УДК 004.62

О. В. Мазурук[1]

ІЄРАРХІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ЗЕРНОВИХ ЕЛЕВАТОРІВ

[1] Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто архітектуру ієрархічної моделі для управління обладнанням зернових елеваторів. Запропонована модель базується на сучасних підходах до структуризації даних та управління складними технологічними процесами. Модель передбачає створення взаємопов'язаної системи сутностей, що створюють цифровий двійник та описують підприємства елеваторної галузі. Особливу увагу приділено питанням інтеграції із системами дистанційного автоматизованого управління елеватором та можливостям моніторингу ключових показників роботи обладнання в реальному часі, зокрема енергоспоживання.

Ключові слова: зерновий елеватор, ієрархічне моделювання, енергоефективність, автоматизоване управління, IoT, моніторинг обладнання, технологічні процеси, модульна архітектура, системи управління даними.

Abstract

The architecture of a hierarchical model for managing grain elevator equipment is considered. The proposed model is based on modern approaches to data structuring and managing complex technological processes. It involves creating an interconnected system of entities that form a digital twin and describe enterprises in the elevator industry. Special attention is given to the integration with remote automated elevator control systems and the capability to monitor key equipment performance indicators in real time, particularly energy consumption.

Keywords: grain elevator, hierarchical modeling, energy efficiency, automated control, IoT, equipment monitoring, technological processes, modular architecture, data management systems.

Вступ

Невід'ємною частиною сучасного зернового елеватора є наявність складного технологічного процесу. Задля ефективного управління здійснюється впровадження передових систем дистанційного управління. Із зростанням обсягів зернових культур, які зберігаються та обробляються на підприємстві, постала необхідність у розробці масштабованої та гнучкої моделі для управління обладнанням зернових елеваторів, а також кожним із доступних компонентів обладнання, задля забезпечення високої продуктивності та оптимізації використання спожитої електроенергії.

Традиційні підходи до управління елеваторним обладнанням передбачають фрагментарність та відсутність ієрархічної структуризації. Дані підходи призводять до неефективного управління та використання ресурсів, а також значно ускладнює процес модернізації обладнання. Впровадження ієрархічної моделі обладнання дозволяє уникнути даних недоліків [1].

Метою роботи є розробка та апробація ієрархічної моделі обладнання зернових елеваторів, яка інтегрується з системами дистанційного автоматизованого управління та забезпечує комплексний моніторинг параметрів роботи обладнання. Особлива увага приділяється питанням енергоефективності та автоматизації процесів прийняття рішень щодо оптимізації роботи технологічних процесів підприємства.

Результати дослідження

Структура ієрархічної моделі обладнання зернових елеваторів базується на реляційній теорії баз даних з елементами об'єктно-орієнтованого підходу. В основі моделі лежить принцип декомпозиції складної системи на функціонально завершені компоненти з чітко визначеними відношеннями між ними.

Математично модель можна представити як направлений граф:

$$G = (V, E) \tag{1}$$

де V — множина вершин, що відповідають сутностям системи (одиниці та типи обладнання), а E — множина ребер, що відображають відношення між даними сутностями. При цьому для обладнання

(Equipment) визначається відношення "батько-нащадок", що математично формалізується як транзитивне відношення часткового порядку на множині обладнання.

Розроблена ієрархічна модель обладнання зернових елеваторів включає наступні ключові компоненти:

- **Підприємство (Enterprise)** виступає верхнім рівнем ієрархії та об'єднує все обладнання, що функціонує на конкретному елеваторі. Підприємство характеризується набором атрибутів, що описують його організаційні та контактні дані, а також зв'язки з користувачами системи;
- **Типи обладнання (EquipmentType)** формують класифікаційну структуру, яка дозволяє групувати обладнання за функціональним призначенням. Така класифікація спрощує процеси обліку та технічного обслуговування, а також дозволяє проводити порівняльний аналіз енергоефективності обладнання одного типу;
- **Обладнання (Equipment)** представляє конкретні одиниці обладнання елеватора та містить базову інформацію (найменування, серійний номер), технологічні дані (ідентифікатори в системі, фактор навантаження, час роботи) та енергетичні характеристики (номінальна потужність, канали вимірювання, статус перевірки);
- **Системи дистанційного автоматизованого управління елеватором(SCADA)** забезпечують зв'язок між програмною моделлю та фізичним обладнанням, дозволяючи здійснювати віддалений моніторинг та керування процесами;
- **Типи зернових культур (GrainCropsType)** надають інформацію про культури, з якими працює елеватор, що важливо для налаштування режимів роботи обладнання відповідно до специфіки конкретної культури [2].

Ключовою особливістю запропонованої моделі є впровадження ієрархічних відносин між об'єктами обладнання через механізм "батько-нащадок" (parent-child relationship). Це дозволяє моделювати складні технологічні ланцюги, де функціонування одного обладнання залежить від стану іншого. Наприклад, норія може бути "батьківським" обладнанням для приймального бункера, а конвеєр — для сепаратора, що можна більш детально розглянути на рисунку 1.

