

## Розділ 10

# СТРАТИФІКАЦІЙНЕ МЕТАМОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОГО МЕНЕДЖМЕНТУ: ІНТЕГРАЦІЙНА ПАРАДИГМА, МЕТОДОЛОГІЯ ТА ІНСТРУМЕНТАРІЙ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

д. е. н., проф. В. В. Глущевський, к. е. н., доц. В. В. Хорошун,  
к. е. н., доц. В. В. Голомб, здобувач PhD М. А. Крижевський

- 10.1 Системні трансформації та їх вплив на розвиток промислового менеджменту в умовах цифрової економіки.
- 10.2 Моделювання систем промислового менеджменту з використанням формальних теорій.
- 10.3 Розроблення комплексної моделі промислового підприємства “*SHOULD-BE*” із застосуванням стратифікаційного підходу та технології метамоделювання.
- 10.4 Методологічні принципи стратифікаційного метамоделювання промислових підприємств.
- 10.5 Концепція моделювання систем адаптивного управління промисловими підприємствами на базі стратифікаційного метамоделювання.

### Висновки

### Список використаних джерел

## 10.1 СИСТЕМНІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТА ЇХ ВПЛИВ НА РОЗВИТОК ПРОМИСЛОВОГО МЕНЕДЖМЕНТУ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ

Геополітичні, соціальні, економічні перетворення кінця ХХ – початку ХХІ ст. поклали початок так званій глобалізації світової

економічної системи. Сучасний світ фактично перетворився вже на глобальну економічну систему спеціалізації й кооперації національних економік. Феномен глобалізації світової економічної системи ініціював формування світового господарства як сукупності національних та регіональних господарських комплексів, пов'язаних між собою системою міжнародного поділу праці, відносинами виробничого й науково-технічного, торговельного та кредитно-фінансового співробітництва, інформаційно об'єднаних єдиною методологією реєстрації й обліку подій, обчислення та аналізу системи ключових показників (якісних і кількісних) розвитку мега-, макро- й мікроекономічних систем і процесів тощо [2; 4; 5].

Не залишилася осторонь й українська національна економічна система. Вхідження України в орбіту міжнародних економічних зіставлень стало нагальною потребою в умовах переорієнтації економіки на ринкові засади. Програми розвитку вітчизняної економіки впродовж останніх двох десятиліть спрямовані на здійснення масштабних ринкових перетворень, кінцевою метою яких є створення потужної економіки й забезпечення необхідних передумов для рівноправного входження країни у європейський зокрема та світовий економічний простір загалом з урахуванням свого місця та ролі в міжнародному поділі праці.

Бурхлива динаміка економічного життя переконливо свідчить, що трансформаційні цикли, які періодично супроводжують розвиток економіки, вимагає від сучасної наукової думки, насамперед, удосконалення системи управління її первісною ланкою, яку утворюють суб'єкти економічних відносин мікроекономічного рівня: корпорації, підприємства, організації, банківські установи тощо. Процес їх функціонування й розвитку – це постійно змінюваний ланцюг станів унаслідок впливів різного характеру та сили. Джерелами трансформування системи є суперечності. Також джерелами виникнення й назрівання суперечностей виступають збурення різного характеру. Отже, теоретичний вектор існування економічних суб'єктів мікроекономічного рівня – мікроекономічних систем (MiEC) можна описати тріадою «впливи – суперечності – розвиток».

Головна роль у вивченні теоретичних здобутків з розвитку МіЕС належить економічним теоріям та моделям управління розвитком. Актуальність таких досліджень зростає, оскільки суспільство усвідомлює, що від рівня розвитку МіЕС залежить процес виробництва матеріальних благ, задоволення потреб населення та його життєвий рівень, економічна й екологічна безпека країни. Теорія управління розвитком МіЕС – це синтез положень, закономірностей і принципів загальної теорії систем та системного аналізу, окремих підходів до управління (процесного, ситуаційного, проактивного, рефлексивного, програмно-цільового тощо), а також різноманітних теорій самоорганізації, зокрема синергетики, теорії катастроф, теорії змін, що формують теоретико-методологічний, концептуальний і прикладний її рівні, а також регламентують процеси оцінювання, аналізу й моделювання поведінки МіЕС у просторі нелінійності зміни її характеристик, нестационарності функціонування та хаотичності розвитку. Як зазначають науковці та практики, професійні інтереси яких тою чи іншою мірою пов'язані з промисловим менеджментом, сьогодні основні труднощі управління виникають через ускладнення завдань, які вирішують менеджери всіх рівнів і ланок управління. У працях [22; 30] основними причинами такого стану справ називають такі: неоднозначність ситуацій через збільшення кількості значущих факторів, що призводить до стрімкого зростання розмірності простору управлінських рішень; суттєве зростання проблеми в цілісному розгляді ситуацій, виявлення прихованих глибинних зв'язків і факторів, що впливають на розвиток тієї чи іншої ситуації тощо.

Світова економічна система вже увійшла в еру цифрової економіки, а після схвалення українським Урядом у січні 2018 р. дорожньої карти цифрової трансформації економіки України до світових мега-трендів фактично приєдналися й вітчизняні суб'єкти економічних відносин [23; 29; 31]. Нові реалії розвитку економіки України загалом та її промислового сегменту зокрема ставлять нові виклики для мікроекономічних систем, що вимагає трансформування та цифровізації їх систем управління на базі єдиної

платформи для інтеграції моделі діяльності МіЕС з сучасними інформаційно-аналітичними системами з застосуванням інформаційних технологій.

Такий інноваційний тренд породив феномен докорінної зміни бізнес-моделей МіЕС за рахунок гнучкого поєднання віртуальних і фізичних систем виробництва з системами штучного інтелекту, їх повномасштабної автоматизації, роботизації та комп'ютеризації на базі єдиної цифрової платформи (моделі діяльності МіЕС) та отримав назву Industry 4.0. Це надає новий імпульс інтеграції ІТ-сектору з промисловим сегментом і спрямовує їх спільний рух на швидку модернізацію систем промислової автоматизації (ERP, MES тощо) шляхом створення на цій базі спеціальних моделей систем адаптивного управління – інтелектуальних BPM-систем (Business Process Management) [19; 21; 24; 34].

Для розроблення цих моделей необхідно вирішити низку методологічних проблем, які ускладнюють цифровізацію МіЕС, пов'язані, насамперед, з асинхронністю управління перехресними процесами та вимогою системної ІТ-інтероперабельності моделі діяльності МіЕС, та обумовлюють застосування комплексних моделей, що відображають важливі властивості МіЕС, утворюють і забезпечують системну координацію цілісної бази моделей (аналітичних, імітаційних, ієрархічних, гібридних), побудованих для її структурно-функціональних гетерогенних підсистем.

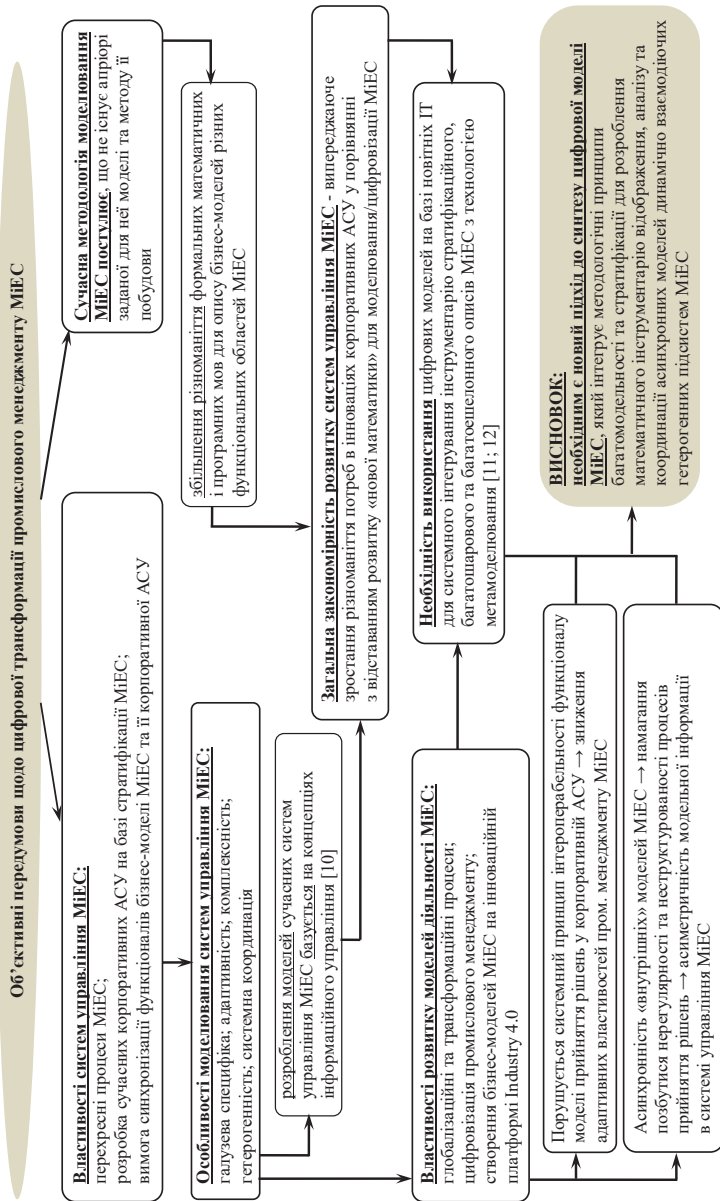
Проведене дослідження ґрунтується на фундаментальних працях з теорії менеджменту, теорії ієрархічних систем і системної оптимізації – Р. Акоффа, В. Буркова, В. Гейця, В. Глушкова, М. Месаровича, М. Мескона, В. Міхалевича, Д. Новікова; на працях з економіко-математичного моделювання систем адаптивного управління на мікроекономічному рівні – В. Вітлінського, В. Вовка, П. Григорука, В. Забродського, В. Заруби, Т. Клебанової, І. Лук'яненко, Н. Максишко, О. Піскунової, С. Рамазанова, Р. Руденського, В. Стасюка, О. Степаненко, О. Сулова та ін.; роботах з проблематики організаційного, структурного та імітаційного моделювання МіЕС – В. Єфімова, Р. Лепи, Ю. Лисенка, К. Логінова, Д. Марка, В. Репіна та ін.; сучасних досягнень

у галузі інтелектуальної підтримки прийняття управлінських рішень, що викладено у роботах В. Галіцина, К. Ковальчука, С. Левицького, А. Матвійчука, Т. Подчасової, В. Порохні, В. Соловійова, Л. Тимашової, С. Устенка, О. Черняка, Г. Чорноус та ін.; важливими є результати дослідження особливостей застосування принципів стратифікації систем і технології метамодельовання, які знайшли відображення у працях К. Аткінсона, П. Бернуса, Дж. Ван Гіга, Дж. Захмана, Дж. Кліра, Т. Кюне, Н. Личкіної, В. Нечаєва та ін., для обґрунтування основних положень методології моделювання систем адаптивного управління.

Ґрунтовний аналіз фундаментальних праць згаданих дослідників та робіт других науковців виявив низку невіршених проблем щодо сучасного стану та перспектив цифрової трансформації промислового менеджменту, сутність основних з яких є такою (рис. 10.1, див. с. 539).

Сучасна наукова методологія постулює, що не існує априорі заданої для МіЕС комплексної моделі та методу її побудови, тому аналіз і формалізований опис доцільно здійснювати з різних аспектів, стратифікуючи МіЕС на часткові її представлення (або страти), для яких вже відомі моделі та методи їх побудови – йдеться про багатоаспектну об'єктну декомпозицію МіЕС. Така декомпозиція є варіативною та неоднозначною через неоднорідність інфраструктури МіЕС, застосування різноманіття математичного опису для моделювання її окремих об'єктів-компонентів, що часто призводить до порушення системної узгодженості моделей цих гетерогенних об'єктів через жорсткість встановлення формальних відношень між ними. Як наслідок, актуалізується проблема системної координації цих моделей.

З іншого боку, сучасні автоматизовані системи управління (АСУ), як цифрові моделі діяльності МіЕС, розробляються також на підґрунті стратифікації МіЕС за модульним принципом і, зазвичай, містять набір статичних метамodelей на рівні баз даних і знань для певних предметних сфер МіЕС. Гетерогенність цих моделей значно ускладнює механізми структурної та параметричної адаптації комплексної моделі МіЕС через асинхронність



**Рисунок 10.1 – Сучасний стан і перспективи цифрової трансформації промислового менеджменту МіЕС**

внутрішніх моделей і, як наслідок, повної або часткової розбіжності між функціоналами відповідних підсистем МіЕС і корпоративної АСУ, що породжує проблему асиметричності модельної інформації в системі управління (відносність знань), яка дотепер методологічно повністю не вирішені.

З урахуванням цього встановлено, що актуальною є проблема модернізації систем промислової автоматизації, де в умовах цифровізації МіЕС пріоритетна і зростаюча роль належить вирішенню задачі системної інтеграції та координації локальних ІТ-рішень у межах корпоративної АСУ з урахуванням модельної сумісності, збалансованості та функціональної інтероперабельності гетерогенних об'єктів-компонентів МіЕС у порівнянні з задачами розробки математичного та програмного забезпечення для унікальних АСУ-модулів, створених спеціально для бізнес-моделей окремих функціональних областей МіЕС.

Проведений аналіз результатів сучасних наукових досліджень з проблематики адаптивного управління економічними системами показав, що подальший розвиток методологічних підходів відбувається з урахуванням ускладнень інформаційної структури МіЕС, цифровізацією й інтелектуалізацією їх систем управління та, як наслідок, привів до інтеграції монопідходів до управління з сучасними корпоративними АСУ. Еволюція поколінь АСУ (класи MRP/ERP/BPM) відбувається слідом за появою нових концепцій інформаційного управління МіЕС, які утворили самостійний напрям у теорії й практиці управління. Ці концепції є відображенням різних підходів до промислового менеджменту та забезпечують автоматизовану підтримку повного циклу управління на базі побудованої єдиної комплексної моделі діяльності МіЕС, що формалізує перебіг ключових організаційних процесів з використанням математичного інструментарію та новітніх інформаційних технологій [13; 18].

Отже, беручи до уваги пріоритетність децентралізації управління, преференції моделювання МіЕС як мережевої структури, зміщення проектного фокусу від модульної ієрархічної структури корпоративних АСУ у бік набору одночасно працюючих

асинхронних моделей взаємодіючих локальних ІТ-додатків, інтегрованих на базі ВРМ-концепції інформаційного управління перехресними процесами МіЕС, виявлено актуальну наукову проблему, яка полягає у розвитку методології моделювання систем адаптивного управління на підґрунті інтеграції принципів стратифікації та багатомодельності у розробці моделей, методів та ІТ-рішень для відображення, аналізу, синтезу й координації асинхронних моделей динамічно взаємодіючих підсистем МіЕС в умовах їх цифровізації, а отже, питання розвитку та удосконалення методології моделювання систем адаптивного управління економічними системами мікроекономічного рівня для підвищення ефективності промислового менеджменту на сучасному етапі цифрової трансформації економіки України є актуальними у науковому й практичному аспектах.

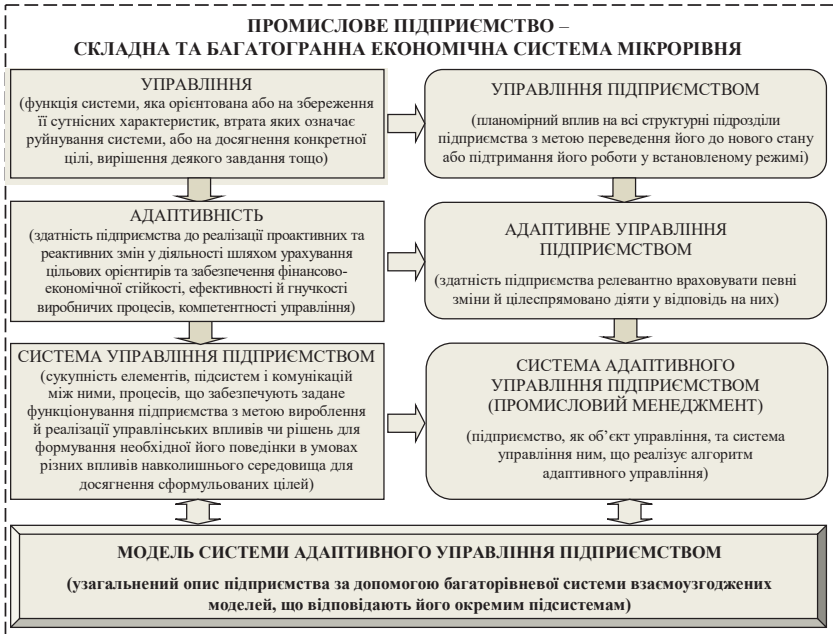
## **10.2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ПРОМИСЛОВОГО МЕНЕДЖМЕНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ФОРМАЛЬНИХ ТЕОРІЙ**

Сучасне промислове підприємство, як мікроекономічна система, являє собою велику, надскладну нелінійну динамічну систему з поширеною мережею різноманітних взаємодій та відносин, внутрішніх і зовнішніх. Тому управління підприємством за своєю сутністю не може бути несистемним. Адже виробничо-економічна система – це, по-перше, сукупність управлінських органів, структурних підрозділів і окремих виконавців (персоналу), що взаємодіють між собою; по-друге, виробнича й технологічна структура, яка втілюється в мережу бізнес-процесів підприємства; по-третє, промисловий менеджмент як єдність організації, технології та методів управління з погляду досягнення системою узгоджених між собою цілей, для чого всередині системи завжди виконують певні функції та вирішують локальні й загальносистемні завдання.

