

## МОДЕЛЮВАННЯ СЕКЦІЇ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ ЗА ДОПОМОГОЮ СЕРЕДОВИЩА ПРОГРАМУВАННЯ PAC UNITY PRO XL

**Мета.** Метою даної роботи є створення моделі ділянки секції збагачувальної фабрики з метою моніторингу та контролю основних показників роботи технологічних механізмів та стану оброблюваного продукту на різних етапах операцій збагачення. Складність, інерційність, нестационарність та динамічність технологічних процесів, що відбуваються на збагачувальній фабриці, наявність складних зв'язків та рециклів між технологічними механізмами обумовлюють застосування нестандартного підходу для створення моделі секції, а саме розглядання моделі з точки зору застосування програмованих логічних контролерів і, відповідно, використання для створення моделі середовища програмування PAC.

**Методи дослідження.** Підтверджено можливість застосування нетрадиційного програмного середовища для моделювання роботи секції збагачувальної фабрики. У той час коли для створення моделі об'єкту керування зазвичай використовуються пакети чисто математичного характеру, як Matlab, Mathcad, LabVIEW, дана стаття розглядає можливість застосування для поставленої мети середовища для програмування PAC, а саме Unity Pro XL фірми Schneider Electric.

**Наукова новизна.** Розв'язання поставленої задачі складає актуальність роботи. Її метою є створення моделі секції фабрики збагачення залізної руди з ціллю контролю основних показників роботи технологічних агрегатів та стану пульпи на різних етапах збагачення.

**Практична значимість.** Обґрунтовано застосування середовища програмування PAC для створення моделі секції збагачувальної фабрики. Створено попередню спрощену модель об'єкту керування, що може бути модернізована і доповнена для створення системи керування технологічним процесом з урахуванням більшої кількості параметрів управління.

**Результати.** Розроблена модель дозволяє контролювати найважливіші параметри перебігу збагачувальних процесів та стану оброблюваного продукту. Прив'язка значень цих параметрів до значень змінних у PAC дозволить у реальних умовах простіше реалізувати підключення реального обладнання до математичної моделі в ПК. При створенні моделі враховувалися лише найголовніші параметри, які найлегше вимірювати та контролювати у реальних умовах, тому модель є спрощеною. Напрямок подальших досліджень є удосконалення моделі моніторингу та перетворення її у повноцінну модель системи керування.

**Ключові слова:** збагачення, залізна руда, автоматизація, моделювання, PAC, Unity Pro XL.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-164-168

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Сьогодні основною метою виробництва є зниження собівартості продукції. Комплексна оптимізація автоматизованого управління, використання сучасних підходів та новітнього обладнання можуть збільшити на виробництві показники його енергоефективності та економічні показники.

Збагачувальна фабрика містить різні технологічні механізми, їх принципи управління вимагають знання фізичних умов і властивостей роботи механізмів, різного обладнання та точних розрахунків. Крім того, вони взаємопов'язані і мають безпосередній вплив на спільну роботу один одного - неефективна робота з технологічним механізмом призводить до неефективної роботи з наступними механізмами. Аналіз результатів використання класичних методів автоматизованого управління показав, що в більшості випадків акцент робиться на контролі окремих механізмів з припущенням, що інші працюють у відповідності з нормою. Управління секцією збагачувальної фабрики, як правило, дозволить повністю охопити весь процес, проаналізувати технологічні зв'язки між механізмами та їх вплив на загальну роботу секції [1-3].

**Аналіз досліджень та публікацій.** Для вирішення завдань дослідження процесів збагачення залізної руди в цілому необхідно створити загальну модель системи управління, яка повинна безперервно визначати та контролювати характеристики об'єкта управління, використовуючи зворотний зв'язок при наявності надійної автоматизованої інформаційної системи. Управління такими системами завжди відбувається в умовах фундаментальної невизначеності щодо розвитку і неповного спостереження. Побудова формальних моделей для більшості процесів збагачувальної фабрики виглядає досить складною.

Саме тому для створення моделі системи керування секцією збагачувальної фабрики необхідно вирішувати складні завдання ієрархічно та поступово. Таким чином, перш ніж створюва-

ти модель системи керування доцільно побудувати модель моніторингу та діагностування та протестувати її на існуючих параметрах і тільки у випадку успішно працюючих зв'язків між змодельованими технологічними механізмами та адекватності отриманих результатів слід переходити до створення безпосередньо моделювання керування.

