

УДК 004.414.2

О. А. ЗОЛОТУХІНА;

О. М. ШУШУРА, канд. техн. наук, доцент,

Державний університет телекомунікацій, Київ

Функціональне моделювання інформаційної системи управління ресурсами підприємства в умовах невизначеності або недостовірності даних

Розглянуто процес функціонального моделювання інформаційної системи управління ресурсами підприємства. Розроблено контекстну діаграму системи і проведено її декомпозицію. Обґрунтовано використання методів нечіткої логіки для обробки невизначених або недостовірних даних інформаційної системи управління ресурсами.

Ключові слова: інформаційна система; управління ресурсами підприємства; функціональна модель; контекстна діаграма; нечітка модель.

Вступ

Загальносвітова та вітчизняна практика виконання завдань управління ресурсами підприємства полягає здебільшого в застосуванні стратегії **ERP** (*Enterprise resource planning*) [1]. Зокрема, для управління фізичними активами протягом усього їхнього життєвого циклу в межах виробничих процесів використовується методологія **EAM** (*Enterprise Asset Management*). Модулі EAM-систем дозволяють за рахунок використання інформаційних технологій оптимізувати витрати та збільшити виробничі потужності [2].

Складність упровадження та використання інформаційних технологій у процесах управління ресурсами залежить від різноманітних показників, серед яких розмір підприємства, специфіка виробничих процесів, види та характеристики використовуваного обладнання, особливості ведення господарської діяльності та багато інших. В бухгалтерських розрахунках акцент робиться на фінансовому та обліковому аспектах контролю ресурсів [3]. При цьому реальні виробничі фонди являють собою складні об'єкти, що мають величезну кількість характеристик, які, у свою чергу, бувають досить складної природи.

Більшість виробничих процесів описуються технологічними схемами, специфікаціями тощо, які визначають чіткі норми витрат ресурсів і можуть бути описані простими моделями. Проте для окремих стадій виробничих процесів ці дані можуть мати нечітку природу або взагалі не можуть бути точно та достовірно визначені.

Мета цієї статті — функціональне моделювання інформаційної системи управління ресурсами підприємства в умовах невизначеності або недостовірності даних, які стосуються характеристик ресурсів (у тому числі поточних) та показників, пов'язаних з умовами експлуатації та витрат ресурсів у процесі виконання деякої стадії виробничого процесу.

Основна частина

Розробка функціональної моделі інформаційної системи передбачає визначення структури та функцій системи, а також потоків інформації та матеріальних об'єктів, які пов'язують між собою вказані функції. Будемо використовувати для функціонального моделювання методологію **IDEFO**, яка є частиною сімейства стандартів **ICAM** моделювання складних систем [4].

Відповідно до методології **IDEFO**, першим кроком у побудові функціональної моделі є визначення її меж та побудова контекстної діаграми рівня **A-0**. Для цього проведемо аналіз цілей та функцій інформаційної системи управління ресурсами, визначимо її вхідні та вихідні дані, управляючі компоненти та механізми.

Будь-який виробничий процес підприємства характеризується сукупністю дій (актів, завдань тощо), які виконуються із використанням певних засобів праці та можуть проходити за участю людини або без неї [5]. У комплексі ці дії дозволяють досягнути певної бізнес-мети підприємства: вироблення кінцевої чи проміжної продукції, надання послуги тощо. Основною метою інформаційної системи, що розглядається в рамках даної статті, є управління ресурсами підприємства в умовах невизначеності або недостовірності даних — згідно з контекстом використання системи. Задачу управління ресурсами будемо розглядати в межах окремої стадії виробничого процесу.

Незалежно від типу виробничого процесу (основний, допоміжний, обслуговуючий) та його кінцевої мети кожна стадія виробничого процесу пов'язана з переходом предметів (об'єктів) праці з одного

якісного стану в інший. Зміни станів предметів праці, необхідних для реалізації стадії виробничого процесу, можуть полягати в такому:

- перетворенні на інші ресурси (виготовлення продукції);
- витратах ресурсів (використання матеріалів у процесі експлуатації, обслуговування чи ремонту інших предметів праці);
- зміні характеристик ресурсів (наприклад, зношення обладнання в процесі експлуатації).

