

Пупена О.М.

<https://orcid.org/0000-0001-9089-8325>

Національний університет харчових технологій

ВИКОРИСТАННЯ AUTOMATIONML В ЖИТТЄВОМУ ЦИКЛІ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЗА УМОВ ОБМЕЖЕНИХ РЕСУРСІВ

У статті розглянуто можливості використання AutomationML (AML) як нейтрального формату обміну інженерними даними між різними інструментами в ЖЦ систем керування. Проаналізовано основні принципи побудови CAEX та AML, що забезпечує формалізований опис структури технічних систем, їх компонентів, атрибутів та взаємозв'язків. Показано, що така модель дозволяє представляти інженерні дані у вигляді єдиної інформаційної структури, придатної для використання різними інженерними інструментами. Розглянуто можливості застосування AML на різних етапах життєвого циклу систем керування, включаючи етапи інженерного проєктування, інтеграції та експлуатації. Окрему увагу приділено питанням підтримки стандарту програмними інструментами. Показано, що завдяки використанню XML-синтаксису моделі AML можуть оброблятися як спеціалізованими інженерними середовищами, так і універсальними програмними засобами, включаючи скриптові інструменти та табличні системи обробки даних. Розглянуто можливості використання спеціалізованих редакторів AML, а також інтеграцію стандарту з інженерними системами проєктування. Описано можливості організації ітераційного обміну інженерними даними між різними інструментами, а також реалізації реверсних потоків інформації. Показано, що хоча стандарт AutomationML створює технічні передумови для таких процесів, практична реалізація ітераційної синхронізації значною мірою залежить від підтримки відповідних механізмів у конкретних інженерних інструментах. За результатами аналізу визначено основні переваги та обмеження використання AutomationML у процесах інженерного проєктування систем автоматизації. Сформульовано напрями подальших досліджень, пов'язані з аналізом існуючих рекомендацій щодо обміну даними між CAE- та PLC-інструментами, дослідженням можливостей представлення моделей AutomationML у табличних інструментах та розробленням прототипів відображення інженерних моделей у середовищах роботи з майстерданими.

Ключові слова: AutomationML, CAEX, AML, обмін інженерними даними, системи керування, CAE-системи, ЖЦ, життєвий цикл системи, цифровий двійник, цифрова нитка.

Постановка проблеми. Досвід розробки систем керування технологічними об'єктами з великою кількістю давачів та виконавчих механізмів показав необхідність інтеграції між різними інструментами, що задіяні в процесах життєвого циклу. Ці проблеми висвітлені у роботі [1], зокрема в частині обміну між засобами проєктування систем керування та інструментами розроблення програмного забезпечення для PLC та SCADA/HMI. Дослідження, результати якого висвітлені в даній статті, є продовженням робіт, описаних в [1].

У роботі [1] висвітлений поточний стан та перспективи розвитку каркасу PACFramework для розроблення ПЗ для PLC та SCADA/HMI. Каркас стандартизує структуру програм та принципи їх розроблення, що у свою чергу дозволяє стандартизувати суміжні процеси в життєвому циклі, зокрема

автоматизація процесів створення ПЗ на основі проєктних даних. Утиліти роботи з проєктними даними (PACFramework Tools) були апробовані на кількох об'єктах. Подальші дослідження привели до формування нової структури, яка показана на рис. 1.

У основі рішення стоїть платформа яка базується на концепції цифрового двійника і включає в себе сервіси для забезпечення цифрової нитки та моніторингу обладнання. Уся проєктна інформація, з якою працює розробник ПЗ зберігається в базі проєктних даних ("майстер даних", Master Data DB), які оновлюються з кількох суміжних інженерних систем. Необхідність синхронізації з різних сторін приводить до ряду проблем:

1. Як технічно забезпечити автоматизований обмін між САПР (CAE) та майстерданими в обидві сторони?



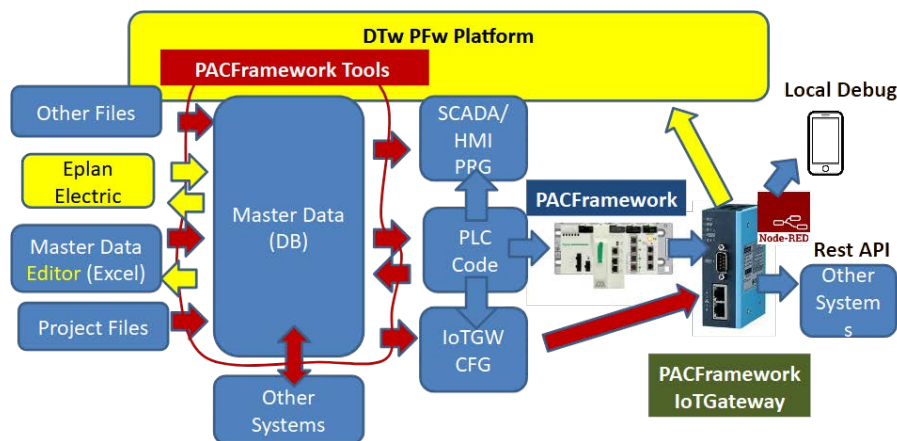


Рис. 1. Інфраструктура модифікованого каркасу PFW2

Джерело – [1]

