

АНАЛІЗ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ INDUSTRY 4.0 У МЕБЛЕВЕ ВИРОБНИЦТВО

Обґрунтовано, що впровадження принципів Industry 4.0 у меблеве виробництво зможе значно покращити конкурентоспроможність та ефективність підприємства, зокрема заміна робітників автоматизованим обладнанням у виготовленні меблів зможе підвищити продуктивність та якість виробництва. З'ясовано, що використання промислових роботів та автоматизованого обладнання може значно знизити витрати на працю та підвищити швидкість виробництва, а впровадження сенсорів та з'єднання їх з Інтернетом зможе допомогти відслідковувати стан обладнання, вимірювати продуктивність та прогнозувати потреби у технічному обслуговуванні. Проаналізовано, що отримані дані про виробництво та взаємодію з клієнтами допоможуть у покращенні виробничих процесів та прогнозуванні попиту на меблеві вироби, а використання віртуальної та допоміжної реальності зможе значно спростити процес проектування меблів та дозволити швидше втілити ідеї в життя. З'ясовано, що впровадження гнучких систем виробництва дозволить швидко переключатися на виробництво між різними типами меблів та реагувати на зміни в попиті. Також використання технологічних роботів зможе допомогти зменшити витрати на робочу силу, особливо в умовах зростаючих вимог до оплати праці та браку робочої сили. Вияснено, що поєднання фізичних та віртуальних систем дозволить контролювати та оптимізувати виробничі процеси в реальному часі, а використання алгоритмів машинного навчання для аналізу великих обсягів даних зможе допомогти виявити та усунути проблеми меблевого виробництва, автоматизувати більшість виробничих процесів та знизити витрати на робочу силу. Пропонується завчасно здійснювати підготовку персоналу щодо впровадження нових технологій – обробних центрів, технологічних роботів, оскільки це допоможе забезпечити успішну та швидко імплементацію принципів Industry 4.0. Таким чином, робототехніка є ключовим елементом для впровадження принципів Industry 4.0 у меблеве виробництво, оскільки вона дозволяє підвищити ефективність, якість та конкурентоспроможність виробництва.

Ключові слова: меблеве виробництво, робототехніка, гнучкі системи, технології, обробні центри, Industry 4.0, штучний інтелект, інтернет речей, вживана деревина, заготовки, деталі, меблевий щит, столярна плита.

Актуальність. Процес роботизації [1-3], як один із напрямів автоматизації виробництва, повинен бути розрахований на перехід до гнучких виробничих систем, створення яких диктується сьогодні умовами виробництва якісних товарів будь-якої складності і конструкції, стійкістю у часі та з врахуванням стилю, і як альтернатива масовому жорсткому виробництву [4-9]. Використання в меблевому виробництві промислової робототехніки, яка розвивається у світі високими темпами, вважається актуальним та важливим завданням сьогодні.

¹ Гайда Сергій Володимирович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, д-р техн. наук, професор, кафедра технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-258-31-75, +38-067-791-25-22. E-mail: serhiy.hayda@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7468-5661> ResearcherID: ABB-1636-2021 Scopus/authorID=57221587964

² Кушніт Андрій Степанович – канд. техн. наук, доцент, кафедра технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-258-31-75, +38-097-245-76-76. E-mail: andriy.kushnit@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0865-1281>

³ Губер Юрій Мирославович – канд. техн. наук, доцент, кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності. НЛТУ України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-067-811-71-18. E-mail: yuriy.huber@nltu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2678-511X>

Впровадження принципів Industry 4.0 у меблеве виробництво може значно покращити ефективність, якість та конкурентоспроможність виробів [10-13]. Також суть впровадження полягає в переході до цифрової та автоматизованої системи виробництва, що базується на використанні передових технологій, зокрема:

1. Використання цифрових технологій для оптимізації та управління виробничих процесів та впровадження сенсорів та зв'язаних пристроїв для відстеження та моніторингу умов виробництва та обладнання, що дозволяє підтримувати оптимальні умови та запобігати аваріям [41, 42].

2. Використання аналізу даних для покращення ефективності виробництва, прогнозування попиту та оптимізації управлінських рішень.

3. Використання роботів для автоматизації простих та повторюваних завдань у виробництві, що дозволяє звільнити людей від монотонної праці [3, 6, 7, 21, 22] та підвищити продуктивність.

Впровадження цих принципів може допомогти меблевим виробникам стати більш конкурентоспроможними на ринку, забезпечуючи високу якість продукції та ефективність виробничих процесів. Ці принципи спрямовані на створення більш гнучких, ефективних та конкурентоспроможних виробничих систем, що може допомогти меблевим виробникам пристосуватися до змінних умов ринку та вимог споживачів. Сьогодні робототехніка в широкому розумінні – це один із важливих компонентів синтезу сучасних гнучких виробничих систем для багатьох галузей господарства. Зростання обсягів виробництва меблевих виробів, підвищення якості продукції, економія сировини [14-20], матеріалів, палива, електроенергії можливе за докорінної реорганізації всієї діяльності, пов'язаної із створенням високодинамічних та гнучких форм промислового виробництва на основі комплексної механізації, автоматизації та роботизації, зокрема деревообробки.

