

Обзор на интелигентни референтни рамки, архитектури и модели в системите за енергиен мениджмънт

П. Кесова, И. Бачкова

Overview of Intelligent Reference Frameworks, Architectures and Models in Energy Management Systems

P. Kesova, I. Bachkova

Department of Industrial Automation, University of Chemical Technology and Metallurgy, 8 Kliment Ohridski Blvd., 1756 Sofia, Bulgaria, p.krasimirova@gmail.com, idilia@uctm.edu

Key Words: Energy Management Systems; Reference Architectures; Reference Frameworks; Conceptual Models; Semantic Interoperability; Unified Information Models; Industry 4.0; ISO 50001; SGAM; IIRA; OPC UA; IEC 62264.

Abstract. Achieving the objectives of the Industry 4.0 initiative, particularly in relation to the implementation of Energy Management Systems (EnMS) in industry, depends on the structured adoption of reference frameworks, architectures, and models capable of ensuring interoperability, scalability, and continuous enhancement of energy efficiency. In recent years, concepts such as reference frameworks and architectures, conceptual models, ontologies, meta-models, and unified information models have become increasingly prominent in the development and deployment of Energy Management Systems (EnMS). Nevertheless, their simultaneous application frequently results in conceptual uncertainty and overlapping interpretations. The growing use of these concepts requires a clear understanding of their meaning, scope, and interrelationships. This paper presents an overview of intelligent reference frameworks, architectures, and models applied in the development and implementation of industrial energy management systems. The relationships between models, reference frameworks, and architectures are analyzed, with a particular emphasis on clarifying the conceptual distinctions between conceptual models, reference models, meta-models, and meta-meta-models. Building on this analysis, the paper reviews several widely recognized standards and architectural frameworks, including ISO 50001, the Smart Grid Architecture Model (SGAM), the Industrial Internet Reference Architecture (IIRA), OPC Unified Architecture (OPC UA), and the IEC 62264 standard for enterprise control system integration. The paper highlights the contribution of reference architectures to the systematic structuring of complex energy management solutions, and emphasizes the essential role of unified information models in enabling semantic interoperability across heterogeneous systems. The practical relevance, advantages, and constraints of the examined frameworks are evaluated with respect to industrial energy management, real-time monitoring, data-driven optimization, and their integration within intelligent manufacturing environments. The study concludes that reference frameworks and architectures

should be viewed as complementary layers of a unified knowledge system: frameworks provide methodological context, architectures define structural organization, models describe functional behavior, and unified information models ensure consistent data representation and exchange. This integrated approach is identified as a key enabler for the development of intelligent, adaptive, and sustainable energy management systems, supporting the transition toward Industry 5.0 and human-centric, energy-efficient industrial environments.

1. Въведение

Референтните рамки, архитектури и модели предоставят структурирани подходи за проектиране и внедряване на ефективни индустриални системи за енергиен мениджмънт, осигурявайки оперативна съвместимост, мащабируемост и непрекъснато подобряване на енергийната ефективност. Тенденциите в развитието на системите за енергиен мениджмънт са насочени към включване на иновациите в областта на интернет на нещата (IoT), технологиите за изкуствен интелект (AI) и машинно обучение (ML). Тези технологични скокове обещава да въведат нова ера на усъвършенствани възможности за анализ и автоматизация, проправяйки пътя към по-интелигентни, адаптивни и ефективни методологии за енергиен мениджмънт.

Цел на тази статия е да обобщи знанията в областта на съществуващите референтни рамки, архитектури и модели, използвани в процеса на разработка и приложение на системите за енергиен мениджмънт. След въведението, в раздел 2 е представен анализ на понятията референтни рамки, архитектури и модели и връзката между тях. В част 3 са представени накратко едни от най-подходящите за използване в областта на системите за енергиен мениджмънт референтни рамки, архитекту-

