

Гомля Сергій Андрійович

Магістерська робота

**Дослідження та розробка розвантажувального пристрою
стрічкового конвеєра**

Керівник роботи

д.т.н., проф. Громадський А.С.

ВСТУП

Конвеєрний транспорт є одним з видів безупинного транспорту, застосування якого дозволяє радикально механізувати процеси навантаження, доставки й розвантаження різних технологічних матеріалів. Конвеєри забезпечують переміщення вантажів безупинним потоком й обумовлюють безперебійне постачання сировиною та напівфабрикатами технологічне устаткування у потоковому виробництві [1-5].

Широке розповсюдження конвеєрного транспорту для доставки гірничої маси у вітчизняній та закордонній гірничій промисловості обумовлено його високою пропускнуою здатністю та порівняно низькою трудомісткістю експлуатації. Аналіз досвіду його використання переконливо свідчить про зростаючу роль конвеєрного транспорту на підприємствах гірничої промисловості для підвищення рівня механізації та автоматизації виробничих операцій багатьох технологічних процесів. Особливо це стосується стрічкових конвеєрів, зайнятих на операціях проміжного розвантаження насипних вантажів для заповнення бункерів, змішувачів, вагонів та інших акумуляційних ємностей, розташованих уздовж поставу конвеєра.

Недосконалість існуючих конструкцій пристроїв проміжного розвантаження стрічкових конвеєрів (наприклад, плужкових скидачів або двобарабанных розвантажувальних візків) вимагає пошуків нових способів та пристроїв, одним з яких є вібраційний спосіб розвантаження за допомогою спрямованих коливань. Використання вібрації для зниження опору скиданню або безпосередньо для розвантаження насипного матеріалу має низку переваг у порівнянні з традиційними способами проміжного розвантаження стрічкових конвеєрів.

Таким чином, тема магістерської роботи є надзвичайно важливою і актуальною.

Мета роботи – дослідження та вибір раціональних параметрів вібраційного пристрою для проміжного розвантаження стрічкового конвеєра.

Для досягнення цієї мети потрібно проаналізувати особливості конструктивного виконання та умов використання існуючого механічного обладнання для проміжного розвантаження стрічкових конвеєрів, їх недоліки, перспективи використання вібраційних пристроїв для цієї операції, переваги такого технічного рішення; вибрати методи теоретичних та експериментальних досліджень; дослідити процес взаємодії конвеєрної стрічки з робочим органом вібраційного розвантажувального пристрою та вплив вібрацій на процес проміжного розвантаження; обґрунтувати раціональні параметри такого пристрою і розробити методику розрахунку його основних робочих та конструктивних параметрів.

Об'єкт дослідження – процес проміжного розвантаження стрічкових конвеєрів.

Предмет дослідження – вібраційний пристрій для проміжного розвантаження стрічкового конвеєра.

Наукове положення - виконані у роботі дослідження дали змогу обґрунтувати раціональні параметри та запропонувати конструкцію вібраційного розвантажувального пристрою стрічкового конвеєра. Рекомендований режим вібрації пристрою: амплітуда коливань – у межах 5-10 мм, частота коливань – 700-500 кол/хв., кут вібрації – 22-28° (більші кути для більших частот), кут нахилу стрічки у бік розвантаження – 10-15°, коефіцієнт режиму роботи – 1,8-2,6.

1 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ

1.1 Стрічкові конвеєри в гірничій промисловості: галузі застосування, особливості конструктивного виконання та експлуатації стрічкових конвеєрів

Сучасні гірничодобувні та гірничозбагачувальні підприємства є досить складними виробничими комплексами, насиченими різноманітним технологічним обладнанням. Для його нормального високопродуктивного функціонування потрібні засоби транспорту гірничої маси та продуктів її переробки, які забезпечують переміщення сировини між технологічними установками у процесі перетворення її на готову продукцію.

Широке розповсюдження конвеєрного транспорту для доставки гірничої маси у вітчизняній та закордонній гірничій промисловості обумовлено його високою пропускною здатністю та порівняно низькою трудомісткістю експлуатації.

Конвеєрний транспорт є одним з видів безупинного транспорту (до якого, крім конвеєрів, також відносяться навантажувальні машини безупинної дії, установки пневмо- й гідротранспорту та допоміжні пристрої), застосування якого дозволяє радикально механізувати процеси навантаження, доставки й розвантаження різних технологічних матеріалів. Конвеєри забезпечують переміщення вантажів безупинним потоком й обумовлюють безперебійне постачання сировиною та напівфабрикатами технологічного устаткування у потоковому виробництві [1-5].

Особливого значення конвеєрний транспорт набуває в гірничій та гірничопереробній галузях промисловості, де необхідно переміщати величезні кількості гірничої маси та продуктів її збагачення.

Будь-який промисловий транспорт за територіальною ознакою розподіляють на зовнішній та внутрішній (внутрішньо заводський).

Зовнішній транспорт призначений для доставки на підприємство сировини, палива, напівфабрикатів, готових виробів суміжних виробництв та інших вихідних матеріалів виробництва та вивозу з підприємства готової продукції й відхо-

дів. Операції зовнішнього транспорту виконуються засобами залізничного, водного, автомобільного й повітряного транспорту. При характерному для сучасних умов розташуванні переробних та енергетичних підприємств поблизу джерел сировини (до 10-20 км) й великих вантажопотоках (5-25 млн. т за рік чи 1250-6000 т/г) для зовнішнього транспорту успішно використовуються засоби безупинного транспорту – різного типу конвеєри. Конвеєрний транспорт у цих умовах більш економічний, ніж залізничний чи автомобільний.

Внутрішньозаводський (внутрішній) транспорт складається з міжцехового та внутрішньоцехового транспорту вантажів. Міжцеховий транспорт призначений для розподілу вантажів, що надходять, по підприємству, напівфабрикатів між цехами (наприклад, між заготівельними й обробними, між обробними й складальними) та складами для переміщення готової продукції й відходів виробництва. Вибір засобів міжцехового транспорту визначається головним чином масштабом та родом виробництва.

У гірничорудній промисловості конвеєрний транспорт є одним з основних видів внутрішнього транспорту, особливо при транспортуванні добутої корисної сировини на збагачувальні фабрики, переміщенні його там від однієї технологічної установки до іншої, транспортуванні концентратів, промпродуктов та хвостів. Останнім часом зростає значення конвеєрного транспорту як доставкового засобу при підземній розробці рудних родовищ. Мова йде про забійні конвеєри, що здійснюють доставку гірничої маси від випускних отворів до рудозвальних висхідних виробок у межах очисного забою (наприклад, при системах розробки залізрудних родовищ камерних чи з обваленням відпрацьованого простору).

Конвеєрний транспорт відрізняється високою продуктивністю, низькими питомими витратами енергії й матеріалів та має прекрасні перспективи для подальшого розвитку.

Розвиток машин безупинного транспорту має забезпечити виконання багатьох вимог, що ставляться до них, наприклад: висока якість та ефективність в експлуатації; надійність у роботі; мала вартість; простота конструкції; невеликі габаритні розміри; зручність обслуговування й ремонту; безпека для обслуговуючого

персоналу; технічна естетика; відповідність властивостям вантажу; охорона навколишнього середовища.

Важливою конструктивною особливістю конвеєрів є наявність тягового елемента для передачі рушійної сили. Він може бути гнучким (стрічка, ланцюг, канат) й жорстким (штанга). Гнучкий тяговий елемент мають майже всі основні типи конвеєрів – стрічкові, пластинчасті, скребкові, скребково-ковшові, люлечні, візкові, ескалатори.

Всі транспортні машини з гнучким тяговим органом мають однакові за своїм призначенням складові частини, які, проте, можуть бути дуже різноманітними за конструкцією.

Такими частинами є:

- вантажонесучий, чи робочий елемент, що безпосередньо несе на собі вантаж, який підлягає транспортуванню;
- тяговий елемент, що передає рух вантажонесучому елементу;
- опорні (підтримувальні) пристрої у вигляді котків, роликів, кареток, що підтримують вантажонесучі й тягові елементи під час їхнього руху;
- натяжний пристрій, що створює необхідний початковий натяг тягового елемента;
- привод, що спричиняє рух тягового елемента;
- підтримувальні й опорні конструкції машини та її частин.

Типом та конструкцією цих складових частин значною мірою вирізняються вид та конструкція конвеєра, причому основне значення мають тип і конструкція тягового елемента. В окремих машинах, наприклад у стрічкових та у деяких типів ланцюгових конвеєрів, спостерігається поєднання тягового й вантажонесучого елементів, оскільки переміщуваний вантаж лежить безпосередньо на тяговому елементі – на стрічці чи ланцюгах.

Розглянемо коротко основні види складових частин конвеєра з тяговим елементом, зробимо їхню порівняльну оцінку та сформулюємо вимоги, що до них ставляться.

Тяговими органами машин безупинного транспорту називаються елементи

(стрічки, ланцюги, канати), які сприймають тягове зусилля, необхідне для переміщення вантажу, що транспортується. Окремі ділянки нескінченного тягового органу конвеєра називаються гілками. Розрізняють такі гілки: робочу, яка несе вантаж, що транспортується; порожнякову (холосту), яка не несе вантажу; верхню та нижню (у стрічкових, пластинчастих та скребкових конвеєрів).

Стрічки. Найчастіше застосовувані стрічки поділяються на гумовані та сталеві холоднокатані. Гумовотканинна стрічка складається з декількох просочених гумою тканинних прокладок. Зверху й знизу стрічка покрита обкладинками з гуми: робочої поверхні – зверненої до вантажу, що транспортується, та неробочої поверхні – зверненої до роликів вантажної гілки.

Тканинні прокладки виготовляють з комбінованого (поліефірно-бавовняного) чи синтетичного волокна, що складається з поліамідних або поліефірних ниток (ГОСТ 20-76).

Гумовотросові стрічки складаються зі сталевих тросів, покритих гумою, та завулканізованих тканинних прокладок, що забезпечують міцність стрічки у поперечному напрямку та стійкість її до ударних навантажень (тобто необхідну жорсткість у поперечному напрямку).

Тягові ланцюги. У машинах з тяговим органом використовують ланцюги пластинчасті, круглоланкові, розбірні, гачкові, вилчасті та інші. Пластинчастими називають ланцюги з ланками з пластин – тонких плоских чи вигнутих холодноштампованих деталей, з'єднаних валиками чи втулками. При легких режимах роботи застосовують прості шарнірні (безвтулкові) ланцюги: штирьові, роликові та коткові.

Перевагами тягових пластинчастих ланцюгів є простота виготовлення на універсальному устаткуванні та економічність у масовому виробництві; простота кріплення робочих органів; висока точність виготовлення, що обумовлює можливість застосування їх при великих швидкостях руху; високі міцність та зносостійкість, які забезпечуються термічною обробкою та сприятливим розподілом навантажень у шарнірах. До недоліків відносяться втрати рухомості в закритих шарнірах (втулкові ланцюги) при роботі в порошкоподібних та корозійних середови-

щах, відсутність просторової гнучкості, складність забезпечення нерухомих з'єднань деталей шарнірів із пластинами.

Круглоланковими називають ланцюги з ланками овальної форми з поперечним перетином у вигляді кола. Їх виготовляють зварними й литими, з розпірками в середній частині та без розпірок. В якості тягових застосовують в основному зварні ланцюги з круглої сталі: коротколанкові, з довжиною ланки, близькою до її ширини, та довголанкові, з довжиною ланки, що набагато перевищує її ширину. За способом виготовлення круглоланковим ланцюгам аналогічні комбіновані ланцюги зі зварними ланками з круглої та штабової сталі. Ці ланцюги від круглоланкових відрізняються більш рівномірним розподілом навантаження у шарнірі. Однак широкого застосування комбіновані ланцюги не одержали через ускладнення технології виготовлення та відсутність просторової гнучкості.

Перевагами круглоланкових ланцюгів є простота конструкції, найвища міцність одиниці маси (у термооброблених деталей), просторова гнучкість, наявність відкритого самоочисного шарніра. До недоліків відносяться: виготовлення на вузькоспеціалізованому дефіцитному устаткуванні, мала площа контакту ланок та пов'язане з цим підвищене зношення, відносно невисока точність виготовлення, що обмежує можливість використання при високих швидкостях руху, складність кріплення робочих органів, знижена міцність й складність виготовлення сполучних ланок.

Розбірними називають ланцюги з кованих (гарячештампованих) ланок, що мають переважне застосування в конвеєрах із просторовими та викривленими траєкторіями (підвісні конвеєри, переносні розбірні скребкові конвеєри вугільних шахт).

Гачкові ланцюги виготовляють з литих чи холодноштампованих ланок, які мають форму рамки з відкритим гачком, що зачіпається за протилежний бік рамки сусідньої ланки. Гачок та взаємодіюча з ним частина ланки виконуються таким чином, що збирання та розбирання ланцюга можливі лише при суворо визначеному взаємному положенні сусідніх ланок (під великим кутом нахилу однієї до іншої). Завдяки цьому виключається саморозбирання ланцюга.

Вилчастими називають ланцюги з цільних чи збірних ланок, що мають фо-

рму двозубої вилки. Суцільні ланки виготовляють литими чи кованими (гаряче-штампованими), а збірні півланки ланцюгів (вигнуті пластини) – холодноштампованими.

Перевагою вилчастих ланцюгів є монолітність ланок, що обумовлює їхню підвищену надійність при якісному виготовленні. До недоліків відносяться висока трудомісткість завдяки великому обсягу механічної обробки кованих та литих ланок, низька надійність останніх через дефекти виливків, підвищені питомі навантаження в шарнірах та пов'язане з цим зношення.

Канати застосовують в якості тягових органів стрічкових конвеєрів, стрічка яких служить тільки несучим органом. Достоїнством канатів є можливість переміщення вантажу з високими швидкостями; низька вартість канатів у порівнянні з ланцюгами та стрічками. Недоліки канатів: залишкове видовження в процесі експлуатації та необхідність застосування шківів великого діаметра. Запас міцності канатів 5-7,5.

Опорними пристроями для стрічок та пластинчастого настилу служать стаціонарні ролики, що забезпечують великий термін служби несучого органу та малий опір його пересуванню.

Під час транспортування штучних вантажів та пасажирів стрічкові конвеєри іноді обладнають опорами ковзання у вигляді нерухомого настилу для забезпечення плавного руху стрічки без вертикальних зсувів, що викликані прогином стрічки в міжопорних проміжках під дією маси вантажу. Ходові котки служать опорними елементами пластинчастого настилу, скребків, ківшів, сходів ескалаторів, несучих ланцюгів, візків підвісних, візкових та вантожоведучих підлогових конвеєрів.

Котки, змонтовані на кронштейнах, які здатні повертатися навколо вертикальної осі, застосовують у візках підлогових вантожоведучих та підвісних вантажотягових конвеєрів.

До опорних пристроїв належать напрямні і підвісні шляхи, а також станини конвеєрів. У скребкових конвеєрів ланцюги іноді обладнують замість ходових роликів (котків) повзунами, що переміщуються по нерухомим напрямним поверх-

ням. Опорним елементом ланцюгів конвеєрів суцільного волочіння є безпосередньо днище жолоба.

Основними елементами *приводів конвеєрів* є двигуни – електричні, внутрішнього згоряння, гідравлічні; муфти – пружні, зубчасті; редуктори; гальма. У вузлах приводів включаються також стопори та обмежники обертового моменту.

Передача тягового зусилля на гнучкий тяговий орган конвеєрів здійснюється приводними органами, до яких відносяться барабани, зірочки та шків.

Приводні барабани застосовують у стрічкових конвеєрах та ківшових елеваторах. Вони закріплені на ведучому валу конвеєра за допомогою шпонок, а вал змонтований на підшипниках кочення з ущільнювальними пристроями та пресмасельниками.

Приводні зірочки використовують у ланцюгових конвеєрах, а приводні блоки – у канатних. Їхні вали й підшипники за конструкцією такі ж, як і у барабанів.

Гальма і стопори. Для обмеження вибігу робочого органу конвеєра при виниканні двигуна, а також для усунення зворотного ходу під дією маси вантажу в похилих конвеєрах застосовують колодкові гальма, встановлені на входному валу редуктора. Для попередження зворотного ходу несучого органу під дією маси вантажу у випадку порушення кінематичного зв'язку між входним валом редуктора та тяговим органом конвеєра (барабана, зірочки) застосовують безшумні храпові зупинники, собачки яких під час роботи конвеєра піднімаються над зубами храпового колеса за допомогою фрикційних кілець, відцентрових сил чи гідравлічних штовхачів.

Застосовують також кулькові та роликові зупинники, кульки чи ролики яких затискуються в клиноподібних гніздах при зворотному ході несучого органу та стопорять його опускання.

Обмежники обертового моменту. Для запобігання ланцюгових конвеєрів від обриву ланцюга та поломок приводного механізму через випадкове зростання опору вище припустимого (заклинювання ланцюга, влучення сторонніх предметів у ланцюг тощо) застосовують муфти граничного моменту та зрізні пальці, що входять у конструкцію тягових зірочок.

Натяжні пристрої служать для створення необхідного мінімального натягу гнучкого органу. Ці пристрої розділяють на вантажні, механічні, гідравлічні та пневматичні. Мінімальний натяг гнучкого органу обумовлюється необхідністю обмеження стріли прогину провисаючих ділянок, динамічними процесами, тяговою здатністю фрикційного приводу тощо.

До *допоміжних пристроїв конвеєра* відносяться:

- *завантажувальні та розвантажувальні пристрої* (завантажувальні лійки, жолоби, тічки, отвори, патрубки, випускні отвори);
- *очисні пристрої* (обертові барабанні щітки, скребки для очищення стрічок і ланцюгів від часток налиплого на них матеріалу, скребки для очищення поверхні барабанів, плужкові скидачі для видалення з холостої гілки стрічки бруду й сторонніх предметів тощо);
- *пристрої безпеки*. На машинах безупинного транспорту встановлюють пристрої безпеки, до яких відносяться крім описаних вище гальм, що зменшують вибіг робочого органу при вимкненні двигуна та перешкоджають ходу робочого органу під дією маси вантажу, стопори зворотного ходу; пристрої, що запобігають непружному ковзанню стрічки по приводному барабані й пов'язаному із цим загорянню стрічки, переповненню пересипних лійок та лотків, сходу стрічки убік, застряганню шматків вантажу між розвантажувальним лотком й несучим органом, обриву тягового органу; пристрої обезпилення, виявлення металевих предметів у вантажі, що транспортується, аварійного вимикання конвеєрів.

Перераховані вище пристрої безпеки приводяться в дію автоматично спеціальними датчиками (реле швидкості, термовимикачами тощо), що посилають імпульс автоматичного керування при виникненні аварійної ситуації.

