

Довгалюк Гліб Генадійович

Магістерська робота

**Дослідження та обґрунтування раціональних параметрів
стрічкових конвеєрів з підвищеним кутом нахилу**

Керівник роботи

проф., д.т.н. Громадський А.С.

ВСТУП

Стрічкові конвеєри є одним з найбільш продуктивних видів механічного обладнання безупинного транспорту сипких та поодиноких вантажів, який може переміщувати матеріали на значні відстані з мінімальними енергетичними та експлуатаційними витратами. Дуже важливою перевагою такого виду транспорту є висока придатність його для використання у сучасних високопродуктивних циклічно-потоківих та потоківих технологіях виробництва [1-12].

Як відомо, звичайні конструкції стрічкових конвеєрів внаслідок фізико-механічних властивостей транспортованих ними масових вантажів (здебільшого гірничих порід та продуктів їх переробки), а також самої конвеєрної стрічки здатні надійно переміщувати матеріали під кутом нахилу останньої від 18° (транспортування вниз) до максимум 20° (транспортування нагору). Але часто виникає потреба збільшення кута нахилу установки. У цьому випадку можна використовувати спеціальні конструкції стрічкових конвеєрів з підвищеним кутом нахилу [5-7].

Такі установки (часто їх називають круто похилими конвеєрами) дуже потрібні для видачі видобутої гірничої маси з глибоких кар'єрів, транспортування її похилими підземними виробками шахт, застосування на збагачувальних підприємствах, у конструкціях перевантажувальних пристроїв та приймальних стріл роторних екскаваторів. В усіх випадках використання круто похилих стрічкових конвеєрів дає можливість суттєво економити габарити та металоємність обладнання (конвеєри та конвеєрні системи стають більш короткими), виробничі площі згаданих підприємств, витрати коштів на процес перевезення. Наприклад, сучасні закордонні та вітчизняні кар'єри (у тому числі у Кривбасі) мають значну глибину і в умовах жорстких обмежень по допустимому куту підйому усіх без винятку традиційних видів кар'єрного транспорту (залізничного, автомобільного, конвеєрного) потребують застосування систем технологічного транспорту із засобами круто похилого підйому гірничої маси [6].

Для надійного утримання сипкого матеріалу на стрічці конвеєра з підвищеним кутом нахилу потрібні спеціальні конструктивні прийоми, які й використову-

ються у круто похилих конвеєрах. Різновиди такого обладнання відрізняються різним підходом до вирішення головної задачі процесу транспортування у розглянутому випадку, а саме: забезпечення підвищеного кута нахилу конвеєрних установок.

З огляду на це, задача дослідження та обґрунтування раціональних параметрів стрічкових конвеєрів з підвищеним кутом нахилу, а також пошуку і розробки нових та удосконалених конструкцій такого обладнання є надзвичайно важливою. Таким чином, актуальність теми представленої магістерської роботи не викликає жодних сумнівів.

Мета роботи – дослідження шляхів підвищення кута нахилу стрічкових конвеєрів та обґрунтування раціональних параметрів такого обладнання..

Об’єкт дослідження – технологічний процес транспортування сипких матеріалів стрічковими конвеєрами з підвищеним кутом нахилу.

Предмет дослідження – стрічкові конвеєри з підвищеним кутом нахилу.

Наукове положення – запропоновані рекомендації забезпечують суттєве підвищення кута нахилу стрічкових конвеєрів (до 45° і більше) та економлять виробничі площі гірничодобувних та гірничо-збагачувальних підприємств..

1 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ

1.1 Загальна класифікація круто похилих стрічкових конвеєрів

Проблема підвищення допустимого куту нахилу стрічки стрічкового конвеєра пов'язана з необхідністю утримання сипкого матеріалу на ній під час транспортування від сповзання донизу під дією сили тяжіння. Способи досягнення цього можуть бути наступними [6]:

- забезпечення підвищеного коефіцієнту тертя гірничої маси відносно поверхні стрічки;
- обладнання стрічки спеціальними елементами для підпору гірничої маси;
- забезпечення підвищеного нормального тиску гірничої маси на стрічку;
- різні комбінації вказаних вище способів.

Перший спосіб передбачає використання конвеєрних стрічок з робочою поверхнею, що має підвищені фрикційні властивості. Для цього стрічка може бути постачена спеціальними рифами у вигляді невисоких (до 35 мм) перегородок. Останні мають бути розташовані таким чином, щоб не заважати нормальному руху зворотної (холостої) гілки стрічки по стандартним роликоопорам. На рис. 1.1 показані можливі типи таких рифлених стрічок [6].

Такі конструкції придатні для перевезення легких дрібношматкових вантажів типу вугілля (крупні шматки – більше 150 мм – проковзують на рифах і не утримуються на стрічці). Максимальні кути нахилу стрічки у залежності від кутів внутрішнього тертя матеріалу та його природного укосу у процесі руху зазвичай не перевищують величин у 22-25°. Недоліком таких конструкцій є зниження продуктивності доставки на граничних кутах нахилу на 30-40%. Остання обставина суттєво скорочує масштаби використання подібних конвеєрів на практиці.

Другий спосіб по суті є розвитком першого із застосуванням додаткових підпорних елементів, виконаних з різних матеріалів і прикріплених до стрічки. Як і конструкції з рифленою стрічкою, такі конвеєри не допускають можливості використання двобарабанних приводів, що обмежує максимальну висоту підйому ма-

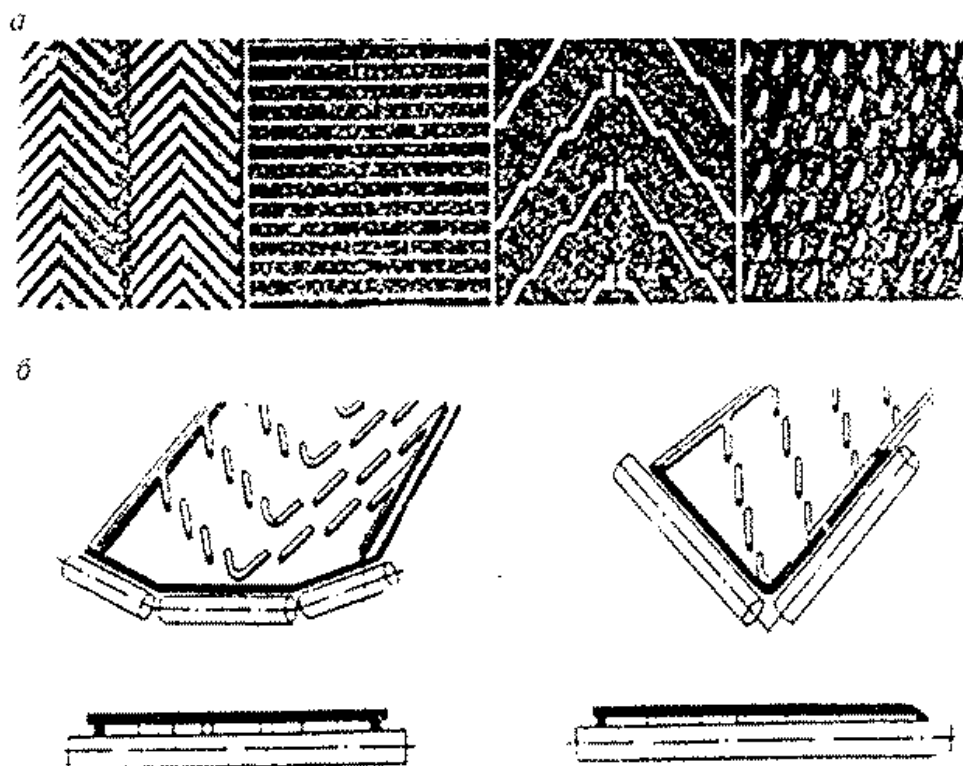


Рисунок 1.1 – Конвеєри з рифленими стрічками:
а – типи рифів; *б* – поперечні перетини конвеєрів

теріалів (не більше 100 м) одним поставом внаслідок обмеженого рівня міцності сучасних конвеєрних стрічок [7].

Третій спосіб полягає у зростанні сили зчеплення транспортованого матеріалу зі стрічкою за рахунок підвищення зусилля її притискання до стрічки. Він може бути забезпечений як за рахунок використання стрічки глибокої жолобчастості, так і шляхом притискання вантажу спеціальною додатковою стрічкою.

Конвеєри зі стрічкою з глибоким жолобом окрім збільшеного допустимого кута нахилу відрізняються підвищеним ступенем ізоляції транспортованого вантажу від навколишнього середовища, що дуже важливо у разі перевезення шкідливих та небезпечних матеріалів. Такі конструкції мають свої обмеження, наприклад, підвищена складність, можливість переміщення лише зернистих та дрібношматкових вантажів, необхідність рівномірної подачі та завантаження матеріалу тощо.

Конвеєри з притисною стрічкою повинні мати два стрічкових контури – вантажонесучий та притискний. Це суттєво ускладнює конструкцію конвеєрної

установки та знижує терміни служби обох стрічок через прискорене зношення, але дає можливість підвищення кута нахилу майже до 90° , а основний вантажонесучий контур установки може бути уніфікований зі стандартними стрічковими конвеєрами традиційного типу.

1.2 Огляд існуючих конструкцій стрічкових конвеєрів з підвищеним кутом нахилу стрічки

1.2.1 Конвеєри з підпірними елементами

Такі конструкції мають багато різновидів, що відрізняються типом тягового органу, формою вантажонесучої поверхні, виконання підпірних елементів і призначені для різних умов використання. Головна відмінність таких конвеєрів - стрічки спеціальних типів, постачені підпірними елементами та/або поздовжніми бортами. Ці додаткові пристрою можуть бути виготовлені з пластмаси, гуми або металу, кріпитися до стрічки тим чи іншим чином (механічним способом чи за допомогою вулканізації) або виконані як одне ціле з її робочою обкладинкою. Їх форма та обробка також можуть відрізнятися широкою різноманітністю (гладкі, гофровані, з розрізами). Висота бортів та підпірних елементів може досягати 150-200, а в деяких випадках і 400 мм. Але чим вона більше, тим менше їх стійкість у роботі, що не дає можливості транспортувати важкі вантажі з розмірами шматків більше 150 мм. Холоста гілка стрічки таких конвеєрів може спиратися своїми краями на спеціальні дискові ролики, мити ходові ролики або підтримуватися додатковим контуром стрічки.

Для транспортування вантажів зі шматками величиною 300-400 мм потрібні металеві або пластмасові борти і перегородки з відстанню між останніми приблизно в 1 м. Це значно ускладнює конструкцію конвеєра, знижує його продуктивність за рахунок порційності розташування вантажу та ставить додаткові вимоги до умов процесу завантаження. Остання обставина обумовлює також обмеження швидкості руху стрічки (не більше 2,5 м/с). Усе це позначається на продуктивності процесу транспортування матеріалу (не більше 2000-3000 м³/г при кутах підйо-

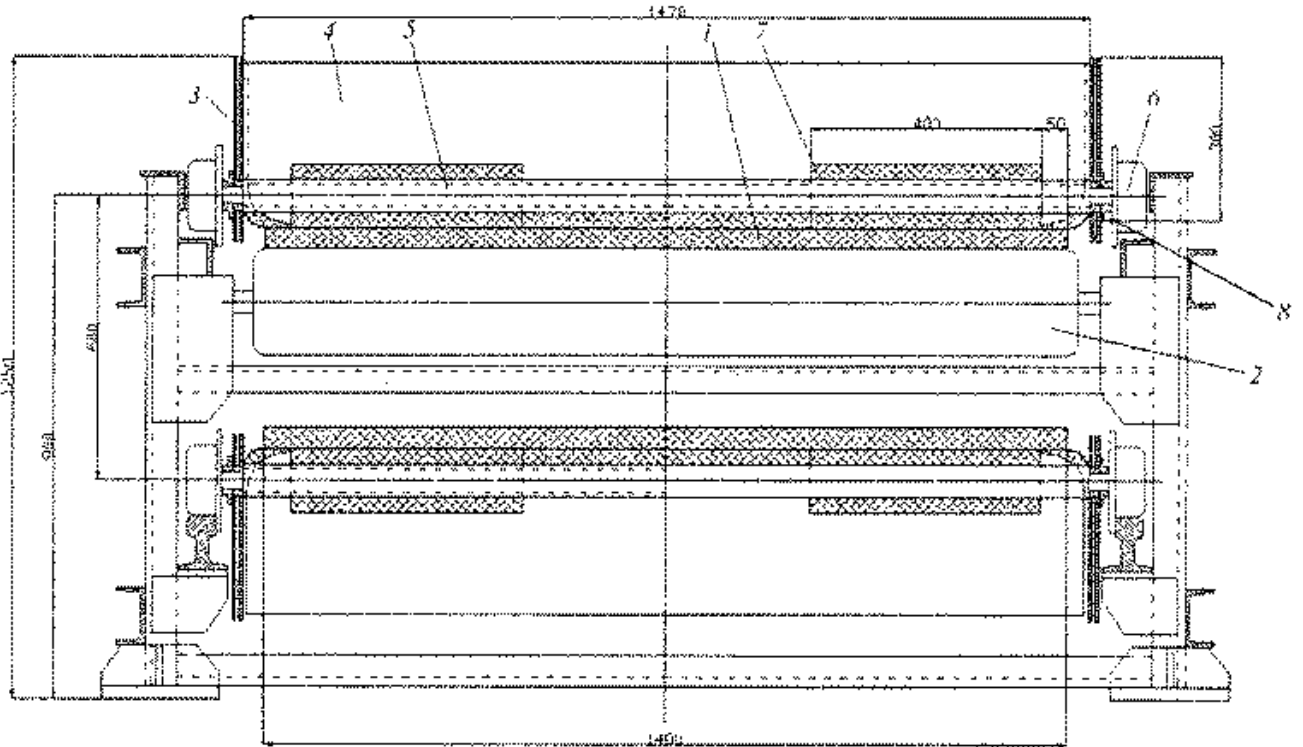
му 35-45°). На рис. 1.2 в якості прикладу показано конструктивне виконання круто похилого конвеєра з жорсткими бортами та перегородками розробки МГІ та ІГС МЧМ СРСР [6].

Вантажна гілка стрічки 1 конвеєра спирається на роликоопори 2. До стрічки з певним кроком прикріплені за допомогою холодної вулканізації накладні елементи, що мають гнізда 7 для осей 5 з ходовими роликами 6. На осях закріплені борти 3 з перегородками 4. Борти виконані з окремих штампованих металевих пластин, до яких під кутом приблизно 10° до вертикалі кріпляться перегородки з металевих листів товщиною 4-5 мм. Таке конструктивне виконання дозволяє підвищити наповненість стрічки матеріалом та краще утримувати його на стрічці. За рахунок кріплення по двох площинах забезпечується підвищена стійкість перегородок, а ходові ролики 6 на осях 5 центрують рух стрічки. Осі кріпляться до стрічки накладними гумовими елементами, які розташовані попарно на відстані 50 мм від її країв і можуть бути посилені декількома прокладками. Крок установки накладних елементів залежить від максимального розміру шматків транспортованого матеріалу. Бічні зазори між стрічкою і бортами перекриваються гумовими куточками 8, також привулканізованими до стрічки.

Таким чином, вантажна гілка стрічки цього конвеєра рухається по стаціонарних однорولیкових опорах, а холоста – на ходових роликах.

На рис. 1.3 показана інша конструкція круто похилого стрічкового конвеєра розробки МГІ [6]. Установка має жолобчасту стрічку з привулканізованими у середній частині фасонними перегородками, яка рухається жорстких стаціонарних роликоопорах. Завдяки своїй формі, перегородки повністю перекривають поперечний перетин стрічки. Вертикальне положення перегородок забезпечується за допомогою шарнірних кронштейнів, які аналогічним способом закріплені на стрічці. І перегородки, і кронштейни повинні мати достатню міцність сприймання ударів шматків матеріалу під час завантаження та розвантаження конвеєра. Зворотна гілка конвеєра рухається на ходових роликах, що прикріплені до верхніх країв перегородок на півосях. Зв'язок стрічки з перегородками лише у середніх частинах останніх дає можливість її повного виположування при набіганні на барабани.

a



б

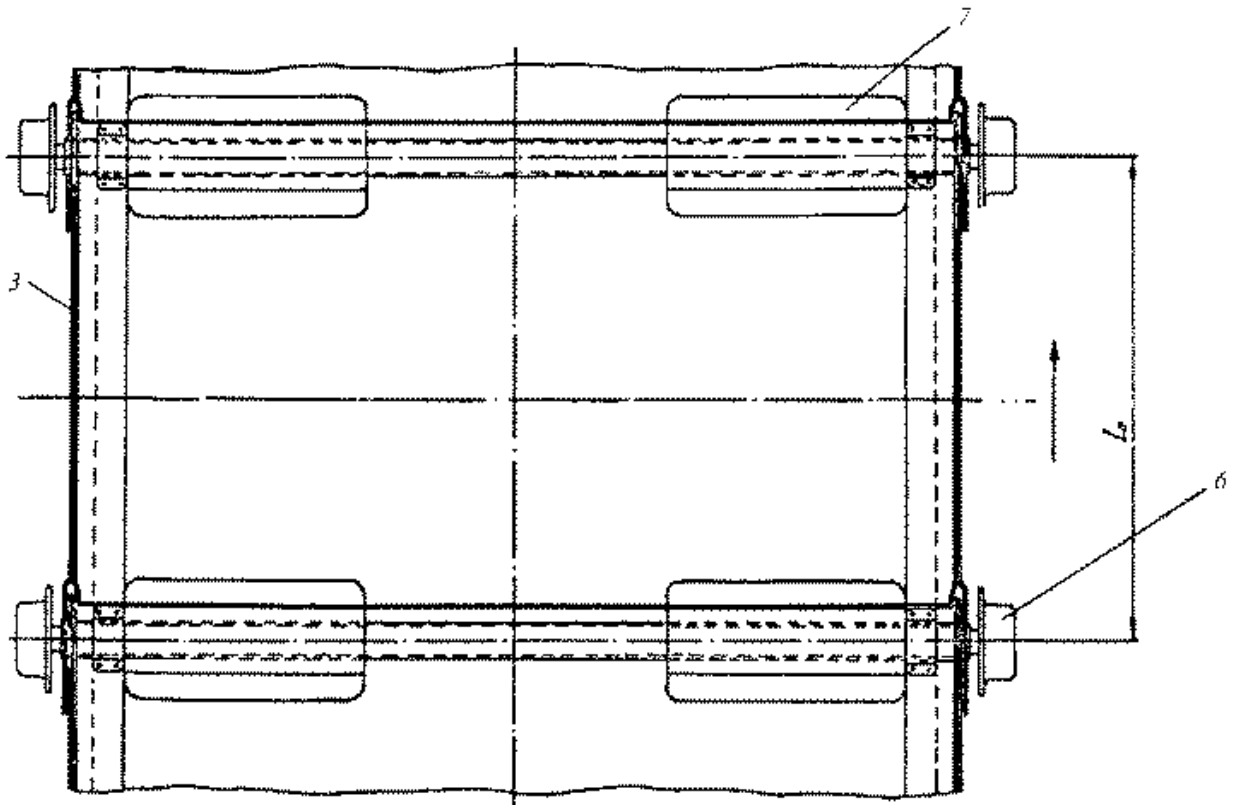


Рисунок 1.2 – Круто похилий стрічковий конвеєр
конструкції МГІ та ІГС МЧМ СРСР:

a – поперечний перетин; *б* – вид зверху на вантажонесуче полотно;
1 – стрічка; 2 – роликоопора; 3 – борт; 4 – перегородка; 5 – вісь;
6 – ходовий ролик; 7 – гніздо; 8 – гумовий куточок

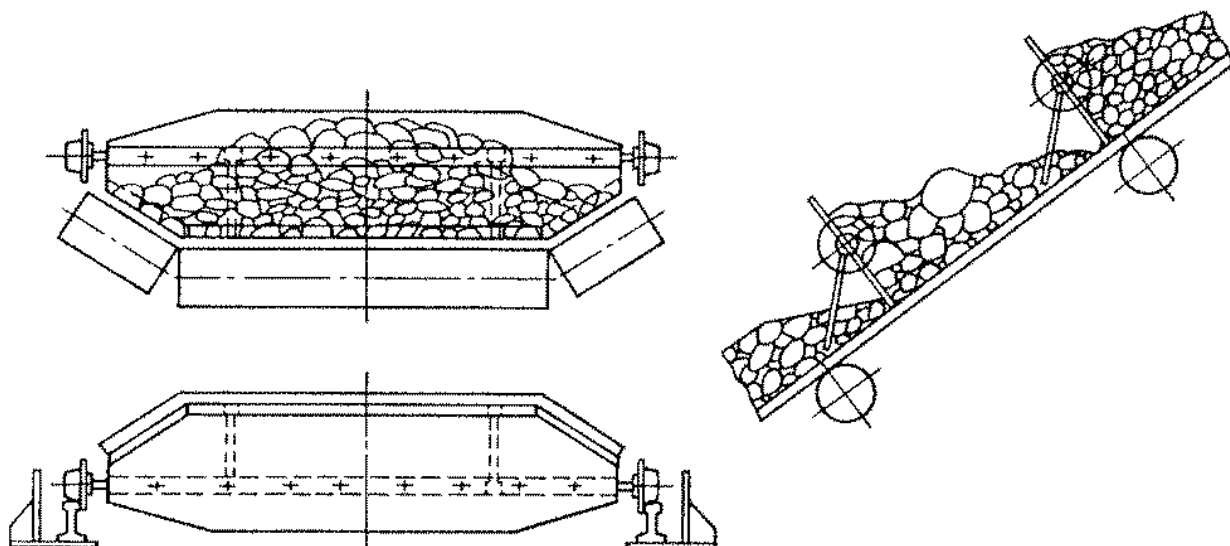


Рисунок 1.3 – Круто похилий стрічковий конвеєр розробки МГІ з жолобчастою стрічкою та фасонними перегородками

Ще одна конструкція круто похилого стрічкового конвеєра на ходових опорах з шарнірно закріпленими відкидними подвійними перегородками показана на рис. 1.4 [6].