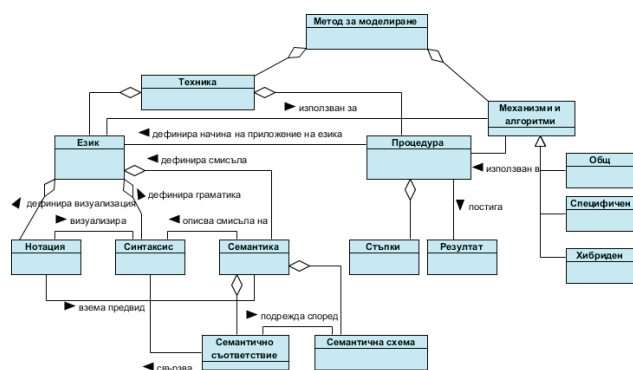
ри и модели. Част 4 представя някои изводи относно приложимостта на анализирани референтни рамки, архитектури и унифицирани информационни модели.

2. Анализ на понятията модели, референтни рамки и архитектури

2.1. Модели и методи за моделиране

Понятието *модел* се дефинира най-общо като абстракция на част от реалния свят за определени цели, която се изразява чрез език за моделиране. Разнообразието от модели се обуславя освен чрез разнообразието в реалния свят и разнообразието от моделирани аспекти, така също и от множеството предлагани методи за моделиране. Една от най-важните дейности при създаването на модели е изборът на метод за моделиране. На *фиг. 1* е представен метамодел на метода за моделиране, според който всеки метод за моделиране включва език за моделиране и процедури, а също така и механизми и алгоритми.

Езикът за моделиране включва елементи, посредством които може да се опише моделът. За целта всеки един език е дефиниран посредством синтаксис, семантика и нотации. Синтаксисът описва елементите и правилата за създаване на модели и се описва чрез граматика, като съществуват два основни подхода за дефиниране на синтаксис: графични граматик и метамодели. Абстрактният синтаксис се състои само от структури, за разлика от конкретния синтаксис, който включва информация за конкретното представяне или кодиране. И именно абстрактният синтаксис се свързва с понятието концептуализация, която е абстрактен, опростен поглед върху избрана част от света чрез обекти, понятия и други същности и връзките между тях, свързани с определена цел и наличието на ограничения. За разлика от концептуализацията, абстракцията се отнася до скриване на маловажни подробности с цел да се акцентира върху основните характеристики.



Фиг. 1. Метамодел на метод за моделиране

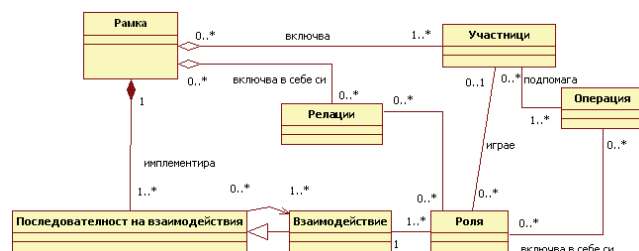
Концептуализацията води до създаване на концептуален модел, който е препоръчителен модел, представящ съвкупност от същности (артефакти) чрез набор от

понятия, връзките между тях и ограничения при предположение за *затворена среда*. Затворената среда е понятие на формалната логика, което предполага, че това, което в момента не е известно да е истина, е невярно. Метамоделът е концептуален модел на езика за моделиране. Езикът за моделиране е добре разбираем език (невинаги формален), който описва понятията на част от реалността и техните връзки. Мета-метамоделът е модел на езика за метамоделиране, който може да се използва за изразяване на метамодели. Моделът на езика за моделиране на мета-метамодели се изразява чрез самия себе си. Мета-метамоделът е концептуален модел на езика за метамоделиране. Важно е да се направи разграничение между мета- и мета-метамоделите, от една страна, и т. нар. референтни модели, от друга.

Референтните модели са общовалидни концептуални модели, които формализират препоръчителната практика в определена област. Основна задача на референтните модели е да ускорят (рационализират) проектирането на различни по вид модели посредством общо решение. Използването на референтни модели се мотивира от парадигмата за проектиране чрез многократно използване. Референтните модели ускоряват процеса на моделиране посредством създаването на склад от модели за важни процеси и структури. Когато се сравняват модели на едно и също ниво за връзка между моделите може да бъде използван референтен модел, към който могат да бъдат съпоставяни (mapped) различни модели от същото ниво.

