

2 Edalati K., Horita Z. A Review on High-Pressure Torsion (HPT) from 1935 to 1988. Materials Science and Engineering A. 2016. 652. pp. 325-352. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2015.11.074>

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-76>

**RESEARCH OF METHODS, MODELS AND INFORMATION
TECHNOLOGIES USING NEURAL NETWORKS IN INCREASE
OF PRODUCTIVITY OF ORE ENRICHING FACTORIES**

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОНИХ МЕРЕЖ
В ПІДВИЩЕННІ ПРОДУКТИВНОСТІ
РУДОЗБАГАЧУВАЛЬНИХ ФАБРИК**

Kostikov O.A.

*Associate Professor,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Костіков О.А.

*доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Konyk A.B.

*student (group 122-22-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Коник А.Б.

*студент гр.122-22-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Усі рудозбагачувальні фабрики складаються з самостійних технологічних одиниць які називаються секціями, в свою чергу секція складається з головних млинів 1-шої стадії які задають середньогодину продуктивність по руді і відповідно по концентрату, а також млинів другої, третьої стадії та інших збагачувальних пристроїв такі як магнітні сепаратори, дешламатори, насоси, тощо. Як правило секція може мати один або два головних млина, які працюють в парі з спіральним класифікатором, мета якого розділити продукт розвантаження млина на готовий матеріал та недостатньо подрібнений матеріал який за допомогою спіралей знову повертається у млин. Головними факторами отримання максимальної середньогодиної продуктивності головних млинів першої стадії являються: 1) максимально можливе завантаження

корисного об'єму млина, з врахуванням швидкості обертання млина; 2) відношення подачі руди і води у млин в оптимальному співвідношенні в залежності від характеристики вихідної руди і кульового навантаження. Для контролю максимального завантаження млина використовуються наступні методи контролю для управління: а) контроль потужності (амперна характеристика) споживання млина; б) контроль потужності (амперна характеристика) спірального класифікатора; контроль завантаження руди у млин через управління швидкістю головного живильного конвеєра. Також додатковими методами контролю максимального завантаження млина на деяких фабриках може бути встановлення шумометрів і тензодатчиків на кореневі підшипники млина, які є методами непрямого контролю. Ці всі вищезгадані методи контролю завантаження млина є приблизними і не точними, через наявність циркуляційного навантаження на млин, виміряти масу якого технічно не можливо. Також слід сказати що навіть якщо вдасться максимально завантажити корисний об'єм млина, це ще не означає що млин буде працювати з максимальною продуктивністю і що в ньому процесі подрібнення руди відбувається оптимально. Так на прикладі головного млина МШР-3,6x5,0 на 100 т/г вихідної руди в млин подається від 13 м3 до 20 м3 технічної води за годину. Кількість води що подається в млин задає машиніст млинів за результатами візуального огляду подрібненого матеріалу (пульпи), що вивантажується із млина. Тільки досвідчений машиніст млинів зі стажем від 3х років і більше за візуальною характеристикою розвантаження млина може визначити необхідну кількість води для подачі у млин. Так, наприклад, якщо подача води у млин буде **більше** ніж потрібно, то це призведе до надмірного винесення подрібненої руди із млина і збільшенню циркуляційного навантаження (не подрібнений матеріал через спіральний класифікатор буде знову повертатися у млин), що в свою чергу призведе до зниження середньогодиної продуктивності млина по вихідній руді. А якщо подача води у млин буде **менше** ніж потрібно, то це призведе до збільшення часу знаходження матеріалу що подрібнюється у млині, через що корисний об'єм барабану млина буде заповнений непотрібним переподрібненим матеріалом, що в свою чергу призведе до необхідності зниження вихідної руди в голові млина з причини об'ємного перевантаження млина. Також окрім оптимального співвідношення подачі руди-води у головний млин, важливим і мабуть найголовнішим фактором продуктивності млина є загальна характеристика крупності руди на живильному конвеєрі, чим менше крупність руди тим менше часу потрібно знаходитись руді у млині для подрібнення з метою

досягнення необхідного вихідного класу крупності (-0,056мм). На сьогоднішній день контроль крупності руди живильних конвеєрів на більшості збагачувальних фабрик, зводиться до проміжкових відборів проб руди і просіюванні на ситах з різними розмірами щілин. Даний метод контролю крупності не є представницький і не відображає істину крупність руди в режимі он-лайн. Хоча слід зазначити що деякі збагачувальні фабрики використовують пристрої «гранулометри», які можуть визначати крупність руди безперервно в часі, але такі пристрої коштують дорого і їх встановлюють на загальний конвеєр що подає руду в накопичувальні бункера на всю фабрику, тому такі показники крупності є приблизними, так як з врахуванням запасів руди в бункерах, ця інформація не є представницькою. А встановлювати такі гранулометри на кожен живильний конвеєр млина є економічно недоцільним (за даними розрахунків інвестиційних проектів ІНГЗК, ПВНГЗК, ЦГЗК). Щодо усіх існуючих АСУТП збагачувальних секцій, то контури управління можна розділити всього на два режими роботи: 1) максимальна продуктивність головних млинів при заданій густині зливу класифікаторів – так званий «режим стабілізації»; 2) максимальна продуктивність млинів за умови недопущення перевантаження млинів – «режим автоматизації». Відповідно вся математична логіка АСУТП побудована на утриманні одного головного показника в заданому коридорі, з поступовим покращенням регулюючих коефіцієнтів на збуджуючі впливи зовнішніх факторів. Навіть якщо брати АСУТП режим максимальної продуктивності, він не дозволяє досягти найбільшої продуктивності секції, не тому що він поганий, а тому що збуджуючі сигнали непрямого визначення ключових методів контролю є або не представницькими, або великий коефіцієнт відхилення від істинних параметрів процесу подрібнення.

