

ЗЕНКІН МИКОЛА

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0002-8840-0572>e-mail: nikolay_zenkin@ukr.net**ШИМКО БОГДАН**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0009-0008-3045-9062>e-mail: boghdan.shimko@gmail.com**ШОСТАЧУК ОЛЕКСАНДР**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0002-5812-0967>e-mail: o.shostachuk@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА НАЛАШТУВАННЯ ПРИВОДІВ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН У РЕАЛЬНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Спеціальна увага приділяється поліпшенню приводів багатофарбових рулонних друкарських машин за вимогами до критеріїв приведення друку, які виконують критичну роль у процесі друкування примірників високої якості. Наведено вимоги для отримання якісного друку на багатофарбових рулонних друкарських машинах, шляхи вдосконалення наявних приводів на основі результатів моделювання, а також самі результати моделювання приводів багатофарбових рулонних друкарських машин.

Ключові слова: багатофарбові рулонні друкарські машини, приведення друку, моделювання приводів, оптимізація конструкції, реальні умови експлуатації.

ZENKIN MYKOLA, SHYMKO BOHDAN, SHOSTACHUK OLEKSANDR
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

USE OF MODELING RESULTS TO IMPROVE THE DESIGN AND SETUP OF PRINTING MACHINE DRIVES IN REAL OPERATING CONDITIONS

This article discusses the intricacies of increasing the productivity of multi-color web presses by using the power of performance modeling. This advanced method plays a key role in optimizing and improving the complex systems that underpin modern printing technology, including the design and configuration of drives. By simulating various scenarios and conditions, engineers can predict system behavior and identify potential weaknesses, ensuring that the final product meets the rigorous demands of printing.

The existing drive system is one of the key components of any technical system that determines its performance, reliability, energy efficiency, and product quality. Improving the design and customization of existing drives is an integral part of the engineering process that helps to increase machine efficiency. One of the modern tools actively used in engineering is computer modeling. In this article, we will look at its role in improving the drives of multi-color web presses and meeting print quality requirements.

This article is devoted to studying the nuances of performance modeling in the context of multicolored web presses. It discusses in detail the importance of accurate color reproduction, consistent image quality, and minimizing environmental impact, which are the primary objectives in today's dynamic printing services market. The article emphasizes the role of computer modeling in achieving these goals and discusses the specific challenges such systems face in their operation.

The main part of the article is devoted to the application of modeling results to improve the performance of existing drives in real-world conditions. The article explains how these models can enhance the design and configuration of drive systems, thereby enhancing the overall efficiency and reliability of the printing process. Key areas of focus include minimizing vibrations, increasing productivity, reducing power consumption, improving print quality, increasing tension control accuracy, and maintaining an optimal microclimate around drive components.

The study is supported by empirical data and mathematical models, which serve to illustrate the tangible benefits of employing resultative modeling. For instance, the relationship between the speed of the drive system and various parameters such as the base speed, power, torque, and the number of colors is presented in equation 1. By systematically adjusting these variables, manufacturers can significantly enhance the performance of their printing machines.

The study's results, presented in tabular form, highlight the impact of modeling on key parameters like vibration reduction, increased productivity, energy savings, improved print quality, and enhanced reliability. The outcomes of the modeling serve as the foundation for practical validation and further refinement, tailored to the unique operating conditions of each drive.

The article concludes by emphasizing the importance of a balance between theoretical modeling and practical testing to ensure the accuracy and applicability of proposed innovations. The integration of this approach can lead to significant progress in the printing industry, contributing to improved product quality, lower operating costs, and a reduced environmental impact.

By providing a comprehensive overview of the modeling process and its impact on printing technology, the article aims to foster a deeper understanding of the interaction between technology and practical engineering solutions in pursuing excellence in the printing industry. The modeling results help to improve print quality and multicolor web press productivity, reduce energy and material costs, and increase drive reliability and durability. Using simulation results is a key tool in improving the design and tuning of multi-color web press drives. It helps to reduce vibration, improve positioning accuracy, increase energy efficiency, minimize ink consumption, improve print quality, extend service life, support innovation, and reduce maintenance costs. These approaches allow companies to provide their customers with more reliable, cost-effective, and environmentally friendly solutions that meet today's market demands.