Незважаючи на велику розмаїтість існуючих типів конвеєрів усе ж таки найбільш розповсюдженими є три види: пластинчасті, скребкові та стрічкові.

Пластинчастими називають *конвеєри*, що переміщують вантажі на настилі, утвореному з окремих нерухомо прикріплених до тягового органу пластин.

Конвеєри з плоским розімкнутим настилом призначені для переміщення штучних та волокнистих вантажів. Швидкість при цьому обмежують, тому що з її

збільшенням з'являється небезпека падіння вантажу з настилу. У конвеєрах з плоских зімкнутих пластини вони перекривають одна іншу та утворюють суцільну рівну полотнину.

Виконання настилу конвеєра хвилястим сприяє підвищенню міцності й жорсткості настилу, забезпечує надійне перекривання зазорів, збільшує зчеплення вантажу з настилем та припустимий кут нахилу полотнини. Однак такий настил придатний в основному для транспортування штучних вантажів.

У конвеєрах з нерухомими бортами усунуті спадання і зсипання вантажів убік Вони характеризуються збільшеним перетином насипного вантажу на полотнині та підвищеною продуктивністю. Однак спостерігається заклинювання та зсипання вантажу між пластинами та нерухомими бортами, а також виникає додатковий опір від тертя вантажу і нерухомих бортів. Ці недоліки усунуті в бортових хвилястих конвеєрах із зімкнутими настилами, утвореними з пластин, що перекривають одна одну як на днищі, так і з боків, які запобігають зсипанню насипного вантажу через зазори між сусідніми пластинами. Завдяки цьому такі конвеєри придатні для транспортування будь-яких вантажів, як штучних, так і насипних. Виконання настилів хвилястими з рухомими бортами та поперечними ребрами жорсткості дозволяє підвищити припустимий кут нахилу конвеєра до 40° , а коробчастими, у вигляді ківшів – до $65-70^\circ$. Пластинчасті конвеєри з настилами, що мають форму лотка, називають лотковими.

Пластинчасті конвеєри використовують для переміщення різноманітних штучних, насипних та навалочних вантажів. Найбільш широке застосування одержали стаціонарні вертикально-замкнуті конвеєри з прямолінійними трасами, що називають конвеєрами загального застосування. У металургійній промисловості ці конвеєри використовують для подачі крупношматкової руди й гарячого агломерату; на хімічних заводах та підприємствах будматеріалів – для переміщення крупношматкових нерудних матеріалів (наприклад, вапняку); на теплових електростанціях – для подачі крупношматкового (недодробленого) вугілля. Широко їх застосовують у машинобудуванні для транспортування гарячих кувань, виливків, опок, гострокромкових відходів штампувального виробництва, а також на пото-

кових лініях збирання, охолодження, промивання, сушіння, сортування та термічної обробки. Разом із пересувними пластинчастими конвеєрами вони одержали значне поширення на складах, вантажно-розвантажувальних, сортувальних та пакувальних пунктах для переміщення різноманітних тарно-штучних вантажів.

Спеціальні пластинчасті конвеєри, в тому числі ті, що згинаються, з просторовими трасами, широко використовують у гірничорудній та вугільній промисловості для транспортування на далекі відстані крупношматкових, важких та гострокромкових вантажів (руди, вугілля).

Вбудовані розімкнуті й пруткові конвеєри широко застосовують у різних сільськогосподарських машинах, на складах лісових матеріалів у лісовій та деревообробній промисловості.

Достоїнствами пластинчастих конвеєрів у порівнянні із стрічковими є висока надійність при транспортуванні крупношматкових, гострокромкових, гарячих та інших подібних вантажів, що викликають ушкодження робочого органу; працездатність як при нормальних, так і при низьких чи високих температурах; можливість транспортування більш різноманітного асортименту насипних, навальних та штучних вантажів; велика розмаїтість трас транспортування (включаючи просторові) з більш крутими підйомами та меншими радіусами переходів з одного напрямку на інший, що забезпечує компактність схем та зменшення до мінімуму втрат виробничих площ на ділянках підйому; можливість установки проміжних приводів (що практично не вирішено для стрічкових та скребкових конвеєрів), що забезпечує безперевантажувальне транспортування на будь-які відстані; велика площа перетину матеріалу на полотніні (при лотковій формі настилу) та висока продуктивність при відносно невеликій швидкості руху; можливість виконання настилу зі спеціальними пристроями для кріплення вантажів з урахуванням використання конвеєрів у технологічних потокових лініях; допустимість завантаження безпосередньо з бункера (без спеціальних живильників), що забезпечується конструкцією полотніні та малою швидкістю її руху.

До недоліків пластинчастих конвеєрів можна віднести велику масу і високу вартість рухомих частин; мінімальну швидкість руху полотніні у порівнянні зі

швидкістю стрічкових конвеєрів, складність розвантаження конвеєрів з бортовим настилом на проміжних ділянках; складність експлуатації через велике число шарнірних з'єднань, їхнього підвищеного зношення та значно більші опори руху.

Скребкові конвеєри містять у собі групу різноманітних за конструкцією транспортних машин, у яких вантаж, що транспортується, за допомогою рухомих скребків переміщується волоком (волочінням) по жолобі або трубі найчастіше прямокутного чи круглого перетину. Головною ознакою, за якою в основному розподіляють скребкові конвеєри на різні конструктивні типи, варто вважати форму й висоту скребка. За цією ознакою розрізняють конвеєри із суцільними та контурними (фігурними) скребками. Суцільні скребки бувають високими і низькими; висота високих скребків приблизно дорівнює висоті жолоба та у кілька разів більше висоти тягового ланцюга; висота низьких скребків близька до висоти ланцюга й значно (у 3–6 разів) менше висоти жолоба. Конвеєри з високими та низькими суцільними скребками значно відрізняються один від іншого за конструктивними характеристиками. Окремий конструктивний різновид - трубчасті скребкові конвеєри з круглими (чи, іноді, прямокутними) суцільними скребками. Їхня відмінна риса – широка універсальність конфігурації траси переміщення вантажу.

Скребкові конвеєри основних типів із суцільними та контурними скребками застосовують для транспортування різних пилоподібних, зернистих та шматкових добре сипких матеріалів. Конвеєри із суцільними (головним чином низькими) скребками використовують для транспортування та охолодження гарячих вантажів – золи, шлаку та різних вантажів хімічної і металургійної промисловості. Скребкові конвеєри не слід застосовувати для транспортування тендітних, сильно вологих та липких вантажів; тендітні вантажі дробляться скребками, вологі й липкі – прилипають до скребків та погано розвантажуються, при цьому різко зменшується продуктивність конвеєра та засмічується його зворотна гілка.

Значне поширення одержали скребкові конвеєри у вугільних шахтах, на збагачувальних фабриках, підприємствах хімічної та харчової промисловості. Конвеєри з низькими скребками в різноманітних конструктивних модифікаціях є основними агрегатами для підземного транспортування вугілля лавою.

Достоїнства скребкових конвеєрів: простота конструкції; легка можливість здійснення проміжного завантаження й розвантаження (скрізь, крім вертикальних ділянок траси); можливість герметичного транспортування порошкоподібних, газуючих та гарячих вантажів. Недоліки: інтенсивне зношення ходової частини та жолоба, особливо при переміщенні абразивних вантажів, оскільки скребки та, в більшості випадків, тяговий ланцюг труться відносно жолобу у середовищі вантажу; значна витрата енергії, оскільки вантаж та ходова частина труться по жолобі; кришення та здрібнення вантажу при транспортуванні волочінням, що для деяких вантажів (наприклад, для коксу) неприпустимо, а для багатьох – небажано; експлуатаційні труднощі транспортування вантажів з міцними шматками, що важко дробляться, тому що заклинення таких шматків між скребком і жолобом (трубою) створює значні навантаження на тяговий ланцюг і може викликати відмову конвеєра. Останнього недоліку в значній мірі позбавлені конвеєри з ящиковими скребками, що мають рухомі бічні стінки.

Значні опори переміщенню вантажу та зношення обмежують швидкість, довжину й продуктивність скребкових конвеєрів; звичайно приймають швидкість у межах 0,16-0,4 м/с, довжину до 60-100 м та продуктивність до 50-350 т/г (в залежності від конструктивного типу) і тільки в окремих типорозмірах конвеєрів з високими скребками продуктивність доходить приблизно до 700 т/г.

Однак найбільш розповсюдженими машинами безупинного транспорту є *стрічкові конвеєри*, несучим і тяговим органом яких є гнучка стрічка.

Стрічкові конвеєри застосовують для переміщення сипких та штучних вантажів на короткі, середні й значні відстані в усіх галузях сучасного промислового та сільськогосподарського виробництва, у гірничодобувній та металургійній промисловості, на складах, у портах тощо.

Стрічкові конвеєри можуть бути використані в якості елементів навантажувальних та перевантажувальних пристроїв, а також машин, що виконують технологічні функції. Серед працюючих у даний час конвеєрів стрічкові конвеєри займають ведуче місце.

Стрічкові конвеєри мають наступні переваги. Їх продуктивність завдяки

значній швидкості руху (6-8 м/с) і великій ширині стрічки може бути доведена до 20000-30000 т/г, що в багато разів перевищує продуктивність інших конвеєрів. Стрічкові конвеєри можуть мати складні траси з горизонтальними та похилими ділянками, а також зі скривленнями в горизонтальній площині. Довжина горизонтальних конвеєрів з високоміцними стрічками може складати 3-5 км, а в окремих випадках до 11 км. Завдяки простоті конструкції та експлуатації, зручності контролю за роботою й автоматизації керування стрічкові конвеєри характеризуються високою надійністю. У конвеєрів великої довжини та високої продуктивності потужність одного приводу досягає 6000-10000 кВт. До особливостей стрічкових конвеєрів відноситься висока вартість стрічки і роликів, що складає відповідно до 50 і 30% вартості конвеєра. З недоліків цих конвеєрів також слід зазначити труднощі використання їх при транспортуванні липких, гарячих та важких штучних вантажів, а також при нахилах, що перевищують 18-20°.

Витрати на переміщення вантажу стрічковими конвеєрами на відстані 20-30 км менші, ніж витрати на переміщення вантажів залізничним і тим більше автомобільним транспортом.

Широке і все зростаюче використання стрічкових конвеєрів вимагає підвищення їхніх техніко-економічних показників, ставить перед дослідниками важливі проблеми: створення високоміцних стрічок, підвищення терміну служби роликів опор, розробка уточнених методик розрахунку, створення надійно діючих завантажувальних та перевантажувальних пристроїв, приводів великої потужності тощо.

1.2 Пристрої для завантаження і розвантаження стрічкових конвеєрів

Як було зауважено вище, ці пристрої відносяться до конвеєрного обладнання допоміжного типу і служать для правильного спрямовування на конвеєр транспортного матеріалу під час його завантаження та розвантаження цього матеріалу у кінці чи у проміжних точках його траси. Таке обладнання може бути як стаціонарного, так і пересувного типу [1,4,5].

1.2.1 Завантажувальні пристрої стрічкових конвеєрів

Стрічкові конвеєри можна завантажувати в одному або одночасно в декількох місцях по його довжині. Місця завантаження конвеєра матеріалом обладнують завантажувальними пристроями, призначеними для захисту стрічки від ударів падаючих шматків транспортованого вантажопотоку, попередження просипу матеріалу повз стрічку, спрямовування потоку завантажувального матеріалу у бік руху стрічки, надання потоку у зоні зустрічі його зі стрічкою швидкості, що дорівнює швидкості стрічки, а також симетричного відносно поздовжньої осі конвеєра розташування матеріалу на середині стрічки для забезпечення нормального її ходу по роликоопорам.

На рис. 1.1 приведені основні схеми завантажувальних пристроїв стрічкових конвеєрів. Для сипких неабразивних матеріалів розповсюджені стаціонарні та пересувні установки, зображені на рис. 1.1а. Швидкість виходу матеріалу з лійки 1 буде залежати від кута нахилу α днища 2 її жолобу (лотка). Зазвичай він приймається на $10-15^\circ$ більше кута тертя матеріалу відносно днища. Іноді останнє виконують рухомим для можливості регулювання нахилу у залежності від властивостей транспортованого матеріалу. При роботі з вологими та схильними до налипання матеріалами днище і борти 4 лійки можуть бути обладнані постійно або періодично працюючими вібраторами.

У разі завантаження і подальшого транспортування змішаного дрібного та крупного матеріалу днище лотка часто виконують у вигляді колосникової решітки 6 (рис. 1.1б). Це дає можливість дрібному матеріалу потрапляти на стрічку раніше великих шматків, створювати на ній своєрідну захисну подушку і захищати таким чином від передчасного зношення.

Захисту від зношення абразивним матеріалом може вимагати і сама завантажувальна лійка. У такому випадку вона обладнується спеціальним відбивним щитом 7 (рис. 1.1в).

Для попередження потрапляння матеріалу повз стрічку у підконвеєрний простір та для формування центрального його потоку за жолобом уздовж стрічки вертикально встановлюють бічні щитки (борти) з прикріпленими до їх нижньої

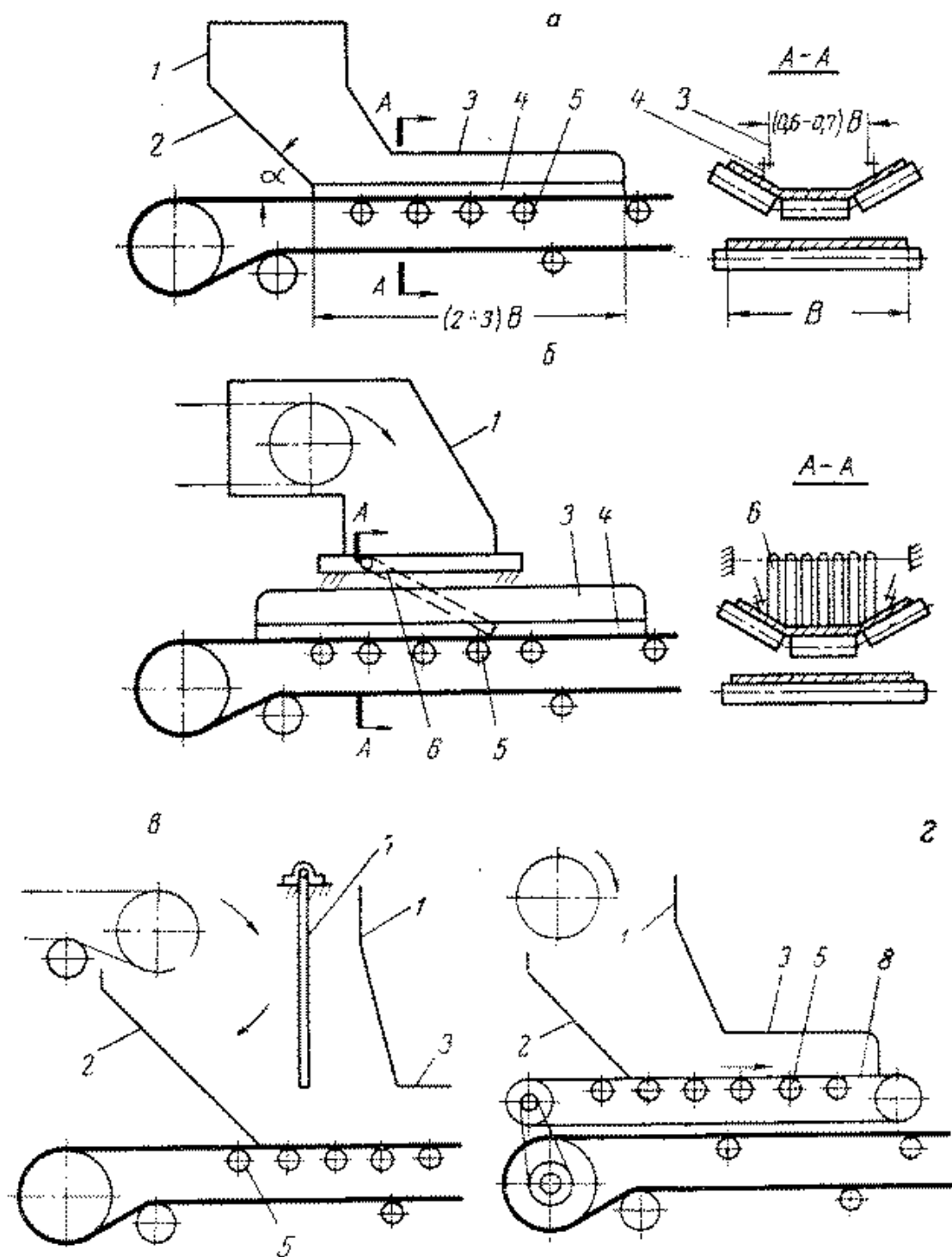


Рисунок 1.1 – Основні схеми завантажувальних пристроїв стрічкових конвеєрів:

- a* – завантажувальна лійка для сипких неабразивних матеріалів;
- б* – лійка з короткими знімними колосниками для крупної руди;
- в* – лійка з відбивним щитом для руди та інших абразивних матеріалів;
- г* – пункт завантаження із завантажувальним конвеєром;
- 1 – прийомна лійка; 2 – днище жолобу (лотка); 3 – напрямні борти;
- 4 – футерувальна гума (стрічка) напрямних бортів; 5 – батарея жорстко закріплених або підресорених роликів (роликовий стіл); 6 – знімні колосники;
- 7 – відбійний щит для захисту лійки від зношення та uszkodження ударами шматків матеріал; 8 – завантажувальний конвеєр

частини смугами гуми 4.

Для гасіння значного динамічного впливу на стрічку падаючого потоку завантажувального матеріалу роликоопори у місцях завантаження можуть футерувати шаром товстої гуми, встановлювати їх у 2-3 рази частіше, ніж на лінійних секціях конвеєра, поєднувати у батареї чи підресорені роликові столи 5.

На конвеєрах з великою швидкістю руху стрічки (більше 3-4 м/с) завантажувальні пристрої обладнують прискорювальними короткими конвеєрами 8 (звичай стрічковими) (рис. 1.1 ϵ), на виході з яких матеріал отримує швидкість, близьку до швидкості стрічки.

1.2.2 Огляд традиційних типів розвантажувальних пристроїв стрічкових конвеєрів

Розглянутий вище матеріал переконливо свідчить про зростаючу роль конвеєрного транспорту на підприємствах гірничої промисловості для підвищення рівня механізації та автоматизації виробничих операцій багатьох технологічних процесів. Особливо це стосується стрічкових конвеєрів, зайнятих на операціях проміжного розвантаження насипних вантажів для заповнення бункерів, змішувачів, вагонів та інших акумуляційних ємностей, розташованих уздовж поставу конвеєра. На відміну від кінцевого розвантаження конвеєрів, коли процес здійснюється через кінцевий барабан у прийому лійку, проміжне розвантаження потребує більшої уваги і для нього конвеєр обладнується спеціальними розвантажувальними пристроями.