Проблеми щодо впровадження принципів Industry 4.0 у меблеве виробництво присутні і серед них можна виділити такі:

- Розробка та впровадження нових цифрових технологій може бути дорогим процесом, особливо для маленьких та середніх підприємств.
- Для впровадження Industry 4.0 може знадобитися оновлення обладнання та інфраструктури, що може бути складним та вимагати значних витрат. Для ефективного впровадження цифрових технологій потрібні спеціалісти з відповідними навичками, а також підготовка існуючого персоналу до нових технологій.
- Зі збільшенням використання цифрових технологій зростає і ризик витоку або порушення конфіденційності даних, що потребує додаткових заходів забезпечення безпеки. Деякі споживачі можуть бути обережними щодо використання цифрових технологій у виробництві меблів через страх втрати приватності.
- Впровадження нових технологій може вимагати змін у виробничих процесах та організації праці, що може бути складним для підприємств з великою історією та старими методами виробництва. Незважаючи на ці проблеми, впровадження принципів Industry 4.0 може призвести до значного покращення ефективності та конкурентоспроможності меблевого виробництва.

Результати аналізу. Аналіз принципів Industry 4.0 для меблевого виробництва показав, що вони спрямовані на використання передових цифрових технологій та автоматизації для покращення ефективності, якості та конкурентоспроможності виробників. Основні принципи включають:

1. Використання цифрових технологій для виробництва, управління та моніторингу процесів, таких як CAD/CAM системи для розробки та виробництва меблів, віртуальна реальність для моделювання та тестування дизайну. Використання AI для автоматизації процесів планування виробництва, управління запасами та прогнозування попиту. Використання роботів для виконання рутинних та повторюваних завдань, що дозволяє підвищити продуктивність та якість продукції.

2. Впровадження сенсорів та зв'язаних пристроїв для збору даних про стан обладнання, умови виробництва та якості продукції для покращення управління та прийняття рішень. Використання аналізу даних для оптимізації виробничих процесів, передбачення попиту та підвищення якості продукції.

Ці принципи спрямовані на створення гнучких та ефективних виробничих систем, які можуть швидко адаптуватися до змінних умов ринку та вимог споживачів, підвищуючи конкурентоспроможність та забезпечуючи стабільний розвиток меблевого виробництва.

Аналіз принципів Industry 4.0 для меблевого виробництва показує, що їх впровадження може принести значні переваги, але вимагає обережного підходу та готовності до змін, зокрема це проявляється в наступному:

- Завдяки автоматизації та використанню цифрових технологій можна значно підвищити ефективність виробництва, зменшити витрати та скоротити час виробництва меблів. Використання сучасних технологій дозволяє підвищити якість меблів, зменшити кількість браку та забезпечити відповідність стандартам якості.

- Цифрові технології дозволяють швидко переключатися між виробничими процесами та адаптуватися до змін на ринку. Завдяки IoT і аналізу даних можна стежити за станом обладнання, умовами виробництва та аналізувати ці дані для покращення процесів. Використання прогнозування попиту та оптимізації запасів допомагає уникнути перевитрат та зменшити ризик невідповідності попиту.

Проте, впровадження принципів Industry 4.0 також пов'язане з викликами, такими як необхідність інвестицій у нові технології, потреба у кваліфікованому персоналі та зміни в організації праці. Тому, перед впровадженням важливо провести детальний аналіз вигідності та готовності підприємства до змін.

Суть та зміст роботизації згідно принципів Industry 4.0 для меблевого виробництва. Суть роботизації в деревообробній та меблевій галузях сьогодні – це створення роботизованих технологічних дільниць, які є найбільш простою формою організації робототехнічних виробничих систем, що забезпечать гнучкість та мобільність в процесі виготовлення меблевого та будь-якого іншого виробу з деревини в сучасних умовах інформаційного суспільства. А особливість впровадження промислових роботів згідно принципів Industry 4.0 у меблеве виробництво збалансована на автоматизації та оптимізації виробничих процесів за допомогою передових цифрових технологій [37, 41, 42]. Основні аспекти наступні:

- Використання промислових роботів для виконання рутинних та повторюваних завдань, таких як підготовка матеріалів [28, 30-36], складання деталей, обробка поверхонь тощо [23-27, 39]. Роботи можуть працювати пліч-о-пліч з людьми, доповнюючи їхні навички та підвищуючи продуктивність.

- Збір та аналіз даних про ефективність роботів дозволяє покращити процеси виробництва та знизити витрати. Використання роботів дозволяє швидко переключатися між виробничими завданнями та адаптуватися до змін у виробничому

процесі [1-3]. Промислові роботи можуть забезпечити високий рівень безпеки та надійності у виробничому процесі.