2. Яка інформація має зберігатися в майстер-даних і в якому вигляді повинна представлятися?

3. Як забезпечити керування версіями?

4. Як технічно забезпечити доступ до майстер-даних як до єдиного джерела правди на всіх стадіях життєвого циклу?

5. Як вирішити все наведене вище за умов постійних змін та реверсної передачі проектних даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Сама концепція описаного вище каркасу та проблем які виникають у ЖЦ систем керування спираються на цифрове представлення системи у вигляді моделей, релевантних до відповідного інженерного процесу, які розвиваються в процесі розвитку самої системи та потребують постійного узгодження з реальною системою. На сьогодні ці задачі вирішуються з використанням концепції, яка відома як цифровий двійник (digital twin) та наскрізними взаємопов'язаними інженерними процесами – цифровою ниткою (Digital Thread). Тому, перш за все, було проаналізовано стан стандартів в області цифрових двійників, як усталених зрілих практик.

У роботі [2] Пупена О.М., Клименко О.М та Полупан В.В. виділили ключові стандарти в області цифрових двійників, з яких принаймні два з них [3] та [4] посилаються на інші добре відомі стандарти. У третій частині стандарту ISO 23247-3 [3] зазначається, що представлення OME (спостережуваний виробничий елемент) може забезпечуватися кількома стандартами, які мають свої особливості та переваги. Розробникам цифрових двійників слід вибирати та комбінувати їх для свого рішення. Серед цих стандар-

тів релевантними до задачі є: ISO 10303 (STEP), ISO 15926-1, ISO 16739-1 (для BIM), IEC 62714 (AutomationML), IEC 63278-1 (AAS). Було проаналізовано призначення та зміст цих стандартів, їх характеристики зведені в таблицю 1.

Найбільш універсальне представлення надають підходи з ISO 15926, інші стандарти спеціалізуються на певній галузі застосування, а IEC 63278 – komponується з кількох стандартів, серед яких ті, що наведені в таблиці 1. Для інженерії автоматизованих систем найбільш релевантним є IEC 62714 (AML). Популярність та практичність AutomationML засвідчується дослідженнями багатьох вчених та практиків, зокрема в роботі [5].

У межах даного дослідження окремої уваги потребувало визначення підтримки формату інженерними інструментами. Проведений аналіз показав, що AML на сьогодні є практично найбільш вживаним стандартом, релевантним до зазначених потреб. Зокрема в [6] показана послідовність обміну даними між інструментами проектування EPLAN, TIA Selection Tool та TIA Portal.

Подальші дослідження сфокусувалися саме на стандарті IEC 62714 і AutomationML. У своїй роботі [7] автори використовують AML на всіх стадіях життєвого циклу як для обміну між різними інструментами так і для збереження моделей. Великою мірою успіх такого використання спирається на засоби керування версіями та візуалізації на всіх етапах життєвого циклу. Серед викликів автори бачать проблему у надмірній гнучкості, що потребує кращої керованості для спрощення інтеграції.

У статті [8] AML застосовується як метамодель для структурованого опису компонентів, їхніх

Характеристики стандартів для інженерного представлення систем.

Стандарт	Галузь застосування	Що моделює	Орієнтація
IEC 62714 (AML)	автоматизація виробництва	структура системи, пристрої, функції, зв'язки	інтеграція інженерних інструментів
ISO 10303 (STEP)	машинобудування	геометрія та структура виробу	CAD/PLM інтеграція
ISO 15926	переробна промисловість	інтеграція даних ЖЦ	міждисциплінарна інтеграція
ISO 16739-1 (IFC)	будівництво (BIM)	будівля та інженерні системи	BIM-проектування
IEC 63278 (AAS)	Industrie 4.0	цифрове представлення активу	цифровий актив

атрибутів та зв'язків, що дозволяє формувати узгоджену інформаційну модель цифрового двійника. Автори показують, що AML може виступати універсальним структурним контейнером для таких даних і основою для їх подальшої передачі через проміжне програмне забезпечення.