Вивчення підприємства із системних позицій передбачає його комплексний опис, що дасть змогу застосовувати



до нього методологічний і методичний апарат аналізу його функціонування, передбачення його поведінки за умов дії різних чинників у певному діапазоні їх впливів, а також вирішити завдання аналізу й синтезу ефективної системи управління підприємством (рис. 10.2).



**Рисунок 10.2** – Схематичне представлення принципу ієрархічності в системі промислового менеджменту

Для здійснення функції управління промисловим підприємством як системою його умовно поділяють на відокремлені частини – організаційні підрозділи, функціональні відділи, бізнес-процеси тощо. Тим самим підвищується ступінь розуміння сутності окремих процесів підприємства, схем і умов їх перебігу, а також здійснюється персоніфікація відповідальності за виконуваний у підрозділах певний набір функцій, завдяки чому покращується сприйняття механізмів управління окремими підрозділами

й бізнес-процесами підприємства. З іншого боку, збільшення кількості та ієрархічності між цими відокремленими частинами підприємства приводить до їх поступового віддалення одне від одного, розмивання й ускладнення структурних і функціональних зв'язків між ними, що може спричинити втрату цілісності управління, різноспрямованість локальних (у межах окремих підрозділів або бізнес-процесів) і загальних цілей підприємства, суперечності в управлінні.

За умов промислової цифровізації (масове й повномасштабне впровадження АСУ), які вимагають ще на попередньому етапі створення наявності чітко структурованої інформації про перебіг процесів конкретного підприємства, що підлягають автоматизації, проблема формалізованого опису підприємства набула особливої актуальності. Такий опис здійснюють традиційно в трьох аспектах: функціональному, морфологічному (або структурному) та інформаційному [1; 10; 17].

*Функціональний опис підприємства* [6; 14; 15]. Базові принципи функціонального опису виходять з того, що будь-яке підприємство, по-перше, існує не ізольовано, а в деякому оточенні інших підприємств; по-друге, у процесі своєї господарської діяльності виконує певні функції. Тому функціональний опис підприємства необхідний, з одного боку, для предметного вивчення особливостей роботи (функціонування) його внутрішніх підсистем у їхньому взаємозв'язку з урахуванням характерних функцій, виконуваних у межах цих підсистем; а з іншого – для аналізу контактів із зовнішнім світом, з'ясування його місця серед інших підприємств, оцінювання відносин і зв'язків з ними, а також визначення вектору та інтенсивності можливих змін як підприємства, так і його оточення.

Функціональний опис підприємства, як правило, втілюється в його функціональну модель або так звану «модель бізнесу» у вигляді мережі бізнес-процесів підприємства, яка відображає поведінку підприємства та його функціональних елементів через комплекс виконуваних функцій, без відтворення їхньої внутрішньої структури. Функціональні моделі підприємства повинні

задовольняти певні системні вимоги, зокрема, мають бути відкритими, тобто надавати можливість, за необхідності, як розширювати, так і звужувати, спектр реалізованих у моделі підприємства функцій; передбачати логічну можливість функціонального переходу між відокремленими підсистемами, що перебувають на різних ієрархічних рівнях у системі управління підприємством, тобто уможливлувати побудову віртуальних моделей підприємства будь-якого рівня й складності тощо. Функціональні моделі підприємства можуть бути представлені різним способом, а саме: аналітичним, графічним, табличним, вербальним тощо.

*Морфологічний (структурний) опис підприємства* [6; 14]. Складність початкового етапу опису підприємства об'єктивно пов'язана з обмеженістю наявної інформації про властивості й функції майбутньої його моделі. Тому спочатку вивчають структуру підприємства та намагаються виокремити інформацію з її опису. Вивчення характерних особливостей цієї інформації є предметом морфологічного (структурного) аналізу підприємства, який, на відміну від функціонального опису, дає загальне уявлення про внутрішню будову підприємства, визначає, які саме компоненти підприємства розглядатимуться як елементарні (організаційні структурні елементи), які між ними існують взаємозв'язки (управлінські комунікації), дає змогу зробити ті чи інші припущення (сформулювати гіпотези) про організаційну структуру моделі підприємства, яка виявляється через отримані в результаті спостереження факти, виміряні змінні та виявлені характеристики, але виміряти які не вдалося з тих чи інших причин тощо.

Формально морфологічний опис підприємства можна подати мовою теорії множин як четвірку:

$$S = \langle \{S_i\}_{i \in I}; \{\mu_{ij}\}_{i,j \in I}; d; K \rangle, \quad (10.1)$$

де  $\{S_i\}_{i \in I}$  – множина елементів та їх властивостей, які в комплексі описують склад моделі підприємства. Тут під елементом розуміємо підсистему підприємства  $S_i$  ( $i \in I$  – ідентифікатор підсистеми), усередину якої морфологічний опис не потрапляє. Елементи можуть бути однотипні, різнотипні, змішані;

$\{\mu_{ij}\}_{i,j \in I}$  – множина зв'язків. Морфологічний опис множини зв'язків між парами елементів  $S_i$  та  $S_j$ ,  $j, i \in I$ , включає інформацію про наявність, вид, загальну характеристику зв'язків, їхню кількісну та якісну оцінку. Міжелементарні зв'язки можуть бути орієнтованими й неорієнтованими; сильними та слабкими; внутрішніми й зовнішніми; можуть поділятися на зв'язки підпорядкованості («рід  $\rightarrow$  вид», або «частина  $\rightarrow$  ціле»), породження або генетичні («причина  $\rightarrow$  наслідок»), рівноправні та управлінські;

$d$  – структура. Важливими структурними компонентами є відносини координації (упорядкованість елементів  $S_i$ ,  $i \in I$ , «по горизонталі», тобто взаємодія компонентів одного рівня) та субординації («вертикальна» упорядкованість елементів  $S_i$ , тобто взаємодія компонентів різних рівнів). Структурні властивості конструйованої моделі підприємства у форматі «моделі функціонуючої організації» визначаються характером (ієрархічні – структурні компоненти  $S_i$ , розміщуються в порядку від «вищого» до «нижчого», в «ідеальних» ієрархічних структурах відсутні «горизонтальні» зв'язки; багатозв'язкові – будь-який компонент  $S_i$ ,  $i \in I$ , може здійснювати зв'язок з будь-яким іншим компонентом  $S_j$ ,  $j \in I$ , структури; змішані – являють собою різноманітні комбінації двох попередніх типів структур) і стійкістю (детерміновані, імовірнісні та хаотичні структури) відносин між її елементами;

$K$  – композиція (тип структури). Композиційні властивості при здійсненні морфологічного опису підприємства визначають спосіб об'єднання структурних елементів  $S_i$ ,  $i \in I$ , у підсистеми. Згідно з принципами системного аналізу морфологічний опис підприємства здійснюється шляхом його послідовної декомпозиції на відокремлені підсистеми з виділенням відносин координації й субординації, з урахуванням характеру відносин між ними. Морфологічний, як і функціональний, опис проводять за принципом багаторівневості (ієрархічності). При цьому «глибину» й «ширину» такої декомпозиції визначає дослідник, виходячи із цілей і завдань

конкретного дослідження. Важливо, щоб рівні декомпозиції морфологічного та функціонального описів підприємства збігалися, тоді кожен елемент структури  $S_i$ ,  $i \in I$ , може бути зі свого боку описаний функціонально та інформаційно.

Усі множини, представлені у вираженні (1), вважаються скінченними. Якщо опис всіх множин у вираженні (1) здійснено певною формальною мовою, то його називають морфологічною (структурною) моделлю підприємства або «моделлю функціонуєчої організації» (організаційної структурою управління). У термінології системного аналізу паралельно вживають як синоніми терміни «морфологічна модель», «структурна модель», «модель структури» і «модель функціонуєчої організації». Для спрощення сприйняття матеріалу в подальшому вважатимемо їх ідентичними. Найчастіше такими моделями є графи. Використання граф-моделей як морфологічного опису підприємства надає дослідникові добре розвинутий математичний апарат теорії графів та його прикладних доповнень як формального інструментарію структурного моделювання.

*Інформаційний опис підприємства* [6; 14]. Побудова моделі підприємства з погляду опису інформаційних потоків, що проходять крізь нього, фактично є первинним етапом у конструюванні цифрової моделі системи управління промисловим підприємством або «моделі інформаційної системи», адже рух інформації в системі управління підприємством практично повністю повторює (відображає) функціональний і структурний описи підприємства, взяті з ракурсу механізму прийняття рішень усередині підприємства. Згідно з інформаційним підходом підприємство в найбільш абстрактному вигляді поділяють на ієрархічні рівні управління, відокремлені вузли управління (або інформаційні елементи) та потоки інформації, які поєднують пари цих вузлів.

Зручним і доцільним є подання такого інформаційного опису підприємства (його інформаційної моделі) у формі орієнтованого графа, де його вершинами є вузли управління, а орієнтованими ребрами (дугами) – інформаційні потоки між парами цих вузлів. У загальному випадку інформаційна модель підприємства являє собою змішаний орієнтований граф, у якому найнижчий

інформаційний рівень – це набір вузлів управління, що утворюють рівень безпосереднього управління технологічними операціями, які здійснюють робочі й автомати (роботи); наступні інформаційні рівні об'єднують ті вузли управління, що відповідають структурним підрозділам підприємства (дільниці, цехи, бюро, відділи, філії тощо) або його функціональним елементам (наприклад, бізнес-процеси); усередині інформаційних рівнів та між ними існують канали інформаційного зв'язку, які відбиті наявними в графі дугами.

Інформація, яка поширюється в цьому графі інформаційними каналами, може виявлятися в трьох формах:

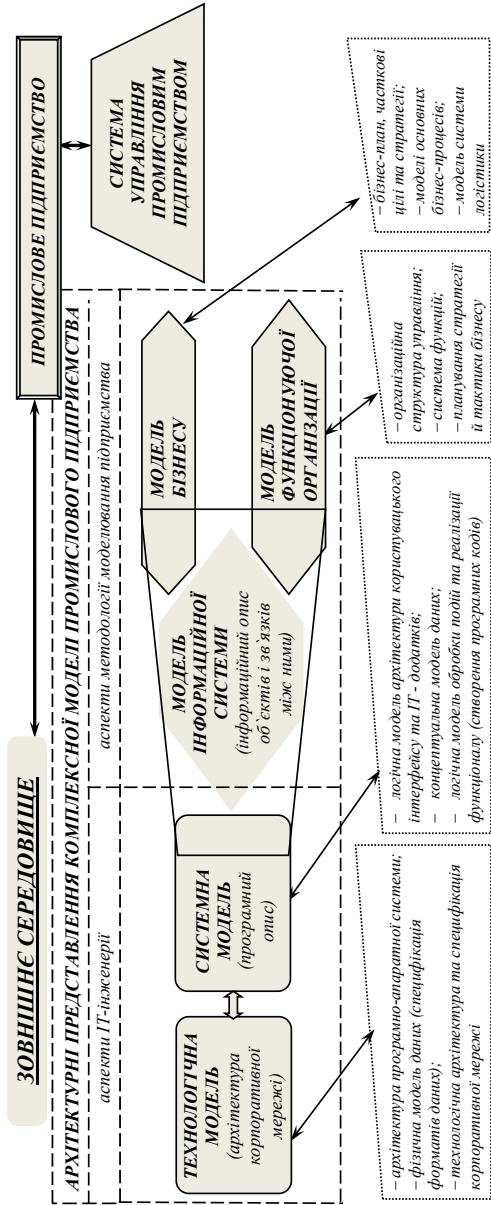
- регульовальна: її рух відбувається переважно від вузлів управління, які розміщені на нижчих інформаційних рівнях, до вузлів, що утворюють ієрархічно вищі інформаційні рівні; як правило, передача інформації здійснюється каналами зворотного зв'язку;

- керівна: напрямок її руху протилежний руху регульовальної інформації; як правило, керівна інформація містить директиви, вказівки з верхніх для нижніх рівнів управління;

- перетворювальна: супроводжує процеси функціонування всередині окремого вузла управління й визначає алгоритми функціонування окремих його елементів.

Сукупність функціонального, морфологічного та інформаційного описів підприємства дає змогу достатньо повно відобразити його головні властивості та механізми функціонування й взаємодії із зовнішнім оточенням за допомогою комплексу відповідних моделей (рис. 10.3, див. с. 548): функціональних («Модель Бізнесу»), структурних («Модель Функціонуючої Організації») та інформаційних («Модель Інформаційної Системи»).

Побудова комплексної моделі підприємства ускладнюється тим, що опис процесів його функціонування передбачає врахування різнопланових аспектів діяльності. Це призводить до виникнення відповідних унікальних вимірів (представлення, предметні області, світи, сегменти, шари тощо), які перетинаються між собою, утворюючи багатогранні зрізи, на топології яких з'являються і розвиваються «зони конфліктів інтересів» (реальних



**Рисунок 10.3** – Узагальнена структурно-логічна схема корпоративної АСУ на базі типової комплексної моделі промислового підприємства “AS-IS” (модель «ЯК Є»)

або потенційних). Під *комплексною моделлю* мікроекономічної системи взагалі та промислового підприємства зокрема будемо розуміти модель МіЕС, яка містить комплекс частинних, асинхронних або/та взаємозв'язаних між собою, моделей; відношення між моделлю МіЕС та її частинними моделями регулюються системними принципами емерджентності та відповідності.

Множинність, багатогранність, багат шаровість формалізованих представлень дозволяє конструювати для конкретного промислового підприємства різні комплексні моделі. Кожна така комплексна модель підприємства передбачає його декомпозицію на певні рівні абстракції – так звані «архітектурні представлення», що дозволяють деталізувати досліджувану проблему і «розкласти» її на «елементарні» складові, в яких свідомо тимчасово опускають усі другорядні деталі, які прямо не відносяться і не відіграють важливої ролі з погляду цього аспекту діяльності підприємства, залишаючи тільки найбільш суттєві компоненти і зв'язки між ними (так званий принцип «структурного мислення») (Framework Thinking).

Для такої мікроекономічної системи, як промислове підприємство, загальна кількість структурно-функціональних компонентів, зв'язків між ними, умов і правил, які їх регламентують, настільки велика, що це, як правило, унеможливує їх одночасний розгляд і синхронізований аналіз. Тому комплексна модель підприємства, як модель складного реального об'єкта, не повинна описувати найдрібніші внутрішні властивості його компонентів (підсистем, процесів тощо). Її головний фокус – це взаємодія цих компонентів між собою. У дискусіях аналітиків і фахівців ця проблематика (полеміка) втілилася у терміни «мінімалістична архітектура» (Minimalist Architecture) або «прийнятна архітектура» (Good Enough Architecture), найважливішими параметрами яких є гнучкість комплексної моделі підприємства, що проявляється у відносній швидкості її підстроювання під мінливі зовнішні умови. Реалізація мінімалістичного підходу до побудови комплексних моделей підприємства ґрунтується на трьох основних принципах:

- гнучкість і розмежування рівнів комплексної моделі: передбачає можливість виділення в моделі підприємства окремих



предметних областей (специфічні аспекти діяльності, представлення, страти);

- концентрація уваги на найбільш важливих, виходячи з глобальної мети, складових комплексної моделі;
- передбачення можливостей (механізмів, методів управління структурою тощо) ітеративного створення та подальшого розвитку моделі підприємства.

З іншого боку, моделі сучасних інформаційних систем для управління промисловими підприємствами (корпоративні АСУ) розробляються за модульним принципом і, зазвичай, містять набір статичних інформаційних моделей на рівні баз даних і знань для певних предметних сфер підприємства, що породжує проблему асиметричності модельної інформації в системі управління або відносність знань, яка дотепер методологічно повністю не вирішена. На рис. 10.3 представлено узагальнену структурно-логічну схему корпоративної АСУ, яку побудовано на базі типової бізнес-моделі промислового підприємства “*AS-IS*”, тобто модель «*ЯК Є*».