Більшість параметрів роботи технологічних механізмів секції збагачення складно виміряти, як і параметри оброблюваного продукту на різних операціях збагачення. Ці ж параметри, крім того, складно регулювати [4, 5]. Тому перш за все необхідно виділити першочергові параметри для моделі та перевірити їх працездатність і тільки після цього ускладнювати модель додаванням до неї інших значень. На базі досвіду закордонних та вітчизняних фахівців для попередньої моделі секції збагачення було обрано у якості вимірюваних параметрів потужності двигунів млинів та гідроциклонів, густини продуктів технологічних механізмів, їх продуктивності та вміст магнітного заліза у зливі мокрих магнітних сепараторів. Вибір керуючих впливів для перетворення системи моніторингу в систему керування є ще більш складним, так як більшістю механізмів у реальних умовах виробництва складно, а іноді і неможливо керувати (наприклад, змінюючи частоту обертів барабану млина) [6-8]. Найбільш простим способом керування є регулювання об'єму технологічної води, що додається до живлення технологічних механізмів з метою контролю густини пульпи, тому для попередньої спрощеної моделі було обрано саме цей параметр з метою побудови залежностей між різними показниками роботи механізмів та стану оброблюваного продукту [9-11].

**Постановка задачі.** Метою дослідження обрано розробку моделі секції збагачення залізної руди застосовуючи середовище програмування PAC. Для досягнення вказаної мети були поставлені наступні задачі: обрати схему збагачення залізної руди та проаналізувати її; визначити конкретні вимірювані та керуючі параметри, що будуть вимірюватись; створити модель на базі математичних та логічних функцій з обмеженими можливостями по швидкодії та пам'яті PAC, трьох стадійної секції збагачення залізної руди з урахуванням вищевказаних задач.

**Викладення матеріалу та результати.** Для створення моделі роботи секції збагачення залізної руди було обрано середовище програмування Unity Pro XL фірми Schneider Electric. Створена модель базується на схемі збагачення, зображеній на рис. 1. Умовно вона поділяється на три стадії. У кожній стадії є власні особливості роботи і відповідно кожна з них містить різні технологічні механізми.

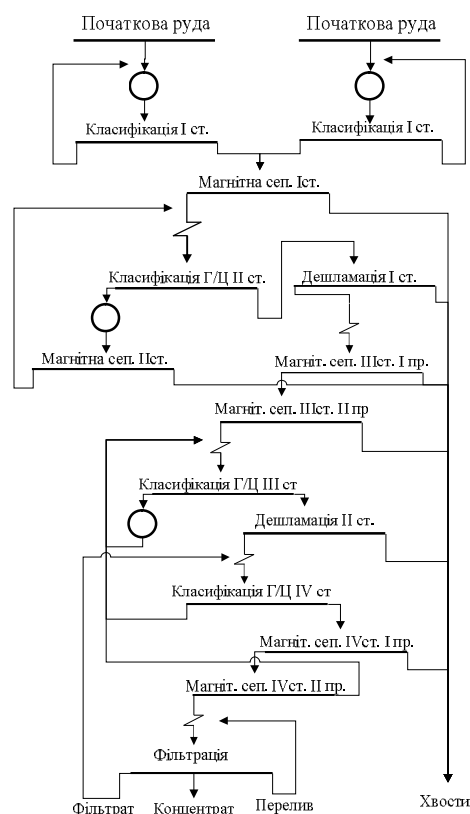


Рис. 1. Обрана схема секції збагачення залізної руди

Таким чином, перша стадія є стадією підготовки залізної руди до подальшої обробки і тому тут відбувається крупне подрібнення за допомогою замкненого циклу подрібнення-класифікації і відповідно присутні такі механізми, як млин, спіральний класифікатор та мокрий магнітний сепаратор. Друга стадія містить батарею гідроциклонів, мокрий магнітний сепаратор, млин та дешламатор. Третя стадія містить млин, мокрий магнітний сепаратор, дешламатор та дві батареї гідроциклонів, що працюють у складному рециклі (нижня частина рис. 1).

При моделюванні враховувалися параметри роботи технологічних механізмів та пульпи на різних етапах обробки, які можна найлегше виміряти у реальних умовах та мають кореляційний зв'язок з керуючими впливами, а саме – потужності двигунів млинів та гідроциклонів; густини пульпи на виходах гідроциклонів, класифікатора, дешламаторів та сепараторів; вміст магнітного заліза у зливах мокрих магнітних сепараторів; продуктивності технологічних механізмів. У якості керуючого впливу розглянуто регулювання об'єму технологічної води, що додається до технологічних механізмів у процесі роботи.

У створеній моделі роботи секції збагачення залізної руди використано математичні та логічні функції Unity Pro XL, а для моделювання збурюючих впливів було використано функцію «рандом». Так як на сьогодні не існує дійсно реального рандомайзера, функції реалізації випадкових чисел базуються на різних математичних законах розподілу. У даному конкретному випадку використано нормальний розподіл випадкових чисел. У створеній моделі було виділено параметри різних продуктів механізмів на певних проміжках секції та керовані параметри механізмів для стабілізації збагачувальних процесів. Відповідно було створено змінні типу REAL (з плаваючою крапкою) для опису величин аналогової природи у реальному часі.