У роботі [9] AML використано як структурний каркас реалізований як проміжний шар для п'яти-вимірної моделі цифрового двійника в аерокосмічній сфері. Автори демонструють, як через AML можна формалізувати міждисциплінарні зв'язки в єдиній структурі.

У роботі [10] пропонується використовувати AutomationML у якості цільового нейтрального формату експорту, на якому будується хаб даних із "плинною семантикою". Замість очікування єдиного підтримуваного формату, автори роблять відображення форматів між різними інструментами "на льоту" через єдиний AML.

У статті [11] автори зробили систематичний огляд джерел присвячених обміну даними в Industry 4.0 із використанням рішень на основі AutomationML, B2MML та International Data Spaces і зробили висновок про доцільність їх системного використання в інженерії систем.

У своїй роботі [12,13] автори запропонували та апробували підхід використання AutomationML в якості мови для збереження конфігураційної інформації для мережних пристроїв. Це дозволяє включати класичні описові файли пристроїв (DD-файли) в оболонку AutomationML разом з усією додатковою інформацією, зберігати і переносити їх.

Аналіз літератури показав, що для обміну даними між різними інструментами в життєвому циклі систем керування найбільш підходить AutomationML. Він добре масштабується і на задачі проектування технологічних комплексів та виробництв. Однак автору даної статті не зустрілися роботи, присвячені використанню AML саме в потоці процесів роботи з кодом для PLC та SCADA/HMI. У роботі [6] AML використовується

виключно для обміну апаратною конфігурацією, а потрібно мати інформацію про об'єкти керування, процедури, означення тривог, тощо.

Більшість робіт використовують власні інструменти для контролю та керування даними AML. На практиці ж потрібні загальнодоступні інструменти, принаймні в частині контролю та керування даними, які циркулюють між інструментами.

Постановка завдання. Метою статті є визначення основних концепцій використання AutomationML в контексті життєвого циклу систем керування, за умов обмежених ресурсів, та можливих механізмів застосовності для загальноживаних інструментів проектування. Основні цілі дослідження:

- визначити основні концепції AutomationML
- проаналізувати застосовність AutomationML в життєвому циклі систем керування в частині обміну даними між інструментами проектування та розроблення ПЗ
- проаналізувати ступінь доступності інструментів роботи з AutomationML та інтеграції з іншими інструментами в ЖЦ систем керування
- проаналізувати можливість ітераційної роботи та реверсних потоків
- проаналізувати можливість використання AML в процесі експлуатації системи

Виклад основного матеріалу

Моделі AutomationML та CAEX

Серія стандартів IEC 62714 (AutomationML) [14] означає універсальний формат обміну інженерними даними між програмними засобами в автоматизації промислових систем. Він призначений для обміну даними між різними дисциплінами інженерії. AutomationML базується на іншому форматі – CAEX.

CAEX є метамоделлю для інженерних даних. Система описується за допомогою одного або кількох файлів XML, в якому представлені: об'єкти моделювання, їхні атрибути, ієрархії, інтерфейси, зв'язки, типи та ролі. CAEX версії 3.0 затверджена

в додатку до стандарту ІЕС 62424, який прийнятий в Україні як ДСТУ EN 62424:2022 [5].

Аналіз формату САЕХ в межах дослідження проводиться за текстом стандарту ІЕС 62424 [5] а також аналізом прикладів та білих книг, що доступні на сайті www.automationml.org. При аналізі використовувався підхід порівняння файлів прикладів з викладеними базисами в стандарті.

Хоч стандарт зосереджується на представленні Р&ІД в форматі САЕХ, ця мова є універсальною для моделювання будь-яких об'єктно-орієнтованих представлень даних. Тому він може використовуватись для представлення сутностей у електричних установках, пневматиці, гідравліці, тощо. Мова САЕХ означено лише в додатку до стандарту.

Повна версія результату аналізу, зроблена автором дана в [16], який є у відкритому доступі. Багато корисного матеріалу можна знайти у посібниках по АМЛ [17],[18]. У цій статті представлені тільки найважливіші моменти.

Нижче наведені основні концепції САЕХ на прикладі простого моделювання технологічної установки "ProcessCell1" яка складається з двох ємностей "Tank1" і "Tank2" що зв'язані між собою трубою "Pipe". Задача моделювання – представити в форматі САЕХ властивості установки, її входи/виходи, включені компоненти та їх зв'язки. У загальному технологічну схему можна показати як на рис.2 (вгорі).

