

і валідації моделі, що робить прогнози припущення, виконується на етапі запуску системи, а під час експлуатації система функціонує дуже швидко. Модуль має простий і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, прогнозований діагноз виводиться з вказанням рівню вірогідності.

В ході подальших досліджень отримані висновки планується перевірити з застосуванням інших стратегій і методів штучного інтелекту, зокрема, штучних нейронних мереж прямого розповсюдження.

### Список літератури

1. Д. С. Полякова. «Этот хрупкий мир»: Украина – на 1-м месте по смертности от ишемической болезни сердца / Полякова Д.С. // Издательство «МОРИОН». – 2019.
2. Б. А. Корбинский. Консультативные интеллектуальные медицинские системы: классификации, принципы построения, эффективность / Б.А. Корбинский. // Врач и информационные технологии. – 2008. – С. 38–47.
3. Sanjiv J. Shah. Phenomapping for Novel Classification of Heart Failure With Preserved Ejection Fraction / Sanjiv J. Shah, Daniel H. Katz, Senthil Selvaraj. // Circulation. – 2015. – №131. – С. 269–279.
4. Edward Choi. Using recurrent neural network models for early detection of heart failure onset / Edward Choi, Andy Schuetz, Walter F Stewart, Jimeng Sun. // Journal of the American Medical Informatics Association. – 2017. – №24. – С. 361–370.
5. Л. Н. Ясницкий. Нейросетевая система экспресс-диагностики сердечно-сосудистых заболеваний / Л. Н. Ясницкий, А. А. Думпер, А. Н. Полещук. // Пермский медицинский журнал. – 2011. – №4. – С. 77–86.
6. Порівняльний аналіз методів оптимізації функціоналу якості моделей машинного навчання / Н. Н. Шаповалова, О. Г. Рибальченко, Д. І. Куропятник. // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць / національний університет Криворізький ; М-во освіти і науки України, ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг, 2018. – Вип. 46. – С. 104–112.
7. Луис Педро Коэльо. Построение систем машинного обучения на языке Python / Луис Педро Коэльо, Вилли Ричарт. 2-е издание / пер. с англ. Слинкин А. А. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 302 с.
8. Петер Флах. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных. / Петер Флах. // Учебник / пер. с англ. Слинкин А. А. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 408 с.
9. Л. Н. Ясницкий. Введение в штучний інтелект / Л. Н. Ясницкий. – видання 1-е. – Издательский центр «Академия», 2005. – 176 с.
10. Л. В. Забуранна. Оптимізаційні методи та моделі. Підручник. / Л. В. Забуранна, Н. В. Попрозман, Н. А. Клименко, О. І. Попрозман, С. В. Забуранний. – К.: \_\_, 2014. – 372 с.
11. В. В. Вітлінський, Наконечний С. І., Терещенко Т. О. Математичне програмування / В. В. Вітлінський, Наконечний С. І., Терещенко Т. О. // Навч.-метод. посібник для самост. вивч. дисц. – К.: КНЕУ, 2001. – 248 с.
12. Нейт Сильвер. Сигнал и Шум. Почему одни прогнозы сбываются, а другие – нет / Нейт Сильвер // Азбука-Аттикус, КоЛибри, 2015. – 400 с.
13. William M. Bolstad. Introduction to Bayesian Statistics / William M. Bolstad // 2nd Edition // Wiley-Interscience; 2nd edition.
14. Г. К. Вороновский. Генетичні алгоритми, штучні нейронні мережі і проблеми віртуальної реальності. / Г. К. Вороновский, Махотило К. В., Петрашев С. Н., Сергеев С. А. – Замовне. – Х.: ОСНОВА, 1997. – 112 с.

Рукопис подано до редакції 18.11.2019

УДК 622.7: 004.94

О.І. САВИЦЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., М.А. ТИМОШЕНКО, асистент  
Криворізький національний університет

## РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СЕКЦІЄЮ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІРТУАЛЬНИХ АНАЛІЗАТОРІВ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ЗАСОБАМИ ПРОГРАМОВАНОГО КОНТРОЛЕРА

**Мета.** Метою даної роботи є створення моделі ділянки секції збагачувальної фабрики з використанням віртуальних аналізаторів при моделюванні засобами програмованого контролера для 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 реєктивів 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 ПЛК. В умовах мультиагентного керування модель повинна розбиватись на окремі частини для кожного агента керування.

**Методи дослідження.** Підтверджено можливість застосування нетрадиційного програмного середовища для моделювання роботи секції збагачувальної фабрики. У той час коли для створення моделі об'єкту керування зазви-

чай використовуються пакети чисто математичного характеру, дана стаття розглядає можливість застосування для поставленої мети середовища для програмування ПЛК, 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 використанням віртуальних аналізаторів при моделюванні засобами програмованого контролера з ціллю контролю основних показників роботи технологічних агрегатів та стану пульпи на різних етапах збагачення.

