




JEL: L640

DOI: 10.62911/ete.2024.02.01.12


Reducing the likelihood of material hanging when loading a coarse crusher

Citation:

Zaselskyi, I., Zaitsev, H., Shefer, V. & Havrylov, E. (2024). Reducing the likelihood of material hanging when loading a coarse crusher. Scientific and practical journal "Economics and technical engineering". Vol. 2 No. 1 (2024), 145–157. <https://doi.org/10.62911/ete.2024.02.01.12>

Ihor Zaselskiy
Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: zaselskiy_iv@duet.edu.ua
 ORCID iD: 0000-0002-4834-4027

Hennadii Zaitsev
PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: zaitsev@kneu.dp.ua
 ORCID iD: 0000-0002-7909-9044

Volodymyr Shefer
Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: shefer_vo_23861@kneu.dp.ua
 ORCID iD: 0009-0007-0200-9251

Eduard Havrylov
Postgr, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: havrylov_eh_23862@kneu.dp.ua
 ORCID iD: 0009-0009-4293-3902

Received: 11/03/2024

Accepted: 10/04/2024

Abstract: Many years of experience in the operation of coarse cone crushers of the type KKD 1500/180 at a number of enterprises of Metinvest Kryvyi Rih has shown that when mineral raw materials are loaded into the flowing part of the crusher feed path, uneven feeding occurs as a result of large elongated pieces hanging in the intake pit, which leads to significant periods of idle and unproductive operation of crushers, resulting in significant unproductive costs for their elimination. The aim of the work was to conduct laboratory studies related to determining the reduction of the probability of formation of stable forms of material suspension when loading it into a coarse crusher. To achieve this goal, an empirical-analytical research method was used, where the hypothesis was put forward that the probability of the appearance of hang-ups in the crusher feed path can be significantly affected by the configuration of a specially configured deflector grate located in the intake pit of the raw material fed by weight to the crusher entrance. To test this hypothesis, laboratory devices have been developed that can simulate the processes of material suspension in the crusher feed path in two-dimensional and three-dimensional forms. As a result of the laboratory experiments, it was found that the configuration of the deflector grid does affect the probability of hang-ups in the feed path and their probability of hang-ups in the two-dimensional laboratory setup was reduced by 20%, and in the three-dimensional one - by 24.1% compared to the currently existing crusher feed path. The analysis of the results shows that the lowest probability of hang-ups in the three-dimensional laboratory model is provided by a transverse grate in a row with one longitudinal rod. Moreover, the contour formed by the entry points of the transverse rods of the grating into the side wall of the receiving pit should be equidistant to the contour of the rock cushion on the same wall. The distance between the equidistant and the forming curve should be at least two maximum rock block sizes. The use of such a grid can significantly reduce unproductive downtime of the crusher and significantly reduce the material costs involved in the process of crushing mineral raw materials.



Keywords: crusher; feed path; probability of sticking; deflector grate; equidistant.


JEL: L640

Reducing the likelihood of material hanging when loading a coarse crusher

Ihor Zaselskiy

Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: zaselskiy_iv@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0002-4834-4027

Hennadii Zaitsev

PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: zaitsev@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0000-0002-7909-9044

Volodymyr Shefer

Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: shefer_vo_23861@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0009-0007-0200-9251

Eduard Havrylov

Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: havrylov_eh_23862@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0009-0009-4293-3902