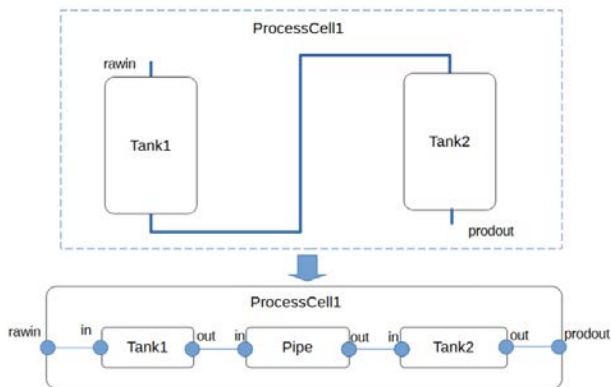


Рис. 2. Приклад модельованої установки (вгорі) і її параметричного представлення (знизу)

У САЕХ модель представляється у вигляді "ієрархії екземплярів" (InstanceHierarchy), який є кореневим елементом для системної ієрархії об'єктних екземплярів. Екземпляри можуть мати зв'язки з бібліотечними САЕХ елементами. На рис.3 показана модель в редакторі AutomationML editor, на якому видно кореневий елемент "Production", який представляє окремий ієрархічний об'єкт. Той у свою чергу включає

в себе об'єкти, які в САЕХ представляються як "внутрішні елементи" (InternalElement). Можна вважати що внутрішній елемент представляє компонент структури об'єкта і може включати інші внутрішні елементи, представляючи таким чином композицію (ієрархію вкладеності) об'єктів.

У наведеному вище прикладі установку можна промодельовати як 4-ри внутрішні елементи : "ProcessCell1" – як вкладений в "Production", і три включені в нього: "Tank1" , "Tank2" і "Pipe" (див. рис.3). Необхідність моделювання "Pipe" як окремого об'єкту можна бути пов'язана, наприклад, з описом властивостей трубопроводу, що поєднує ємності. Так чи інакше перелік об'єктів, в яких є потреба в моделюванні, диктується призначенням моделі.

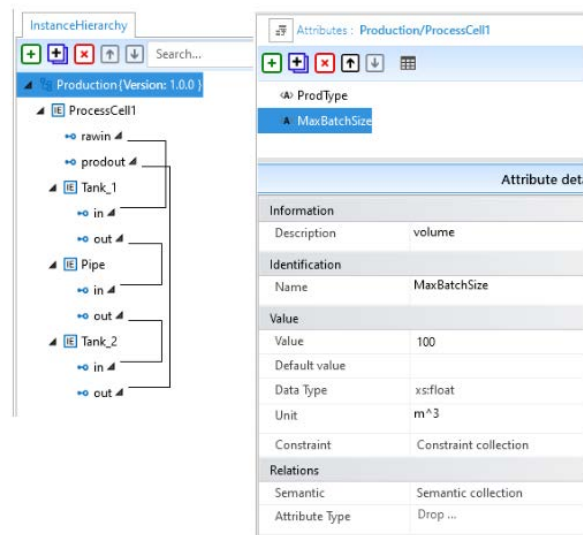


Рис. 3. Відображення ієрархії екземплярів (ліворуч) та атрибутів (Attributes)

Для того, щоб змодельовати поєднання компонентів між собою, в САЕХ передбачений тип "зовнішній інтерфейс" (ExternalInterface), який описує можливість підключення до інших компонентів та внутрішні зв'язки ("InternalLinks"), які з'єднують компоненти між собою.

Крім самої ієрархії об'єктів та зв'язків між ними модель може містити їх властивості. Для установки "ProcessCell1" це може бути максимальний розмір партії, тип продукту, тощо, для ємностей – об'єм, тип матеріалу, тощо. В САЕХ властивості об'єктів моделюються за допомогою атрибутів (Attributes).

Внутрішні елементи становлять ядро об'єктної моделі та містять усі об'єкти даних, включно з властивостями, інтерфейсами, зв'язками та посиланнями (рис. 4).

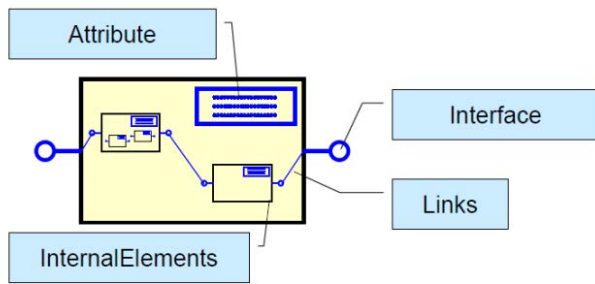


Рис. 4. Архітектура "InternalElement" та "SystemUnitClass" (Рисунок взятий зі стандарту IEC 62424 Ed.2)

CAEX підтримує можливість формувати кілька ієрархій екземплярів, що може бути корисно наприклад для представлення однієї і тієї установки в різних проєкціях (функційної, продуктної або просторового розміщення), чи окремих ієрархій (механічна, електрична структура), тощо.