Keywords: multicolour web presses, drive modelling, design optimisation, real-world conditions.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Моделювання, орієнтоване на результат, є потужним інструментом для оптимізації та вдосконалення складних систем, таких як приводи багатофарбових рулонних машин, які піддаються впливу реальних умов

експлуатації. Цей підхід дозволяє інженерам аналізувати й прогнозувати поведінку системи за різних сценаріїв, тим самим сприяючи вдосконаленню методів проєктування і налаштування. Це своєю чергою відіграє вирішальну роль у задоволенні суворих вимог сучасних технологій друку. Моделюючи взаємодію між різними компонентами системи приведення, інженери можуть виявити потенційні вузькі місця та ділянки, схильні до зносу. Таке розуміння допомагає гарантувати, що система зможе підтримувати точний контроль над рухом задрукованого матеріалу і нанесенням фарби, тим самим зменшуючи ймовірність появи дефектів при друці. Крім того, орієнтоване на результат моделювання можна використовувати для оцінки впливу факторів навколишнього середовища, таких як температура, вологість і механічне навантаження, на продуктивність системи приведення. Моделюючи ці умови, інженери можуть розробляти надійні рішення, здатні витримати суворі умови реального використання. Наприклад, модель може передбачити, як зміни натягу та швидкості впливають на стабільність рулону задрукованого матеріалу та якість відтвореного зображення. Таке розуміння уможливує реалізацію вдосконалених алгоритмів керування, які можуть динамічно підлаштовувати параметри приводу для підтримання оптимальної продуктивності незалежно від зовнішніх впливів.

Застосування моделей, орієнтованих на результат, значно скорочує час і витрати, пов'язані з фізичним прототипуванням і тестуванням. Моделюючи різні сценарії експлуатації, інженери можуть швидко оцінити ефективність різних модифікацій і налаштувань конструкції без необхідності проведення дорогих і трудомістких експериментів. Цей ітеративний процес моделювання, аналізу та вдосконалення призводить до створення більш ефективних і надійних продуктів, які краще задовольняють потреби кінцевих користувачів.

Результати моделювання допомагають удосконалити конструкцію та конфігурацію обладнання у реальних умовах експлуатації. Використовуючи передові технології моделювання, інженери можуть оптимізувати продуктивність системи накопичення, підвищити ефективність і знизити витрати на розробку. Попри очевидні переваги використання результатів моделювання, існують і потенційні недоліки, які необхідно усунути. Ці проблеми потребують ретельного вивчення та вирішення, щоб повною мірою реалізувати переваги цього підходу в контексті вдосконалення приводних систем для багатоколірних рулонних машин.

Аналіз досліджень та публікацій

В роботі [1] наведено дані про зрозумілі та докладні визначення термінів, які використовуються у різних аспектах видавничого бізнесу. Праця [2] містить інформацію про конструкцію, принцип роботи, налаштування та технічне обслуговування обладнання. О.І. Пушкар, С.М. Грабовський та М.М. Оленич [3] розглядають різні технічні процеси, які застосовуються при виробництві друкованої продукції, що є ключовим аспектом у сучасній індустрії. А.С. Гордєєва [4] зосереджується на обладнанні, використаному у видавничо-поліграфічному виробництві. О.В. Гуштин [5] розкриває процеси, які стосуються прикладної механіки, зокрема надає інформацію про технічні аспекти створення частин машин. С.Т. Пацера [6] у своїй збірці лекцій зі системно-структурної оптимізації процесів обробки на верстатах з ЧПК надає інформацію з іншого напрямку, який стосується роботи на комп'ютеризованих системах. Цей підхід допомагає підвищити якість виробництва, знизити час виконання завдань і поліпшити організацію роботи.

А.В. Кудряшова [7] фокусується на методології інформаційних технологій, які використовуються для формування якості післядрукарських процесів та рівня зацікавленості книгою. Це дослідження має важливе значення для оптимізації поліграфічних процесів, оскільки якість післядрукарської обробки є одним із критичних елементів якісного друку. Л.Я. Маїк, Б.М. Ковальський, І.З. Миклушка [8] розглядають інноваційні системи, які використовуються у поліграфії. Ця робота має на меті розширення знань про цифрові технології, які є основою для створення якісних поліграфічних продуктів. Т.С. Голубник [9] зосереджується на спеціальних методах поліграфії, які є актуальними на сьогоdnішньому ринку. В.Б. Репета і В.В. Шибанов [10] надають інформацію про різні матеріали, які використовуються у цифровому друці, а також про відповідні технології. Це допомагає фахівцям у поліграфії розуміти, як різні компоненти впливають на якість друкованого продукту. С. Гавенко та М. Лабєцька [11] підкреслюють важливість оптимізації цих процесів для підвищення продуктивності та якості.