Конвеєр має два контури: стрічковий, представлений стрічкою 1, що виконує подвійну роль тягового та вантажонесучого органу; ланцюговий, що поєднує підтримувальні траверси 2 із шарнірно закріпленими на них металевими чи пластмасовими перегородками 3 дугоподібної форми та роликами 4. Останні служать для взаємодії з криволінійними напрямними кінцевих станцій конвеєра, в результаті якої перегородки повертаються навколо осі шарніру для пропуску стрічки. Вихід перегородок із шару матеріалу на стрічці відбувається без його ворушіння завдяки розташуванню шарнірів у геометричних центрах дуг перегородок.

Рух траверс на холостій гілці конвеєра відбувається за допомогою ходових опор, а вантажонесучої стрічки – по стаціонарним роликоопорам. Перегородки залишаються у закритому положенні (як це показано на рис. 1.4) на усій лінійній частині конвеєра (як на верхній вантажонесучій, так і на нижній холостій гілках) і розкриваються лише перед огинанням стрічкою барабанів. Обидві натяжні станції (для стрічкового та ланцюгового контурів конвеєра) розташовані у його хвостовій частині.

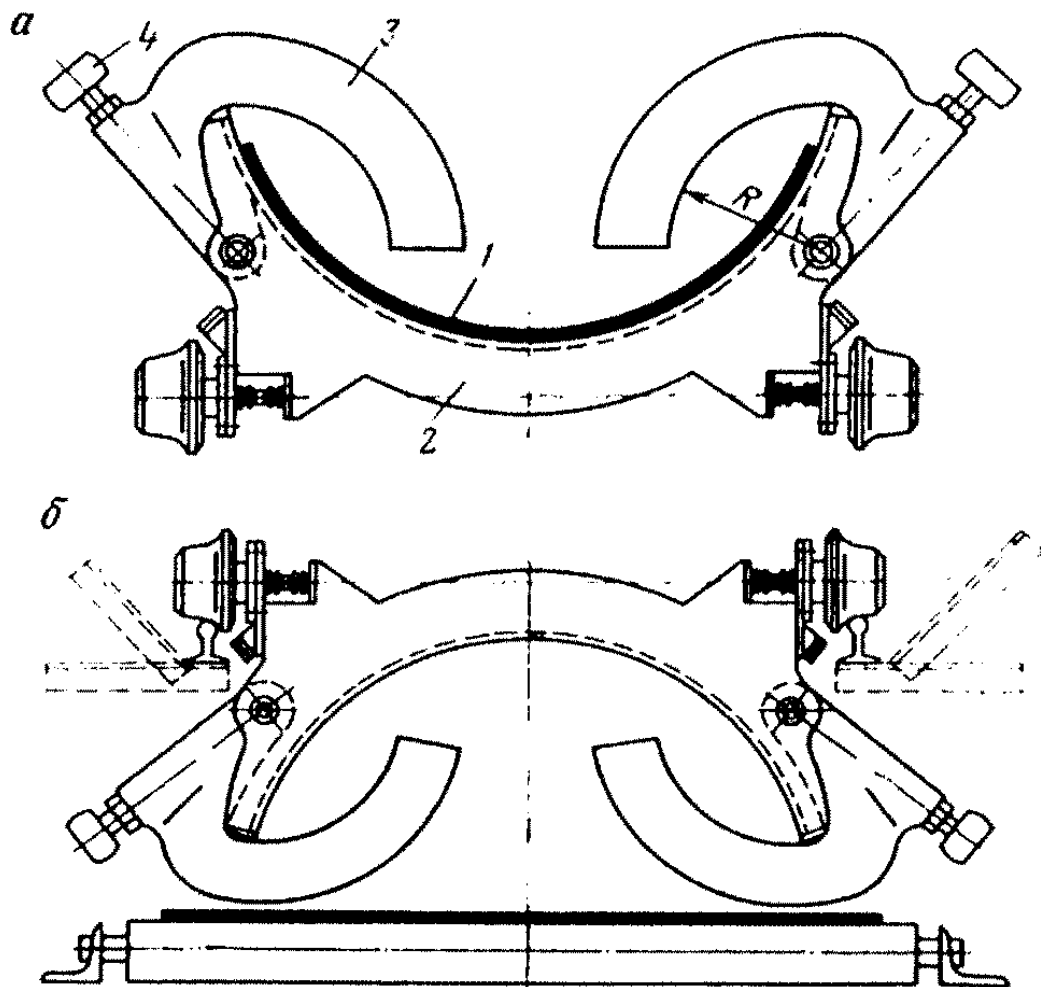


Рисунок 1.4 – Конвеєр на ходових опорах з шарнірно закріпленими відкидними подвійними перегородками:
a – вантажонесуча гілка; *б* – холоста гілка;
 1 – стрічка; 2 – траверса; 3 – перегородка; 4 – ролик

1.2.2 Конвеєри зі стрічкою глибокої жолобчастості

Спроби створення стрічкового конвеєра з жолобчастою стрічкою почалися у різних країнах ще у середині минулого століття. Проте усі подібні конструкції (аж до схеми з повністю замкненим жолобом) відрізнялися підвищеною складністю, значним опором руху матеріалу, малою надійністю, можливістю транспортування лише зернистих та дрібношматкових вантажів. Усе це стало причиною доволі незначного розповсюдження такого типу круто похилих стрічкових конвеєрів.

Можна згадати конструкцію бремсбергового конвеєра для транспортування кам'яного вугілля під ухил 16-25°, розроблену спільними зусиллями МГІ та ІГС

ім. А.А. Скочинського. Поперечний перетин стрічки формувався на конвеєрі за допомогою гірляндових чотирьохроликових опор з шарнірним сполученням роликів та кутами нахилу бічних і середніх роликів відповідно 80 і 25°. У порівнянні з трьохролковими опорами вони показали себе більш ефективними, особливо для утримання вантажу під час гальмування конвеєра. Схема такого конвеєра показана на рис. 1.5а [6].

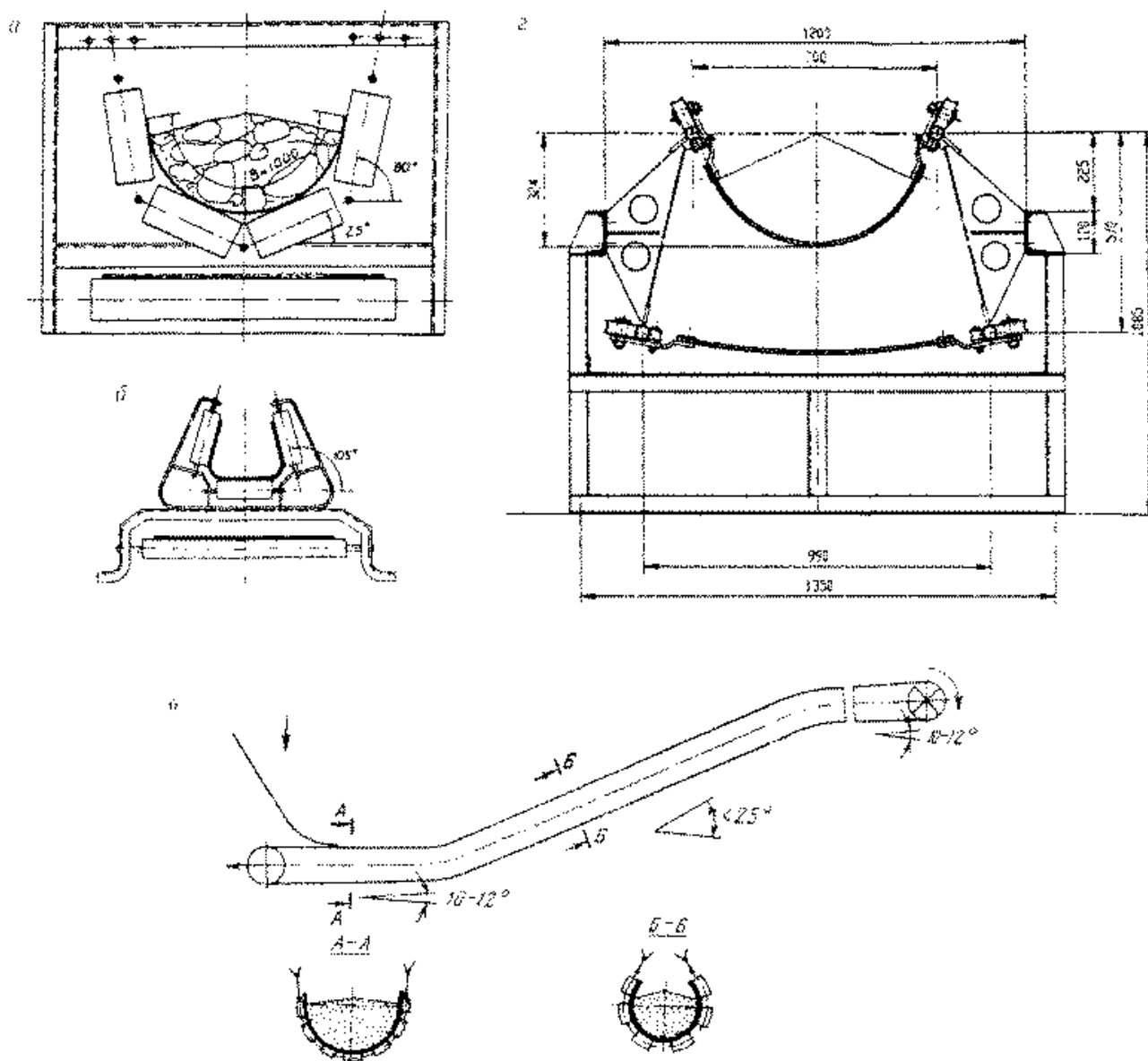


Рисунок 1.5 – Конвеєри зі стрічкою підвищеної жолобчастості:
 а – бремсберговий розробки МГІ та ІГС ім. А.А. Скочинського;
 б – конструкції Кадіївського рудоремонтного заводу;
 в – розробки проф. А.О. Співаковського;
 г – конструкції ІПЦ «Конвеєр»

Інші конструкції конвеєрів подібного типу приведені на рис. 1.5б, в і г [6]. Хороші результати продемонструвала установка, зображена на рис. 1.5в, де глибокий жолоб утворювався підвісними багатороликовими опорами, а завантаження стрічки здійснювалося на ділянці з кутом нахилу до 10-12°, де для полегшення процесу точки підвісу опор були розташовані достатньо широко. Така конструкція відрізняється значним коефіцієнтом уніфікації зі стандартними стрічковими конвеєрами, може забезпечувати значну продуктивність і транспортувати вантажі, вимоги до розмірів шматків яких аналогічні вимогам традиційних стрічкових конвеєрів. З огляду на це, перспективи ефективного практичного використання такої схеми досить хороші.

1.2.3 Конвеєри з притисною стрічкою

Конвеєри з притисною стрічкою мають декілька можливих конструктивних схем, а досвід їх практичного використання існує у багатьох виробників конвеєрного обладнання і свідчить про значні перспективи його розвитку. Універсальність такого типу конвеєрних установок пояснюється значним ступенем уніфікації їх конструкцій зі звичайними стандартними стрічковими конвеєрами, які добре зарекомендували себе в умовах гірничих робіт. По суті вони відрізняються від них лише наявністю додаткової ролюпопори для неробочої гілки притисного контуру. Дуже значною перевагою конвеєра з притисною стрічкою є можливість підвищення кута нахилу установки до 90°. На рис. 1.6 показаний поперечний перетин круто похилого конвеєра з притисною стрічкою [6].

Такий конвеєр, що має два стрічкових контури, які приводяться до руху двома традиційними приводами, при ширині стрічки до 3 м та швидкості її руху 3-6 м/с може забезпечити продуктивність перевезення сипких вантажів до 15000 м³/г. Висота підйому матеріалу може досягати 300 м і більше.

Конструктивні відмінності різних схем конвеєрів з притисною стрічкою полягають в основному у виконанні блоку притисних елементів. Саме від них залежать працездатність та загальна надійність тієї чи іншої конструктивної схеми подібного обладнання.

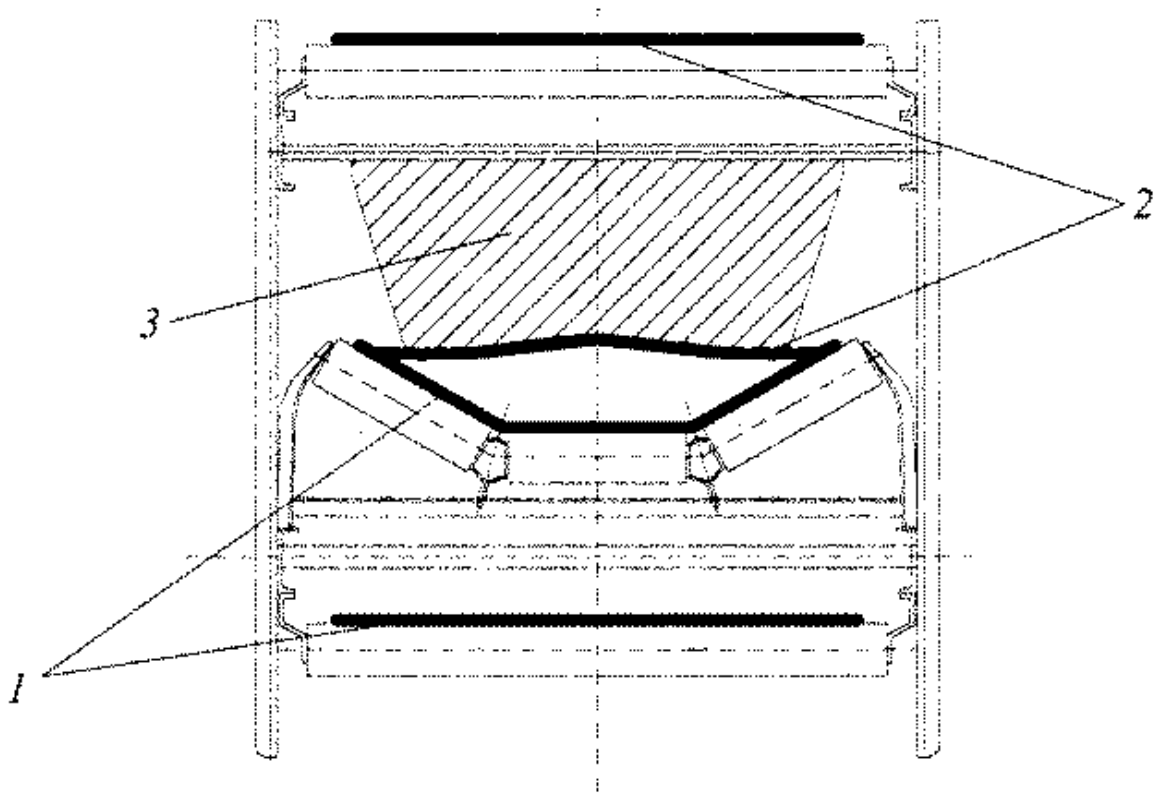


Рисунок 1.6 – Поперечний перетин круто похилого конвеєра з притискною стрічкою:

- 1 – вантажонесучий стрічковий контур; 2 – притискний стрічковий контур;
3 – блок притискних пристроїв

Мабуть найголовнішим загальним недоліком майже усіх різновидів конструкцій конвеєрів з притискною стрічкою є підвищене зношення стрічок обох контурів. Це пояснюється досить значними необхідними дискретно прикладеними навантаженнями для утримання матеріалу на стрічці. На рис. 1.7 показані різні варіанти конструктивного виконання притискних пристроїв таких конвеєрів [6]. Кращим з них слід визнати схему на рис. 1.7д, яка забезпечує збалансоване розподілене навантаження за допомогою близько розташованих притискних елементів.

На рис. 1.8 приведена загальна принципова схема круто похилого конвеєра з притискною стрічкою [6]. Траса конвеєра складається з декількох ділянок, а саме: горизонтальних або слабо похилих завантажувальної 8 та розвантажувальної 9, круто похилої 10 та двох перехідних – нижньої 11 та верхньої 12, які поєднують між собою відповідно ділянки 8 і 10 та 10 і 9. Матеріал подається на горизонтальну чи слабо похилу ділянку 8 конвеєра за допомогою завантажувального при-

строю 4. Робоча гілка стрічки вантажонесучого контуру 1, що спирається на трьо-хроликові жолобчасті опори, транспортує матеріал до перехідної ділянки 11 (див. перетин А-А), на якій він утримується на стрічці завдяки притискання останньої до притискної стрічки контуру 2 (див. перетин Б-Б). Далі, на круто похилій ділянці 10 конвеєра вступають у дію притискні пристрої 3 (див. перетин В-В). Потім вантажопотік переходить на ділянку 12, протягом якої притискна стрічка поступово знімається з матеріалу. Холоста гілка стрічки контуру 1 та верхня гілка стрічки контуру 2 спираються на горизонтальні однороликові опори.

Під час руху матеріалу він знаходиться у практично герметичному просторі між несучою та притискною стрічкою, що унеможливує просип по усій довжині конвеєра навіть при деякому взаємному поперечному зсуві стрічок.

Висновки:

- проведений аналіз доцільності використання стрічкових конвеєрів з підвищеним кутом нахилу поставу з вантажонесучою стрічкою цілком підтверджує важливість та актуальність науково-дослідницьких, проектних та практичних робіт зі створення такого обладнання. Використання круто похилих стрічкових конвеєрів дає можливість суттєво економити габарити та металоємність обладнання (конвеєри та конвеєрні системи стають більш короткими), виробничі площі гірничих та гірничозбагачувальних підприємств, витрати коштів на процес перевезення гірничої маси та продуктів її переробки;

- конструктивне забезпечення підвищеного кута нахилу стрічкових конвеєрів можливо за рахунок використання наступних прийомів: штучного зростання коефіцієнту тертя гірничої маси відносно поверхні стрічки; обладнання стрічки спеціальними елементами для підпору гірничої маси; забезпечення підвищеного нормального тиску гірничої маси на стрічку; застосування різних комбінацій вказаних вище способів;

- основними типами круто похилих стрічкових конвеєрів слід вважати: установки з підпорними елементами; конвеєри зі стрічкою глибокої жолобчастості; установки з притискною стрічкою.

1.3 Мета і задачі дослідження

Мета роботи – дослідження шляхів підвищення кута нахилу стрічкових конвеєрів та обґрунтування раціональних параметрів такого обладнання.

Аналіз галузей використання та конструктивних особливостей стрічкових конвеєрів круто похилого типу дозволив визначити задачі, які потребують вирішення у процесі даного дослідження:

- вибрати методи теоретичних та експериментальних досліджень;
- проаналізувати режим порційного транспортування матеріалу конвеєрами з підпірними елементами на стрічці;
- з'ясувати вплив кута нахилу та швидкості руху стрічки конвеєра з підпірними елементами на коефіцієнт заповнення його несучого полотна, а також кута нахилу на висоту і крок установки перегородок на стрічці;
- дослідити залежність кута нахилу конвеєрів зі стрічкою глибокої жолобчастості від ступеня заповнення її матеріалом, а також вплив умов експлуатації на допустимі кути нахилу таких установок;
- дослідити стійкість шарів вантажу на стрічці під час роботи конвеєрів з притисною стрічкою та залежність цього процесу від кута нахилу конвеєра;
- розглянути особливості вибору основних параметрів конвеєрів з підвищеним кутом нахилу;
- розробити практичні рекомендації щодо використання круто похилих конвеєрів на підприємствах гірничої галузі.

Об'єкт дослідження – технологічний процес транспортування сипких матеріалів стрічковими конвеєрами з підвищеним кутом нахилу.

Предмет дослідження – стрічкові конвеєри з підвищеним кутом нахилу.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Наукові дослідження, метою яких є обґрунтування раціональних конструктивних та експлуатаційних параметрів механічного обладнання, відносяться до прикладних. Під час них використовуються результати, отримані у ході виконання фундаментальних наукових досліджень, а саме: нові закони існування матерії, наукові відкриття тощо.

Здійснення наукових досліджень потребує використання відповідних методів, які можна розділити на теоретичні та експериментальні, загальні та спеціальні тощо. До загальних методів наукових досліджень можна віднести аналіз і синтез, індукція та дедукція, абстрагування і конкретизація, аналогія та моделювання.

Під час виконання представленої магістерської роботи використовувалися майже усі згадані методи дослідження.

