, а отже гвинтовий конвеєр транспортуватиме сипкий матеріал з оптимальною продуктивністю при заданих його геометричних параметрах та частоті обертання гвинта.

На Фіг. 1 представлений загальний вигляд гвинтового конвеєра, на Фіг. 2 - вигляд зверху.

30 Гвинтовий конвеєр складається з нескінченної стрічки 1 на якій встановлені лопаті 2. Стрічка огинає вал гвинта конвеєра 3 та натяжний барабан 4, вісь якого встановлена з можливістю обертатися в опорах кронштейнів 5, 6, які з'єднані із кожухом 7 гвинтового конвеєра. Між основним гвинтом 8 та забірною частиною встановлений конічний шнек 9. Кут нахилу і крок лопаті 2 дорівнюють куту нахилу і кроку конічного шнека 9.

35 Гвинтовий конвеєр працює наступним чином. При обертанні вала 3 починає рухатися стрічка 1 з лопатями 2, які занурені в сипкий матеріал, який під дією сили тяжіння заповнює простір між лопатями 2. При переході частинки матеріалу через лінію дотику стрічки 1 і вала 3, вони під дією відцентрової сили притискаються до кожуха гвинтового конвеєра, і внаслідок дії сили тертя починають рухатися вздовж стрічки 2 та потім переходять на гвинтову поверхню конусного шнека 9, яка переміщує сипкий матеріал до основного гвинта.

40 Використання запропонованого пристрою дозволяє збільшити коефіцієнт заповнення гвинтового конвеєра та покращує енергетичні показники процесу транспортування сипких матеріалів швидкохідними гвинтовими конвеєрами.

1. Патент СССР № 349153, кл. В65G33/20, 1972. Б.И. № 25.

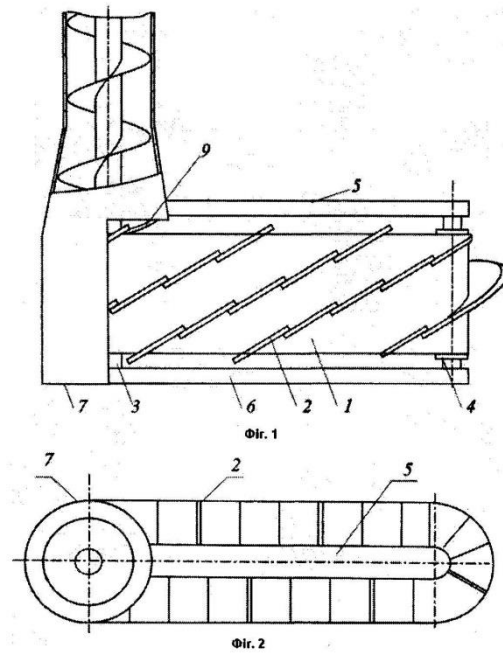
2. А.с СССР № 1808797, кл. В65G33/24, 1993. Б.И. № 14.

45

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

50 Гвинтовий конвеєр, забірна частина якого складається з нескінченної стрічки з лопатями, яка огинає вал гвинта та натяжний барабан, який відрізняється тим, що між забірною частиною та основним гвинтом встановлений конічний шнек, причому діаметр гвинта в забірній та основній частині вибрано за умови рівності продуктивності забірної і основної частин гвинтового конвеєра.

UA 97258 U



Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

(11) **97258**(19) **UA**(51) МПК (2015.01)
B65G 33/00

- (21) Номер заявки: **u 2014 08721**
- (22) Дата подання заявки: **01.08.2014**
- (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.03.2015**
- (46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **10.03.2015, Бюл. № 5**

(72) Винахідники:
Рогатинський Роман Михайлович, UA, Серілко Леонід Степанович, UA, Серілко Дмитро Леонідович, UA

(73) Власник:
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ, вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33000, UA

(54) Назва корисної моделі:

ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР

(57) Формула корисної моделі:

Гвинтовий конвеєр, забірна частина якого складається з нескінченної стрічки з лопатями, яка огинає вал гвинта та натяжний барабан, який відрізняється тим, що між забірною частиною та основним гвинтом встановлений конічний шнек, причому діаметр гвинта в забірній та основній частині вибрано за умови рівності продуктивності забірної і основної частин гвинтового конвеєра.