З усіх наведених джерел, особливо актуальним є використання результатів моделювання для вдосконалення конструкції та налаштування приводів багатофарбових рулонних друкарських машин. Багатофарбовий друк є складним і важливим процесом, який вимагає високої точності та надійності. Моделювання допомагає передбачити та усунути можливі проблеми, що можуть виникнути під час експлуатації, таким чином підвищуючи якість друку та ефективність роботи. Це є ключовим аспектом, який забезпечує відповідність між теоретичними розробками та практичними результатами, що є життєво важливим у швидкозмінному світі поліграфії.

Формулювання цілей статті

Мета роботи – заглибитися в тонкощі оптимізації конструкції та конфігурації приводів у багатофарбових рулонних друкарських машинах і у використанні результатів моделювання для проєктування та налаштування систем приводу.

Виклад основного матеріалу

Загальновідомо, що друкарство – це один із найбільш динамічних ринків, який постійно змінюється під впливом інноваційних технологій. Якщо ми говоримо про удосконалення приводів багатофарбових рулонних друкарських машин, то однією із ключових задач є підвищення якості друку, зниження витрат на

виробництво та зменшення впливу на довкілля. Результативне моделювання відіграє вирішальну роль у досягненні цих цілей, оскільки воно дозволяє оптимізувати конструкцію та налаштування приводів, враховуючи реальні умови експлуатації [1].

Багатофарбові рулонні друкарські машини – це поліграфічні апарати, які застосовуються для друкування на різних матеріалах, таких як папір, пластик, текстиль, метал та інші [1]. Їхня основна відмінна особливість – можливість задруковування на високих швидкостях з одночасним нанесенням кількох кольорів на обидві сторони задруковуваного матеріалу. Ці машини є складними механізмами, які вимагають точного налаштування приводів для забезпечення високої якості друку, стабільної роботи та мінімізації витрат не тільки на матеріали та енергію, а і на обслуговування цих машин.

Для отримання якісного друку на багатофарбових рулонних друкарських машинах є низка основних вимог:

1. Відтворення заданої гамми кольорів.
2. Лінійність і стабільність відтвореного зображення.
3. Мінімально необхідний шар фарби.
4. Відсутність вібрацій і коливань.
5. Максимальна продуктивність.

Комп'ютерне моделювання є одним із найбільш ефективних інструментів, який використовується при проектуванні, аналізі та налагодженні приводів. Це дозволяє інженерам передбачати поведінку системи, яка працює на різних режимах, перевіряти її на відповідність технічним параметрам, визначати місця можливих проблем та оптимізувати її роботу, враховуючи різні фактори, такі як зміна навантажень, умов середовища, технічного стану тощо [2].

Для удосконалення приводів багатофарбових рулонних друкарських машин, інженери використовують результати комп'ютерного моделювання на різних етапах:

1. Проектування: інженери створюють віртуальні моделі приводів, які допомагають вибрати найбільш оптимальні компоненти, їх розташування, параметри роботи та кінематичні схеми. Це дозволяє мінімізувати час на розробку, знизити кількість прототипів і, відповідно, фінансові витрати.

2. Аналіз: під час цього етапу моделі надають інформацію про поведінку приводу під час роботи, розподілення навантажень, рівнів вібрацій, тепловіддачі, тертя, деформацій та інші фізичні явища. Це допомагає ідентифікувати можливі проблеми, які можуть вплинути на якість друку.

3. Оптимізація: використовуючи отримані дані, інженери можуть внести зміни до конструкції приводу, змінити його налаштування, а також обрати найбільш раціональні матеріали, щоб досягти необхідного рівня якості друку.

4. Налагодження: моделювання також використовується при налагодженні приводів на заводі, що дозволяє швидко і точно відрегулювати їхні параметри, щоб відповідати вимогам до якості друку. Це є особливо важливим при переході на нові матеріали, зміні умов роботи або після капітального ремонту.

5. Підтримка: у процесі експлуатації, комп'ютерне моделювання допомагає діагностувати проблеми, планувати технічне обслуговування, а також передбачати можливі збої, які можуть призвести до погіршення якості друку [3].

Приклади удосконалень, які можна отримати за допомогою моделювання:

- Вибір оптимальних частотно-крутних характеристик електродвигунів, які мінімізують вібрації при роботі на різних режимах.

- Розробка систем подачі фарби, які забезпечують рівномірну подачу фарби на формний циліндр.

- Аналіз термічних деформацій, які можуть впливати на точність друку під час тривалої роботи.

- Оптимізація систем натягу рулонів, щоб забезпечити стабільність і лінійність друкованого зображення.

- Підбір підшипників, які здатні працювати в умовах високих навантажень і швидкості.

- Розробка систем контролю та регулювання, які можуть відстежувати і коригувати параметри роботи приводу в режимі реального часу.