Зокрема, для обґрунтування раціональних параметрів стрічкових конвеєрів з підвищеним кутом нахилу використовувався метод аналізу напруженого стану системи «транспортований вантаж – конвеєрна стрічка»

У процесі дослідження конвеєрів зі стрічкою глибокої жолобчастості застосовувалися:

- метод припущення, який полягав в уявленні конвеєрної стрічки установки зі стрічкою глибокої жолобчастості в якості моделі у вигляді судини значної протяжності з циліндричними стінками;
- метод фізичного моделювання круто похилого конвеєра зі стрічкою глибокої жолобчастості у масштабі 1:4;
- методи теорії сипких середовищ.

Під час визначення мінімально допустимого радіусу перехідної кривої на конвеєрах з притискною стрічкою використовувалися методи, що призначені для пружних балок з наповнювачами або пружних балок, які одночасно піддаються деформаціям натягу та згинання.

Для розрахунку параметрів конвеєрів застосовувалися стандартні методи розрахунку стрічкових конвеєрів.

Експериментальні дослідження конвеєрів з підвищеним кутом нахилу стрічки здійснювалися з метою визначення залежності їх робочих і конструктивних параметрів від умов експлуатації та впливу їх на величину допустимого кута нахилу установок.

Результати експериментальних досліджень аналізувалися за допомогою загальновідомих методів обробки та інтерпретації статистичної інформації.

3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ З ПІДВИЩЕНИМ КУТОМ НАХИЛУ

3.1 Дослідження конструкцій з підпирними елементами

Відмінністю процесу транспортування матеріалу конвеєрами цього типу є його порційність. Стрічка, поділена перегородками та обмежена з боків бортами, несе вантажопотік у вигляді нескінченного ланцюга окремих контурів з порціями вантажу усередині них. Кожна порція представляє собою певний об'єм у формі повної або усіченої призми (рис. 3.1), розміри якої визначається кроком установки перегородок l_n , їх висотою h , кутом нахилу конвеєра β та кутом природного укосу матеріалу у русі ρ [6,13].

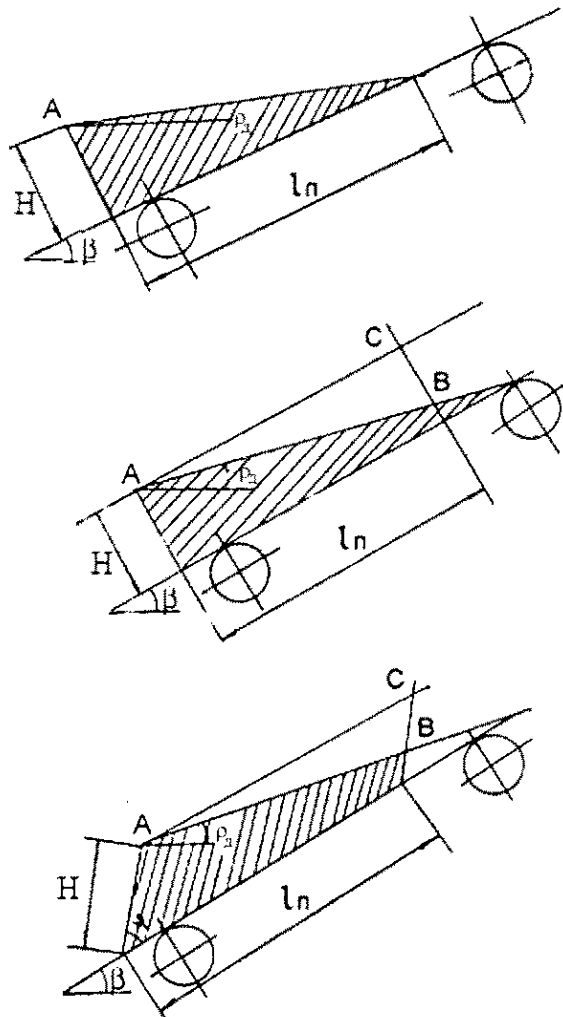


Рисунок 3.1 – Геометричні параметри форми порції вантажу на стрічці конвеєра з підпорними елементами

Ступінь заповнення стрічки матеріалом визначається коефіцієнтом заповнення K_z . Його можна представити як відношення площі поздовжнього перетину вантажу F_v та усієї корисної площі цього перетину F_k (на усьому полотні або у межах його одиничної порції). Для конвеєра з плоскою стрічкою його величина становитиме [6]:

$$K_z = \frac{F_v}{F_k} = 1 - \frac{l_n}{h} \cdot \frac{\operatorname{tg}(\beta - \rho)}{2}. \quad (3.1)$$

Якщо перегородки встановлені похило, то формула (3.1) набуває наступного вигляду [5,6]:

$$K_z = 1 - \frac{l_n}{h} \cdot \frac{\sin(\beta - \rho)}{2 \sin(\varphi + \beta - \rho)}, \quad (3.2)$$

де φ – кут нахилу перегородок, град., а найбільше заповнення простору на стрічці між двома сусідніми перегородками досягається при $\varphi = \frac{180 - \beta + \rho}{2}$ [5]

У реальності величини площ перетинів та об'ємів порцій матеріалу дещо перевищують теоретичні значення за рахунок наявності певної шапки матеріалу, яку можна врахувати коефіцієнтом $\xi = 1,3$. Тоді фактичний коефіцієнт заповнення буде дорівнювати [5]:

$$K_{z,\varphi} = \xi K_z. \quad (3.3)$$

З огляду на клиноподібну форму поздовжнього перетину порції матеріалу на стрічці, скорочення величини кроку установки перегородок буде сприяти підвищенню продуктивності конвеєра, але при цьому буде зростати його металоємність, що потребуватиме збільшення споживаної потужності установки. Тому визначення оптимальної величини l_n має важливе значення. Її можна знайти за мінімумом витрат на обладнання полотна стрічки перегородками та на додаткову витрачену електроенергію у розрахунку на одиницю продуктивності конвеєра. На рис. 3.2 показані залежності цих витрат (в умовних балах на тонну перевезеного вантажу) від кроку перегородок l_n . Кожна з цих кривих має оптимальний мінімум, але потрібно пам'ятати, що відстань між перегородками повинна відповідати на-

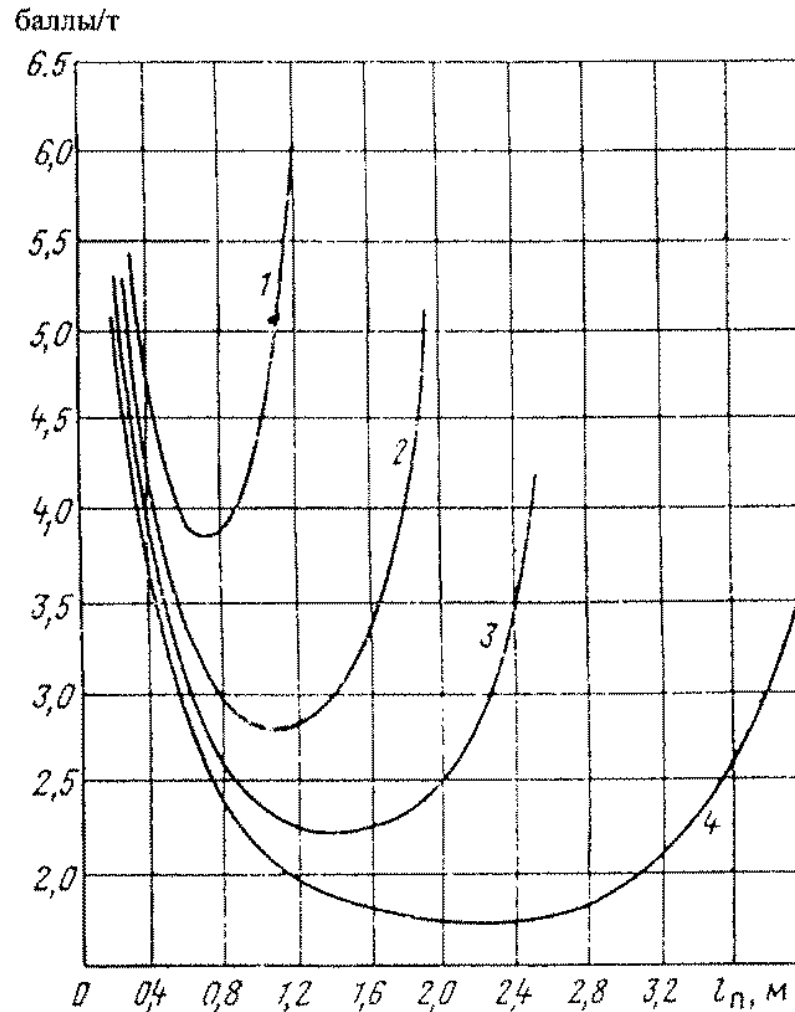


Рисунок 3.2 – Питомі витрати (умовні бали на тонну перевезеного вантажу) на обладнання несучого полотна конвеєра бортами і перегородками у залежності від кроку перегородок l_n при різних кутах нахилу останніх: 1, 2, 3, 4 – відповідно 45, 40, 35 та 30°

ступній умові: $l_n \geq (1,5-2)a_{\max}$, де $a_{\max}$ – максимальний розмір шматків матеріалу [5,6].

Оптимальне значення величини кроку установки перегородок може бути знайдено за допомогою наступної формули [5]:

$$l_{n.onm} = \frac{h \sin(\varphi + \beta - \rho)}{\sin(\beta - \rho)}, \text{ м.} \quad (3.4)$$

Аналіз даних, що використовувався при побудові графіків на рис. 3.2, дозволив виявити області раціональних значень l_n для різних кутів нахилу конвеєра

β за умови розміщення між перегородками максимальних за розмірами шматків вантажопотоку та забезпечення високого ступеня заповнення стрічки при її швидкості у межах від 3,5 до 6,0 м/с (табл. 3.1) [5].

Таблиця 3.1 – Раціональні значення l_n (м) у залежності від β та h

Кут нахилу конвеєра β , град.	Висота перегородок h , м			
	0,2	0,3	0,4	0,5
25	1,2-3,2	2,0-5,0	3,0-5,0	4,0-8,0
35	0,6-1,0	0,8-1,6	0,8-2,2	0,8-3,0
45	0,6	0,6-0,8	0,7-1,0	0,8-1,5
55	0,6	0,6	0,6-0,7	0,7-0,9
65	0,6	0,6	0,6	0,6-0,8

За рекомендаціями найбільш доцільними кутами нахилу конвеєрів подібного типу будуть такі, що не перевищують 40-45° [14].

Реальна форма порції вантажу між перегородками стрічки (особливо це стосується крупношматкового матеріалу) близька до показаної на рис. 3.3 [6].

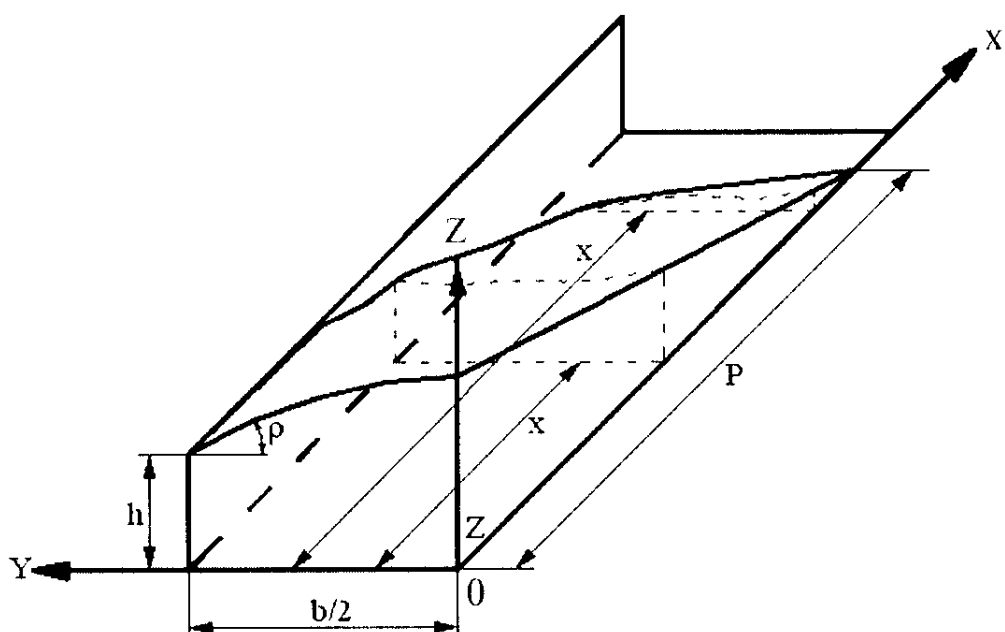


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема ділянки полотна конвеєра з вантажем

Поперечний перетин порції вантажу біля перегородки при цьому матиме форму, схожу на параболу, а величина половини цього перетину може бути знайдена з рівняння вільної поверхні сипкого вантажу [14]:

$$z = H - Py^2 - xtg(\beta - \rho), \quad (3.5)$$

де $H = h + \frac{0,5b}{2tg\rho}$ – максимальна висота шару сипкого матеріалу по перегородці

для заданої ширини стрічки, м; P – параметр, що знаходиться з рівнянні параболи, яка утворюється при перетині вільної поверхні сипкого вантажу з площиною yz :

$$z = H - Py^2. \quad (3.6)$$

$$P = \frac{tg\rho}{2 \cdot 0,5b}, \quad (3.7)$$

де $0,5b$ – половина корисної ширини стрічки, м.

Об'єм вантажу між перегородками може розглядатися як змінна величина, що залежить від характеристик вантажонесучого полотна [6]:

$$V = 2 \int_0^x dx \int_0^y dy \int_0^z dz + 2 \int_0^y dy \int_0^x dx \int_0^z dz = bxz. \quad (3.8)$$

Після усіх необхідних підстановок у це рівняння та його перетворень отримуємо:

$$V = 2 \left[h + \frac{btg\rho}{4} + \frac{tg\rho}{b} \left(\frac{b^2}{4} + \frac{bh}{tg\rho} - 2 \frac{xbtg(\beta - \rho)}{tg\rho} \right) \right]^2 \frac{b}{2tg\rho}. \quad (3.9)$$

Оскільки на круто похилому конвеєрі з підпiрними елементами вантаж розташовується не суцільним потоком, а окремими порціями, то майже завжди є ділянки стрічки, вільні від матеріалу. Вочевидь, величини цих ділянок будуть залежати від кута нахилу перегородок до стрічки, способу і швидкості завантаження конвеєра матеріалом, кута його нахилу та відстані між перегородками. Для пе-

ресвідчення у цьому розглянемо процес завантаження такого конвеєра і визначимо величину ділянки стрічки, вільної від вантажу (x_6).

У момент падіння порції вантажу на стрічку його швидкість відносно останньої дорівнює нулю, а далі він починає рухатися донизу з прискоренням a до зустрічі з попередньою порцією вантажу. З огляду на це, можемо записати:

$$x_6 = \frac{at^2}{2}, \text{ м,}$$

де $t = \frac{l_n}{v}$ – час руху ділянки полотна конвеєра між двома перегородками під завантаженням, с; l_n – відстань між перегородками, м; v – швидкість стрічки конвеєра, м/с. Тоді маємо:

$$x_6 = \frac{al_n^2}{2v^2}, \text{ м.}$$

Згідно з другим законом Ньютона прискорення порції вантажу на стрічці під дією сили тяжіння становитиме:

$$a = g(\sin \beta - f \cos \beta), \text{ м/с}^2,$$

де f – коефіцієнт тертя вантажу відносно стрічки.

Тоді величина ділянки стрічки, вільної від вантажу, дорівнюватиме:

$$x_6 = \frac{g(\sin \beta - f \cos \beta)l_n^2}{2v^2}, \text{ м.} \quad (3.10)$$

З рівняння (3.10) видно, що, дійсно, величина x_6 залежить від кута установки конвеєра, швидкості руху стрічки та транспортованого матеріалу. На рис. 3.4 показана залежність x_6 від швидкості стрічки при різних кутах установки конвеєра, а на рис. 3.5 – від кута установки конвеєра при різних швидкостях руху стрічки [6].

Довжина ділянки стрічки, зайнятої вантажем, визначиться за наступною формулою [6]:

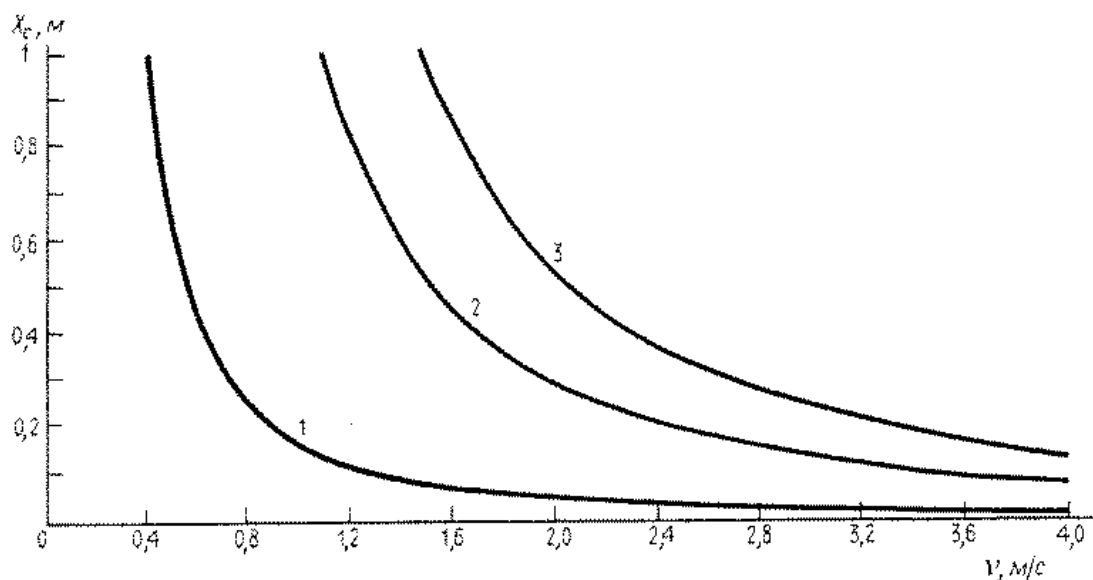


Рисунок 3.4 – Залежність x_6 від швидкості стрічки при різних кутах нахилу конвеєра: 1, 2, 3 – відповідно 35, 40 та 45°

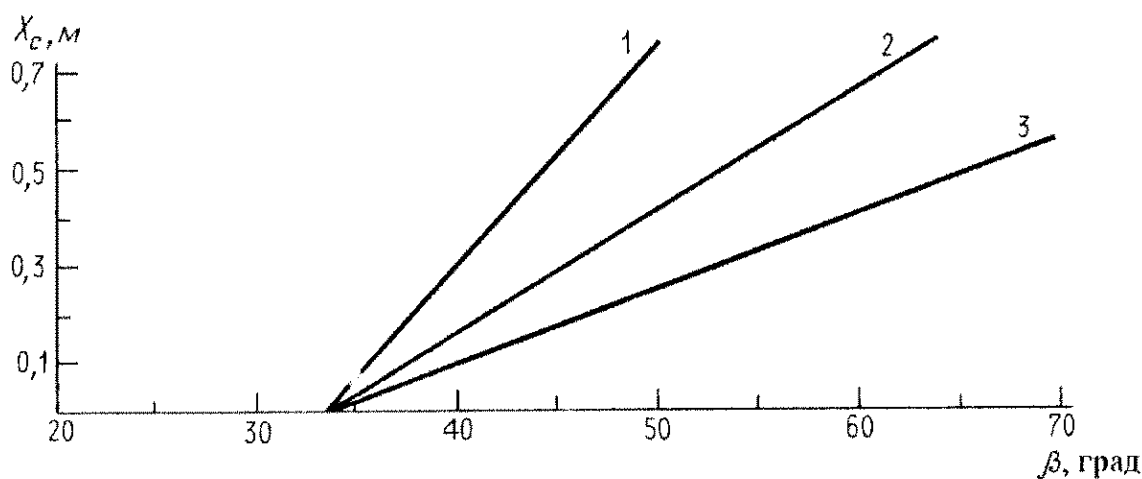


Рисунок 3.5 – Залежність x_6 від кута нахилу конвеєра при різних значеннях швидкості руху стрічки: 1, 2, 3 – відповідно 1,5, 2 та 2,5 м/с

$$x = \frac{l_n - g(\sin \beta - f \cos \beta)l_n^2}{2v^2}. \quad (3.11)$$

На рис. 3.6-3.9 показані залежності коефіцієнту заповнення полотна конвеєра матеріалом K_z від різних конструктивних та експлуатаційних факторів використання круто похилого конвеєра з підпірними елементами, а саме: на рис. 3.6 – від кута нахилу конвеєра при різних значеннях швидкості руху стрічки; на рис. 3.7 – від швидкості стрічки при різних кутах нахилу конвеєра; на рис. 3.8 – від ви-

соти перегородки h при різних кутах нахилу; на рис. 3.9 – від відстані між перегородками l_n при різних кутах нахилу конвеєра.

