

АДАПТИВНА МОДЕЛЬ ГЕНЕРАЦІЇ ЕТИКЕТОК В ERP-СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЦІЇ БАЗИ ДАНИХ ТА БАЗИ ЗНАНЬ

¹Вінницький національний технічний університет

Проведено комплексне дослідження вимог, функціональних можливостей та архітектурних особливостей інтелектуального модуля «Бирки (партія–тара)», що функціонує в межах інформаційної системи керування ресурсами підприємства «ПлазмІС». Актуальність роботи зумовлена специфікою високодинамічного дискретного виробництва, де критичною є висока простежуваність матеріальних потоків та гнучкість міжцехової і складської логістики. Традиційні підходи до маркування, ґрунтовані на статичних шаблонах етикеток, створюють проблему зростання кількості жорстко зафіксованих форматировок під кожну нову комбінацію «номенклатура–тара–контрагент». Це спричиняє значні трудовитрати на адміністрування системи, витрати на матеріали для маркування, ускладнює підтримку цілісності даних та підвищує ризик помилок через людський чинник під час ручного вибору шаблонів.

Наукова новизна дослідження полягає у розробленні формалізованої математичної моделі інтелектуального модуля, яка ґрунтується на синергії реляційної моделі даних та продукційної моделі знань. У роботі детально описано п'ять ключових відношень бази даних (Item, Item_part, Barcode, Item_unit_storage, Item_storage), які становлять інформаційний фундамент системи. Вперше запропоновано механізм динамічного керування структурою етикетки через інтелектуальну надбудову — базу знань. Вона реалізована як сукупність продукційних правил, предикатів та функцій, що дозволяють адаптувати контент та формат бирки в режимі реального часу залежно від параметрів користувача, характеристик партії, типу тари та умов логістичного ланцюга.

Запропонована база знань дозволяє систематизувати інформацію про продукцію та бізнес-процеси у вигляді ієрархічних тем, що забезпечує високу швидкість доступу до необхідних специфікацій. Такий підхід розв'язує критичну проблему лінійного зростання кількості жорстко заданих шаблонів, притаманну традиційним ERP-системам. Розроблений метод друку фактичних бирок безпосередньо з інформаційної системи забезпечує цілісність даних та мінімізує вплив людського фактора.

Практичне значення отриманих результатів підтверджено впровадженням модуля на підприємстві ТОВ «ПлазмаТек». Експериментальна експлуатація показала суттєве підвищення рівня автоматизації складських операцій: час на виконання процесів маркування скоротився у 2,5–4 рази, а кількість помилок персоналу, пов'язаних з некоректним введенням даних, зменшилася вдвічі. Результати дослідження можуть бути використані як методологічна база для проектування адаптивних компонентів сучасних інтелектуальних систем обліку та логістики.

Ключові слова: інтелектуальний модуль, інформаційна система, модель, база даних, база знань, ERP, ПлазмІС.

Вступ

Протягом останніх 20 років бізнес-додатки та програми еволюціонували від управлінських інформаційних систем до корпоративних інформаційних систем, які пропонують підтримку рішень для планування ресурсів підприємства. Планування ресурсів підприємства — це діяльність, яка включає закупівлі, виробництво, проекти, людські ресурси, фінанси та надає точні дані в режимі реального часу, щоб допомогти менеджерам або керівникам ухвалювати обґрунтовані та ефективні рішення. Метою такого планування є організація інформаційних потоків між усіма бізнес-процесами в межах підприємства та ефективне управління всіма його підрозділами для всього набору функцій та завдань.

Швидкий розвиток інформаційних технологій зберігання, зв'язку та обробки даних дозволяє



зберігати та обробляти всю інформацію в кіберпросторі.

Програмне забезпечення для планування ресурсів підприємства (ERP) намагається інтегрувати всі виробничі та сервісні відділи з їхніми властивими функціями в єдину інтелектуальну комп'ютерну систему для розв'язання різних проблем та задоволення різноманітних потреб цих відділів.

Впровадження єдиної системи, яка відповідає потребам різних відділів (наприклад, фінансів, складу, відділу кадрів), є складним завданням, оскільки ці відділи мають індивідуальне програмне забезпечення, яке розроблено та оптимізовано відповідно до роботи кожного відділу. Проте, якщо його правильно реалізувати, цей інтегрований підхід може бути дуже ефективним для підприємства з економічної точки зору. На основі єдиної інформаційної системи ERP різні відділи можуть легко обмінюватися даними та іншою корисною інформацією один з одним [1].

Незважаючи на всі технологічні прориви в цьому напрямку, існує низка завдань, над якими зараз працюють світові IT-компанії, наприклад: масштабування баз даних за розміром (до петабайт), автоматизація проєктування та адміністрування баз даних та ERP-систем, автоматичне виявлення тенденцій, структур та аномалій даних (інтелектуальний аналіз даних тощо) [2]. Актуальним є завдання створення окремих модулів у рамках наявної ERP-системи підприємства, що дозволяє підвищити рівень автоматизації певних видів робіт і, як наслідок, досягти вимірних економічних переваг підприємства в цілому [3].