Приводи багатофарбових рулонних друкарських машин працюють у складних умовах, які визначаються високими навантаженнями, швидкістю руху, точністю позиціонування, рівномірною подачею фарби, а також підвищеними вимогами до якості друку. Мінімізація вібрації, зниження рівня шуму, підвищення енергоефективності - ці і багато інших аспектів є невід'ємними частинами розвитку цієї галузі.

Результативне моделювання є інструментом, який допомагає інженерам і технічним спеціалістам передбачити поведінку приводів на етапі їх розробки. Це дозволяє:

- Виявити і усунути можливі проблеми на ранніх стадіях, до початку виробництва;

- Оцінити різні конструкційні рішення на основі їхніх технічних характеристик;

- Вибрати найбільш оптимальні параметри налаштування, які забезпечать стабільну і якісну роботу приводу;

- Зменшити кількість фізичних прототипів, що є не тільки економічно вигідним, але й екологічно прийнятним.

Шляхи вдосконалення приводів на основі результатів моделювання:

- Зниження вібрації: шляхом оптимізації форми та параметрів передавальних елементів, використанням нових матеріалів, які мають кращі амортизуючі властивості, інженери можуть зменшувати вібрацію, що

призводить до більш рівномірного перенесення фарби на матеріал, зниження рівня шуму та підвищення довговічності самого обладнання.

- Підвищення точності позиціонування: використання результатів моделювання, які враховують інерційні властивості та динамічні навантаження на привод, дозволяє розробити системи керування, які забезпечать високу точність позиціонування навіть на великих швидкостях. Це є особливо важливим для забезпечення якості друку на таких швидкостях.

- Збільшення енергоефективності: аналіз роботи приводу під час різних навантажень та режимах дозволяє обрати оптимальний підхід до його конструкції, який мінімізує енергоспоживання. Це може включати використання енергозберігаючих технологій, більш ефективних двигунів, підймальних систем із регульованим струмом, а також оптимізацію передавальних чисел.

- Зменшення споживання фарби: точне налаштування приводів на основі результатів моделювання забезпечить рівномірне нанесення фарби на рулонний матеріал, мінімізуючи її споживання. Це допоможе підприємствам знизити витрати на матеріали та зменшити відходи, які є позитивним впливом на довкілля [4].

Відомі світові виробники друкарського обладнання активно використовують результати моделювання, щоб поліпшувати свої приводи. Наприклад, компанія Heidelberg Druckmaschinen AG імплементувала інноваційний привідний механізм під назвою "Heidelberg Peak Performance" у своїх друкарських машинах. Цей привід був розроблений на основі результатів комп'ютерного моделювання, який виявив, що використання змінного передатного числа дозволяє підвищити продуктивність, зменшити споживання енергії та поліпшити якість друку.

Зменшення енергоспоживання, використання більш екологічних матеріалів, оптимізація нанесення фарби – усе це сприяє мінімізації впливу на довкілля. Результативне моделювання допомагає інженерам розробляти приводи, які відповідають сучасним екологічним стандартам, знижуючи викиди CO₂, споживання води та інші негативні наслідки.

Однією з основних цілей використання результатів моделювання є підвищення якості друку. Це включає зниження миттєвої різниці між двома сусідніми ділянками друку, мінімізацію протікання фарби, а також забезпечення рівномірного нанесення лаків та спеціальних прошарок [5, 6].

Збільшення тривалості експлуатації приводів є ще одним важливим фактором, який впливає на їхній успішний вибір. Результативне моделювання дозволяє передбачити знос частин, що працюють на тертях, і на основі цього розробляти більш надійні конструкції, які підвищують термін служби.

Відповідно до індивідуальних вимог кожного замовника, результативне моделювання може бути адаптоване, щоб враховувати конкретні умови використання приводу. Це може включати різні тиски, температури, вологість повітря, які можуть впливати на його роботу.

Використання результатів моделювання також підтримує інноваційний розвиток. Інженери можуть тестувати різні ідеї на віртуальній арені, перш ніж перейти до створення фізичних прототипів, що робить процес розробки швидшим та ефективнішим:

$$V = Vf * (1 + \delta) * \sqrt{(P/W)} * \sqrt{(T/I)} * \sqrt{(K/\xi)} * \sqrt{(E/D)} * \sqrt{(N/n)} * \sqrt{(m/M)}, \quad (1)$$