В промислових умовах гірничого та гірничозбагачувального виробництва для проміжного розвантаження використовуються здебільшого два види розвантажувальних пристроїв: скидачі різних типів та двобарабанні розвантажувальні візки (рис. 1.2).

Найпростішим типом скидачів є плужкові конструкції. Плужкові скидачі знаходять застосування при розвантаженні поодиноких, а також легких добре сипких та неабразивних насипних вантажів при обмеженій продуктивності, невисокій швидкості (до 1,6 м/с) і ширині конвеєрної стрічки до 650-800 мм. З конструк-

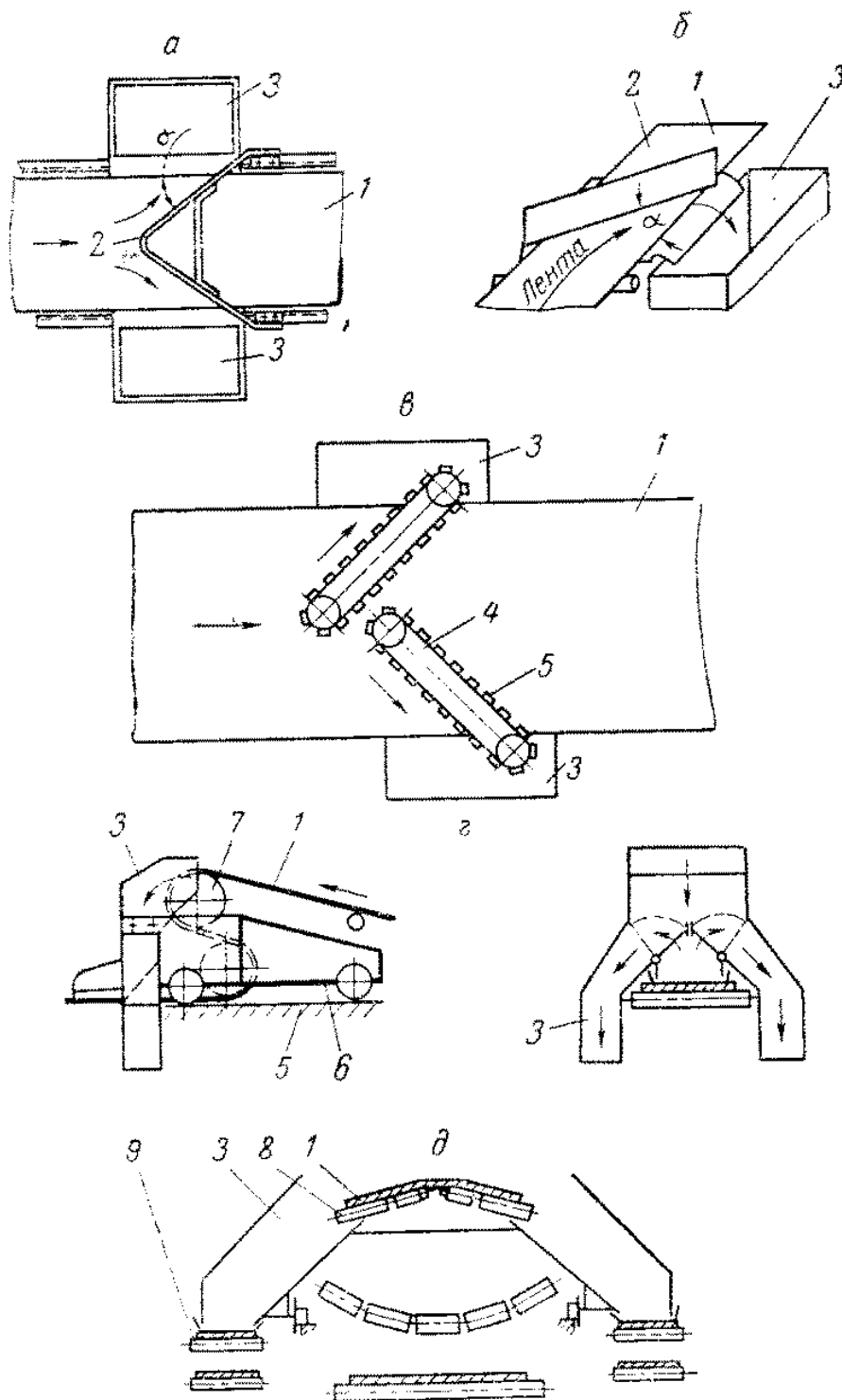


Рисунок 1.2 – Схеми традиційних пристроїв для проміжного розвантаження стрічкових конвеєрів:

а – двобічний плужковий скидач; *б* – одnobічний плужковий скидач;

в – механічний скидач; *г* – розвантажувальний візок (автостела);

д – розвантажувальний пункт зі зворотним жолобом;

1 – вантажна гілка стрічки; 2 – скидачі (плужки); 3 – прийомна лійка;

4 – механічні ланцюгові скидачі з індивідуальним приводом; 5 – скребки;

6 – рама візка; 7 – розвантажувальний барабан; 8 – ролики зворотного жолобу;

9 – допоміжні короткі конвеєри

тивної точки зору вони виконуються у вигляді одно- чи двобічного плужка, який здійснює розвантаження стрічки на один чи обидва боки. До плужкових скидачів відносяться також багаторядні скидальні щити, які здійснюють порційне розвантаження потужного вантажопотоку при погонному навантаженні на стрічку більше 600 Н/м.

Плужкові скидачі можуть бути як стаціонарного типу (для стрічок шириною до 500 мм), так і пересувного, що забезпечує розвантаження у будь-якій точці конвеєрного поставу. Переміщення плужкового скидача здійснюється вручну при відносно легких конструкціях, або за допомогою редукторного приводу від вбудованого електродвигуна.

На рис. 1.2а приведена конструкція двобічного плужкового скидача, до якої входять основна рама, стіл для виположування вантажної гілки стрічки 1 та прийомна лійка 3. Двобічний плужок 2 закріплений шарнірно на осі, відносно якої він може підніматися за допомогою гідроциліндра та важільної системи.

На рис. 1.2б показана схема однобічного плужкового скидача.

Є схеми плужкових скидачів, які забезпечують можливість разом із розвантаженням матеріалу убик здійснювати й інші технологічні операції, наприклад, розділення матеріалу по довжині прийомних пристроїв, дозоване розвантаження тощо. Плужкові скидачі, що виконують розділення насипного вантажу за крупність, сконструйовані у вигляді гребню із зубами, які відділяють крупні шматки вантажу від дрібних і розвантажують їх убик. Проте при розвантаженні вологих та липких насипних вантажів гребінка плужка часто забивається, що потребує зупинки конвеєра та очистки скидача.

Кут установки плужкового скидача відносно поздовжньої осі конвеєра залежить від коефіцієнту тертя вантажу по плужку і зазвичай складає 30-40°. Опір руху стрічки, що створюють плужкові скидачі, пропорційний погонному навантаженню та ширині стрічки і може бути визначений за наступною формулою, Н:

$$W = K_{пл} q_m B_c, \quad (1.1)$$

де $K_{пл}$ – коефіцієнт питомого опору, що дорівнює 2,7-3,6; q_m – погонне навантаже-

ння на стрічку конвеєра, Н/м; B_c – ширина конвеєрної стрічки, м.

Вплив форми відхиляючої поверхні плужка на опір руху стрічки та інтенсивність перемішування насипного вантажу в місці розвантаження були багаторазово перевірені експериментально на плужках різної форми. Відхиляюча поверхня плужка обмежувалася дугою окружності, параболою та іншими кривими просторового типу. Дослідження показали, що плужкові скидачі з криволінійною відхиляючою поверхнею незначно зменшують опір руху насипного вантажу.

Потужність, що витрачається на розвантаження плужковими скидачами, визначається за наступною формулою, кВт:

$$N = 0,008QB_c, \quad (1.2)$$

де Q – продуктивність конвеєра, т/г; B_c – ширина конвеєрної стрічки, м.

Маса плужкових скидачів різних конструкцій коливається від 300 кг для стрічок шириною 650 мм до 2700 кг і вище для стрічок завширшки 1400 мм. Зростання маси із збільшенням ширини стрічки пояснюється збільшенням габаритів та ускладненням конструкції через зростання опорів руху при використанні плужкових скидачів на конвеєрах великої продуктивності. Наприклад, маса пересувних плужкових скидачів для стрічок завширшки 1600 мм може перевищувати 10 тонн.

Перевагами розглянутих плужкових та механічних скидачів є насамперед їх конструктивна простота, невеликі габаритні розміри та незначні витрати енергії на розвантаження насипних вантажів.

Незважаючи на такі позитивні якості плужкових і механічних скидальних пристроїв вони мають низку суттєвих недоліків, а саме:

- підвищене зношення робочої обкладинки стрічки через тертя вантажу по стрічці і плужку скидача;
- накопичення матеріалу у відхиляючій площини плужка скидача;
- абразивні частинки матеріалу, що потрапляють під плужок або щит скидача, викликають надрізи і пориви стрічки, які в процесі експлуатації розростаються та скорочують термін її служби;
- інтенсивне перемішування та подрібнення матеріалу.

Із зростанням продуктивності конвеєрів за рахунок збільшення швидкості стрічки плужкові скидачі намагаються замінити стрічковими або ланцюговими пристроями з робочим органом, замкненим у горизонтальній площині. Рухома стрічка чи ланцюг зі скребками сприяють прискоренню процесу розвантаження і зниженню лобових опорів під час взаємодії скидача з потоком насипного вантажу. Такі механічні скидачі використовуються при більш високих швидкостях руху стрічки.

На рис. 1.2в приведена схема механічного скидача, обладнаного ланцюговими робочими органами зі скребками та індивідуальними приводами.

Цікавою є схема проміжного розвантаження поодиноких вантажів механічним скидачем, що має вигляд замкненого контуру з еластичного матеріалу, на поверхні якого передбачені виступи, розташовані по гвинтовій лінії. Виступи полегшують переміщення вантажу по стрічці та його розвантаження. Недоліком даної схеми є можливість підклинювання вантажу між стрічкою конвеєра та еластичним контуром скидача.

Загалом можна сказати, що галузь використання плужкових та механічних скидальних пристроїв для проміжного розвантаження стрічкових конвеєрів обмежується швидкістю руху стрічки та фізико-механічними властивостями насипних вантажів.

Широке застосування для проміжного розвантаження стрічкових конвеєрів знайшли двобарабанні розвантажувальні візки. Вони здійснюють однобічне, двобічне, фронтальне і безупинне в човниковому режимі розвантаження насипних вантажів в необхідних точках конвеєрного поставу.

Такий візок (рис. 1.2г) складається з рами 6, на якій закріплені відхиляючий і розвантажувальний 7 барабани, напрямні лійки 3, підтримувальні роликоопори та привод візка. Візок спирається на дві колісні пари і встановлюється на рейковий шлях, розташований уздовж конвеєра.

Насипний вантаж зсипається зі стрічки під час огинання нею верхнього розвантажувального барабану і одним чи двома похилими лійками відводиться в бункери, розташовані по обидва боки конвеєра. В разі необхідності насипний ван-

таж може пропускатися на стрічку з подальшим розвантаженням через головний барабан. Швидкість пересування скидального візка з механічним приводом вибирається виходячи зі швидкості стрічки v : від $0,085v$ до $0,075v$ при ширині стрічки від 800 до 1400 мм.

Двобарабанні скидальні візки придатні для різноманітних насипних вантажів за винятком липких та в'язких матеріалів. Вони зношують стрічку значно менше плужкових скидачів і використовуються при більшій ширині стрічки і підвищеній її швидкості. Слід відзначити, що габарити та вага візків швидко зростають із збільшенням ширини стрічки, особливо при ширині більше 1200 мм. Так, наприклад, візок для конвеєрів з шириною стрічки до 2000 мм має масу 49 т; візок для стрічки завширшки 1600 мм має масу 47 т, а габарити його досягають $B \times H \times L = 5240 \times 6500 \times 14500$ мм.

Додаткові опори руху стрічки конвеєра на скидальному візку складаються з опору на двох відхиляючих барабанах і опору підйому вантажу на висоту h' з урахуванням збільшення натягу на кожному барабані за допомогою коефіцієнта K :

$$S'_{зб} = (S'_{нб} + q_m h') K^2, \text{ Н}, \quad (1.3)$$

де $S'_{нб}$ – зусилля в гілці стрічки конвеєра, що набігає, Н; $S'_{зб}$ – зусилля в гілці стрічки конвеєра, що збігає, Н; q_m – погонне навантаження на стрічку конвеєра, Н/м.

В середньому потужність приводу конвеєра при використанні двобарабанних розвантажувальних візків зростає на 15-20%. В табл. 1.1 приведені типи і маси серійних барабанних візків для різних типів і режимів роботи конвеєрних стрічок.

До недоліків такого обладнання слід віднести значні розміри, вагу, складність конструкції. Збільшення числа перегинів стрічки викликає додатковий її натяг та зростання витрат потужності приводу. Крім того, це негативно позначається на довговічності стрічки.

Частково це може бути усунуто в розвантажувальних пристроях зі стрічкою зворотної жолобчастості (рис. 1.2д). При підході до такого пристрою, який може бути як стаціонарним, так і пересувним, стрічка поступово виположується на пе-

Таблиця 1.1 – Типи і маси серійних барабанних візків для різних типів і режимів роботи конвеєрних стрічок

Ширина стрічки і матеріал її прокладок	Максимальна швидкість стрічки, м/с	Максимальний натяг стрічки, Н	Тип візка	Маса візка з приводом від стрічки, кг	Маса візка з індивідуальним приводом, кг
500 Б-820	1,25	8250 1100	55040Р 55040М	1370 1900	1470 2800
650 Б-820	1,6	780 1430	Б6559Р Б6550М	1585 2600	1725 3550
800 Б-820	1,6	800	Б8050	3297	4375
1000 Б-820	1,6	2200	Б10063	3770	3170
1200 Б-820	1,6	2520	Б12080	7540	10250
1400 Б-820	1,6	3920	Б14080	8925	11980
800 Б-820	1,6	2400	Б8080	6020	7530
800 ОПБ-5 ЛХ-120	2,0	5040	-	-	-
1000 Б-820	2,0	4000	Б100100	7195	9110
1000 ОПБ-5	2,0	8400	-	-	-
1200 Б-820	2,0	5400	Б120125	10000	13150
1200 ОПБ-5 ЛХ-120	2,0	8800	Б120125	10000	13150

рехідних роликах приймає потім на перевернутих роlikоопорах 8 опуклу форму (зворотний жолоб). Скидання матеріалу тут відбувається на довжині декількох метрів у двобічні прийомні лійки 3, з яких потім він потрапляє на два допоміжні короткі стрічкові конвеєри 9, що транспортують його далі до розвантажувальних лійок бункера чи складу. Для покращення процесу розвантаження опорна рама таких пристроїв постачається вібраторами або овальними роликами, завдяки яким

стрічка отримує коливальні рухи у вертикальній площині.

Крім плужкових та двобарабанных розвантажувальних пристроїв знаходять використання гравітаційні скидальні пристрої, що працюють на принципі перекидання стрічки. Основним елементом такого пристрою є поворотна рама, яка несе на собі два похило розташованих ролика, що перекидають стрічку при повороті рами навколо вертикальної осі на 90° ; при цьому транспортований вантаж зсипається зі стрічки на прийомний майданчик, розташований уздовж конвеєра. Розвантажувальний фронт такого скидального пристрою досить великий за довжиною, а розвантаження можливо на достатньому віддаленні від приводного та натяжного барабанів.

Можна також згадати конструкцію човникового реверсивного конвеєра, за допомогою якого спрощується процес завантаження осередків бункерів значної протяжності у різних пунктах (рис. 1.3).

Рама такого конвеєра, що має довжину приблизно удвічі меншу, ніж довжина бункеру, монтується на колесах і переміщується по укладених на перекритті бункера рейках. Подача матеріалу до бункера здійснюється конвеєром, розташованим перпендикулярно і по осі до нього.

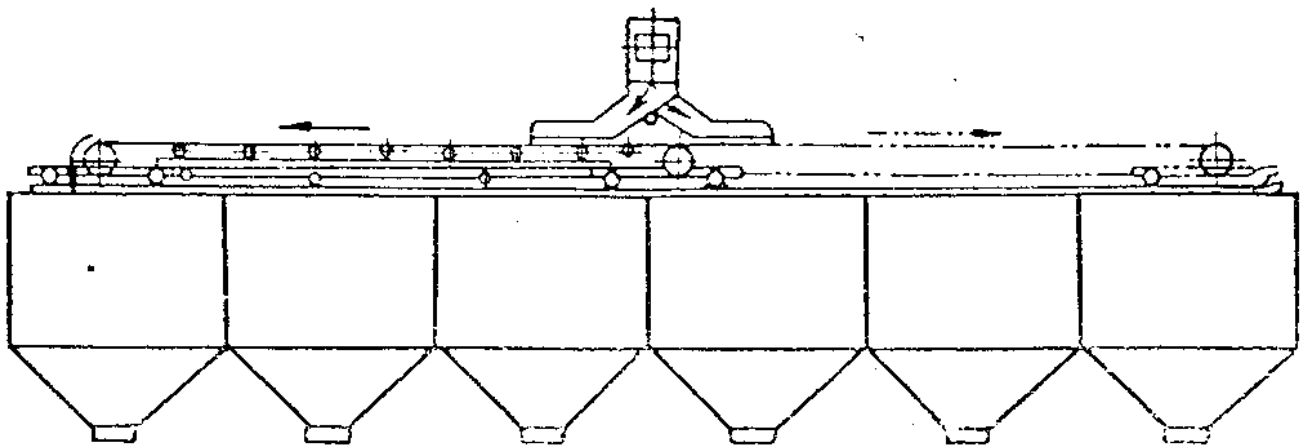


Рисунок 1.3 – Човниковий реверсивний конвеєр

Недосконалість пристроїв проміжного розвантаження стрічкових конвеєрів вимагала пошуків нових способів та пристроїв, одним з яких став вібраційний спосіб розвантаження за допомогою спрямованих коливань [6].

Завантаження осередків бункера човниковим конвеєром відбувається наступним чином. У лівому крайньому положенні конвеєр завантажує середній осередок бункера, після його заповнення конвеєр пересувають вправо і заповнюють послідовно осередки з правого боку бункера. Для завантаження лівих осередків конвеєр пересувають вправо і стрічці надають зворотний хід.

Для пересування човникового конвеєра на його рамі додатково встановлюють електродвигун, який за допомогою редуктору обертає ходові колеса. Човникові конвеєри у порівнянні зі стаціонарними конструкціями, постаченими розвантажувальними пристроями, мають удвічі меншу довжину та потребують приводу меншої потужності.