Abstract: Many years of experience in the operation of coarse cone crushers of the type KKD 1500/180 at a number of enterprises of Metinvest Kryvyi Rih has shown that when mineral raw materials are loaded into the flowing part of the crusher feed path, uneven feeding occurs as a result of large elongated pieces hanging in the intake pit, which leads to significant periods of idle and unproductive operation of crushers, resulting in significant unproductive costs for their elimination. The aim of the work was to conduct laboratory studies related to determining the reduction of the probability of formation of stable forms of material suspension when loading it into a coarse crusher. To achieve this goal, an empirical-analytical research method was used, where the hypothesis was put forward that the probability of the appearance of hang-ups in the crusher feed path can be significantly affected by the configuration of a specially configured deflector grate located in the intake pit of the raw material fed by weight to the crusher entrance. To test this hypothesis, laboratory devices have been developed that can simulate the processes of material suspension in the crusher feed path in two-dimensional and three-dimensional forms. As a result of the laboratory experiments, it was found that the configuration of the deflector grid does affect the probability of hang-ups in the feed path and their probability of hang-ups in the two-dimensional laboratory setup was reduced by 20%, and in the three-dimensional one - by 24.1% compared to the currently existing crusher feed path. The analysis of the results shows that the lowest probability of hang-ups in the three-dimensional laboratory model is provided by a transverse grate in a row with one longitudinal rod. Moreover, the contour formed by the entry points of the transverse rods of the grating into the side wall of the receiving pit should be equidistant to the contour of the rock cushion on the same wall. The distance between the equidistant and the forming curve should be at least two maximum rock block sizes. The use of such a grid can significantly reduce unproductive downtime of the crusher and significantly reduce the material costs involved in the process of crushing mineral raw materials.
Keywords: crusher; feed path; probability of sticking; deflector grate; equidistant.

Зменшення ймовірності зависання матеріалу при завантаженні дробарки крупного дроблення

Ігор Засельський

доцент, к.т.н, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: zaselskyi_iv@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0002-4834-4027

Геннадій Зайцев

к т.н, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: zaitsev@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0000-0002-7909-9044

Володимир Шефер

аспірант, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: shefer_vo_23861@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0009-0007-0200-9251

Едуард Гаврилов

аспірант, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: havrylov_ah_23862@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0009-0009-4293-3902

Анотація: Багаторічний досвід експлуатації конусних дробарок крупного дроблення типу ККД 1500/180 на ряді підприємств компанії «Метінвест» у місті Кривий Ріг показав, що при завантаженні мінеральної сировини у проточну частину живильного тракту дробарок виникає нерівномірна її подача в результаті зависання великих шматків подовженої форми в приймальній ямі, внаслідок цього спостерігаються суттєві періоди холостої і непродуктивної роботи дробарок, що призводить до суттєвих непродуктивних витрат на їх усунення. Метою роботи було проведення лабораторних досліджень, пов'язаних з визначенням зменшення ймовірності утворення стійких форм зависання матеріалу при завантаженні його в конусну дробарку крупного дроблення. Для досягнення поставленої мети використовувався емпірично-аналітичний метод дослідження, що підтверджує гіпотезу про ймовірність появи зависань в тракті живлення дробарки і на це може суттєво вплинути конфігурація спеціально зконфігурованої дефлекторної решітки, розташованої в приймальній ямі сировини, що подається силою ваги на вхід у дробарку. Для перевірки висунутої гіпотези були розроблені лабораторні пристрої, в яких можуть моделюватися процеси виникнення зависання матеріалу в тракті живлення дробарки в двовимірній та тривимірній формах. У результаті проведених лабораторних експериментів встановлено, що конфігурація рефлекторної решітки дійсно впливає на ймовірність появи зависань в тракті живлення і їх ймовірність зависань в двовимірній лабораторній установці вдалося знизити на 20%, а в тривимірній – на 24,1% порівняно з існуючим на даний час тракту живлення дробарки. Аналіз отриманих результатів показує, що найменша ймовірність зависань у тривимірній лабораторній моделі дає поперечна решітка в один ряд з одним повздовжнім стрижнем. Причому контур, утворений точками входу поперечних стрижнів решітки у бокову стінку приймальної ями, повинен бути еквідистантним контуру породної подушки на ту ж стінку. Відстань між еквідистантою і кривою, що утворилася, повинна дорівнювати не менше, чим двом максимальним розмірам породної брили. Використання такої решітки може суттєво знизити непродуктивні простой дробарки і суттєво зменшити матеріальні витрати, які йдуть на процес дроблення мінеральної сировини.

Ключові слова: дробарка; тракт живлення; ймовірність зависання; дефлекторна решітка; еквідистанта.