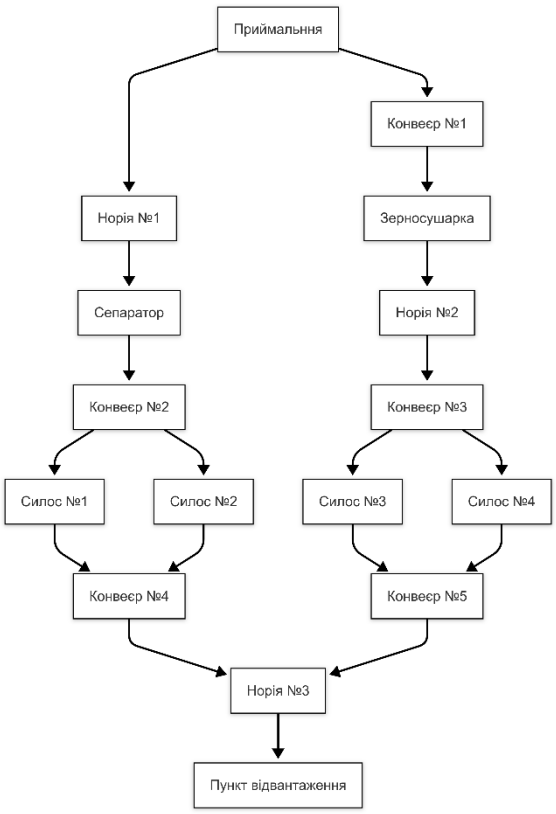


Рисунок 1 - орієнтований граф обладнання зернового елеватору

Запропонована модель забезпечує цілісну програмну реалізацію технологічного комплексу елеватора, що дозволяє оптимізувати процеси та виявляти неефективні елементи у виробничих процесах.

Окрім того, передбачається моніторинг параметрів енергоспоживання для кожного вузла, що сприятиме детальному аналізу енергоефективності обладнання [3]. Модель легко масштабується для додавання нового обладнання та параметрів моніторингу без зміни архітектури. Також передбачена інтеграція із наявними SCADA-системами через механізм ідентифікаторів кожної одиниці обладнання [4].

Також, варто зазначити що впровадження моделі потребує детального аудиту обладнання та налаштування ієрархічних зав’язків на етапі впровадження, що може бути громіздким та довготривалим процесом для елеваторів що мають велику кількість обладнання. Для забезпечення більш якісного моніторингу, на етапі встановлення також варто звернути увагу на інтеграцію мережі IoT-пристроїв, що може потребувати додаткових інвестицій та часу. Якість роботи моделі залежить від точності та повноти вхідних даних, зокрема технічних характеристик обладнання та даних які були отримані в результаті моніторингу. Крім того, для обслуговування та управління системою необхідні кваліфіковані спеціалісти з IT та автоматизації виробництва.

Висновки

Розроблена ієрархічна модель обладнання зернових елеваторів представляє собою комплексний підхід до управління складними технологічними комплексами в галузі зберігання та обробки зерна. Впровадження моделі дозволяє значно підвищити ефективність використання обладнання, знизити енергоспоживання та забезпечити оперативний моніторинг ключових показників роботи елеватора.

Можливість моделювання ієрархічних зв'язків між обладнанням дозволяє відтворити та оптимізувати реальні технологічні процеси. Інтеграція з системами дистанційного автоматизованого управління розширює можливості моніторингу та контролю, забезпечуючи оперативне реагування на зміни у роботі обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. А.В. Жук, «Класифікація технологічних процесів на елеваторах за енергетичними показниками», VIII Всеукраїнська науково-технічна конференція магістрантів і студентів ТДАТУ. Факультет енергетики і комп’ютерних технологій: матеріали VIII Всеукр. наук.-техн. конф., Мелітополь, 2020. С. 64-65

2. О.В. Мазурук, Б.І. Мокін, «Концептуальні засади побудови бази даних механізмів зернових елеваторів», LIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 2024 р.

3. V. B. Mokin, M. V. Dratovany, A.V. Lukhverchyk, «DEVELOPMENT OF INTELLIGENT TECHNOLOGIES FOR ENERGY-SAVING OPTIMIZATION OF GRAIN ELEVATOR OPERATION USING NEURAL NETWORK MODELS AND REINFORCEMENT LEARNING METHODS» in the 5th International scientific and practical conference “Scientific progress: innovations, achievements and prospects” (February 6-8, 2023) MDPC Publishing, Munich, Germany, 2023. 447 p.

4. С. М. Лісовець, В. Г. Здоренко. SCADA-Системи. Практикум. Частина 1 – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 17 с.

Мазурук Олег Володимирович — аспірант кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, e-mail: omazuruk3@gmail.com.

Науковий керівник: ***Мокін Борис Іванович*** — академік НАПН України, д-р техн. наук, професор кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, e-mail: mokin@vntu.edu.ua.

Mazuruk Oleh V. — Post-Graduate Student of the Chair of System Analysis and Information Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: omazuruk3@gmail.com.

Supervisor: ***Mokin Borys I*** — Academician of NAPS of Ukraine, Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of System Analysis and Information Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mokin@vntu.edu.ua.