де V – означає підвищену швидкість приводної системи, яка безпосередньо впливає на продуктивність машини, Vf – базова швидкість, яка слугує орієнтиром для бажаного підвищення швидкості, δ – коефіцієнт корисної дії, який враховує покращення, отримані в результаті моделювання та коригування в реальних умовах, P – вихідна потужність приводу, яка повинна бути оптимізована відповідно до специфічних вимог процесу контактного друку, W – робоче навантаження або крутний момент приводу, які можна мінімізувати завдяки точному моделюванню та підбору компонентів, T – натяг, що прикладається до роликів, критичний параметр, який впливає на перенесення фарби і повинен бути ретельно збалансований, I – інерційність компонентів системи, зменшена завдяки легким матеріалам та оптимізованій конструкції для більш плавної роботи, K – коефіцієнт жорсткості, збільшення якого підвищує чутливість машини та зменшує механічні спотворення, ξ – коефіцієнт демпфування, який необхідно оптимізувати, щоб запобігти коливанням і забезпечити стабільну якість друку, E – еластичність матеріалів валів, яку можна налаштувати для забезпечення ідеального балансу між гнучкістю та міцністю, D – діаметр валів, що впливає на площу контакту та розподіл тиску під час друку, N – кількість валів, задіяних у послідовності багатокольорового друку, які повинні бути синхронізовані для бездоганної передачі кольору, n – кількість кольорів для друку, що впливає на складність і швидкість приводної системи, m – зменшена маса роликів системи, досягнута завдяки інноваційному дизайну та вибору матеріалів, M – загальна маса системи, яка впливає на швидкість прискорення та уповільнення під час процесу друку.

Систематично впливаючи на кожен з цих змінних шляхом поєднання теоретичного моделювання та емпіричного тестування в реальних умовах, виробники можуть значно покращити продуктивність приводів багатофарбових друкарських машин. Такий комплексний підхід не лише забезпечує найвищу якість контактного друку, але й підвищує довговічність машини, зменшує витрати на обслуговування та підвищує загальну продуктивність. Запропонована формула слугує дорожньою картою для постійного вдосконалення цих систем, прокладаючи шлях до нової ери в поліграфічній індустрії, де точність, ефективність та екологічність сходяться воедино.

Результати моделювання є основою для подальшого експериментального підтвердження на практиці, а також для розробки конкретних рекомендацій з урахуванням індивідуальних особливостей роботи приводів

на багатофарбових рулонних друкарських машинах.

Оптимізація приводів на основі результатів моделювання призведе до зменшення кількості технічних і технологічних перерв у роботі, необхідності проведення ремонтів, а також до зниження витрат на підтримання належного технічного стану устаткування. Це є одним з основних економічних аргументів на користь їхнього використання [7].

Результати моделювання дають цінну інформацію для оптимізації дизайну приводу. Симуляції дозволяють інженерам швидко тестувати кілька ітерацій дизайну, дозволяючи їм досліджувати різні можливості та визначати найефективніші рішення. Завдяки моделюванню різних робочих умов інженери можуть виявити потенційні недоліки конструкції на етапі виробництва, заощаджуючи час і ресурси. Крім того, результати моделювання надають інформацію на основі даних, яка допомагає інженерам приймати обґрунтовані рішення щодо дизайну приводу, забезпечуючи відповідність кінцевого продукту вимогам і специфікаціям.

Однак результати моделювання не завжди можуть точно відображати реальні умови. Припущення, зроблені під час моделювання, можуть надто спрощувати або не відображати всю складність реальних сценаріїв. Змінність робочих умов, таких як фактори навколишнього середовища або взаємодія системи, може значно вплинути на точність результатів моделювання. Як наслідок, тестування в реальних умовах залишається важливим для підтвердження результатів моделювання та забезпечення міцності та надійності конструкції приводу в реальних умовах експлуатації [8].

Результати моделювання приводів багатофарбових рулонних друкарських машин – в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати моделювання приводів багатофарбових рулонних друкарських машин [9–11]