1.2.3 Перспективи використання вібраційних проміжних розвантажувальних пристроїв

Одним з можливих напрямків удосконалення пристроїв проміжного розвантаження стрічкових конвеєрів є використання вібрації для зниження опору скиданню або безпосередньо для розвантаження насипного матеріалу.

Такий вібраційний скидальний пристрій може складатися з розташованого над стрічкою плужка 1 та стола 2, що знаходиться під стрічкою, причому для зменшення коефіцієнту тертя вантажу по плужку та стрічці стіл жорстко сполучений із джерелом вертикальних вібраційних коливань 3, а плужок – із джерелом поздовжніх коливань 4 (рис. 1.4). Амортизаційні опори 5 стола та плужка встановлені незалежно одні від інших. Наявність в пристрої вібраційного плужка знижує тертя між насипним вантажем та плужком, а вертикальні коливання стола зменшують тертя між вантажем та стрічкою.

Існує варіант вібраційного розвантажувального пристрою для конвеєра зі стрічкою завширшки більше 2000 мм, який складається з декількох роликоопор, що приймають у місці розвантаження форму зворотного жолоба. Насипний вантаж, який потрапляє на цю ділянку роликового постапу конвеєра, зсипається з обох боків конвеєрної стрічки. Для прискорення процесу розвантаження рама з роликами додатково піддається вібруванню. Значний розвантажувальний фронт

таких пристроїв (до 18 м) веде до суттєвого ускладнення вузла розвантаження і обмеженню галузі їх використання.

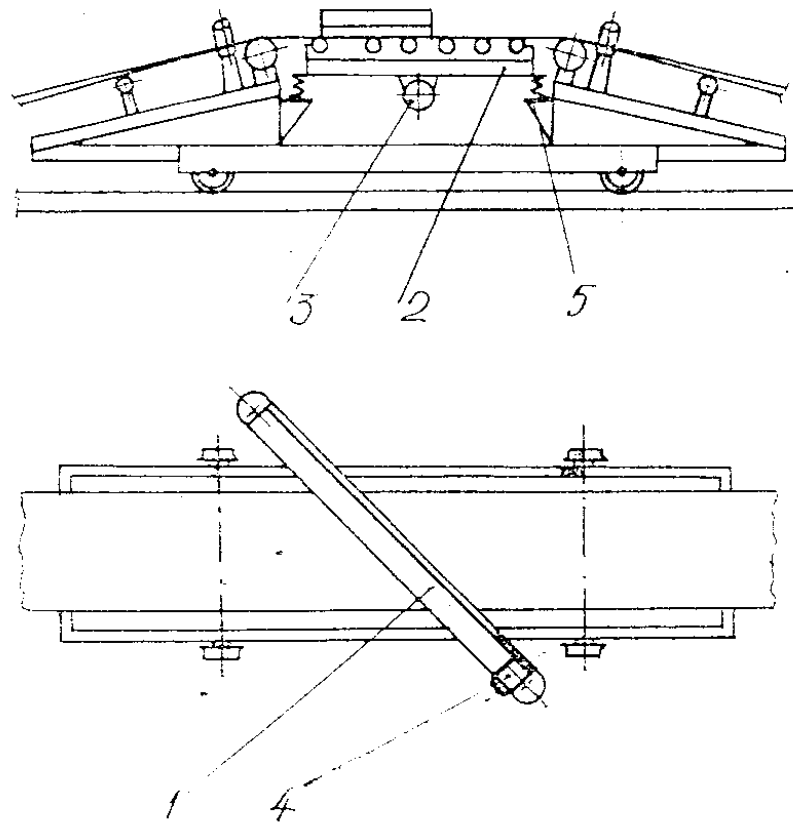


Рисунок 1.4 – Принципова схема вібраційного розвантажувального пристрою:
1 – плужок; 2 – стіл; 3 – джерело вертикальних вібраційних коливань;
4 - джерело поздовжніх вібраційних коливань; 5 – опора амортизаційна

Досить цікавим є також спосіб проміжного розвантаження стрічкових конвеєрів за допомогою спрямованих коливань стрічки на ділянці розвантаження [6]. У цьому випадку на ділянці розвантаження стрічка рухається по робочому органу (наприклад, площині, що постачена поздовжніми роликами), який здійснює спрямовані коливання за допомогою вібраційного приводу. Коливання робочого органу передаються стрічці та насипному вантажу, що забезпечує його поперечне транспортування. Такий пристрій для проміжного розвантаження стрічкового конвеєра складається з рами 1, на якій за допомогою амортизаторів 2 встановлений вібруючий робочий орган 3 з приводом 4 (рис. 1.5). Вібраційний пристрій розташований на візку 5 між холостою 6 та робочою 7 гілками конвеєра. Кут на-

хилу вібраційного робочого органу у бік розвантажувального лотка можна змінювати для підвищення швидкості розвантаження.

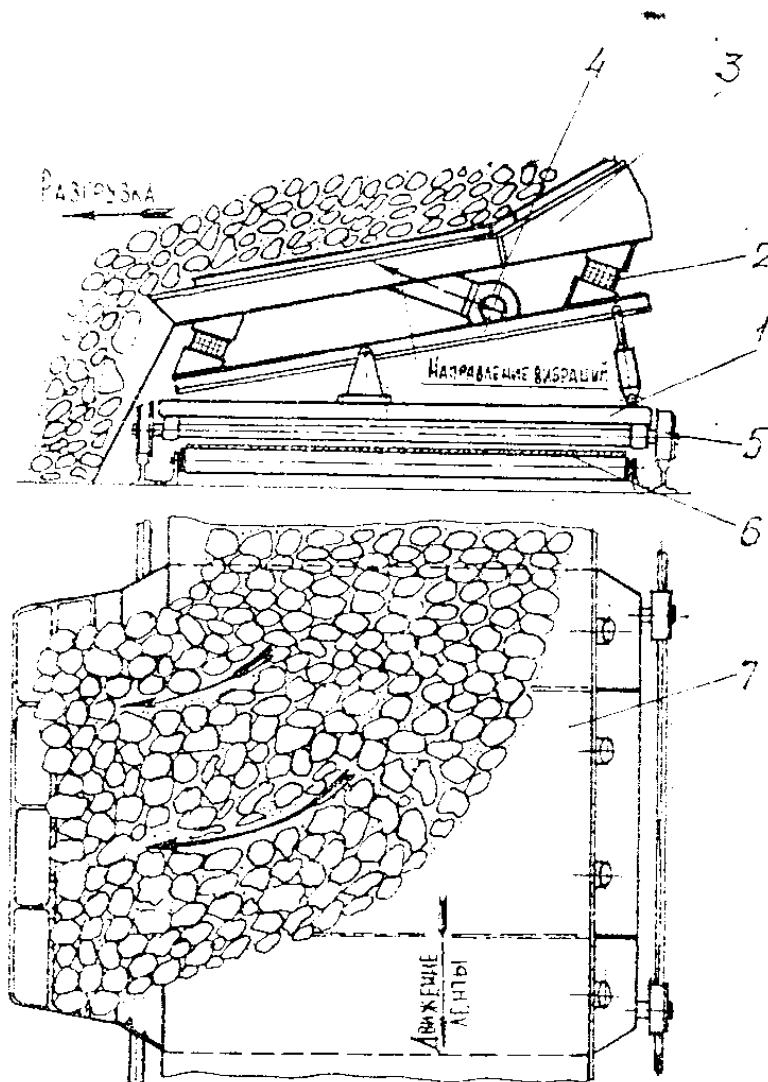


Рисунок 1.5 – Принципова схема вібраційного розвантажувального пристрою зі спрямованими коливаннями:

1 – рама; 2 – амортизатор; 3 – орган робочий; 4 – привод;
5 – візок; 6 – гілка холоста; 7 – гілка робоча

Спосіб проміжного розвантаження насипних вантажів за допомогою спрямованих коливань стрічки конвеєра має низку суттєвих переваг у порівнянні з іншими, а саме:

- відсутні елементи, що безпосередньо контактують з робочою обкладинкою стрічки, тобто вібруючий робочий орган не збільшує зношення стрічки;
- габаритні розміри та вага розвантажувального пристрою з вібруючим ро-

бочим органом значно менші у порівнянні з двобарабанными розвантажувальними візками для тих самих конвеєрних стрічок;

- стрічка не піддається додатковим перегинанням, які знижують її довговічність;
- опори руху стрічці практично не зростають (коефіцієнт тертя стрічки відносно вібруючих роликів значно нижче коефіцієнта тертя ковзання).

Висновки:

- широке розповсюдження конвеєрного транспорту для доставки гірничої маси у вітчизняній та закордонній гірничій промисловості обумовлено його високою пропускнуою здатністю та порівняно низькою трудомісткістю експлуатації. Проте, подальший його розвиток вимагає підвищення техніко-економічних показників конвеєрного обладнання, ставить перед дослідниками важливі проблеми створення високоміцних стрічок, підвищення терміну служби роликів опор, розробки уточнених методик розрахунку, створення надійно діючих завантажувальних та перевантажувальних пристроїв;

- завантажувальні та розвантажувальні пристрої відносяться до конвеєрного обладнання допоміжного типу і служать для правильного спрямовування на конвеєр транспортованого матеріалу під час його завантаження та розвантаження цього матеріалу у кінці чи у проміжних точках його траси. Огляд існуючих традиційних конструкцій розвантажувальних пристроїв, здійснений у роботі, разом з їхніми позитивними рисами виявив низку переваг, що заважають підвищенню ефективності експлуатації такого відповідального устаткування;

- одним з можливих напрямків удосконалення пристроїв проміжного розвантаження стрічкових конвеєрів є використання вібрації для зниження опору скиданню або безпосередньо для розвантаження насипного матеріалу. Спосіб проміжного розвантаження насипних вантажів за допомогою спрямованих коливань стрічки конвеєр, які забезпечуються спеціальним вібраційним приводом, відрізняється відсутністю контактуючих зі стрічкою елементів (не збільшує зношення стрічки), малими габаритними розмірами та вагою у порівнянні з двобарабанными

розвантажувальними візками для тих самих конвеєрних стрічок; меншим числом додаткових їх перегинів, меншими опорами руху стрічки.

1.3 Мета і задачі дослідження

Мета роботи – дослідження та обґрунтування раціональних параметрів вібраційного пристрою для проміжного розвантаження стрічкового конвеєра.

Проведений під час виконання магістерської роботи аналіз технологічного процесу транспортування гірничої маси та продуктів її переробки у гірничій та гірничозбагачувальній промисловості, галузей та особливостей застосування стрічкових конвеєрів у гірництві, конструкцій завантажувальних і розвантажувальних пристроїв для такого обладнання (зокрема пристосувань для проміжного розвантаження конвеєрів) та перспектив використання для інтенсифікації цього процесу вібраційних ефектів дозволив сформулювати необхідні для вирішення задачі дослідження:

- вибрати необхідні методи наукових досліджень: як теоретичні, так й експериментальні;
- проаналізувати загальні принципи розрахунку стрічкових конвеєрів, обладнаних розвантажувальними пристроями;
- провести дослідження процесу взаємодії конвеєрної стрічки з вібраційним робочим розвантажувальним органом;
- обґрунтувати раціональні параметри вібраційного пристрою для проміжного розвантаження стрічкового конвеєра;
- розробити методику розрахунку основних робочих та конструктивних параметрів такого пристрою.

Об'єкт дослідження – процес проміжного розвантаження стрічкових конвеєрів.

Предмет дослідження – вібраційний пристрій для проміжного розвантаження стрічкового конвеєра.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведення наукових досліджень вимагає використання загальних та спеціальних методів. Оскільки дослідження, здійснені у представленій магістерській роботі, є прикладними (тобто спрямованими на використання отриманих фундаментальних знань для підвищення ефективності роботи того чи іншого механічного обладнання), то і методи їх виконання розраховані на застосування відповідних підходів до визначення раціональних параметрів розглянутого устаткування.

В роботі передусім широко використовується аналітичний метод досліджень, зокрема для огляду галузей застосування конвеєрного обладнання у гірничій та гірничозбагачувальній промисловості, визначення переваг конвеєрів стрічкового типу, критичного аналізу особливостей його практичної експлуатації у важких умовах гірничого виробництва, розгляду конструкцій завантажувальних та розвантажувальних пристроїв стрічкових конвеєрів, порівняльного аналізу їх переваг та недоліків, оцінки потенційних можливостей реалізації вібраційних ефектів у гірничій промисловості, аналізу процесу вібраційного транспортування сипких вантажів та перспектив використання розвантажувальних пристроїв стрічкових конвеєрів вібраційного типу.

В роботі приводиться типова методика розрахунку конвеєра стрічкового типу, що дозволяє визначити його основні робочі та конструктивні параметри у залежності від конкретних умов роботи.

Теоретичне дослідження процесу проміжного вібраційного розвантаження стрічкового конвеєра проведено з використанням методу динамічної взаємодії стрічки та насипного вантажу з робочим органом вібраційного розвантажувального пристрою. За його допомогою отримані найбільш оптимальними режимами вібраційних коливань, які забезпечують достатньо ефективне розвантаження насипного вантажу зі стрічки конвеєра з мінімальним рівнем динамічних навантажень на його конструктивні елементи.

За результатами проведеного дослідження запропонована конструкція вібраційного розвантажувального пристрою, а за допомогою методу її промислових

випробувань доведена доцільність практичного використання такого роду обладнання.

Нарешті, для вибору раціональних параметрів розвантажувального пристрою у залежності від умов експлуатації (наприклад, конструктивних та експлуатаційних характеристик стрічкового конвеєра) запропонована відповідна методика розрахунку такої установки.

З ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОМІЖНОГО ВІБРАЦІЙНОГО РОЗВАНТАЖЕННЯ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

3.1 Загальний порядок розрахунку стрічкового конвеєра, обладнаного розвантажувальними пристроями

Зазвичай розрахунок стрічкового конвеєра здійснюється за наближеними формулами. В якості вихідних даних для розрахунку приймають [1,4]:

- геометричну схему конвеєра (довжина, висота підйому матеріалу, кут нахилу);
- продуктивність;
- фізичні властивості транспортованого матеріалу (крупність, насипна вага, вологість, абразивність тощо);
- розташування та кількість точок завантаження матеріалу на конвеєр;
- тип розвантажувального пристрою;
- наявність по довжині конвеєра пристроїв, що потребують певної величини швидкості руху стрічки (наприклад, конвеєрні ваги).

Швидкість стрічки вибирають у залежності від її пропонованої ширини та крупності переміщуваного матеріалу. При цьому потрібно мати на увазі, що для похилих конвеєрів величину швидкості потрібно зменшувати: на 5-10% для кутів нахилу установки 10-15° і на 10-15% для кутів нахилу 15-20°. Швидкість стрічки обмежується у разі наявності на конвеєрі розвантажувальних пристроїв (див. п. 1.2.2): до 2,5 м/с при розвантажувальному двобарабанному візку; до 1,6 м/с при плужковому скидачеві на дрібному та середньошматковому матеріалі; до 1,35 м/с при плужковому скидачеві на крупношматковому матеріалі.

Уточнене значення ширини стрічки знаходиться за наступною формулою:

$$B = \sqrt{\frac{Q}{kv\gamma}}, \quad (3.1)$$

де Q – розрахункова продуктивність конвеєра, т/г; k – коефіцієнт, що залежить від кута природного укосу матеріалу (табл. 3.1); v – прийнята швидкість руху стрічки, м/с; γ – насипна вага матеріалу, т/м³.

Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнту k у формулі (3.1)

Кут природного укосу матеріалу, град.	Величина k при нахилі конвеєра, град.				
	0	5	10	15	20
45	395	365	335	310	285
40	365	335	310	285	260
35	335	310	285	285	235
30	310	285	260	260	210
25	285	260	235	235	185

Крім того, ширина стрічки має бути перевірена за розмірами шматків транспортованого матеріалу:

- для рядової руди або вугілля з найбільшими розмірами шматків $a_{\max}$:

$$B \gg 3a_{\max} + 200, \text{ мм}; \quad (3.2)$$

- для сортованої руди або вугілля із середніми розмірами шматків $a_{\text{сеп}}$:

$$B \gg 3,3a_{\text{сеп}} + 200, \text{ мм}. \quad (3.3)$$

Величина споживаної потужності на валу приводного барабану при усталеному русі стрічки визначається за формулою:

$$N_6 = (N_1 + N_2 + N_3)k_1k_2k_3k_4 + N_{\text{оч}}, \text{ кВт}, \quad (3.4)$$

де N_1 – потужність, що витрачається на холостий хід стрічки:

$$N_1 = \frac{k_0Lv}{10000}, \text{ кВт}; \quad (3.5)$$

N_2 – потужність, що витрачається на переміщення матеріалу у горизонтальному напрямку:

$$N_2 = \frac{1,2QL}{10000}, \text{ кВт}; \quad (3.6)$$

N_3 – потужність, що витрачається на підйом матеріалу у похилих конвеєрах та при установці розвантажувального барабанного візка:

$$N_3 = \frac{27,2Q(H+H_0)}{10000}, \text{ кВт}; \quad (3.7)$$

$N_{\text{оч}}$ – додаткова потужність, що витрачається на очисні пристрої (щітки, скребки), яка залежить від ширини стрічки (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Величина додаткової потужності приводу $N_{\text{оч}}$

Ширина стрічки, мм	Додаткова потужність $N_{\text{оч}}$, кВт
500	1,0
650	1,3
800	1,6
1000	2,4
1200	2,8
1400	2,8
1600	3,2
2000	4,0

У формулах (3.3)-(3.37): k_0 – коефіцієнт, що залежить від ширини стрічки (табл. 3.3); L – повна довжина конвеєра, м; H – висота підйому конвеєра, м; H_0 – висота підйому скидального візка, м; k_1 – коефіцієнт, що залежить від довжини конвеєра (табл. 3.4); k_2 – коефіцієнт, що залежить від конфігурації конвеєра (для конвеєра без перегинів траси – $k_2 = 1,1$; для установок з перегинами – $k_2 = 1,1 + 0,03d$, де d – кількість перегинів); k_3 – коефіцієнт, що приймається для несприятливих умов роботи конвеєра (при транспортуванні пилових матеріалів – $k_3 = 1,05-1,1$; те саме, вологих або налипших – $k_3 = 1,1-1,15$; при роботі у неопалюваних приміщеннях – $k_3 = 1,1-1,2$); $k_4 = 1,15$ – коефіцієнт, що приймається за наявності на конвеєрі розвантажувального барабанного візка.

Потужність редуктора визначають за потужністю на валу приводного барабану з урахуванням к.к.д. самого редуктора.