2.2. Референтни рамки и архитектури

Термините *референтна рамка* и *референтна архитектура* са дефинирани официално в стандарта ISO/IEC/IEEE 42010:2011 и актуализираната му версия ISO/IEC/IEEE 42010:2022 [2]. Рамката се разглежда като логическа структура за класификация и организиране на сложна информация. Референтната рамка или още наричана архитектурна рамка, е съвкупност от предварително дефинирани гледни точки, интереси, основни заинтересовани лица и правила за съответствие на гледните точки, които са установени, за да уловят обичайната практика за описание на архитектурата в определени области или потребителски общности [3]. Метамоделът на референтна рамка е представен на *фиг. 2*.



Фиг. 2. Метамодел на референтна рамка

Стандартът ISO/IEC/IEEE 42010:2022, отнасящ се до препоръчителната практика за описание на архитектурата на интензивни по отношение на софтуера системи, дефинира архитектурата като фундаментална организация на системата, състояща се от компоненти, релациите между тях и към средата, която ги заобикаля, както и принципите, които са в основата на тяхното проектиране и разработка. Основен елемент на концептуалната рамка на една архитектура съгласно стандарта е изгледът (view), който се дефинира като описание на дадена система от перспективата на множество от свързани понятия. Като такъв изгледът се състои от един или повече модели. Референтната архитектура е стандартизирана, обща архитектура, описваща всички системи в конкретна област, базира се на ограничения в референтните изисквания, специфицира синтаксиса и семантиката на компонентите от високо ниво. Тя е многократно използвана, разширяема и конфигурируема, представлява основата за създаване на частични (многократно използвани) и специфични архитектури и модели. Елементите на референтната архитектура са: модел (топология), конфигурация, схема на архитектурата, диаграма на зависимостите, описание на интерфейсите между компонентите, ограничения. Референтните архитектури са интелектуални парадигми, които подпомагат анализа, правилната дискусия и спецификация на дадена област. Референтните архитектури са два основни типа. Архитектурата от тип 1 представлява явно описание или модел на физическата организация или структура на системата. Архитектурата от тип 2 описва или моделира стъпките на процеса на разработка на интегрираните системи на предприятието.

3. Референтни рамки и архитектури в системите за енергиен мениджмънт

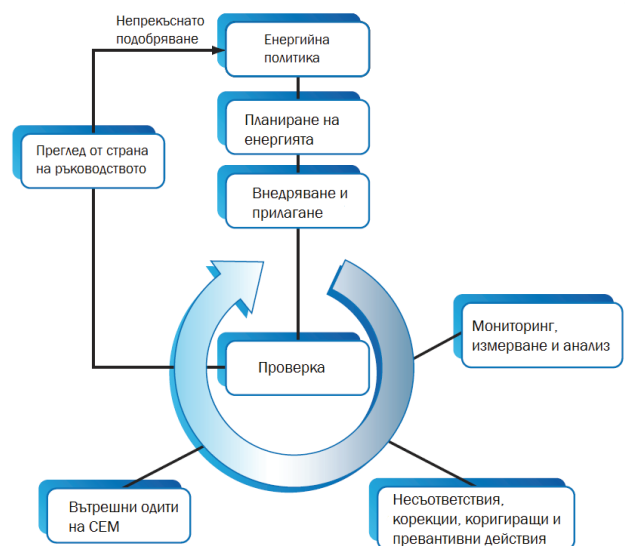
Референтните архитектури за индустриалните системи за енергиен мениджмънт (IEnMS) предоставят структурирани рамки и най-добри практики за проектиране, внедряване и управление на решения за енергиен мениджмънт в индустриални условия. Тези архитектури имат за цел да оптимизират потреблението на енергия, да подобрят ефективността и да намалят разходите за производството на единица продукция. В областта на системите за енергиен мениджмънт приложение са намерили следните по-известни референтни рамки, архитектури и унифицирани информационни модели.