CAEX надає можливість використовувати класи: SystemUnitClass – для прототипування технічних об'єктів; RoleClass – для семантичної класифікації об'єктів; InterfaceClass – для опису типізованих точок взаємодії об'єктів; AttributeType – для опису та обмеження атрибутів. Класи об'єднуються у бібліотеки, які можуть бути деталізовані за допомогою зв'язків усередині бібліотек, наприклад через наслідування або агрегацію. Між класом та його екземплярами встановлюється відповідне відношення "клас-екземпляр". Крім цього CAEX підтримує наслідування між двома класами, яка передбачає успадкування нащадком всього змісту батьківського класу. Класи ролей слугують для призначенні об'єктам певної ролі, тобто надання функціонального змісту для об'єктів і ієрархії екземплярів.

CAEX явно підтримує доступ до зовнішніх файлів за допомогою елемента "ExternalReference". Це дає можливість не обмежуватися одним файлом, і постачати комплексні моделі.

Не дивлячись на те, що CAEX досить простий і зрозумілий формат, він надає досить потужний механізм моделювання складних систем через класи, прототипи, складні властивості, зв'язки з сутностями в інших файлах. Тим не менше, пошук практичних кейсів використання CAEX саме в контексті області застосування IEC 62424 у відкритих джерелах так і не вдалося знайти.

На відміну від CAEX, AutomationML (AML), який базується на ньому, достатньо потужно висвітлений в багатьох матеріалах і має широкий спектр застосувань. Оскільки AML базується на CAEX, все наведене вище стосується і моделей AML.

Для аналізу AML використовувався текст стандарту IEC 62714[14], білі книги та матеріали, що є у відкритому доступі на сайті AutomationML, у тому числі самі файли прикладів.

AML поєднує наявні галузеві формати даних, розроблені для зберігання та обміну різними видами інженерної інформації. Ці формати використовуються у своїх початкових специфікаціях без модифікації під потреби AML. CAEX тут використовується в якості метамоделі для зв'язування різних форматів даних, що дає можливість робити розподілену архітектуру документів. Серія стандартів IEC 62714 складається з кількох частин, кожна з яких описує окремий аспект інженерних даних.

Основною структурою даних для інженерної інформації про якийсь промислових об'єкт є його топологія, яка моделюється за допомогою формату CAEX. Дані про геометрію та кінематику зберігаються у форматі COLLADA™ (ISO/PAS 17506), а логічна інформація для ПЛК зберігається у форматі PLCopen XML. Стандарт передбачає можливість розширення та додавання будь яких інших форматів як зовнішніх ресурсів.

Окрім посилань на COLLADA та PLCopen XML в плані представлення електричних даних, документ AML повинен містити клас ролей "AutomationMLBaseRole", який є базовим абстрактним типом ролі та батьківським класом для всіх стандартних або користувацьких класів ролей. У залежності від версії класу, він містить різноманітні ролі. У ньому міститься роль "ExternalData" та клас інтерфейсу "ExternalDataConnector", який є базовим абстрактним типом інтерфейсу та повинен використовуватися для опису інтерфейсів-з'єднувачів, що посилаються на зовнішні документи.

Крім того вводиться базовий інтерфейс "AutomationMLBaseInterface" як уніфікована точка семантичного зв'язування інженерних об'єктів. Крім бібліотек, AutomationML означає правила використання ролей, інтерфейсів, ідентифікаторів, посилань між документами та організації розподілених моделей.

Бібліотеки включають з десяток класів ролей і з десяток класів інтерфейсів, що мають відношення до певної предметної області моделювання. Аналіз білих книг, що доступні на сайті показав, що AML варто сприймати як набір практик, тому навіть класи з бібліотеки, описані в стандарті не є обов'язковими для застосування. Варто заздалегідь звертати увагу на узгодженість бібліотек між інструментами при інтеграції.

Застосовність AutomationML в життєвому циклі систем керування

Наведений вище аналіз показав, що AutomationML може застосовуватися на різних етапах життєвого циклу систем керування, оскільки його модель даних призначена для представлення структури технічних систем, їхніх компонентів, атрибутів і зв'язків у нейтральному форматі. Це робить можливим використання AML як універсального контейнера для обміну інженерними даними між системами проектування, моделювання та конфігурації систем автоматизації.