Усі зміни станів ресурсів відбуваються на підставі інформації і/або документів, що визначають, як саме здійснюється певне перетворення.

Розглядаючи окрему стадію виробничого процесу як так званий чорний ящик, можна подати її схемою, наведеною на рис. 1.

Множину WO ресурсів, яка стосується предметів праці, будемо подавати у вигляді

$$WO = \{MR, CR, HR\}. \quad (1)$$

Тут MR — основні виробничі фонди, що належать до категорії матеріальних активів підприємства та включають у себе засоби праці, які безпосередньо беруть участь у процесі виробництва, зберігаючи при цьому свою первинну форму (обладнання, механізми тощо); CR — витратні ресурси/матеріали, котрі частково чи повністю витрачаються на стадії виробничого процесу (змінні елементи механізмів та обладнання, такі як шини автомобіля, картридж принтера; ресурси, необхідні для експлуатації обладнання, наприклад тонер у картриджі принтера, паливо для заправки транспортного засобу тощо); HR — людські ресурси.



Рис. 1. Стадія виробничого процесу, подана як чорний ящик

Основні виробничі фонди можуть бути подані у вигляді

$$MR = \{MR_i\}, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (2)$$

де N — загальна кількість ресурсів, які використовуються на стадії виробничого процесу. Характеристики ресурсу MR_i умовно можна поділити на *статичні* та *динамічні*:

$$MR_i = \{S_i, D_i\} \quad (3)$$

де S_i — множина статичних характеристик, які відповідають i -му ресурсу; D_i — множина динамічних характеристик i -го ресурсу (значення характеристик може змінюватися в процесі експлуатації, технічного обслуговування, ремонту),

$$S_i = \{s_1^i = \text{const}_1, s_2^i = \text{const}_2, \dots, s_{K_i}^i = \text{const}_{K_i}\}, \quad (4)$$

$$D_i = \{d_1^i = f_1^i(X_1^i), d_2^i = f_2^i(X_2^i), \dots, d_{M_i}^i = f_{M_i}^i(X_{M_i}^i)\}, \quad (5)$$

де кожне $s_k^i, k = \overline{1, K_i}$ — умовно константний параметр (якщо в процесі життєвого циклу ресурсу встановлюється нове значення параметра, то попереднє значення втрачається), а кожний елемент множини динамічних параметрів $d_m^i, m = \overline{1, M_i}$ є залежністю від відповідної функції змін $f_m^i(X_m^i)$; K_i, M_i — кількість відповідно статичних і динамічних характеристик i -го ресурсу.

Прикладом статичної характеристики можуть бути: назва матеріального ресурсу, тип обладнання, дата виробництва, номер двигуна транспортного засобу тощо. До статичних характеристик також буде відносити ті, які можуть змінюватися в процесі експлуатації ресурсу, але не впливають на показники ефективності цього процесу, наприклад колір чи інвентарний номер.

Динамічні характеристики залежать від різноманітних факторів: умов експлуатації (режим, інтенсивність, типи використаних витратних матеріалів та інших показників), строку використання ресурсу, частоти та результатів робіт із технічного обслуговування і ремонту (ТОіР) тощо. Тому функція змін $f_m^i(X_m^i)$ у загальному випадку є функцією багатьох змінних:

$$X_m^i = \{x_{m,1}^i, x_{m,2}^i, \dots, x_{m,p_m}^i\}, \quad (6)$$

де p_m — кількість факторів, що впливають на зміну m -ї характеристики. Деякі статичні характеристики можуть виступати як фактори, що впливають на зміну динамічних характеристик, наприклад дата виробництва ресурсу. Іноді спостерігаються ситуації взаємозалежності факторів. Наприклад, характеристика транспортного засобу «загальний пройдений кілометраж», у свою чергу, є одним із факторів, що впливає на характеристику «планова дата технічного обслуговування».