Метою роботи є розробка та формалізація адаптивної моделі генерації маркувальних етикеток на основі інтеграції реляційних баз даних та продукційних баз знань для підвищення рівня автоматизації складських процесів у ERP-системах.

ERP-система ПлазмІС та модуль «Бирки (партія–тара)»

Управління даними та прийняття рішень — це складні завдання, що вимагають значної уваги та відповідальності. Саме тому сучасні підприємства швидко відмовляються від застарілих рішень для планування ресурсів, управління продажами, маркетингу, HR та фінансів. Більше половини підприємств розглядають ERP як один з пріоритетних секторів для інвестицій. Ринок програмного забезпечення ERP зростає зі швидкістю 10 % щорічно, а його загальна частка, як очікується, досягне 90 мільярдів доларів до 2028 року [4], [5].

«ПлазмІС» — це велика багаторівнева ERP-система, розроблена на основі вимог заводів групи компаній ТОВ «ПлазмаТек» — найбільшої корпорації з виробництва сировини та повного циклу зварювальних електродів в Україні. У 2011 році створена ERP-система «ПлазмІС». З того часу система знаходиться в стадії використання та постійного оновлення та вдосконалення на основі постійного розвитку виробництва на заводах ТОВ «ПлазмаТек». Функціонування цієї системи охоплює всі етапи від початкового виробництва до транспортування готової продукції, враховуючи виробничі процеси на кожному із заводів корпорації. Виробництво електродів неможливе без постачання та виробництва спеціальної сировини. Коли сировина надходить на завод, її необхідно швидко ввести в систему з одноразовим друком спеціальної бирки для позначення тари, в якій знаходиться сировина. Для цього поставлено завдання в процесі розробки модуля «Бирки (партія–тара)», який полегшить та автоматизує процес отримання сировини на заводі. Модуль «Бирки (партія–тара)» — це автоматизований інтелектуальний блок інформаційної системи, пов'язаної зі складським обліком. Основними вимогами, які висунуті розділу, є збір, аналіз та зберігання індивідуальних даних з подальшим об'єднанням їх у вичерпну таблицю для зручного використання. Окрім аналізу цих даних, особливу увагу приділено друку бирок. Вся зібрана інформація збирається за допомогою певних технологій у бирки, які можна зручно та швидко роздрукувати за допомогою інтерфейсу та спеціальних функцій — це є *метою нашого дослідження*.

Розробка моделі для автоматизованого формування етикеток

Процес формування маркувального знаку в запропонованому модулі розглядається як відображення, що залежить від трьох основних компонентів: даних, правил та параметрів конфігурації. Формально це можна представити так:

$$L = F(D, R, P), \quad (1)$$

де D — набір даних, що надходять з реляційної бази даних; R — набір правил виробництва бази знань; P — набір параметрів користувача та параметрів друку; L — згенерована етикетка.

Отже, функція F визначає адаптивне формування мітки залежно від контексту використання.

У загальнішій формі модель (1) можна представити як відображення

$$F : D \times R \times P \rightarrow L. \quad (2)$$

Для забезпечення зберігання та обробки інформації про матеріальні ресурси, партії, місця зберігання та маркування пропонується реляційна модель бази даних для відображення F

$$D = \{item, item_part, barcode, item_storage, item_unit_storage\}, \quad (3)$$

де *item* — відношення для опису матеріальних цінностей; атрибутами, що становлять це відношення, є: *itm_id* — ідентифікаційний код певної матеріальної цінності; *itm_unt* — основна одиниця вимірювання, у якій вимірюється ця матеріальна цінність, *itm_mrk* — марка матеріальної цінності; *itm_name* — найменування матеріальної цінності українською мовою; *itm_name_rus* — найменування активу російською мовою; *itm_name_en* — найменування активації англійською мовою; *itm_comment* — примітки; *itm_rec_dt* — дані останніх змін інформації про окремий актив; *itm_rec_st* — поточний статус тощо. Формальний опис відношення можна описати так:

$$\begin{aligned} Item \subset itm_id \times itm_itm_g \times itm_unt \times itm_mrk \times itm_code \times itm_univ \times itm_b \times \\ itm_name_rus \times itm_name_eng \times itm_name_b \times itm_comment \times itm_rec_dt \times \\ itm_rec_st \times itm_obi_ts. \end{aligned}$$