3.1. Рамка, базирана на стандарта ISO 50001

ISO 50001 [4] предоставя рамка за създаване, прилагане, поддръжка и подобряване на системите за енергиен мениджмънт. Тя има за цел да подпомогне организацията в стремежа им към непрекъснато подобряване на енергийна ефективност, включително енергий-

на ефективност, използване и потребление. Ключовите компоненти на рамката са: (1) Разработване на енергийна политика; (2) Енергийно планиране; (3) Внедряване и експлоатация; (4) Оценка на изпълнението; (5) Преглед на ръководството.

Прилагането на цикъла ПИПД (Планиране – Изпълнение – Проверка – Действие) позволява на потребителите да подобряват непрекъснато резултатите си, свързани с енергопотреблението, както е видно от *фиг. 3*. При първоначално въвеждане на системата на практика този цикъл е недостатъчен. В този случай процесът стартира със заявяване на ясен ангажимент от страна на ръководството на организацията за оценка на съществуващата ситуация и осигуряване на необходимите ресурси за това.

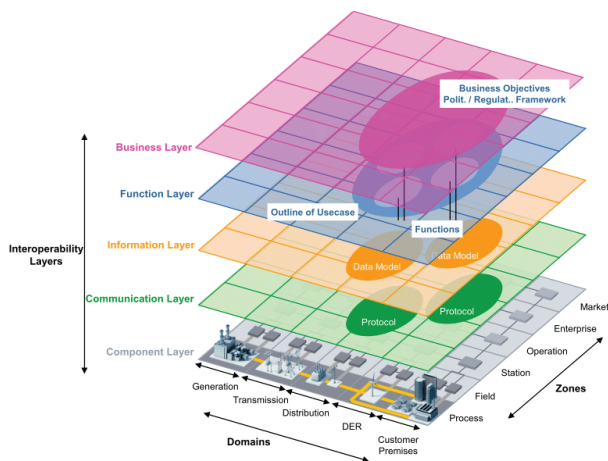


Фиг. 3. Концептуална рамка за внедряване на EnMS [4]

3.2. Архитектурен модел на интелигентна мрежа (SGAM)

SGAM [5] е цялостна рамка, използвана за проектиране и анализ на интелигентни мрежови решения, която може да бъде адаптирана за индустриален енергиен мениджмънт. Тя представлява тримерен референтен модел, който комбинира хоризонтални слоеве оперативна съвместимост (Interoperability Layers), вертикални зони (Zones) и домейни по енергийния поток (Domains) и е показана на *фиг. 4*. В най-долната част на слоя за оперативна съвместимост е разположен компонентният слой (Component Layer), който отразява физическия свят – реалните устройства и съоръжения. На *фиг. 4* този слой е свързан с домейните Generation, Transmission, Distribution, DER и Process, което показва, че физическите компоненти съществуват по цялата енергийна верига – от производството до крайния процес при потребителя. Над компонентния слой се намира комуникационният слой (Communication Layer), който описва комуникации-

те между физическите устройства и тези с горните нива. На *фиг. 4* това е илюстрирано чрез протоколи (Protocols) и разграничението между нивата: поле (field), станция (station) и предприятие (enterprise). В следващия информационен слой (Information Layer), сигналите се превръщат в информация, т.е. придобиват смисъл. В този слой се дефинират моделите на данни (Data Models) за описание на измервания, състояния или събития, постигайки семантична съвместимост. Следва функционалният слой (Function Layer), на който са разположени логиката и интелигентността на системата, изразени в алгоритми, функции, случаи на употреба и други. На *фиг. 4* това е показано чрез функции (Functions) и обобщения на случаите на употреба (Outline of use Cases), което подчертава, че функциите винаги са свързани с конкретни случаи на употреба. Най-отгоре се намира бизнес слойът (Business Layer), който дава смисъл на всичко останало. Тук се дефинират бизнес целите, регулаторните изисквания, политиките и пазарните правила. На *фиг. 4* този слой е означен като Business Objectives (бизнес цели) и Policies & Regulations (политики & регулации). Когато трите измерения (слоеве, зони и домейни) се комбинират, SGAM позволява всяка част от системата да бъде ясно позиционирана.