Інформація/документи перетворення становить множину, що включає в себе нормативну документацію, пов'язану з витратами, експлуатацією, технічним обслуговуванням та ремонтом предметів праці WO . Це можуть бути:

- бізнес-вимоги до процесу;
- технологічні схеми;

- описи циклів виконання робіт;
- нормативи витрат матеріалів.

Із погляду виконання стадії виробничого процесу інформацію/документи перетворення подамо так:

$$CI = \{OD, ND\}, \tag{7}$$

де *OD* — оперативні дані про експлуатацію механізмів/обладнання і/або роботу людей в процесі виконання стадії виробничого процесу; *ND* — нормативна документація, що визначає функції та правила, за якими відбувається перетворення ресурсів. Безпосереднє перетворення витратних ресурсів/матеріалів *CR* виконується за допомогою механізмів/обладнання *MR*, а також людських ресурсів *HR*. Отже, результат *WO** перетворення предметів праці можна подати виразом

$$WO^* = F(MR, CR, HR, OD), \tag{8}$$

де *F()* — функція перетворення, яка формується на основі інформації з нормативної документації *ND*.

Оскільки інформаційна система оперує не фізичними об'єктами, а даними про них, розглянемо, як саме можуть бути подані компоненти функціональної моделі з цього погляду.

Дані множини *MR* являють собою інформацію про обладнання, механізми та інші матеріальні активи підприємства. База даних обладнання формується здебільшого на основі даних технічних паспортів.

Інформаційна складова множини *OD* подається базою даних оперативних показників, які визначають зміни у стані обладнання/механізмів чи витрати ресурсів/матеріалів. Один зі способів формування даних у базі оперативних показників — це отримання реальної інформації з датчиків. Проте хоча такий спосіб і забезпечує високу точність, він має ряд недоліків, серед яких витрати на додаткове вимірювальне обладнання, необхідність упровадження додаткових систем обліку та обробки показників, складність монтажу, побічні ефекти від втручання у технологічні процеси тощо. Альтернативою методу отримання інформації з датчиків є визначення необхідних показників із використанням нормативних документів, які описують правила розрахунку показників на базі середньостатистичних даних експлуатації/витрат ресурсу в схожих умовах та режимах.

Значну частину процесів контролю та управління ресурсами становлять процеси планування заходів із ТОіР. Базові правила ТОіР визначаються нормативною документацією на галузевому та державному рівнях і в деяких випадках можуть коригуватися на рівні підприємства. Планові заходи з ТОіР визначаються на основі базових правил ТОіР та оперативних показників експлуатації обладнання.

Згідно зі сказаним контекстна діаграма інформаційної системи управління ресурсами підприємства рівня А-0 може бути подана схемою, наведеною на рис. 2 (контекст системи обмежується однією стадією виробничого процесу).

Входом є база даних ресурсів, які використовуються в рамках однієї стадії виробничого процесу, та оперативні показники експлуатації ресурсів, котрі належать до категорії обладнання/механізмів, оскільки від цих показників значною мірою залежать витрати ресурсів, не задіяних у створенні нових продуктів, але використовуваних для підтримки роботоздатності обладнання/механізмів. Управління ресурсами виконується на основі нормативної документації з експлуатації, технічного обслуговування і ремонту обладнання. Зазначені елементи дають змогу сформувати вихідні дані: планові заходи з ТОіР, а також дані про перетворення/витрати ресурсів. Інформаційна технологія виступає як механізм, що генерує певні рекомендації, а остаточне рішення приймається іншим механізмом моделі: особою, відповідальною за прийняття рішень (ОПР) щодо правил, методів та алгоритмів формування вихідних даних.



Рис. 2. Контекстна діаграма А-0 інформаційної системи управління ресурсами підприємства

ний перелік ресурсів і нормативної документації експлуатації, технічного обслуговування і ремонту обладнання;

2) інформаційна система формує дані про режими експлуатації ресурсів (обладнання/люди), використовуючи оперативні показники експлуатації і/або застосовуючи правила нормативної документації експлуатації;

3) інформаційна система формує рішення щодо розрахунку витрат матеріалів;

Наступний крок створення функціональної моделі полягає в декомпозиції функції управління ресурсами підприємства та створенні діаграми другого рівня, яка є дочірньою щодо контекстної діаграми.