Впровадження промислових роботів згідно принципів Industry 4.0 дозволяє меблевим виробникам підвищити ефективність та якість виробництва, знизити витрати та підвищити конкурентоспроможність на ринку. Промислова робототехніка – це напрям розвитку науки та техніки в галузі механізації й автоматизації виробничих процесів на основі використання принципово нових багатофункціональних технічних засобів з гнучкими технологічними властивостями ПР, зумовлений потребами промислового виробництва.

Переваги використання робототехніки у меблевому виробництві згідно принципів Industry 4.0 є суттєвими і ці переваги проявляються у такому:

1. Оброблення деталей, які вимагають багато повторюваних операцій, такі як різання, фрезерування, обробка крайок тощо, можуть бути виконані промисловими роботами з високою точністю і швидкістю. Ефективне використання ресурсів [28, 38, 40] та оптимізація процесів завдяки робототехніці може позитивно вплинути на екологію та сталість виробництва.

2. Промислові роботи можуть виконувати завдання з високою точністю, що зменшує кількість браку та підвищує якість готової продукції.

3. Промислові роботи можуть працювати без перерв та відпочинку, що дозволяє підвищити продуктивність виробництва.

4. Завдяки вбудованим сенсорам та системам збору даних, робототехніка може допомогти відстежувати та оптимізувати виробничі процеси.

5. Деякі промислові роботи можуть гнучко та швидко реагувати на зміни, тобто швидко переналаштовуватись або перепрограмовуватись для виконання нових завдань без значних затрат на переобладнання.

6. Використання роботів для виконання небезпечних або важких завдань може зменшити ризик травматизму серед працівників [21, 22, 37, 41, 42].

Ці переваги дозволяють меблевим виробникам підвищити ефективність виробництва, покращити якість продукції та знизити витрати, що відповідає принципам Industry 4.0. Крім того, використання робототехніки забезпечить: поліпшення якості за рахунок точності виконання технологічних операцій; швидка окупність; гнучкість, мобільність та оперативність; прецизійність оброблення; ювелірна точність нанесення лакофарбових матеріалів; експлуатація роботів 24 години на добу, 7 днів на тиждень, 365 днів на рік; усунення впливу та мінімізація людського фактора; виключення впливу шкідливих факторів середовища на персонал; раціональність використання площ виробничих приміщень.

Таким чином, робототехніка у деревообробленні – це один із важливих факторів виробництва нових виробів, завершення комплексної автоматизації та забезпечення максимальної гнучкості виробництва, здатної швидко й без істотних витрат перебудовуватися на виробництво різноманітних видів виробів [29] і пристосовуватися до змінних умов технологічного процесу.

Сучасні промислові роботи ділять на три покоління, які існують одночасно і не змінюють один одного: I – програмні роботи, II – адаптивні роботи, III – роботи з елементами штучного інтелекту. Роботи I покоління мають таку систему керування, яка діє за жорстко заданою програмою. Прикладом можуть служити роботи типу «взяти-покласти», що застосовуються під час розкрою плит (рис. 1).



Рис. 1. Транспортно-вакуумний робот-штабелер Vakuim Roboter Lause

Якщо роботи I покоління «не відчували» навколишньої обстановки, не аналізували її і не використовували результатів аналізу своєї діяльності, то адаптивні роботи II покоління здатні виконувати завдання, «задумуючись» над їх змістом (рис. 2). Правда, повного аналізу ситуації не відбувається, дії робота ніби рефлексивні. Основною технічною відмінністю адаптивних роботів від програмних є те, що їх система керування оснащена датчиками – сенсорними системами, що збирають інформацію про зовнішнє середовище і його дію на робот.



Рис. 2. Промислові роботи II покоління

Роботи з елементами штучного інтелекту – практично це подальший розвиток адаптивних роботів. Роботи III покоління мають більш розвинену систему відчуття і більш вдосконалену систему прийняття рішень і планування дій. Якщо сенсорні системи адаптивних роботів діють практично незалежно один від одного, забезпечуючи окремі рефлексивні реакції на зміну навколишнього середовища (обхід перешкод, регулювання зусиль при взаємодії з деталлю, визначення її положення), то роботи з елементами штучного інтелекту об'єднують в єдиний комплекс всі засоби розпізнавання навколишньої обстановки. При цьому сумісно аналізується не вся доступна роботу інформація про стан цієї обстановки, а тільки та частина, яка може вплинути в даний момент на вибір рішення. Процес розвитку адаптивних роботів в роботи III покоління буде проходити поступово, по мірі

вдосконалення їх окремих систем і об'єднання (інтеграції) в єдиний комплекс. Тому роботи III покоління називають ще інтегральними роботами.