(11) **98955**(19) **UA**(51) МПК
B65G 33/08 (2006.01)

(21) Номер заявки: **u 2014 13284**
(22) Дата подання заявки: **11.12.2014**
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **12.05.2015**
(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **12.05.2015, Бюл. № 9**

(72) Винахідники:
Рогатинський Роман Михайлович, UA,
Серілко Леонід Степанович, UA,
Рогатинська Лілія Романівна, UA,
Серілко Дмитро Леонідович, UA,
Макарчук Олександр Володимирович, UA

(73) Власник:
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33000, UA

(54) Назва корисної моделі:

ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР

(57) Формула корисної моделі:

Гвинтовий конвеєр, який складається із рухомого кожуха з розміщеним у ньому гвинтом, які обертаються в різні боки, який відрізняється тим, що на поверхні рухомого кожуха встановлена гвинтова лопать, яка має навівку, протилежну до навівки гвинта, і яка знаходиться всередині нерухомого кожуха.



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **98955** (13) **U**
(51) МПК
B65G 33/08 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2014 13284 (22) Дата подання заявки: 11.12.2014 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 12.05.2015 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: 12.05.2015, Бюл.№ 9</p>	<p>(72) Винахідник(и): Рогатинський Роман Михайлович (UA), Серілко Леонід Степанович (UA), Рогатинська Лілія Романівна (UA), Серілко Дмитро Леонідович (UA), Макарчук Олександр Володимирович (UA) (73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ, вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33000 (UA)</p>
---	---

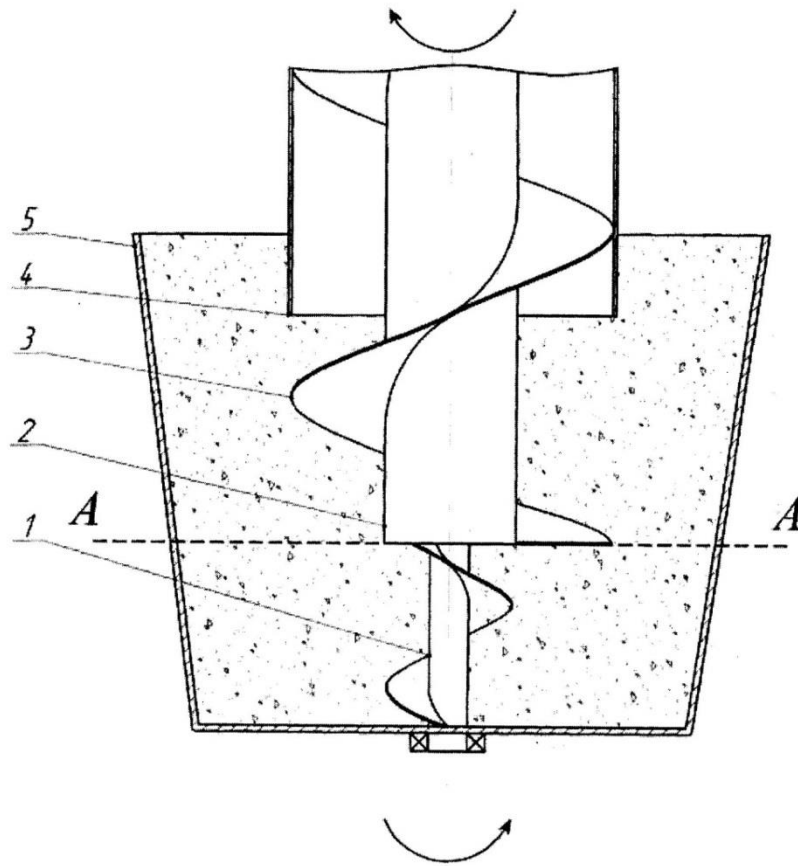
(54) ГВИНТОВИЙ КОНВЕЄР

(57) Реферат:

Гвинтовий конвеєр складається із рухомого кожуха з розміщеним у ньому гвинтом, які обертаються в різні боки. При цьому на поверхні рухомого кожуха встановлена гвинтова лопать, яка має навивку, протилежну до навивки гвинта, і яка знаходиться всередині нерухомого кожуха.

UA 98955 U

UA 98955 U



UA 98955 U

Корисна модель належить до підіймно-транспортних машин і може бути використана для завантаження сипких матеріалів в різних галузях промисловості та сільського господарства.