Узагальнення передумов щодо системного вирішення окресленої проблематики дозволяє зробити загальний висновок, що у сучасній теорії менеджменту відсутня єдина несуперечлива концепція асинхронного інформаційного управління перехресними процесами промислових підприємств, яка побудована на методологічному підґрунті формальних теорій із застосуванням економіко-математичного інструментарію та цифрових технологій. Тому необхідним є впорядкування, структурування та систематизація сукупності принципів, концепцій, засобів і методів розроблення моделей діяльності промислових підприємств, які інтегруються з корпоративними АСУ на базі єдиної цифрової платформи, з метою створення спеціальних моделей систем адаптивного управління, які є референтними для класів споріднених за видом економічної діяльності МіЕС, для здійснення на цьому підґрунті динамічної підтримки процесу управління модельними комплексами та модельними знаннями з урахуванням їх системної координації, логічної та інформаційної узгодженості в системі промислового менеджменту.

### 10.3 РОЗРОБЛЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ МОДЕЛІ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА “*SHOULD-BE*” ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СТРАТИФІКАЦІЙНОГО ПІДХОДУ ТА ТЕХНОЛОГІЇ МЕТАМОДЕЛЮВАННЯ

Серед існуючих підходів до конструювання комплексних моделей підприємства виділяють чотири найбільш відомі й визнані у світі архітектурні методології: структура Захмана (або модель Захмана), методика TOGAF (або стандарт TOGAF, The Open Group Architectural Framework), методологія FEA (Federal Enterprise Architecture) та методологія Gartner (або набір практичних рекомендацій від Gartner) [16; 35; 20]. Результати порівняння можливостей, переваг і недоліків цих провідних підходів до конструювання комплексної моделі підприємства зведено в табл. 10.1 (див. с. 552–553).

Жоден з цих підходів не є повним, кожен з них має свої переваги та недоліки. Отже, конструювання комплексної моделі конкретного підприємства із застосуванням будь-якого з цих підходів окремо не забезпечить отримання повного рішення. Доцільним є їх конструктивний синтез. При цьому підвищена увага приділяється не стільки повноті й завершеності локальних модельних комплексів, скільки якості опису зв'язків між ними. Проте, з іншого боку, різноманітність і багатогранність взаємозв'язків між моделями, що включені до комплексної моделі здебільшого й визначають її «якість» та ефективність, а відсутність у розробників чіткого розуміння цих зв'язків і нездатність їх явного опису виступають найбільш розповсюдженими причинами їх невдач [16; 26].

Масштаб і границі комплексної моделі підприємства напряму корелюють зі ступенем її завершеності, повнотою опису та часом на її конструювання та визначаються як компроміс між останніми. Актуальними є науково-практичні дослідження, спрямовані на розвиток адекватних і дієвих підходів до об'єднання (групування, кластеризації) окремих модельних описів структурних компонентів підприємства (напр., підрозділів,

бізнес-процесів, функцій тощо) у однорідні за певними ознаками локальні модельні комплекси з метою здійснення прямого якісного формалізованого опису наявних взаємозв'язків між ними у межах єдиної комплексної моделі підприємства. Складність практичної реалізації цих завдань полягає в тому, що склад модельного комплексу для конкретного підприємства характеризується різноманітністю структур, динамічністю й нелінійністю міжелементних зв'язків його моделей – абстрактних об'єктів («архітектурних артефактів»), які описують підприємство на різних стадіях пізнання його діяльності, виходячи з множинності аспектів моделювання, цілей дослідження, формального інструментарію, використаного для створення цих моделей тощо.

**Таблиця 10.1** – Провідні підходи до конструювання комплексної моделі підприємства на базі архітектурної методології\*

Назва	Сутність	Архітектурний каркас	Основні переваги	Основні недоліки
1	2	3	4	5
«Структура» Захмана	Таксономія для упорядкування архітектурних артефактів**	Матриця 6 × 6: 1-й вимір – «гравці»; 2-й вимір – «описові аспекти» (Дж. А. Захман визначив свою структурну схему, як онтологію [35])	Повнота таксономії: задає вичерпну класифікацію архітектурних артефактів з погляду всіх описових аспектів	Відсутність покрокових інструкцій щодо створення архітектури та неможливість оцінювання її ефективності
Методика TOGAF	Архітектурний процес (опис процесу створення артефактів)	Світ АП*** як континуум (від загального до конкретного): • фундаментальні архітектури; • загально-системні архітектури; • галузеві архітектури; • конкретні АП	Повнота та гнучкість архітектурного процесу: покроковий процес створення АП	Результат архітектурного процесу суттєво залежить від досвіду проєктної команди: з рівною імовірністю АП може бути прийнятною (якісною), хибною чи невідзначеною якості

Закінчення таблиці 10.1

1	2	3	4	5
Методологія FEA	Методологія поєднує преференції таксономії Захмана та архітектурного процесу TOGAF на підґрунті ідеї про сегментованість АП	АП складається з окремих сегментів (аспектів діяльності), які описуються з використанням набору з 5 еталонних моделей (моделі бізнесу, компонентів, обслуговування, технологічна, даних)	Повнота методології: детальне опрацювання кожного з сегментів шляхом спільного використання еталонних моделей і утворення єдиної описової мови; можливість оцінювання якості АП	Слабка орієнтація на бізнес (переважне застосування для державного сектору) з метою підвищення його цінності (зниження витрат або збільшення доходів)
Методологія Gartner	Набір практичних рекомендацій щодо конструювання АП	Концепція Gartner: архітектура підприємства – це безперервний процес її створення, супроводу та використання, який наділяє архітектуру життєздатністю	Цільова АП: «рівно стільки архітектури, скільки потрібно, і точно в строк» – головний тезис, втілений у практичне керівництво щодо пошуку конструктивних відповідей на два ключові питання «куди само прямує підприємство» і «як воно туди потрапить»	Відсутність чітко заданих покрокових алгоритмів, детальних описів архітектурних артефактів; закритість публічного доступу до прикладів та інструкцій щодо практичного використання методології Gartner

ПРИМІТКИ. \*Архітектурна методологія – методологія комплексного моделювання промислових підприємств; \*\*Архітектурний артефакт – конкретний документ, звіт, аналітичний звіт, специфікація, модель або будь-який інший компонент архітектурного опису [35]; \*\*\*АП – архітектура підприємства.

Методологічні та методичні аспекти синтезу цих моделей у єдиний комплекс, встановлення узгоджувальних зв'язків між модельними компонентами, введення єдиного формату

показників, параметрів, даних для інформаційного обміну в масштабах усього модельного комплексу – усе це залишається актуальною й повністю не вирішеною проблемою теорії систем і системного аналізу, що також стимулює науковий пошук нових (або адаптації існуючих) методів і підходів до моделювання таких складних систем мікроекономічного рівня як промислові підприємства.

Вирішення цієї проблеми в контексті моделювання системи адаптивного управління мікроекономічними системами пропонуємо здійснити на основі принципів стратифікації, застосованих до комплексної моделі промислового підприємства, яка представлена множиною структурних, функціональних та інформаційних моделей, що описують процеси функціонування підприємства в різних аспектах та/або з різним рівнем абстрагування (страт). Стратифікація – це загальний принцип системного моделювання, який використовують під час аналізу складних систем.

Реалізацію стратифікаційного опису підприємства будемо проводити з використанням методів структурно-функціонального та об'єктно-орієнтованого моделювання, графічного опису структур модельованих підсистем підприємства, технології метамоделювання та інших інструментальних засобів інтеграції моделей (вкладені, ієрархічні структури).

Підходи до вирішення завдання структурного аналізу і синтезу комплексної моделі промислового підприємства залежать від принципу (концепції побудови) деталізації (декомпозиції) за «рівнями» («по вертикалі») [25; 28]:

1. «Стратифікація» (рівень – «страта») – введена для цілей моделювання:

- страта – рівень описання або абстрагування [25];
- страта – декомпозиція за аспектами діяльності [28].

2. «Багатоешелонність» (рівень – «ешелон») – належить до взаємного зв'язку між елементами прийняття рішень, що утворюють систему:

- ешелон – організаційний рівень (система утворюється сімейством чітко відокремлених підсистем, які взаємодіють) [25];

– ешелон – декомпозиція за організаційними ознаками (відбивається субординація між підсистемами) [28].

3. «Багатошаровість» (рівень – «шар») – уведена для вертикальної декомпозиції вирішуваної проблеми на підпроблеми:

– шар – рівень складності рішення, що приймається [25];

– шар – поділ складної проблеми на часткові задачі [28].

На основі аналізу праць із системного моделювання, зокрема [3; 6; 25; 28] та інших, встановлено, що при застосуванні стратифікаційного підходу до опису соціально-економічних систем та їх систем управління не існує однозначного співвідношення між стратами, ешелонами й шарами. Завдання для декількох ешелонів можуть бути визначені з моделі однієї тієї самої страти, тоді як вирішувана проблема на цьому шарі може бути розподілена між низкою ешелонів. Крім цього, завдання для ешелону може містити елементи проблем, що належать не одному, а низці шарів вирішуваної проблеми. За цих умов, пошук ефективного способу узагальнення рішень і можливостей, що дозволяє вирішувати проблему не для окремого випадку, а в загальному вигляді, стає конче актуальним коли, наприклад, до функціоналу комплексної моделі промислового підприємства додатково включається певна нова можливість, то доцільніше замість одиночного розширення узагальнити та принципово розширити клас подібних можливостей – це так звана «референтна модель».

У світовій науці порівняно нещодавно ці очевидні вимоги були узагальнені у так званому «принципі метаізації» (Metaisierungsprinzip), який теоретично послідовно використовується в галузях програмної інженерії та системології і закріплює ієрархічність комп'ютерного моделювання. Він регламентує підходи щодо вирішення основоположної проблеми складності створення точного формалізованого опису деяких предметних областей, які підлягали структуруванню з одночасним збереженням певного рівня гнучкості та розширюваності сконструйованої моделі (класу моделей), з метою подальшої автоматизації їх основних функціональних процесів. У ширшому розумінні подібні узагальнення були раніше запропоновані відомим

розробником прикладної теорії систем Дж. ван Гігом (John Peter van Gigch), який дав їм назву «метарішення» (Metadecisions) [32]. У цьому сенсі перспективним є розвиток визнаного наукового напрямку, який отримав назву «метамодельювання».

Термін «метамодельювання» походить від таких понять, як «семантичне моделювання», «опис на основі розширеної схеми», «формалізація предметної області», які вживалися у ранні періоди розвитку концептуального моделювання і довгий час виступали його «замінниками», а тепер їх вважають синонімами. Метамодельювання – це загальнонауковий метод дослідження прихованих закономірностей з використанням високого рівня абстрагування. Сьогодні технологію метамодельювання визнають як конструктивний й ефективний засіб щодо досягнення потрібного рівня адаптивності (розширюваності) та універсальності (загальності) модельованих надскладних економічних систем. У найбільш загальному розумінні метамодельювання – це моделювання процесів моделювання, тобто технологічний процес створення метамоделей (або методологічна процедура щодо розробки методики ієрархічного моделювання), які, зокрема, є своєрідними засобами конструювання (побудови, створення) моделей [9; 27; 32].

Принципи метамодельювання активно застосовуються, зазвичай, у класичній математиці, інформатиці, програмній інженерії та техніці. Термін «метамодель» відбиває ієрархічний принцип формалізованого опису модельованого об'єкта чи процесу, що виступають прообразами отримуваної моделі, без відображення змістовних співвідношень ієрархічності: під метамоделлю в інформатиці розуміють транзитивне відношення між двома моделями, тобто модель, яка описує іншу модель; у програмній інженерії часто метамодель трактують як модель мови моделювання, яку використовують для формалізованого опису системи; у контексті технічної гілки метамодель – це модель, яка описує структуру, характеристики і принципи застосування іншої моделі.

До основних переваг технології метамодельювання відносять [36]:

- універсальність (можливість описувати з використанням метамоделі структуру, характеристичні властивості

та функціональність класів моделей; сприяє процесам стандартизації й уніфікації моделей, створюваним для різних проблемних областей);

- модульність метамоделі (структурованість метамоделі як системи взаємопов'язаних і умовно відокремлених один від одного локальних модельних комплексів за умови збереження її цілісності);

- системність відношень у межах ієрархії (на кожному рівні ієрархії метамоделям можуть бути задані власні правила представлення їх об'єктів і взаємозв'язків між ними);

- адаптивність метамоделі (здатність метамоделі до гнучкої модифікації та розширень модельного комплексу на будь-якому ієрархічному рівні/рівнях без принципової модифікації її структурної основи);

- інтегрованість (здатність метамоделі адекватно інтегруватися та безконфліктно взаємодіяти з іншими, зовнішніми по відношенню до неї, формалізованими об'єктами, виключаючи будь-які обмеження взаємного доступу до спільно активованих інформаційних і обчислювальних ресурсів, зокрема, моделями, наборами моделей, модельними комплексами, метамоделями тощо).

Нещодавно технологія метамоделювання передбачала систематизацію базових прийомів опису лише двох метарівнів – рівня метамоделі та рівня моделей, які будувалися вже на її основі. При цьому для модифікацій був доступним лише нижчий рівень. В основу більшості сучасних технологій метамоделювання, які врахували проявлені потреби побудови складних метамоделей проблемних областей, покладено об'єктно-орієнтований метод розробки на базі моделей MDD (Model-Driven Development), запропонований консорціумом OMG (Object Management Group). Він принципово не обмежує кількість метарівнів (шарів) модельного представлення об'єктів і відношень і реалізує модельно-керований підхід до метамоделювання, який передбачає гнучкий опис моделі об'єктної системи у форматі високого рівня абстрагування, що уможливило її цілісне дослідження і не потребує фундаментальної перебудови множини моделей у разі появи необхідності



внесення певних змін чи коригувань. Цей метод сьогодні найпоширеніший у галузі програмної інженерії, у тому числі при створенні корпоративних АСУ. Традиційною й найбільш розповсюдженою є технологія чотирирівневого (чотиришарового) метамодельовання від консорціуму OMG, побудована на базі MDD – інфраструктури [36]:

*M3-рівень* – шар мета-метамodelей, що розглядаються як «сильний тип» (power type) для M2-рівня; містить специфікацію правил (переважно методологічного і концептуального характеру), згідно з якими будується опис множини метамodelей предметної області (закладається можливість щодо врахування певних деталей і характерних особливостей предметної області в класах modelей);

*M2-рівень* – шар метамodelей («modelь modelей») є «сильним типом» для M1-рівня; призначений для відображення найбільш загальних структурних і функціональних характеристик конкретних класів modelей;

*M1-рівень* – шар modelей є «сильним типом» для M0-рівня; на основі специфікацій певної метамodelі M2-рівня будується модельний комплекс або клас modelей конкретного об'єкта;

*M0-рівень* – шар даних щодо modelі предметної області (виявлення і конкретизація даних з урахуванням характерних особливостей модельованої проблемної області).

Інтерпретація технології чотирирівневого метамodelювання на семантичному (M3-рівень), синтаксичному (M2-рівень), якісному (M1-рівень) та кількісному (M0-рівень) рівнях уможливає створення (конструювання, генерацію) конкретних модельних комплексів, які адекватно описують процеси функціонування складних систем, у тому числі промислових підприємств, шляхом їх ретрансляції в термінах певних формальних (математичних) мов.

Нажаль технології метамodelювання при цифровізації промислового менеджменту, за деякими виключеннями, майже не використовуються, залишаючи економічні системи мікроекономічного рівня поза увагою, і, як наслідок, потребують додаткового наукового обґрунтування. Крім цього, існує головне природне обмеження на застосування методу метамodelювання,

як об'єктно-орієнтованого підходу до формалізованого опису промислового підприємства (предметної області), – відсутність у його методологічному базисі інструментів, які дозволяють будувати модельні комплекси певного рівня абстракції, тобто для окремого метарівня, виходячи з різних точок зору або з різних аспектів діяльності підприємства з одночасним збереженням цілісності його метамоделі. Модельні конструкції, використовувані в технологіях метамоделювання, не можуть бути застосовані одночасно для опису різних представлень підприємства деякого метарівня з причини відсутності відповідних механізмів та інструментів трансформації моделей у межах єдиної метамоделі.

Пропонуємо використовувати таку термінологію [12].

*Означення 1.* «Стратифікація промислового підприємства» або «Стратифікаційний підхід до моделювання промислового підприємства» – аналіз промислового підприємства у різних аспектах моделювання та відповідна поаспектна багатовимірна декомпозиція з метою вироблення та синхронізації різних сегментів знань (стратифікаційних представлень або страт) із забезпеченням одночасної логічної цілісності всіх цих знань.

*Означення 2.* «Технологія метамоделювання промислового підприємства» – система форм, методів, засобів, методологічних прийомів і процедур ієрархічного моделювання, через застосування яких структурно-функціональна будова промислового підприємства розглядається у певному аспекті моделювання згідно з визначеними цілями дослідження.