Компанія ТНК на виставці «Лігна-2023» представила свої компоненти «SEED Solutions» для роботів наступного покоління. «SEED Solutions» – це сімейство компонентів, що ідеально підходять для самостійної розробки роботів. В основному, це складні приводні системи, які виконують довільний рух і майстер-системи, які забезпечити контроль цього руху. Реалізація ідеї в реальності функціонування та дієздатності робота, зокрема моделі Humanoid Robot Type (рис. 3).



Рис. 3. Розробки компанії ТНК компонентів «SEED Solutions» для роботів наступного покоління моделі Humanoid Robot Type R7

Суть та зміст впровадження обробних центрів згідно принципів Industry 4.0 у меблеве виробництво. Впровадження обробних центрів згідно принципів Industry 4.0 у меблевому виробництві полягає в використанні передових цифрових технологій для автоматизації та оптимізації процесів обробки деревини та виробництва меблів. Суть цього впровадження включає наступні аспекти:

- Використання обробних центрів з чисельним керуванням (CNC) для автоматизованої обробки деревини з високою точністю та швидкістю.
- Використання CAD/CAM систем для створення дизайну меблів та програмування обробних центрів для виготовлення цих дизайнерських виробів.
- Обробні центри можуть бути обладнані сенсорами, які дозволяють відстежувати стан обладнання та умови виробництва для покращення управління та планування обслуговування. Збір та аналіз даних про ефективність та якість обробки деревини дозволяє вдосконалити процеси та знизити витрати.
- Використання обробних центрів дозволяє швидко реагувати на зміни у виробничому процесі та попиті на ринку, забезпечуючи гнучкість виробництва.

Впровадження обробних центрів згідно принципів Industry 4.0 дозволяє меблевим виробникам підвищити продуктивність, покращити якість продукції та знизити витрати, що робить цей підхід дуже привабливим для галузі.

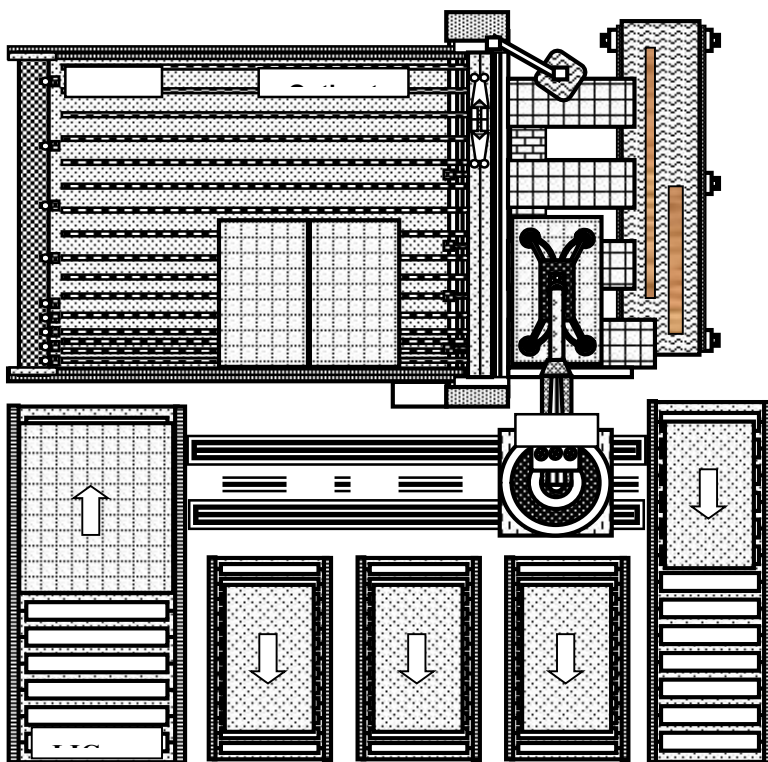
Необхідно зазначити, що на відміну від звичайних оброблювальних центрів роботооброблювальні центри у своєму розпорядженні мають роботи-агрегати, в основному, з 5 степенями вільності, що забезпечує об'ємно-фасонне оброблення (роботооброблення) заготовок (рис. 4).

Комплектація обробних центрів з допоміжними промисловими роботами (ПР) формує гнучкий виробничий модуль (ГВМ) та/або роботизований технологічний комплекс (РТК), оскільки допоміжний ПР буде ефективно та ритмічно вико-

нувати транспортні та завантажувально-розвантажувальні операції, що відповідає принципам Industry 4.0. Гнучкий виробничий модуль – це одиниця технологічного обладнання з числовим програмним управлінням, яке разом із засобами автоматизації автономно функціонує та автоматично виконує функції для виробництва виробів довільної номенклатури у встановлених межах значень їхніх характеристик. Ці модулі за комплектацією бувають звичайними та роботизованими.



Рис. 4. Оброблювальний робот KR німецької компанії KUKA



Наприклад, РТК на основі розкрійного центру HOMAG (Optimat CH-03), допоміжного телескопічного сортувального промислового робота-штабелера RM-100 з вакуумними присмоктувачами і тактових рольгангів LIGMATECH (рис. 5).