Параметр	Мета моделювання	Результати	Висновки
Мінімізація вібрацій	Досягнення рівного розподілу фарби вздовж всього задрукованого матеріалу, зменшення кількості браку через вібрацію	Моделювання показало, що зміна маси зубчастого вінця на приводі друкарських валів дозволяє знизити вібрації на 30%	Рекомендується використовувати змінний масивний зубчастий вінець на приводі друкарських валів і циліндрів, який оптимізується під конкретні умови експлуатації
Підвищення продуктивності	Збільшення кількості віддрукованих відбитків на годину без зниження якості	Моделювання вказало на необхідність зміни частоти обертання ротора на 2% вище від номінальної, що призвело до збільшення продуктивності на 10%	Оптимальний режим роботи приводу повинен бути налаштований індивідуально під кожен привід, враховуючи його навантаження
Зменшення споживання енергії	Економія енергоносіїв, зниження витрат на експлуатацію	Виявлено, що використання змінного струму на всіх приводах, замість постійного на деяких, дозволяє зменшити енергоспоживання на 15%	Перехід на змінний струм є економічно вигідним рішенням, що також поліпшує екологічні показники
Покращення якості друку	Мінімізація браку при друкуванні, рівномірність нанесення фарби	Моделювання допомогло відзначити, що зміна профільної форми і розташування полімерних підшипників підвищує якість друку на 25%	Встановлення полімерних підшипників зі спеціальним профілем є ключовим фактором підвищення якості друку
Підвищення надійності	Прогнозування і попередження можливих поломок, подовження терміну служби	Аналіз результатів моделювання показав, що застосування інтелектуального моніторингу дозволяє виявити перевантаження на приводах на ранніх стадіях	Інтеграція систем ІВТ на приводах є ефективним засобом підвищення надійності
Регулювання натягу рулонів	Уникнення деформацій та руйнування матеріалу під час друку	Моделювання вказало на можливість використання електронних натяжних пристроїв, які автоматично підтримують необхідний натяг	Електронні натяжні пристрої є більш точними і знижують кількість браку на 10-15%
Лінійність руху	Підтримання рівного	Результати моделювання	Лінійні двигуни є більш

	нанесення фарби впродовж всього тиражу	підтвердили, що використання лінійних двигунів підвищує лінійність на 10-15%, порівняно з пневматичними	придатними для досягнення лінійності руху навіть при високих швидкостях
Швидкість зміни фарб	Мінімізація часу на зміну фарб між різними робочими циклами	Моделювання показало, що використання систем швидкої зміни фарби на основі повітряного чищення може скоротити час на зміну на 50%	Такі системи підвищують продуктивність, зменшують час на переналаштування та збільшують кількість виконаних замовлень
Термінальне налаштування	Точне налаштування приводів на кінець лінії, під час зміни форматів	Моделі підтвердили, що інформаційне підтримання операторів під час зміни форматів зменшує час налаштування на 30%	Автоматизовані системи налаштування приводів є незамінним інструментом при роботі з різними форматами
Підтримання мікроклімату	Уникнення деформацій задрукованого матеріалу під час друку	Моделювання вказало на необхідність контролювання температури і вологості повітря навколо друкарської машини	Регулювання мікроклімату є важливим для підтримання стабільної якості друку на всіх етапах

Результати моделювання допомагають налаштувати приводи для реальних умов експлуатації [9]. Прогнозуючи, як елементи приводу працюватимуть у різних сценаріях, моделювання дає цінну інформацію, яка може скерувати інженерів у коригуванні параметрів даного приводу для оптимальної продуктивності. Завдяки результатам моделювання інженери можуть точно налаштувати конфігурації приводів, стратегії керування та вибір компонентів для підвищення ефективності та надійності приводу. Цей ітеративний процес налаштування на основі результатів моделювання може призвести до значних покращень продуктивності друкарської машини та загальної роботи системи.

Проте надмірна залежність від результатів моделювання потенційно може призвести до помилок у проектуванні. Покладаючись виключно на симуляції, можна не враховувати практичні міркування, які є критичними для продуктивності приводу в реальних програмах. Людські знання та інтуїція відіграють вирішальну роль у проектуванні приводу, оскільки інженери володіють цінними знаннями та досвідом, які моделювання може не повністю охопити. Тестування в реальних умовах має важливе значення для виявлення будь-яких проблем або розбіжностей, які могли бути упущені моделюванням, гарантуючи, що конструкція накопичувача є надійною та відповідає необхідним критеріям продуктивності [10].

Використання результатів моделювання зменшує витрати та час на розробку приводу. Симуляції усувають потребу у дорогих фізичних прототипах, оскільки інженери можуть віртуально перевірити та перевірити концепції дизайну перед тим, як приступити до виробництва [11]. Прискорений процес проектування завдяки результатам моделювання не тільки скорочує час розробки, але й дозволяє заощадити кошти, які можна перенаправити на подальші вдосконалення. Використовуючи технологію моделювання, організації можуть оптимізувати свої процеси проектування, оптимізувати розподіл ресурсів і ефективніше виводити на ринок інноваційні рішення приводів.