Потужність електродвигуна приймають за фактичною витратою потужності на швидкохідному валу редуктора з коефіцієнтом запасу на пуск у хід (1,15-1,25).

Таблиця 3.3 – Значення коефіцієнту k_0 у формулі (3.5)

Матеріал стрічки	Величина k_0 при ширині стрічки, мм								
	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Бельтинг Б-820	110	140	230	290	360	460	-	-	-
Те саме, ОПБ	-	-	280	360	450	700	800	-	1250
Анідна тканина	-	-	-	-	-	460	600	-	1050
Гумовотросова	-	-	400	480	580	-	760	-	1250

Таблиця 3.4 – Значення коефіцієнту k_1 у формулі (3.4)

Довжина конвеєра, м	k_1
до 15	1,5
16-30	1,2
31-50	1,1
більше 50	1,0

З огляду на це, потужність електродвигуна становитиме:

$$N_e = \frac{N_{\delta e}}{\eta}, \text{ кВт}, \quad (3.8)$$

де e – коефіцієнт запасу на пуск (див. вище); η – к.к.д. редуктора.

Далі розраховують та вибирають конвеєрну стрічку у наступному порядку:

- визначають окружне зусилля на ободі приводного барабану:

$$P = \frac{102N_{\delta}}{v}, \text{ кг}; \quad (3.9)$$

- визначають максимальний натяг гілки стрічки, що набігає приводний барабан:

$$T = Pn, \text{ кг}, \quad (3.10)$$

де n – коефіцієнт, що знаходиться за таблицею 3.5 (μ – коефіцієнт тертя стрічки відносно барабану);

- визначають допустимий натяг стрічки, віднесений до 1 см ширини однієї прокладки:

$$C = \frac{K_p}{m}, \text{ кг}, \quad (3.11)$$

де K_p – межа міцності 1 см ширини однієї прокладки (для бельтингу Б-820 – $K_p = 55$; для бельтингу ОПБ – $K_p = 115$; для анідної тканини – $K_p = 300$); $m = 8,5$ – коефіцієнт запасу;

Таблиця 3.5 – Значення коефіцієнту n у формулі (3.10)

Тип барабану	Величина n при куті обхвату приводного барабану, град.					
	180	190	200	205	210	220
Гладкий металевий ($\mu = 0,25$)	1,84	1,78	1,72	1,69	1,67	1,62
Футерований ($\mu = 0,35$)	1,50	1,46	1,42	1,40	1,38	1,35

- визначають число прокладок:

$$a = \frac{T}{BC}, \text{ шт.}, \quad (3.12)$$

яке коректується за конструктивними розуміннями у залежності від ширини стрічки і характеру транспортованого матеріалу. Для важких конвеєрів гірничозбагачувальних підприємств слід вибирати стрічки з числом прокладок не менше 8-10, бажано з бельтингу ОПБ. Число прокладок також має бути узгодженим з діаметрами барабанів конвеєра. Для приводних барабанів і стрічок з бельтингу Б-820 – $D \geq 150a$; кінцевих і натяжних барабанів – $D \geq 125a$; для зворотних та відхиляючих барабанів – $D \geq 80a$. Для барабанів у випадку використання стрічок з бельтингу ОПБ – відповідно $D \geq 160a$; $D \geq 125a$; $D \geq 100a$.

Вибір гумовотросової стрічки здійснюють за максимальним натягом T , що визначається за формулою (3.10). Його величина не повинна перевищувати допустиме навантаження на стрічку.

Для опуклих криволінійних ділянок конвеєрної траси (на переходах від похилої ділянки до горизонтальної або від одного нахилу до іншого меншого) радіус кривизни приймають виходячи з ширини стрічки (табл. 3.6).

Конвеєри з гумовотросовою стрічкою з огляду на значну величину її поздовжньої жорсткості не повинні мати криволінійних ділянок.

Вага натяжного вантажу для горизонтального конвеєра з візковим натяжним пристроєм визначається за наступною формулою:

Таблиця 3.6 – Мінімальний радіус кривизни криволінійних ділянок стрічкових конвеєрів

Ширина стрічки, мм	Радіус кривизни, м
500	5
650-800	9
1000-1200	13
1400-1600	19
2000	25

$$G_B = 2,7(T - P), \text{ кг.} \quad (3.13)$$

3.2 Використання вібраційних ефектів у промисловості

Сучасний розвиток вібраційних технологій, що використовуються у промисловості, у тому числі гірничій, характеризується усе більш широким охопленням нових галузей реалізації вібраційних ефектів, які дозволяють суттєво інтенсифікувати найрізноманітніші технологічні процеси. До них сьогодні можна віднести наступні [7-11]:

- *вібраційне зрідження дисперсних середовищ*, що відбувається під час їх вібраційної обробки з інтенсивністю у межах амплітудних прискорень не більше прискорення вільного падіння ($A\omega^2 \leq g$, де A – амплітуда коливань; ω – кутова частота коливань; g – величини прискорення вільного падіння). Сипкий матеріал при цьому набуває підвищеної плинності за рахунок зменшення коефіцієнтів тертя між його частинками. Такий ефект, з одного боку, дозволяє покращити умови витікання вантажів з будь-яких ємностей, а, з іншого – сприяє ущільненню сипкого матеріалу, що дає можливість підвищити ступінь використання корисного обсягу цих ємностей на 15-20%. Величезне значення ефект вібраційного ущільнення має для формування бетонних сумішей у будівництві;

- *вібраційне розпушення дисперсних середовищ*, яке виникає при подальшому збільшенні інтенсивності коливань ($A\omega^2 > g$) і супроводжується хаотичним ру-

хом часток матеріалу з періодичним відривом їх від вібруючої поверхні. Такий ефект ще називають віброкипінням матеріалу з посиленою циркуляцією його складових елементів. Він дуже широко використовується для інтенсифікації масо- і теплообмінних процесів та різноманітних хімічних реакцій. В якості прикладів можна навести процеси змішування різнорідних середовищ, класифікації та сепарації, вібраційної об'ємної обробки матеріалів, охолодження, нагрівання, сушіння і обезводнення, випуску руди з виробок та інших;

- *вібраційне транспортування сипких вантажів*. Цей ефект можна назвати найвидатнішим та найрозповсюдженішим способом використання ефекту віброкиплячого шару, тому йому слід приділити особливу увагу, що буде зроблено нижче;

- *вібраційне грохочення мінеральної сировини*, під час якого відбувається розділення суміші часток матеріалу різного розміру на окремі класи крупності. Використання вібрації дозволило зробити революцію у розвитку машин такого класу. Вібраційні грохоти – це одні з найбільш розповсюджених транспортно-технологічних машин, що використовують ефект вібрації. Їх можна зустріти не лише на будь-якому підприємстві гірничої галузі, але й у будівництві, промисловості будівельних матеріалів, хімічному виробництві тощо. Крім звичайного процесу вібротранспортування шару матеріалу уздовж робочого органу грохота тут спостерігається рух часток прохідної фракції (тобто більш дрібних часток) у поперечному напрямку до поверхні сита (так називана сегрегація), а також проникнення їх крізь отвори сита (власне просіювання);

- *вібраційним зануренням* називають впровадження твердого тіла в опірне середовище під дією постійної та знакозмінної сили. Цей ефект використовується для занурення паль, а також геологічного та інших видів буріння. Застосування вібрації дозволяє різко знизити витрати часу й технічних засобів на проведення цих операцій. Генерована віброзбудником сила дозволяє значно зменшити статичну силу, необхідну для впровадження тіла. Ще одним варіантом використання цього ефекту є вібраційні ківші навантажувальних машин та виймально-навантажувального обладнання (екскаваторів), які істотно полегшують процес занурення

робочих органів у штабель гірничої маси. Крім того, вібруючі ківші мають більш високий коефіцієнт заповнення і можуть використовуватися на навантажувальних машинах як періодичної, так і безупинної дії;

- *вібраційне дроблення і подрібнення мінеральної сировини*. Механічні процеси зменшення розмірів шматків гірничих порід надзвичайно широко використовуються у багатьох галузях промисловості. Лише у розвинених країнах на ці операції витрачається до 7% усієї виробленої енергії. Застосування вібрацій дозволяє суттєво підвищити ефективність і продуктивність процесів дроблення і подрібнення, скоротити витрати часу та енергії на їх здійснення;

- *вібраційна обробка деталей машин*, у тому числі гірничих. За допомогою вібрацій може виконуватися операція поверхневого зміцнення різноманітних виробів, що потребують цього, наприклад робочих елементів бурильного обладнання. Обробка полягає у нанесенні по поверхні деталі численних мікроударів під час контакту її з робочими тілами у камері відповідної вібраційної машини.

Це лише основні відомі на сьогоднішній час вібраційні ефекти, що знаходять широке використання у техніці. Головними процесами з перерахованих вище слід все ж таки вважати різноманітні операції вібраційної обробки насипного середовища, які супроводжуються підвищенням його рухомості та суттєвим зменшенням опорів, що виникають під час впровадження тих чи інших робочих органів у це середовище. У таких умовах технологічні процеси відбуваються легше і помітно скоріше, з меншими витратами енергії.

3.3 Особливості процесу вібраційного переміщення сипких матеріалів

У загальному плані можна сказати, що під ефектом вібраційного переміщення розуміється виникнення «спрямованих в середньому» рухів за рахунок ненаправлених у середньому (коливних) впливів. Іншими словами вібраційне переміщення вантажу здійснюється за рахунок періодичних впливів на нього, причому воно можливо лише у тому випадку, якщо в сукупності сил, що діють на переміщуваний об'єкт, присутня деяка постійна складова, тобто періодичним впливам

притаманна певна асиметрія [7-11].

Важливою особливістю вібраційних транспортних машин є те, що переміщення вантажів у них здійснюється не в результаті їхнього спільного руху з робочим (вантажонесучим) органом, а внаслідок вібрації останнього. Таким робочим органом зазвичай служить труба чи лоток, яким тим чи іншим способом повідомляються поступальні коливання. Найчастіше, як відносно просто реалізовані, використовуються прямолінійні гармонійні коливання, траєкторії яких нахилені до осі чи труби лотка під деяким гострим кутом.

Процес вібраційного транспортування отримав найбільше теоретичне пояснення з усіх технологічних процесів, що ґрунтуються на використанні вібрації. Разом із тим, його ідеалізація має багато загального з описом інших процесів, де «спрямований у середньому» рух виникає або підтримується за рахунок вібраційних впливів [12].

Динамічна модель процесу вібраційного транспортування насипного вантажу представлена на рис. 3.1 [12].

Вібруюча площина A нахилена відносно горизонту під кутом $-\frac{\pi}{2} < \alpha < \frac{\pi}{2}$. Вісь OY нерухомої системи координат OXY перпендикулярна площині A ; вісь OX проходить у площині A , коли остання нерухома. З площиною A , що здійснює поступальні коливання у площині OXY за законом $X = x_0(t)$, $Y = y_0(t)$, пов'язана рухома система координат O_1xy , осі якої паралельні осям нерухомої системи. Розглянемо важку матеріальну частинку B масою m , яка поступально рухається у площині OXY . Її абсолютні координати X , Y пов'язані з відносними координатами x , y наступними співвідношеннями:

$$X = x + x_0(t), Y = y + y_0(t). \quad (3.14)$$

Якщо частинка не контактує з площиною A , на неї діє лише сила тяжіння, складові якої по осях OX і OY дорівнюють відповідно $-mg \sin \alpha$ та $-mg \cos \alpha$. У періоди контакту з площиною на частинку B впливає також сила реакції, нормальна складова якої позначена через N . Дотична ж складова F носить характер сухого тертя, наявності якого й пояснюється «спрямований у середньому» рух час-

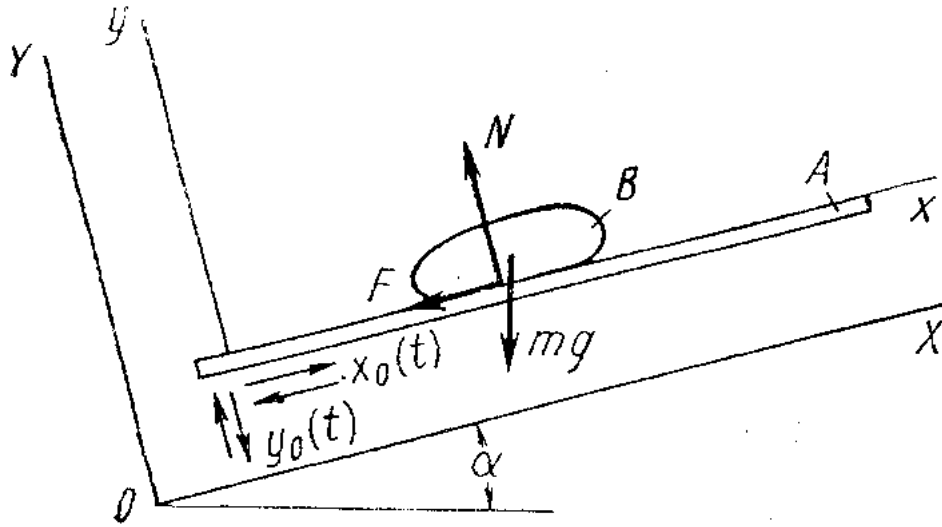


Рисунок 3.1 – Динамічна модель процесу вібраційного транспортування насипного вантажу

тинки. З огляду на це, рівняння руху частинки будуть мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned} m\ddot{X} &= -mg \sin \alpha + F, \\ m\ddot{Y} &= -mg \cos \alpha + N. \end{aligned} \quad (3.15)$$

Якщо підставити сюди співвідношення (3.14), можна отримати рівняння руху частинки відносно вібруючої площини A :

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= -m\ddot{x}_0(t) - mg \sin \alpha + F, \\ m\ddot{y} &= -m\ddot{y}_0(t) - mg \cos \alpha + N. \end{aligned} \quad (3.16)$$

Останні члени цих виразів мають місце при $y = 0$. З цієї умови маємо:

$$N = m\ddot{y}_0 + mg \cos \alpha. \quad (3.17)$$

Сила сухого тертя дорівнює:

$$F = -fN \operatorname{sign} \dot{x}, \quad (3.18)$$

де f – коефіцієнт тертя ковзання.

Частинка може знаходитися на площині A й у стані відносного спокою, коли $x = 0$. Тоді з першого рівняння (3.16) матимемо:

$$F = F_0 = m\ddot{x}_0(t) + mg \sin \alpha . \quad (3.19)$$

Сила тертя спокою F_0 не може бути довільною. Вона обмежена наступною умовою:

$$|F_0| < f_1 N, \quad (3.20)$$

де f_1 – коефіцієнт тертя спокою. При порушенні цієї умови починається проковзування частинки відносно поверхні A .

Отже, частинка може знаходитися у трьох можливих станах свого руху:

- у стані польоту:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= -\ddot{x}_0(t) - g \sin \alpha, \\ \ddot{y} &= -\ddot{y}_0(t) - g \cos \alpha; \end{aligned} \quad (3.21)$$

- у стані відносного проковзування, рівняння якого можна отримати шляхом підстановки співвідношень (3.17) і (3.18) у перше рівняння (3.16):

$$\ddot{x} = -\ddot{x}_0(t) - g \sin \alpha - f[\ddot{y}_0(t) + g \cos \alpha] \operatorname{sign} \dot{x}; \quad (3.22)$$

- у стані відносного спокою.

Під час переходу від стану польоту до стану відносного ковзання нормальна складова відносної швидкості $\dot{y}$ змінюється згідно з ньютонівською теорією удару:

$$\dot{y}_+ = -R\dot{y}_-, \quad (3.23)$$

а її дотична складова змінюється лише за величиною, але не за напрямком, причому її значення до і після удару пов'язані наступним співвідношенням:

$$\dot{x}_+ = (1 - \lambda)\dot{x}_-, \quad (3.24)$$

де λ – так називаний коефіцієнт миттєвого тертя під час удару ($0 \leq \lambda \leq 1$).

Отримані співвідношення (3.19)-(3.24) повністю визначають рух частинки, кожен етап якого описується диференціальними рівняннями простого типу. Чергування цих етапів у різній послідовності призводить до великої різноманітності можливих режимів руху. Пізніше у системі встановлюється деякий певний вид руху, що не залежить від початкових умов. Усі такі сталі режими можна розділити на дві групи:

- регулярні, при яких швидкість частинки уздовж площини A є періодичною функцією часу і які описуються співвідношеннями типу:

$$x(t) = Vt + \varphi(t); \quad y = \psi(t); \quad (3.25)$$

- прискорені, що характеризуються постійним середнім прискоренням уздовж цієї площини:

$$x(t) = \frac{Wt^2}{2} + V^*t + \varphi_1(t); \quad y = \psi_1(t). \quad (3.26)$$

Тут величини V , W , V^* – постійні, функції φ , φ_1 , ψ , ψ_1 – періодичні, з періодом, що дорівнює або кратний періоду функцій $x_0(t)$ і $y_0(t)$.

Найбільш важливі практичні випадки характеризуються коливаннями площини A за гармонійним законом:

$$\begin{aligned} x_0(t) &= a \cos \omega t, \\ y_0(t) &= b \cos(\omega t - \varepsilon). \end{aligned} \quad (3.27)$$

При $\varepsilon = 0$ усі точки площини A здійснюють прямолінійні коливання під кутом $\beta = \arctg \frac{b}{a}$ до осі O_1x з амплітудою $A_0 = \sqrt{a^2 + b^2}$. При $\varepsilon = \frac{\pi}{2}$ і $a = b$ кожна точка площини A рухається по кругових, у решті випадків – по еліптичних траєкторіях.

3.4 Дослідження процесу взаємодії конвеєрної стрічки з робочим органом вібраційного розвантажувального пристрою

Теоретичне дослідження процесу проміжного вібраційного розвантаження конвеєра проведено на основі динамічної схеми взаємодії стрічки та насипного вантажу з робочим органом вібраційного розвантажувального пристрою. Приймаємо, що під час руху стрічки конвеєра її робоча гілка в зоні розвантаження знаходиться під дією постійного розтяжного зусилля S . Стрічка та насипний вантаж на ній мають при цьому рівномірно розподілену лінійну густину [6,13]. Робоча гілка конвеєра наближено може бути представлена у вигляді гнучкого та пружного еле-

менту, що закріплений на кінцях вібруючої ділянки і знаходиться під дією згаданого розтяжного зусилля. Проміжне розвантаження стрічкового конвеєра здійснюється за рахунок спрямованих коливань ділянки стрічки за допомогою вібратора.

Описана динамічна схема зображена на рис. 3.2. На рис. 3.2а показана робоча гілка стрічкового конвеєра з підтримувальними роликоопорами, на якій виділена ділянка $ЛП$ проміжного розвантаження, а на середині цієї ділянки встановлений вібраційний розвантажувальний пристрій (точка $М$). Ділянка стрічки $ЛП$ представляє собою систему з розподіленими параметрами і її можна розглядати як матеріальну струну, що закріплена в точках $Л$ і $П$ і збуджується періодичною силою в точці $М$ (рис. 3.2б).