Відомий гвинтовий конвеєр, який складається з бункера, основного гвинта, розміщеного в кожусі гвинтового конвеєра і розміщеного співвісно з основним гвинтом, додаткового гвинта, який має в порівнянні з основним гвинтом різні напрямки навівки [1].

Недоліком даного пристрою є те, що він зменшує відцентрову силу інерції лише в перерізі, який знаходиться між двома гвинтами.

Найбільш близьким за технічною суттю є гвинтовий конвеєр, який складається з рухомого кожуха, із розміщеним в ньому гвинтом, причому вони обертаються в різні боки [2].

Недоліком даного пристрою є те, що він забезпечує інтенсивне транспортування сипкого матеріалу тільки в зоні, яка прилягає до кожуха конвеєра.

Запропонована корисна модель спрямована на збільшення зони інтенсивного транспортування сипкого матеріалу гвинтовим конвеєром, а отже і його продуктивності.

Поставлена задача вирішується тим, що у гвинтовому конвеєрі, який складається із рухомого кожуха, з розміщеним у ньому гвинтом, які обертаються в різні боки, згідно з корисною моделлю, на поверхні рухомого кожуха встановлена гвинтова лопать, яка має навівку, протилежну до навівки гвинта і яка знаходиться всередині нерухомого кожуха. Оскільки гвинтова лопать встановлена на поверхні рухомого кожуха, то збільшується зона інтенсивного транспортування сипкого матеріалу, а отже і коефіцієнт транспортування, від якого залежить продуктивність гвинтового конвеєра.

На кресленні представлена схема гвинтового конвеєра.

Гвинтовий конвеєр складається з гвинта 1, який розміщений в кожусі 2, на поверхні якого встановлена гвинтова лопать 3, яка має в порівнянні з гвинтом 1 різні напрямки навівки і які обертається в різні боки. Гвинтова лопать 3 знаходиться всередині нерухомого кожуха 4, який розміщений в бункері 5.

Гвинтовий конвеєр працює наступним чином: при обертанні гвинта 1 його лопаті захоплюють частинки сипкого матеріалу, який знаходиться в бункері 5 і транспортують їх в напрямку рухомого кожуха 2. Оскільки кожух 2 також обертається, то гвинтова лопать 3 захоплює частинки матеріалу і транспортує їх в напрямку нерухомого кожуха 4. Оскільки гвинт 1 та кожух 2 обертаються в різні боки, то ті частинки матеріалу, які знаходяться в бункері 5 вище та нижче площини А-А, будуть обертатися в наслідок сил тертя в різні боки і взаємно гальмувати одна одну, що зменшуватиме виникнення відцентрових сил інерції, які негативно впливають на коефіцієнт заповнення гвинтового конвеєра.

Використання даного пристрою дозволить покращити енергетичні показники процесу транспортування сипкого матеріалу, збільшити коефіцієнт транспортування, а отже і продуктивність гвинтового конвеєра. Крім того, оскільки зовнішній кожух не обертається, то покращуються умови техніки безпеки при експлуатації даного пристрою.

Джерела інформації:

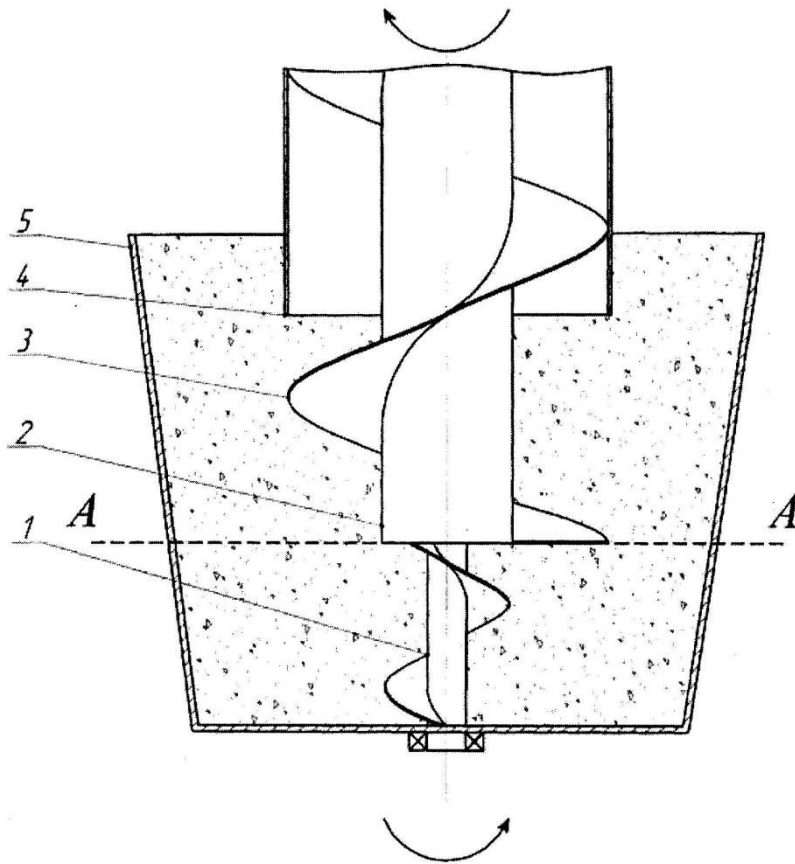
1. Деклараційний патент на корисну модель № 7934. Бюл. № 7 2005 р.