Item_part — відношення для характеристики партій товарів; атрибутами, що складають це відношення, є: *itpt_id* — ідентифікаційний код партії певної матеріальної цінності; *itpt_dpr* — ідентифікаційний код матеріальної цінності; *itpt_num* — номер партії; *itpt_dt* — дата створення партії; *itpt_st* — поточний статус; *itpt_comment* — примітки; *itpt_crtf* — сертифікат тощо. Формальний опис відношення можна описати так:

$$\begin{aligned} Item_part \subset itpt_id \times itpt_dpr \times itpt_itm \times itpt_itm_equip \times itpt_ca \times \\ itpt_crtf \times itpt_kind \times itpt_num \times itpt_num_org \times itpt_dt \times itpt_comment \times \\ itpt_obi_ts. \end{aligned}$$

Barcode — відношення для характеристики основних даних про партію або тару (контейнер). На основі цієї таблиці формується етикетка. Атрибутами, що складають це відношення, є: *bc_id* — ідентифікаційний код певної партії або тари; *bc_itpt* — ідентифікаційний код партії матеріальної цінності; *bc_grp* — групування за партією або тарою; *bc_count* — кількість/вага; *bc_comment* — примітки; *bc_rec_st* — поточний статус; *bc_rec_dt* — дата запису; *bc_dt* — дата; *bc_seal* — пломба тощо. Формальний опис відношення можна описати так:

$$\begin{aligned} Barcode \subset bc_id \times bc_itpt \times bc_ist \times bc_grp \times bc_count \times bc_comment \times bc_rec_st \times \\ bc_rec_dt \times bc_obi_ts \times bc_ius \times bc_seal \times bc_st. \end{aligned}$$

Item_unit_storage — відношення для характеристики одиниць зберігання; атрибутами, що складають це відношення, є: *ius_id* — ідентифікаційний код конкретної одиниці зберігання; *ius_name* — найменування конкретної одиниці зберігання; *ius_koef* — коефіцієнт одиниці зберігання; *ius_rec_st* — (поточний статус; *ius_rec_dt* (дата запису; *ius_comment* (примітки; *ius_name_rus* (найменування одиниці зберігання російською мовою; *ius_name_en* (найменування одиниці зберігання англійською мовою) тощо. Формальний опис відношення можна описати наступним чином:

$$\begin{aligned} Item_unit_storage \subset ius_id \times ius_itm \times ius_unt \times ius_unt_rpt \times ius_mrk \times ius_pck \times \\ ius_name \times ius_name_rus \times ius_name_eng \times ius_coed \times ius_is_use_price \times ius_unt \times \\ ius_descript \times ius_comment \times ius_rec_st \times ius_rec_dt \times ius_obi_ts. \end{aligned}$$

Item_storage — відношення для характеристики місць зберігання; атрибутами, що складають це відношення, є: *ist_id* — ідентифікаційний код конкретного місця зберігання; *ist_tp* — тип місця зберігання; *ist_num* — номер місця зберігання; *ist_name* — найменування місця зберігання; *ist_comment* — примітки; *ist_rec_st* — поточний статус; *ist_rec_dt* — дата запису тощо. Формальний опис відношення такий:

$$\begin{aligned} Item_storage \subset ist_id \times ist_ist \times ist_dpr \times ist_num \times ist_plt \times ist_tp \times ist_num \times \\ ist_name \times ist_weight \times ist_comment \times ist_rec_st \times ist_rec_dt \times ist_obi_ts \times ist_pck. \end{aligned}$$

вставляється номер форми. Якщо в параметрах друку немає номера форми, то співробітники мають можливість його записати, але у випадку друку без номера форми значення змінної F , оскільки поле на бирці не вставляється. Продукти визначаються таким чином $FormaR$:

$$FormaF : If B(f_j) then Print F(f_j) else Print F(null), \quad (7)$$

де предикат $B(f_j)$ визначається так:

$$\exists f_j \mid j \in \{1, 2, \dots, M\} \rightarrow B(f_j) = True. \quad (8)$$

2. Користувачі системи можуть самостійно редагувати потрібні їм поля на бирці. Для забезпечення гнучкості у вікні друку розроблено розкриті списки: «Не друкувати» та «Не вставляти». Через меню «Не друкувати» користувачі можуть вибрати j рядків r_j з теги таблиці LR , які не потрібно друкувати за допомогою функції $PrintRow$, а через меню «Не вставляти» є можливість не вставляти значення у свої j рядків з тегами таблиці LF за допомогою функції $PrintField$. Продукти визначаються таким чином: $RowR$ та $FieldR$:

$$RowR : If Row_j then Print Row(r_j) else Print Row(null), \quad (9)$$

де предикат Row_j визначено таким чином:

$$\exists Row_j \mid j \in \{1, 2, \dots, LR\} \rightarrow Row_j = True; \quad (10)$$

$$FieldR : If Field_j then Print Field(r_j) else Print Field(null), \quad (11)$$

де предикат $Field_j$ визначено так:

$$\exists Field_j \mid j \in \{1, 2, \dots, LF\} \rightarrow Field_j = True. \quad (12)$$

