



## ВПРОВАДЖЕННЯ ШІ НА ПОЛІГРАФІЧНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

*Король А.Л., аспірант, кафедра МСТ, ХНУРЕ*  
*Манаков В.П., професор, кафедра МСТ, ХНУРЕ*

**Abstract.** *This paper substantiates the feasibility of employing specialized artificial intelligence models for production scheduling and operational control in the printing industry. An architecture analogous in operating principle to autopilot subsystems is proposed: compact, designed to directly map production system states into control actions, and free from the computational overhead associated with processing extraneous information, such as natural language.*

**Keywords:** *specialized AI, production scheduling, deep reinforcement learning, schedule optimization.*

Останніми роками промисловість активно експериментує з великими, середніми та маленькими мовними моделями, однак їхня архітектура принципово не пристосована для прямого оперативного управління. Наявність токенизаторів, шарів генерації тексту та універсальних знань створює значні обчислювальні накладні витрати, підвищує час на відповідь та вимагає додаткової постобробки. Для систем які допомагають керувати підприємством в реальному часі ці моделі не підходять.

Альтернативою виступають спеціалізовані моделі управління, архітектурно близькі до підсистем автопілоту чи автономних роботів. Вони працюють виключно з числовими та структурованими даними, оптимізують прямі управляючі дії та не витрачають ресурси на розуміння чи генерацію контенту. Їхня здатність до інтеграції з класичними методами перевірки та оптимізації роблять їх оптимальним рішенням для промислового планування.

Запропонована система будується за принципом замкнутого контуру предиктивного управління і складається з трьох взаємопов'язаних шарів.

1. Шар сприйняття станів (State Encoding). Моделі надходять лише структуровані сигнали: завантаженість обладнання, черги замовлень, технологічні маршрути, наявність матеріалів, статуси технічного обслуговування, календар змін. Дані нормалізуються та кодується у компактний вектор стану без використання лінгвістичних парсерів або токенизаторів.

2. Ядро прийняття рішень (Policy Network). Використовується спеціалізована нейронна архітектура (наприклад, графові нейронні мережі або глибоке навчання з підкріпленням). Модель безпосередньо відображає вектор стану у набір управляючих дій: призначення замовлень на машини, черговість переналагоджень, коригування змінних графіків. Обчислювальна складність мінімізована шляхом квантування та видалення універсальних шарів, характерних для мовних моделей.

3. Шар математичної верифікації (Constraint Verification). Оскільки промислове управління не допускає помилкових дій, вихід моделі проходить фільтр класичних алгоритмів (цілочисельне програмування, обмежене планування і т.д.). Верифікатор перевіряє відповідність технологічним послідовностям, контрактним дедлайнам та фізичним обмеженням ліній. Тільки після підтвердження рекомендації передаються оператору в якості порад до виконання дій.



Уся інфраструктура розгортається локально на підприємстві, не вимагає підключення до інтернету, а також це підвищує інформаційну безпеку бізнесу.

Розглянемо типову ситуацію: під час друку видання на лінії друку ламається, одночасно надходить пріоритетне замовлення на друк іншого видання, а постачальник попереджає про затримку доставки паперу.

У класичній схемі: планувальник збирає дані з різних джерел, вручну перераховує графік у Excel або ERP та узгоджує зміни з керівниками. Процес займає певний час, а частина замовлень йде в стан очікування.

Зі спеціалізованою ШІ моделлю управління: система в реальному часі фіксує зміну станів ліній, черги замовлень та логістичні сигнали. Policy Network миттєво генерує кілька варіантів перерозподілу навантаження, оцінюючи їх за цільовою функцією (мінімізація сумарного простою + штрафи за порушення дедлайнів). Верифікаційний шар відсіює технічно неможливі комбінації. Протягом кількох секунд оператор отримує готову пораду до виконання, тобто скорегований розклад з чіткими діями. Це може бути, переведення друку на іншу лінію друку, з урахуванням переналадки, задіяння резервного складу з папером або іншого постачальника паперу з трохи вищою ціною за папір.

Рішення не містить «інтерпретацій» або текстових пояснень – це прямі поради до виконання, людина лише затверджує або коригує пріоритети, що зберігає принцип human-in-the-loop без втрати швидкості.

Переваги спеціалізованих моделей перед універсальними ШІ-рішеннями:

- мінімальний обчислювальний «обвів»: дозволяючи запуск на звичайному обчислювальному або промисловому обладнанні;
- детермінованість та безпека: верифікація класичними методами гарантує виконання всіх технологічних та договірних обмежень, усуваючи ризик «галюцинацій» або неоднозначних інтерпретацій;
- швидкість <1 с: пряме відображення станів у дії усуває затримки мережі та постобробки, що критично для динамічного планування.
- економічна та інформаційна ефективність та безпечність: розгортання на обладнанні підприємства, відсутність абонплати за використання ШІ та мінімальне енергоспоживання.

Перехід від універсальних мовних моделей до спеціалізованих систем управління, архітектурно близьких до автопілотів, є технологічно обґрунтованим кроком для цифровізації поліграфічного виробництва. Такий підхід зберігає інтелектуальну гнучкість ШІ, позбавляючи його надлишкової лінгвістичної складності, що робить систему легкою, безпечною та придатною для роботи в реальному часі.

#### Список літератури

1. Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2022). Artificial intelligence applications for industry 4.0: A literature review. *Journal of Industrial Integration and Management*, 7(01), 83-11. <https://doi.org/10.1142/S2424862221500045>.
2. Zhang, C., Wang, W., & Liu, Q. (2023). Deep reinforcement learning for flexible job shop scheduling: A survey. *Computers & Industrial Engineering*, 175, 108934. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108934>.