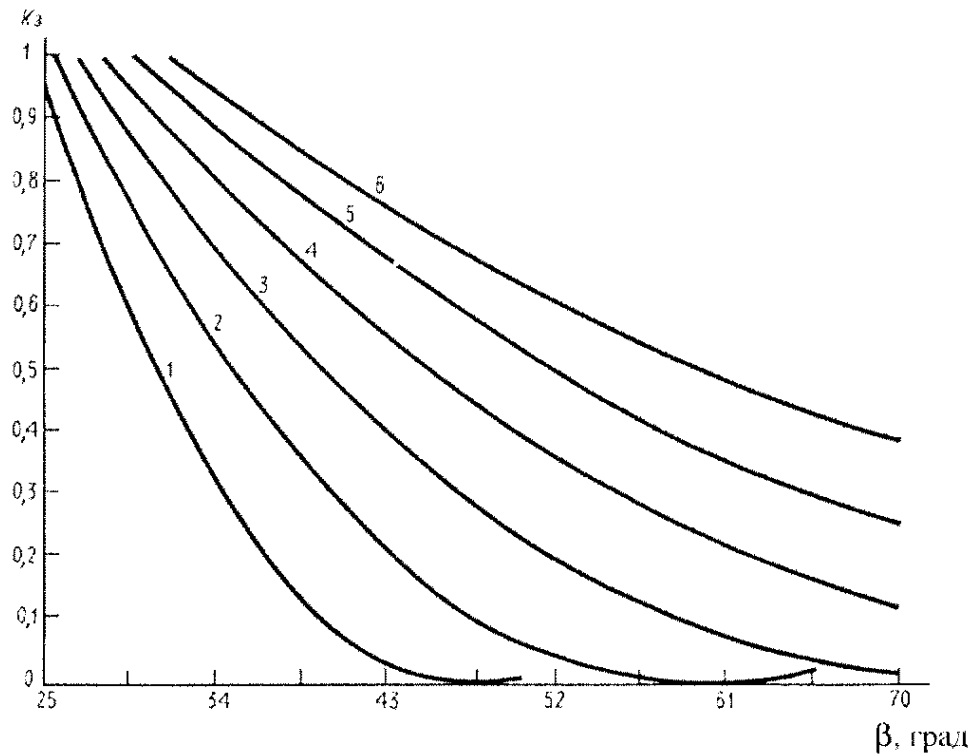


Рисунок 3.6 – Залежність коефіцієнту K_z від кута нахилу конвеєра β при різних значеннях швидкості руху стрічки v :
1, 2, 3, 4, 5, 6 – відповідно 1,5, 1,8, 2,1, 2,4, 2,7 та 3 м/с

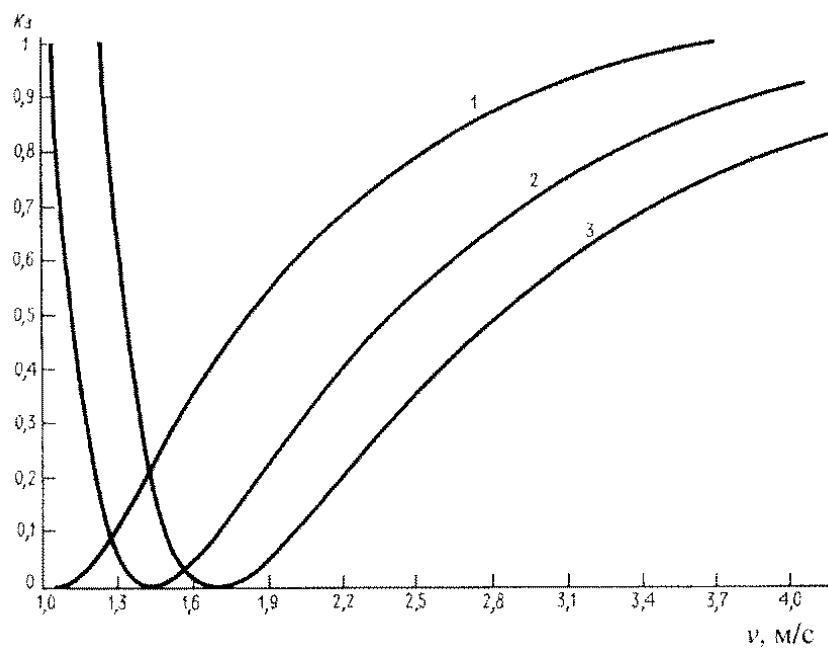


Рисунок 3.7 – Залежність коефіцієнту K_z від швидкості руху стрічки v при різних значеннях кута нахилу конвеєра β :
1, 2, 3 – відповідно 35, 45 та 55°

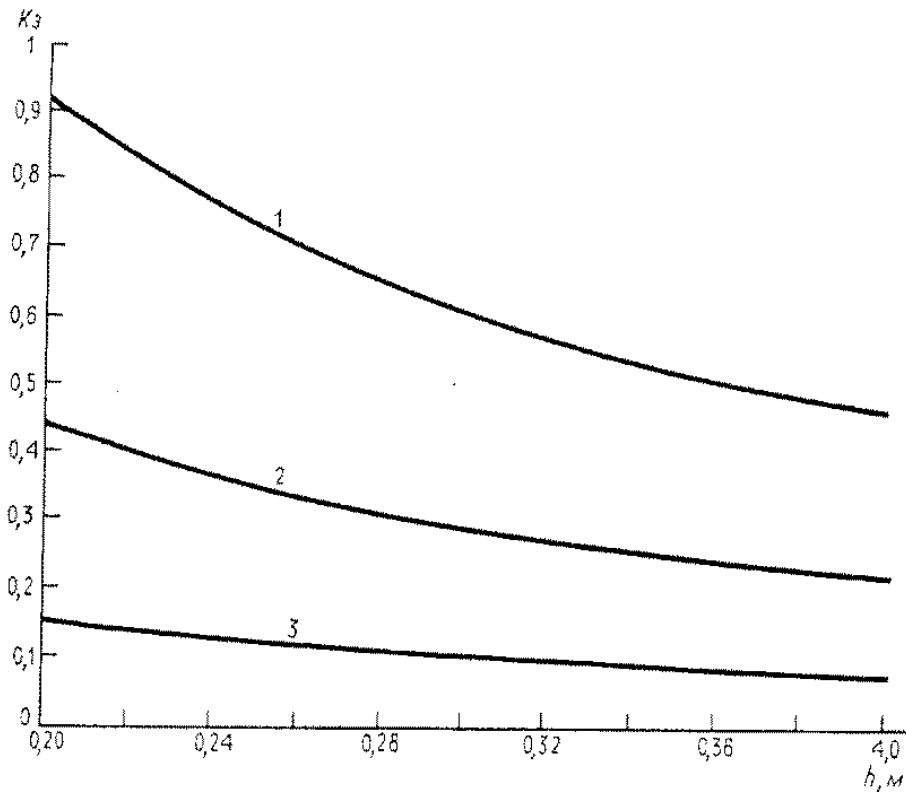


Рисунок 3.8 – Залежність коефіцієнту K_z від висоти перегородки h при різних значеннях кута нахилу конвеєра β :
1, 2, 3 – відповідно 35, 45 та 55°

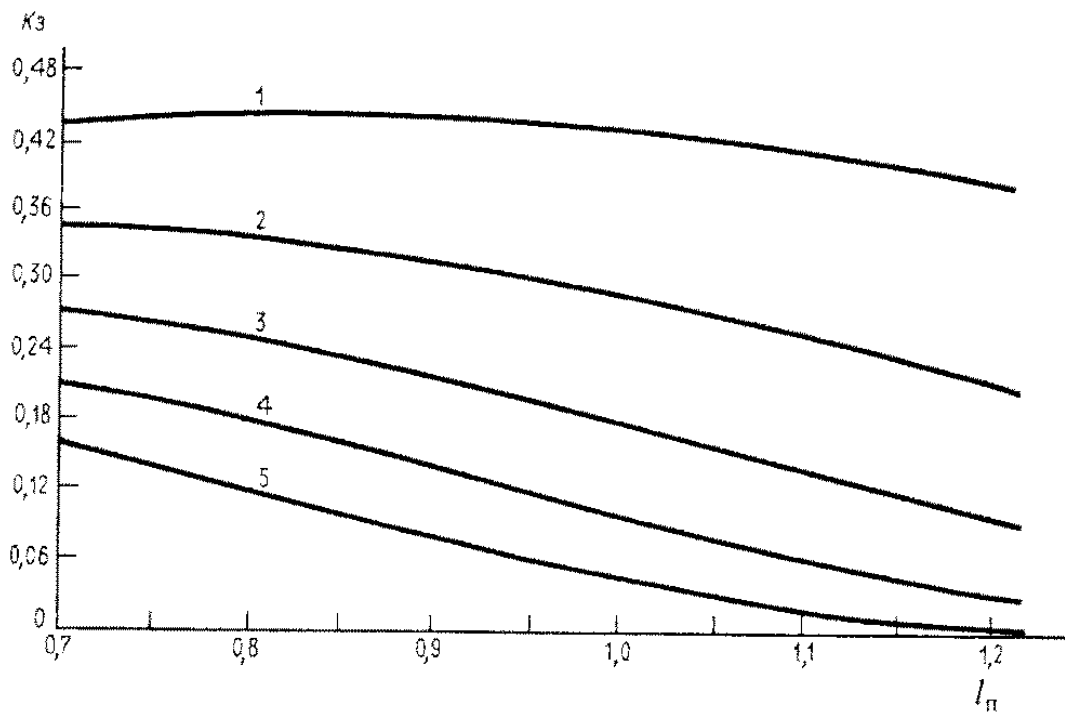


Рисунок 3.9 – Залежність коефіцієнту K_z від відстані між перегородками l_n при різних значеннях кута нахилу конвеєра β :
1, 2, 3, 4, 5 – відповідно 40, 45, 50, 55 та 60°

Основні висновки, що можуть бути зроблені в результаті аналізу графіків на рис. 3.6-3.9, наступні:

- ступінь заповнення конвеєра матеріалом зменшується із зростанням його кута нахилу β ;
- коефіцієнт заповнення зменшується принаймні удвічі із збільшенням висоти перегородки з 0,2 до 0,4 м. При подальшому зростанні величини h коефіцієнт заповнення змінюється незначно. Коефіцієнт K_z різко падає із збільшенням кута нахилу конвеєра;
- із збільшенням швидкості руху стрічки v коефіцієнт K_z спочатку зменшується до нуля, а потім зростає. Така ситуація пояснюється тим, що при певних значеннях швидкості стрічки порції вантажу накладаються одна на іншу, пересипаються через перегородки і залишають порожніми значні ділянки стрічки між ними.

3.2 Дослідження конструкцій зі стрічкою глибокої жолобчастості

Під час транспортування матеріалу таким конвеєром сили, що утримують його на стрічці, мають перевищувати дотичну складову сили тяжіння вантажу [5,6]:

$$\sigma_{сер} f_{\partial} \geq q_g g l'_p \sin \beta, \quad (3.12)$$

де $\sigma_{сер}$ – усереднене значення тиску вантажу на стрічку між двома сусідніми роликкоопорами, Па; f_{∂} – динамічний коефіцієнт тертя вантажу відносно стрічки; q_g – лінійна вага вантажу, Н/м; β – кут нахилу конвеєра, град.; l'_p – відстань між сусідніми роликкоопорами, м.

Для визначення величини тиску вантажу на стрічку між роликкоопорами потрібно розрізнити два етапи руху порції матеріалу на цьому шляху. Перша половина шляху характеризується поступовим віддаленням вантажу від роликкоопори та зростанням прогину і розвалу стрічки. Вантаж тисне на неї за рахунок дії сили тяжіння (активний тиск). На цьому етапі система вантаж-стрічка знаходиться у мінімальному напруженому стані. Другий етап – від середини прольоту між ролик-

коопорами до виходу на ролюкоопору. Стрічка тут поступово знову набуває максимальної жолобчастості, а вантаж стискається та ущільнюється. Між його частинками і стрічкою виникають додаткові розпирні зусилля (пасивний тиск), що призводить до максимального напруженого стану системи вантаж-стрічка (рис. 3.10) [5,6].

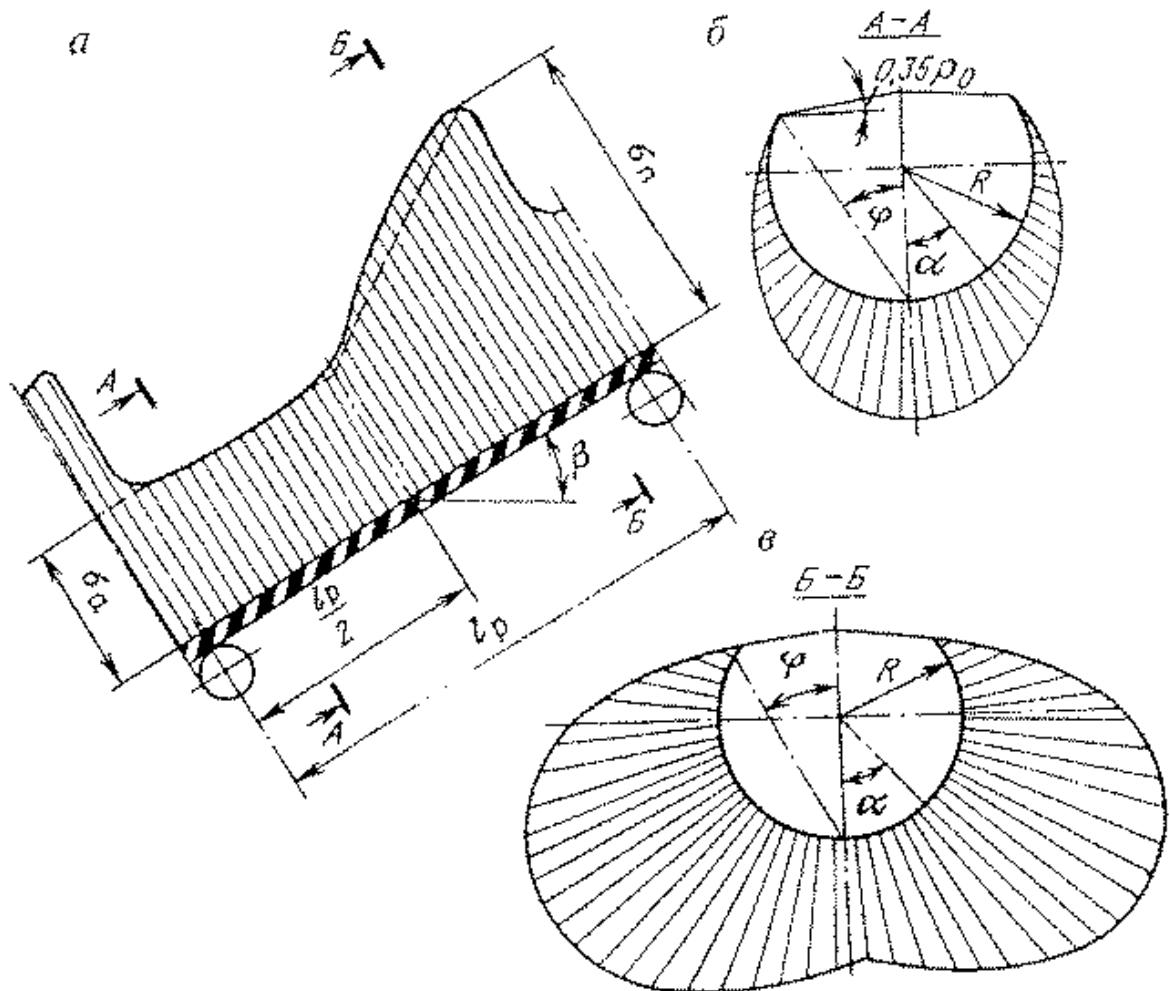


Рисунок 3.10 – Схема розподілення тисків сипкого вантажу на стрічку глибокої жолобчастості:

a – активних і пасивних уздовж конвеєрної стрічки;

$b, в$ – активних і пасивних у поперечному перетині стрічки

Конвеєрну стрічку глибокої жолобчастості можна представити як протяжну судину з циліндричними стінками. Використовуючи методи теорії сипких середовищ, можна знайти величину тиску сипкого тіла на будь-якій ділянці похилої стрічки у вигляді інтегралу у межах від $\alpha = 0$ до $\alpha = \pi - 2\varphi$. Активний тиск становитиме [6]:

$$\sigma_a = \int_0^{\pi-2\varphi} Rg\gamma_p (\cos 2\varphi + \cos \alpha) (\cos^2 \alpha + k \sin^2 \alpha) \cos \beta d\alpha, \quad (3.13)$$

а пасивний:

$$\sigma_n = \int_0^{\pi-2\varphi} Rg\gamma_p (\cos 2\varphi + \cos \alpha) \left(\frac{\sin^2 \alpha}{m_i} + \cos^2 \alpha \right) \cos \beta d\alpha, \quad (3.14)$$

де R – радіус вигину поперечного перетину стрічки, м; γ_p – насипна густина транспортованого вантажу, т/м³; φ – кут, що характеризує ступінь заповнення поперечного перетину стрічки, град.; α – кут, що характеризує положення розглянутого майданчику, град.; m_i – коефіцієнт рухомості (внутрішнього тертя) сипкого тіла; $g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння; k – коефіцієнт, що враховує змінення бічного тиску у залежності від кута нахилу конвеєра та коефіцієнту внутрішнього тертя f :

$$k = 1 + f^2 - \sqrt{(1 + f^2)(f^2 - tg^2 \beta)} - f \sqrt{f^2 + 1} - \sqrt{f^2 - tg^2 \beta}. \quad (3.15)$$

Тоді величина усередненого тиску вантажу на ділянку стрічки між роликкоопорами становитиме [6]:

$$\sigma_{сеп} = 1,5R^2 gAl'_p \gamma_p \cos \beta, \quad (3.16)$$

де

$$A = \cos 2\varphi \left[(\pi - 2\varphi) \left(1,33 + k - \frac{1}{3m_i} \right) - \frac{\sin 4\varphi}{2} \left(1,33 - k - \frac{1}{3m_i} \right) \right] + 1,33 \sin 2\varphi - \frac{1}{3 \sin^3 2\varphi \left(1,33 - k - \frac{1}{3m_i} \right)} \quad (3.17)$$

Для m_i у межах від 0,5 до 0,8 та φ від 15 до 60° значення A будуть знаходитися на відрізку 0,5-4,2.

Тоді формула (3.12) прийме наступний вигляд [6]:

$$1,5R^2 gAl'_p \gamma_p \cos \beta f \geq q_e l'_p \sin \beta. \quad (3.18)$$

Величина лінійної ваги вантажу дорівнює:

$$q_s = R^2 g \gamma_p \psi,$$

де ψ – коефіцієнт заповнення вантажем поперечного перетину стрічки. З урахуванням шапки вантажу на стрічці матимемо:

$$\psi = (\pi - 2\varphi) + 0,5 \sin 4\varphi + \sin^2 2\varphi \operatorname{tg}(0,35\rho_0), \quad (3.19)$$

де ρ_0 – кут природного укосу транспортованого матеріалу у стані спокою.

Тоді величина допустимого кута нахилу конвеєра буде наступною [6]:

$$\operatorname{tg} \beta \leq \frac{1,5gA}{\psi}. \quad (3.20)$$

На рис. 3.11 показані графіки змінення можливих кутів нахилу β конвеєра зі стрічкою глибокої жолобчастості від ступеня заповнення поперечного перетину стрічки φ для вантажів з різними фізико-механічними властивостями [5,6].

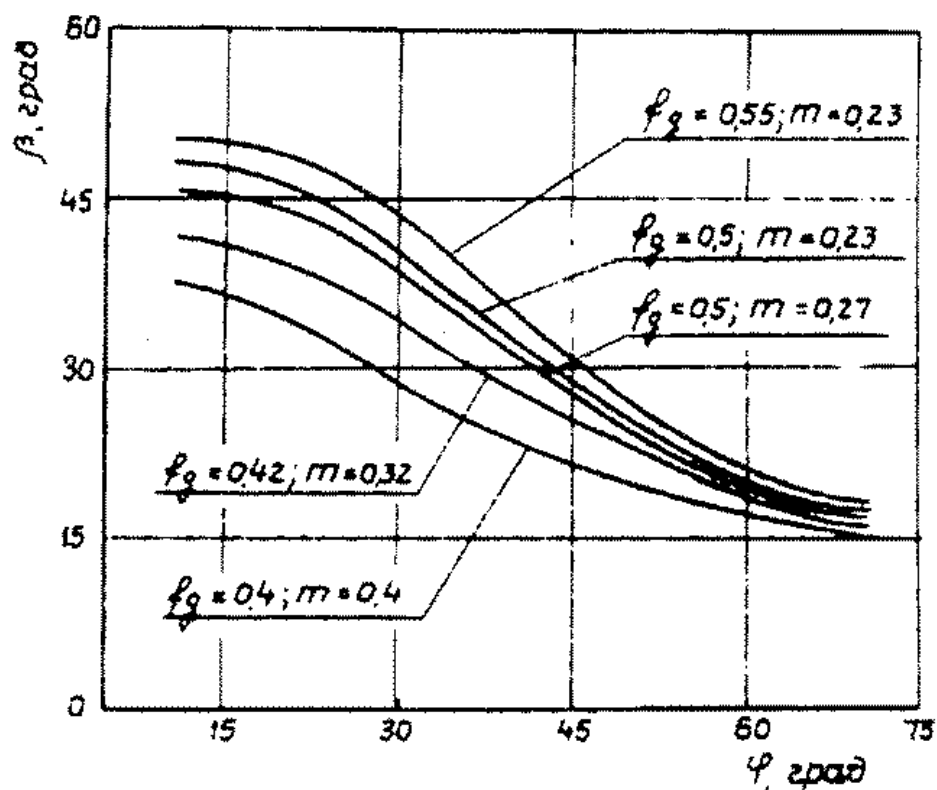


Рисунок 3.11 – Залежність можливих кутів нахилу β конвеєра зі стрічкою глибокої жолобчастості від ступеня заповнення поперечного перетину стрічки φ

На цих графіках: f_0 – динамічний коефіцієнт тертя вантажу відносно стрічки; m_i – коефіцієнт рухомості сипкого тіла. З приведених кривих випливає, що при $\varphi = 60^\circ$ допустимий кут нахилу конвеєра знаходиться у межах $\beta = 15-20^\circ$. Тобто, у цьому випадку ми практично нічого не виграємо у порівнянні зі стандартним стрічковим конвеєром з трьохролковими жолобчастими опорами з кутом нахилу бічних роликів 30° . Але зниження кута φ до 30° вже забезпечує зростання кута β до $30-35^\circ$ у залежності від коефіцієнтів внутрішнього та зовнішнього тертя вантажу.