3. Для універсального друку мітки на різних принтерах розроблено метод увімкнення самої мітки 90° . Для цього створено окремий розкритий список з опціями 0° та 90° ; у js -файлі закладено метод увімкнення мітки 90° . Якщо опція вибрана користувачем 90° (предикат $Turn$ визначено як $True$), правило продукування обертання мітки $TurnR$ за допомогою функції $PrintTurn$ виглядає так:

$$TurnR : If Turn then Print Turn(Go) else Print Turn(null), \quad (13)$$

де змінна

$$Go = ".css('transform','rotate(\${this,value()}deg)')". \quad (14)$$

4. Щоб відцентрувати бирку на папері (перемістити його праворуч або ліворуч), у базі даних передбачено поле Відступ ($indent$). Це змінює положення бирки по горизонталі, вказуючи кількість пікселів у точках ($pixel_count$), на яку потрібно перемістити бирку. Оператор зсуву:

$$O_{pc} : (indent) \rightarrow pixel_count. \quad (15)$$

5. Одним з найважливіших елементів мітки є штрих-код. Він розробляється за допомогою спеціальної функції, яка генерує візуальне представлення штрих-коду $BarcodeImage$. Сам штрих-код формується з трьох полів: ідентифікатор деталі, вартість матеріалу (id_part), ідентифікатор місця зберігання речей (id_goods) та ідентифікатор штрих-коду ($id_barcode$). Оператор друку штрих-коду:

$$O_b : (id_part, id_goods, id_barcode) \rightarrow BarcodeImage. \quad (16)$$

Отже, в результаті дослідження розроблено модель бази знань [6], [7] інтелектуального модуля «Бирки (партія–тара)», що складається з продукційних правил (5), (7), (9), (11), (13)

$$Rule = \{LogoR, FormaR, RowR, FieldR, TurnR\}. \quad (17)$$

Предикатів (6), (8), (10), (12), (13)

$$Pr = \{A(l_i), B(f_j), Row_j, Field_j, Turn\}. \quad (18)$$

Функцій

$$Func = \{Print L, Print Row, Print Field, Print Turn\}. \quad (19)$$

Та операторів (15), (16)

$$Op = \{O_{pc}, O_b\}. \quad (20)$$

База знань модуля «Бирки (партія–тара)» побудована за двогалузевою архітектурою, яка поєднує онтологічний граф тем (ієрархію метаданих про дільниці, формати та вимоги) з множиною продукційних правил типу IF-THEN, збережених у вигляді JSON-конфігуратора. На серверному рівні (PL/SQL у середовищі Oracle Database) виконується первинна фільтрація та формування об'єкта правил для сеансу, тоді як клієнтський JavaScript-двигун інтерпретує їх у реальному часі: аналізує предикати, динамічно будує DOM-структуру HTML-шаблону етикетки та кешує налаштування в localStorage.

Механізм адаптації формування етикеток здійснюється у п'ять послідовних кроків: від збору транзакційних даних з бази та локальних налаштувань користувача до оцінки умовних предикатів (наявність логотипа, обертання, приховані поля) та виконання відповідних продукційних правил. На їх основі здійснюється динамічний синтез HTML/CSS-структури бирки — з генерацією штрих-коду, коригуванням зсувів і виключенням непотрібних елементів, — після чого сформований адаптивний макет передається на фізичний друк через модуль операційної системи.

Отже, набір правил (4)—(20) визначає логіку формування етикеток залежно від умов. Зокрема, правила визначають:

- вибір логотипу; – включення або виключення ліній та полів; – позиціонування на носії.
- відображення форми; – орієнтацію етикеток;

Використання правил виробництва дозволяє динамічно змінювати структуру етикеток без модифікації програмного коду.

Запропоновану адаптивну модель генерації етикеток в ERP-системах можна графічно подати у вигляді узагальненої схеми (рис. 2).



Рис. 2. Архітектура адаптивної моделі генерації бирок в ERP-системах:
D — дані ERP-системи; R — множина продукційних правил;
P — параметри користувача; L — сформована етикетка

Запропонована архітектура моделі відображає інтеграцію бази даних і бази знань, що забезпечує адаптивність та масштабованість системи.

Особливості використання модуля «Бирки (партія–тара)» та виробничий експеримент

До впровадження створеного модуля в роботу заводів, бирки писалися від руки на друкованих бланках. Працівник записував інформацію на картці звичайною ручкою. Ця процедура забирала у працівників багато часу, який можна було б використати в іншому напрямку. Створення запропонованої системи друку бирок є інноваційним та дозволяє швидше здійснювати процес обліку сировини та іншої продукції. До того ж, модель створеного модуля дала можливість частково автоматизувати цей процес порівняно з [13], [14].