На ранніх етапах у моделі може фіксуватися склад обладнання, функціональні елементи системи та їхні інтерфейси, що створює основу для подальшої деталізації інженерної моделі. На етапі детального проектування стандарт може використовуватися для передачі структурних даних між різними інженерними інструментами, зокрема між системами електротехнічного проектування, програмування контролерів та іншими CAE-системами.

У подальших етапах життєвого циклу AML може застосовуватися для інтеграції моделей під час моделювання, тестування та віртуальної пусконаладки систем автоматизації.

Отже AutomationML застосовний на всіх стадіях життєвого циклу системи керування і може виступати одним із елементів реалізації цифрової нитки в інженерних процесах.

Варто окремо виділити, що AML дозволяє розширяти модель необхідними зовнішніми файлами, що робить його дуже гнучким не тільки при передачі даних між інструментами, але і для збереження майстерданих для цифрового двійника.

Підтримка AutomationML інструментами

AutomationML базується на синтаксисі XML, що робить його відкритим для обробки стандартними програмними засобами. Завдяки цьому моделі AML можуть створюватися, аналізуватися та змінюватися за допомогою власних скриптів або програм, які використовують стандартні бібліотеки роботи з XML. Такий підхід дозволяє автоматизувати перетворення моделей, виконувати перевірку структури даних або генерувати фрагменти моделі на основі зовнішніх джерел інформації.

Крім використання загальних засобів роботи з XML, для AutomationML існують спеціалізовані інструменти, зокрема AML Editor та інші утиліти, призначені для перегляду, редагування та перевірки моделей. Такі інструменти дозволяють працювати з ієрархічною структурою CAEX, переві-

ряти коректність використання бібліотек класів, інтерфейсів та атрибутів, а також виконувати валідацію моделі відповідно до схем стандарту. Це спрощує розроблення та аналіз моделей AML без необхідності безпосередньої роботи з XML-кодом.

Окремим напрямом підтримки AutomationML є інтеграція з інженерними інструментами проектування. У межах цієї роботи повний огляд таких інструментів не проводився. Основна увага була зосереджена на підтримці AutomationML у середовищі Eplan, оскільки він використовується в поточних інженерних проєктах.

Водночас відкритість XML-формату дозволяє використовувати AutomationML і в більш простих інструментах обробки даних. Зокрема, дані AML можуть бути перетворені у табличне представлення та оброблятися в електронних таблицях, таких як Google Sheets. Використання таких інструментів має низький поріг входу, підтримує спільну роботу декількох користувачів і забезпечує зручні засоби візуалізації та аналізу даних. Це дозволяє залучати до роботи з інженерними даними ширше коло учасників проєкту та використовувати AutomationML як джерело структурованої інформації навіть поза спеціалізованими інженерними середовищами.

Наявність як універсальних засобів роботи з XML, так і спеціалізованих інструментів та функцій інтеграції в CAE-системах суттєво спрощує практичне використання AutomationML у процесах інженерного проектування.

Можливість ітераційної роботи та реверсних потоків

AutomationML орієнтований на використання у ітераційних інженерних процесах, де модель системи багаторазово змінюється та передається між різними інструментами. Завдяки XML-представленню та об'єктній структурі CAEX модель містить ідентифіковані елементи, їхні атрибути, інтерфейси та зв'язки, що дозволяє відстежувати зміни та працювати з різними версіями моделі. Стандарт допускає використання атрибутів версій та метаданих, а також структуроване порівняння моделей на рівні елементів CAEX, що створює передумови для використання зовнішніх систем керування версіями або спеціалізованих інструментів для аналізу змін, наприклад git.

Практичну ітераційну роботу між інженерними інструментами детально розглянуто в рекомендаціях AutomationML Application Recommendation Automation Project Configuration (AR APC) [19]. У цьому документі описано типовий сценарій

обміну даними конфігурації автоматизаційного проекту між ECAD-системами та інструментами програмування PLC. Рекомендації AR APC також передбачають двонаправлену організацію інженерного процесу.

Важливим аспектом такого підходу є можливість реверсного потоку даних. Під час налагодження або уточнення конфігурації системи керування зміни, виконані в одному інструменті, можуть бути повернуті назад у вихідну інженерну модель. Сам стандарт AutomationML не означає повного механізму синхронізації змін між різними системами, проте його структурна модель та можливість двонаправленого обміну створюють технічні передумови для реалізації таких сценаріїв. Практичну підтримку таких процесів реалізують окремі інженерні інструменти, зокрема Eplan, який підтримує як експорт, так і імпорт даних AutomationML, що дозволяє інтегрувати зміни, виконані в інших середовищах, назад у проєкт ECAD.