Значний інтерес представляє визначення впливу умов експлуатації на допустимі кути нахилу конвеєра зі стрічкою глибокої жолобчастості. Для дослідження цього питання були проведені лабораторні випробування на фізичній моделі, виконаної у масштабі 1:4, яка імітувала реальний круто похилий конвеєр з шириною жолобчастої стрічки 1600 мм, максимальним розміром шматків транспортованого матеріалу $a_{\max} = 400$ мм та продуктивністю, що могла варіюватися від 1600 до 2400 т/г. Приведені нижче дані результатів дослідів переведені у розрахунку на реальну конструкцію [15].

Під час випробувань ставилася задача дослідження впливу наступних експлуатаційних параметрів:

- ступеня заповнення поперечного перетину стрічки сипким матеріалом;
- ступеня обтискання стрічки роlikоопорою гірляндового типу;
- гранулометричного складу та вологості транспортованого матеріалу;
- швидкості руху стрічки.

Допустимим кутом нахилу конвеєра вважався такий граничний кут, при якому не спостерігалось ковзання окремих шарів вантажу відносно стрічки або кочення окремих часток чи шматків поверхнею шару матеріалу.

На рис. 3.12 показані експериментальні графіки залежності допустимих кутів нахилу β конвеєра зі стрічкою глибокої жолобчастості від ступеня заповнення матеріалом поперечного перетину стрічки φ при безперервному розташуванні вантажу та швидкості стрічки $v = 1$ м/с [6]. Рис. 3.12а представлений двома кривими, що характеризують процес транспортування камяного вугілля зі шматками від 80 до 360 мм: експериментальною (суцільна лінія) та теоретичною (пунктирна).

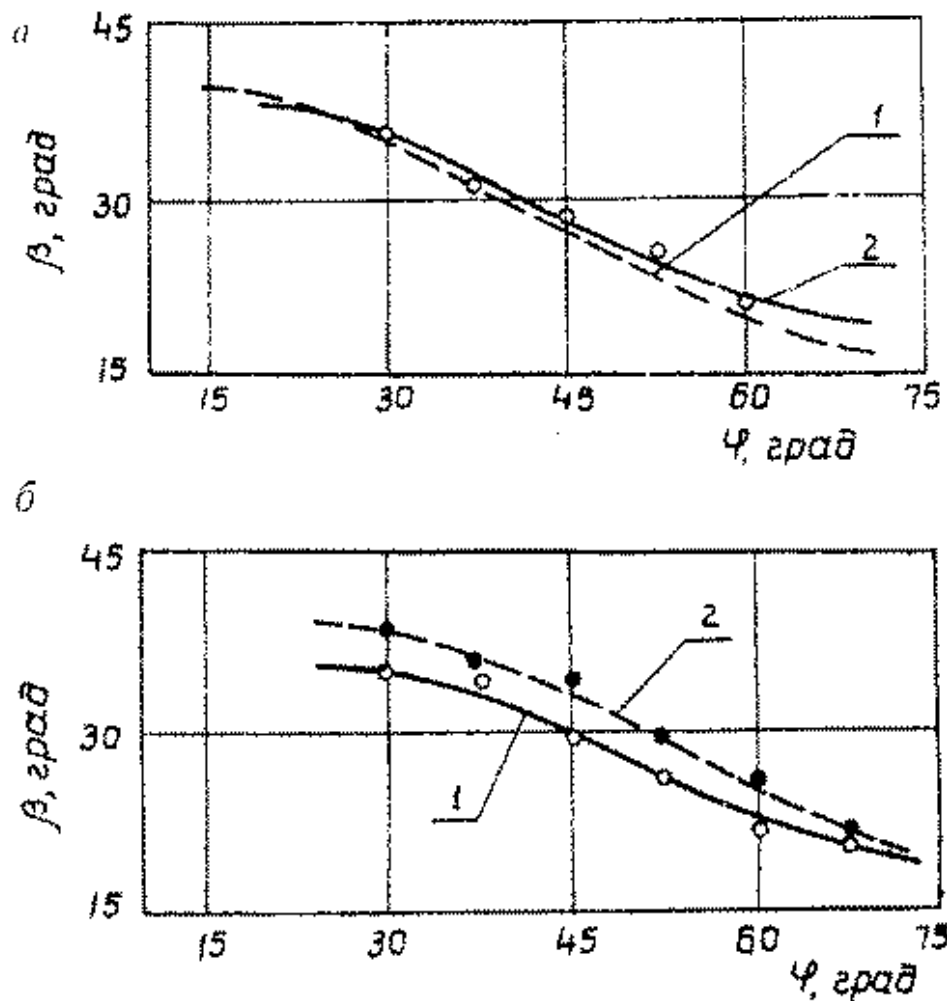


Рисунок 3.12 – Графіки залежності допустимих кутів нахилу β конвеєра зі стрічкою глибокої жолобчастості від ступеня заповнення матеріалом поперечного перетину стрічки φ :

a: 1 – кам'яне вугілля класу $a = 80-360$ мм (експериментальна крива);
 2 – кам'яне вугілля (теоретична крива);

б: 1 – сухий крейдяний мергель класу $a = 40-400$ мм;
 2 – перезволожений крейдяний мергель класу $a = 40-400$ мм

На рис. 3.12б – криві змінення кутів нахилу конвеєра під час транспортування сухого (суцільна лінія) та перезволоженого крейдяного мергелю.

На цих графіках видно, що зменшення кута φ до 30° (зростання ступеня заповнення поперечного перетину стрічки) призводить до підвищення граничних кутів нахилу конвеєра до 36° . Подальше заповнення перетину (до $\varphi = 22-15^\circ$) майже не сприяє збільшенню кута нахилу.

Для вивчення характеру поведінки поверхневого шару матеріалу під час пу-

ску та усталеного руху конвеєра на його вільні й поверхні розташовували спеціальні мітки. Спостереження за ними дозволили з'ясувати, що зміщення мічених шматків відбувалося лише у поперечному напрямку і було практично відсутнім у поздовжньому. Це дало змогу стверджувати, що сили зчеплення частинок матеріалу у поверхневому шарі достатньо для попередження відриву і скочування окремих шматків донизу, а також утворення площі ковзання матеріалу.

Таким чином, круто похилий конвеєр зі стрічкою глибокої жолобчастості при ступеню заповнення $\varphi = 20-30^\circ$ та рівномірно розподіленому погонному навантаженні виявляється цілком працездатним при кутах нахилу до 35° (у залежності від властивостей вантажу). Якщо намагатися забезпечити максимально можливий термін служби стрічки, то оптимальним ступенем заповнення слід вважати $\varphi = 45-40^\circ$; тоді кут нахилу буде знаходитися у межах $\beta = 26-32^\circ$ [6].

Вплив швидкості руху стрічки на величину допустимого кута нахилу конвеєра демонструють графіки, приведені на рис. 3.13. Вони побудовані для ступеня заповнення поперечного перетину несучого полотна $\varphi = 45^\circ$, рівномірного розподілення погонного навантаження на стрічку та діапазону її швидкості від 0,4 до 4 м/с [6]. Криві на рисунку свідчать, що у діапазоні від 0,4 до 2 м/с величина швидкості стрічки майже не впливає на процес транспортування з точки зору раціонального кута нахилу конвеєра. І лише у разі збільшення її до 4 м/с граничні кути нахилу знижуються на $1-3^\circ$. До того ж навіть таке незначне змінення більше характерне для сухих матеріалів. Перезволожені ж вантажі мають підвищене взаємне зчеплення частинок і практично не реагують на змінення швидкості. Аналогічна картина спостерігається і для $\varphi = 30^\circ$. Тут ще менший вплив швидкості через зменшення вільної поверхні матеріалу та зростання утримуючих його сил.

Із збільшенням розмірів шматків матеріалу величина граничних кутів нахилу конвеєра дещо зростає, що добре видно на рис. 3.14. Ці графіки побудовані для швидкості стрічки 2 м/с. Слід розуміти, що мова йде про шматки у межах допустимих розмірів. Шматки більших розмірів можуть викликати заклинення під час проходження підвісної ролюкоопори. У цілому конвеєр зі стрічкою глибокої жолобчастості здатен транспортувати гірничу масу з розмірами шматків до 400 мм

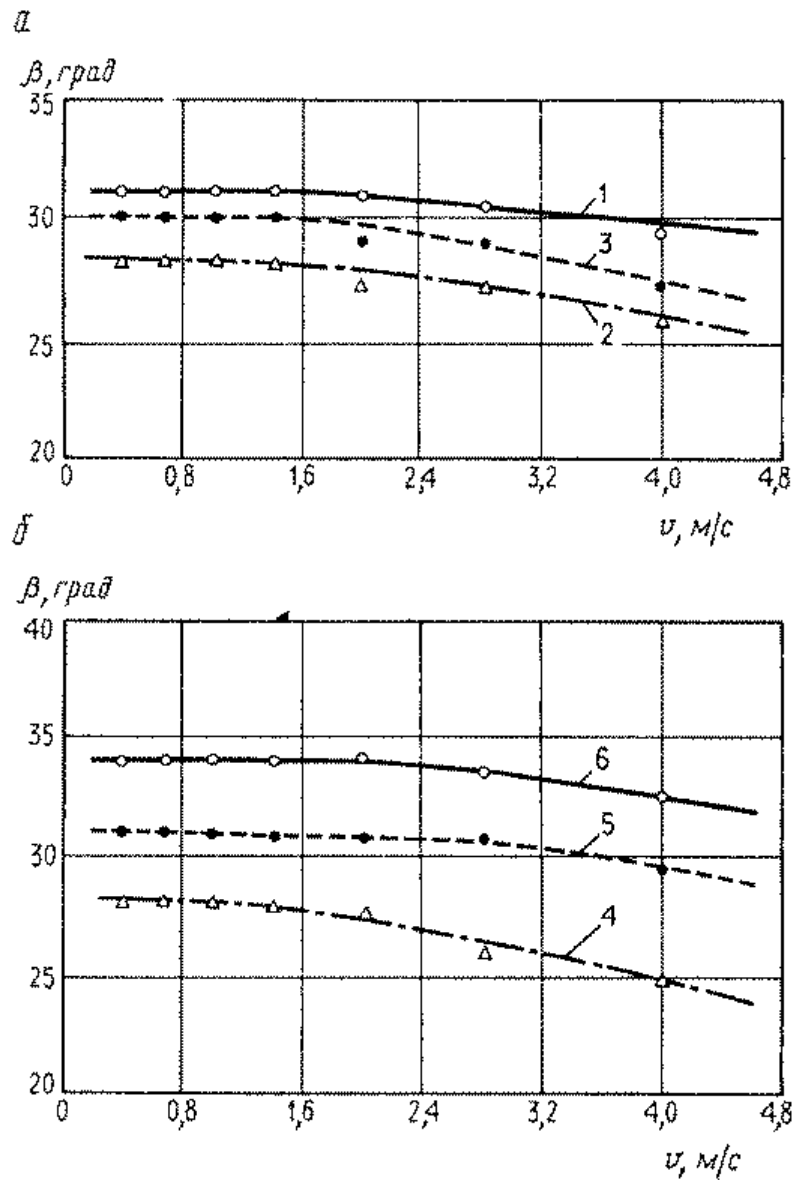


Рисунок 3.13 – Графіки змінення допустимих кутів нахилу конвеєра у залежності від швидкості руху стрічки (для $\varphi = 45^\circ$):

- 1 – зволожена піщано-гравійна суміш; 2 – щебінь класу $a = 80-160$ мм;
- 3 – щебінь класу $a = 200-400$ мм; 4 – вугілля кам'яне класу $a = 80-360$ мм;
- 5 – сухий крейдяний мергель класу $a = 120-450$ мм;
- 6 – перезволожений крейдяний мергель класу $a = 150-450$ мм

під кутом нахилу $\beta = 25-28^\circ$ [6].

Процес транспортування матеріалу може здійснюватися у різних режимах завантаження стрічки: рівномірного чи нерівномірного його розташування уздовж полотна стрічки, у вигляді окремих рівномірних чи нерівномірних порцій тощо. Вплив режиму завантаження на граничні кути нахилу конвеєра зі стрічкою глибокої жолобчастості вивчався з використанням різних сипких вантажів при швидко-

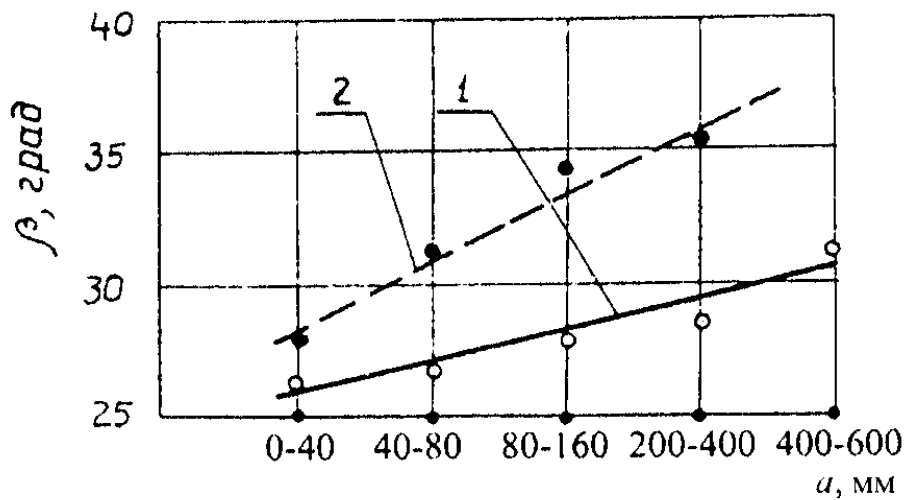


Рисунок 3.14 – Вплив гранулометричного складу матеріалу на кут нахилу конвеєра: 1 – $\varphi = 45^\circ$; 2 – $\varphi = 30^\circ$

сті стрічки $v = 2$ м/с та ступені заповнення її поперечного перетину від 45 до 90° .

Порційне завантаження конвеєра характеризується сталістю взаємного розташування частинок матеріалу. Лише при $\beta = 25^\circ$ і $\varphi = 45^\circ$ спостерігалось незначне розтікання матеріалу у нижній частині порції. Транспортування нерівномірно розподіленої уздовж стрічки зволоженої піщано-гравійної суміші при $\varphi = 45-60^\circ$ матеріал зсувався по окремим площинам ковзання лише при $\beta \approx 33^\circ$, що перевищує граничний кут нахилу для даного типу матеріалу на два градуси. Для зволжених сумішей (вологістю до 5%) характерна також поява додаткових сил, які утримують частинки разом і допомагають зберігати форму порцій навіть при кутах нахилу, що перевищують допустимі. Проте, графіки на рис. 3.15 свідчать, що при вологості у 5-7% є максимуми кута нахилу, тобто подальше зволоження призводить до більшої плинності матеріалу і кут β починає різко падати [6].

Таким чином, механічні властивості сипких вантажів (вологість, ступінь ущільнення, гранулометричний склад, час знаходження у нерухомому стані) можуть суттєво змінюватися і це потрібно враховувати при проектуванні конвеєрів зі стрічкою глибокої жолобчастості та обґрунтуванні їх раціональних параметрів. Наприклад, підвищення розмірів окремих шматків призводить до появи порожніх проміжків між ними (а, значить, до зменшення густини матеріалу), але, з іншого боку, створюються сприятливі умови для взаємного розклинення і закріплення.

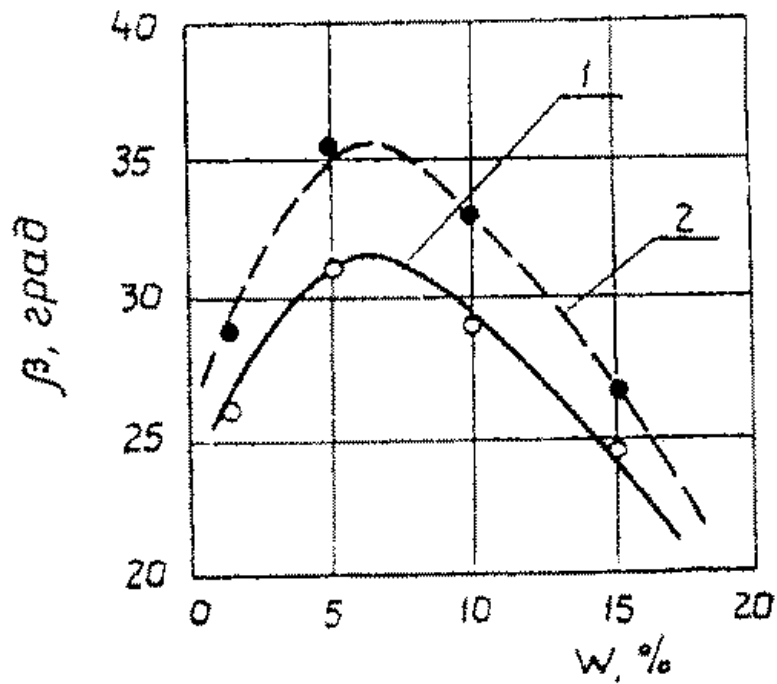


Рисунок 3.15 – Графік змінення кута нахилу конвеєра у залежності від вологості матеріалу (піщано-гравійної суміші): 1 – $\varphi = 45^\circ$; 2 – $\varphi = 30^\circ$

3.3 Дослідження конструкцій з притискними стрічками

Важливим фактором нормальної роботи конвеєра з притискною стрічкою є забезпечення стійкості шарів вантажу поблизу стрічки та у товщі матеріалу. Для цього потрібно дотримуватися наступних умов [6]:

$$\tau_{mp}^{np} F^{np} \geq \sigma_n^c F; \tau_{mp}^s F^s \geq \sigma_n^c F; \tau_{mp}^z F^z \geq \sigma_n^z F^z, \quad (3.21)$$

де τ_{mp}^{np} , τ_{mp}^s , τ_{mp}^z – дотичні напруження тертя відповідно поблизу поверхонь притискної і вантажонесучої стрічок та у товщі вантажу на висоті Z ; σ_n^c , σ_n^z – поздовжні тиски відповідно поблизу стрічок та у товщі матеріалу на висоті Z ; F^{np} , F^s , F^z – робочі площі відповідно притискної і вантажонесучої стрічки на одиниці довжини конвеєра та на висоті Z поперечного перетину вантажу; F – площа поперечного перетину вантажу на конвеєрі.

Дотримання цих умов досягається підпором вантажу на перехідній ділянці конвеєра (або лише притискною стрічкою, або з додатковим навантаженням від

притискних блоків. Для обґрунтування необхідної величини такого навантаження розглянемо модель конвеєра з притисною стрічкою у вигляді судини значної протяжності з циліндричними стінками. На рис. 3.16 приведена схема для визначення тиску вантажу на стінку цієї судини. Розкладемо поздовжню складову ваги вантажу ще на дві складові: паралельну поздовжній осі (поздовжній тиск) σ_n та перпендикулярну ній (бічний тиск) σ_b (рис. 3.16а). Вектор бічного тиску спрямований з товщі вантажу (точка О) до робочих поверхонь стрічок (рис. 3.16б) [6].