2. Деклараційний патент на корисну модель № 73085. Бюл. № 17 2012 р.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Гвинтовий конвеєр, який складається із рухомого кожуха з розміщеним у ньому гвинтом, які обертаються в різні боки, який відрізняється тим, що на поверхні рухомого кожуха встановлена гвинтова лопать, яка має навівку, протилежну до навівки гвинта, і яка знаходиться всередині нерухомого кожуха.

UA 98955 U



Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

«Додаток Б»

Обладнання для регулювання та вимірювання частоти обертання





«Додаток В»
Акт впровадження у виробництво



ГРУПА КОМПАНІЙ

ТОВ ПП "ІЗОТЕРМ-С"33001, м.Рівне, вул. Дворецька, 128
тел.факс: (0362) 625-664, 625-665www.stolit.ua

Вих. № 117
від "10" березня 2015р.

ДОВІДКА

Видана здобувачу Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Серілку Дмитру Леонідовичу, в тому, що підприємству "Ізотерм С" передана методика розрахунку, забірних пристроїв гвинтових конвеєрів, яка використовується при проектуванні та модернізації транспортно-завантажувальних систем.

Директор з виробництва

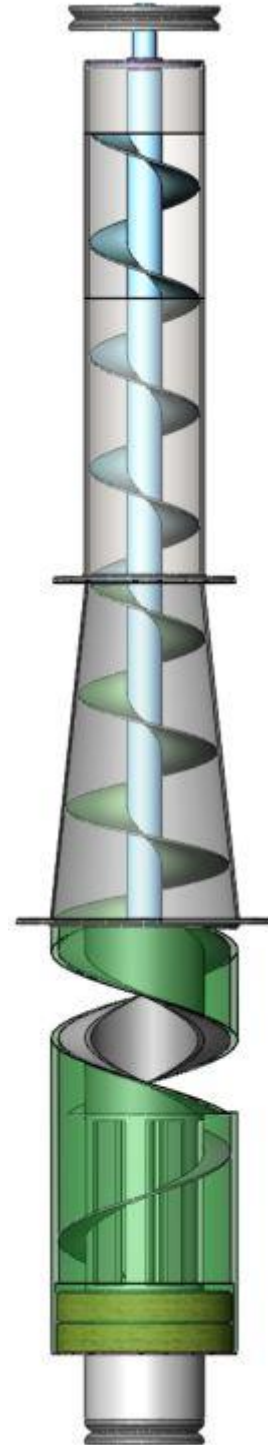
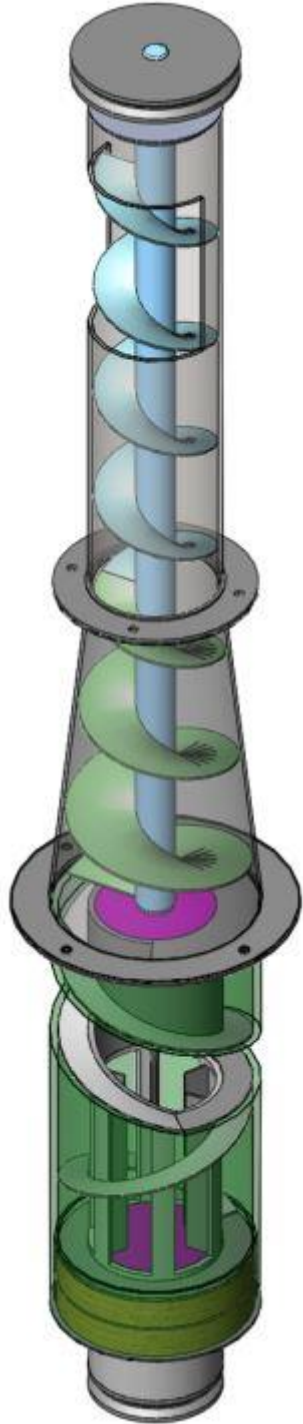