Використання AML в процесі експлуатації

AutomationML може використовуватися не лише на етапах інженерного проектування, але і під час експлуатації систем керування. Така модель може містити дані про конфігурацію обладнання, топологію системи керування, взаємозв'язки сигналів і функціональних елементів.

Під час експлуатації ця інформація може використовуватися для підтримки технічного обслуговування, модернізації системи або інтеграції з іншими інформаційними системами підприємства. Зокрема, AML-модель може застосовуватися для передачі структурних даних до систем моніторингу, систем керування активами або до систем цифрових двійників. У таких випадках AML виступає як структурований опис системи, який дозволяє пов'язати фізичне обладнання з його інформаційним представленням.

Крім того, використання AutomationML у процесі експлуатації дозволяє зберігати узгодженість між інженерною документацією та фактичним станом системи. У разі внесення змін під час модернізації або налагодження конфігурації обладнання оновлені дані можуть бути повторно інтегровані до інженерної моделі.

Висновки. Аналіз стандарту показує, що завдяки використанню моделі CAEX та XML-представлення даних AutomationML дозволяє формалізовано описувати структуру технічних систем, їх компоненти, атрибути та взаємозв'язки. Це створює основу для інтеграції інженерних даних між різними середовищами проектування та підтримує безперервність інформації протягом життєвого циклу системи керування.

Важливою перевагою стандарту є його відкритість і технологічна сумісність із широким спектром програмних інструментів. XML-основа дозволяє обробляти AML-моделі як спеціалізованими інженерними інструментами, так і універсальними програмними засобами, включно зі скриптовими рішеннями та табличними інструментами обробки даних. Наявність спеціалізованих редакторів і підтримки імпорту та експорту в окремих CAE-системах, зокрема в Eplan, створює практичні передумови для використання AutomationML у процесах інженерного проектування та інтеграції систем автоматизації.

Разом з тим проведений аналіз показує наявність низки проблем, що ускладнюють широке впровадження стандарту. Однією з основних є обмежена підтримка AutomationML у інженерних інструментах, а також різний рівень реалізації функцій імпорту та експорту в різних програмних середовищах. Крім того, стандарт не означає повністю формалізованих механізмів керування версіями моделей та синхронізації змін між інструментами, що ускладнює організацію ітераційних інженерних процесів і реалізацію реверсних потоків даних. У практичних проєктах ці задачі часто вирішуються на рівні конкретних інструментів або додаткових програмних рішень.

Проведене дослідження було зосереджене переважно на аналізі самого стандарту AutomationML та можливостей його використання у процесах інженерного проектування систем керування. Подальші дослідження доцільно спрямувати на аналіз підтримки AutomationML у різних інженерних середовищах, а також на розроблення методів організації ітераційного обміну інженерними даними та інтеграції стандарту з іншими моделями цифрового представлення систем.

Список літератури:

1. Pupena O. PacFramework: Technological Solutions for PLC/PAC Programming—A Technical Report on Architecture, Principles, and Practical Implementation. Preprints, 2025. URL: <https://doi.org/10.20944/preprints202507.1180.v1>
2. Пупена О. М., Клименко В. В., Полупан В. В. Систематизація ключових стандартів для цифрових двійників у промисловому виробництві. Наукові вісті КПІ. 2025. № 3. С. 60–73. DOI: <https://doi.org/10.20535/kpissn.2025.3.337306>