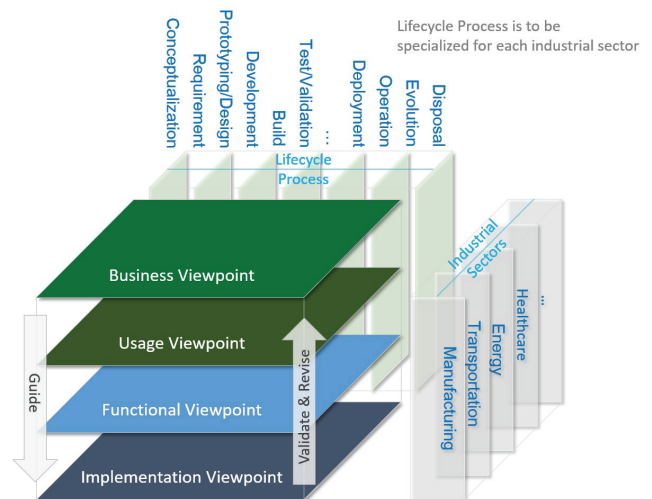


Фиг. 4. Архитектурен модел на SGAM [5]

3.3. Референтна архитектура на Консорциума за индустриален интернет (ИИ)

Референтната архитектура на системите за ПоТ (ИРА) [6] е разработена от Консорциума за индустриален интернет (ИИ) и дефинира рамката на архитектурата на интернет на нещата (IIAF), която съдържа информация, идентифицираща фундаменталните структури на архитектурата и специфицира интересите, заинтересованите страни, гледните точки, видовете модели, правилата за съответствие и условията за приложимост, като подпомага разработката, изготвянето на документацията и комуникацията на ИРА. ИРА предлага отворена архитектура, базирана на стандарти и използва общ реч-

ник. В центъра на модела е жизненият цикъл (Lifecycle Process), който, както е показано на *фиг. 5*, трябва да бъде специализиран за всеки индустриален сектор. Този жизнен цикъл обхваща всички етапи – от концептуализацията (Conceptualization), изискванията (Requirements) и проектирането (Prototyping/Design), през разработката (Development), изграждането (Build), тестване/валидация (Test/Validation) и внедряването (Deployment), до експлоатацията (Operation), поддръжката (Evolution) и извеждането от употреба (Disposal). ИРА подчертава, че архитектурните решения не са еднократен акт, а се развиват заедно със системата през целия ѝ жизнен цикъл. В рамките на този жизнен цикъл архитектурата се представя с четири изгледа (Viewpoints), подредени на *фиг. 5* като слоеве. Най-отгоре се намира бизнес изгледът (Business Viewpoint), който описва системата от гледна точка на бизнеса и заинтересованите страни. Тук се дефинират бизнес целите, очакваната стойност, икономическите ползи, регулаторните ограничения и ключовите показатели за ефективност. Под него е изгледът на употреба (Usage Viewpoint), който свързва бизнес целите с реалната употреба на системата. Тук се описват основните сценарии на използване (use cases), ролите на участниците и взаимодействията между тях. Този изглед показва как различни потребители, системи или организации използват решението в реални ситуации.

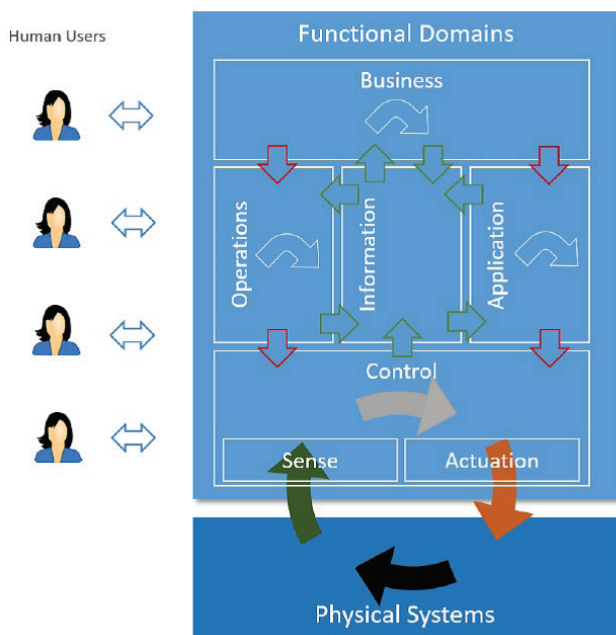


Фиг. 5. Референтна архитектура ИРА [6]