Вступ (Introduction)

Процес підготовки видобутої мінеральної сировини на великих залізорудних підприємствах починається зі стадії крупного дроблення на конусних дробарках типу ККД-1500/180. Застосування в циклі переділу мінеральної сировини конусних дробарок пояснюється тим, що ці дробарки мають значну перевагу перед іншими конструкціями дробарок, а саме: висока продуктивність, яка пояснюється відсутністю холостого ходу, безперервним процесом дроблення, здійснюваним, якщо у її зів постійно подається необхідна мінеральна сировина.

На підприємствах, що займаються збагаченням залізорудної сировини, наприклад, компанія «Метінвест» у Кривому Розі робить все необхідне, щоб забезпечити таку безперервну подачу сировини на вході до дробарок ККД-1500/180. Проте, як показує практика, досягти безперервної подачі мінеральної сировини на вході в дробарку вдається далеко не завжди, тому що відбувається зависання в результаті заклинювання найбільш крупних шматків сировини на вході до дробарки. Внаслідок цього спостерігаються суттєві періоди холостої і непродуктивної роботи дробарок навіть до моменту звільнення приймальної ями від завалів.

Завали, внаслідок зависання гірської породи, походять від того, що видобута гірська порода, яка вивантажується з думпкарів до приймальних ям дробарок (див. рис. 1), має широкий розкид у розмірах та формі шматків мінеральної сировини. Неминуча наявність великих шматків подовженої форми мінеральної сировини призводить до випадкового утворення зависань у каналі живлення, а розбирання виниклих зависань за допомогою кранового обладнання, навіть за високого професіоналізму операторів, призводить до відчутних витрат часу.



Рисунок 1. Зліва направо, зверху вниз – процес послідовної ліквідації зависання в живильному тракті дробарки

Вказані обставини не дозволяють проводити безперервний процес розвантаження думпкарів, заповнення приймальної ями доверху стає неможливим через неспроможність дістатися до завислих шматків під товщею матеріалу, що знаходиться в ямі. Все це призводить до того, що основна перевага дробарок типу ККД не може бути повністю реалізована.

Таким чином, проблема зменшення ймовірності форм зависання шматкової мінеральної сировини, що випадково утворюються, є дуже актуальною.

Проблемам зависання сипких матеріалів присвячено багато наукових та інженерних досліджень як вітчизняних так і закордонних авторів (*Loveikinetal., 2010*), (*Kompanieishchykovetal., 2017*), (*Volokhetal., 2019*). Однак досліджень, що стосуються зависань сипкого матеріалу при завантаженні його в конусні дробарки крупного дроблення проведено не було.

З наведеного витікає, що для збільшення ефективності роботи всього циклу дроблення мінеральної сировини потрібно суттєво зменшити ймовірність утворення стійких форм зависання. Саме на це був спрямований запропонований пристрій (дефлектор), розглянутий у статті, що дозволяє структурувати матеріал у приймальній ямі.

Метою роботи було проведення лабораторних досліджень, пов'язаних з визначенням зменшення ймовірності утворення стійких форм зависання матеріалу при завантаженні його в конусну дробарку крупного дроблення.

Матеріали та методи (Materials and Methods)

Завантаження мінеральної сировини в дробарку крупного дроблення проводиться самопливом у її відкритий зів під дією сили гравітації. При цьому зів дробарки розташовується в днищі приймальної ями, а сама дробарка встановлена під ямою (*Smyrnovetal., 2012*), (*Smyrnovetal., 2013*), (*Sokur et al., 2017*), (*Sokur et al., 2020*). У кутових зонах ями утворюється подушка з дрібнокускової сировини, а стінки подушки утворюють приймальну вирву, куди і засипається мінеральна сировина з думпкарів.

Мінеральна сировина вологістю до 5%, що подається у вирву, має суттєвий розкид за формою і крупністю її шматків, який можна спостерігати на рис. 1 та гранулометричному складу, який наведено у табл.1.