*Означення 3.* «Стратифікаційне метамоделювання» – новий (запропонований нами) об'єктно-орієнтований підхід до синтезу комплексної моделі МіЕС загалом і промислового підприємства зокрема з метою виділення множини варіантів об'єднання гетерогенних об'єктів-компонентів різних страт в єдину ієрархічну структуру – стратифікаційну метамодель МіЕС, на підґрунті якої здійснюється системний багатовимірний аналіз та динамічне оцінювання сукупного впливу різних об'єктів кожної зі страт на варіабельність адаптивного управління перехресними процесами МіЕС (промислового підприємства).

*Означення 4.* «Метамодель страти» – комплексна модель промислового підприємства, яку побудовано із застосуванням технології метамодельювання та в якій виокремлено певні рівні абстракції (метарівні) в описі його об'єктів-компонентів і множини їх моделей, що розміщені на різних метарівнях, та забезпечує їх логічну й алгоритмічну узгодженість на метарівнях і між ними у межах цієї страти.

*Означення 5.* «Стратифікаційна метамодель промислового підприємства» – просторова структурно-функціональна комплексна модель, що об'єднує, впорядковує та синхронізує інформаційні взаємозв'язки між гетерогенними моделями об'єктів-компонентів (локальними модельними комплексами) всіх страт у масштабі й контексті діяльності промислового підприємства загалом з метою побудови його цифрової моделі.

Конструктивне вирішення сформульованих вище завдань ми вбачаємо в створенні ієрархії моделей для поаспектної стратифікації промислового підприємства як мікроекономічної системи. Для цього:

1. Передбачається виділення найбільш суттєвих аспектів стратифікаційного опису підприємства – страт. Кількість і конкретизація їх змісту визначається виходячи з мети і завдань системи управління МіЕС, яка моделюється. Сьогодні існує декілька напрямів щодо поаспектної декомпозиції МіЕС, зокрема, пропонується відокремлювати організаційне (на рівні елементів організаційної структури підприємства), функціональне (опис функціонування підприємства мовою бізнес-процесів), інформаційне (універсальність інформаційної платформи на всіх рівнях системи управління), програмно-технічне (на рівні впровадження корпоративних АСУ і прикладних бізнес-додатків) та інші представлення (стратифікаційні описи).

Взявши до уваги цей факт і ґрунтуючись на результатах аналізу досліджень з проблематики системного моделювання процесів функціонування систем мікрорівня, вважаємо за доцільне виділення таких п'яти стратифікаційних представлень МіЕС [8; 10]:

- *страта*  $STR_1$  – *структурно-функціональне представлення* характеризує організаційні структури в системі управління промисловим підприємством: передбачає віртуалізацію управлінських комунікацій, яка є підґрунтям для створення динамічної організаційної структури управління з метою підвищення її гнучкості та ефективності;

- *страта*  $STR_2$  – *процесне представлення* описує промислове підприємство мовою процесного управління: за допомогою побудови інтероперабельної об'єктної моделі мережі його бізнес-процесів проведення локального реінжинірингу бізнес-процесів не вимагає перепрограмування та перенастроювання ядра функціоналу корпоративної АСУ;

- *страта*  $STR_3$  – *алгоритмічне представлення або простір задач* промислового підприємства забезпечує декомпозицію економічної проблеми через ієрархію задач та їх моделей: модель багатозарової системи прийняття рішень інтегрується у стратифікаційну метамодель підприємства;

- *страта*  $STR_4$  – *інформаційне представлення або параметричний простір* промислового підприємства забезпечує одночасно розмежування та інтеграцію функціоналів моделі прийняття рішень у стратифікаційній метамоделі підприємства і корпоративної АСУ (цифрова модель підприємства): усуває загрозу некоректності їх узгодженої роботи за рахунок вдосконалення зв'язків між параметрами моделей задач, з одного боку, та системою збалансованих показників і цільових індикаторів, – з другого;

- *страта*  $STR_5$  – *семантичне представлення* промислового підприємства забезпечує концептуалізацію предметної області: системна координація підпроблем (задач) реалізується за рахунок інтелектуалізації моделі прийняття рішень, на базі якої здійснюється автоматизоване управління ланцюгами моделей задач через певні «точки доступу».

2. Виокремлено такі метарівні в комплексній моделі промислового підприємства:

- *МЗ-рівень* описуватиме методологічний базис щодо створення системи концептуальних метамodelей для кожного

з виділених аспектів стратифікаційного опису промислового підприємства. Концептуальна метамодель виступає для кожної страти своєрідним «фільтром сприйняття» внутрішньої і зовнішньої інформації, яка постійно надходить в систему управління підприємством, систематизується і трансформується в дані (один з етапів оцифрування інформації);

- *M2-рівень* утворюється шляхом ієрархічної дедукції системи концептуальних метамodelей на нижчі рівні, у результаті чого отримуємо різноманіття їх інтерпретацій математичною або логічною мовами опису, тобто набори конкретних метамodelей як деяких базових інваріантів, що інтерпретуються в класи modelей для опису підсистем промислового підприємства в межах окремих страт;

- *M1-рівень* призначений для моделювання процесів функціонування конкретних структурних елементів системи управління підприємством, створення для їх опису модельних комплексів у межах утворених класів modelей усередині виділених страт;

- *M0-рівень* описує найнижчий рівень у розрізі всіх ключових аспектів процесу функціонування промислового підприємства (виділених страт) і формує вхідний інформаційний буфер для цифрової моделі системи управління.

Отже, системне поєднання стратифікаційного опису промислового підприємства з виділенням п'яти страт  $STR_1 - STR_5$  із технологією метамodelювання з виділенням чотирьох метарівнів  $M3 - M0$  кардинально розширює інструментарій об'єктно-орієнтованого моделювання для розробки релевантних механізмів синтезу комплексної моделі діяльності промислового підприємства з метою підвищення адаптивності планування та забезпечення автоматизованої підтримки повного циклу управління ефективністю бізнесу на базі корпоративної АСУ, є методологічним підґрунтям для подальшої цифровізації системи промислового менеджменту, а саме:

- з погляду технології метамodelювання утворено чотири рівні, які відповідають рівням абстракції в комплексній моделі підприємства;

- з погляду об'єктно-орієнтованого підходу введено п'ять страт, які обумовлені різними типами представлень підприємства (підходами до розбудови формалізованого опису);

- між усіма стратами підприємства підтримуються інформаційні зв'язки (причому інформація передається в єдиному для всіх страт цифровому форматі), завдяки яким елементи однієї страти можуть бути зіставлені елементам іншої страти, забезпечуючи навігацію як по стратах, так й по ієрархічних рівнях кожного стратифікаційного опису окремо.

Застосування нового підходу – *стратифікаційного метамодельювання* до цифровізації системи промислового менеджменту дозволило нам побудувати комплексну модель промислового підприємства “*SHOULD-BE*” (модель «ЯК МАЄ БУТИ»), яку представлено на рис. 10.4 (див. с. 564) узагальненою структурно-логічною схемою.

Згідно з комплексною моделлю промислового підприємства “*SHOULD-BE*” здійснюється його поаспектна декомпозиція, у результаті чого система промислового менеджменту структурно розкладається на певні ієрархічні рівні, на кожному з яких виділяються деякі її об'єкти-компоненти. Моделювання цих об'єктів для кожної зі страт здійснюється, з одного боку, відокремлено, а з іншого – з урахуванням існуючих взаємозв'язків між цими об'єктами, виділеними в межах окремих страт.

Такий підхід до комплексного моделювання дає змогу проводити детальний аналіз і моделювання досліджуваної системи промислового менеджменту одночасно з різних точок зору. Кожний тип аналізу проводиться у межах окремої страти із застосуванням унікальних комплексних моделей – метамodelей страт. Це забезпечує багатогранність розгляду системи промислового менеджменту і, відповідно, уможливорює одночасне застосування різних підходів до моделювання досліджуваного промислового підприємства та отримання від цього системних переваг. При цьому зберігається цілісність та унікальність модельного базису, побудованого для системи промислового менеджменту із застосуванням різноманітного модельного інструментарію.

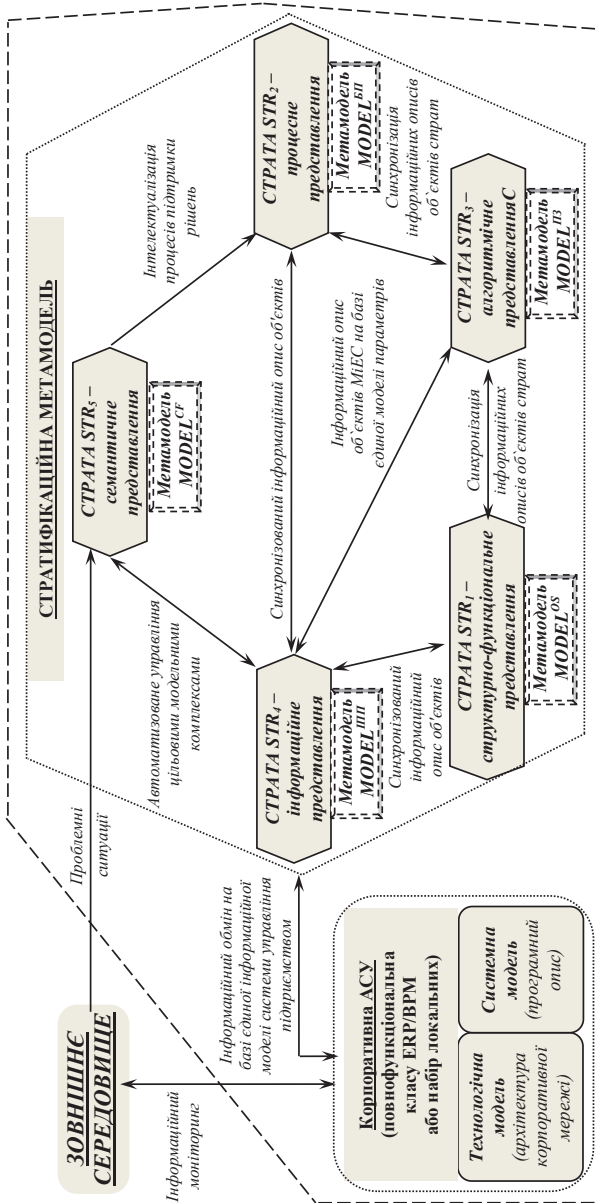


Рисунок 10.4 – Узагальнена структурно-логічна схема корпоративної АСУ на базі стратифікаційної метамодельі промислового підприємства “SHOULD-BE” (модель «ЯК МАЄ БУТИ»)

Стратифікаційна метамодель промислового підприємства “*SHOULD-BE*” (див. рис. 10.4) має низку суттєвих переваг у порівнянні з існуючою типовою комплексною моделлю промислового підприємства “*AS-IS*” (див. рис. 10.3), які нами узагальнено та зведено у табл. 10.2.

**Таблиця 10.2** – Передумови розробки методології та інструментарію стратифікаційного метамодельювання

Об’єктивні передумови щодо цифровізації системи промислового менеджменту	Існуючі суперечності (невирішені складові проблеми) для типової комплексної моделі підприємства “ <i>AS-IS</i> ” (рис. 10.3)	Преференції комплексної моделі підприємства “ <i>SHOULD-BE</i> ”, побудованої на базі методології стратифікаційного метамодельювання (рис. 10.4)
1	2	3
1. Концептуальна бізнес-модель Промислового Підприємства (ПП) та архітектура корпоративної АСУ повинні відповідати концепції багатоселонної ієрархії	<i>Фрагментарність</i> опису організаційної та функціональної структури управління ПП (відповідає концептуальній моделі для архітектури корпоративної АСУ)	<i>STR</i> <sub>1</sub> : Віртуалізація управлінських комунікацій ПП виступає джерелом створення динамічної організаційної структури та покращення її властивостей (гнучкості та керуваності). <i>STR</i> <sub>2</sub> : Інтероперабельність моделі мережі бізнес-процесів (МБП) уможливорює локальне внесення змін і доповнень, що не потребують загального перепрограмування та перенастроювання функціоналу АСУ
2. Потреба періодичного узгодження та оптимізації розподілу функцій між структурними підрозділами ПП при реінжинірингу МБП	Жорсткість вимоги щодо ідентичності об’єктів, включених до Моделей Бізнесу та Функціонуєчої Організації, суттєво обмежує структуру та варіабельність функціоналу Системної Моделі	<i>Включення</i> до стратифікаційної метамоделі ПП об’єктної моделі <i>MODEL</i> <sup>CV</sup> , побудованої на базі метамоделей <i>MODEL</i> <sup>OS</sup> і <i>MODEL</i> <sup>BP</sup> , уможливорює узгоджене моделювання гетерогенних об’єктів двох страт (віртуальної організації та МБП) на топології простору управлінських задач



## Продовження таблиці 10.2

1	2	3
3. Модель прийняття рішень у системі промислового менеджменту повинна відповідати концепції багатопарової ієрархії	При формуванні ієрархії шарів у Моделі Інформаційної Системи існує загроза виходу певних підпроблем (відокремлених управлінських задач) за межі функціоналу моделі прийняття рішень, що суттєво знижує адаптивні властивості корпоративної АСУ через некоректність її роботи	Утворенням нового стратифікаційного представлення, – $STR_3$ , багатопарова система прийняття рішень інтегрується у стратифікаційну метамодель ІПП за рахунок удосконалення зв'язків в інформаційному представленні ( $STR_4$ ) на рівні моделей управлінських задач та їх ключових параметрів, що дозволяє розмежувати функціонали моделі прийняття рішень і корпоративної АСУ та усунути загрозу її некоректної роботи
4. Декомпозиція проблеми на підпроблеми для багатопарової ієрархії моделі прийняття рішень у системі управління ІПП має неоднозначний характер і є складною задачею, яка дотепер не має загального вирішення	У моделі прийняття рішень підпроблеми (відокремлені управлінські задачі) «розчиняються» між об'єктами трьох виділених аспектів моделювання ІПП. Тим самим втрачається системна координованість шарів, унеможливується автоматизоване управління процесами послідовного розв'язання підпроблем, а аналітичні властивості АСУ підмінюються транзакційними операціями	Системна координація підпроблем (задач) реалізована за рахунок інтелектуалізації моделі прийняття рішень способом включення до стратифікаційної метамоделі ІПП нового стратифікаційного представлення, – $STR_5$ , на базі якого здійснюється автоматизоване управління ланцюгами моделей задач через певні «точки доступу»
5. Розуміння функціонування ІПП зростає, якщо існують гнучкі інформаційні зв'язки між моделями гетерогенних об'єктів різних	Моделювання гетерогенних об'єктів різних страт ІПП здійснюється на підґрунті власних методологічних принципів та наборів змінних з застосуванням різних математичних і програмних мов,	Поєднання преференцій трьох концепцій ієрархічного моделювання (страти, ешелони, шари) в концепції моделювання систем адаптивного управління забезпечує цілісність моделі прийняття рішень з корпоративною АСУ

Закінчення таблиці 10.2

1	2	3
стратифікаційних представлень ПП	що суттєво ускладнює їх семантичну узгодженість на рівні загальної моделі прийняття рішень та програмного опису корпоративної АСУ	за рахунок модельної підтримки зв'язків між ієрархічними рівнями та окремими стратами в стратифікаційній метамоделі ПП

#### 10.4 МЕТОДОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ СТРАТИФІКАЦІЙНОГО МЕТАМОДЕЛЮВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Для синтезу метамоделей страт сформовано систему методологічних принципів *МП 1 – МП 11*, які утворили ядро нової методології *Стратифікаційного МетаМоделювання (СММ)* та обґрунтовують виокремлення п'яти унікальних страт  $STR_1 – STR_5$  у структурі стратифікаційної метамоделі – комплексної моделі діяльності промислового підприємства:

*МП 1. Принцип взаємозв'язку із зовнішнім середовищем*, за яким промислове підприємство як МіЄС принципово не може бути самодостатньою ізольованою від зовнішнього середовища системою, а навпаки, має динамічно змінюватися і вдосконалюватися адекватно до змін у зовнішньому оточенні.

*МП 2. Принцип цілісності*, за яким здійснюється як би «погляд усередину» досліджуваного підприємства, умовно розчленовуючи його на окремі частини (структурні компоненти), які одночасно органічно інтегровані в єдине ціле.

*МП 3. Принцип ієрархічності* постулює відношення підпорядкованості між структурними компонентами підприємства, враховуючи характерні ознаки модельованої метасистеми.

*МП 4. Принцип доповнюваності* полягає в забезпеченні рухливої рівноваги (динамічної стабільності) підприємства шляхом взаємозв'язку його внутрішніх компонентів із зовнішнім оточенням у процесі власної життєдіяльності.