Загальний перелік дій з управління ресурсами такий:

1) інформаційна система (при потребі — разом із людиною-оператором) здійснює аналіз ресурсів, які мають бути використані в процесі виконання стадії виробничого процесу, та формує відповід-

4) на підставі оперативних показників експлуатації, нормативної документації з технічного обслуговування і ремонту та бази даних обладнання інформаційна система формує рішення щодо необхідності зміни стану обладнання (проведення технічного обслуговування, ремонту тощо);

5) особа, відповідальна за прийняття рішень, приймає чи відхиляє рекомендації, сформовані інформаційною системою.

Графічне подання декомпозиції контекстної діаграми наведено на рис. 3.



Рис. 3. Декомпозиція контекстної діаграми

Розглянемо моменти, пов'язані з невизначеністю або недостовірністю даних інформаційної системи управління ресурсами підприємства.

1. База даних ресурсів, які належать до категорії обладнання, містить інформацію, яка формується переважно на підставі технічних паспортів. При цьому реальні значення характеристик конкретної одиниці обладнання можуть значною мірою відрізнятися від паспортних. Причини тут різні, а саме:

- похибки та відхилення, зумовлені дефектами, допущеними при виробництві обладнання;
- зміна нормативних показників, зумовлена зношеністю в процесі експлуатації;
- зміна нормативних показників, зумовлена специфічним чи нестандартним циклом експлуатації;
- зміна нормативних показників, зумовлена використанням нетипових витратних матеріалів.

2. Застосування середньостатистичних норм, прийнятних за певних режимів експлуатації, при формуванні даних у базі оперативних показників може призвести до значного зростання похибки розрахунків, а отже, до перевитрат чи недостач витратних матеріалів або неправильного визначення стану обладнання/механізмів.

3. Характеристики, які зберігаються в базі ресурсів, не завжди є константними, а можуть змінюватися залежно від оперативної інформації про експлуатацію, обслуговування та ремонт обладнання. Відсутність методів і засобів автоматизації внесення змін може призвести до виникнення недостовірних даних про характеристики обладнання/механізмів.

4. Існує багато виробничих процесів, при яких витрати матеріалів розраховуються за спрощеними моделями (наприклад, розрахунок витрат палива та мастил на основі базової лінійної моделі). Це призводить до того, що вихідні дані системи управління ресурсами розраховуються з певною похибкою, значення якої не завжди може задовольняти бізнес-вимоги.

5. Для багатьох стадій виробничих процесів неможливо визначити повний перелік усіх можливих режимів. Це може призводити до того, що реальний режим експлуатації ресурсу узагальнюється до якогось із задалегідь визначених нормативних/планових режимів. При цьому відхилення реальних значень показників експлуатації можуть істотно відрізнятися від обраного визначеного режиму.

6. У ході виконання стадії виробничого процесу може використовуватися інформація, яку складно описати із застосуванням існуючого математичного чи іншого формального апарату (наприклад, манера водія при експлуатації транспортного засобу, щільність документів, що друкуються на принтері тощо). Ця інформація або зовсім не береться до уваги, або спрощується до стану, прийнятного для використання в умовах реального підприємства. Утім у деяких випадках ця інформація може мати суттєвий вплив на формування вихідних даних підсистеми розрахунку витрат ресурсів підприємства.

Інформацію, яка може мати властивості неповноти, недостовірності тощо, пропонується обробляти із використанням нечітких моделей [6]. Це стосується таких блоків:

- блок А3 формування даних про режими експлуатації;
- блок А4 формування рішення щодо витрат матеріалів;
- блок А5 формування рішення щодо необхідності зміни стану обладнання.

Система нечіткого виводу дозволяє отримати висновки на підставі нечітких вхідних даних і містить такі функціональні блоки [6; 7]:

- фазифікатор — перетворює чіткі вхідні дані в нечіткі (для подання нечітких даних застосовуються лінгвістичні змінні);
- блок нечіткого виводу — оперує базою нечітких правил і дозволяє отримати на основі нечітких вхідних даних нечіткі виходи;
- дефазифікатор — виконує операцію, обернену до фазифікації, і ставить у відповідність нечітким вихідним даним чіткі значення.