Модуль «Бирки (партія–тара)» розроблено як окрему веб-сторінку підсистеми складського обліку. Розділ складається з фільтра пошуку та основної сітки. Фільтр складається з основного фільтра (8 полів пошуку для введення інформації) та додаткового (2 поля пошуку). Для створення фільтра пошуку вибрано Kendo UI, цей фреймворк максимально використовує такі технології, як HTML5 та CSS3. У розділі «Бирки (партія–тара)» можна виконувати операції: додавання даних до таблиці, редагування наявних даних та друк бирок. Користувач має можливість заповнити поля: група, вартість матеріалу, партія, тип тари, контейнер, кількість, одиниці зберігання, дата виробництва, плomba та примітки. Користувач повинен перевірити правильність введених даних бирки та натиснути кнопку друку. Під час налаштування принтера спрацьовує спеціальна функція, яка викликає стандартні процедури друку з ОС Windows, зокрема стандартне вікно друку, і етикетка успішно друкується. На рис. 3 показано вікно друкування та перегляду бирок у Windows.

Під час написання бирок від руки співробітники допускали багато помилок. Варто зазначити, що після початку роботи в системі кількість помилок, допущених співробітниками в процесі запису, зменшилася. Крім того, якщо співробітники допускають помилки в системі, їх можна негайно виправити через режим редагування. Більше того, створення та редагування даних контролюється за допомогою аудиту, де фіксується час та дії, виконані учасниками.

Для оцінки ефективності впровадження запропонованої розробки зібрано та узагальнено експертні

оцінки 25 співробітників підприємства «ПлазмаТек», безпосередньо відповідальних за облік сировини та іншої продукції. Практичні показники розробки, отримані в результаті такої оцінки, подано в табл. 1.

Таблиця 1

Практичні показники

Назва показника	До впровадження розробки	Після впровадження розробки
Час введення одного запису в систему (хвилини)	6	2,5
Час підготовки мітки (хвилини)	8	2
Час редагування інформації (хвилини)	5	2
Кількість помилок на 100 бирок	2—7	1—4

Модуль «Бирки (партія–тара)» — інтерфейс інформаційної системи ПлазмІС який базується на основній таблиці БД *barcode*. Інтерфейс розроблено для можливості друку бирок (етикеток) про певні речі, матеріальні цінності, які мають свою партію та тару. Спочатку це розроблялося як розділ складського обліку інформаційної системи з виробництва зварювальних електродів. З часом з розвитком модуля та методів друку це еволюціонувало в основний інтерфейс та основні методи для створення друкованих форм для обліку ресурсів не тільки у розрізі складського обліку, але й на етапах виробництва. Бирки формуються як таблички за допомогою універсальних блочних HTML-елементів *div*. Кожне поле таблиці має свій унікальний клас та стилі. Окремо до кожної бирки є можливі та важливі доповнення: логотип підприємства групи компаній ПлазмаТек, номер форми шаблону друкованої форми та штрих-код.

Модуль підтримує 2 способи для друку, різниця між якими — це розміри паперу для друку. Перший спосіб це друк *n*-ї кількості бирок на 1 листку формату А4. Бирки в залежності від видів мають такі розміри: 50×100 мм, 80×100 мм та 100×100 мм. Варто зазначити, що бирки різних розмірів використовуються на різних ділянках виробництва. На шаблон в форматі друку на папері одночасно можна розмістити 6—8 бирок.

Важливішим є спосіб друкування на термопринтерах, який дозволяє роздрукувати готову бирку на термоетикетках. У цьому випадку кожна бирка займає своє положення на одній окремій термоетикетці.

Для кожної ділянки потрібно врахувати свою інформацію, параметри та методи друкування. Тому «Бирки (партія–тара)» налічує відносно велику кількість параметрів друку. Саме параметри друку дозволяють працівникам налаштувати процедуру друку під власні потреби. Основні параметри друку подано у табл. 2.

Таблиця 2

Основні параметри друку модуля «Бирки (партія–тара)»

Назва параметра	Опис
c_width	Ширина друкованої форми, вимірюється у рх. Змінює ширину друкованої форми на певну кількість рх. Необхідно для вдалого розміщення бирки на шаблоні для друку по ширині
c_height	Відстань між друкованими формами по висоті, вимірюється у рх. Необхідно для вдалого розміщення бирки на шаблоні для друку по висоті
c_rotation	Обертання бирки на 90°, має 2 варіанти: 0° та 90°. Розроблено для 1 ділянки виробництва, де знаходився спеціалізований принтер, який друкує на термопапері та поставала задача друкувати бирки перевернутими на 90°
c_retreat	Відступ ліворуч від краю листа чи термоетикетки друкованої форми, вимірюється у рх
bc_print_params	Перелік полів бирки, які не потрібно друкувати в конкретному випадку. Універсальний параметр, який дозволяє налаштувати друковану форму під потреби конкретної ділянки виробництва
bc_param_val	Перелік полів бирки, які потрібно очистити від інформації в конкретному випадку. Універсальний параметр, який дозволяє налаштувати друковану форму під потреби конкретної ділянки виробництва.