Таким чином, невирішеною актуальною науковою проблемою є підвищення ефективності автоматизованого керування процесами подрібнення руди в головних млинах збагачувальних фабрик, та досягнення максимально можливої продуктивності млинів в умовах зміни їх динамічних режимів роботи і параметрів та збуреного середовища шляхом синтезу і реалізації оптимального керування на основі ідентифікації та прогнозування стану керованих процесів з контролем основних збурень.

Пропонується реалізувати систему комп'ютерного зору і нейронної мережі для контролю крупності вихідної руди на стрічці живильного конвеєра млина, а також для контролю технічної характеристики розвантаження млина в безперервному режимі. В якості даних для

обробки інформації комп'ютерного зору є відеопотік з камер відеоспостереження який потім фрагментується у набір щосекундних кадрів високої чіткості. Кожен кадр є файловою одиницею для подальшої обробки, формування бази даних, та використання накопичених даних для навчання нейронної мережі. В якості нейронної мережі для розпізнавання зображень пропонується використовувати так звану Згорткову нейронну мережу (Convolutional Neural Networks, CNNs) яка є дуже ефективною в обробці зображення і може бути використана для визначення крупності руди на стрічці конвеєра, а також для потоку пульпи розвантаження млина. Пропонується встановити промислові фотокамери типу «Basler» з витримкою 1/2000с, інакше отримати адекватні фото дрібних частинок руди, що рухаються на великій швидкості конвеєра (± 2 м/с) буде важкувато.



**фото 1 – так виглядає руда живильного конвеєра млина
(фотокадр з фотокамери)**

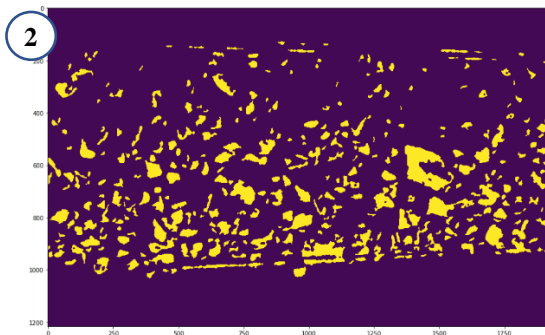


Рис. 2. оброблений фотокадр алгоритмом CNNs (без використання алгоритмів Робертса і розмиття Гауса)

Навчання пропонується реалізувати на мережі Fast-SCNN, заснованої на UNet, але не з такою великою кількістю параметрів для тренування, а також додати шари нейронів для боротьби з ефектом втрати інформації на рівнях сильного зниження розмірності. Одна з головних переваг такої мережі – можливість адекватно зменшувати розміри вихідного зображення у 8 разів за висотою та шириною. Вважається, що використовувати зображення більше 1024 пікселів є дещо недоцільним, тому що обидві мережі виходять приблизно однакової якості, а кількість параметрів для навчання нейронної мережі відрізняється на декілька порядків.

Приблизна архітектура Web-сервіс розробленої на Docker, буде такою:

- websocket-service. Для додавання можливості websocket працювати з кількома виконавцями це посередник між websocket у вікні браузера і Docker-контейнером database;
- data-service. Сервіс спілкування з камерою, розпізнавання шматочків руди на зображеннях, отримання метрик у термінах кусків містить розроблену модель;
- front. Nginx-проксі для доступу до системи;
- database. Образ доступу до накопиченої бази даних;
- front-service. Образ веб-інтерфейсу, а також доступ до API.

Таким чином отримані дані використовувати для автоматичного регулювання процесу по отриманню максимальної середньогодиної продуктивності млина з заданими характеристиками результатів подрібнення. З метою підвищення точності, комп'ютерний зір можна відкалібрувати за допомогою відборів проміжкових проб і проведення промислових експериментів для порівняння та навчання нейронної мережі.

Перелік використаних джерел

1. Сенько А.О. Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень для процесу подрібнення на основі непрямого визначення міцності руди : Кривий Ріг.: КНУ, 2020. 164 с.
2. Корнієнко В.І. Автоматизація оптимального керування процесами дроблення і здрібнювання руд : Монографія. Дніпропетровськ: НГУ, 2013. 193 с.