Рис. 5. Роботизований технологічний комплекс (РТК) на основі розкрійного центру HOMAG (Optimat CH-03), допоміжного телескопічного сортувального промислового робота-штабелера RM-100 з вакуумними присмоктувачами і тактових рольгангів LIGMATECH

Шляхи та перспективи впровадження принципів Industry 4.0 у меблеве виробництво. Впровадження принципів Industry 4.0 у меблеве виробництво може бути реалізоване крок за кроком, використовуючи ряд шляхів:

- Враховуючи потреби та можливості підприємства, вибір оптимальних цифрових технологій, таких як IoT, аналітика даних, штучний інтелект, роботизація та інші. Реалізація нових технологій поетапно, починаючи з найбільш критичних або простих процесів, і поступово розширюючи їх на всі виробничі лінії.
- Постійна оцінка ефективності впроваджених технологій та процесів, а також вдосконалення їх для досягнення найкращих результатів.
- Визначення мети та областей для впровадження цифрових технологій, що може включати автоматизацію виробничих процесів, оптимізацію управління за-

пасами та планування виробництва. Встановлення співпраці з іншими підприємствами та постачальниками для спільного впровадження цифрових технологій та створення інтегрованих цифрових ланцюжків постачання.

- Навчання персоналу з використання нових технологій та методів роботи, що може включати тренінги, семінари та інші форми навчання. Створення системи для збору, аналізу та використання даних для управління та прийняття рішень.

Ці шляхи допоможуть меблевим виробникам успішно впровадити принципи Industry 4.0 та підняти рівень їх конкурентоспроможності.

Щодо перспектив, то впровадження принципів Industry 4.0 у меблеве виробництво може значно покращити конкурентоспроможність та ефективність галузі. Деякі ключові перспективи включають:

- Впровадження автоматизації та цифрових технологій дозволить оптимізувати виробничі процеси, зменшити час виробництва та витрати на виробництво.

- Використання сучасних технологій дозволить підвищити якість меблів та зменшити кількість браку. Цифрові технології дозволять швидко адаптуватися до змін у попиті та швидко впроваджувати нові моделі та дизайн. Впровадження Industry 4.0 допоможе меблевим виробникам стати більш конкурентоспроможними на ринку, привертаючи більше клієнтів та розширюючи ринки збуту.

- Впровадження принципів Industry 4.0 сприятиме інноваціям та розвитку галузі, спонукаючи до пошуку нових рішень та технологій.

У виробництві меблів вже спостерігається деякий рівень впровадження цифрових технологій, таких як CAD/CAM системи та автоматизоване обладнання. Однак повний перехід до Industry 4.0 може зайняти час і вимагати значних інвестицій. Важливою є готовність підприємств до змін, підготовка персоналу та встановлення чіткої стратегії впровадження цифрових технологій.

Висновки.

1. Обґрунтовано, що впровадження принципів Industry 4.0 у меблеве виробництво зможе значно покращити конкурентоспроможність та ефективність підприємства, зокрема заміна робітників автоматизованим обладнанням у виготовленні меблів зможе підвищити продуктивність та якість виробництва.

2. З'ясовано, що використання промислових роботів та автоматизованого обладнання може значно знизити витрати на працю та підвищити швидкість виробництва, а впровадження сенсорів та з'єднання їх з Інтернетом зможе допомогти відслідковувати стан обладнання, вимірювати продуктивність та прогнозувати потреби у технічному обслуговуванні.

3. Проаналізовано, що отримані дані про виробництво та взаємодію з клієнтами допоможуть у покращенні виробничих процесів та прогнозуванні попиту на вироби, а використання віртуальної та допоміжної реальності зможе значно спростити процес проектування меблів та дозволити швидше втілити ідеї в життя.

4. З'ясовано, що впровадження гнучких систем виробництва дозволить швидко переключатися на виробництво між різними типами меблів та реагувати на зміни в попиті. Також використання технологічних роботів зможе допомогти зменшити витрати на робочу силу, особливо в умовах зростаючих вимог до оплати праці та браку робочої сили.

5. Вияснено, що поєднання фізичних та віртуальних систем дозволить контролювати та оптимізувати виробничі процеси в реальному часі, а використання ал-

горитмів машинного навчання для аналізу великих обсягів даних зможе допомогти виявити та усунути проблеми меблевого виробництва, автоматизувати більшість виробничих процесів та знизити витрати на робочу силу.

6. Пропонується завчасно здійснювати підготовка персоналу щодо впровадження нових технологій – обробних центрів, технологічних роботів, оскільки це допоможе забезпечити успішну та швидку імплементацію принципів Industry 4.0.

Таким чином, робототехніка є ключовим елементом для впровадження принципів Industry 4.0 у меблеве виробництво, оскільки вона дозволяє підвищити ефективність, якість та конкурентоспроможність виробництва.