Усі ці параметри користувач може змінити на спеціальній карточці. Параметри зберігаються у таблиці *localStorage*. У разі відкриття карточки наступного разу (див.) збережені параметри проставляються автоматично.

На виробництві та у складському обліку кожен користувач працює або на робочому ПК або на мобільному пристрої (ТЗД, спеціальний телефон, планшет тощо). Під час першої авторизації у системі відкритті модуля «Бирки (партія–тара)» працівник має вибрати записи за якими необхідно роздрукувати бирки. Вибравши їх через *check-box*, відкриває карточку друку та перегляду (рис. 3). Під час

першого відкриття карточки користувач отримує майже порожню карточку з трьома основними параметрами.

Для оцінки ефективності запропонованої моделі проведено виробничий експеримент, який порівнює два підходи до формування маркувальних етикеток:

1 — статичний шаблонний режим генерування та друку етикеток складського обліку ERP ПлазмІС (підхід А);

2 — адаптивний режим генерування та друку етикеток на основі продукційних правил діляниць виробництва ERP ПлазмІС (підхід Б).

Експеримент відображає процес формування етикеток для складського обліку матеріалів за різних сценаріїв використання (різні типи матеріалів, підрозділи, параметри друку).

Вхідні параметри експериментальної моделі застосування модуля «Бирки (партія–тара)»: n — кількість полів етикетки (від 5 до 11); r — кількість активних правил (від 3 до 11); p — кількість параметрів користувача (від 3 до 9); s — кількість сценаріїв (типів етикеток).

Критерії оцінки результатів експерименту:

T_{setup} — час налаштування шаблону; T_{general} — загальний час отримання користувачем певної кількості друківаних форм (етикеток), $T_{\text{general}} = T_{\text{setup}} \cdot s + t$, де t — період часу на отримання користувачем етикеток на екрані; E — кількість помилок конфігурації; F — рівень гнучкості (кількість варіантів етикеток без зміни коду).

Результати виробничого експерименту модуля «Бирки (партія–тара)» подано у вигляді узагальненого порівняння підходів А і Б в табл. 3.

Таблиця 3

Основні результати виробничого експерименту модуля «Бирки (партія–тара)»

Кількість шаблонів	3		8		14		20	
Підхід	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б
T_{setup} , с	39,6	0	39,8	0	40,1	0	39,5	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0
F	1	3	3	8	4	14	5	20
T_{general} , с	128,7	15,3	375,2	24,8	617,2	44,8	870	62

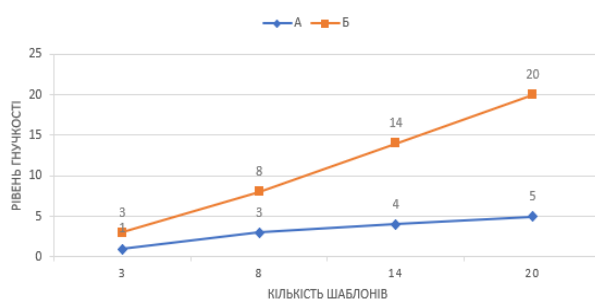
Залежність часу T_{general} від кількості шаблонів друку показано на рис. 4.

Залежність рівня гнучкості F від кількості шаблонів друку показано на рис. 5.

ЗАЛЕЖНІСТЬ ЧАСУ ВІД КІЛЬКОСТІ ШАБЛОНІВ

Рис. 4. Залежність часу T_{general} від кількості шаблонів

ЗАЛЕЖНІСТЬ РІВНЯ ГНУЧКОСТІ ВІД КІЛЬКОСТІ ШАБЛОНІВ

Рис. 5. Залежність рівня гнучкості F від кількості шаблонів

Отримані результати проведеного виробничого експерименту модуля «Бирки (партія–тара)» свідчать, що запропонована модель:

- зменшує трудомісткість налаштування етикеток;
- забезпечує масштабованість при зростанні кількості сценаріїв;
- дозволяє реалізувати адаптивне формування етикеток без зміни програмного коду;
- підвищує узгодженість даних за рахунок централізації логіки.

Отже, виробничий експеримент підтверджує ефективність використання продукційної моделі знань для автоматизації процесів маркування в ERP-системах.

Практична цінність отриманих результатів полягає у створенні відторгнутого адаптивного модуля для ERP-системи «ПлазмІС», який дозволив перевести процес маркування сировини та напівфабрикатів на підприємстві ТОВ «ПлазмаТек» у повністю автоматизований режим. Впровадження розробки забезпечило такі вимірні ефекти:

- скорочення операційного циклу: час підготовки та друку однієї етикетки зменшився у 4 рази (з 8 до 2 хв), а час введення первинного запису — у 2,4 рази (з 6 до 2,5 хв);
- підвищення якості даних: рівень помилок операторів знизився з 2—7 % до 1—4 % на 100 бирок за рахунок автоматичної верифікації через базу знань, що зменшило перевитрати матеріалів і відходи термоетикеток;
- масштабованість і гнучкість: зі зростанням кількості сценаріїв маркування з 3 до 20 підхід на основі бази знань усунув потребу у переналаштуванні шаблонів ($T_{setup} = 0$), скоротивши сукупний час отримання друкованих форм у 14 разів (з 14,5 до 1 хв) та розширивши рівень гнучкості системи без модифікації коду.