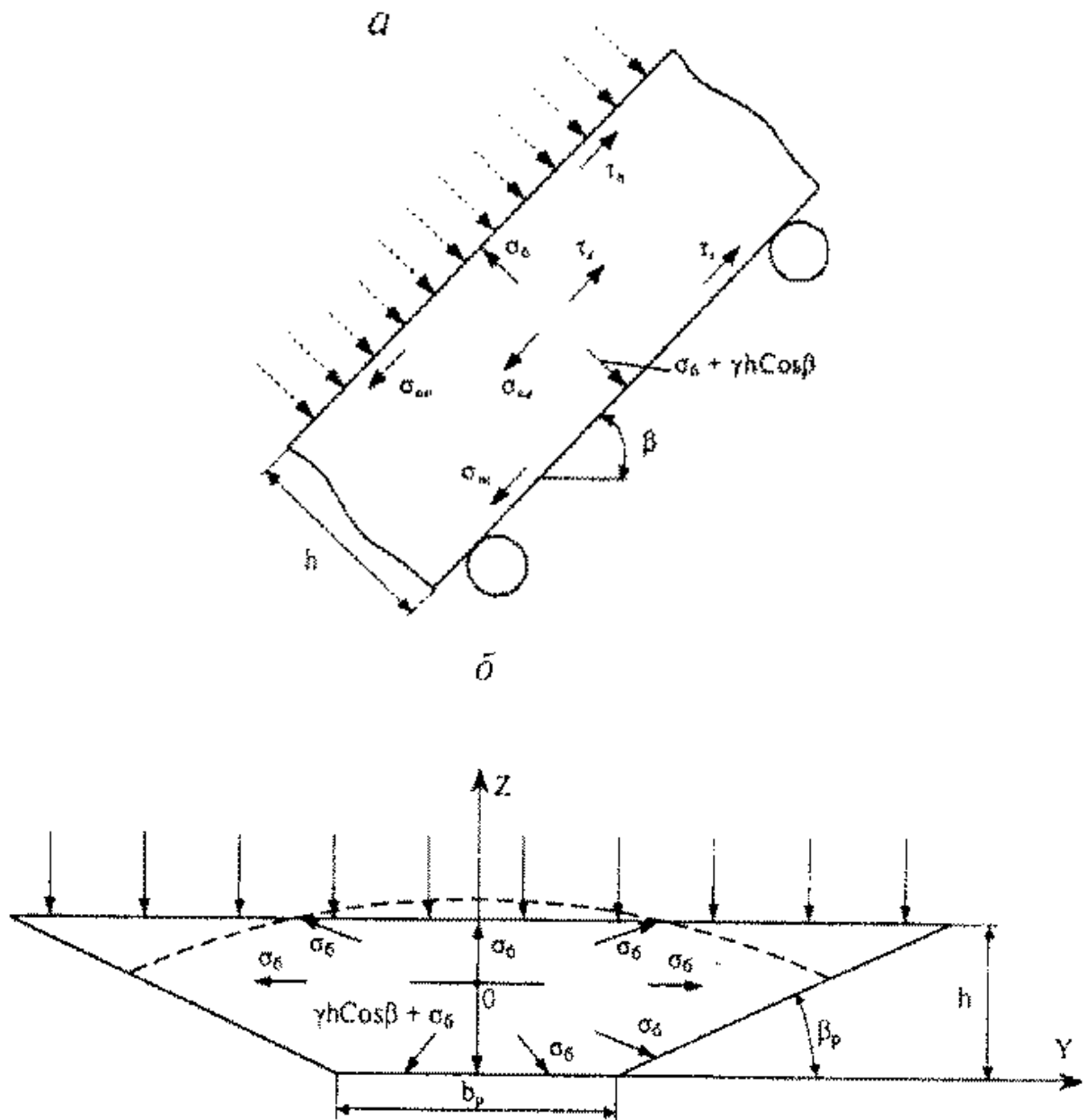


Рисунок 3.16 – Схема для визначення тиску вантажу на стінку судини:
 а, б – відповідно поздовжній та поперечний перетини

Наступна формула описує умову рівноваги елементарного об'єму вантажу з насипною густиною γ , який має площу поперечного перетину F і товщину dx [6]:

$$F\gamma g \sin \beta dx = d\sigma_n F + \tau U dx, \quad (3.22)$$

де U – периметр поперечного перетину вантажу, м; τ – сила тертя вантажу відносно стрічки, яка викликається бічним тиском.

Для трапецієподібного поперечного перетину вантажу матимемо наступні значення бічного тиску:

- для фази активних тисків:

$$\sigma_{\sigma}^a = \frac{\gamma gh(k_1 \sin \beta - f k_2 \cos \beta)}{f}, \text{ Па;} \quad (3.23)$$

- для фази пасивних тисків:

$$\sigma_{\sigma}^n = \frac{\gamma gh(k_1 \sin \beta - f k_2^n \cos \beta)}{f}, \text{ Па,} \quad (3.24)$$

де f – коефіцієнт тертя вантажу відносно стрічки; k_1 , k_2 , k_2^n – коефіцієнти, що залежать від параметрів поперечного перетину вантажу (відношення середньої висоти шару вантажу h до довжини середнього ролика роlikоопори b_p та кута її нахилу β_p) (рис. 3.17) [6].

Результати аналізу напружень у поперечному перетині вантажу на стрічці свідчать, що проекція вектору поздовжніх напружень на поздовжню вісь змінюється від величини $\sigma_n = \sigma_{\sigma} \left(1 + 2f^2 + 2f\sqrt{1+f^2} \right)$ (поблизу стрічок) до величини $\sigma_n = \sigma_{\sigma} \left(1 + 2f^2 + \sqrt{(1+f^2)(f^2-f_1^2)} \right)$ (у середній частині перетину). Тут f_1 – коефіцієнт внутрішнього тертя вантажу; $f_1 = \tau_z/\sigma_{\sigma}$ – з умови рівноваги (див. формулу (3.22)) елементарного об'єму вантажу площиною $A_1B_1C_1D_1$, вирізаного у товщі поперечного перетину (рис. 3.18). Звідси отримуємо формулу для визначення величини дотичного напруження тертя у товщі вантажу на висоті шару Z [6]:

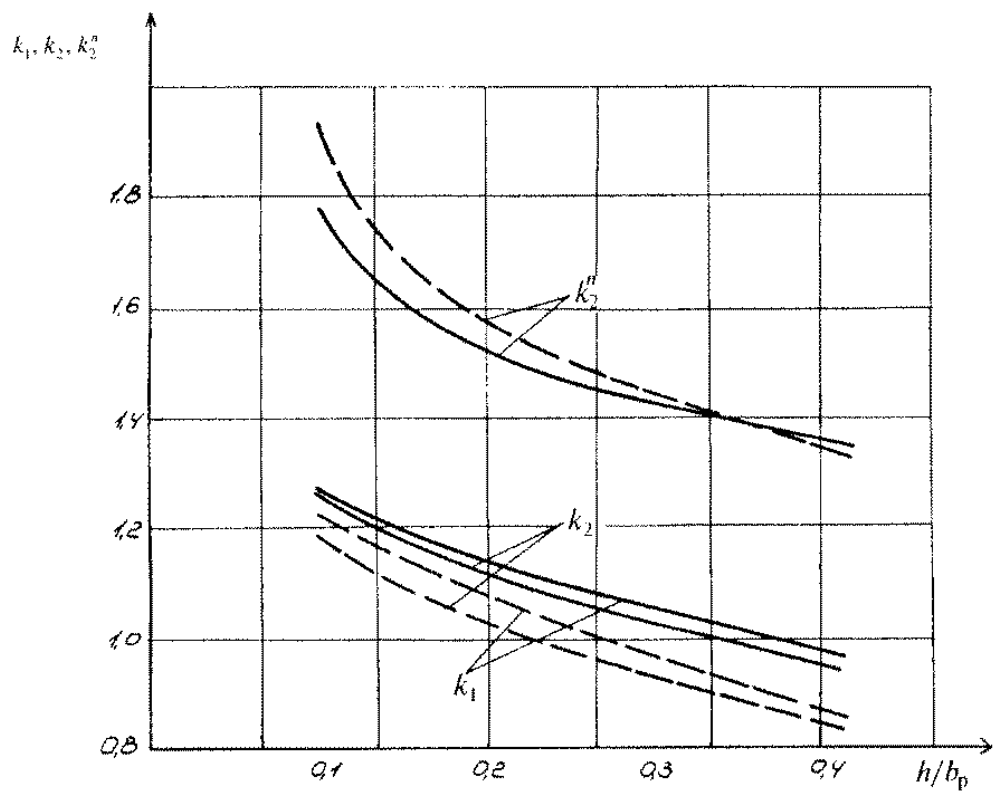


Рисунок 3.17 – Залежність коефіцієнтів k_1 , k_2 , k_2'' від величини h/b_p
(суцільні лінії – $\beta_p = 30^\circ$; пунктирні лінії – $\beta_p = 36^\circ$)

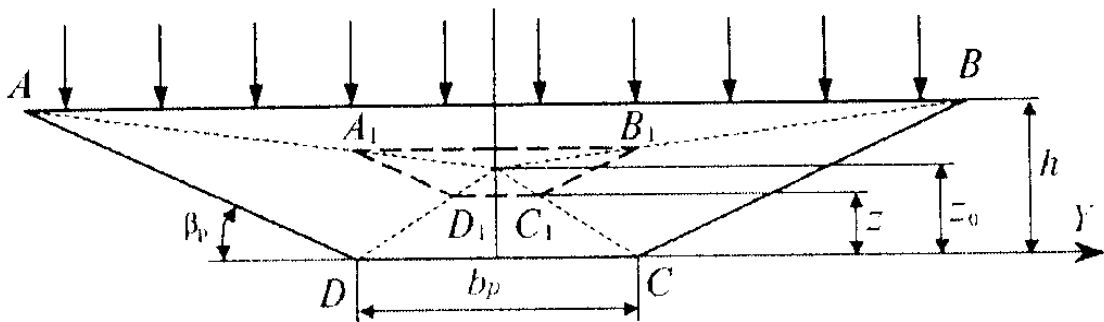


Рисунок 3.18 – Схема для визначення напружень у поперечному перетині вантажу

$$\tau_z = \frac{\gamma g \sin \beta \left(1 - \frac{Z}{Z_0}\right) F}{U}, \text{ Па.} \quad (3.25)$$

На рис. 3.19 приведені епюри напружень тертя та поздовжніх напружень. На них видно, що у точці O поперечного перетину σ_{nz} має максимальне значення,

а τ_z – мінімальне. Поблизу неї шари вантажу при $\beta > 30^\circ$ і продуктивності конвеєра більше 5000 т/г можуть втрачати стійкість і тиснути на нижче лежачі шари з додатковим поздовжнім зусиллям, яке дорівнює [6]:

$$\sigma_{nz} F_z - \tau_z U_z, \text{ Н}, \quad (3.26)$$

де τ_z , σ_{nz} , U_z , F_z – відповідно напруження тертя, поздовжні напруження, периметр та площа перетину елементарного об'єму при висоті шару Z .

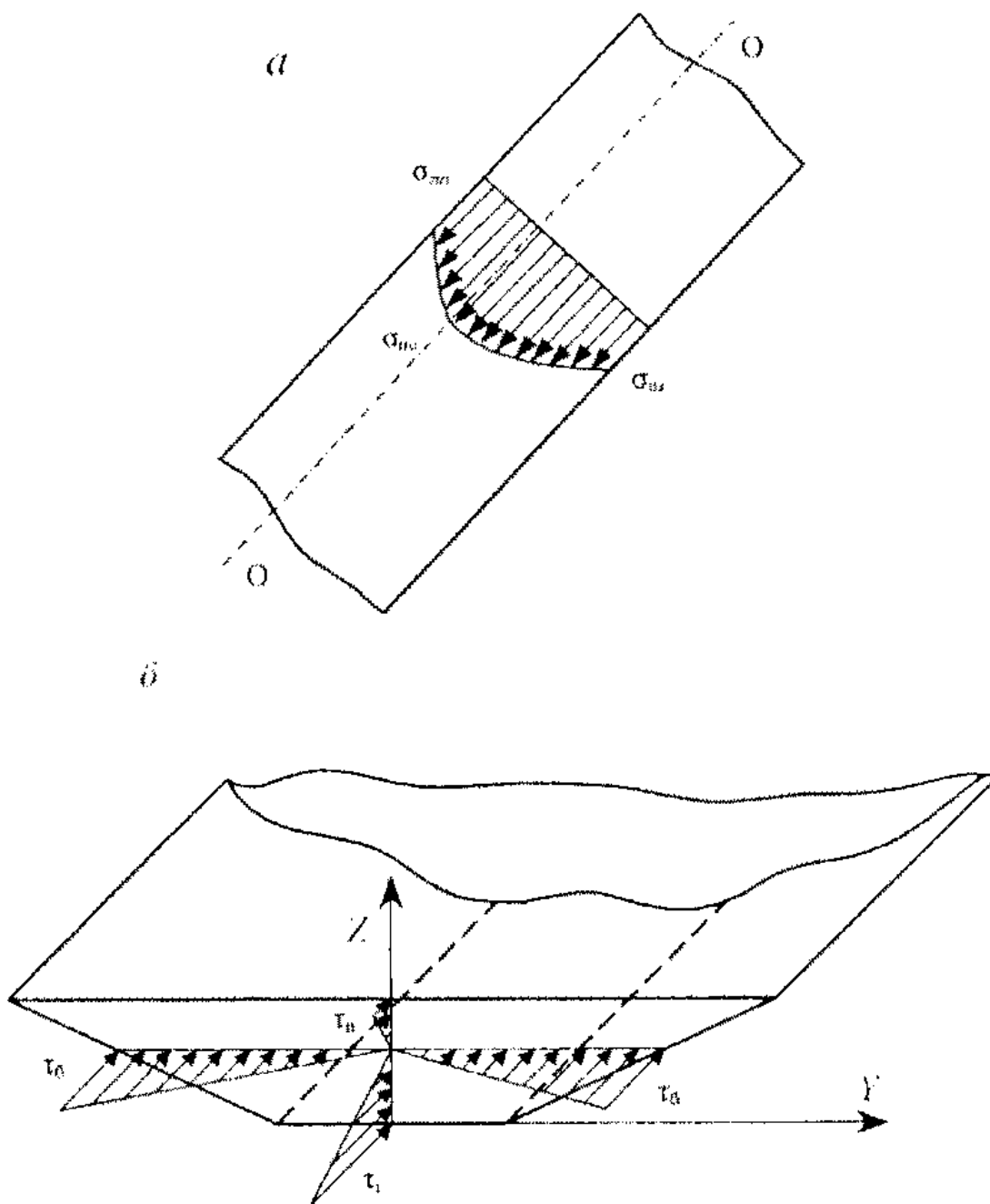


Рисунок 3.19 – Епюри поздовжніх напружень (а) та напружень тертя (б)

На рис. 3.20 показані величини першого та другого членів формули (3.26) для кутів нахилу 35° і 45° по висоті шару. З графіків видно, що із збільшенням кута нахилу конвеєра нестійка зона зростає. При куті $\beta \approx 30^\circ$ вона з'являється при продуктивності більше 5000 т/г і супроводжується збільшенням бічного тиску на 30-35%. При $\beta = 35-50^\circ$ і продуктивності 5000-10000 т/г додатковий бічний тиск може перевищувати основний в 1,5-4 рази. Для його зниження потрібно зменшити висоту шару матеріалу на стрічці конвеєра, але це потребуватиме використання більш широкої стрічки [6].

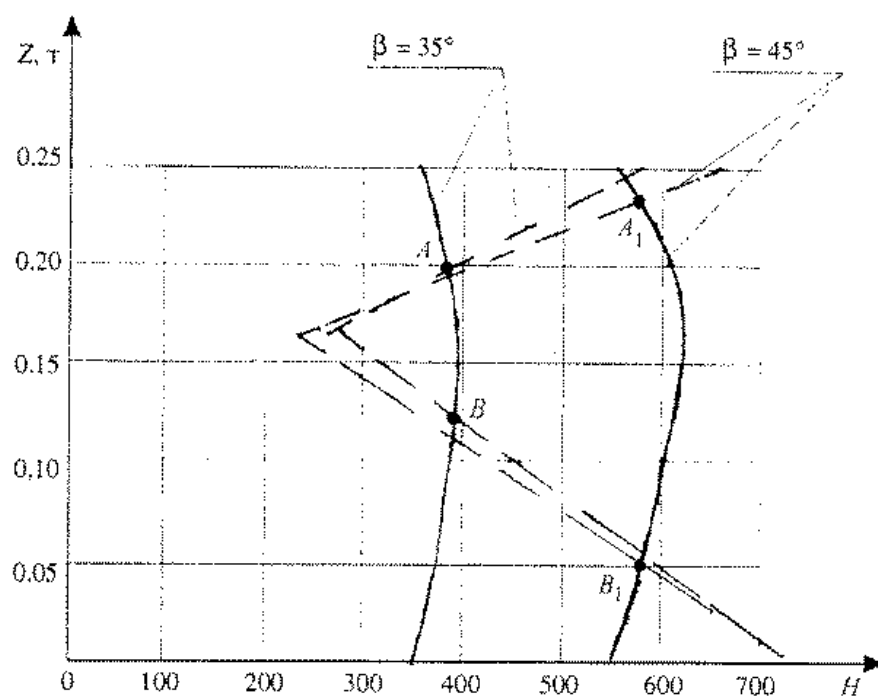


Рисунок 3.20 – Розподілення величини нестійкої зони по висоті поперечного перетину вантажу у залежності від кута нахилу конвеєра (суцільні лінії – $\sigma_{nz}F_z$; пунктирні лінії – $\tau_z U_z$)

Висновки:

- проведені дослідження конвеєрів з підпiрними елементами показали, що відмінністю процесу транспортування матеріалу установками цього типу є його порційність, обумовлена поділом стрічки на окремі камери поперечними перегородками та бічними бортами. Запропоновані раціональні значення кроку установки перегородок у залежності від їх висоти та кута нахилу конвеєра. Ступінь запов-

нення стрічки матеріалом визначається відповідним коефіцієнтом, який залежить від різних конструктивних та експлуатаційних факторів використання круто похилого конвеєра з підпірними елементами, а саме: кута його нахилу (зворотно пропорційно), швидкості руху стрічки (має майже параболічний характер), висоти поперечних перегородок, відстані між ними;

- ефективність використання конвеєрів зі стрічкою глибокої жолобчастості з значній мірі залежить від заповнення стрічки, яку у даному випадку можна представити у вигляді протяжної судини циліндричної форми. Чим більше заповнення, тим більшим може бути допустимий кут нахилу конвеєра. На величину останнього також впливають швидкість стрічки та фізико-механічні властивості транспортованого матеріалу, насамперед гранулометричний склад та вологість. Механічні властивості сипких вантажів можуть суттєво змінюватися і це потрібно враховувати при проектування конвеєрів;

- що стосується конвеєрів з притискною стрічкою, то важливим фактором забезпечення працездатності таких конструкцій є обґрунтування необхідної величини навантаження на притискну стрічку на перехідній ділянці установки із завантажувальної частини до круто похилої частини установки. Вона повинна гарантувати стійке положення шарів матеріалу під час транспортування вантажу.

4 ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ КРУТО ПОХИЛИХ СТІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ

4.1 Особливості розрахунку конструкцій з підпірними елементами

В основному обґрунтування параметрів такого специфічного обладнання майже не відрізняється від подібного процесу під час розрахунку стрічкових конвеєрів стандартного типу. Але відмінності конструктивного виконання все ж викликають певну різницю у порядку визначення цих параметрів.

Спочатку для розрахунку стрічкового конвеєра, як це робиться в усіх випадках, потрібно задатися його продуктивністю Q (т/г), довжиною L (м), кутом нахилу β (град.) та фізико-механічними властивостями транспортованого вантажу – максимальним розміром шматків $a_{\max}$ (мм), насипною густиною матеріалу γ (т/м³) та кутом його природного укосу у русі ρ (град.).

У нашому випадку подальші кроки розрахунку виглядатимуть наступним чином [6]:

- обґрунтувати та вибрати мінімальну висоту перегородок і бортів H (а, значить, і h) для забезпечення стійкості максимально крупного шматка у найбільш несприятливому його положенні;
- визначити відстань між перегородками у залежності від максимального розміру шматка: $l_n = (1,5-2)a_{\max}$. Ця величина має бути узгоджена з вимогою забезпечення мінімальних питомих витрат на конвеєр (див. рис. 3.2);
- розрахувати коефіцієнт заповнення полотна стрічки за формулами (3.1) або (3.2);
- визначити необхідну корисну ширину стрічки:

$$b = \frac{Q}{3600hK_3v}; \quad (4.1)$$

- вибрати швидкість стрічки для максимального заповнення її полотна (див. рис. 3.7). Вона повинна бути за можливістю високою, але не більше 3-3,5 м/с, то-

му що у цьому випадку виникатимуть значні динамічні навантаження на поперечні перегородки стрічки. Рекомендований діапазон швидкостей для конвеєрів з кутом нахилу $\beta = 35-60^\circ - 1,5-3 \text{ м/с}$;

- далі за отриманими значеннями b , h та v за формулою (3.9) визначити уточнений об'єм порції вантажу між двома перегородками та уточнене значення K_3 ;
- за допомогою формули (4.1) уточнити значення b та ширину стрічки шляхом підбору раціональних величин h та v ;
- тяговий розрахунок здійснювати за методикою для похилих стрічкових конвеєрів. При цьому лінійна вага стрічки замінюється лінійною вагою рухомого полотна круто похилого конвеєра з урахуванням бортів, перегородок та ходових роликів, якщо останні входять до конструкції конвеєра.

4.2 Особливості розрахунку конструкцій зі стрічкою глибокої жолобчастості

Розрахунок цих конвеєрів також має певні особливості у порівнянні зі стандартними конструкціями.

Спочатку потрібно за допомогою графіків на рис. 3.11 визначити кут φ , який характеризує ступінь заповнення транспортованим матеріалом поперечного перетину стрічки у залежності від кута нахилу β та фізико-механічних властивостей вантажу.