Таблиця 1. Гранулометричний вміст сировини у думпкарі

Крупність, мм	1200	1030	860	690	520	350	180	10
Відносний вміст в об'ємі, що спостерігається, %	1	1	5	8	18	25	25	17

Завантаження такого різноманітного за крупністю і формою шматкового матеріалу призводить до того, що в деяких випадках шматки сировини утворюють сталі форми зависання. При цьому живлення дробарок припиняється, що призводить до суттєвих ресурсних втрат. Взагалі через утворення форм зависання в тракті живлення ефективність рудопідготовки суттєво зменшується, при цьому таке зменшення має ймовірнісний характер.

З теорії ймовірностей відомо, що на ймовірність несприятливого результату можна вплинути, якщо створити невідповідний розподіл деякої величини (*Sliusarchuk, 2005*), (*Naikoetal., 2020*).

Внаслідок того, що брили переважно мають видовжену форму, з'являється можливість встановити дефлектор визначеної конструкції, за допомогою якого вдасться примусово структурувати потік шматкової сировини у приймальну вирву за параметром їх форми і розташування. Дефлектор в широкій частині приймальної вирви загальмує рух виключно великих шматків, залишаючи можливість усім іншим, більш дрібним шматкам, рухатися безперешкодно. Дрібні шматки будуть поглинені дробаркою, а великі, прийшовши до зіву дробарки пізніше дрібних, матимуть меншу ймовірність утворення форм зависання за рахунок викладення в потоку за напрямом до зіву.

Концепція дефлектора полягає в тому, що у вирву, встановлюється решітка зі спеціально підібраними параметрами, які умовно наведені на рис. 2. Параметрами решітки являються розмір комірки решітки (d) та відстань (h) між її ярусами. Величину визначення параметрів

решітки для досягнення найменшої ймовірності зависання рудної породи було метою спеціально поставлених експериментальних досліджень.

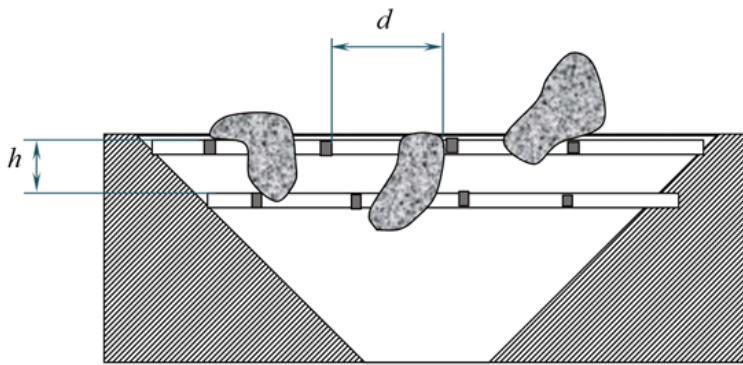


Рисунок 2. Принципова схема пристрою для структурування потоку кускового матеріалу при його завантаженні у зів дробарки

Результати (Results)

Для проведення попередніх досліджень впливу конфігурації решітки дефлектора на ймовірність зависання рудної породи була зроблена спочатку двовимірна лабораторна установка (рис. 3).

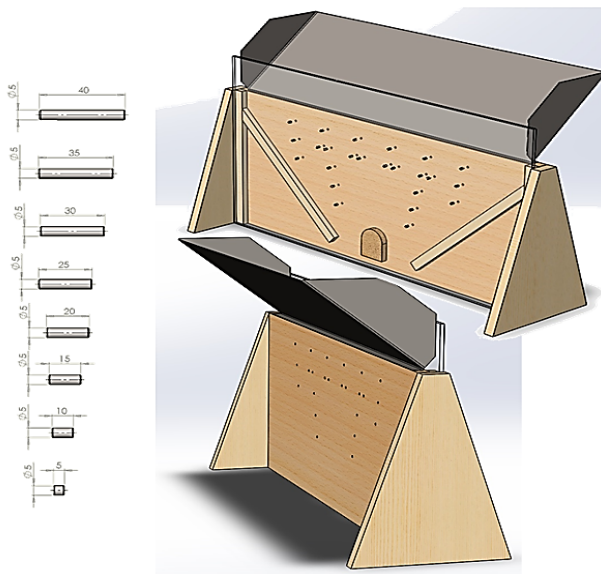


Рисунок 3. Загальний вид двовимірної лабораторної установки і елементів імітуючих матеріал (зліва), що підготовлені до проведення досліджень

Її двовимірність оправдана тим, що будь-яку форму просторового масиву можна уявити сукупністю його плоских форм по відповідним перерізам. У даному випадку використано повздовжній переріз по площині симетрії приймальної ями.