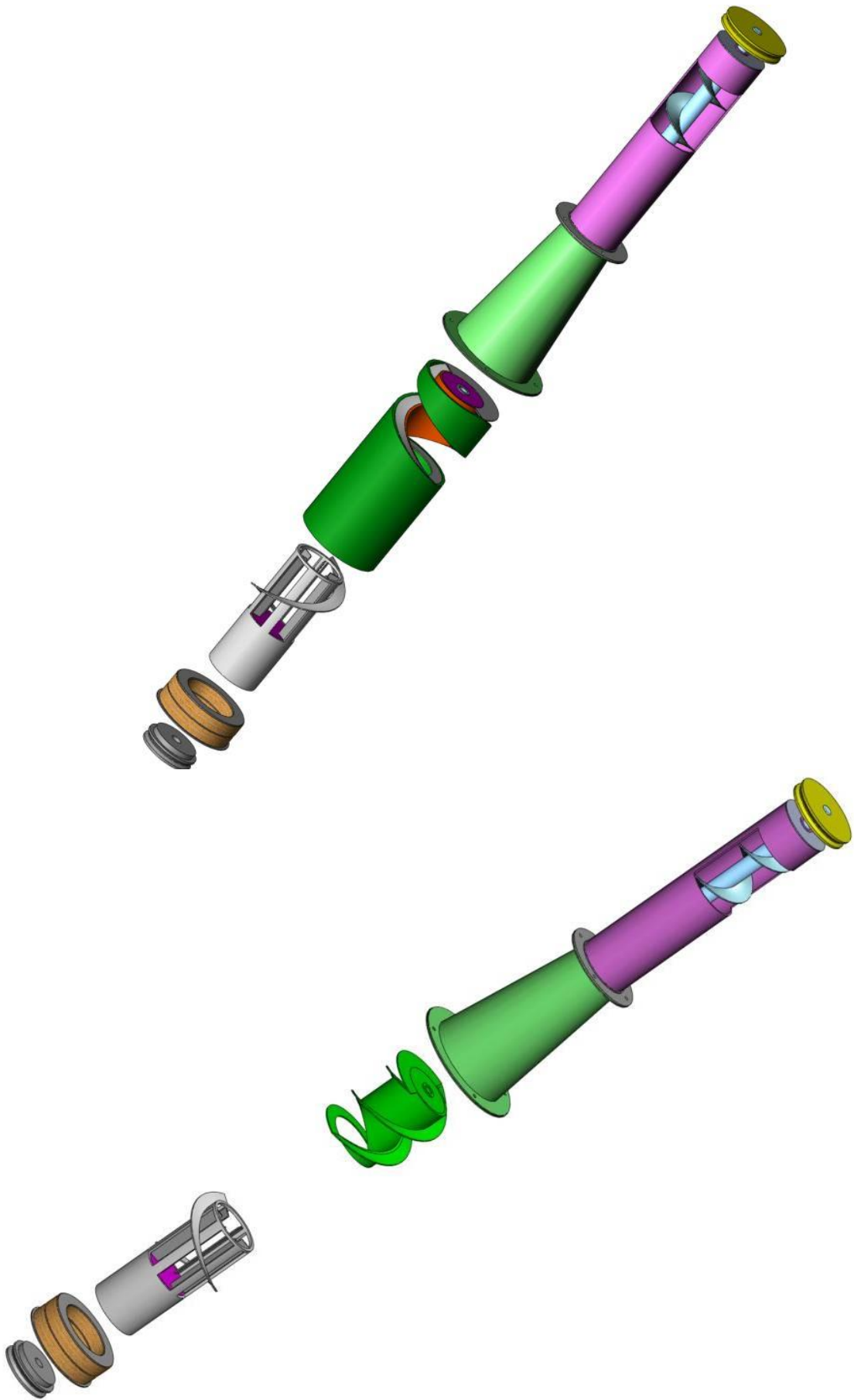
Шумін М.І.