References

1. **Gayda S.V.** (2019). Scientific and technical basis of the use of used wood in woodworking: thesis of the Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.23. – Lviv: UNFU. – 465 (in Ukrainian).
2. **Gayda S.V.** (2015): Modeling properties of blockboards made of post-consumer wood on the basis of the finite element method. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 41:39-49.
3. **Gayda S.V.** (1999): Проблеми та перспективи роботизації меблевої промисловості / *Problemy ta perspektyvy robotyzatsiyi meblevoyi promyslovosti* [Problems and prospects of robotics in the furniture industry]. Collection Bulletin UNFU, Lviv. Vol. 9(5):192-194, (in Ukrainian).
4. **Gayda, S.V.** (2010). A comparative analysis of physical and mechanical parameters of variously designed glued boards made of post-consumer recovered wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 36:81-91.
5. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2018): Формостійкість як критерій якості столярних плит із ВЖД / *Formostiystkist' yak kryteriy yakosti stolyarnykh plyt iz vzhivanoyi derevyiny* [Shape stability as a quality criterion for PCW-made blockboards]. Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine 17:185-192 (in Ukrainian).
6. **Gayda S.V.** (2002): Особливості та перспективи роботизації меблевої промисловості України / *Osoblyvosti ta perspektyvy robotyzatsiyi meblevoyi promyslovosti Ukrayiny* [Peculiarities and prospects of robotization of the furniture industry of Ukraine]. Collection Bulletin UNFU, Lviv. Vol. 12(5):38-40, (in Ukrainian).
7. **Gayda S.V.** (2018). Технологія МДФ-фасадів / *Tekhnolohiyi MDF-Fasadiv* [MDF Facade Technologies]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 44:70-83 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184410>
8. **Gayda S.V.** (2017): A technology and properties of furniture board (FB) made of post-consumer wood (PCW). *Actual problems of forest complex* 48:34-38 (in Russian).
9. **Gayda S.V., Maksymiv V.M.** From recycled post-consumer wood towards prime quality particleboard / Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2010, вип. 36. – С. 57-77.
10. **Gayda S.V.** (2023). Determination of the circularity indicator in the forest sector according to the principles of the circular economy. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 49, 99-114. <https://doi.org/10.36930/42234908> (in Ukrainian).
11. **Gayda S.V.** (2013): Ресурсоощадні технології перероблення вживаної деревини / *Resursooshchadni tekhnologii pereroblennya vzhivanoï dereviny* [Resource-saving technologies of recycling of post-consumer wood]. Scientific Bulletin of NULES of Ukraine: *Technology and Energy of agroindustrial complex* 185(2):271-280, (in Ukrainian).
12. **Grytsak S.A., Gayda S.V., Kushpit A.S., Salapak L.V.** (2023). Analysis of the efficiency of structural and technological solutions in the production of component units of lattice furniture products. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 49: 61-72, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42234905>