На *фиг. 5* този изглед играе ролята на преход между бизнес намеренията и техническата логика. Следва функционалният изглед (Functional Viewpoint), в рамките на който системата се разглежда като съвкупност от функции и логически компоненти. Тук се дефинират функциите, които трябва да изпълнява системата, как те си взаимодействат и какви отговорности имат. Този слой не се интересува от конкретни технологии, а от логиката – обработка на данни, анализ, управление, координация между подсистемите. Най-отдолу е изгледът за имплементация (Implementation Viewpoint), където функционалните решения се превръщат в кон-

кретна техническа архитектура. В този изглед се описват реалните технологии, платформи, комуникации, хардуер и софтуер, чрез които системата се реализира. От дясната страна на *фиг. 5* е показана третата размерност, която представя индустриалните сектори производство (Manufacturing), енергетика (Energy), транспорт (Transportation), здравеопазване (Healthcare) и други, за които се специализират жизненият цикъл и архитектурните изгледи.

Функционалната гледна точка представя различната функционалност на IoT базираната система. Декомпозицията ѝ във функционални домейни има за цел да структурира най-важните градивни елементи, като поставя началото на концептуализацията на конкретна функционална архитектура. Декомпозицията е силно повлияна от специфичните системни изисквания. Типичната IoT базирана система се декомпозира в следните функционални домейни: (1) Измерване (Sense); (2) Управляващи въздействия (Actuation); (3) Управление (Control); (4) Оперативно управление (Operations); (5) Информация (Information); (6) Приложение (Application) и (7) Бизнес (Business), както е показано на *фиг. 6*. Потоците на данни (зелени стрелки на *фиг. 6*) и управляващите потоци (червени стрелки на *фиг. 6*) протичат във и между тези функционални домейни. Оставащите хоризонтални стрелки показват обработка на данни, при която се генерират нови данни или управляващи потоци. Управлението, координацията и оркестрацията, упражнявани във всяка една функционална област, се отличават с различна степен на детайлност и времеви цикли

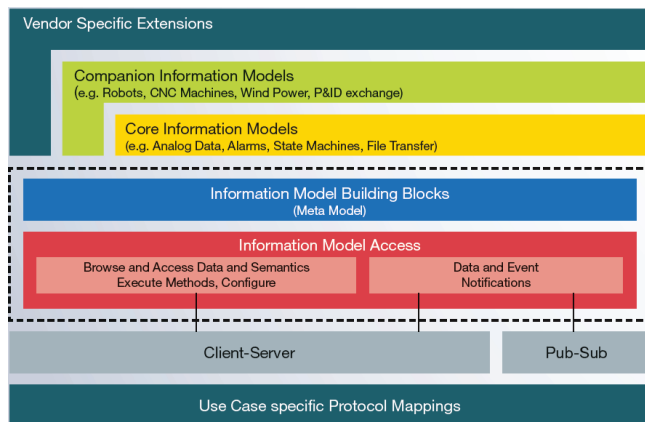


Фиг. 6. Функционални домейни [6]

3.4. Отворена унифицирана архитектура за комуникации (OPC UA)