*МП 5. Принцип релевантності* регламентує вибірковість реакції системи управління підприємством на впливи з боку зовнішнього середовища.

*МП 6. Принцип структурної зв'язності* відзначає спосіб виявлення і встановлення зумовлених особливостями внутрішньої структурно-функціональної будови підприємства закономірних взаємозв'язків між його структурними компонентами як окремими частинами цілого.

*МП 7. Принцип функціональності* стверджує про тісний зв'язок і взаємодію між функціональною та організаційною структурою підприємства, необхідність їх спільного моделювання, первинність функціональності перед структурованістю компонентів підприємства.

*МП 8. Принцип модульності* вказує на доцільність групування окремих структурних компонентів стратифікаційних представлень підприємства у модулі з можливістю подальшої їх заміни набором вхідних і вихідних сигналів (впливів), тим самим абстрагуючись від зайвої деталізації.

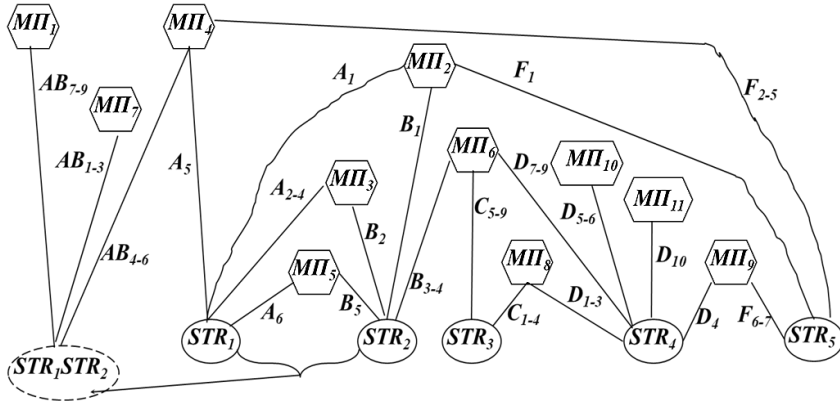
*МП 9. Принцип лабільності* стверджує про здатність промислового менеджменту збільшувати функціональну ємність власної системи управління шляхом здобуття нею нових функціональних можливостей без якісної перебудови її структури.

*МП 10. Принцип диференціації* виступає мірою різноманіття модельних рішень, які генеруються системою промислового менеджменту, їхньої координованості та керованості.

*МП 11. Принцип керованості* полягає в осмисленому впливі на систему промислового менеджменту шляхом підтримання її цілеспрямованого функціонування або переведення до нового стану.

На цьому методологічному підґрунті розроблено аксіоматику  $\{A, B, C, D, F, AB\}$  – аксіологічні принципи (систему аксіом), які деталізують методологічні принципи СММ щодо кожної виділеної страти, регламентують взаємну узгодженість і підтримку єдиного формату інформаційних потоків для всіх страт і метарівнів [10 та ін.].

Узагальнено схему узгодження методологічних принципів із розробленою аксіоматикою подано в рис. 10.5. Застосування аксіологічних принципів у контексті концептуалізації страт  $STR_1 - STR_5$  роз'яснюють табл. 10.3–10.8 (див. с. 570–578).



**Рисунок 10.5** – Узагальнена схема застосування аксіоматики  $\{A, B, C, D, F, AB\}$  для побудови метамоделей страт  $STR_1 - STR_5$

Принципи цілісності ( $МП 2$ ), ієрархічності ( $МП 3$ ), доповнюваності ( $МП 4$ ) та релевантності ( $МП 5$ ) застосовано у концептуальних метамоделях  $STR_1$  і  $STR_2$ , а також при концептуалізації міжстратифікаційних зв'язків між ними (табл. 10.3–10.5).

Окрім цього, принципи цілісності ( $МП 2$ ) і доповнюваності ( $МП 4$ ) використано при концептуалізації  $STR_5$  (табл. 10.8).

Принцип структурної зв'язності ( $МП 6$ ) застосовано у концептуальних метамоделях  $STR_2$ ,  $STR_3$  і  $STR_4$  (табл. 10.4, 10.6–10.7).

Принципи функціональності ( $МП 7$ ) і взаємозв'язку із зовнішнім середовищем ( $МП 1$ ) застосовано при концептуалізації міжстратифікаційних зв'язків між  $STR_1$  і  $STR_2$  (табл. 10.5).

**Таблиця 10.3** – Методологічні принципи моделювання віртуальних організаційних структур управління (концептуалізація страти  $STR_1$ )

Аксіологічні принципи	
Назва	Зміст аксіоматики (система аксіом)
1	2
<b>Принцип цілісності</b>	<i>Аксіома <math>A_1</math>.</i> Організаційна структура управління узагальнено подається у формі орієнтованого графа, утвореного елементами двох множин, які класично назвемо множинами вершин і орієнтованих ребер (дуг), що пов'язують ці вершини між собою. Вершинами в цьому графі є окремі структурні підрозділи (підсистеми організаційного управління) МіЕС, а дуги відображають наявність (відсутність) управлінських зв'язків підпорядкованості та регулювання між цими структурними елементами.
<b>Принцип ієрархічності</b>	<i>Аксіома <math>A_2</math>.</i> Усі структурні підрозділи МіЕС ідентифікують за порядковими номерами в єдиному реєстрі. Причому керівнику МіЕС як вищій домінанті в ієрархії організаційної структури управління привласнюється номер «0», а значення порядкових номерів двох будь-яких інших структурних елементів не відображають відносин ієрархічності між відповідними підрозділами. У процесі формалізації опису елементів множини вершин для різних МіЕС порядок нумерації структурних підрозділів може бути унікальним і неповторюваним.
	<i>Аксіома <math>A_3</math>.</i> При формалізованому описі елементів множини вершин кожний структурний підрозділ МіЕС може бути деталізований, за необхідністю, якщо провести його декомпозицію на відокремлені структури (секції, бюро, групи тощо), за якими закріплено виконання різних функціональних робіт у межах посадових інструкцій, що регламентують діяльність цього підрозділу. Для спрощення подальшого викладення вважатимемо ці композиційні елементи незалежними (рівноправними) між собою, крім одного, який має номер «0» і відповідає керівнику цього підрозділу, та пронумерованими порядковими номерами в межах кожного окремого «батьківського» структурного підрозділу.
	<i>Аксіома <math>A_4</math>.</i> На множині дуг задані дві сигнальні функції: перша – управлінські координуючі сигнали (імпульси, впливи) на парі будь-яких двох вершин цього графа організаційної структури (так звана директивна функція, яка фактично відображає систему підпорядкованості між підрозділами МіЕС), а друга – зворотні зв'язувальні сигнали між парою вершин графа (так звана спонукальна функція, яка фактично відображає систему коригування та регулювання між підрозділами).
<b>Принцип доповнюваності</b>	<i>Аксіома <math>A_5</math>.</i> Через елементи організаційної структури управління МіЕС проходять потокові процеси різної природи, зокрема, ресурсопотоки, документопотоки тощо. Крім того, на цій топології задана (для конкретної МіЕС) мережа бізнес-процесів.

## Закінчення таблиці 10.3

1	2
<b>Принцип релевантності</b>	<i>Аксиома A<sub>6</sub></i> . Загальна віртуальна організаційна структура управління МіЕС являє собою повний набір її структурних підрозділів і систему управлінських зв'язків між ними загалом. У процесі вирішення проблемних ситуацій із загальної віртуальної організаційної структури управління можуть тимчасово виокремлюватися її фрагменти – частинні віртуальні організаційні структури, утворені з окремих її структурних елементів, що поєднані єдиними метою та завданнями вирішення конкретної проблемної ситуації, пов'язані інформаційними каналами, мають структурно-ієрархічну підпорядкованість і виступають надалі як єдиний та нерозривний об'єкт, не втрачаючи при цьому «обіраних» після такої декомпозиції зв'язків (управлінські координуючі та зворотні зв'язувальні сигнали) із «зовнішніми» елементами загальної віртуальної організаційної структури управління.

**Таблиця 10.4** – Методологічні принципи моделювання функціональних структур у системі управління мікроекономічною системою (концептуалізація страти  $STR_2$ )

<b>Аксиологічні принципи</b>	
Назва	Зміст аксіоматики (система аксіом)
1	2
<b>Принцип цілісності</b>	<i>Аксиома B<sub>1</sub></i> . Функціональна структура МіЕС узагальнено представлена мережею її бізнес-процесів (МБП) у формі «об'ємної» моделі, яка являє собою складну просторову конструкцію, що утворена двома основними компонентами – множиною бізнес-процесів (БП), які формалізовані мовою певної нотації, та множиною зв'язків між цими бізнес-процесами.
<b>Принцип ієрархічності</b>	<i>Аксиома B<sub>2</sub></i> . Усі БП ідентифікуються своїми порядковими номерами в єдиному реєстрі, починаючи з «1». Кожний БП із цієї множини описано відповідно до чинних міжнародних і національних стандартів якості серії ISO 9001 (зокрема, ISO 9001:2008 або ISO 9001:2015, чи ДСТУ ISO 9001:2009) з використанням певної нотації, наприклад, нотацій IDEF та її модифікацій або ARIS, у формі його моделі «як є», тобто моделі БП, що побудована на основі суб'єктивного бачення перебігу цього БП у межах МіЕС, що досліджується. Підкреслимо, що метою є не побудова моделі цих БП, а використання вже існуючих, які прийняті для конкретної МіЕС.

## Закінчення таблиці 10.4

1	2
<b>Принцип структурної зв'язності</b>	<p><i>Аксиома В<sub>3</sub></i>. Візьмемо структурну декомпозицію в моделі кожного БП, незалежно від того, з використанням якої нотації він формально описаний, як упорядкований певним чином набір унікальних і неповторювальних як у межах окремого БП, так і для всієї МБП, функціональних блоків та зв'язувальних їх інтерфейсних дуг (орієнтованих ребер). Суть функціональних блоків (структурних елементів, вершин, функціональних центрів тощо) – ключові «функції», «операції» або «процедури» описуваного БП. Інтерфейсні дуги відбивають факт передачі від одного функціонального блоку до іншого потоку певної природи, а саме: матеріальної, інформаційної, фінансової, ресурсної, управлінської документації (плани, розпорядження, нормативи тощо), готового продукту (продукція або послуга) чи проміжного характеру (напівфабрикат, комплектуючі тощо).</p> <p><i>Аксиома В<sub>4</sub></i>. Зв'язки між парою будь-яких окремих БП здійснюються шляхом формування множини вхідних і вихідних (щодо окремого БП) міжпроцесних дуг (орієнтованих ребер), що є інцидентними певним двом функціональним блокам, один з яких є структурним елементом першого БП, а інший – належить другому БП. Такі функціональні блоки будемо називати «стиками» БП. Природа потоків, які проходять через міжпроцесні дуги, аналогічна до природи потоків, заданих на інтерфейсних дугах, що описані вище.</p>
<b>Принцип релевантності</b>	<p><i>Аксиома В<sub>5</sub></i>. Досліджувана МіЕС, функціональна структура якої представлена МБП, як система локального рівня є елементом системи вищого рівня, зокрема, регіональної економічної системи тощо, і тому має відповідні зовнішні зв'язки – вхідні й вихідні. Без втрати загальності викладення вважатимемо вхідними для цієї МБП, наприклад, потоки ресурсів будь-якої природи, комплектуючих, нормативної, регламентуючої та законодавчої документації тощо, а вихідними – асортиментний ряд МіЕС (продукція й послуги).</p>

Принцип модульності (*МП 8*) застосовано у концептуальних метамоделях *STR<sub>3</sub>* і *STR<sub>4</sub>* (табл. 10.6, 10.7).

**Таблиця 10.5** – Методологічні принципи синтезу просторової взаємодії організаційної та функціональної структур у системі управління мікроекономічною системою (концептуалізація міжстратифікаційних зв'язків страт  $STR_1$  і  $STR_2$ )

Аксіологічні принципи	
Назва	Зміст аксіоматики (система аксіом)
1	2
Принцип функціональності	<i>Аксіома <math>AB_1</math>.</i> У підрозділах МіЕС (елементах її оргструктури) на постійній основі виконується сукупність однорідних операцій, що являють собою певний фіксований (у конкретних умовах простору й часу) набір функцій. Усі такі функції виконуються під час перебігу якого-небудь бізнес-процесу МіЕС, який формально описаний з використанням певної нотації у вигляді своєї моделі.
	<i>Аксіома <math>AB_2</math>.</i> Задана множина функцій має проєкцію на задану топологію організаційної та функціональної структур МіЕС у формі конкретизованого переліку робіт (процедур), які здійснюються окремими елементами організаційної структури МіЕС при керуванні ними перебігом БП (або його окремих фрагментів), що належать заданій МБП.
	<i>Аксіома <math>AB_3</math>.</i> Виконання окремим підрозділом МіЕС деякої роботи (робіт) відповідно до певної функції в межах якогось його БП фактично означає наявність управлінського зв'язку між цим елементом організаційної структури управління та функціональним структурним елементом (функціональним блоком або блоками) цього БП. Усі такі зв'язки між елементами організаційної структури та МБП мікроекономічної системи утворюють множину зв'язувальних сигналів (імпульсів, впливів) прямої та зворотної дії, які задані на топології організаційної й функціональної структур управління та реалізують відповідно функції управління й контролю за БП.
Принцип доповнюваності	<i>Аксіома <math>AB_4</math>.</i> Усі ресурси МіЕС (інформація (документи, файли, комунікація), фінанси, сировина, матеріали, напівфабрикати, комплектуючі, персонал, устаткування, інфраструктура, середовище, програмне забезпечення, які необхідні для виконання БП і з використанням яких здійснюється перетворення входів на виходи), які споживаються її підрозділами в процесі виконання покладених на них функцій, що реалізуються ними на МБП, нумеруються наскрізною послідовністю натуральних чисел і утворюють так звану множину ресурсів.
	<i>Аксіома <math>AB_5</math>.</i> З елементів множини ресурсів МіЕС утворюються ресурсні потоки, які проходять через задану МБП та використовуються її структурними підрозділами під час вирішення ними певних управлінських задач. Вважаємо заданими норми використання



Закінчення таблиці 10.5

1	2
	<p>будь-якого виду ресурсу відповідно до технологічних карт кожного з БП мікроекономічної системи.</p> <p><i>Аксиома <math>AB_6</math>.</i> Встановимо, що фактичному розподілу ресурсів між управлінськими задачами, сформульованими на МБП мікроекономічної системи, передує планування обсягів цих ресурсів, результати якого відбиваються в певних кількісних показниках деяких документів з множини стандартизованих документів.</p>
Принцип взаємозв'язку із зовнішнім середовищем	<p><i>Аксиома <math>AB_7</math>.</i> Мікроекономічна система виробляє асортимент готового продукту (продукція, послуги), який реалізується поза її межами. Усі види продуктів нумеруються наскрізною послідовністю натуральних чисел і утворюють множину продуктів МіЕС – асортиментний ряд (асортимент).</p>
	<p><i>Аксиома <math>AB_8</math>.</i> Будь-який продукт з асортиментного ряду МіЕС є виходом якогось тільки одного її БП, зворотнє твердження хибне.</p>
	<p><i>Аксиома <math>AB_9</math>.</i> Серед усіх БП мікроекономічної системи виділяють так звані основні, виходом яких обов'язково є певний продукт (продукти), та допоміжні (забезпечуючі), коли вихід такого БП споживається (використовується) іншими БП, не виходячи за межі МіЕС.</p>

Принцип лабільності (*МП 9*) застосовується при концептуалізації *STR<sub>5</sub>* (табл. 10.8).