3. ISO 23247-3:2021 Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 3: Digital representation of manufacturing elements. Geneva: ISO, 2021.
4. IEC 63278-1:2023 Asset Administration Shell for industrial applications – Part 1: Asset Administration Shell structure. Geneva: IEC, 2023.
5. Zhao J., Schamp M., Hoedt S., Aghezzaf E.-H., Cottyn J. AutomationML in Industry 4.0 Environment: A Systematic Literature Review. In: Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing. SOHOMA 2020. Lecture Notes in Computer Science. 2021. Vol. 12732. P. 162–169. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-62962-8_19
6. Siemens AG. Which EPLAN Data is Required for AML Data Exchange? Entry ID 109766653. Version 1.0. Siemens Industry Online Support, 2019. URL: [https://support.industry.siemens.com/cs/document/109766653/which-eplan-data-is-required-for-aml-data-exchange-with-step-7-\(tia-portal\)-?dti=0&lc=en-AO](https://support.industry.siemens.com/cs/document/109766653/which-eplan-data-is-required-for-aml-data-exchange-with-step-7-(tia-portal)-?dti=0&lc=en-AO) (дата звернення: 24.02.2026).
7. Breckle T., Kiesel M., Kiefer J., Beisheim N. The evolving digital factory – new chances for a consistent information flow. Procedia CIRP. 2019. Vol. 79. P. 251–256. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.059>
8. Schroeder G., Steinmetz C., Pereira C., Espindola D. Digital Twin Data Modeling with AutomationML and a Communication Methodology for Data Exchange. IFAC-PapersOnLine. 2016. Vol. 49, No. 30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.115>
9. Peng G., Zhong H. Data Exchange of Digital Twins Based on AML in Space Science Experiment Equipment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 816. Article 012021. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/816/1/012021>
10. Bigvand P., Fay A., Drath R., Carrion P. Concept and development of a semantic based data hub between process design and automation system engineering tools. Proceedings of the IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/ETFA.2016.7733734>
11. Czvetko T., Abonyi J. Data sharing in Industry 4.0 – AutomationML, B2MML and International Data Spaces-based solutions. Journal of Industrial Information Integration. 2023. Vol. 33. Article 100438. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2023.100438>
12. Drath R., Rentschler M. Modeling and exchange of IO-Link configurations with AutomationML. Proceedings of the IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE). 2018. P. 1530–1535. DOI: <https://doi.org/10.1109/COASE.2018.8560422>
13. Drath R., Rentschler M., Hoch M., Mueller M. Vendor-independent modeling and exchange of Fieldbus topologies with AutomationML. Proceedings of the IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/ETFA.2018.8502630>
14. ДСТУ EN IEC 62714-1:2022 Формат обміну інженерними даними для використання в системі промислової автоматизації. Мова розмітки автоматизації. Частина 1. Архітектура та загальні вимоги (EN IEC 62714-1:2018, IDT; IEC 62714-1:2018, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022.
15. ДСТУ EN 62424:2022 Автоматичне управління технологічним процесом. Запити в діаграмах P&I та обмін даними між інструментальними засобами P&ID та PCE-CAE (EN 62424:2016, IDT; IEC 62424:2016, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022.
16. Пупена О. CAEX – Computer Aided Engineering eXchange. Народний посібник «Автоматизація технологічних процесів та виробництв». GitHub. URL: https://github.com/asu-in-ua/atpv/blob/main/exportfmt/aml_caex/caex.md (дата звернення: 24.02.2026).
17. Drath R. (Ed.). AutomationML: A Practical Guide. Berlin: De Gruyter, 2021. ISBN 978-3-11-074622-8.
18. Drath R. (Ed.). AutomationML: The Industrial Cookbook. Berlin: De Gruyter, 2021. ISBN 978-3-11-074592-4.
19. AutomationML Association. AutomationML Application Recommendation – Automation Project Configuration (AR APC), Version 1.4. URL: <https://www.automationml.org/news/new-version-of-the-ar-apc-is-now-available/> (дата звернення: 24.02.2026).

Pupena O.M. USE OF AUTOMATIONML IN THE LIFECYCLE OF CONTROL SYSTEMS UNDER LIMITED RESOURCES

The article considers the possibilities of using AutomationML (AML) as a neutral format for exchanging engineering data between different tools in the lifecycle of control systems. The main principles of CAEX and AML are analyzed, which provide a formalized description of the structure of technical systems, their components, attributes, and relationships. It is shown that such a model allows engineering data to be represented as a unified information structure suitable for use by different engineering tools. The possibilities of applying AML at different stages of the lifecycle of control systems are considered, including engineering design, integration, and operation. Particular attention is paid to the support of the standard by software

tools. It is shown that due to the use of XML syntax, AML models can be processed both by specialized engineering environments and by general-purpose software tools, including scripting tools and spreadsheet-based data processing systems. The possibilities of using specialized AML editors as well as the integration of the standard with engineering design systems are also discussed. The article describes the possibilities of organizing iterative exchange of engineering data between different tools as well as implementing reverse information flows. It is shown that although the AutomationML standard creates technical prerequisites for such processes, the practical implementation of iterative synchronization largely depends on the support of corresponding mechanisms in specific engineering tools. Based on the analysis, the main advantages and limitations of using AutomationML in engineering design processes of automation systems are identified. Directions for further research are formulated, including the analysis of existing recommendations for data exchange between CAE and PLC tools, investigation of possibilities for representing AutomationML models in spreadsheet tools, and the development of prototype mappings of engineering models into environments used for master data management.

Keywords: AutomationML, CAEX, AML, engineering data exchange, control systems, CAE systems, lifecycle, system lifecycle, digital twin, digital thread.

Дата першого надходження статті до видання: 05.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 02.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті 11.05.2026