13. **Gayda S.V.** (2014): Techniques for recycled of post-consumer wood in the production of quality particleboard. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 40:41-51.
14. **Gayda S.V.** (2015): *Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv vtorichno ispol'zuemoy drevesiny* [Investigation of physical and mechanical properties of post-consumer wood]. *Actual problems of forest complex* 43:175-179, (in Russian).
15. **Gayda S.V.** (2016): Research on physical and mechanical characteristics of front blockboards made from post-consumer wood [Дослідження фізико-механічних характеристик фасадних столярних плит із вживаної деревини]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 42: 33-50. doi: <https://doi.org/10.36930/42164206>
16. **Gayda S.V.** (2016): Технологічні підходи до поверхневого очищення вживаної деревини голкофрезерним інструментом / *Tekhnologichni pidkhody do poverkhnevoho ochyshchennya vzhivanoyi derevyiny holkofrezernym instrumentom* [Technological approaches to cleaning of surface of post-consumer wood of needle-milling tools]. *Bulletin of KhNTUA* 178:3-11, (in Ukrainian).
17. **Gayda S.V.** (2016): Эколого-технологические аспекты переработки вторично используемой древесины для производства прессованных материалов. *Ekologo-tehnologicheskkiye aspekty pererabotki vtorichno ispol'zuyemoy drevesiny dlya proizvodstva pressovannykh materialov* [Ecological and technological aspects of recycling post-consumer wood for production compacted materials]. *Lesnoy vestnik / Forestry bulletin of MSFU* 20(3):15-22, (in Russian).
18. **Gayda S.V.** (2017): Використання нечітких експертних систем для підтримки прийняття рішень в процесі сортування вживаної деревини / *Vykorystannya nechitkykh ekspertnykh system dlya pidtrymky pryynyattya rishen' v protsesi sortuvannya vzhivanoyi derevyiny* [Using fuzzy expert systems for decision support in the process of post-consumer wood sorting]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 43:5-20 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42174301>
19. **Gayda S.V.** (2018): *Mitsnist kombinovanykh stolyarnykh plyt iz vzhivanoyi derevyiny* [Strength of combined blockboard made of post-consumer wood (PCW)]. *Bulletin of KhNTUA* 197:3-9, (in Ukrainian).
20. **Gayda S.V.** (2018): Дослідження та аналіз характеристик щитових конструкцій із вживаної деревини / *Doslidzhennya ta analiz kharakterystyk shchytovykh konstruktsiy iz vzhivanoyi derevyiny* [A investigation and analysis of characteristics of solid furniture boards made of post-consumer wood]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 44:15-25, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184402>
21. **Gayda S.V.** (2023). State and analysis of the dynamics indicators of the production volume of the woodworking and furniture industry. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 49: 4-19 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42234901>
22. **Orikhovskyy R.Ya., Gayda S.V.** (2020). The influence of different parameters of stability of production sites on the efficiency of functioning of woodworking production. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 46:49-53 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204605>
23. **Gayda S.V.** (2004). Інтегровані технології меблевого виробництва [Integrated technologies of furniture production]. *Scientific Bulletin of UNFU* 14.4:118-121. (in Ukrainian).
24. **Gayda S.V.** (2020) : Аналіз конструкцій та технологій виготовлення сучасних меблевих фасадів / *Analiz konstruktsiy ta tekhnolohiy vyhotovlennya suchasnykh meblevykh fasadiv* [Analysis of structures and technologies of manufacture of modern furniture facades]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 46:54-64, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204606>
25. **Gayda S.V.** (2003). Гнучкі виробничі модулі для виготовлення ґратчастих меблевих виробів [Flexible production modules for the production of lattice furniture products]. *Scientific Bulletin of UNFU* 13.2:120-122. (in Ukrainian).
26. **Gayda S.V., Bilyy Ya.M., Voronovych S.V.** (2019): Дослідження технологічних процесів виготовлення ліжок двоспальних різних конструкцій / *Doslidzhennya tekhnologichnykh protsesiv vyhotovlennya lizhok dvospal'nykh riznykh konstruktsiy* [A investigation of technological processes of making beds of double different designs]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 45:22-31, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42194504>

27. **Gayda S.V., Ilkiv M.M., Savka D.B.** (2021) : Дослідження технологічних процесів виготовлення меблевих фасадів з масивної деревини // *Doslidzhennya tekhnolohichnykh protsesiv vyhotovlennya meblevykh fasadiv z masyvnoyi derevyny*. [Research of technological processes of manufacture of meble facades from solid wood]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 47:22-33, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42214703>
28. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2021): Властивості вживаної деревини як визначальний чинник якості меблевих виробів / *Vlastyvosti vzhuvanoyi derevyny yak vyznachal'nyy chynnyk yakosti meblevykh vyrobiv* [Properties of used wood as a determining factor in the quality of furniture products]. Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine 23:152-162, (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/412135>
29. **Gayda S.V., Kshyvetskyi B.Ya.** (1999). Техніко-економічні характеристики деревообробної фабрики майбутнього [Technical and economic characteristics of the woodworking factory of the future]. Scientific Bulletin of UNFU 9.3:83-85. (in Ukrainian).
30. **Gayda S.V., Lesiv L.E.** (2019): Визначення та порівняння властивостей вживаної деревини основних хвойних порід / *Vyznachennya ta porivnyannya vlastyvostey vzhuvanoyi derevyny osnovnykh khvoynykh porid* [A determination and comparison of properties of post-consumer wood of the basic conifers]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 45:39-46, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42194506>
31. **Gayda S.V., Voronovich V.V.** (2011): *Issledovanie osobennostey gnut'ya vtorichno ispol'zue-moy drevesiny* [Investigation of the features of bending of post-consumer wood]. *Scientific progress – creative young: proceedings of the International Scientific Conference, Mari State University*: 190-192, (in Russian).
32. **Gayda S.V., Bilyi Ya.M.** (2019). Дослідження технологічних процесів виготовлення ліжок двоспальних різних конструкцій / *Doslidzhennya tekhnolohichnykh protsesiv vyhotovlennya li-zhok dvospal'nykh riznykh konstruktsiy* [A investigation of technological processes of making beds of double different designs]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 45:21-31 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42194504>
33. **Gayda S.V., Voytovych I.G.** (2017): Дослідження міцності та стійкості елементів ґратчастих меблевих виробів із вживаної деревини / *Doslidzhennya mitsnosti ta stiykosti elementiv gratchastykh meblevykh vyrobiv iz vzhuvanoyi derevyny* [Durability and stability of elements for beam furniture products made from post-consumer wood are investigated]. Bulletin of KhNTUA 189:62-70, (in Ukrainian).
34. **Gayda S.V., Voytovych I.G., Orikhovskyy R.Ya.** (2020) : Дослідження технологічних процесів виготовлення ніжок столів обідніх різних конструкцій / *Doslidzhennya tekhnolohichnykh protsesiv vyhotovlennya nizhok stoliv obidnikh riznykh konstruktsiy* [Research of technological processes of production of legs of tables of various designs]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 46:36-49, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204604>
35. **Gayda, S., Kiyko, O.** (2020): The investigation of properties of blockboards made of post-consumer wood. *Drewno. Prace Naukowe, Doniesienia, Komunikaty = Wood. Research Papers, Reports, Announcements*, 63(206), 77-102. <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.352.10>
36. **Gayda, S., Kiyko, O.** (2023): Study of Physical and Mechanical Properties of Post-Consumer Wood of Different Age. *Drewno. Prace Naukowe, Doniesienia, Komunikaty = Wood. Research Papers, Reports, Announcements*, 66(212), doi: <https://doi.org/10.53502/wood-177453>
37. **Gayda, S.V.** (2007): Дослідження концентрації операцій у сучасному меблевому виробництві / *Doslidzhennya kontsentratsiyi operatsiy u suchasnomu meblevomu vyrobnytstvi* [Research of concentration of operations is in modern furniture Productions]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 33:73-79 (in Ukrainian).
38. **Gayda, S.V., Kiyko O.A., Guz M.M.** (2022): Research of the structure of stump and root-wood for effective use in the production of wood products. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 64 (3):131-142, doi: <https://doi.org/10.2478/ffp-2022-0011>
39. **Gayda, S.V., Kiyko, O.A.** (2020): Determining the regime parameters for the surface cleaning of post-consumer wood by a needle milling tool. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 [1 [107]], 89–97. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212484>.