При переході від чітких значень до нечітких і навпаки використовуються функції належності, які визначають залежності для кожного з термів (значень) лінгвістичної змінної.

Проілюструємо використання нечіткої моделі на прикладі декомпозиції блока А3 (рис. 4).

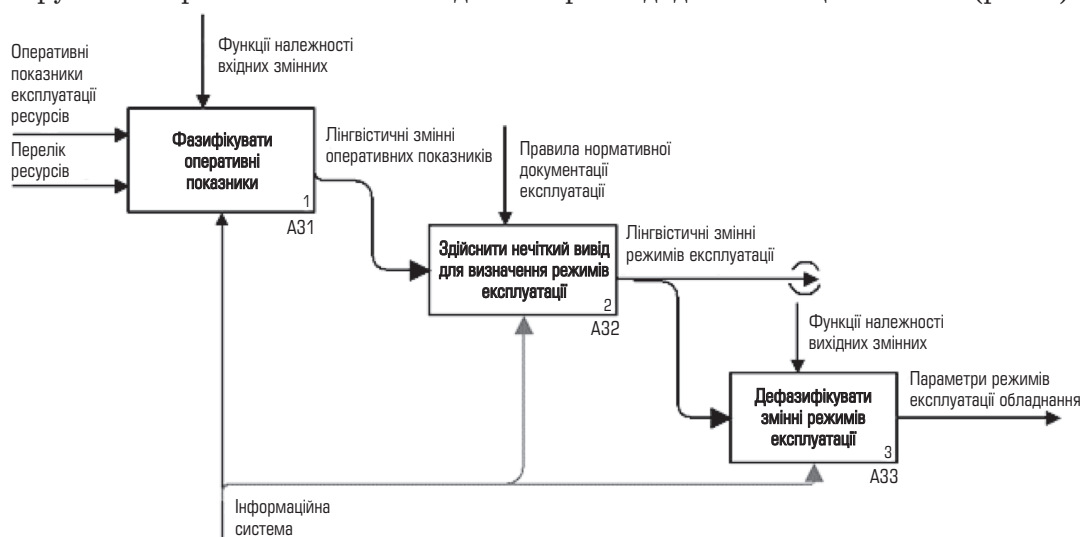


Рис. 4. Декомпозиція блока А3 із використанням нечіткої моделі

Як вхідні дані, котрі підлягають фазифікації, виступають оперативні показники експлуатації ресурсів (вхідна змінна «Перелік ресурсів» визначає лише, які дані вибрати з бази оперативних показників). При розробці конкретного програмного додатка управління ресурсами необхідно провести аналіз показників, і ті з них, які не мають нечіткої природи, пропонується фазифікувати за допомогою функцій належності з нульовим значенням розмитості. Це дозволить зменшити сумарну похибку в процесі формування вихідних даних. Результатом блока А31 є набір лінгвістичних змінних оперативних показників. Правила нормативної документації експлуатації можна використовувати як основу для формування бази нечітких правил. Результатом застосування цих правил до фазифікованих вхідних даних оперативних показників (блок А32) буде набір назв режимів, поданий у вигляді термів лінгвістичної змінної «Режим експлуатації».

Останнім етапом є дефазифікація нечітких подань режимів експлуатації у числові значення параметрів режимів (блок А33). Слід зазначити, що фазифікацію змінних категорії «Режим експлуатації» в загальному випадку можна не виконувати і використовувати отримані значення як фазифікований вхід наступного блока нечіткої моделі інформаційної системи. На функціональній діаграмі цей вихід в дужках, оскільки він не присутній на батьківській схемі.

Висновки

Розроблено функціональну модель інформаційної системи управління ресурсами в умовах невизначеності або недостовірності даних. Визначено елементи функціональної моделі, які оперують даними нечіткої природи, та проведено аналіз причин виникнення нечіткостей і наслідків використання таких даних у звичайних системах.