Позначимо зусилля, що діє в робочій гілці стрічкового конвеєра в зоні розвантаження, через S . Густина ділянки стрічки зліва від точки $М$ буде:

$$\rho_1 = \rho_c + \rho_v, \quad (3.28)$$

де ρ_c – лінійна густина конвеєрної стрічки; ρ_v – лінійна густина насипного вантажу.

Густина стрічки на ділянці справа від точки $М$:

$$\rho_2 = \rho_c. \quad (3.29)$$

Складемо диференціальне рівняння поперечних коливань стрічки за умови наступних припущень:

- стрічка абсолютно гнучка;
- стрічка здійснює малі коливання в одній площині;
- стрічка складається з двох однорідних ділянок густиною ρ_1 та ρ_2 ;
- натяги стрічки в точках закріплення однакові, а зміненням натягу конвеєрної стрічки у межах зони розвантаження нехтуємо внаслідок того, що довжина робочого органу розвантажувального пристрою незначна у порівнянні з довжиною конвеєра;
- стрічка рухається з постійною швидкістю.

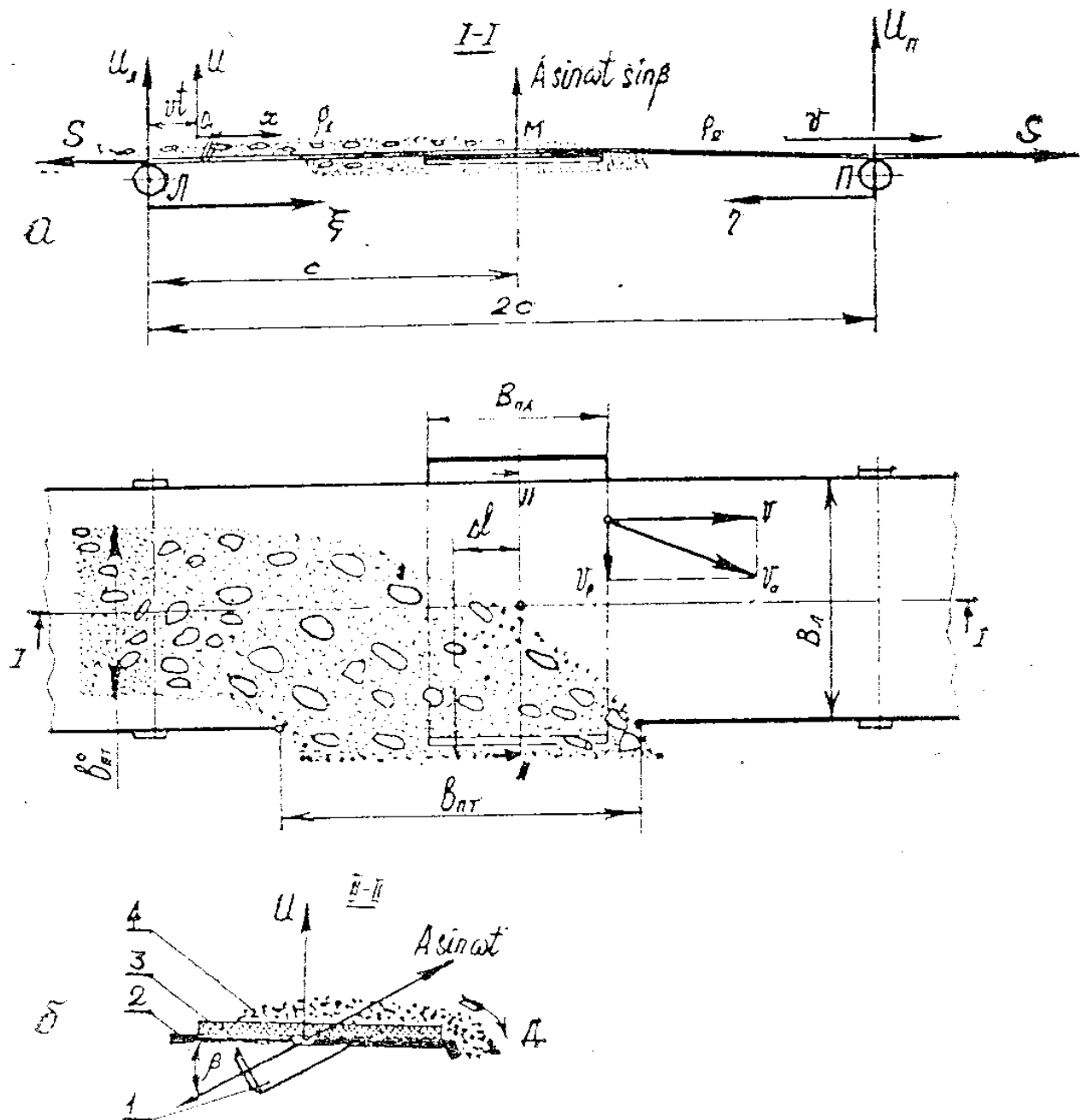


Рисунок 3.2 – Динамічна схема взаємодії стрічки з вібраційним робочим органом:
1 – вібратор; 2 – площина вібраційна; 3 – стрічка конвеєра; 4 – вантаж насипний

Урахування мас стрічки та насипного вантажу, що приймають участь у коливаннях, буде вносити відповідну неоднорідність у хвильове рівняння.

Пропонована динамічна схема проміжного вібраційного розвантаження з прийнятими припущеннями може бути описана при коливаннях неоднорідним хвильовим рівнянням наступного вигляду:

$$\frac{\partial^2 U(x,t)}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 U(x,t)}{\partial x^2} + \frac{1}{\rho} \varphi(x, t), \quad (3.30)$$

де $U(x,t)$ – пружне зміщення поперечного перетину стрічки у вертикальній площині, яке залежить від положення (x) та від часу (t); a – швидкість розповсюдження пружних хвиль деформацій уздовж стрічки.

Густина розповсюдження зовнішніх сил $\varphi(x,t)$ залежить від погонної ваги конвеєрної стрічки з насипним вантажем, тобто:

$$\varphi(x,t) = -\rho g. \quad (3.31)$$

В точці M конвеєрна стрічка здійснює коливання, наприклад гармонійні, за наступним законом:

$$U(C,t) = A \sin \omega t, \quad (3.32)$$

де C – координата точки M відносно початку координатної системи; ω – кутова швидкість обертання приводного валу; A – амплітуда коливань робочого органу розвантажувального пристрою.

Дослідження вимушених коливань, що здійснює конвеєрна стрічка на ділянці розвантаження (див. формулу 3.30), нерозривно пов'язано із задачею дослідження безвідривного руху стрічки та робочого органу пристрою, тому що при сумісному коливанні стрічки і робочого органу можлива найбільш ефективна передача вібраційного руху насипному вантажу та його наступне розвантаження.

Диференціальне рівняння хвильових коливань (3.30) використовувалося двічі: під час дослідження завантаженої (лівої) ділянки LM та незавантаженої (правої) ділянки MP конвеєрної стрічки, що відрізняються лінійною густиною.

Кінцеві умови на межах цих ділянок змінюються у зв'язку з рухом стрічки зі швидкістю V , наприклад зліва направо. Це вимагає введення двох систем координат: перша пов'язана з рухомою конвеєрною стрічкою, а друга нерухомо зафіксована у просторі і пов'язана з нерухомою рамою конвеєра. При цьому відстань від точки L до початку координат (див. рис. 3.2) у будь-який момент часу t буде визначатися наступною залежністю:

$$LO_1 = Vt. \quad (3.33)$$

Кінцеві умови для лівої ділянки стрічки можна записати у вигляді:

$$U_L(-Vt, t) = 0 \text{ – для точки } L,$$

$$U_L(C-Vt, t) = A \sin \omega t \text{ – для точки } M.$$

Кінцеві умови для правої ділянки стрічки:

$$U_n(C, t) = A \sin \omega t \text{ – для точки } M,$$

$$U_n(2C-Vt, t) = 0 \text{ – для точки } П.$$

Під час рішення диференціальних рівнянь кінцеві умови доцільно задавати в нерухомих точках простору, тому запропонуємо нові незалежні змінні ξ, t для лівої ділянки та η, t – для правої ділянки:

$$\xi = x + Vt, \quad \eta = 2C - \xi, \quad t = t,$$

де $2C$ – сумарна довжина лівої та правої ділянок конвеєрної стрічки, що беруть участь у коливному процесі.

Загальні рішення диференціального рівняння (3.30) для лівої та правої ділянок зони розвантаження мають наступний вигляд:

$$U_L(\xi, t) = \frac{A}{\sin \frac{p_1+k_1}{2}C} \sin \frac{p_1+k_1}{2} \xi \left[\cos \frac{p_1-k_1}{2} (\xi - C) \sin \omega t + \sin \frac{p_1-k_1}{2} (\xi - C) \cos \omega t \right] + \frac{g}{2(a_1^2 - v^2)} \xi (\xi - C). \quad (3.34)$$

$$U_n(\eta, t) = \frac{A}{\sin \frac{p_2+k_2}{2}C} \sin \frac{p_2+k_2}{2} \eta \left[\cos \frac{p_2-k_2}{2} (\eta - C) \sin \omega t + \sin \frac{p_2-k_2}{2} (\eta - C) \cos \omega t \right] + \frac{g}{2(a_2^2 - v^2)} \eta (\eta - C), \quad (3.35)$$

де $p_1 = \frac{\omega}{a_1 - v}, p_2 = \frac{\omega}{a_2 - v}, k_1 = \frac{\omega}{a_1 + v}, k_2 = \frac{\omega}{a_2 + v}$ – швидкісні параметри системи.

Отримані рішення дають можливість визначати амплітуду і фазу коливань розглянутих ділянок конвеєрної стрічки у фіксованій точці простору, а також форму стрічки відносно нерухомого спостерігача у певний момент часу t .

Рішення рівняння коливань правої (незавантаженої) ділянки конвеєрної

стрічки зводиться до знайдення умови сумісності коливань стрічки конвеєра та робочого органу розвантажувального пристрою, тобто стрічка під час коливань має бути постійно притиснута до площини робочого органу для найбільш ефектвної передачі коливного руху насипному вантажу та його наступного розвантаження. Виконання даної умови полягає у тому, що нормальна реакція N між стрічкою та робочим органом пристрою має бути величиною позитивною:

$$N = S \left[\frac{\partial u_{\text{л}}}{\partial \xi} (C, t) + \frac{\partial u_{\text{п}}}{\partial \eta} (C, t) \right] \gg 0. \quad (3.36)$$

Перетворення та рішення подібної нерівності можливо графічним шляхом, за допомогою якого можна визначати інтервали частот, що забезпечують сумісний вібраційний рух стрічки та робочого органу розвантажувального пристрою [13].

Аналіз отриманих рішень дає можливість зробити деякі узагальнені висновки:

- із зростанням погонного навантаження на стрічку конвеєра діапазон потрібних кутових швидкостей, при яких забезпечується сумісність коливань стрічки та розвантажувального пристрою, поступово розширюється, але із збільшенням амплітуди змушених коливань цей діапазон починає скорочуватися. Це цілком відповідає результатам експериментальних досліджень;

- найбільш оптимальними режимами вібраційних коливань, які забезпечують достатньо ефективне розвантаження насипного вантажу зі стрічки конвеєра, є такі, що характеризуються частотами 600-850 кол/хв. і амплітудами 8-5 мм. Коефіцієнт режиму роботи вібраційного пристрою при цьому відносно невисокий ($K_p = 1,8-2,4$), що свідчить про малий рівень динамічних навантажень та їх незначний вплив на раму конвеєра і опорну конструкцію конвеєрної естакади.

Таким чином, запропонована динамічна схема процесу проміжного вібраційного розвантаження насипного вантажу зі стрічки конвеєра дає можливість скласти і вирішити рівняння коливань завантаженої та незавантаженої ділянки конвеєрної стрічки, визначити форми коливань цих ділянок. Графічне рішення нерівності (3.36) визначає діапазони частот, що характеризують сумісний рух стрічки

та вібраційного робочого органу.

Висновки:

- сучасний розвиток вібраційних технологій, що використовуються у промисловості, у тому числі гірничій, характеризується усе більш широким охопленням нових галузей реалізації вібраційних ефектів, які дозволяють суттєво інтенсифікувати найрізноманітніші технологічні процеси. Головними наслідками вібраційної обробки насипного середовища є підвищення його рухомості та суттєве зменшення опорів, що виникають під час впровадження тих чи інших робочих органів у це середовище. У таких умовах технологічні процеси відбуваються легше і помітно скоріше, з меншими витратами енергії;

- одним з найголовніших та найважливіших відомих сьогодні вібраційних ефектів є, безперечно, той, що забезпечує процес вібраційного переміщення дисперсних середовищ, який здійснюється за рахунок періодичних коливних впливів на нього вібруючого робочого органу;

- одним з можливих варіантів практичного використання ефекту вібраційного транспортування насипних вантажів може бути процес проміжного вібраційного розвантаження стрічкових конвеєрів. Його теоретичне дослідження проведено на основі динамічної схеми взаємодії стрічки та насипного вантажу з робочим органом вібраційного розвантажувального пристрою, під час якого проміжне розвантаження стрічкового конвеєра здійснюється за рахунок спрямованих коливань дільниці стрічки за допомогою вібратора;

- найбільш оптимальними режимами вібраційних коливань, які забезпечують достатньо ефективне розвантаження насипного вантажу зі стрічки конвеєра, є такі, що характеризуються частотами 600-850 кол/хв. та амплітудами 8-5 мм. Коефіцієнт режиму роботи вібраційного пристрою при цьому відносно невисокий ($K_p = 1,8-2,4$), що свідчить про малий рівень динамічних навантажень на конструктивні елементи конвеєра.

4 ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОВЕДЕНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Обґрунтування раціональних параметрів вібраційного пристрою проміжного розвантаження стрічкового конвеєра

Продуктивність проміжного вібраційного розвантаження стрічкових конвеєрів суттєво залежить від параметрів вібрації робочого органу розвантажувального пристрою, а саме:

- амплітуди і частоти коливань;
- кута вібрації (кута між напрямком коливань і площиною вібраційного робочого органу);
- кута нахилу вібраційного робочого органу у бік розвантаження;
- швидкості та ширини конвеєрної стрічки.

Дослідження впливу параметрів вібрації на швидкість проміжного розвантаження виконувалося на експериментальному стенді, що складався зі стрічкового конвеєра типу С-382 (продуктивністю 35 т/г з шириною стрічки 400 мм при швидкості її руху 0,75 м/с) та вібраційного розвантажувального пристрою зі змінними параметрами вібрації (частота коливань – 400-1000 кол/хв., амплітуда коливань – 3-15 мм, кут вібрації – 18-40°, кут нахилу стрічки у бік розвантаження – 0-15°) [14].

Натяжний пристрій конвеєра давав можливість змінювати натяг робочої гілки стрічки до 1500 Н. Досліди щодо проміжного розвантаження проводилися на шамоті з крупністю часток 0,2-2,0 мм та об'ємною густиною 1,57 т/м³, на вапняку, граніті, кам'яному вугіллі та річному піску різної крупності.

Стрічка конвеєра під час руху по вібраційній площині проходила між двома парами вертикальних обмежувальних роликів, встановлених на відстані, що дорівнювала ширині стрічки. Насипний матеріал завантажувався в бункер-дозатор, розташований біля натяжної станції конвеєра, і через щільний затвор випускався на стрічку конвеєра. При потраплянні потоку вантажу на вібраційну дільницю

стрічки він відхилявся від поздовжньої осі конвеєра і розвантажувався у бік прийомного бункера.

В процесі експерименту проводилися заміри кількості насипного вантажу, що розвантажувався за допомогою спрямованих вібраційних коливань, часу процесу розвантаження, частоти та амплітуди коливань робочого органу пристрою (вібраційної площини), а також потужності, що споживалася двигуном конвеєра як під час роботи вібраційного розвантажувального пристрою, так і без нього.

Одним з критеріїв ефективності процесу розвантаження рахувалося таке положення потоку насипного вантажу, коли при розвантаженні його середина проходила через поздовжню вісь вібраційної площини. За такої умові уся маса насипного вантажу встигала розвантажитися в лоток без просипів перед ним або за його межами. З підвищенням інтенсивності вібрацій потік вантажу того ж перетину починав розвантажуватися перед вібраційною площиною (передчасне розвантаження).

Величина зміщення середини потоку вантажу відносно поздовжньої осі вібраційної площини позначалася Δl і фіксувалася за допомогою фотографування в залежності від параметрів режиму вібрацій (див. рис. 3.2).

Швидкість вібраційного розвантаження розраховувалася шляхом будування векторного трикутника, катети якого розташовувалися уздовж осі стрічки і перпендикулярно до неї.

З пропорції $\frac{V_p}{V} = \frac{\bar{y}_p}{\bar{x}_t}$ визначалася швидкість розвантаження V_p . Тут $\bar{x}_t$ – зміряне відхилення потоку у бік транспортування, що співпадає з рухом стрічки; $\bar{y}_p$ – зміряне відхилення потоку у бік розвантаження.

В результаті проведених експериментальних досліджень були отримані залежності швидкості розвантаження V_p та зміщення середини потоку насипного матеріалу Δl , що розвантажуються, від частоти, амплітуди коливань, кута вібрації, коефіцієнту режиму, кута нахилу вібраційної площини та натягу конвеєрної стрічки. Залежності швидкості вібраційного розвантаження насипного матеріалу при установці робочого органу розвантажувального пристрою під кутом $\alpha = 10^\circ$ і кути

вібрації $\beta = 25^\circ$ від частоти вібрації при амплітудах коливань робочого органу від 3 до 10 мм представлені на рис. 4.1.