40. **Grytsak S.A., Gayda S.V.** (2020): Порівняльний аналіз фізико-механічних характеристик гнутих елементів із різних порід дерев / *Porivnyal'nyy analiz fizyko-mekhanichnykh kharakterystyk hnutykh elementiv iz riznykh porid derev* [Comparative analysis of physical and mechanical characteristics of bent elements from different tree species]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 46:16-27, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204602>

41. **Orikhovskyy R.Ya.** (2021): Оцінювання втрат робочого часу у виробничих системах і стабільності роботи автоматичних ліній у галузі деревообробці / *Otsinyuvannya vtrat robochoho chasu u vyrobnychyykh systemakh i stabil'nosti roboty avtomatychnykh liniy u haluzi derevoobrobtsi* [The estimation of losses of working time in production systems and work stability of automatic lines in the field of woodworking]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 47:16-21 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42214702>

42. **Orikhovskyy R.Ya., Gayda S.V.** (2020): Вплив різних параметрів стабільності виробничих ділянок на ефективність функціонування деревообробного виробництва / *Vplyv riznykh parametriv stabil'nosti vyrobnychyykh dil'nyts' na efektyvnist' funktsionuvannya derevoobrobnoho vyrobnytstva* [The influence of different parameters of stability of production sites on the efficiency of functioning of woodworking production]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 46:49-53 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204605>

UDC 658.52:621.9:674.05

Prof. S.V. Gayda, Doctor of Sciences;

assoc. prof. A.S. Kushpit, PhD; assoc. prof. Yu.M. Huber, PhD – UNFU

Analysis of implementation of industry 4.0 principles in furniture production

It is substantiated that the implementation of the principles of Industry 4.0 in the furniture industry will be able to significantly improve the competitiveness and efficiency of the enterprise, in particular, the replacement of workers with automated equipment in the manufacture of furniture will be able to increase the productivity and quality of production. It was found that the use of industrial robots and automated equipment can significantly reduce labor costs and increase production speed, and the introduction of sensors and their connection to the Internet can help monitor the condition of equipment, measure productivity and forecast maintenance needs. It was analyzed that the obtained data on production and interaction with clients will help in improving production processes and forecasting the demand for furniture products, and the use of virtual and augmented reality can significantly simplify the furniture design process and allow ideas to be implemented faster. It was found that the introduction of flexible production systems will allow to quickly switch to production between different types of furniture and respond to changes in demand. Also, the use of technological robots will be able to help reduce labor costs, especially in the face of growing demands for wages and labor shortages. It was found that the combination of physical and virtual systems will allow control and optimization of production processes in real time, and the use of machine learning algorithms for the analysis of large volumes of data can help identify and eliminate problems in furniture production, automate most production processes and reduce costs on the labor force. It is suggested to train personnel in advance for the introduction of new technologies - processing centers, technological robots, as this will help to ensure the successful and rapid implementation of the principles of Industry 4.0. Thus, robotics is a key element for the implementation of Industry 4.0 principles in furniture production, as it allows to increase the efficiency, quality and competitiveness of production.

Keywords: furniture production, robotics, flexible systems, technologies, processing centers, Industry 4.0, artificial intelligence, Internet of Things, used wood, blanks, parts, furniture board, joiner plate.