**Практична значимість.** Обґрунтовано застосування середовища програмування ПЛК 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 з використанням віртуальних аналізаторів при моделюванні засобами програмованого контролера дозволяє контролювати найважливіші параметри перебігу збагачувальних процесів та стану оброблюваного продукту. 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, ПЛК, Unity Pro XL, віртуальні аналізатори.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-49-117-121

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** На сьогодні головна мета виробництва – скорочення виробничих витрат. Повна оптимізація автоматизованого управління, використання вдосконалених систем та сучасного обладнання підвищують енергоефективність та фінансові показники.

На збагачувальному заводі існує безліч технічних процедур, а принципи їх управління вимагають знання фізичних умов та механізмів, різного обладнання та точних розрахунків. Крім того, вони взаємопов'язані і мають прямий вплив на спільну роботу один одного - неефективна робота над технічним механізмом призводить до неефективної роботи над наступними процесами. Аналіз результатів використання класичних автоматизованих методів управління показав, що в більшості випадків важливо контролювати окремі механізми, виходячи з того, що інші відповідають нормі. Управління секцією збагачувальної фабрики, як правило, дозволяє охопити весь процес, проаналізувати технічні зв'язки між машинами та їх вплив на загальну роботу секції [1-3].

**Аналіз досліджень та публікацій.** Для вирішення проблем дослідження процесів збагачення залізної руди загалом необхідно створити загальну модель системи управління, яка повинна постійно визначати та контролювати властивості об'єкта управління за допомогою зворотного зв'язку за наявності достовірної інформаційної системи. Такі системи завжди підтримуються в умовах принципової невизначеності щодо розвитку та неповного врахування. Побудова формальних моделей для більшості процесів збору руди може здатися складним.

Тому необхідно періодично та систематично вирішувати складні проблеми, щоб створити модель системи управління секцією збагачувальної фабрики. Тому, перш ніж створювати модель системи управління, рекомендується побудувати модель моніторингу та аналізу та перевірити існуючі параметри, і лише у випадку успішних зв'язків між методами моделювання та отриманими результатами слід проводити моделювання прямого керування.

Важко оцінити більшість технічних механізмів секції збагачення та параметрів продукту, що переробляється в різних операціях збагачення. Також важко відрегулювати ці параметри [4, 5]. Тому спочатку необхідно вибрати основні параметри моделі та перевірити працездатність, а лише потім ускладнити модель, додавши інші значення. На основі досвіду зарубіжних та вітчизняних фахівців для попередньої моделі збагачення були обрані млини та двигуни гідроциклону, а у якості їх параметрів – активну потужність, густину продукту, їх продуктивності та вміст магнітного заліза. Вибір керуючих ефектів має вирішальне значення для перетворення системи моніторингу в систему управління, оскільки це важко, а іноді і неможливо (наприклад, шляхом зміни швидкості барабана млина) у реальних виробничих умовах [6-8]. Найпростіший спосіб контролю - це регулювання об'єму технологічної води, який додається в подачу до технологічних механізмів для контролю густини, тому для попередньої спрощеної моделі цей параметр був обраний для побудови взаємозв'язків між різними показниками продуктивності та станом оброблюваного продукту [9 - 11].

**Постановка задачі.** Метою дослідження була розробка моделі збагачення залізної руди за допомогою програмного середовища PAC. Для досягнення цієї мети було поставлено такі завдання: вибір схеми збагачення залізної руди та її аналіз; визначення конкретних вимірюваних та керованих параметрів, що підлягають вимірюванню. Враховуючи вищезазначені функції, трьохстадійна секція збагачення залізної руди вимагає побудови моделі на основі математичних та логічних функцій з обмеженими можливостями щодо продуктивності та пам'яті PAC.

**Викладення матеріалу та результати.** Для моделювання секції збагачення залізної руди було обрано середовище програмування Schneider Electric Unity Pro XL. Традиційно секція збагачення залізної руди поділяється на три етапи. Кожен етап має свої особливості роботи, і в результаті кожен з них вимагає різних технічних підходів. Першим етапом є підготовка залізної руди до подальшої переробки, тому він складається з таких операцій, як подрібнення, класифікація та мокра магнітна сепарація із закритим циклом класифікації. Друга фаза включає гідроциклонну батарею, мокрий магнітний сепаратор, млин і дешламатор. Третя стадія складається з млина, мокрого магнітного сепаратора, дешламатора та двох батарей гідроциклонів зі складними рециклами.

На різних етапах моделювання обробка враховувала технічні механізми та параметри маси, які можна легко виміряти в реальних умовах і співвіднести з керуючими ефектами, такими як потужність млина і двигуна гідроциклону, густина у зливах гідроциклонів, класификаторів, дешламаторів та сепараторів, вміст магнітного заліза у зливах мокрих магнітних сепараторів. Контроль кількості переробленої води, що додається до технічних процесів, вважається регулюючим ефектом.