Далі можна визначити потрібну ширину стрічки для отримання заданої продуктивності Q (т/г) при її швидкості v (м/с) [6]:

$$B = 1,1 \left(2\pi \sqrt{\frac{Q}{3600V\gamma_p K_n}} + 0,05 \right), \text{ м}, \quad (4.2)$$

$$\text{де } K_n = \frac{\pi - 0,5(4\varphi - \sin 2\varphi) + \sin^2 2\varphi \operatorname{tg}(0,35\rho_0)}{\left(1 - \frac{2\varphi}{\pi}\right)^2} - \text{коефіцієнт продуктивності.}$$

Графік залежності K_n від кута φ показаний на рис. 4.1 [5,6].

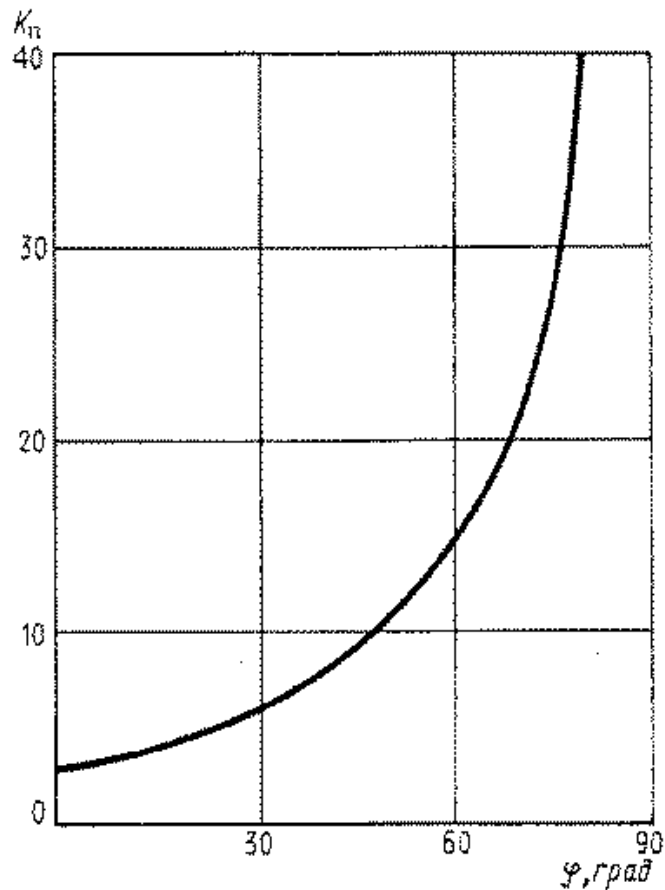


Рисунок 4.1 – Змінення коефіцієнту продуктивності K_n у залежності від кута заповнення матеріалом поперечного перетину стрічки φ

Вибір швидкості руху стрічки здійснюється за умови обмеження її динамічними навантаженнями, які виникають за рахунок коливань сипкого матеріалу під час прогину стрічки. З огляду на це, вона має бути не більше 4-5 м/с при відстані між роlikоопорами 1-1,5 м.

Від ширини стрічки B та кута φ буде залежати радіус вигину поперечного перетину стрічки [6]:

$$R = \frac{K_1 B}{2\pi \left(1 - \frac{2\varphi}{\pi}\right)}, \text{ м}, \quad (4.3)$$

де $K_1 = 0,8$ – коефіцієнт використання стрічки по ширині.

Під час розрахунку опору руху вантажної гілки конвеєра коефіцієнт опору руху w береться на 50-60% більшим, ніж для звичайного стрічкового конвеєра.

Радіуси перехідних ділянок приймаються за нормами для стандартних ко-

нвеєрів.

Розмір максимального транспортованого шматка матеріалу [6]:

$$a_{\max} \leq (0,6 - 0,8) R, \text{ м.} \quad (4.4)$$

4.3 Особливості розрахунку конструкцій з притискною стрічкою

Розрахунок таких конструкцій також має певні особливості у порівнянні зі стандартними стрічковими конвеєрами. Наприклад, величина ширини стрічки вибирається з урахуванням забезпечення належної герметизації вантажу [6]:

$$B = 1,3 \sqrt{\frac{Q}{K_n v \gamma_p + 0,1}}, \text{ м,} \quad (4.5)$$

де $K_n \leq 550$ – коефіцієнт продуктивності. Таке обмеження пов'язане з необхідністю зниження поперечного перетину вантажу. Крім того, висота цього перетину має бути узгоджена з розміром максимального транспортованого шматка, а саме: $h \geq (1,2 - 1,5) a_{\max}$.

Аналогічно звичайному конвеєру визначаються лінійна вага вантажу, стрічки та роликоопор обох гілок. Необхідне лінійне зусилля притискання вантажу притискною стрічкою з притискними пристроями ($q_{c,np} \cos \varphi + q_{n,n}$) повинно перевищувати дію бічних сил. При застосуванні притискних котків і пружин [16,17]:

$$q_{nn} = 2a \left[q \sin \beta - (2q - q) f \cos \beta \right], \text{ Н/м,} \quad (4.6)$$

де $f \approx 0,3 - 0,5$ – коефіцієнт тертя між стрічкою та вантажем.

Величина опору руху круто похилої частини вантажної гілки конвеєра [6]:

$$W_6^e = \left[(q + q_{c,s} + q_{c,np}) \cos \beta + q_{n,n} + q_p' \right] L \omega' + \left[(1 - K_q) q + q_{c,s} \right] L \sin \beta, \text{ Н,} \quad (4.7)$$

де q'_p – погонна вага підтримувальних роликів вантажної гілки, Н/м; L – довжина круто похилої частини конвеєра, м; ω' – коефіцієнт опору руху конвеєрної стрічки; K_q – коефіцієнт розподілення тягового зусилля між притискною та несучою стрічками [6]:

$$K_q = \frac{q_{mp.np}}{q_{mp.e} + q_{mp.np}}, \quad (4.8)$$

де $q_{mp.np}$ і $q_{mp.e}$ – відповідно сили тертя між вантажем та притискною і вантажонесучою стрічкою, Н:

$$\begin{aligned} q_{mp.np} &= (q_{c.np} \cos \beta + q_{n.n}) f; \\ q_{mp.e} &= (q_{c.np} \cos \beta + q_{n.n} + q \cos \beta) f \end{aligned}$$

Опір руху круто похилої частини притискної стрічки [6]:

$$W_{np}^e = q_{n.n} L \omega' + (q_{c.np} + K_q q) L \sin \beta. \quad (4.9)$$

Опір решти ділянок конвеєра розраховується за стандартними методиками. Те ж відноситься й до розрахунків потужності приводу та зусилля натяжного пристрою. Відношення потужностей вантажного та притискного контурів конвеєра повинно дорівнювати K_q :

$$K_q = \frac{N_{np}}{N_{np} + N_e}, \quad (4.10)$$

де N_{np} і N_e – потужності приводів відповідно притискного і вантажонесучого контурів конвеєра, кВт.

Збільшення кута нахилу конвеєра на 35-90° викликає зростання частки потужності притискного контуру з 28 до 40% (рис. 4.2) [6].

Під час розрахунку стрічки на міцність, який здійснюється за формулами для стандартного конвеєра, потрібно мати на увазі, що обидві стрічки повинні бути гнучкими як у поздовжньому, так і у поперечному напрямках (для щільного прилягання притискної стрічки до вантажу та зручного переходу обох стрічок через перехідні ділянки конвеєра, що відрізняються складними умовами роботи.

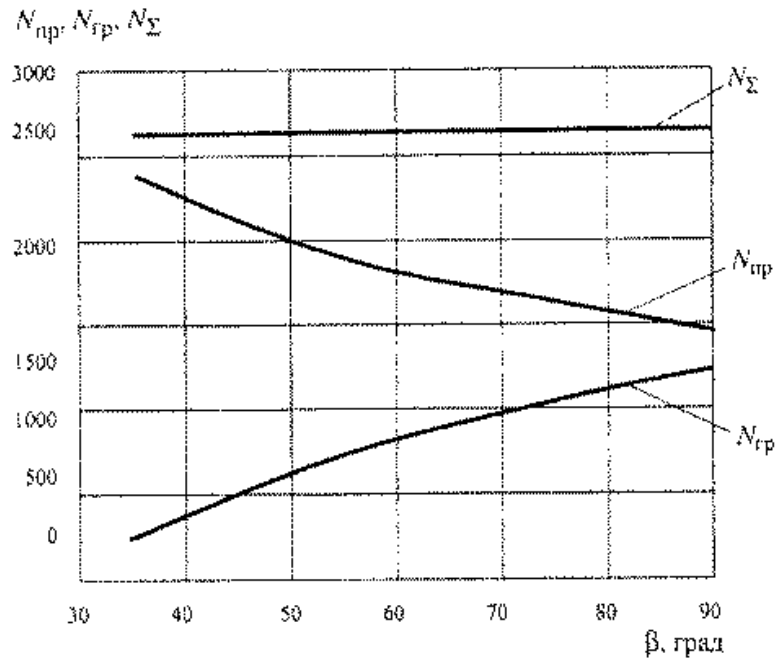


Рисунок 4.2 – Залежність потужності приводів притискного та вантажонесучого контурів від кута нахилу конвеєра

Бажано вибирати стрічки з невеликим модулем пружності ($\leq 2 \cdot 10^6$ Н/м²).

Величина попереднього натягу стрічок [6]:

- вантажонесучої:

$$S_{н.в} = 12(q_v + q_{с.в})l'_p, \text{ Н}, \quad (4.11)$$

де l'_p – відстань між роликоопорами вантажної гілки, м;

- притискної:

$$S_{н.пр} = 5q_{с.пр}l''_p, \text{ Н}, \quad (4.12)$$

де l''_p – відстань між роликоопорами притискної гілки, м.

Особливу увагу слід приділити обґрунтуванню параметрів перехідних ділянок конвеєра з притискною стрічкою. Як відомо, його завантаження та формування вантажопотоку відбувається на горизонтальній чи слабо похилій ділянці вантажонесучого контуру. Якщо завантажувальна ділянка нахилена під кутом $\beta_0 \approx 8-10^\circ$ до горизонту, то вантаж не буде скочуватися з криволінійної ділянки аж до кута $(\beta_q - \beta_0)$, де $\beta_q \approx 16-18^\circ$ – допустимий кут підйому. Далі на ділянці з кутом нахилу $(\beta - \beta_q)$ вантажонесучий контур конвеєра звільняється від роликоопор

і останні встановлюються на притискний контур. Завдяки цьому вантажонесуча стрічка на усій криволінійній ділянці конвеєра притискає вантаж аж до виходу на прямолінійну ділянку з притискними елементами (рис. 4.3) [6].

Радіус цієї перехідної кривої залежить від натягу стрічки та модулю її пружності і складає від 15-50 м для синтетичних стрічок з низьким модулем пружності до приблизно у десять разів більшої величини для тросових конструкцій. Від радіуса перехідної ділянки у значному ступені залежать розміри завантажувального вузла.

Під час визначення мінімально допустимого радіусу перехідної кривої і проектування конвеєрів з притискною стрічкою для цієї ділянки потрібно виконувати наступні обов'язкові умови:

- відсутність підйому стрічки над роликоопорами;
- зберігання жолобоподібності стрічки;
- відсутність надлишкових напружень в обох стрічках.

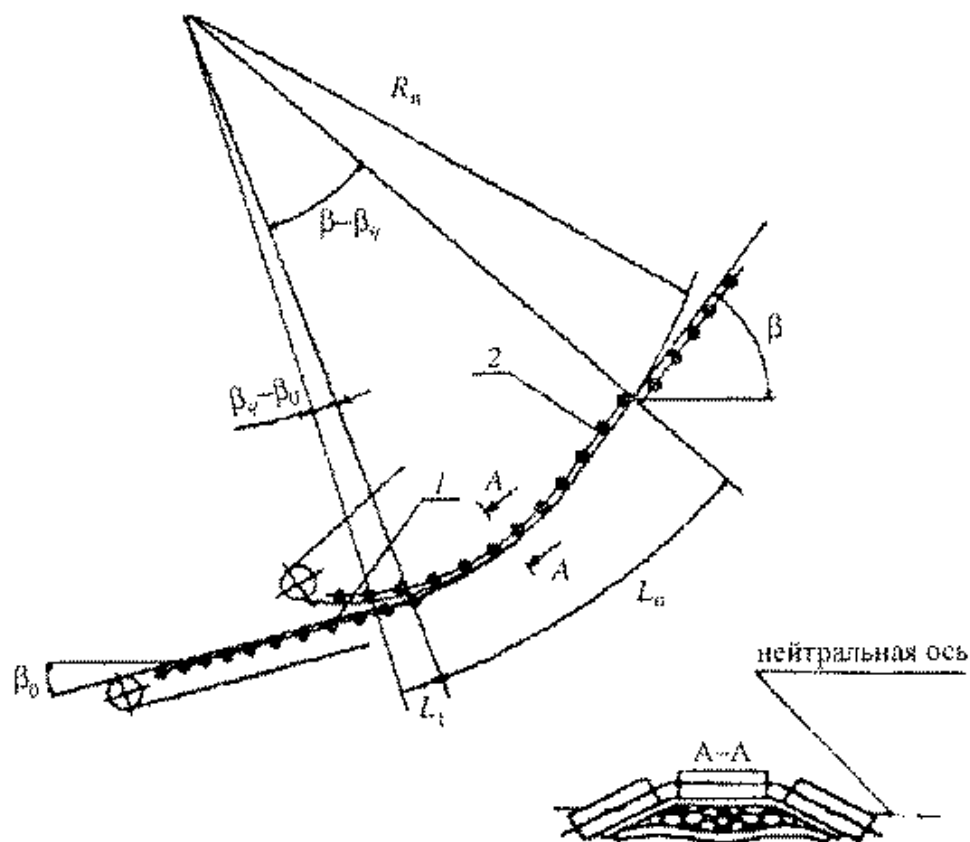


Рисунок 4.3 – Схема завантаження конвеєра з притискною стрічкою:
1 – слабо похила ділянка; 2 – круто похила ділянка

Для розгляду цього питання зазвичай використовуються методи, що призначені для розрахунку пружних балок з наповнювачами [18] або пружних балок, які одночасно піддаються натягу та згинанню. У першому випадку спочатку задаються величиною натягу на першій роликоопорі криволінійної ділянки, далі визначають мінімальний радіус перехідної кривої на ній. Потім це роблять для решти роликоопор ділянки, враховуючи при цьому жорсткість стрічки, опір руху, кут нахилу криволінійної ділянки, число роликоопор тощо. Перед цим вибирається число роликоопор і крок між ними. Таким чином вибраний мінімально допустимий радіус зменшується від першої роликоопори до останньої і збільшується у міру зростання натягу стрічки та її жорсткості.

У другому випадку розглянутий пружний стрижень має неоднорідний поперечний перетин і представляє собою систему з елементами різної жорсткості, яку можна позначити як «вантажонесуча стрічка – гірнича маса – притискна стрічка». У проміжках між роликоопорами обидві стрічки (вантажонесуча і притискна) мають відносні вертикальні зсуви Δl , які залежать від натягу системи $S_{кр}$, відстані між роликоопорами l_p та лінійної ваги системи q [6]:

$$\Delta l = \frac{q^2 l_p^3}{12 S_{кр}^2}, \text{ м}, \quad (4.13)$$

де $q = q_{нс} + q_{нс} + q_{в}$.

Величину можна представити як деформацію, яка за законом Гука буде дорівнювати:

$$\Delta l = \frac{S_{кр} l_p}{E'}, \text{ м}, \quad (4.14)$$

де $E' = \frac{12 S_{кр}^3}{q^2 l_p^2}$ – умовна жорсткість стрічок, що вільно лежать на опорах.

Отриманий у результаті дослідження системи вираз для сумарного напруження її елементів від натягу та згинального моменту дозволяє визначити допустимий радіус вигину перехідної кривої розглянутого конвеєра. Очевидно, що він

може бути лімітований надлишковими напруженнями на внутрішніх поверхнях як вантажонесучої, так і притискної стрічок. Це пояснюється тим, що в обох стрічках одні шари працюють на розтягування, а інші – на стискання. При цьому величина натягу не повинна перевищувати максимального робочого натягу, а стискання – 5% від максимального.

На рис. 4.4 в якості прикладу приведені розрахункові дані конвеєра продуктивністю 2000 т/г, який має кут нахилу 45° і піднімає вантаж з насипною густиною $2,7 \text{ т/м}^3$ на висоту 100 м. Стрічки вибиралися з модулем пружності прокладки 3000, 2000 та 1000 Н/мм [6].

Позиції 1-7 на осі абсцис відповідають натягам на початку криволінійної ділянки (наприклад, на діаграмі 1 – від 25 до 159 кН). Точка 1 – мінімальне розрахункове значення натягу, потім натяги на криволінійній ділянці зростають. На осі ординат – розрахункова величина радіусу у метрах, причому три ряди (1, 3, 5) показують радіуси кривизни при розтягуванні вантажонесучої стрічки, а решта (2, 4, 6) – при її стисканні.

Таким чином, можна зробити висновок, що величина радіусу кривизни вертикальної перехідної ділянки круто похилого конвеєра з притискною стрічкою залежить від типу стрічки. Вона зменшується із зменшенням жорсткості останньої

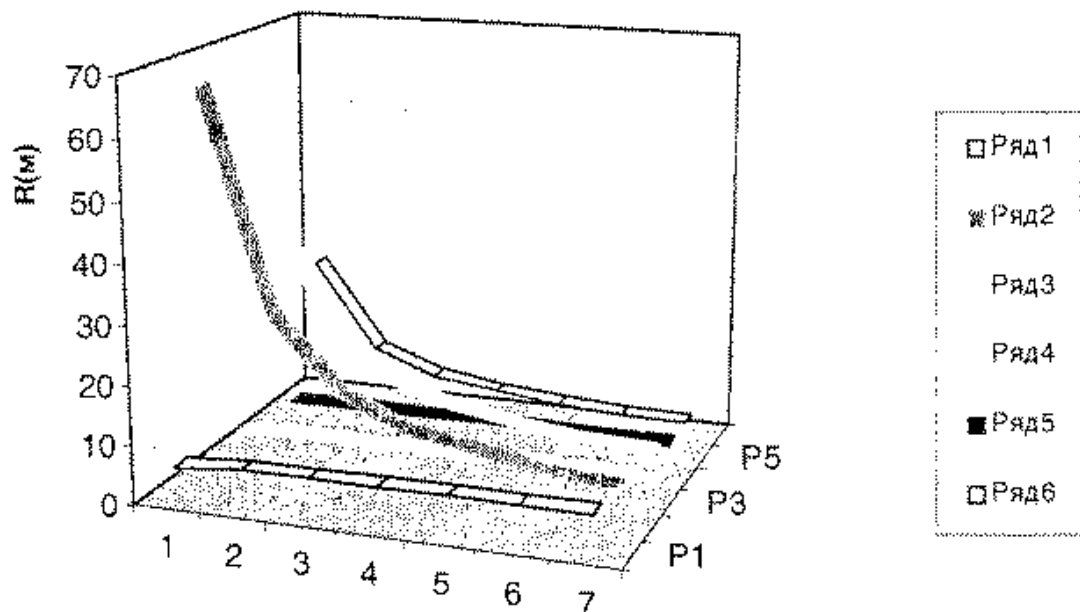


Рисунок 4.4 – Значення радіусу вертикальної кривої для конвеєра продуктивністю 2000 т/г

та збільшенням сили натягу на криволінійній ділянці. Розрахунки показують, що на конвеєрах з продуктивністю 2000-5000 т/г радіус вертикальної кривої може складати 15-25 м.

У цілому слід зазначити, що конвеєр з притисною стрічкою є достатньо конкурентноздатною конструкцією і поступається звичайним стрічковим конвеєрам лише з точки зору металоємності.

Для таких установок потрібні збалансовані притискні пристрої у вигляді незалежних модулів, які б створювали м'яку і плаваючу притискну систему. Під час проходження окремих негабаритів вона повинна дещо піднімати притискну стрічку з відповідним притискним роликом і перерозподіляти тиск на решту притискних роликів.

У табл. 4.1 приведені дані розрахунку основних параметрів конвеєра з притисною стрічкою, виконаного в МГГУ [6]. Основні параметри, прийняті для розрахунку:

- продуктивність конвеєра – $Q = 5000-1000$ т/г;
- швидкість руху стрічки – $v = 3,15$ м/с;
- насипна густина вантажу – $\gamma_p = 2,7$ т/м³;
- кут нахилу конвеєра – $\beta = 18-55^\circ$;
- висота підйому вантажу – $H = 100$ м.

В результаті аналізу отриманих даних з'ясовано, що:

- енергоємність конвеєра з притисною стрічкою не перевищує енергоємності стандартного стрічкового конвеєра;
- сумарна міцність стрічок обох контурів конвеєра з притисною стрічкою на 15% менша за міцність стрічки стандартного конвеєра у розрахунку на одну висоту підйому;
- сумарна довжина стрічок конвеєра з притисною стрічкою стає меншою довжини стрічки стандартного конвеєра при кутах нахилу більших за 38° .