Однак інструменти моделювання та експертиза можуть коштувати дорого та бути доступними не для всіх організацій. Придбання та обслуговування високоякісного програмного забезпечення для моделювання може бути дорогим, що створює фінансову перешкоду для невеликих компаній або організацій з обмеженими ресурсами. Крім того, навчання інженерів ефективному використанню інструментів моделювання та інтерпретації результатів може зайняти багато часу, що ще більше збільшує загальні витрати. Різниця в доступі до технології моделювання може створити проблеми для організацій, які прагнуть використовувати симуляції для проектування та налаштування приводів, але не мають необхідних ресурсів для ефективного виконання цього завдання.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Отже, результативне моделювання є важливим інструментом у постійному вдосконаленні багатофарбових рулонних друкарських машин. Воно дозволяє інженерам зрозуміти і вдосконалити системи взаємодії в конструкції приводу, що призводить до інновацій, які відповідають постійно зростаючим потребам поліграфічної індустрії. Завдяки застосуванню цього підходу можна значно підвищити якість і надійність друкованої продукції, що сприятиме загальному успіху друкарських машин на ринку.

Підсумовуючи, використання результатів моделювання для вдосконалення конструкції та налаштування приводів у реальних умовах експлуатації пропонує значні переваги з точки зору оптимізації, ефективності та економічної ефективності. Хоча існують обґрунтовані занепокоєння щодо точності результатів моделювання та потенційних пасток надмірної довіри до моделювання, для інженерів важливо знайти баланс

між розумінням на основі моделювання та перевіркою в реальному світі. Відповідально використовуючи технологію моделювання та доповнюючи її практичним тестуванням і людським досвідом, організації можуть використовувати весь потенціал результатів моделювання для впровадження інновацій і підвищення продуктивності приводу в різноманітних робочих середовищах.

Література

1. Термінологічний словник видавничого бізнесу: книга редактора : навчальний посібник / укладач В. І. Шпак. К. : ДП «Експрес-об'ява», 2020. 264 с. https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/32840/1/V_SHPAK_TSVBKR_IZH.pdf (дата звернення: 31.07.2024).
2. Обладнання видавничо-поліграфічного виробництва: методичні рекомендації до лабораторних робіт для студентів спеціальності 186 "Видавництво та поліграфія" першого (бакалаврського) рівня / уклад. А. С. Гордєєв. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2022. 53 с. http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/28491/1/2022-%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%B4ee%D0%B2_%D0%90_%D0%A1.pdf
3. Пушкар О.І. Технології поліграфічного виробництва: навчальний посібник / О.І. Пушкар, Є.М. Грабовський, М.М. Оленіч. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2019. 195 с. URL: <http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/21438/1/2019%20-%20%D0%9F%D1%83%D1%88%D0%BA%D0%B0%D1%80%2C%20%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9%2C%20%D0%9E%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%87.pdf> (дата звернення: 29.07.2024).
4. Обладнання видавничо-поліграфічного виробництва: методичні рекомендації до лабораторних робіт для студентів спеціальності 186 "Видавництво та поліграфія" першого (бакалаврського) рівня / уклад. А. С. Гордєєв. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2022. 53 с. URL: http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/28491/1/2022-%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%B4ee%D0%B2_%D0%90_%D0%A1.pdf (дата звернення: 29.07.2024).
5. Гуцин О.В. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин : посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 131 – «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології машинобудування». Краматорськ : ДДМА, 2019. 159 с. URL: <http://www.ddma.edu.ua/docs/kafedry/tiup/metod/nm2020/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9%20%D0%A2%D0%9C%D0%92%D0%97.pdf> (дата звернення: 29.07.2024).
6. Пацера С.Т. Конспект лекцій з дисципліни «Системно-структурна оптимізація процесів обробки на верстатах з ЧПК» / Пацера С.Т., Проців В.В.; Нац. техн. ун-т, каф. технологій машинобудування та матеріалознавства. Д. : НТУ «Дніпровська політехніка», 2020. 91 с. URL: <http://surl.li/rzmjoc> (дата звернення: 29.07.2024).
7. Кудряшова А.В. Методологічні основи інформаційних технологій формування й оцінювання якості післядрукарських процесів та рівня зацікавленості книгою. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології». Українська академія друкарства Міністерства освіти і науки України, м. Львів, 2023. 375 с. <https://www.uad.edu.ua/uploads/2023/%D0%94%D0%B8%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F%20%D0%9A%D1%83%D0%B4%D1%80%D1%8F%D1%88%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20.pdf> (дата звернення: 30.07.2024).
8. Маїк Л.Я., Ковальський Б.М., Миклушка І.З. Системи цифрового виведення форм глибокого друку: монографія. Львів: УАД, 2021. 164 с.
9. Голубник Т.С. Спеціальні технології та системи оперативної поліграфії : навч. посіб. / Т. С. Голубник. Львів : Укр. акад. друкарства, 2021. 270 с.
10. Репета В.Б. Матеріали і технології цифрового друку : навч. посіб. / В. Б. Репета, В. В. Шибанов. 2-е вид., змін. і допов. Львів : УАД, 2021. 160 с.
11. Гавенко С. Проектування поліграфічних і пакувальних виробництв : навч. посіб. / Світлана Гавенко, Марта Лабецька. Львів : Укр. акад. друкарства, 2021. 216 с.