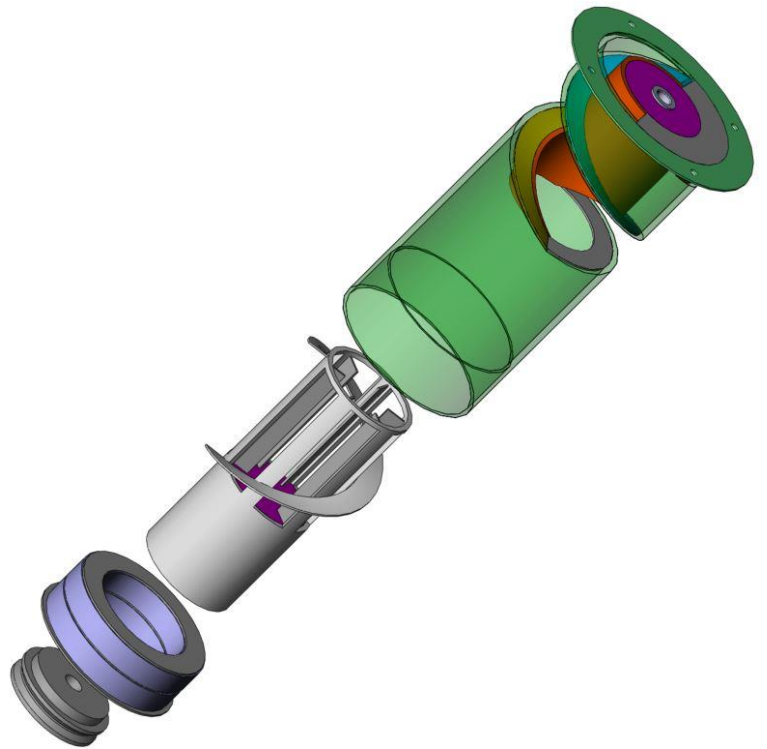
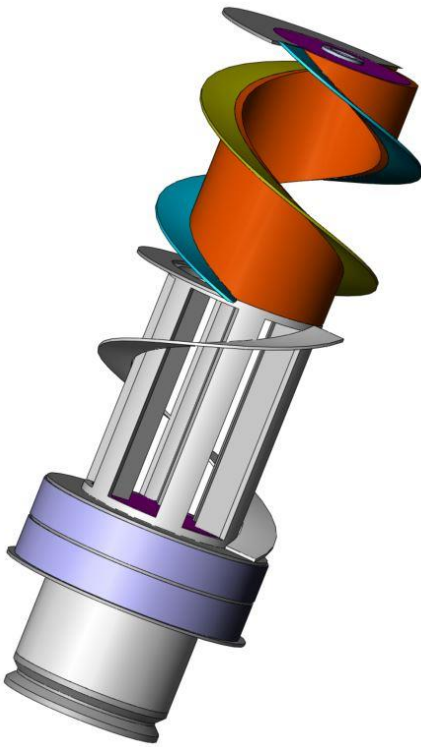
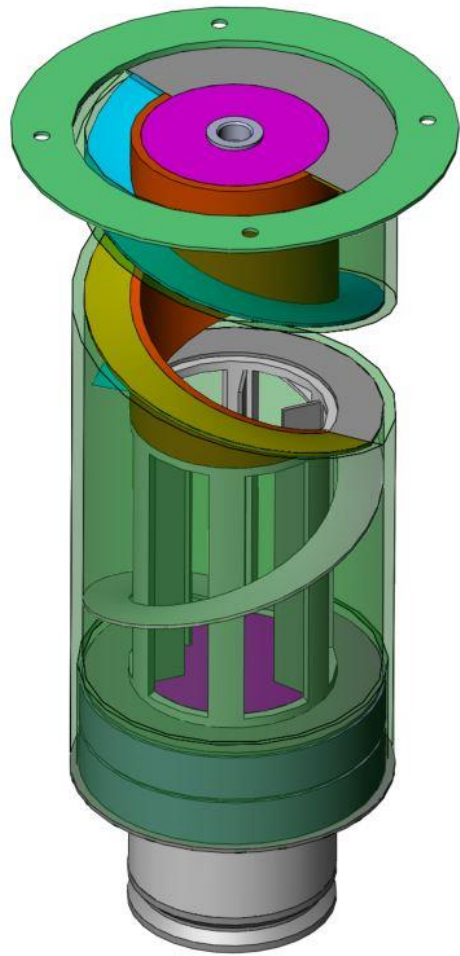
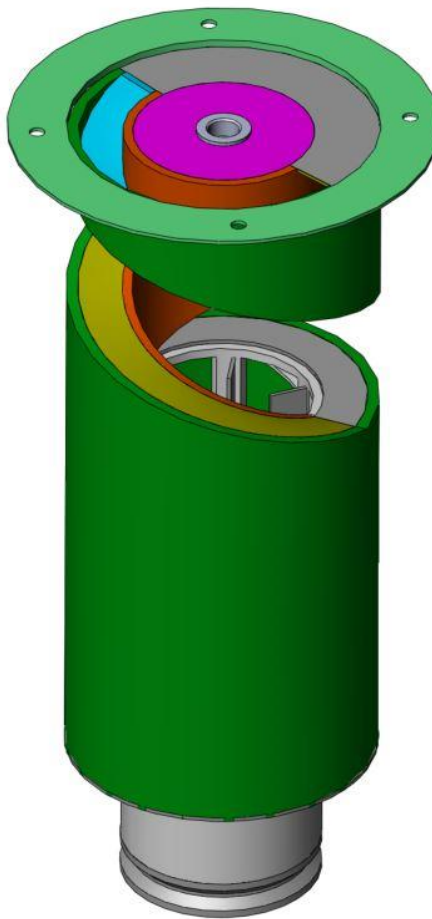
Тов ПП "Ізотерм -С" 33001, Україна, м.Рівне, вул.Дворецька, 128
Р/р 2600690881 в ВАТ АБ «Укргазбанк», відділення РОУ, м. Рівне
МФО 320478, ЄДРПОУ 31960752, Інд.под.№ 319607517160, № свідоцтва 100328048