З урахуванням того факту, що ширина стрічок круто похилого конвеєра з притисною стрічкою при кутах нахилу вище 38° буде приблизно на 15% більшою у порівнянні зі стрічкою стандартного конвеєра, витрати на його стрічки бу-

Таблиця 4.1 – Розрахункові значення основних параметрів круто похилого конвеєра з притискною стрічкою при кутах нахилу 35-55° і стандартного стрічкового конвеєра ($\gamma_p = 2,7 \text{ т/м}^3$; $H = 100 \text{ м}$; $v = 3,15 \text{ м/с}$)

$\beta = 18^\circ; L_k = 647,2 \text{ м}$						
$Q, \text{ т/Г}$	5000	6000	7000	8000	9000	10000
$B, \text{ м}$	1,2	1,4	1,4	1,6	1,6	1,8
$\sigma, \text{ Н/мм}$	4021	4141	4744	4738	5266	5202
$N, \text{ кВт}$	1779	2147	2488	2840	3181	3534
$G, \text{ т}$	141,1	183,2	196,5	222,0	235,3	262,4
$\beta = 35^\circ; L_k = 348,6 \text{ м}$						
$B, \text{ м}$	1,6	1,6	1,8	2,0	2,0	2,25
$q_{п.к.пр}, \text{ Н/м}$	2042	2515	2947	3380	3852	4275
$\Sigma\sigma, \text{ Н/мм}$	3457	4012	4133	4244	4688	4634
$N^*, \text{ кВт}$	1302/510	1549/609	1803/712	2068/813	2315/912	2571/1015
$\Sigma G, \text{ т}$	250,3	270,8	312,1	375,0	395,5	442,6
$\beta = 43^\circ; L_k = 293,2 \text{ м}$						
$q_{п.к.пр}, \text{ Н/м}$	3048	3715	4346	4977	5644	6266
$\Sigma\sigma, \text{ Н/мм}$	3458	4013	4134	4243	4689	4636
$N^*, \text{ кВт}$	1213/594	1444/711	1681/830	1928/949	2158/1066	2397/1185
$\Sigma G, \text{ т}$	243,4	264,8	305,9	365,4	386,8	
$\beta = 55^\circ; L_k = 244,2 \text{ м}$						
$q_{п.к.пр}, \text{ Н/м}$	4440	5373	6278	7182	8115	9013
$\Sigma\sigma, \text{ Н/мм}$	3461	4019	4140	4249	4696	4643
$N^*, \text{ кВт}$	1127/681	1341/816	1562/952	1790/1088	2005/1223	2227/1359
$\Sigma G, \text{ т}$	238,2	260,5	301,7	358,4	380,7	427,5

* У чисельнику – потужність приводу вантажонесучого контуру, у знаменнику – притискного контуру.

дуть або аналогічними, або меншими у порівнянні зі стандартним стрічковим конвеєром [19].

Разом із тим, конвеєри з притискною стрічкою відрізняються більшою металоемністю. На рис. 4.5 показано зміння маси металоконструкцій установки при підйомі на висоту 100 м – вона зростає при збільшенні кута β до 55° на 65-70% [6].

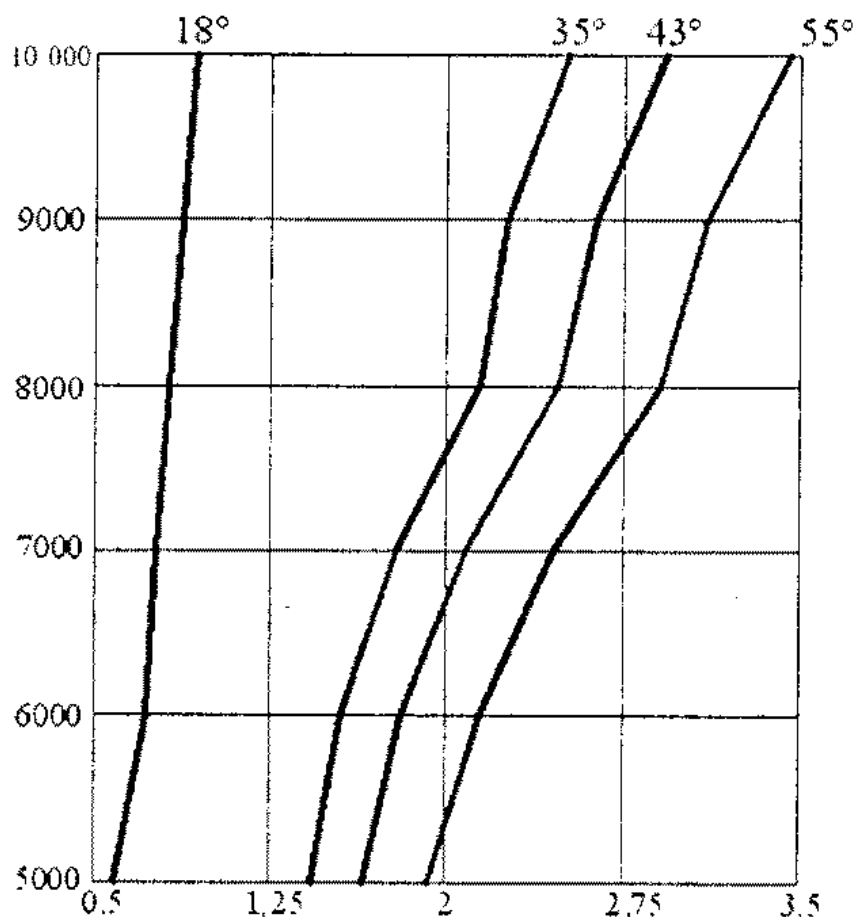


Рисунок 4.5 – Залежність маси металоконструкцій конвеєрів з притисковою стрічкою від величини продуктивності при різних кутах підйому

4.4 Рекомендації щодо практичного використання конвеєрів з підвищеним кутом нахилу стрічки

Проведені у роботі дослідження круто похилих стрічкових конвеєрів підтвердили хороші перспективи широкого впровадження такого обладнання у технологічні схеми транспорту гірничої маси та продуктів її переробки на підприємствах гірничої галузі.

За результатами виконаних досліджень можна рекомендувати наступні можливі шляхи практичної реалізації конструктивних прийомів для підвищення кута нахилу стрічкових конвеєрів [5,6]:

- використання способу підвищення коефіцієнту тертя транспортованого вантажу відносно поверхні стрічки дає не дуже високі результати. Так, конвеєри

зі стрічкою з підвищеними фрикційними властивостями, з рифленою стрічкою або зі стрічкою з невисокими виступами дають можливість підвищити кут нахилу транспортування до 20-22° для вантажів крупністю не більше 150 мм та до 22-25° для матеріалів крупністю від 150 до 300 мм;

- використання способу створення підпору транспортованого вантажу на конвеєрах з підпірними елементами в залежності від типу опор (стаціонарні чи ходові), поперечного перетину стрічки (плоский, жолобчастий), конструкції підпірних перегородок забезпечує підвищення кута нахилу транспортування до 28-30° для вантажів крупністю не більше 150 мм, до 30-35° для матеріалів крупністю від 150 до 300 мм та до 30-35° (в окремих випадках до 45°) для вантажів крупністю більше 300 мм;

- спосіб підвищення нормального тиску транспортованого вантажу на стрічку реалізується в установках зі стрічкою глибокої жолобчастості та у конструкціях з притискною стрічкою, які дозволяють транспортувати сипкі вантажі під кутом нахилу від 22 до 40° (у залежності від конструктивного виконання конвеєрів та гранулометричного складу вантажопотоку).

Висновки:

- методики розрахунку конструктивних різновидів стрічкових конвеєрів з підвищеним кутом нахилу в основному аналогічні методиці розрахунку стандартних стрічкових конвеєрів. Але є й певні відмінності, обумовлені особливостями конструктивного виконання таких установок. Так, наприклад, для конвеєрів з підпірними перегородками важливим моментом є визначення кроку і висоти перегородок, а також об'єму окремих порцій матеріалу, що розташовуються між ними. Для конвеєрів зі стрічкою глибокої жолобчастості поведінка матеріалу на вантажонесучому органі (схильність його до зсунення відносно нього) буде суттєво залежати від ступеня заповнення стрічки, тому цій обставині слід приділяти підвищену увагу. Що стосується конвеєрів з притискною стрічкою, то під час обґрунтування раціональних параметрів таких установок потрібно пересвідчитися у достатній величині притискного зусилля та ретельно розрахувати радіус кривизни

перехідної ділянки між завантажувальною та круто похилою частинами конвеєра. Важливо також звернути увагу на необхідність використання конструктивних прийомів для зниження металоємності таких установок;

- у цілому різні конструктивні виконання конвеєрів з підвищеним кутом нахилу стрічки можна вважати цілком працездатними і доцільними для практичного використання на підприємствах гірничодобувної та гірничо-переробної галузей. Вони забезпечують суттєве підвищення кута нахилу (до 45° і більше) та економлять виробничі площі.

ВИСНОВКИ

Виконані у рамках представленої магістерської роботи дослідження дозволили запропоновувати наступні основні висновки та практичні рекомендації:

- проведений аналіз доцільності використання стрічкових конвеєрів з підвищеним кутом нахилу поставу з вантажонесучою стрічкою цілком підтверджує важливість та актуальність науково-дослідницьких, проектних та практичних робіт зі створення такого обладнання. Використання круто похилих стрічкових конвеєрів дає можливість суттєво економити габарити та металоємність обладнання (конвеєри та конвеєрні системи стають більш короткими), виробничі площі гірничих та гірничозбагачувальних підприємств, витрати коштів на процес перевезення гірничої маси та продуктів її переробки;

- конструктивне забезпечення підвищеного кута нахилу стрічкових конвеєрів можливо за рахунок використання наступних прийомів: штучного зростання коефіцієнту тертя гірничої маси відносно поверхні стрічки; обладнання стрічки спеціальними елементами для підпору гірничої маси; забезпечення підвищеного нормального тиску гірничої маси на стрічку; застосування різних комбінацій вказаних вище способів;

- основними типами круто похилих стрічкових конвеєрів слід вважати: установки з підпорними елементами; конвеєри зі стрічкою глибокої жолобчастості; установки з притискною стрічкою;

- в роботі вибрано методи проведення необхідних теоретичних та експериментальних досліджень;

- проведені дослідження конвеєрів з підпірними елементами показали, що відмінністю процесу транспортування матеріалу установками цього типу є його порційність, обумовлена поділом стрічки на окремі камери поперечними перегородками та бічними бортами. Запропоновані раціональні значення кроку установки перегородок у залежності від їх висоти та кута нахилу конвеєра. Ступінь заповнення стрічки матеріалом визначається відповідним коефіцієнтом, який залежить від різних конструктивних та експлуатаційних факторів використання круто по-

хилого конвеєра з підпірними елементами, а саме: кута його нахилу (зворотно пропорційно), швидкості руху стрічки (має майже параболічний характер), висоти поперечних перегородок, відстані між ними;

- ефективність використання конвеєрів зі стрічкою глибокої жолобчастості з значній мірі залежить від заповнення стрічки, яку у даному випадку можна представити у вигляді протяжної судини циліндричної форми. Чим більше заповнення, тим більшим може бути допустимий кут нахилу конвеєра. На величину останнього також впливають швидкість стрічки та фізико-механічні властивості транспортованого матеріалу, насамперед гранулометричний склад та вологість. Механічні властивості сипких вантажів можуть суттєво змінюватися і це потрібно враховувати при проектуванні конвеєрів;

- що стосується конвеєрів з притисною стрічкою, то важливим фактором забезпечення працездатності таких конструкцій є обґрунтування необхідної величини навантаження на притискну стрічку на перехідній ділянці установки із завантажувальної частини до круто похилої частини установки. Вона повинна гарантувати стійке положення шарів матеріалу під час транспортування вантажу;

- методики розрахунку конструктивних різновидів стрічкових конвеєрів з підвищеним кутом нахилу в основному аналогічні методиці розрахунку стандартних стрічкових конвеєрів. Але є й певні відмінності, обумовлені особливостями конструктивного виконання таких установок. Так, наприклад, для конвеєрів з підпірними перегородками важливим моментом є визначення кроку і висоти перегородок, а також об'єму окремих порцій матеріалу, що розташовуються між ними. Для конвеєрів зі стрічкою глибокої жолобчастості поведінка матеріалу на вантажонесучому органі (схильність його до зсунення відносно нього) буде суттєво залежати від ступеня заповнення стрічки, тому цій обставині слід приділяти підвищену увагу. Що стосується конвеєрів з притисною стрічкою, то під час обґрунтування раціональних параметрів таких установок потрібно пересвідчитися у достатній величині притискного зусилля та ретельно розрахувати радіус кривизни перехідної ділянки між завантажувальною та круто похилою частинами конвеєра. Важливо також звернути увагу на необхідність використання конструктивних

прийомів для зниження металоємності таких установок;

- у цілому різні конструктивні виконання конвеєрів з підвищеним кутом нахилу стрічки можна вважати цілком працездатними і доцільними для практичного використання на підприємствах гірничодобувної та гірничо-переробної галузей. Вони забезпечують суттєве підвищення кута нахилу (до 45° і більше) та економлять виробничі площі.

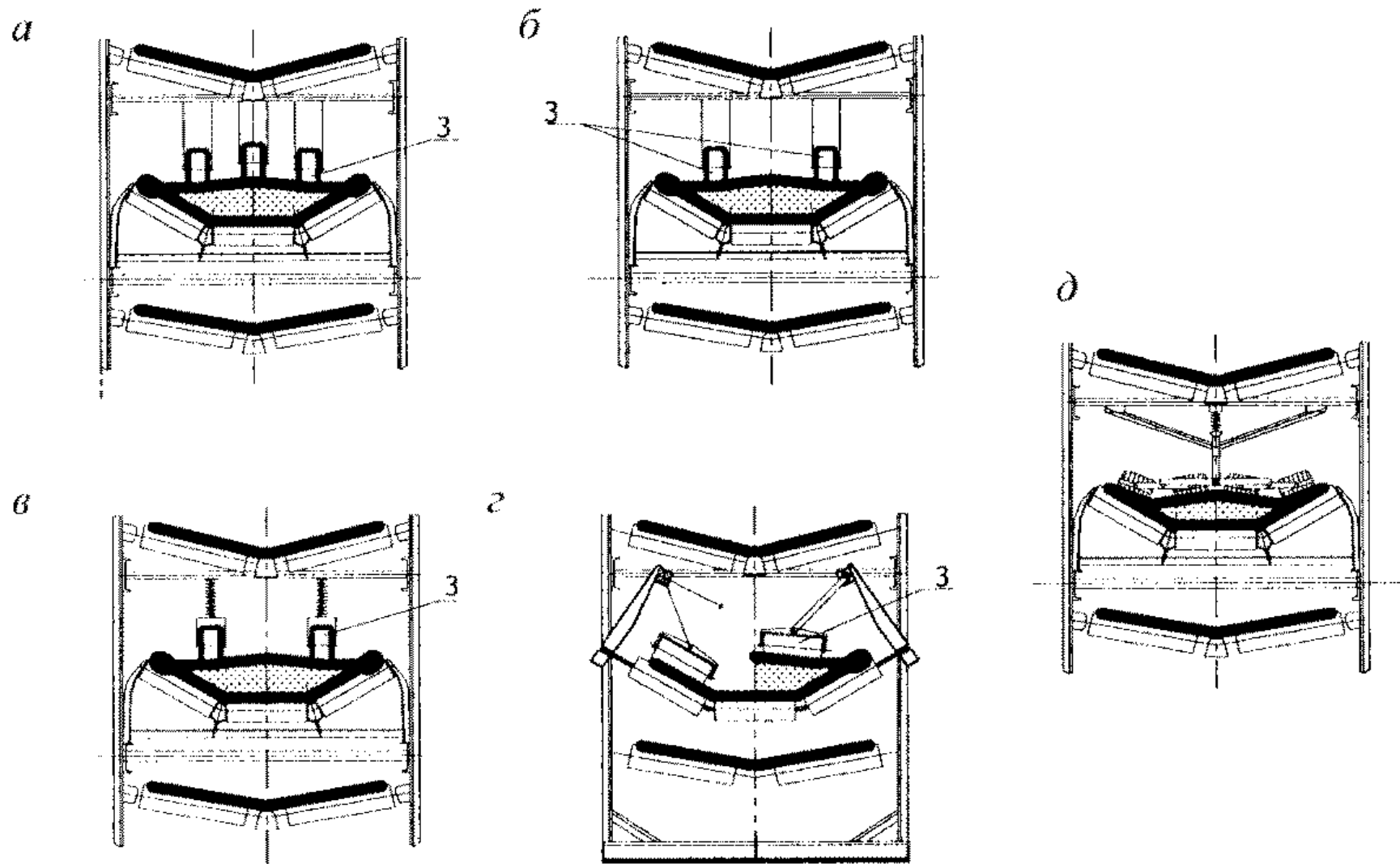


Рисунок 1.7 – Конструктивні варіанти притискних пристроїв круто похилих конвеєрів з притискною стрічкою:
а – конвеєр 2ЛКН160 конструкції МГІ та УкрНДІпроект; *б* – конвеєр конструкції УкрНДІпроект;
в – конвеєр стріли роторного екскаватора; *г* – конвеєр фірми MAN TAKRAF; *д* – конвеєр фірми Continental Conveyor

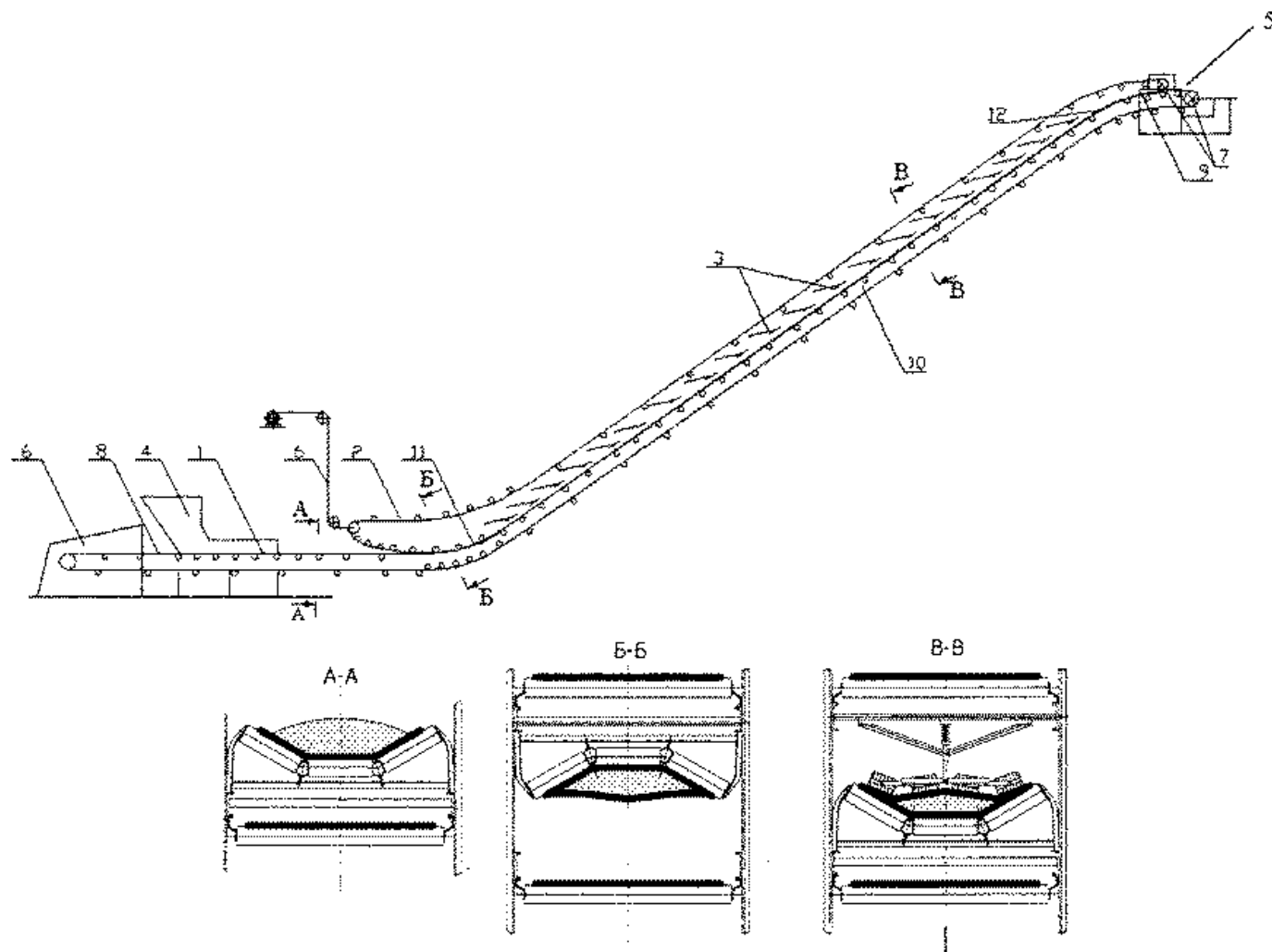


Рисунок 1.8 – Принципова схема круто похилого конвеєра з притискною стрічкою:

- 1 – вантажонесучий контур; 2 – притискний контур; 3 – притискний пристрій; 4 – завантажувальний пристрій;
 5 – розвантажувальний пристрій; 6 – натяжний пристрій; 7 – приводи для вантажного та притискного контурів;
 8 – завантажувальна ділянка; 9 – розвантажувальна ділянка; 10 – круто похила ділянка;
 11 – нижня перехідна ділянка; 12 – верхня перехідна ділянка