Висновок

Запропонована в статті база знань — це онлайн-бібліотека (доповнення) на основі запропонованої бази даних, яка зберігає інформацію про продукт, послугу, певні теми або компанію в цілому. Надані дані можна організувати за темами та підтемами, а потім легко ділитися ними з клієнтами або колегами. Чим простіше та зрозуміліше організована інформація в базі знань, тим більшу цінність вона принесе користувачам [15]. Дослідження технологічних особливостей складської діяльності дозволило: розробити реляційну модель (1) інтелектуального модуля, запропонувати п'ять відношень моделі друку етикеток, представлених у вигляді схеми бази даних. Для створення бази знань (9) обґрунтовано склад наборів для виробничих правил, предикатів, функцій та операторів, які запропоновані як доповнення до відношень бази даних.

В результаті розробки «Бирки (партія–тара)» підвищено ступінь автоматизації інтелектуального модуля інформаційної системи «ПлазмІС» на підприємстві «ПлазмаТек». Як наслідок, час на виконання різних операцій скоротився з 2,5 до чотирьох разів, а кількість помилок персоналу зменшилася приблизно вдвічі.

У роботі створено формалізовану модель інтелектуального модуля «Бирки (партія–тара)» інформаційної системи «ПлазмІС», яка інтегрує реляційну модель бази даних та продукційну модель бази знань для автоматизації процесів формування та друку маркувальних етикеток.

Запропонована модель забезпечує адаптивне формування етикеток залежно від параметрів користувача та умов використання, що дозволяє уникнути лінійного зростання кількості жорстко заданих шаблонів.

На відміну від наявних підходів, запропоноване рішення реалізує механізм динамічного керування структурою етикетки на основі продукційних правил, що підвищує гнучкість та масштабованість системи.

Програмна імплементація моделі у вигляді інтелектуального модуля «Бирки (партія–тара)» та його практичне застосування у складі ERP-системи «ПлазмІС» дозволило підвищити рівень автоматизації складських процесів та зменшити трудомісткість налаштування маркувальних етикеток.

Отримані результати можуть бути використані під час розроблення адаптивних компонентів ERP-систем для автоматизації процесів обліку та маркування матеріальних ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] S. V. Grabski, S. A. Leech, and P. J. Schmidt, "A Review of ERP Research: A Future Agenda for Accounting Information Systems," *Journal of Information Systems*, 2011. <https://doi.org/10.2308/jis.2011.25.1.37>.

- [2] D. Kocsis, "A conceptual foundation of design and implementation research in accounting information systems," *International Journal of Accounting Information Systems*, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2019.06.003>.
- [3] T. Estefania, L. Samir, P. Robert, D. Patrice, and M. Alexandre, "The integration of ERP and inter-intra organizational information systems: A literature Review," *International Federation of Automatic Control*, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.facol.2018.08.425>.
- [4] F. Zafary, "Implementation of business intelligence considering the role of information systems integration and enterprise resource planning," *Journal of Intelligence Studies in Business*, 2020. <https://doi.org/10.37380/jisib.v1i1.563>.
- [5] W. Cruz-Torres, A. Alvarez-Risco, and S. Del-Aguila-Arcenales, "Impact of Enterprise Resource Planning (ERP) Implementation on Performance of an Education Enterprise: A Structural Equation Modeling," *Studies in Business and Economics*, 2021. <https://doi.org/10.2478/sbe-2021-0023>.
- [6] O. V. Bisikalo, V. V. Kovtun, and O. V. Kovtun, "Modeling of the Estimation of the Time to Failure of the Information System for Critical Use," 2020, in *10th International Conference ACIT*, Deggendorf, Germany, pp. 140-143, 2020. <https://doi.org/10.1109/ACIT49673.2020.9208883>.
- [7] V. Bisikalo, V. V. Kovtun, O. V. Kovtun, and V. B. Romanenko, "Research of safety and survivability models of the information system for critical use," 2020, in *IEEE 11th IC DESSERT*, Kyiv, Ukraine, pp. 7-12, 2020. <https://doi.org/10.1109/DESSERT50317.2020.9125061>.
- [8] A. ALAmri, "The relational database layout to store ontology knowledge base," in *International Conference on Information Retrieval & Knowledge Management*, 2012. <https://doi.org/10.1109/InfRKM.2012.6205039>.
- [9] E. Santamaría-Vázquez, V. Martínez-Cagigal, F. Vaquerizo-Villar, and R. Hornero, "EEG-Inception: A Novel Deep Convolutional Neural Network for Assistive ERP-Based Brain-Computer Interfaces," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2020.3048106>.
- [10] C. A. Ofoegbu, "Enterprise Resource Planning (ERP) adoption in a hybrid service and manufacturing Small and Medium-sized Enterprise (SME): an action case study." Ph.D. thesis, Salford Business School University of Salford, Salford, UK, 2016.
- [11] W. Danilczuk, and A. Gola, "Computer-aided material demand planning using ERP systems and business intelligence technology," *Applied computer science*, 2020. <https://doi.org/10.35784/acs-2020-20>.
- [12] Bisikalo, D. Chernenko, O. Danylchuk, V. Kovtun, and V. Romanenko, "Information Technology for TTF Optimization of an Information System for Critical Use that Operates in Aggressive Cyber-Physical Space," in *2020 IEEE International Conference PIC S&T*, 2020, pp. 323-329. <https://doi.org/10.1109/PICST51311.2020.9467997>.
- [13] P. Ruivo, B. Johansson, T. Oliveira, and M. Neto, "Commercial ERP Systems and User Productivity: A Study Across European SMEs," *Procedia Technol.*, vol. 9, pp. 84-93, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.009>.
- [14] S. Gupta, S. C. Misra, N. Kock, and D. Roubaud, "Organizational, technological and extrinsic factors in the implementation of cloud ERP in SMEs," *J. Organ. Chang. Manag.*, vol. 31, no. 1, pp. 83-02, 2018. <https://doi.org/10.1108/JOCM-06-2017-0230>.
- [15] S. Hochreiter, and J. Schmidhuber, "Long Short-Term Memory," *Neural Computation*, 1997, no. 9 (8), pp. 1735-1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>.