«Додаток Г»

Комп'ютерні моделі елементів гвинтового конвеєра

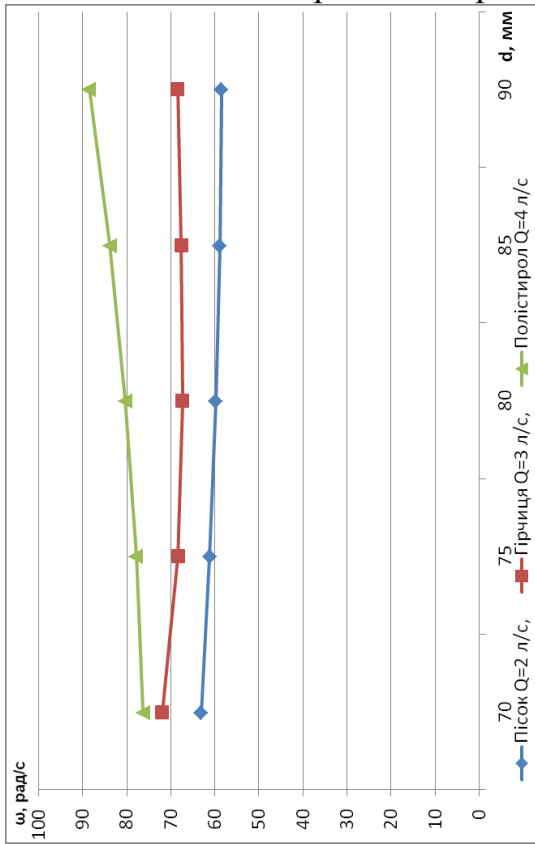




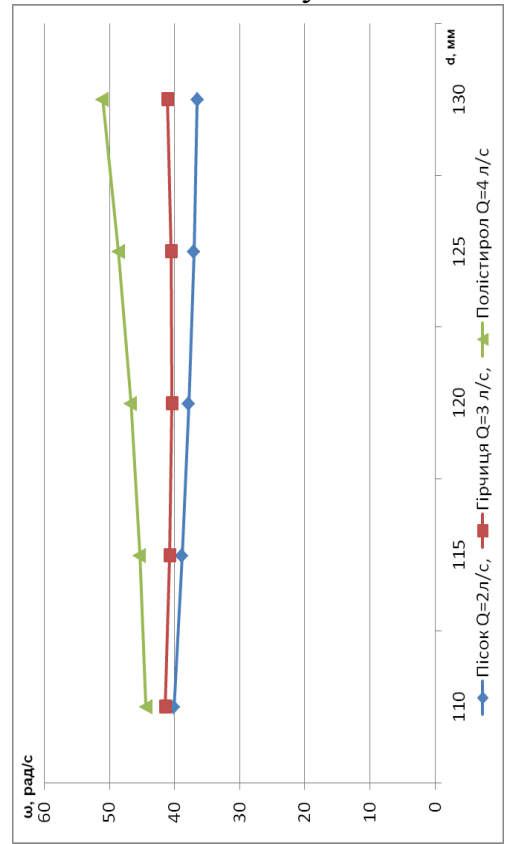


«Додаток Є»

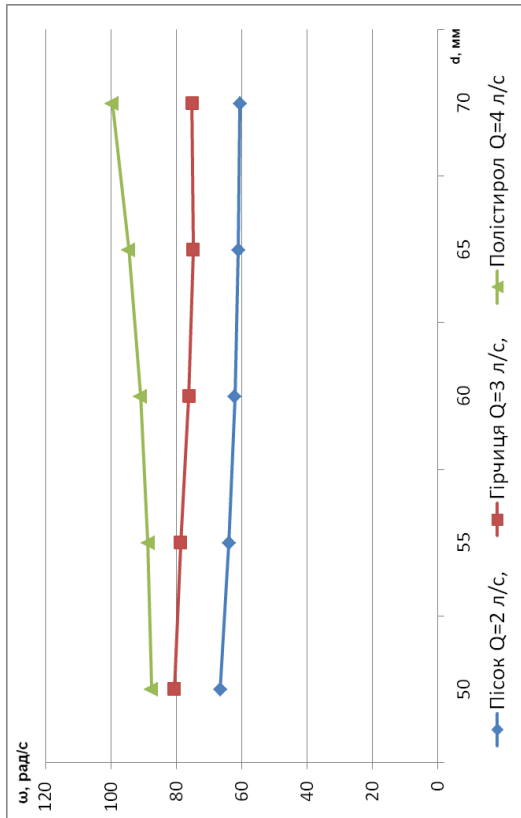
Графічні залежності кутової швидкості додаткового гвинта від геометричних параметрів додаткового елемента