Лабораторна установка була виконана в масштабі 1:46 по відношенню до розмірів, що вказані на креслениках приймальної ями дробильної фабрики. Лабораторна установка (див. рис.3) складається з двох паралельних пластин, одна з яких є прозорою. Пластини розташовані одна від одної на відстані 6 мм і утворюють між собою щілину. Пластини всередині щілини мають поверхні, що у зазначеному масштабі відповідають контурам проточної частини приймальної вирви, і обтічника верхньої опори дробарки. Для завантаження щілина має металевий лист, завдяки якому в неї випадковим чином засипається матеріал, що імітує

реальні подовжені куски мінеральної сировини. Матеріал представляє собою відрізки сталевго дроту діаметром 5 мм і мають довжину та концентрацію у відповідності з гранулометричним складом гірської породи.

Обидві пластини мають наскрізні отвори, розсвердлені, як показано на рисунку. В будь-який з цих отворів можна вставляти цвяхи діаметром 2 мм, що є імітацією тіла дефлекторної решітки. Розмір і концентрація матеріалу масштабовано за допомогою фотографій породи у думпках. У таблиці 2 представлено гранулометричний склад досліджуваного матеріалу.

Таблиця 2. Гранулометричний склад досліджуваного матеріалу

Крупність елемента, мм	40	35	30	25	20	15	10	5
Відносний вміст в об'ємі, що спостерігається, %	1	1	5	8	18	25	25	17

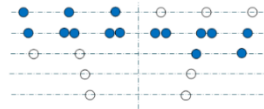
Експерименти полягали у підрахунку ймовірності утворення зависань при тій чи іншій конфігурації встановлених цвяхів. Слід зазначити, що на різних етапах лабораторні дослідження проводились серіями по декілька дослідів в кожній з них і їх кількість для отримання достовірних показників визначалась у відповідності до вимог теорії математичної статистики (*Vasylenko et al., 2011*), (*Ieremenko et al., 2013*).

В табл. 3 представлені результати досліджень, що були проведені для різноманітних конфігурацій розміщення цвяхів лабораторної установки та визначена ймовірність утворення зависань в кожному з випадків для двомірної моделі.

Таблиця 3. Результати досліджень про зниження зависань в дефлекторній решітці від розміщення цвяхів двомірної моделі

№ Серії експерименту в	Схема розміщення цвяхів на макеті установки	Кількість експериментів із зависаннями в серії	Ймовірність зависань, %
1		14	46,7
2		13	43,3
3		13	43,3
4		13	26,7
5		12	40
6		12	40

7



16

50,3

Як видно з наведених результатів, конфігурація розміщення цвяхів дефлекторної решітки може суттєво знизити ймовірність виникнення зависань у тракті живлення дробарки. Так, розташування чотирьох цвяхів в центрі решітки дозволяє знизити ймовірність зависань до 26,71 % (див. 4 експеримент).

Після проведення експериментів з двовимірною моделлю були виконані експерименти з застосуванням тривимірної лабораторної установки, яка для одного з серії експериментів наведена на рис. 4.



Рисунок 4. Лабораторна модель для шостої серії експериментів, яка дала найменшу ймовірність виникнення зависань матеріалу

Лабораторна установка виконана в масштабі 1:80 по відношенню до розмірів приймальної ями дробильної фабрики.

Для створення завантажувальної вирви був застосований гранітний відсів, у якого кут природнього відкосу збігається з залізною рудою дрібної фракції, що є рудною подушкою у приймальній ямі. Модель також має отвори в стінках коробки, для встановлення загороджувальних елементів дефлекторної решітки.