**Таблиця 10.6** – Методологічні принципи моделювання топології простору задач (концептуалізація страти *STR<sub>3</sub>*)

Аксиологічні принципи	
Назва	Зміст аксіоматики (система аксіом)
1	2
Принцип модульності	<p><i>Аксиома <math>C_1</math>.</i> Простір задач утворений трьома структурними елементами – множинами управлінських задач (УЗ), аналітичних задач (АЗ) та нормативних документів (НД) мікроекономічної системи.</p>
	<p><i>Аксиома <math>C_2</math>.</i> Усі УЗ сформульовані на МБП мікроекономічної системи і нумеруються наскрізною послідовністю порядкових чисел в межах кожного БП.</p>
	<p><i>Аксиома <math>C_3</math>.</i> Будь-яка АЗ відповідає деякій УЗ (або її частині), а її постановка здійснена у формалізованому вигляді, як правило, у формі математичної моделі. Усі АЗ нумерують наскрізною послідовністю порядкових чисел.</p>

## Закінчення таблиці 10.6

1	2
	<p><i>Аксиома C<sub>4</sub></i>. Усі НД, що є типовими для МіЕС (законодавчі акти, плани, накази, розпорядження підприємства тощо), пронумеровані наскрізно послідовністю порядкових чисел й утворюють відповідну множину. Крім того, для МіЕС утворені стійкі схеми документообігу між її відокремленими підрозділами організаційної структури управління (ОСУ). Ці схеми являють собою фіксовані маршрути проходження кожного нормативного (робочого) документа через елементи ОСУ у визначеній послідовності.</p>
<p><b>Принцип структурної зв'язності</b></p>	<p><i>Аксиома C<sub>5</sub></i>. Множина УЗ, що містить у собі як параметри управління (керовані або некеровані) набір ключових показників, певна частина яких є кількісно вимірюваними, а інша частина носить якісний (вербальний, атрибутивний тощо) характер. Встановимо, що при обґрунтованому поділі управлінських процесів МіЕС на УЗ кожний параметр управління потрапляє в зону безпосередньої відповідальності тільки однієї з УЗ. Крім того, без втрати загальності викладення припустимо, що межі будь-якої УЗ обмежені певним елементом функціональної структури.</p>
	<p><i>Аксиома C<sub>6</sub></i>. Кожна АЗ є образом деякої УЗ (або її частини), і, навпаки, будь-яка АЗ має прообраз серед УЗ. Допускається існування деяких УЗ, які на момент моделювання не мають образу з множини АЗ (формалізовано не повний перелік актуальних для цієї МіЕС задач; це забезпечує «відкритість» модельованої СУП щодо її подальшого вдосконалення).</p>
	<p><i>Аксиома C<sub>7</sub></i>. Множина АЗ, як і їх прообрази, містить у собі як параметри набір ключових показників, певна частина яких є кількісно вимірювальними, а інша частина має якісний характер. Отже, будь-який параметр з множин АЗ має свій прообраз у множині параметрів УЗ; зворотне твердження хибне.</p>
	<p><i>Аксиома C<sub>8</sub></i>. АЗ взаємопов'язані між собою в такому розумінні: якщо хоча б один вихідний параметр деякої задачі є вхідним параметром якоїсь іншої задачі, то ці задачі вважаються пов'язаними.</p>
	<p><i>Аксиома C<sub>9</sub></i>. Встановлено перелік показників, значення яких регламентовані НД: деяка їх частина може бути кількісно вимірюною, а інша – має якісний (вербальний, атрибутивний тощо) характер.</p>

Окрім цього, принципи лабільності (МП 9), диференціації (МП 10) та керованості (МП 11) застосовано при концептуалізації STR<sub>4</sub> (табл. 10.7).

**Таблиця 10.7** – Методологічні принципи моделювання топології параметричного простору (концептуалізація страти  $STR_4$ )

Аксиологічні принципи	
Назва	Зміст аксіоматики (система аксіом)
1	2
Принцип модульності	<i>Аксиома <math>D_1</math>.</i> Для фіксованого маршруту документа, який проходить через деякий елемент ОСУ, цей елемент може ініціювати передачу значень різних показників, встановлених цим НД, якимось параметрам різних УЗ. Допускається наявність таких елементів ОСУ, які не передають жодного показника до множини УЗ при проходженні через ці підрозділи певних документів.
	<i>Аксиома <math>D_2</math>.</i> Параметри будь-якої УЗ можуть набувати своїх значень шляхом їх зіставлення з показниками або одного, або декількох документів, причому точками такої ініціації можуть виступати будь-які елементи ОСУ, що включені до відповідних маршрутів цих документів.
	<i>Аксиома <math>D_3</math>.</i> При побудові множини АЗ перелік їх кількісних та якісних параметрів однозначно ідентифікується шляхом зіставлення їм параметрів УЗ. При цьому їх зміст визначається техніко-економічним змістом їх прообразів-параметрів, а зв'язок між ними відбивається через формальні й логічні конструкції побудованих математичних моделей УЗ.
Принцип лабільності	<i>Аксиома <math>D_4</math>.</i> Усі кількісні та якісні параметри будь-якої УЗ поділяють на дві частини: до 1-ї з них відносять ті параметри, значення яких конкретизовано з НД, а до 2-ї – параметри, значення яких не можуть бути отримані з жодного документа. У подальших аналітичних конструкціях будемо використовувати елементи тільки першої частини параметрів, які й будемо називати відповідно кількісно вимірюваними та якісними параметрами УЗ. У процесі розвитку й удосконалення модельованої системи управління МіЕС допускаємо ситуації, коли окремі параметри з другої частини можуть переходити до першої (розширення множини параметрів шляхом їх конкретизації з НД), а також, навпаки, коли відбуваються зворотні зміни (звуження множини параметрів, що можуть бути конкретизовані з НД).
Принцип диференціації	<i>Аксиома <math>D_5</math>.</i> Усі параметри УЗ однозначно ідентифіковані (зіставлені) з НД. Не обов'язково всі показники, які встановлені множиною НД, зіставляються яким-небудь параметрам УЗ. При цьому показники мають планові (прогнозні, бажані, інструктивні), а параметри в УЗ – фактичні значення. У загальному випадку розмірність множини параметрів УЗ не більше від розмірності множини планових показників, що вказані в множині НД.

Закінчення таблиці 10.7

1	2
	<i>Аксиома D<sub>6</sub></i> . Усі параметри АЗ, як кількісно вимірювані, так і якісні, утворюють у межах кожної АЗ три множини: вхідні, внутрішні та вихідні параметри.
<b>Принцип структурної зв'язності</b>	<i>Аксиома D<sub>7</sub></i> . Один і той самий показник, взятий з НД, може передаватися параметрам різних УЗ при проходженні цього НД через різні елементи ОСУ, які входять до цього маршруту. Також будь-який показник, взятий з НД, може бути зіставлений тільки одному з параметрів певної УЗ, незалежно від того, з якого елемента ОСУ воно проводиться (тобто від різних елементів ОСУ, через які проходить цей НД, не може одночасно прийти значення показника до конкретної УЗ).
	<i>Аксиома D<sub>8</sub></i> . Певний параметр УЗ набуває конкретного значення через зіставлення його з певним показником деякого НД від одного з підрозділів ОСУ. Встановимо, що цей параметр може набути свого значення тільки з одного НД (це припущення спрощує подальший процес моделювання, однак не знижує його загальності завдяки можливості проведення експертного привласнення цьому параметру значення, взятого з якогось одного документа, або як певну їх комбінацію).
	<i>Аксиома D<sub>9</sub></i> . Вхідні і внутрішні параметри АЗ набувають своїх значень шляхом зіставлення із значеннями відповідних параметрів-прообразів з УЗ, які ініціювали їх введення до модельного комплексу, або з множини вихідних параметрів інших АЗ. Вихідні параметри АЗ набувають своїх значень у результаті розв'язання цих задач з використанням їх математичних моделей (проте, своїх домодельних значень можуть набувати також від параметрів-прообразів з відповідних УЗ). У загальному випадку, враховуючи твердження аксиоми C <sub>7</sub> , розмірність множини теоретичних (модельних) параметрів АЗ буде не більше від розмірності множини фактичних параметрів УЗ.
<b>Принцип керуваності</b>	<i>Аксиома D<sub>10</sub></i> . Теоретичні (модельні) значення вихідних параметрів АЗ після їх верифікації передаються або до множин вхідних і внутрішніх параметрів інших АЗ, або до відповідних УЗ, де зіставляються їхнім параметрам-прообразам, тим самим здійснюючи зворотний зв'язок. Отримані модельні (теоретичні) значення надалі є джерелами пошуку прихованих резервів підвищення ефективності управління проблемними ситуаціями МіЕС та основою для розробки адекватних регулювальних імпульсів, які передаються з МБП до ОСУ.

Розроблені методологічні принципи *СММ* забезпечують взаємну узгодженість і підтримку єдиного формату інформаційних потоків для всіх страт і метарівнів у майбутній цифровій моделі промислового менеджменту.

**Таблиця 10.8** – Методологічні принципи концептуального моделювання, інтегровані в систему управління мікроекономічною системою (концептуалізація страти *STR<sub>3</sub>*)

Аксиологічні принципи	
Назва	Зміст аксіоматики (система аксіом)
Принцип цілісності	<i>Аксиома F<sub>1</sub></i> . Моделлю семантичного представлення МіЕС є дводольний граф. Елементи кожної з двох його частин – це сутності відповідно ситуаційного й концептуального (онтологічного) модельного інструментарію. Опис атрибутів цієї страти здійснюється на двох рівнях, що відповідають її ситуаційній і концептуальній складовим.
Принцип доповнюваності	<i>Аксиома F<sub>2</sub></i> . База «типових» проблемних ситуацій (БТПС) формується для конкретної МіЕС з урахуванням організаційно-функціональної декомпозиції її системи управління шляхом складання найбільш узагальненого переліку сфер діяльності.
	<i>Аксиома F<sub>3</sub></i> . База концепцій (БК) представляє собою множину концепцій (концептуальних моделей), яка динамічно синхронізується з БТПС. Концептуальні моделі та їх концепти, які включені до БК, спільно утворюють метамодель у формі концептуального графа системи управління МіЕС.
	<i>Аксиома F<sub>4</sub></i> . «Шаблон» інформаційного опису проблемної ситуації (ПС), віднесеної до БТПС, визначається кожною МіЕС і повинен містити, зокрема, сутність, причини виникнення, ефективні механізми подолання ПС (бажано) тощо.
Принцип лабільності	<i>Аксиома F<sub>5</sub></i> . «Шаблон» інформаційного опису концепції, віднесеної до БК, містить такі скінчені множини: концептів, відношень між ними та функції інтерпретації (аксіоматику) елементів перших двох множин у контексті формування унікальної програми антикризових заходів, спрямованих на вирішення конкретної (актуалізованої) ПС.
	<i>Аксиома F<sub>6</sub></i> . Наявність у системи управління МіЕС ситуаційних механізмів (формалізованих або евристичних) виявлення, розпізнавання, ідентифікації, верифікації в БТПС та моделювання розвитку ПС (фактичних або потенційних).
	<i>Аксиома F<sub>7</sub></i> . Наявність у системи управління МіЕС механізмів (формалізованих або евристичних) синтезу робочої концепції вирішення актуалізованої ПС, як правило, на основі елементів БК.

Отже, методологічні принципи СММ і аксіоматика  $\{A, B, C, D, F, AB\}$  нівелюють недоліки існуючих об'єктно-орієнтованих підходів до синтезу бізнес-моделей промислових підприємств, пов'язаних з жорсткістю вибору певного способу їх структурно-функціональної декомпозиції, за рахунок системного інтегрування концепцій стратифікаційного, багатошарового та багато-ешелонного описів з технологією метамодельювання.

## 10.5 КОНЦЕПЦІЯ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ НА БАЗІ СТРАТИФІКАЦІЙНОГО МЕТАМОДЕЛЮВАННЯ

У сучасній теорії менеджменту відсутня «строга» концепція моделювання систем адаптивного управління промисловим підприємством, яка б не суперечила принципам асинхронного інформаційного управління його перехресними процесами та яку побудовано на методологічному підґрунті формальних теорій. Це породило низку протиріч методологічного рівня, зокрема такі:

- Об'єктивно існуюча складність врахування динамічності та повноти всіх функцій менеджменту системою адаптивного управління сучасним промисловим підприємством проявляється у нерегулярності й неструктурованості процесів прийняття рішень, що призводить до порушення логічної цілісності формалізованого опису при цифровізації системи промислового менеджменту та суттєво зашкоджує синтезу механізмів структурної адаптації комплексної моделі промислового підприємства до змін.

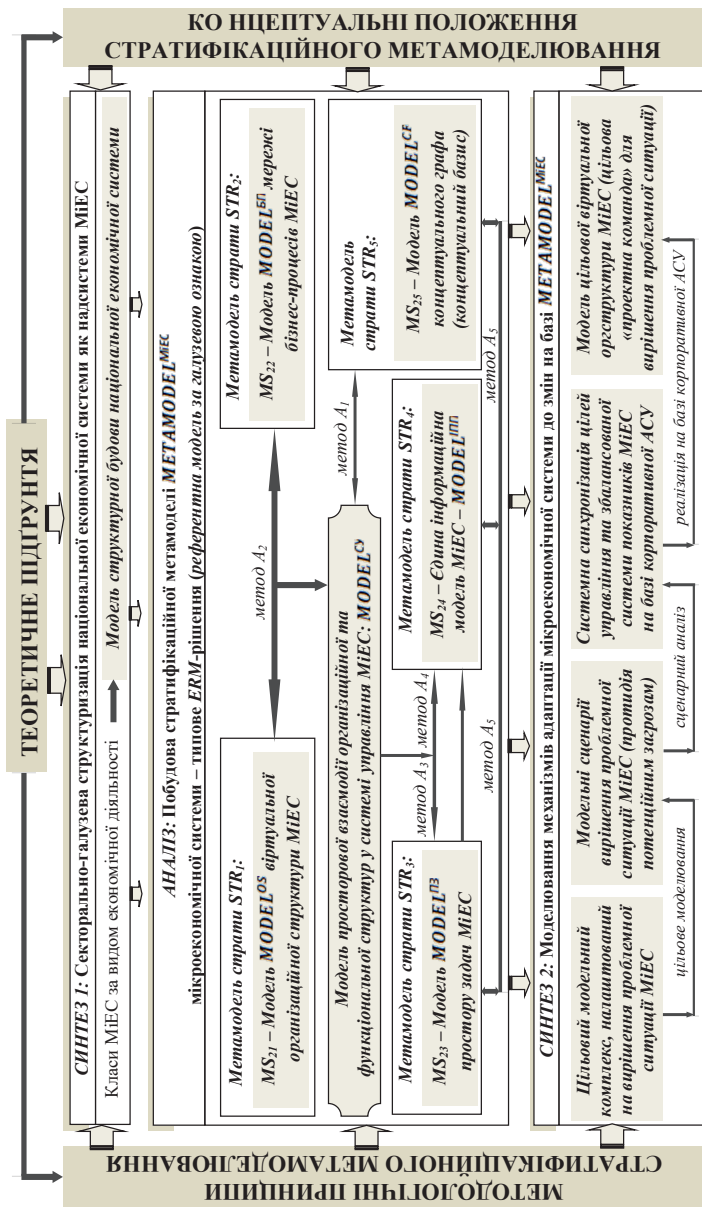
- Зміни обчислювально-інформаційної парадигми, зокрема пріоритетність децентралізації управління та мережність структури промислового підприємства, призвели до зміщення фокусу від модульної ієрархії архітектури корпоративних АСУ в бік набору одночасно працюючих асинхронних моделей взаємодіючих локальних АСУ.

▪ Пріоритетність і зростаюча роль вирішення задачі системної інтеграції та координації на рівні архітектурних конфігурацій локальних АСУ з урахуванням модельної сумісності, збалансованості та функціональної інтероперабельності гетерогенних об'єктів-компонентів у системі промислового менеджменту в порівнянні із задачами розробки математичного та програмного забезпечення для унікальних АСУ-модулів, створених спеціально для бізнес-моделей окремих функціональних областей промислового підприємства, вимагає перегляду методологічних положень і проведення нових наукових досліджень у галузі моделювання складних ієрархічних систем.

Ми вбачаємо способом вирішення цих протиріч запропоновану нами концепцію моделювання системи адаптивного управління промисловим підприємством, що узгоджується із методологічними принципами МП I – МП II й аксіоматикою  $\{A, B, C, D, F, AB\}$  та яка ґрунтується на концептуальних положеннях стратифікаційного метамодельювання. На рис. 10.6 (див. с. 581) представлено концептуальну схему моделювання для МіЕС будь-якого класу за видами економічної діяльності загалом і промислового підприємства зокрема.

***Положення 1.** Моделювання функціональних та організаційних механізмів конкретної МіЕС (клас промислових підприємств) здійснюється з урахуванням галузево-секторальної специфіки її економічної діяльності.*

Будь-яка МіЕС (корпорація, промислове підприємство, організація, установа) є елементом системи вищого рівня, тобто надсистеми, – національної економічної системи (контур «Синтез 1» на рис. 10.6). Існують класи МіЕС зі схожою специфікою перебігу основних, допоміжних, супутніх процесів і механізмів функціонування й управління, зокрема клас промислових підприємств, для яких доцільно розробляти типові ERM-рішення (Enterprise Reference Model – референтні стратифікаційні метамоделі, побудовані за галузевою ознакою) з метою створення / впровадження на їх основі АСУ класу MRP/ERP/SCRM/BPM із набором додатків, адаптованих під специфіку й умови функціонування конкретної МіЕС.



**Рисунок 10.6** – Концептуальна схема моделювання систем адаптивного управління мікроекономічними системами (клас промислових підприємств) на базі стратифікаційного метамоделювання

ПРИМІТКА. \*  $MS_{21-25}$  – структурні елементи матриці об'єктів стратифікаційної метамоделі МІЕС (рівень метамоделей – класів моделей).