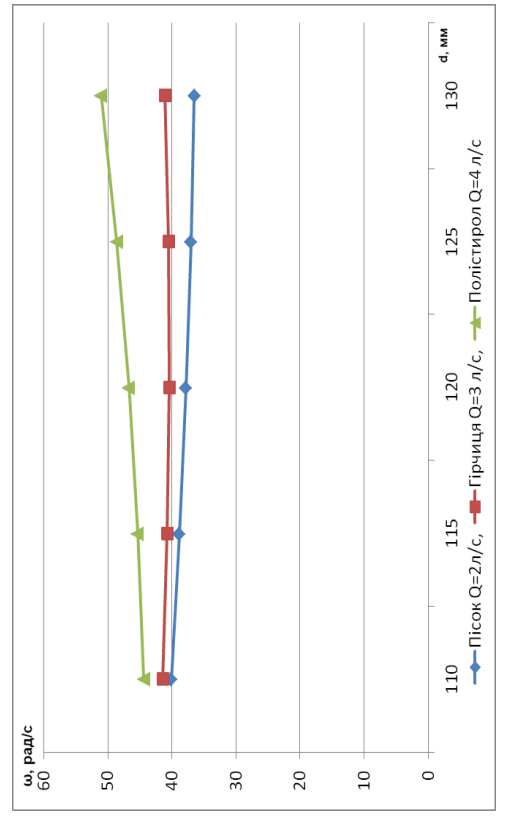
б) Діаметр кожуха додаткового елемента D=140 мм



г) Діаметр кожуха додаткового елемента D=180 мм



а) Діаметр кожуха додаткового елемента D=120 мм



в) Діаметр кожуха додаткового елемента D=160 мм