В якості матеріалу був використаний щебінь, форма і гранулометричний склад якого масштабуються з вмістом залізної руди у думпках та наведений в табл. 4.

Таблиця 4. Гранулометричний склад матеріалу, використаного у дослідах

Крупність шматків, мм	31	22	18	15	12	8	7	6	5
Вміст, %	3,2	3,2	6,5	6,5	3,2	9,7	22,5	19,4	25,8

Всього було проведено 21 попередніх експериментів відповідно до шести конфігурацій решітки. Результати експериментів наведено в табл. 5.

За результатами експериментів було визначено, що найменшу ймовірність зависань має конфігурація решітки з шостої серії експериментів, яка склала 28,6%.

Далі були проведені ще додаткові 62 експерименти саме з цією конфігурацією решітки, а також для порівняння стільки ж для випадку з повною відсутністю решітки.

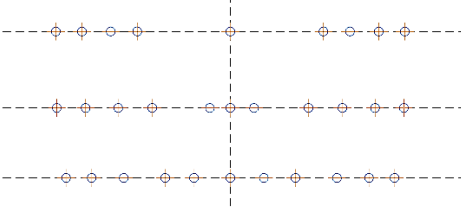
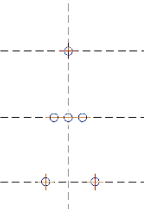
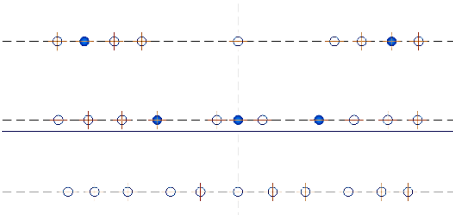
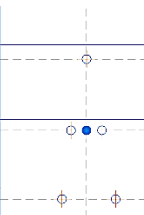
У даному випадку при вірогідності достовірного результату 95 % по критерію «прохідний чи непрохідний» канал живлення дробарки, було проведено всього 83 експерименти, за розрахунками згідно з (Nechaievetal., 2005), (Hryshchuk, 2008), (Tusheva, 2014). Розрахунки ймовірності появи зависання в тракті дробарки для цих двох серій експериментів наведено в табл. 6, лабораторна модель для експериментів, які дали найменшу ймовірність виникнення зависань, показана на рис. 4.

Таблиця 5. Результати експериментів з тривимірної моделі

№ Серії	Схема розташування стрижнів		Кількість експериментів із зависаннями в серії	Ймовірність зависань, %
	Головний вид	Вид з боку		
1			12	51,7
2			14	66,7
3			11	52,4
4			17	81,0
5			12	42,9
6			14	28,6

Аналіз отриманих результатів показує, що найменшу ймовірність зависань у тривимірній лабораторній моделі є поперечна решітка в один ряд з одним повздовжнім стрижнем. Причому контур, утворений точками входу поперечних стрижнів решітки у бокову стінку приймальної ями повинен бути еквідистантним контуру породної подушки на ту ж стінку. Як видно з рис. 4, відстань між еквідистантою і утворюючою кривою, що утворилася, дорівнює двом максимальним розмірам породної брили.

Таблиця 6. Загальні результати за урахуванням додаткових експериментів

№ Серії	Схема розташування шпажок		Кількість експериментів із зависаннями в серії	Ймовірність зависань, %
	Головний вид	Вид з боку		
1			43	51,8
6			23	27,7

Для реалізації технічного рішення запропонованого за схемою № 6, в якості конструктивного матеріалу обираємо залізничну рейку Р75.

Монтаж рейок виконується за певним порядком, який наведений на рис. 5. А саме, рейка 1 вкладається поздовжньо. Після чого встановлюються на кронштейни і до неї у вузлах перетину приєднуються нижні поперечні рейки 2 і їх ув'язка у вузлах перетину виконується за допомогою підкладної деталі знизу, та скоб зверху, які стискаються різьбовим з'єднанням (див. рис. 6).