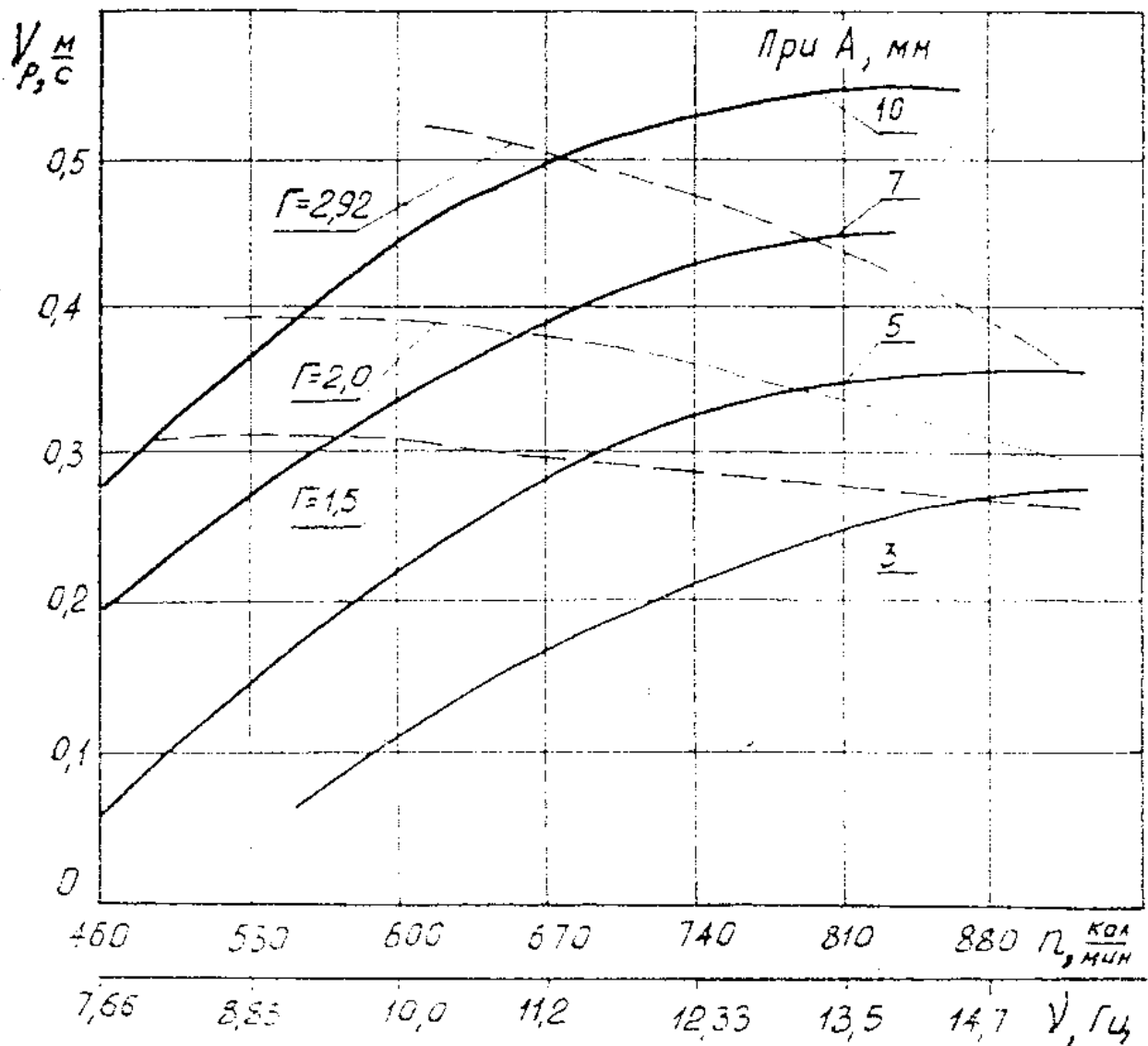


Рисунок 4.1 – Вплив параметрів вібрації на швидкість проміжного розвантаження при куті вібрації 25° і нахилі площини під кутом 10° у бік розвантаження

Для кожного значення амплітуди коливань залежність має екстремальний характер. Виположування кривих настає раніше при середніх частотах і великих амплітудах (наприклад, при $n = 800$ кол/хв. і $A = 10$ мм). Однакової швидкості розвантаження насипного матеріалу можна досягти при режимі з підвищеними частотами коливань і малими амплітудами, або з низькими частотами і великими амплітудами. Реалізація режимів з підвищеними частотами коливань пов'язана з

високим рівнем динамічних навантажень, що характеризуються коефіцієнтом режиму K_p :

$$K_p = \frac{A\omega^2 \sin\beta}{g \cos\alpha}. \quad (4.1)$$

Для конкретного вибору необхідних параметрів вібрації на графіку є пунктирні криві x коефіцієнтами режиму роботи пристрою 1,5; 2,0; 2,92, що сполучають між собою суцільні частотні криві. Вони дають можливість, наприклад, оцінити, що з режимів коливань з $A = 10$ мм, $n = 560$ кол/хв. і $A = 6$ мм, $n = 870$ кол/хв., які забезпечують однакову швидкість розвантаження 0,4 м/с, слід віддати перевагу режиму з коефіцієнтом 2,1, тому що другому режиму відповідає коефіцієнт 2,92 (більше динамічно навантажений). При параметрах коливань з коефіцієнтом режиму більше 3,0 в потоці матеріалу, що розвантажується, спостерігається безладне підкидання як окремих частинок, так і порцій вантажу. Таким чином, для досягнення максимальної швидкості вібраційного розвантаження слід переходити до більших амплітуд, підбираючи частоти коливань так, щоб коефіцієнт режиму роботи не перевищував 3,0.

Вплив параметрів вібрації на зміщення потоку насипного вантажу від середини вібраційної площини показаний на рис. 4.2. Аналізуючи графік, можна відзначити, що однакове положення зміщення потоку досягається при великих амплітудах і відповідно низьких частотах. Для кожної частоти величина позитивного зміщення потоку зростає швидше при більших амплітудах коливань. Так, наприклад, зміщення потоку насипного вантажу, що дорівнює +175 мм (половина ширини вібраційної площини) при амплітуді 10 мм забезпечується на частоті $n = 545$ кол/хв. з коефіцієнтом режиму 1,93; аналогічне зміщення потоку для амплітуди коливань 5 мм спостерігається вже при частоті $n = 915$ кол/хв. з коефіцієнтом режиму 2,72. З точки зору динаміки машини перевагу слід віддати першій комбінації параметрів вібрації.

Експериментальні матеріали і графічні залежності (рис. 4.1 та 4.2) дали можливість отримати формулу для розрахунку швидкості руху стрічки в залежності від швидкості проміжного розвантаження і навпаки. При цьому виходили з умови, що час переміщення вантажу на дільниці розвантаження в напрямку руху стрічки

дорівнює часу руху вантажу у бік розвантаження на шляху $\frac{B}{2}$. Отримані вирази мають наступний вигляд:

$$V_c = \frac{2\Delta IV_{p0}V_p}{B(V_p - V_{p0})}, \quad V_p = \frac{BV_c V_{p0}}{BV_c - 2\Delta IV_{p0}}, \quad (4.2)$$

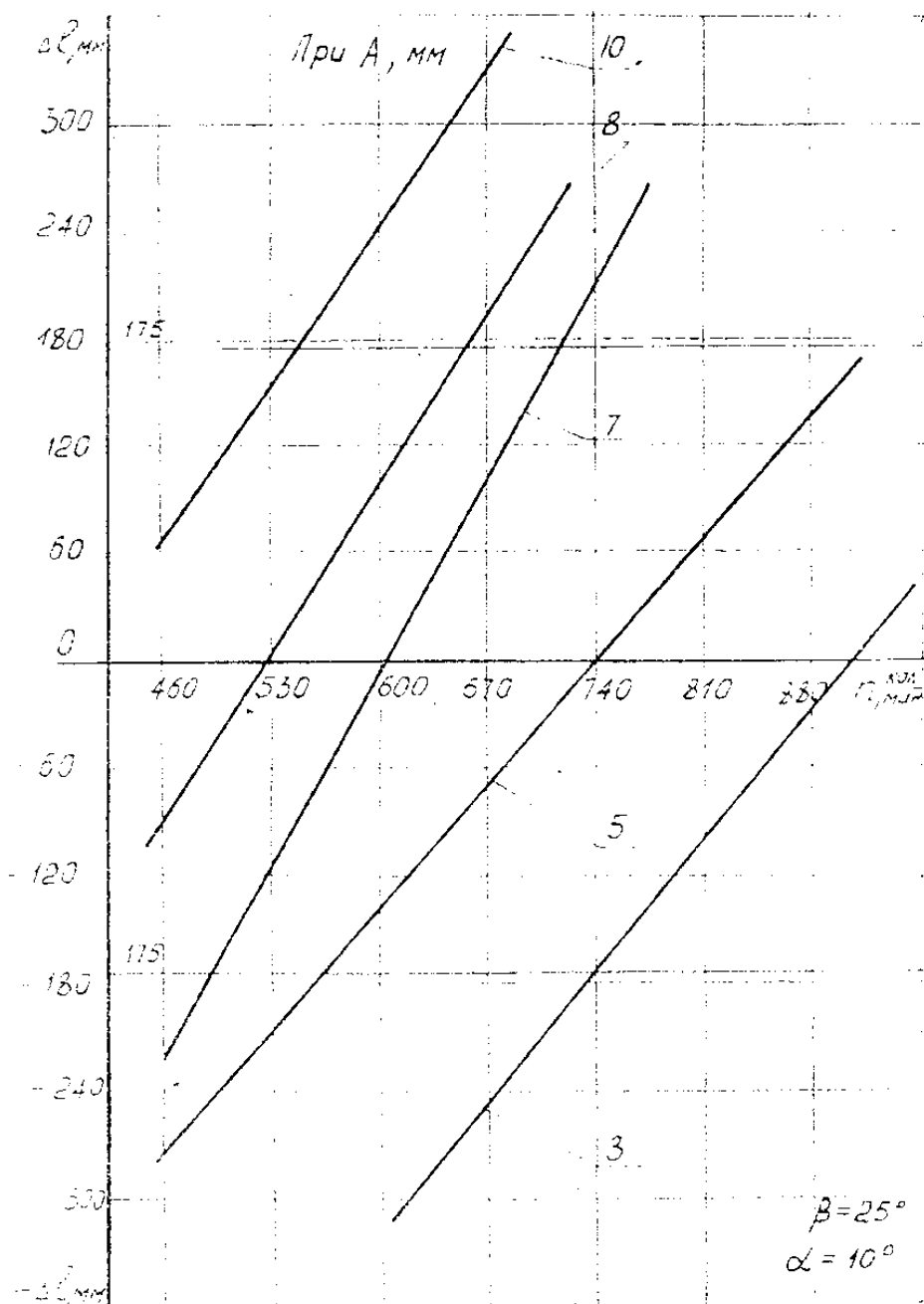


Рисунок 4.2 – Вплив частоти і амплітуди коливань на зміщення потоку насипного вантажу

де V_c – швидкість стрічки, м/с; V_p – швидкість вібраційного розвантаження, м/с; V_{p0} – експериментально встановлена швидкість розвантаження при швидкості стрічки 0,75 м/с і відсутності зміщення потоку. Ця величина постійна і дорівнює 0,33 м/с; Δl – зміщення потоку насипного вантажу в залежності від параметрів вібрації (визначається за графіком на рис. 4.2); B – ширина стрічки, м.

Графічна залежність зміщення потоку від швидкості стрічки, яка отримана розрахунковим шляхом згідно з експериментальними даними, приведена на рис. 4.3. На графіку приведена експериментальна точка, що відповідає нульовому зміщенню потоку при швидкості стрічки 0,75 м/с. Крива графіка характеризує позитивне зміщення потоку (передчасне розвантаження) із збільшенням швидкості стрічки.

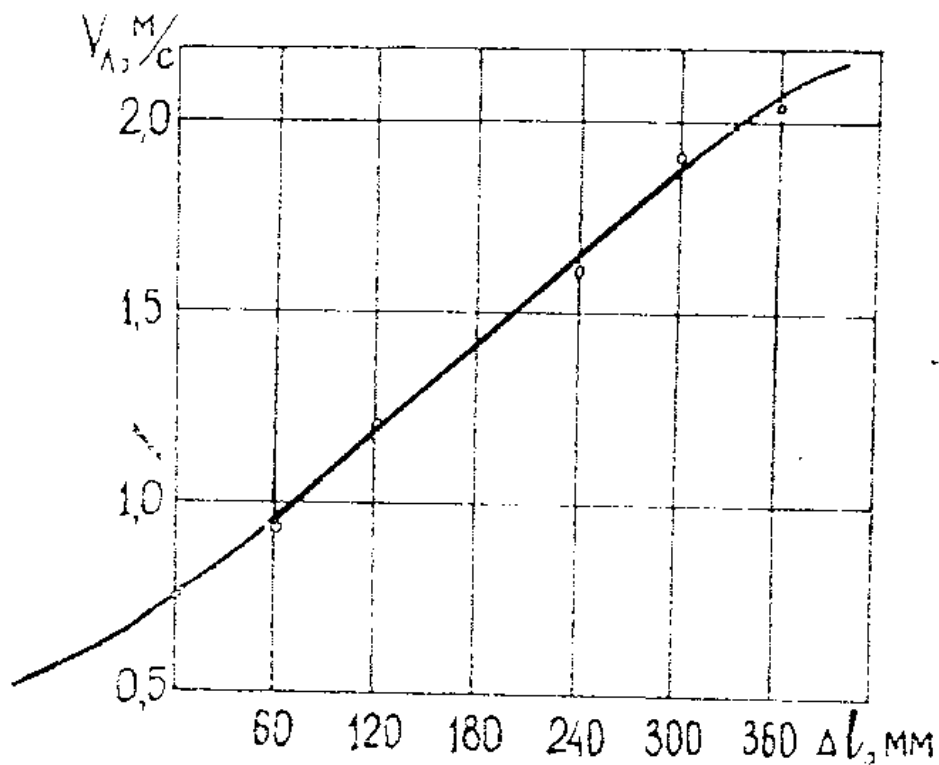


Рисунок 4.3 – Залежність зміщення потоку від швидкості стрічки конвеєра

На рис. 4.4 зображена залежність швидкості вібраційного розвантаження від швидкості стрічки, яка свідчить, що при даній швидкості стрічки центральне розвантаження можна здійснити шляхом варіювання режимів коливання площини.

При цьому, наприклад, швидкості стрічки 1 м/с відповідає швидкість вібраційного розвантаження 0,37 м/с, а швидкості 1,5 – 0,47 м/с.

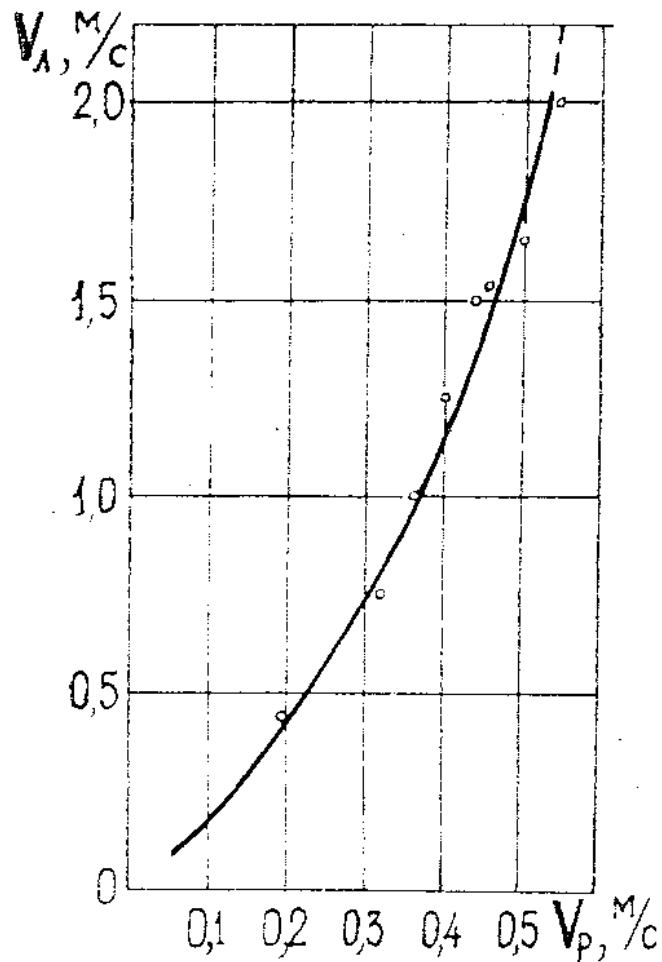


Рисунок 4.4 – Залежність швидкості вібраційного розвантаження від швидкості стрічки

Заміри потужності, яка споживалася двигуном стрічкового конвеєра під час роботи вібраційного розвантажувального пристрою, показали, що вона практично не змінюється. Це пояснюється значним зниженням коефіцієнту опору руху стрічки по вібраційній площині. Потужність приводу вібраційної розвантажувальної площини виявилася незначною, для її оцінки була введена питома енергоємність, що відповідала витратам потужності на одиницю продуктивності (кВт·г/т):

$$N_n = \frac{N}{Q}, \quad (4.3)$$

де N – потужність, споживана приводом віброплощини, кВт; Q - продуктивність конвеєра, т/г.

Слід зауважити, що із зростанням величини коефіцієнта режиму питимі витрати потужності дещо знижуються і для досліджених режимів складають 0,025-0,037 кВт·г/т.

4.2 Розробка конструкції вібраційного розвантажувального пристрою

З урахуванням визначених раціональних параметрів вібраційного розвантажувального пристрою була запропонована його конструкція, яка впроваджена на Боровичському комбінаті вогнетривких виробів для проміжного розвантаження меленого шамоту і глини зі стрічкового конвеєра в бункери змішувально-пресового відділення. Схема та загальний вигляд пропонованого пристрою показані на рис. 4.5.

Розвантажувальний пристрій складається з жорсткої рамної платформи 1 з двома скатами 2 і 3, механічним ходовим приводом 4 і напрямною лійкою 5, позовжньо-поворотного порталу 6 з ексцентриковим валом приводу 7, двигунами 8 та встановленими у вібруючих рамках 9 і 10 роликами 11 і 12, які передають конвеєрній стрічці спрямовані коливання від віброприводу.

Ходовий привод 4 котків 2 забезпечує реверсивність ходу пристрою уздовж конвеєр. Він виконаний з черв'ячним редуктором, колесо якого закріплено на шліцьовому кінці загального валу котків.

Середня рамка 10 з трьома роликами 11 та дві бічні рамки 9 з роликами 11 і лотком 13, які спрямовують скинутий зі стрічки матеріал в лійку, приводяться в рух від електродвигуна 8 шатунами ексцентрикового валу приводу в протифазні коливання. Цим досягаються динамічна врівноваженість системи та розвантаження опор валу. Кожна вібруюча рамка з'єднана одним кінцем з платформою, а другим – з порталом за допомогою пружних опорно-поворотних амортизаторів 14, гумові елементи яких працюють на зсув. В амортизаторах передбачена можливість регулювання кута між лінією дії сили і напрямком деформації зсуву гумових

елементів.