Для системи керування багатостадійним процесом було розглянуто можливість застосування методів оптимального керування та синтезу. Коли можливо точно визначити об'єкт управління, можна уникнути складних процедур коригування системи управління за допомогою контролера з внутрішньою конструкцією. Ця ідея є відправною точкою для подальших розробок і пізніше отримала назву Internal Model Control (IMC), оскільки об'єктна модель явно є внутрішньою частиною контролера. Тобто, якщо у блоку управління є об'єктна модель, то теоретично можлива ідеальна якість управління (перерегулювання, зміни процесу, відсутність мінімального часу регулювання).

Суть цього підходу полягає в тому, що виявлення структури об'єкта та введення його до регулятора призводить до якісної реакції на зміну роботи, одночасно якісно реагуючи на зовнішні порушення.

Для вирішення проблеми оптимального функціонування системи управління здійснюється основний опис заявлених цілей управління та попередньої інформації про систему - її структуру, динаміку об'єктів та блоки управління, робочі алгоритми тощо. Метою адаптивної системи є забезпечення необхідних показників продуктивності системи за умов існування невизначеності, а в процесі її синтезу стратегії пошуку оптимальних керуючих ефектів можуть бути визначені та реалізовані шляхом вибору або зміни параметрів керування параметрами структури системи. Ці поняття слід формалізувати у вигляді математичної постановки проблеми.

Процедуру оптимізації можна здійснити за допомогою методу оптимізації параметричного синтезу. Він призначений для пошуку правильних налаштувань елементів управління в автоматичній системі управління. Відомі математичні прийоми аналізу та синтезу об'єктів мають обмежений обсяг, оскільки вони призначені для вирішення певного обмеженого класу завдань.

Підхід, заснований на використанні параметричного оптимального синтезу, є універсальним. Його можна використовувати для опису будь-яких систем: лінійних, нелінійних, безперервних, дискретних, диференціальних, алгебраїчних або будь-яких комбінацій логічних рівнянь. Параметричний метод синтезу дозволяє синтезувати та аналізувати лінійні та нелінійні системи для широкого кола об'єктів управління: одновимірних, багатовимірних, стаціонарних, нестационарних, квазістаціонарних, детермінованих та випадкових.

Операційна модель збагачення залізної руди використовувала математичні та логічні функції Unity Pro XL та використовувалась для моделювання реакції на випадкові збурення. Оскільки справжніх рандомізаторів на сьогодні немає, функції реалізації випадкових чисел засновані на різних законах математичного розподілу. У цьому конкретному випадку використовується нормальний розподіл випадкових чисел. У створеній моделі параметри оброблюваного продукту та робочого стану механізмів визначаються з певним періодом дискретизації, а регулюю-

чі дії механізмів використовуються для стабілізації процесів збагачення. Відповідно, були створені змінні REAL (з плаваючою точкою) для опису аналогових значень у реальному часі.

Екран оператора був створений у середовищі розробки для візуалізації моніторингу перебігу процесів. Була створена стилізована схема взаємозв'язку технічних механізмів обраної секції збагачення з відображенням даних про параметри кожного механізму та оброблюваного продукту в реальному часі. Анімаційна таблиця для розробленої програми, що показує значення параметрів у реальному часі, показана на рис. 1

Name	Value	Type
I3	83.5	REAL
Ds3	1.19	REAL
Ws3	958.9	REAL
Qs3	1228.9	REAL
Dhc3_2_o	1.21	REAL
Dhc3_2_u	2.04	REAL
Phc3_2	132.0	REAL
Whc3_2	925.1	REAL
Qhc3_2_o	1143.5	REAL
Qhc3_2_u	171.6	REAL
Dd3	1.17	REAL
Wd3	1080.0	REAL
Qd3	1350.0	REAL
Pm3	1250.0	REAL
Wm3	80.4	REAL
Qm3	200.4	REAL
Dhc3_1_o	1.41	REAL
Dhc3_1_u	2.05	REAL
Phc3_1	132.6	REAL
Whc3_1	355.0	REAL
Qhc3_1_o	647.8	REAL
Qhc3_1_u	172.3	REAL
I2	67.5	REAL
Ds2	1.34	REAL
Ws2	718.7	REAL
Qs2	1091.8	REAL
Pm2	1250.0	REAL
Wm2	51.6	REAL
Qm2	171.6	REAL
Dd2	1.17	REAL
Wd2	1080.0	REAL
Qd2	1350.0	REAL
Dhc2_o	1.43	REAL

Рис. 1. Анімаційна таблиця розробленої моделі

Як приклад, розглянемо параметри роботи окремого механізму та його можливість ним керувати. Як видно з рис. 2, найскладніший рецикл знаходиться на третьому етапі, а саме на гідроциклоні з символом 3.1. Основне його живлення надходить з мокрого магнітного сепаратора з другої стадії збагачення разом із пісками батареї гідроциклонів 3.2 та власними пісками гідроциклону 3.1, що знаходиться у закритому контурі з млином 3. Розглянемо, як змінюється щільність пісків та зливу гідроциклону залежно від змодельованих умов роботи та об'єму технологічної води, що додається у зумпф гідроциклону.