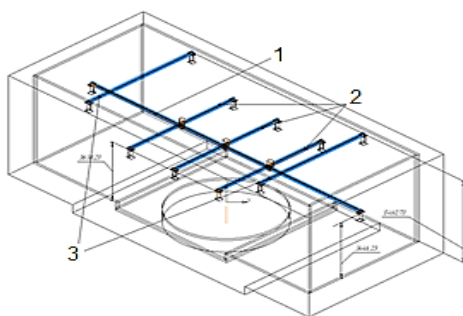


Рисунок 5. Схема укладки рейок

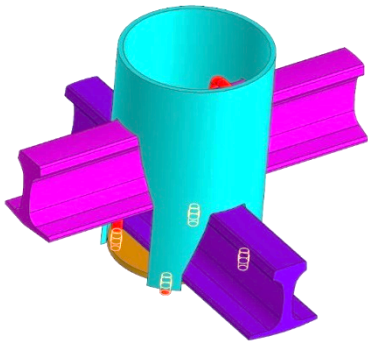


Рисунок 6. Зв'язок рейок із захисним кожухом

Вузли з'єднання захищаються циліндричними кожухами, внутрішня порожнина яких у робочому стані завалюються дрібною фракцією. Останніми встановлюються поперечні рейки 3 верхнього рівня. При експлуатації дефлекторної решітки одразу після її монтажу кути приймальної ями засипаються рудним матеріалом, утворюючи рудну подушку у вигляді завантажувальної вирви з природним укосом стінок, що дозволяє зручніше зруйнувати або вилучити негабаритні шматки різноманітними методами і засобами. (Terentiev,2018), (Novak,2020).

Висновки (Conclusions)

У процесі проведених лабораторних досліджень вперше зроблена спроба вирішити проблему зменшення суттєвих непродуктивних втрат часу, яка має місце при подачі вихідної сировини на вхід в конусну дробарку ККД-1500/180 внаслідок виникнення зависань окремих крупних шматків сировини у проточній частині живильного тракту дробарки.

Вперше висунута гіпотеза, що на ймовірність появи зависань в тракті живлення дробарки може суттєво вплинути конфігурація спеціально сконфігурованої дефлекторної решітки, розташованої в приймальній ямі сировини.

Для перевірки висунутої гіпотези проведені експериментальні дослідження впливу конфігурації дефлекторної решітки на ймовірність утворення зависань в тракті живлення дробарки.

Результати проведених лабораторних досліджень показали, що конфігурація дефлекторної решітки дійсно впливає на ймовірність появи зависань у тракті живлення – ймовірність утворення зависань в двовимірній лабораторній установці вдалося знизити на 20%, а в тривимірній – на 24,1 % відносно існуючого на даний час тракту живлення дробарки.

Аналіз отриманих результатів доводить, що найменшу ймовірність зависань у тривимірній лабораторній моделі дає поперечна решітка в один ряд з одним повздовжнім стрижнем. Причому контур, утворений точками входу поперечних стрижнів решітки у бокову стінку приймальної ями повинен бути еквідистантним контуру породної подушки на ту ж стінку. Відстань між еквідистантною кривою, що утворилася, повинна дорівнювати двом максимальним розмірам породної брили.

На основі результатів досліджень запропонована конструктивна схема дефлекторної решітки з її конструктивними елементами, що дозволить суттєво знизити непродуктивність простої конусної дробарки крупного дроблення.

Конфлікт інтересів (Conflicts of interest)

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування (Funding)

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

Внесок авторів (Authors contribution)

Концептуалізація, адміністрація проекту, З.І.; перевірка, формальний аналіз, З.Г.; методика, програмне забезпечення, Ш.В.; візуалізація, аналітичні дані, Г.Е.

Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

Література (References)

- Hryshchuk Yu.S. (2008) *Osnovy naukovykh doslidzhen*. NTU KhPI
<http://web.kpi.kharkov.ua/ea/wp-content/uploads/sites/25/2017/02/OND-Ukr.pdf>
- Ieremenko V.S., Kuts Yu.V., Mokiichuk V.M., Samoilenko O.V. (2013) *Statystychnyi analiz danykh vymiriuvan*. NAU.
<https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/1e99dc7d-33a1-48a3-8cbf-9f5747564b2b/content>
- Kompanieishchykov, I.S. Kovernyk, S.P., Hanzulenko S.M., Zlobin, V.V. (2017). *Systema usunennia zavysan sypkoho materialu u pryimalnykh bunkerakh. Metalurhiia : Zbirnyk naukovykh prats*, 2 (38), 111-115.
https://dspace.znu.edu.ua/jspui/bitstream/12345/478/1/Metallurgy_38_21.pdf
- Loveikin V.S., Shymko, L.S. Yaroshenko, V.V. (2010). *Ohliad doslidzhen vytku sypkyykh materialiv. Zahalno derzhavnyi mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*, vol. 40, chast. I. 324-333.
<https://core.ac.uk/download/pdf/42032866.pdf>
- Naiko D.A., Shevchuk O.F. (2020). *Teoriia ymovirnosti i tamatematychna statystyka*. TOV TVORY.
<http://repository.vsau.org/getfile.php/24513.pdf>
- Nechaiev, V. P.; Beridze, T. M.; Kononenko, V. V.; Riabushenko, N. V.; Bradul, O. M. (2005) *Teoriia planuvannia eksperymentu: navch. posib*. Kondor.
http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe
- Sliusarchuk P.V. (2005) *Teoriia ymovirnosti ta matematychna statystyka*. Karpaty.
<https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/30615>
- Smyrnov, V. O., Biletskyi, V. S. Sholda, R.O. (2013) *Pererobka korysnykh kopalyn*. Skhidnyi vydavnychiy dim.
<https://core.ac.uk/download/pdf/162886491.pdf>
- Smyrnov, V. O., Biletskyi, V. S. (2012). *Pidhotovchi protses y zbahachennia korysnykh kopalyn*. Skhidnyi vydavnychiy dim.
<https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/07b8eef6-8d1e-4ceb-ba65-9d26e2baa366/content>
- Sokur, M.I., Biletskyi, V.S., Yehurnov O. I., Vorobiov, O. M., Smyrnov, V.O., Bozhyk, D.P. (2017). *Pidhotovka korysnykh kopalyn do zbahachennia*. PP Shcherbatykh O.V.
<https://core.ac.uk/download/pdf/161792606.pdf>
- Sokur, M.I., Biletskyi, V.S., Vedmid, I.A., Robota, Ye.M. (2020). *Rudopidhotovka : droblennia, podribnennia, klasyfikatsiia*. PP Shcherbatykh O.V.
[http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=Сокыр%20M\\$#](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=Сокыр%20M$#)
- Tusheva V. V. (2014) *Osnovy naukovykh doslidzhen*. Fedorko.
<https://dspace.hnpu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/a1eb793d-1a0b-4dbb-b865-64cee8ed1e7a/content>
- Vasylenko O. A., Sencha I. A. (2011) *Matemachno-statystychni metody analizu u prykladnykh doslidzhenniakh*. ONAZ im. O. S. Popova.

- http://www.immsp.kiev.ua/postgraduate/Biblioteka_trudy/Vasylenko_Sencha_Matem._statyst.metydy_2011.pdf
- Volokh, V. O., Lohvynenko, M. V., Poliakov, B. A. (2019). Prystrii dlia usuchennia zaivysannia sypkoho materialua boruinuvanniay ohosvodu. *Technical service of agriculture, forestry and transpor tsystems*, 16, 102-109. <http://ts.khntusg.com.ua/index.php/ts/article/view/41/37>
- Novak, A. I., Hnieushev, V. O. (2020). Sposib ryinyvannya girskyx porid viybychom. *Visnyk Nationality universita vodnogo gospodarstva and prirodokorystuvannia*, 2, 193-202. <https://ep3.nuwm.edu.ua/19769/>
<https://doi.org/10.31713/vt2202018>
- Terentiev, O. M., Krychcov A. I., Kleschov A. I., Gontar P. A. (2018). Plazmo mexanical ryinyvannia vyboiyv. *KPI Sicorskogo*. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/23339>