Для візуалізації спостереження за параметрами перебігу технологічного процесу створено Operator Screen у середовищі розробки. На ньому зображено стилізовану схему з'єднання технологічних механізмів у обраній секції збагачення з підписами та дані щодо параметрів кожного механізму, що змінюються у реальному часі. Розроблений Operator Screen зображено на рис. 2.

Як приклад розглянемо параметри роботи окремого механізму та можливості його керування. Як бачимо з рис. 1 та рис. 2 найскладніший рецикл знаходиться у третій стадії, а саме у живленні батареї гідроциклонів з умовним позначенням 3.1. Основним його живленням є пульпа з другої стадії збагачення – злив мокрого магнітного сепаратора, проте крім цього до живлення додаються піски батареї гідроциклонів 3.2 та власні піски гідроциклонна 3.1, змелені у замкненому циклі млином 3. У даній ситуації величина густини оброблюваної пульпи є значно чутливою до збурюючих впливів і її стабілізація або оптимізація згідно вимог керування є досить складною. Розглянемо як змінюються густини пісків та зливу батареї гідроциклонів залежно від змінних умов роботи моделі та при регулюванні об'єму технологічної води, що додається до зумпфа гідроциклону.

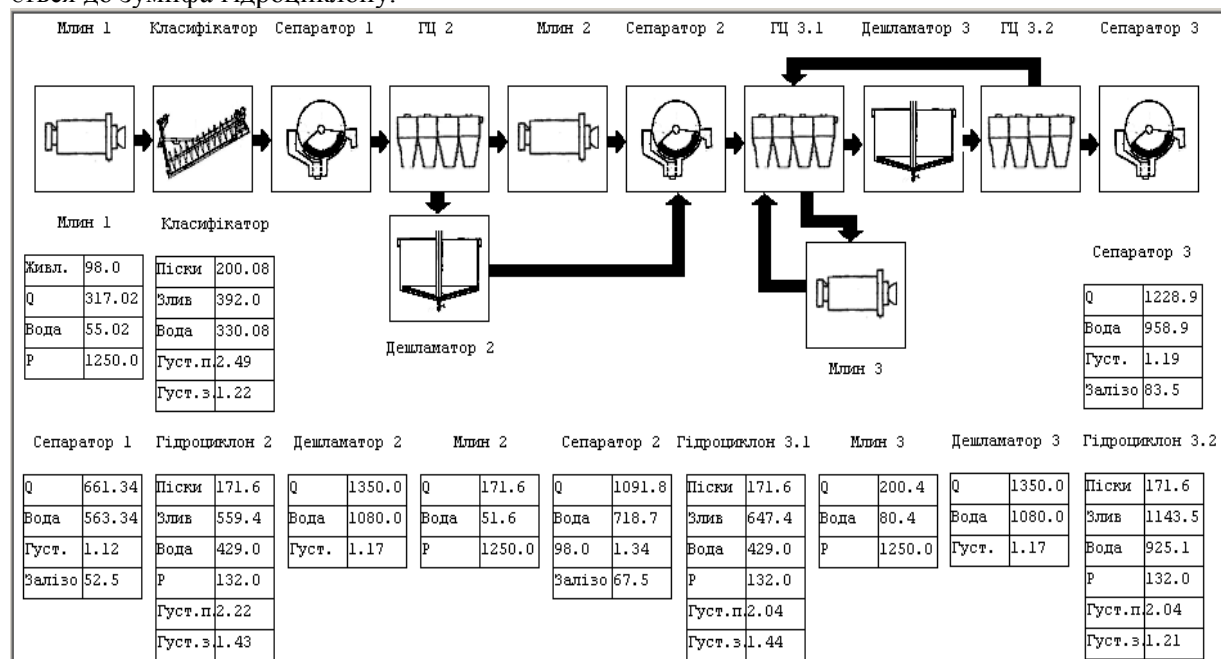


Рис. 2. Operator Screen розробленої моделі

Рис. 3 зображує фрагмент візуалізованого операторського екрану створеної моделі, що відображає характеристики роботи батареї гідроциклонів 3.1. У таблиці показано шість параметрів, а саме: продуктивності гідроциклону за зливом та пісками (т/год); об'єм води, що додається до зумпфа (т/год); потужність двигуна гідроциклону (кВт) та поточні густини зливу та пісків (т/м<sup>3</sup>). На рис. 3а зображено роботу батареї гідроциклонів у стабілізованому режимі, коли коливання характеристик живлення є незначним і сильно не впливає на показники роботи гідроциклонів. Рис. 3б ілюструє різке зменшення густини живлення, що відповідно при сталій продуктивності зменшує значення густин пісків та зливу. Рис. 3в показує як стабілізуються значення густин зливу та пісків шляхом зменшення об'єму води, що додається до зумпфа, а отже і підвищенням густини живлення.