На цьому підґрунті побудовано інформаційну модель структурної будови національної економічної системи з застосуванням інструментарію числення предикатів (на рис. 10.6 представлено контуром «Синтез 1»), для чого сформульовано комплекс задач (активації, систематизації, характеристизації властивостей, ідентифікації елементів, таксономії, декомпозиції та синтезу), розроблено для їх вирішення шаблони предикатів та інтерпретацію числення предикатів [7].

**Положення 2.** Стратифікаційна метамодель МіЕС (клас промислових підприємств) є інтелектуальною надбудовою для її системи управління.

Це означає, що формування цілісного сприйняття механізмів адаптації МіЕС до змін здійснюється крізь призму її стратифікаційної метамоделі  $METAMODEL^{МіЕС}$ , побудованої з урахуванням секторально-галузевої позиції МіЕС, зокрема для класу промислових підприємств (ідентифікується в контурі «Аналіз» на рис. 10.6), за допомогою виокремлення всередині МіЕС гетерогенних об'єктів, встановлення динамічних зв'язків між ними для забезпечення логічної та інформаційної узгодженості сукупності діючих у системі управління МіЕС різнорідних стандартів і методологій управління бізнес-процесами та організаційною структурою, для синхронізації цілей управління з системою показників-індикаторів діяльності, параметрів моделей з інформацією баз даних і знань корпоративної АСУ з метою розподілу асиметричної інформації по стратам та формування знань про різні функціональні області МіЕС у структурованій формі.

Комплексне моделювання МіЕС ґрунтується на використанні розробленого інструментарію *СММ*, до якого належить (див. шість блоків і зв'язки між ними у контурі «Аналіз» на рис. 10.6):

- система метамodelей  $\{MODEL^{OS}, MODEL^{БП}, MODEL^{ПЗ}, MODEL^{ІПП}, MODEL^{CF}\}$  п'яти страт (базові характеристики представлено на рис. 10.7, див. с. 583);
- об'єктна модель  $MODEL^{CY}$  – єдина модель просторової взаємодії організаційної та функціональної структури МіЕС,

<b>СКЛАДОВІ СТРАТИФІКАЦІЙНОЇ МЕТАМОДЕЛІ МЕТАMODEL_mіс.</b>			
<b>Метамодель MODEL<sup>05</sup></b> (для страти STR <sub>1</sub> – структурно-функціональне представлення МіЕС)	<b>Метамодель MODEL<sup>07</sup></b> (для страти STR <sub>2</sub> – процесне представлення МіЕС або функціональний простір)	<b>Метамодель MODEL<sup>03</sup></b> (для страти STR <sub>3</sub> – алгоритмічне представлення МіЕС або простір задачі)	<b>Метамодель MODEL<sup>04</sup></b> (для страти STR <sub>4</sub> – інформаційне представлення МіЕС або параметричний простір)
Застосовується для:	Застосовується для:	Застосовується для:	Застосовується для:
<p>модельовання 3D-структури аналога оргструктури управління МіЕС</p> <p><b>Представлення:</b></p> <p>Модель <i>віртуальної оргструктури</i> – цілова, абстрактна, штучна інтелектуальна оргструктура змінюваного типу, побудована на базі реальної оргструктури управління МіЕС у формі орієнтованого зв'язаного графа</p>	<p>модельовання загальної схеми мережі бізнес-процесів МіЕС</p> <p><b>Представлення:</b></p> <p>Модель <i>функціональної структури</i> – узагальнена процесна модель управління МіЕС у формі орієнтованого графа, на топології якого побудована система унікальних функцій (відображень спеціального виду)</p>	<p>синхронізації інформаційних потоків об'єктів страт STR<sub>1</sub> і STR<sub>2</sub></p> <p><b>Представлення:</b></p> <p>Модель <i>простору задачі</i> – теоретико-множинна модель на базі членення предикатів, на підрунті якої здійснена структурно-логічна декомпозиція цілей управління МіЕС на рівні системно узгодженого задачного комплексу</p>	<p>аналізу і синтезу інформаційних потоків у контекстах управління комплексом моделей</p> <p><b>Представлення:</b></p> <p><i>Єдина інформаційна модель МіЕС</i> – система часткових матричних інформаційних моделей, на базі яких здійснюється аналіз і синтез інформаційних потоків у контекстах управління модельним комплексом стратифікаційної метамоделі МіЕС</p>
<p>методи оргграфів та організаційного моделювання</p> <p><b>Системні переваги:</b></p> <p>Є простором для створення часткових моделей М<sub>т</sub><sup>05</sup> (тимчасових оргструктур) – «проектної команди» для вирішення актуальної проблемної ситуації</p>	<p>Синхронізація відображення змін в площині реінжинірингу бізнес-процесів МіЕС нівелює проєктивні ризики у перективній системній модернізації корпоративних АСУ</p>	<p>методи теорії множин і числення предикатів, теорія графів</p> <p><b>Системні переваги:</b></p> <p>Вдосконалення багатоваріантної системи прийняття рішень, дозволяє створити шаблон інтегрованого стратегічного метамоделі МіЕС</p>	<p>методи теорії множин і числення предикатів, матричного моделювання</p> <p><b>Системні переваги:</b></p> <p>Є інструментальною базою для створення структури метаданих у сховищах даних прикладних СІПР та ІАС, інтегрованих з корпоративною АСУ</p>
<p>Метамодель MODEL<sup>08</sup> (для страти STR<sub>5</sub> – семантичне представлення МіЕС)</p>	<p>Метамодель MODEL<sup>06</sup> (для страти STR<sub>6</sub> – інформаційне представлення МіЕС)</p>	<p>Метамодель MODEL<sup>02</sup> (для страти STR<sub>7</sub> – інформаційне представлення МіЕС)</p>	<p>Метамодель MODEL<sup>01</sup> (для страти STR<sub>8</sub> – семантичне представлення МіЕС)</p>
<p>концептуалізації предметної області</p> <p><b>Представлення:</b></p> <p><i>Концептуальний граф</i> – модель структури бази концептуальних моделей («семантична мапа» предметної області), зв'язаних між собою через їх гетерогенні концепти транзитивними відношеннями «асоціації», «агрегації» або «успадкування»</p>	<p>аналіз та проєктування, методи теорії множин, теорія графів, концептуальне та онтологічне моделювання</p>	<p>методи теорії множин і числення предикатів, матричного моделювання</p>	<p>Дас змогу розробити для гетерогенних об'єктів МіЕС з семантичним метаосередком з залученням інструментарію концептуального моделювання</p>

Рисунок 10.7 – Системні характеристики основних складових стратифікаційної метамоделі МіЕС

що забезпечує міжстратифікаційний зв'язок на метарівні  $M_0$  стратифікаційної метамоделі МіЕС для узгодженого моделювання об'єктів страт  $STR_1$  та  $STR_2$ , системно поєднуючи дерево організаційної структури та мережу бізнес-процесів через функціональні роботи з урахуванням ресурсно-продуктових потоків МіЕС, – є інструментом узгодження й оптимізації розподілу функцій між її структурними підрозділами. У перспективі реінжинірингу бізнес-процесів МіЕС модель  $MODEL^{CV}$  є структурно інтероперабельною та дає змогу оцінювати й оптимізувати маршрути документопотоків МіЕС, виявляти необхідність створення нових і ліквідації непотрібних форм документів для цифровізації промислового менеджменту МіЕС. Модельний інструментарій: методологія структурного аналізу та проектування (IDEF, ARIS); методи теорії множин і числення предикатів; апарат теорії графів;

- удосконалені методи: концептуального моделювання  $A_1$ , синтезу моделі організаційно-функціональної структури  $A_2$ , моделювання простору задач  $A_3$ , кластеризації моделей задач  $A_4$  та побудови цільового модельного комплексу  $A_5$ .

Метод  $A_1$  концептуального моделювання розроблено для синтезу цільової концептуальної моделі на базі концептуального графа  $MODEL^{CF}$ .

Означення б. «Цільова концептуальна модель» – структурований об'єкт, який зіставляється деякій концепції моделювання адаптивного управління МіЕС (промисловим підприємством) або її функціональними підсистемами з метою вирішення актуальної для неї проблемної ситуації способом виявлення, систематизації та синхронізації рішень цільового набору управлінських задач, комплексне розв'язання яких дозволить обґрунтувати програму антикризових заходів, спрямованих на усунення загроз від настання цієї проблемної ситуації.

Інтелектуалізація моделі прийняття рішень у задачах системного пошуку ефективних управлінських рішень щодо запобігання проблемних ситуацій здійснюється за рахунок включення до стратифікаційної метамоделі МіЕС нової страти  $STR_5$  та відповідної її метамоделі  $MODEL^{CF}$ , що дає змогу розробляти

для її гетерогенних об'єктів їх семантичний метаопис з залученням інструментарію концептуального моделювання.

Метод  $A_2$  синтезу об'єктної моделі  $MODEL^{CV}$  розроблено для модельного відтворення тріади «бізнес-процеси – функціональні роботи – структурні підрозділи» в системі управління МіЕС (система промислового менеджменту). Метод  $A_2$  розширює інструментарій  $SMM$  і за рахунок доповнення алфавіту та аксіомати спеціальної мови моделювання системи логічних відношень уможливує формалізацію зв'язків між гетерогенними об'єктами МіЕС (промислового підприємства).

Метод  $A_3$  моделювання простору задач МіЕС розроблено для структуризації предметної сфери, що передбачає побудову узгоджених між собою цифрових образів множин документів, управлінських задач та їх моделей завдяки розробленню інформаційних описів для кожної із цих множин і побудові відповідних теоретико-множинних моделей.

Застосування об'єктно-орієнтованого підходу до формалізованого опису інфологічної схеми функціональної області «Задачний комплекс МіЕС» у вигляді асинхронних моделей, побудованих для окремих задач з залученням різних мов моделювання, на базі методології числення предикатів структурує та суттєво спрощує, за рахунок розробленої спеціальної мови моделювання, системне інтегрування метамоделі  $MODEL^{ПЗ}$  (для страти  $STR_3$ ) у структуру стратифікаційної метамоделі  $METAMODEL^{МіЕС}$ .

Метод  $A_4$  кластеризації моделей задач МіЕС розроблено для створення параметричного простору на базі модельного комплексу МіЕС з розвинутими інформаційними та динамічними зв'язками між ними.

Означення 7. «Параметричний простір» – структурована множина, яку утворено сукупністю можливих парних комбінацій кількісних параметрів моделей задач МіЕС з урахуванням відношень еквівалентності між ними.

Метод  $A_4$  входить до інструментарію  $SMM$  щодо багаторівневої координації між параметрами моделей задач для вирішення задачі узгодження отриманих на цих моделях рішень за рахунок

відображення процесів циркуляції інформаційних контентів між об'єктами страт  $STR_1$ ,  $STR_2$  і  $STR_3$  на базі метамоделі  $MODEL^{III}$  (страта  $STR_4$ ). Його застосування у процедурах координації комплексу моделей усуває конфігураційні конфлікти локальних АСУ, впроваджених у МіЕС, та забезпечує реалізацію її узагальненої цифрової (комп'ютерної) моделі для здійснення автоматизованого управління на базі корпоративної АСУ.

*Метод  $A_5$  побудови цільового модельного комплексу* розроблено для системного узгодження входів-виходів моделей у складі цільового модельного комплексу, налаштованого на вирішення конкретної (актуальної) проблеми.

*Означення 8.* «Цільовий модельний комплекс» – фрагмент (підмножина) бази моделей стратифікаційної метамоделі  $METAMODEL^{МіЕС}$ , за допомогою яких відбувається системний пошук (моделювання) ефективного рішення, що є спільним і узгодженим для утвореного підпростору аналітичних задач, вирішення яких у комплексі призводить до вирішення деякої актуалізованої проблемної ситуації.

Синтез цільового модельного комплексу, який ґрунтується на розробленому *механізмі активації елементів простору аналітичних задач*, дає змогу конкретизувати відповідно до активної функціональної структури МіЕС модель простору задач у формі підграфа графа задач (набір взаємопов'язаних активованих задач), а також похідний від нього підграф економіко-математичних моделей, що формалізують активовані задачі.

**Положення 3.** *Стратифікаційна метамодель МіЕС (клас промислових підприємств) будується на платформі теорії адаптивного управління системами із застосуванням стратифікаційного підходу до моделювання.*

Процес прийняття рішень спирається на результати моделювання адаптивних реакцій з боку МіЕС у відповідь на певні зміни (реальні або потенційні) внутрішнього і зовнішнього середовища. У цьому процесі рівень інформованості особи, що приймає рішення, та ефективність цих рішень суттєво підвищується за рахунок проведення аналізу найбільш суттєвих аспектів

діяльності МіЕС та моделювання одночасно на різних рівнях її опису або абстрагування.

Це завдання вирішується із застосуванням стратифікаційного підходу до моделювання МіЕС, який передбачає її стратифікацію шляхом виділення п'яти страт у структурі стратифікаційної метамоделі *METAMODEL*<sup>МіЕС</sup>, що забезпечує повноту й адекватність опису релевантними математичними (формальними) мовами найбільш суттєвих властивостей МіЕС та її структурної будови, а саме (рис. 10.6, 10.7):

- *структурно-функціональне представлення* ( $STR_1$ ) характеризує організаційні структури в системі управління МіЕС;
- *процесне представлення* ( $STR_2$ ) описує МіЕС мовою процесного управління;
- *алгоритмічне представлення* ( $STR_3$ ) призначено для декомпозиції актуальної проблеми через ієрархію елементарних управлінських задач і систему відповідних моделей;
- *інформаційне представлення* ( $STR_4$ ) формалізує прямі та зворотні інформаційні потоки, задані на топології параметричного простору стратифікаційної метамоделі МіЕС;
- *семантичне представлення* ( $STR_5$ ) забезпечує системну концептуалізацію процесів вирішення економічних проблем МіЕС.

Виділені страти відносно незалежні між собою. Страти  $STR_1 - STR_4$  відповідають за стратифікаційний опис моделі досліджуваної МіЕС і, по суті, відображають її «внутрішню» стратифікацію. Страта  $STR_5$  за своєю сутністю виступає сполучним містком між системою «внутрішніх» страт  $STR_1 - STR_4$  та зовнішнім оточенням. Вона є семантичним описом комплексної моделі з погляду логіки процесів генерації адекватних реакцій з боку системи управління МіЕС у відповідь на дестабілізуючий вплив з боку зовнішнього оточення, що виявляється у виникненні (реально або потенційно) проблемних для нормального функціонування МіЕС ситуацій.

Інструментом моделювання адаптивної реакції з боку системи управління МіЕС у відповідь на виявлені потенційні або реальні економічні проблеми є побудована стратифікаційна метамодель

*METAMODEL*<sup>МіЕС</sup>, на базі якої реалізується ітеративний процес моделювання механізмів адаптації МіЕС до змін (на рис. 10.6 представлено контуром «Синтез 2»), а саме:

1) синтез цільового модельного комплексу, налаштованого на вирішення проблеми (активація релевантних моделей із бази моделей);

2) системна координація на цільовому модельному комплексі;

3) управління модельними знаннями способом віртуальної (модельної) «реконструкції» системи управління МіЕС, спрямованої на синтез штучної цільової організаційної структури, яка спеціалізована для вирішення проблеми.

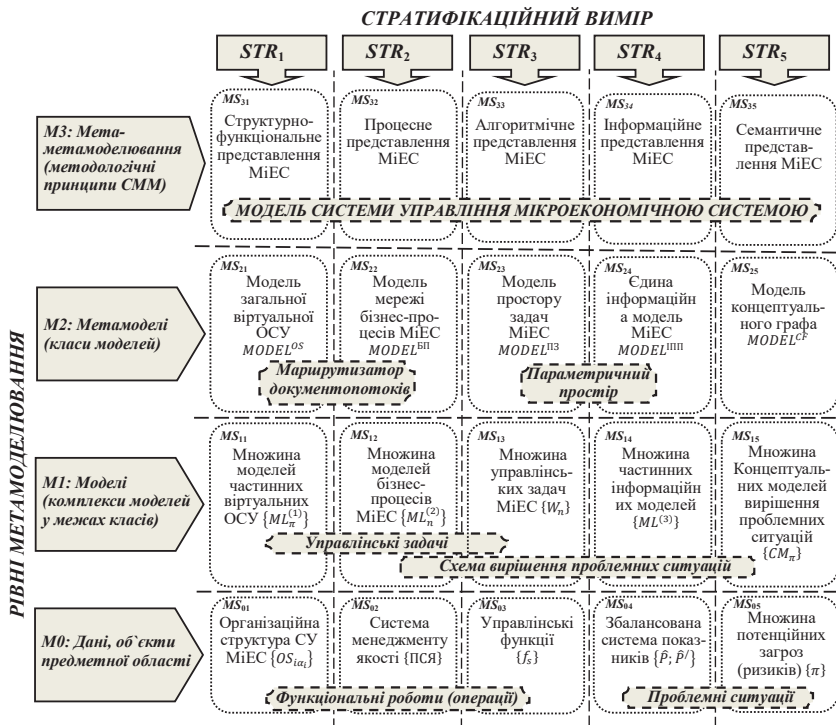
**Положення 4.** Системна координація моделей у межах стратифікаційної метамоделі МіЕС (клас промислових підприємств) реалізується з використанням технології метамодельювання.