Запропоновано інтегрувати елементи нечіткої моделі у функціональну модель інформаційної системи управління ресурсами підприємства, що продемонстровано на прикладі блока формування даних про режими експлуатації ресурсів. Визначено, що для послідовних блоків функціональної моделі, які

базуються на нечіткій моделі виводу, доцільно реалізовувати ланцюги, в яких нечіткі виходи одного блока є нечіткими входами наступного блока.

Функціональна модель на базі нечіткої логіки надає важливі переваги порівняно зі звичайними моделями:

- використання нечітких якісних характеристик замість чітких кількісних дозволяє зменшити вплив недостовірних та неповних (не визначених) даних шляхом коригування параметрів функцій належності та покриття відповідних «проблемних» діапазонів термами лінгвістичних змінних;
- можливість застосування в нечіткій моделі функцій належності з нульовим значенням розмитості дозволяє, якщо це необхідно, зберегти чітку природу параметрів;
- подання характеристик ресурсів та параметрів їх експлуатації/витрат в лінгвістичній формі суттєво спрощує сприйняття та роботу людини з моделлю;
- завдяки плавному переходу між значеннями змінних у нечітких множинах стає можливим більш точно враховувати похибки та відхилення, які впливають на прийняття рішень управління ресурсом;
- перехід від дискретних множин характеристики ресурсів та параметрів їх експлуатації/витрат до неперервних і навпаки в нечіткій моделі відбувається лише зміною форми функції належності, тоді як у звичайних моделях управління ресурсами це вимагало б зміни самої моделі; таким чином, варіативність функцій належності дозволяє легко коригувати спосіб отримання управляючого рішення без зміни моделі подання даних.

Список використаної літератури

1. *О'Лири, Д. ERP системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. Выбор, внедрение, эксплуатация / Д. О'Лири; пер. с английского Ю. И. Водяновой. — М.: ООО «Вершина», 2004. — 272 с.*
2. *Антоненко, И. Н. ЕАМ-система TRIM: от автоматизации ТOуР к управлению активами / И. Н. Антоненко // Автоматизация в промышленности. — 2015. — №1. — С. 40–43.*
3. *Информационные технологии в экономике и управлении / [М. И. Барабанова, В. И. Киев, В. В. Трофимов, Е. В. Трофимова]. — М.: Юрайт, 2011. — 478 с.*
4. *Integration Definition For Function Modeling (IDEF0). Draft Federal Information Processing Standards Publication 183, 1993, December 21.*
5. *Организация производства и управление предприятием: учебник / О. Г. Туровец, В. Б. Родионов, М. И. Бухалков. — [3-е изд.]. — М.: ИНФРА-М, 2011. — 506 с.*
6. *Прикладные нечеткие системы / [К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.]; пер. с япон.; под редакцией Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. — М.: Мир, 1993. — 368 с.*
7. *Борисов А. Н. Принятие решений на основе нечетких моделей / А. Н. Борисов, О. А. Крумберг, И. П. Федоров. — Рига: Зинатне, 1990. — 184 с.*

Рецензент: доктор техн. наук, професор **К. С. Козелкова**, Державний університет телекомунікацій, Київ.

О. А. Золотухина, О. Н. Шушур

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЛИ НЕДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ

Рассмотрен процесс функционального моделирования информационной системы управления ресурсами предприятия. Разработана контекстная диаграмма системы и проведена ее декомпозиция. Обоснованно использование методов нечеткой логики для обработки неопределенных или недостоверных данных информационной системы управления ресурсами.

Ключевые слова: информационная система; управление ресурсами предприятия; функциональная модель; контекстная диаграмма; нечеткая модель.

O. A. Zolotukhina, O. M. Shushura

FUNCTIONAL MODELING OF THE ENTERPRISE RESOURCE MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM IN THE CONDITIONS OF DATA UNCERTAINTY OR INCIDENCE

The article discusses the process of functional modeling of an enterprise resource management information system. A contextual diagram of the system was developed and its decomposition was carried out. It is reasonable to use fuzzy logic methods to handle uncertain or unreliable data of the resource management information system.

Keywords: information system; enterprise resource management; functional model; context diagram; fuzzy model.