a)		б)		в)	
Гідроциклон 3.1		Гідроциклон 3.1		Гідроциклон 3.1	
Піски	170.2	Піски	175.0	Піски	172.3
Злив	648.8	Злив	644.8	Злив	647.8
Вода	430.0	Вода	430.0	Вода	355.0
P	132.0	P	132.7	P	132.6
Густ.п.	2.08	Густ.п.	1.84	Густ.п.	2.05
Густ.з.	1.39	Густ.з.	1.14	Густ.з.	1.41

**Рис. 3.** Фрагмент операторського екрану для батареї гідроциклонів: *а* - стабільні показники роботи батареї гідроциклонів 3.1 без значних збурюючих впливів; *б* - показники роботи батареї гідроциклонів при зменшеній густині живлення, але сталій продуктивності; *в* - показники роботи батареї гідроциклонів при зміненому значенні регулюючого впливу – об'єму води

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Створена модель секції збагачення залізної руди дозволяє здійснювати моніторинг роботи технологічних механізмів та стану пульпи на різних ділянках секції збагачення у реальному часі. Система у першому наближенні враховує лише ті параметри роботи технологічних механізмів та стану пульпи, які найлегше виміряти та мають явну кореляційну залежність. У якості керуючих впливів на даному етапі обрано регулювання об'єму технологічної води, що додається до технологічних механізмів з метою зміни густини пульпи у різних збагачувальних операціях.

Дана модель передбачає візуалізацію процесу та моніторинг основних його параметрів вимірювати і закладає умови для подальшого перетворення моделі секції збагачення залізної руди у моделі системи керування цією секцією.

Напрямок подальших досліджень є детальніше дослідження можливостей моделювання контрольованих параметрів та регулюючих впливів збагачувальних процесів та удосконалення існуючої моделі додаванням до неї цих параметрів.

#### Список літератури

1. Morkun V. Optimization of the second and third stages of grinding based on fuzzy control algorithms / V. Morkun, O. Savytskyi, M. Tymoshenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №8. – P. 22–25.
2. Кондратець В.О. Обґрунтування системи комп'ютерної ідентифікації та регулювання розрідження пульпи у кульових млинах з циркулюючим навантаженням / В.О. Кондратець, О.М. Сербул // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2013. – Вип. 34. – С.45-50
3. Танатар А.И. Элементы промышленной автоматизации и их динамические свойства / Танатар А.И. - К.: Техніка, 1975.- 232 с.
4. Sbarbaro D. Advanced control and supervision of mineral processing plants / D. Sbarbaro, R. del Villar., 2010. – 311 p.
5. Кондратець В.О. Ідентифікація розрідження пульпи у млині, що подрібнює піски класифікатора з додатковою рудою / В.О. Кондратець // Вестник Херсонского нац. техн. ун-та.- 2014.- №3 (50).- С.305-310.
6. Бусленко Н.П. Математическое моделирование производственных процессов на цифровых вычислительных машинах / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1984. – 362 с.
7. Кочура Е.В. Моделирование и оптимизация управления качеством железорудного концентрата / Е.В. Кочура, А.Н. Марюга, В.С. Голод // Изв. ВУЗов. Горный журнал. – 1981. – №11. – С. 127-131
8. Пупена О.М., Ельперін І.В. Програмування промислових контролерів у середовищі Unity Pro: Навч. Посібник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2013. – 376 с.
9. John, Karl-Heinz IEC 61131-3: programming industrial automation systems: concepts and programming languages, requirements for programming systems, aids to decision-making tools / karl-Heinz John, Michael Tiegelkamp, p.cm Springer-Verlag Berlin Heidelberg – 2001, p. 350.
10. Morkun V. Distributed closed-loop control formation for technological line of iron ore raw materials beneficiation / V. Morkun, N. Morkun, V. Tron // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – №7. – P. 16–19.
11. Petruzella, Frank D. Programmable logic controllers / Franck D. Petruzella. – 4<sup>th</sup> ed. 2011, 396 p.
12. Деменков Н.П. нечеткое управление в технических системах: Учеб. Пособие / Н.П. Деменков; М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 200 с.
13. Bolton W. Programmable logic controllers. Fourth edition / W. Bolton, 290 p.
14. Bryan, L.A. Programmable controllers: theory and implementation / L.A. Bryan, F.A. Bryan.-2<sup>nd</sup> ed. p. cm. 1047.
15. Хан Г. А. Автоматизация обогатительных фабрик / Г. А. Хан, В. П. Каргушин, Л. В. Сорокер, Д. А. Скрипчак. – М.: Недра, 1974. – 280 с.

Рукопис подано до редакції 18.04.2018