Стратифікаційна метамодель МіЕС має п'ятирівневу багатоврівневу структуру (рис. 10.8), побудовану із застосуванням технології метамодельювання. Це дозволяє врахувати особливості ієрархічного моделювання МіЕС при її стратифікації, забезпечити стандартизацію й уніфікацію моделей у межах певних класів, і наділяє стратифікаційну метамодель *METAMODEL*<sup>МіЕС</sup> такими характерними властивостями як модульність, адаптивність, інтеперабельність тощо.

З використанням технології метамодельювання будується система метамodelей МіЕС  $\{MODEL^{OS}, MODEL^{БП}, MODEL^{ПЗ}, MODEL^{ІІІІ}, MODEL^{CF}\}$  для її виділених страт (див. рис. 10.7).

Концептуальна ідея побудови механізмів і моделей міжрівневого та міжстратифікаційного зв'язків між об'єктами стратифікаційної метамоделі реалізована контуром «Аналіз» на рис. 10.6. На основі методологічних принципів стратифікаційного метамодельювання (система аксіологічних принципів  $A_1-A_6$ ,  $B_1-B_5$ ,  $AB_1-AB_9$ ,  $C_1-C_9$ ,  $D_1-D_{10}$ ,  $F_1-F_7$  – табл. 10.3–10.8) та із застосуванням відповідного інструментарію здійснюється координація моделей для різних об'єктів-компонентів і динамічна підтримка (логічна, інформаційна, алгоритмічна) бази моделей з використанням технології

чотирирівневого метамоделювання (рис. 10.8): у межах кожної страти будується ієрархія «зверху-вниз», від метарівня M3, який відповідає за методологічний базис (обґрунтування системних вимог до вибору формальної мови моделювання – елементи  $MS_{31} - MS_{35}$ ), через метарівні M2 (метамоделі страт – елементи  $MS_{21} - MS_{25}$ ) і M1 (система моделей об’єктів-компонентів – елементи  $MS_{11} - MS_{15}$ ), які представляють об’єкти різних рівнів абстракції, до метарівня M0, що описує найнижчий рівень у розрізі ключових аспектів функціонування МіЕС (об’єкти «реального світу» – елементи  $MS_{01} - MS_{05}$ ).



**Рисунок 10.8** – Загальне представлення матриці об’єктів стратифікаційної метамоделі МіЕС (клас промислових підприємств)



Сукупність оцифрованих гетерогенних об'єктів стратифікаційної метамоделі *METAMODEL*<sup>МіЕС</sup> є підґрунтям для створення єдиної цифрової архітектури системи промислового менеджменту, що підтримує механізми структурної адаптації комплексної моделі МіЕС до змін (збурень) для синхронізації результатів роботи структурно-логічних схем, моделей та алгоритмів активації об'єктів-компонентів стратифікаційної метамоделі з метою підвищення адаптивності планування та забезпечення автоматизованої підтримки повного циклу управління ефективністю бізнесу на базі корпоративної АСУ.

## ВИСНОВКИ

*Системні преференції та перспективи застосування методології та інструментарію стратифікаційного метамоделювання діяльності мікроекономічних систем в умовах цифрової трансформації промислового менеджменту.*

Багатоаспектний аналіз перебігу перехресних процесів МіЕС ґрунтується на: концептуалізації окремих ракурсів (страт) та їх модельних представлень (система метамоделей страт); виділенні всередині них гетерогенних об'єктів і встановлення зв'язків між ними для здійснення розподілу асиметричної інформації по стратам; формуванні знань про різні функціональні області МіЕС у структурованій формі та їх системної інтеграції й координації на базі розробленої стратифікаційної метамоделі за рахунок введення єдиної формальної мови опису та побудови на цьому підґрунті відповідної інтерпретації числення предикатів.

Цілісне сприйняття МіЕС формується за рахунок моделювання її окремих функціональних областей крізь призму модельного забезпечення об'єктів-компонентів стратифікаційної метамоделі – комплексної моделі МіЕС, їх динамічних зв'язків і системної синхронізації цілей управління, показників-індикаторів, бізнес-процесів, оргструктури, інформації та відповідних їм ІТ-додатків у межах корпоративної АСУ.

Побудова системи метамodelей страт у межах стратифікаційної метамodelі МіЕС уможливило варіативність структурної об'єктивізації її функціональних областей з залученням відповідних моноконцепцій, розроблених на підґрунті різних теорій управління та методологій моделювання ієрархічних систем, за рахунок їх відокремленого формалізованого опису з застосуванням різноманіття мов моделювання, та забезпечує стандартизацію й уніфікацію modelей у межах певних класів, зокрема комплексної modelі для класу промислових підприємств. При застосуванні стратифікаційного підходу до моделювання МіЕС створюється не єдина надскладна modelь, а декілька умовно незалежних та відносно простіших modelей – система метамodelей страт, які реалізувати математично суттєво простіше.

Розроблені методологія та інструментарій стратифікаційного метамodelювання є підґрунтям новітнього підходу до синтезу цифрової modelі МіЕС щодо узгодженого й збалансованого створення цілісної системи промислового менеджменту на інноваційній платформі Industry 4.0, головною перевагою якої є усунення конфлікту конфігурацій локальних АСУ – рішень для МіЕС у межах єдиної корпоративної АСУ за рахунок створення інтегрованої модельної бази для комплексної modelі діяльності МіЕС.

Перспективою подальшого розвитку методології та інструментарію стратифікаційного метамodelювання систем промислового менеджменту є накопичення та повторне застосування знань при створенні цифрових шаблонів стратифікаційних метамodelей, які є референтними для класів МіЕС за видами економічної діяльності, за рахунок поєднання концептуального й математичного опису бізнес-modelей МіЕС з функціями й даними ІТ та інформаційно-аналітичних систем. Тим самим вирішується проблема модернізації та цифровізації систем промислової автоматизації вітчизняних підприємств, яка сьогодні де-факто представляє собою штучне «натягування» MES/ERP/BPM – системи на існуючий «каркас» організаційно-функціональної структури вітчизняної МіЕС.

Запропонований інструментарій стратифікаційного метамодельювання застосовано при побудові референтної стратифікаційної метамоделі для класу споріднених за видом економічної діяльності «Виробництво електричного устаткування» промислових підприємств, яка пройшла апробацію при вирішенні типової для маркетингової сфери діяльності електротехнічних підприємств проблемної ситуації «Незаплановані негативні зміни ринкових цін на власну продукцію». Суть цієї проблеми полягає в існуванні загрози зриву договірних процесів підприємства з потенційними замовниками через «ціновий конфлікт» на «проблемне» замовлення, коли планова ціна за одиницю виробу перевищує договірну, прийнятну для замовника, ціну, що призводить до зниження показників-індикаторів річного плану розвитку, а в перспективі – до невиконання плану з показників обсягу реалізації продукції та прибутку.

Вирішення цієї проблеми лежить у площині розробки / придбання підприємством власного IT-рішення з розвинутим функціоналом узгодженого моделювання витрат та планування цін на асортиментний ряд портфеля замовлень підприємства. Розроблений на базі побудованої стратифікаційної метамоделі підприємства інструментарій управління витратами (цільовий модельний комплекс; система необхідних і достатніх умов щодо кількісного оцінювання рентабельності портфеля замовлень підприємства; алгоритмічна модель задачі адаптивного ціноутворення; інтерпретація модельних сценаріїв щодо пошуку «цінового компромісу») дозволив вирішити завдання ідентифікації, ситуаційного аналізу загроз цінової дестабілізації портфеля замовлень та обґрунтувати ефективні сценарії протидії їм за рахунок встановлення релевантних цін на асортиментний ряд підприємства [33].

Напрямки подальших досліджень у контексті розвитку методології та інструментарію стратифікаційного метамодельювання мають концентруватись на широкому спектрі економічних та організаційних проблем, що породжуються сучасними викликами цифрової трансформації промислового менеджменту, які

одночасно перетворюються для вітчизняних підприємств у джерело нових можливостей.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Амоша О. І., Нікіфорова В. А. Розвиток металургійної смарт-промисловості: світовий досвід та уроки для України : наук.-аналіт. допов. / НАН України, Ін-т економіки пром-сті. Київ, 2019. 67 с.
2. Бабенко В. О. Управління інноваційними процесами переробних підприємств АПК (математичне моделювання та інформаційні технології) : монографія. Харків : ХНАУ: Мачулин, 2014. 380 с.
3. Буров С. В. Концептуальне моделювання інтелектуальних програмних систем : монографія. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2012. 432 с.
4. Вітлінський В. В., Матвійчук А. В. Зміна парадигми в сучасній теорії економіко-математичного моделювання. *Економіка України*. 2007. № 11. С. 35–43.
5. Структурно-функціональний аналіз та моделювання розвитку економіки : монографія / В. К. Галіцин, О. П. Суслов, О. В. Галіцина, Н. К. Самченко. Київ : КНЕУ, 2013. 377 с. URL: [https://kneu.edu.ua/get\\_file/3195/](https://kneu.edu.ua/get_file/3195/) (дата звернення: 05.06.2023).
6. Глушков В. М. Кибернетика, вычислительная техника, информатика : избр. тр. У 3 т. АН УССР, Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова. Киев : Наук. думка, 1990. Т. 3 : Кибернетика и ее применение в народном хозяйстве. 224 с.
7. Глушевський В. В. Математичне моделювання структурної будови національної економічної системи. *Економіко-математичне моделювання соціально-економічних систем* : зб. наук. пр. Київ : МННЦІТС НАН та МОН України, 2013. № 18. С. 81–102.
8. Глушевський В. В. Стратифікація як спосіб вирішення задачі узгодження в моделях прикладних систем економіко-математичної підтримки прийняття рішень. *Економіко-математичне моделювання* : зб. мат. Першої нац. наук.-метод. конф., м. Київ, 30 вер. – 1 жовт. 2016 р. Київ : КНЕУ, 2016. С. 80–83.
9. Глушевський В. В., Вітлінський В. В. Прогнозування балансу трудових ресурсів промислового підприємства з використанням технології метамоделювання. *Актуальні проблеми прогнозування розвитку економіки України* : монографія / за ред. О. І. Черняка, П. В. Захарченка. Бердянськ : Видавець Ткачук О. В., 2017. С. 35–50.

10. Глушевський В. В. Адаптивні механізми в системах управління підприємствами: методологія і моделі : монографія. Запоріжжя : Видавн. Класич. приват. універ., 2016. 352 с.
11. Глушевський В. В. Розвиток методології моделювання систем адаптивного управління мікроекономічними системами на базі інноваційної платформи Industry 4.0. *Цифрова економіка* : зб. матеріалів Нац. наук.-метод. конф., м. Київ, 4–5 жовт. 2018 р. Київ : КНЕУ, 2018. С. 82–85.
12. Глушевський В. В., Вітлінський В. В. Стратифікаційне метамодельювання в процесах формування систем моделей адаптивного управління підприємством. *Виклики та перспективи розвитку нової економіки на світовому, державному та регіональному рівнях* : матер. XII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 26–27 жовт. 2017 р. Запоріжжя : Вид-во ЗНУ, 2017. С. 340–342.
13. Глушевський В. В., Смородін В. В., Метрик Р. Ю. Методологічні та концептуальні засади інтеграційної парадигми моделювання систем управління підприємствами. *Сучасні тенденції та перспективи формування траєкторії україно-польського співробітництва в умовах євроінтеграції* : монографія / за ред. Н. Метеленко, Г. Макушинської. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. С. 127–155.
14. Гречко Т. К., Чернова Л. С. Системний аналіз і прийняття інноваційних рішень : навч.-метод. посіб. Миколаїв : Видавець Торубара В. В., 2015. 244 с.
15. Гуцало А. В. Економіко-управлінський реінжиніринг бізнес-процесів підприємства : дис. ... канд. екон. наук : 08.00.04 / Київський національний університет будівництва і архітектури. Київ, 2017. 222 с.
16. Зараменських Е. П. Архітектура підприємства. *Stud.com.ua* : web-сайт. URL: [https://stud.com.ua/138719/ekonomika/arhitektura\\_pidpriyemstva](https://stud.com.ua/138719/ekonomika/arhitektura_pidpriyemstva) (дата звернення: 10.06.2023).
17. Іванов М. М. Інформаційно-аналітичні системи в управлінні економічними об'єктами. *Бізнес Інформ*. 2013. № 10. С. 141–145.
18. Іванов С. М. Моделювання інформаційних систем в економіці в епоху Industry 4.0 : монографія. Запоріжжя : Вид. ФОП Мокшанов В. В., 2022. 324 с.
19. Індустрія 4.0 в Україні: Як долати долину смерті в Індустрії 4.0. *АППАУ* : вебсайт. URL: <https://industry4-0-ukraine.com.ua/> (дата звернення: 05.06.2023).
20. Інформаційні управляючі системи та технології : монографія / за заг. ред. докт. екон. наук, проф. С. В. Устенка. Київ : КНЕУ, 2019. 419 с.

21. Князев С. І. Смарт-промисловість: формування базису нового етапу економічного зростання у світі. *Бізнес Інформ*. 2020. № 4. С. 150–162. URL: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-4-150-162> (дата звернення: 05.06.2023).
22. Кононова К. Ю. Інформаційна економіка: моделювання еволюційних процесів : монографія. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2015. 310 с.
23. Лагута Л. Цифрове десятиліття Європи: цифрові цілі на період до 2030 року. *Блог НБУ ім. Я. Мудрого* : офіційний вебсайт. URL: <https://oth.nbu.org.ua/?p=5622> (дата звернення: 02.06.2023).
24. Лазебник Л. Л., Войтенко В. О. Інформаційна інфраструктура в цифровізації бізнес-процесів підприємства. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія «Економіка і менеджмент»*. 2020. Вип. 42. С. 18–22.
25. Mesarovic, D., Takahara, Y. *General Systems Theory: Mathematical Foundations*. Elsevier Science. 1975. 322 p.
26. Мінц О. Ю. Методологія моделювання інноваційних інтелектуальних систем прийняття рішень в економіці : монографія. Маріуполь : ПДТУ, 2017. 214 с.
27. Picka, M. Metamodeling and development of information systems. *Agric. Econ. – Czech*. 2004. V. 50 (2). P. 65–70. URL: <http://agricecon.agriculturejournals.cz/pdfs/age/2004/02/03.pdf> (дата звернення: 02.06.2023).
28. Пономаренко Л. А. Основи економічної кібернетики : підручник. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2002. 432 с.
29. Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018–2020 роки та затвердження плану заходів щодо її реалізації : розпорядження Кабінету Міністрів України від 17.01.2018 р. № 67-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-p#Text> (дата звернення: 05.06.2023).
30. Тимашова Л. А., Листопад О. П. Аналітичне дослідження та підходи до вирішення задач прийняття рішень віртуальних підприємств. *Економіко-математичне моделювання соціально-економічних систем* : зб. наук. праць ММНЦ ІТіС. Київ, 2010. Вип. 19. С. 19–34.
31. Цифровізація економіки України: трансформаційний потенціал : монографія / В. П. Вишневський та ін. ; за ред. В. П. Вишневського та С. І. Князева ; НАН України, Інститут економіки промисловості. Київ : Академперіодика, 2020. 188 с.
32. Gigch, J. P. van. *System Design Modeling and Metamodeling*. New York : Plenum Press, 1991. 453 p.

33. Glushchevsky, V. et all. Marketing Decision Making in the Conditions of Information Uncertainty and Business Risks on the Basis of the Stratification Metamodeling Toolkit. *Advances in Economics, Business and Management Research: SMTESM 2019* / Ed. P. Hryhoruk, N. Khrushch. Atlantis Press, 2019. Vol. 95. P. 302–307. URL: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/smtesm-19/125917667>
34. Industry4Ukraine: платформа промислових хайтек секторів. АППІАУ : вебсайт. URL: <https://www.industry4ukraine.net/> (дата звернення: 05.06.2023).
35. Lapalme, J. et all. Exploring the future of Enterprise Architecture: A Zachman Perspective. *Computers in Industry*. 2016. V. 79. P. 103–113. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361515300166> (дата звернення: 05.06.2023).
36. Vitlinskyi, V., Glushchevsky, V. Consideration of Risk and Safety in Metamodeling System of Stratification. *CEUR Workshop Proceedings*. 2019. № 2422. С. 405–419. URL: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20196508002>