Рекомендована кафедрою автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій ВНТУ

Дата надходження 6.05.2026

Дата прийняття після доопрацювання 20.05.2026

Дата прийняття до друку після рецензування 25.08.2026

Дата публікації 2.10..2026

Старжинський Валерій Юрійович — аспірант кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, e-mail: 3372292@gmail.com . <https://orcid.org/0009-0009-3827-0122>;

Бісікало Олег Володимирович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, e-mail: obisikalo@vntu.edu.ua . <https://orcid.org/0000-0002-7607-1943>.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

V. Yu. Starzhynsky¹

O. V. Bisikalo¹

Adaptive Label Generation Model in Erp Systems Based on Database and Knowledge Base Integration

¹Vinnitsia National Technical University

The article presents a comprehensive study of the requirements, functional capabilities and architectural features of the intelligent module "Tags (batch-container)", which operates within the information system for managing resources of the enterprise "PlasmiS". The relevance of the work is due to the specific character of highly dynamic discrete production, where

high traceability of material flows and flexibility of inter-shop and warehouse logistics are critical. Traditional approaches to labeling, based on static label templates, create the problem of increasing the number of rigidly fixed formatting for each new combination of "nomenclature-container-counterparty". This causes significant labor costs for system administration, costs for labeling materials, complicates maintaining data integrity and increases the risk of errors due to the human factor during manual template selection.

The scientific novelty of the research lies in the development of a formalized mathematical model of the intelligent module, based on the synergy of the relational data model and the production knowledge model. The work describes in detail five key database relationships (Item, Item_part, Barcode, Item_unit_storage, Item_storage), which constitute the information foundation of the system. For the first time, a mechanism for dynamic label structure management through an intelligent superstructure — a knowledge base is proposed. It is implemented as a set of production rules, predicates and functions that allow adapting the content and format of the tag in real time depending on the user parameters, batch characteristics, type of container and logistics chain conditions.

The proposed knowledge base enables to systematize information about products and business processes in the form of hierarchical topics, which provides high speed access to the necessary specifications. This approach solves the critical problem of linear growth in the number of rigidly specified templates, inherent in traditional ERP systems. The developed method of printing actual tags directly from the information system ensures data integrity and minimizes the impact of the human factor.

The practical significance of the results obtained was confirmed by the implementation of the module at the enterprise PlasmaTek LLC. Experimental operation showed a significant increase in the level of automation of warehouse operations: the time for performing labeling processes was reduced by 2.5—4 times, and the number of personnel errors associated with incorrect data entry was halved. The results of the study can be used as a methodological basis for designing adaptive components of modern intelligent accounting and logistics systems.

Keywords: intelligent module, information system, model, database, knowledge base, ERP, PlasmIS.

Starzhinskii Valeriy Yu. — Post-Graduate Student of the Chair of Automation and Intelligent Information Technologies, e-mail: 3372292@gmail.com . <https://orcid.org/0009-0009-3827-0122>;

Bisikalo Oleh V. — Dr Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Automation and Intelligent Information Technologies, e-mail: obisikalo@vntu.edu.ua. <https://orcid.org/0000-0002-7607-1943>