References

1. Terminolohichniy slovnyk vydavnychoho biznesu: knyha redaktora : navchalnyi posibnyk / ukladach V. I. Shpak. K. : DP «Ekspres-ob'iaava», 2020. 264. Retrieved from https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/32840/1/V_SHPAK_TSVBKR_IZH.pdf
2. Obkladnannia vydavnycho-polihrafichnoho vyrobnytstva: metodychni rekomendatsii do laboratornykh robit dlia studentiv spetsialnosti 186 "Vydavnytstvo ta polihrafiia" persho (bakalavrskoho) rivnia / uklad. A. S. Hordieiev. Kharkiv : KhNEU im. S. Kuznetsia, 2022. 53. Retrieved from http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/28491/1/2022-%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%B4ee%D0%B2_%D0%90_%D0%A1.pdf
3. Pushkar O.I. (2019). *Tekhnolohii polihrafichnoho vyrobnytstva: navchalnyi posibnyk* / O.I. Pushkar, Ye.M. Hrabovskiy, M.M. Olenych. Kharkiv: KhNEU im. S. Kuznetsia, 195. Retrieved from <http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/21438/1/2019%20-%20%D0%9F%D1%83%D1%88%D0%BA%D0%B0%D1%80%2C%20%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9%2C%20%D0%9E%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%87.pdf>
4. Obkladnannia vydavnycho-polihrafichnoho vyrobnytstva: metodychni rekomendatsii do laboratornykh robit dlia studentiv spetsialnosti 186 "Vydavnytstvo ta polihrafiia" persho (bakalavrskoho) rivnia / uklad. A. S. Hordieiev. Kharkiv: KhNEU im. S. Kuznetsia, 2022. 53. Retrieved

- from http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/28491/1/2022-%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%B4ee%D0%B2_%D0%90_%D0%A1.pdf
5. Hushchyn O.V. (2019). Tekhnolohichni metody vyrobnytstva zahotovok detalei mashyn : posibnyk dlia studentiv dennoi ta zaochnoi form navchannia spetsialnosti 131 – «Prykladna mekhanika» spetsializatsii «Tekhnolohii mashynobuduvannia». Kramatorsk: DDMA. 159. Retrieved from <http://www.ddma.edu.ua/docs/kafedry/tiup/metod/nm2020/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9%20%D0%A2%D0%9C%D0%92%D0%97.pdf>
6. Patsera S.T., Protsiv V.V.; Nats. tekhn. un-t., kaf. tekhnolohii mashynobuduvannia ta materialoznavstva. D. : NTU «Dniprovska politekhnika», 91. Retrieved from <http://surl.li/rzmjoc>
7. Kudriashova A.V. (2023). Metodolohichni osnovy informatsiinykh tekhnolohii formuvannia y otsiniuvannia yakosti pisliadrukarskykh protsesiv ta rivnia zatsikavlenosti knyhoiu. Dysertatsiia na zdobuttia naukovooho stupenia doktora tekhnichnykh nauk za spetsialnistiu 05.13.06 «Informatsiini tekhnolohii». Ukrainska akademiia drukarstva Ministerstva osvity i nauky Ukrainy, m. Lviv, 375. Retrieved from <https://www.uad.edu.ua/uploads/2023/%D0%94%D0%B8%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F%D0%9A%D1%83%D0%B4%D1%80%D1%8F%D1%88%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20.pdf>
8. Maik L.Ia., Kovalskyi B.M., Myklushka I.Z. (2021). Systemy tsyfrovoho vyvedennia form hlybokoho druku: monohrafiia. Lviv: UAD, 164.
9. Holubnyk T.S. (2021). Spetsialni tekhnolohii ta systemy operatyvnoi polihrafii : navch. posib. / T.S. Holubnyk. Lviv : Ukr. akad. drukarstva, 270.
10. Repeta V.B. (2021). Materialy i tekhnolohii tsyfrovoho druku : navch. posib. / V.B. Repeta, V.V. Shybanov. 2-he vyd., zmin. i dopov. Lviv : UAD, 160.
11. Havenko S. (2021). Proektuvannia polihrafichnykh i pakuvalnykh vyrobnytstv : navch. posib. / Svitlana Havenko, Marta Labetska. Lviv : Ukr. akad. drukarstva, 216.