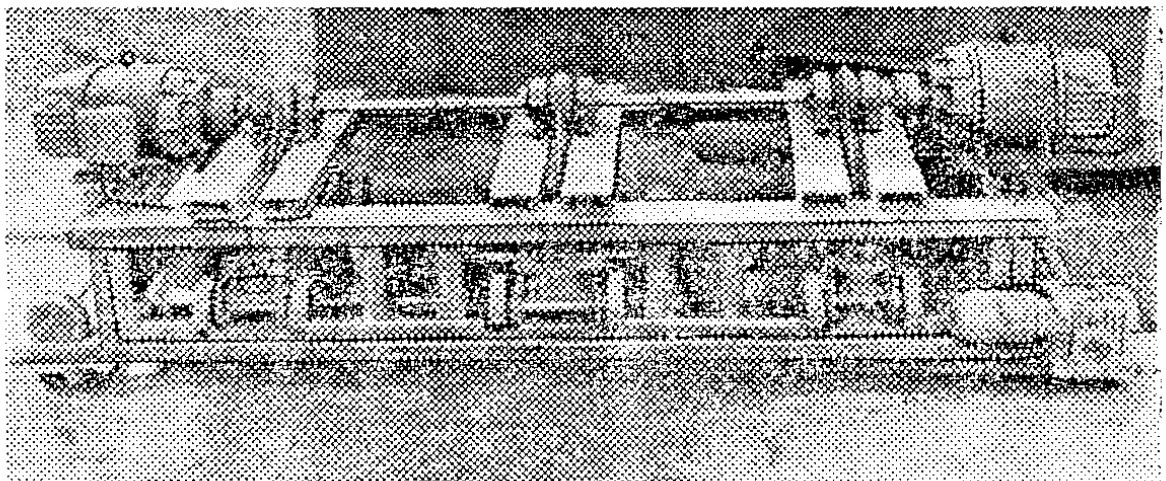
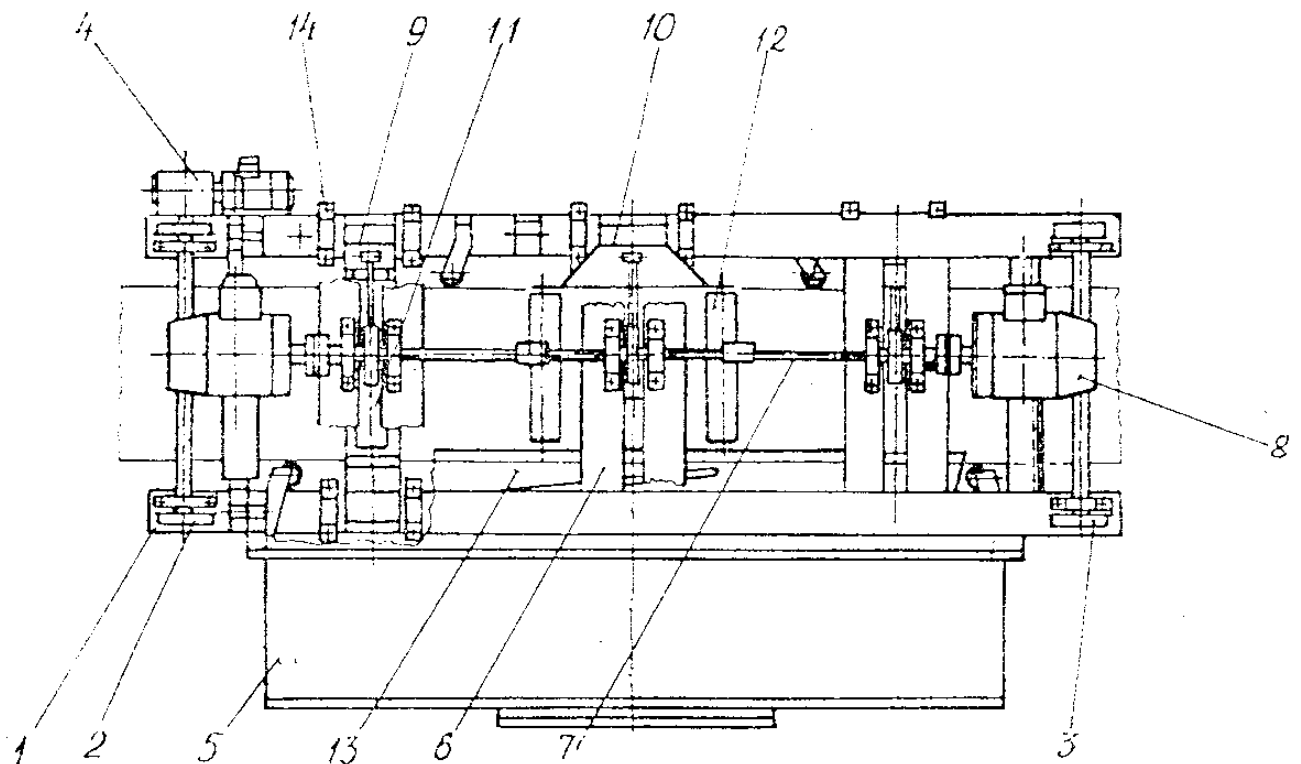


Рисунок 4.5 – Принципова схема та загальний вигляд
вібраційного розвантажувального пристрою:

1 – платформа; 2, 3 – котки; 4 – привод ходу; 5 – лійка напрямна;
6 – портал поздовжньо-поворотний; 7 – вал ексцентриковий; 8 – двигун;
9, 10 – рамки вібруючі; 11, 12 – ролики; 13 – лоток; 14 – амортизатор

Ролики 11 і 12 виконують роль вібруючих опор конвеєрної стрічки на ширині розвантажувального пристрою. В рамках ролики встановлені на підшипнико-

вих опорах і руху стрічки не перешкоджають. Крім того, ролики швидкознімні, тому кількість вібруючих роликів можна змінювати.

Напрямок поперечних коливань стрічки забезпечується кутом вібрації за рахунок похилого положення приводних шатунів валу приводу.

Портал виконаний поворотним відносно поздовжньої осі, що співпадає з віссю амортизаторів на боці розвантаження. Цим досягається нахил конвеєрної стрічки у бік розвантаження по довжині розвантажувального пристрою. Кут нахилу можна фіксувати через кожні 5°. Для обмеження бічних зміщень стрічки в розвантажувальному пристрої передбачені упори з вертикальними обертовими роликами. Положення роликів можна регулювати в залежності від зношення торцевих кромek стрічки. На ширині розвантажувального пристрою конвеєрна стрічка виположується і піднімається вібруючими роликами на 210 мм відносно свого положення на опорних роликах конвеєра. Стрічка може нахилитися у бік розвантаження разом із похилим порталом, при цьому піднімається край стрічки, протилежний напрямку розвантаження.

Конструкцією приводного валу за рахунок заміни ексцентрикових втулок передбачена можливість зміни амплітуди спрямованих коливань стрічки.

Закріплена на платформі лійка 5 має в нижній частині пружну рамку, що забезпечує герметичне спрямовування потоку розвантаженого матеріалу в бункер. По закінченню завантаження бункера рамка спеціальним важелем піднімається і в цьому положенні фіксується. Для спостереження за станом потоку матеріалу в зоні завантаження лійка має прозору стінку. Конструкцією розвантажувального пристрою передбачена можливість в разі необхідності закрити весь пристрій і зону розвантаження пилонепроникним матеріалом (наприклад, поліетиленовою плівкою) для захисту від запилення під час розвантаження дрібнодисперсного матеріалу.

В табл. 4.1 приведена технічна характеристика пропонованого розвантажувального пристрою.

Дослідно-промислові випробування розвантажувального пристрою були проведені на стрічковому конвеєрі продуктивністю 80 т/г при швидкості руху

стрічки 1,25 м/с та її ширині 500 мм. Пристрій здійснював проміжне розвантаження мelenого шамоту вологістю до 2% і крупністю 0,05 мм – 40% і 0,3 – 60%. Під час дослідно-промислової експлуатація була досягнута продуктивність розвантаження 77 т/г при амплітуді 7 мм і частоті 800 кол/хв., куті вібрації 25° і куті нахилу стрічки у бік розвантаження 10°. Дослідження показали практичну можливість проміжного розвантаження насипних матеріалів вібраційним способом в промислових умовах. Питомі витрати потужності при цьому склали біля 0,02 кВт·г/т, що свідчить про низьку енергоємність процесу проміжного вібраційного розвантаження і підтверджує результати теоретичних досліджень.

Таблиця 4.1 – Технічна характеристика розвантажувального пристрою

Параметр	Значення
Продуктивність розвантаження, т/г	до 100
Параметри вібрації:	
амплітуда коливань, мм	5-7
частота коливань, кол/хв.	700-1000
кут вібрації, град.	25
коефіцієнт режиму	1,8-2,6
Кут нахилу робочого органу у бік розвантаження, град.	0-15
Ширина вібраційного робочого органу в напрямку руху стрічки, мм	1500
Габаритні розміри, мм:	
довжина	2460
ширина	1730
висота	1365
Маса, кг	650

Було виявлено низьку конструктивних недоліків пристрою: складність процесу заміни ексцентрикових втулок приводу, змінення кута вібрації під час роботи. Прийнята в конструкції схема врівноваження з поздовжнім розділенням коли-

вних мас не виправдала себе через протифазні коливання розвантажувальної ділянки стрічки, що дещо знижувало швидкість проміжного розвантаження. На основі результатів промислових випробувань була запропонована схема розвантажувального пристрою з динамічним врівноваженням віброуючого робочого органу за допомогою протифазних коливань противаги у вертикальній площині.

Випробування довели техніко-економічну ефективність використання вібраційного розвантажувального пристрою у порівнянні із двобарабанным розвантажувальним візком типу ТР-1 [15].

4.3 Розробка методики розрахунку основних параметрів вібраційного розвантажувального пристрою

Продуктивність розвантаження приймається рівною продуктивності стрічкового конвеєра, т/г:

$$Q = Q_p = 3600 F V \gamma = 3600 F_p V_p \gamma, \quad (4.4)$$

де Q і Q_p – продуктивності відповідно конвеєра і проміжного розвантаження; F і F_p – площі поперечного перетину потоку вантажу відповідно на стрічці та під час розвантаження, м²; V і V_p – швидкості відповідно стрічки і проміжного розвантаження, м/с; γ – насипна густина транспортованого матеріалу, т/м³.

З рівності продуктивності конвеєра та проміжного розвантаження випливає:

$$\frac{F_p}{F} = \frac{h b_p}{h b} = \frac{V}{V_p}, \quad (4.5)$$

де h – висота шару транспортованого вантажу, м; b і b_p – ширина транспортованого шару матеріалу відповідно на стрічці і при розвантаженні, м (при заданій ширині B стрічки конвеєра $b = (0,8-0,9)B$).

Ширина розвантажувального лотка приймається в залежності від ширини конвеєрної стрічки, м:

$$B_p = 1,2 \frac{V}{V_p} B, \quad (4.6)$$

де 1,2 – коефіцієнт збільшення ширини розвантажувального лотка.

Швидкість розвантаження залежить від параметрів вібрації стрічки. Для її розрахунку прийнята формула В.А. Баумана, м/с:

$$V_p = (K_1 \mp K_2 \sin \alpha) A \omega \cos \beta \sqrt{1 - \frac{1}{K^2}}, \quad (4.7)$$

де K_1 і K_2 – коефіцієнти, що враховують транспортні властивості насипного вантажу; α – кут нахилу стрічки у бік розвантаження, град.; β – кут вібрації, град.; A – амплітуда коливань, м; ω – кутова швидкість валу приводу, с^{-1} ; K_p – коефіцієнт режиму.

Раціональними режимами вібрацій для розрахунку швидкості розвантаження слід вважати:

- амплітуда коливань – у межах 5-10 мм;
- частота коливань – 700-500 кол/хв.;
- кут вібрації – 22-28° (більші кути для більших частот);
- кут нахилу стрічки у бік розвантаження – 10-15°;
- коефіцієнт режиму – 1,8-2,6.

Розрахована за прийнятим режимом вібрацій швидкість перевіряється за допомогою графіка на рис. 4.1.

Потужність двигуна для двомасної врівноваженої системи визначається за наступною формулою, кВт:

$$N = 1,5 \cdot 10^{-6} \frac{C_c A^2 n}{K_{ш} \psi \eta}, \quad (4.8)$$

де C_c – сумарна жорсткість пружної системи пристрою, Н/м; $K_{ш}$ – коефіцієнт жорсткості шатуна (для пружного шатуна $K_{ш} = 2$); ψ – відношення пускового моменту двигуна до номінального; η – к.к.д. кінематичного ланцюга від приводу до ексцентрикового валу.

Висновки:

- результати експериментального стендового дослідження процесу вібраційного розвантаження стрічкового конвеєра показали, що його продуктивність

суттєво залежить від параметрів вібрації робочого органу розвантажувального пристрою, а саме: його амплітуди A і частоти ω коливань; кута вібрації β (кута між напрямком коливань і площиною вібраційного робочого органу); кута нахилу вібраційного робочого органу у бік розвантаження α ; швидкості та ширини конвеєрної стрічки. Наприклад, для $\alpha = 10^\circ$ і $\beta = 25^\circ$ доцільно вибирати величину A ближчою до 10 мм, а частоту коливань ω у межах приблизно до 1000 кол/хв. підбирати таким чином, щоб коефіцієнт режиму роботи K_p не перевищував 3,0;

- швидкість руху конвеєрної стрічки має бути узгоджена зі швидкістю процесу вібраційного розвантаження матеріалу з неї. Експлуатація додаткового розвантажувального пристрою вібраційного типу практично не збільшує енерговитрати на роботу самого конвеєра;

- промислові випробування експериментальної конструкції вібраційного розвантажувального пристрою довели його беззаперечну працездатність і спроможність ефективно здійснювати процес розвантаження стрічкового конвеєра з кращими економічними показниками у порівнянні з барабанними розвантажувальними візками;

- для вибору раціональних параметрів розвантажувального пристрою у залежності від умов експлуатації (наприклад, конструктивних та експлуатаційних характеристик стрічкового конвеєра) запропонована відповідна методика розрахунку установки.

ВИСНОВКИ

Проведені у процесі виконання магістерської роботи дослідження дозволили сформулювати його основні висновки та практичні рекомендації.

Зокрема, аналіз існуючих методів і засобів проміжного розвантаження стрічкових конвеєрів в різних галузях промисловості, в тому числі при видобутку та переробці корисних копалин, показав, що практично на усіх підприємствах народного господарства, де є необхідність у транспортуванні, складуванні і переробці значних обсягів насипних вантажів, спостерігається зростання ролі стрічкових конвеєрів, як найбільш прогресивного і високопродуктивного транспортного засобу безупинної дії. Особливо важливі вони для механізації та автоматизації таких технологічних процесів як заповнення різноманітних транспортних та акумуляційних ємностей (бункерів, змішувачів, вагонів тощо), розташованих уздовж поставу конвеєра.

Використовувані у наш час пристрої проміжного розвантаження стрічкових конвеєрів у значній мірі зношують і деформують конвеєрну стрічку, вимагають додаткових витрат потужності. Крім того, такі конструкції як, наприклад, плужкові скидачі і двобарабанні розвантажувальні візки, потребують суттєвого посилення опорних металоконструкції бункерів та естакад через велику вагу і габарити скидальних візків.

Недосконалість існуючих пристроїв проміжного розвантаження стрічкових конвеєрів стала причиною для пошуку нових способів і засобів механізації цієї виробничої операції. Одним з найперспективніших шляхів вирішення проблеми є використання вібраційного способу розвантаження за допомогою спрямованих коливань.

Сучасний розвиток вібраційних технологій, що використовуються у промисловості, у тому числі гірничій, характеризується усе більш широким охопленням нових галузей реалізації вібраційних ефектів, які дозволяють суттєво інтенсифікувати найрізноманітніші технологічні процеси. Головними наслідками вібраційної обробки насипного середовища є підвищення його рухомості та суттєве

зменшення опорів, що виникають під час впровадження тих чи інших робочих органів у це середовище. У таких умовах технологічні процеси відбуваються легше і помітно скоріше, з меншими витратами енергії. Одним з найголовніших та найважливіших відомих сьогодні вібраційних ефектів є, безперечно, той, що забезпечує процес вібраційного переміщення дисперсних середовищ, який здійснюється за рахунок періодичних коливних впливів на нього вібруючого робочого органу.

Одним з можливих варіантів практичного використання ефекту вібраційного транспортування насипних вантажів може бути процес проміжного вібраційного розвантаження стрічкових конвеєрів. Його теоретичне дослідження проведено на основі динамічної схеми взаємодії стрічки та насипного вантажу з робочим органом вібраційного розвантажувального пристрою, під час якого проміжне розвантаження стрічкового конвеєра здійснюється за рахунок спрямованих коливань ділянки стрічки за допомогою вібратора.

Виконані у роботі дослідження дали змогу з'ясувати, що швидкість процесу проміжного розвантаження залежить від амплітуди і частоти коливань, які передаються на стрічку від робочого органу вібраційного пристрою, кута вібрації, кута нахилу стрічки у бік розвантаження. Крім того, швидкість процесу зростає із збільшенням коефіцієнту режиму вібрацій. Рекомендовані раціональні параметри коливань наступні: амплітуда коливань – у межах 5-10 мм, частота коливань – 700-500 кол/хв., кут вібрації – 22-28° (більші кути для більших частот), кут нахилу стрічки у бік розвантаження – 10-15°, коефіцієнт режиму – 1,8-2,6.

Швидкість руху конвеєрної стрічки має бути узгоджена зі швидкістю процесу вібраційного розвантаження матеріалу з неї. Швидкість розвантаження насипних матеріалів вібраційним способом може бути підвищена шляхом використання ударно-вібраційних коливань розвантажувальної ділянки стрічки. Експлуатація додаткового розвантажувального пристрою вібраційного типу практично не збільшує енерговитрати на роботу самого конвеєра.

Промислові випробування експериментальної конструкції вібраційного розвантажувального пристрою довели його беззаперечну працездатність і спроможність ефективно здійснювати процес розвантаження стрічкового конвеєра.

Для вибору раціональних параметрів розвантажувального пристрою у залежності від умов експлуатації (наприклад, конструктивних та експлуатаційних характеристик стрічкового конвеєра) запропонована відповідна методика розрахунку установки.

У цілому можна стверджувати, що вібраційні пристрої проміжного розвантаження стрічкових конвеєрів підвищують довговічність конвеєрної стрічки внаслідок відсутності зношення і деформації її на відхиляючих барабанах, знижують опори руху стрічки, мають незначні габарити і вагу. Ці переваги свідчать про перспективність використання вібраційного способу проміжного розвантаження стрічкових конвеєрів як максимально простого і надійного в експлуатації, такого, що забезпечує ефективне розвантаження насипного матеріалу в будь-якій точці конвеєрного поставу. Крім того, застосування вібраційних пристроїв проміжного розвантаження стрічкових конвеєрів дає можливість отримати суттєвий економічний ефект (наприклад, у порівнянні з двобарабанными візковими розвантажувальними пристроями).