На рис. 2 показана частина візуалізованого екрана оператора згенерованої моделі, що показує продуктивність магнітного сепаратора першої стадії збагачення. У таблиці наведено чотири параметри, а саме: продуктивність  $Q$  (т/год) сепаратору; кількість води, що додається у живлення ( $\text{м}^3/\text{год}$ ), густина продукту в зливі ( $\text{т}/\text{м}^3$ ) та приблизний орієнтований вміст магнітного заліза у про-

дукті магнітного сепаратора. На рис. 2а показаний сепаратор в режимі стабілізації, коли коливання характеристик живлення незначні і не впливають суттєво на продуктивність механізму. Рис. 2б ілюструє різке збільшення густини живлення, що впливає на стабільність режиму роботи технологічного механізму. На рис. 2в показано, як стабілізується значення густини за рахунок збільшення кількості води, що додається до сепаратора.

а) Сепаратор 1		б) Сепаратор 1		в) Сепаратор 1	
Q	661.34	Q	658.73	Q	662.7
Вода	563.34	Вода	490.19	Вода	570.95
Густ.	1.12	Густ.	1.43	Густ.	1.1
Залізо	52.5	Залізо	51.7	Залізо	52.6

Рис. 2. а - стабільні показники роботи магнітного сепаратору першої стадії збагачення без значних збурюючих впливів; б - показники роботи магнітного сепаратору при збільшеній густині живлення, але сталій продуктивності; в - стабілізовані показники роботи магнітного сепаратору при зміненому значенні регулюючого впливу – об'єму води

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Технологія моделювання секції для збагачення залізної руди дозволяє в режимі реального часу відслідковувати роботу технічного обладнання та стан продукту на різних етапах збагачення. Система в першому наближенні враховує лише параметри технічних механізмів і стан продукту, які легко виміряти і що мають

чітку кореляційну залежність. На цьому етапі в якості керуючого впливу вибирають контроль кількості технологічної води, що додається до технологічних механізмів.

Розроблена модель системи управління даної секції збагачення залізної руди забезпечує візуалізацію цього процесу проектування та моніторинг його основних параметрів для вимірювання та визначення умов для подальшої розробки моделі.

Вдосконалення моделі автоматизованої системи керування є напрямком подальших досліджень моделювання контрольованих параметрів та керуючих ефектів процесів збагачення.

### Список літератури

1. **Morkun V.** Optimization of the second and third stages of grinding based on fuzzy control algorithms / V. Morkun, O. Savitskyi, 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. Марюта, 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 / Franf 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. Картушин, Л. В. Сорокер, Д. А. Скрипчак. – М. : Недра, 1974. – 280 с.

Рукопис подано до редакції 12.11.2019

УДК 62-233.3

О.А. ГУЛІВЕЦЬ, канд. техн. наук, доц., А.О. БОНДАРЕЦЬ, ст. викладач,  
С.Ю. ОЛІЙНИК, асистент  
Криворізький національний університет

## ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДЕМПФУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ У ЗАЧЕПЛЕННІ КОЛІС ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

**Мета.** Метою даної роботи є створення високоефективного та надійного в роботі пристрою для зменшення динамічних навантажень у зачепленні коліс зубчастих передач.

**Методи.** Для досягнення поставленої мети застосовано метод конструкційного демпфування коливань навантаження зубчастої передачі на основі використання пружних елементів, які установлені між зубчастим колесом та півмуфтою.

**Наукова новизна.** На основі виконаних досліджень розроблено оригінальний метод конструкційного демпфування динамічних навантажень у зачепленні коліс зубчастих передач.

**Практична значимість.** Використання розробленого пристрою в приводах механізмів і машин, де виникають короткочасні значні перенавантаження, які залежать від режиму роботи двигуна та виконуючого механізму, дозволить суттєво зменшувати динамічні навантаження в зачепленні коліс зубчастих передачах, спрощувати їх виготовлення, монтаж та демонтаж.

**Результати.** Зубчасті передачі у приводах ряду механізмів внаслідок особливостей їх робочого процесу зазнають значних короткочасних перевантажень, які суттєво впливають на довговічність їх роботи. Тому розробка пристроїв для зменшення динамічних навантажень в зачепленні коліс передач є актуальною науково-практичною зада-