Стандартът IEC 62541, известен още като OPC UA (Open Platform Communication – Unified Architecture) [7] дефинира унифициран инфраструктурен модел за обмен на информация между компоненти (сензори, механизми, системи за управление) и системи (MES, ERP) в индустрията. OPC UA поддържа следните спецификации: информационен модел за представяне на структура, поведение и семантика; моделиране на съобщения за взаимодействия между приложения и комуникационен модел за пренос на данни между крайни точки. Стандартът присъства в референтната архитектура RAMI [8] на Индустрия 4.0, като е посочен като единствения препоръчителен за имплементации комуникационен стандарт. На *фиг. 7* е показана референтната архитектура на OPC UA, представена като слоеста структура от модели и механизми за достъп до информация. В най-долната част на архитектурата се намира слойът на протоколните съответствия за конкретни сценарии на употреба (Use Case Specific Protocol Mappings), който позволява адаптацията към различни индустриални среди и изисквания. Непосредствено над него е разположен слойът, който дефинира основните комуникационни модели в OPC UA. Клиент-сървър моделът (Client-Server) се използва, когато е необходим директен достъп до данни и услуги – например четене, запис или извикване на методи. Паралелно на него е моделът Publish-Subscribe (Pub-Sub), който е подходящ за разпространение на данни и събития към множество получатели в реално време. Този слой показва, че OPC UA поддържа и двата подхода като равноправни. Над комуникационните модели се намира слойът за достъп до информационните модели (Information Model Access). Това е ключов слой, който дефинира как приложенията взаимодействат с информационния модел. Тук са включени два основни типа достъп. От едната страна е възможността да се навигира в адресното пространство, да се разбират връзките между обектите и смисъла на данните (Browse and Access Data and Semantics). От другата страна е слойът за достъп до методи и конфигурационни функции (Execute Methods, Configure). Паралелно с това слойът поддържа и уведомления за данни и събития (Data and Event Notifications), което позволява асинхронно получаване на промени и събития. Над достъпа до информация са разположени базовите елементи на информационния модел (Information Model Building Blocks) – типове данни, обекти, атрибути, референции и събития. Тук се дефинира общият език, чрез който OPC UA описва реалния свят по структуриран и машинно разбираем начин. Това е фундаментът, върху който се изграждат всички по-специфични модели. Следва слойът на основните информационни модели (Core Information Models), включващ стандартни модели, дефинирани от OPC Foundation, които покриват основни индустриални понятия – например данни от аналогови и дискретни сигнали, аларми, състояния, машини и обмен на файло-

ве. Те осигуряват базовата оперативна съвместимост и позволяват различни системи да „говорят на един език“ без допълнителни договорки. Над тях се намира слой на съпътстващите информационни модели (Companion Information Models), които представляват разширения на основните модели, създадени за конкретни индустрии или типове оборудване. Най-отгоре на архитектурата е слой на разширенията, специфични за конкретен производител (Vendor Specific Extensions), който позволява на производителите да добавят собствени разширения и специфични характеристики, без да се наруши съвместимостта с основния стандарт.



Фиг. 7. Архитектура на OPC A [7]

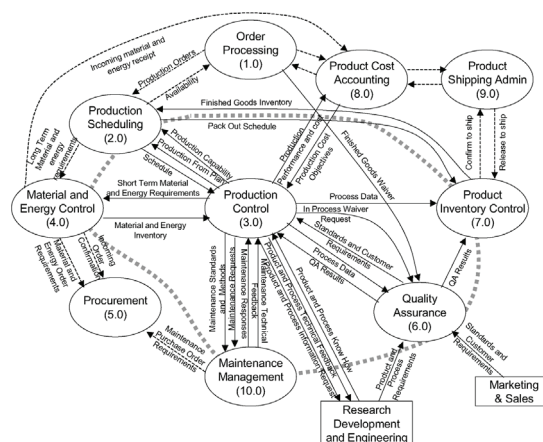
3.5. Референтен модел на стандарта IEC 62264

IEC 62264 [9] е международен стандарт за интегриране на системите за управление на производството със системите за управление на бизнеса. Той представлява споразумение между водещи фирми за създаване на обща рамка и насоки за проектиране и интеграция на системи и цели стандартизация на обмена на информация между системите на бизнес ниво и тези на ниво оперативно управление на производството. Моделите и терминологията, дефинирани в стандарта, отразяват най-добрите практики в интеграцията на тези системи. Ключовите модели на рамката са:

- Йерархичен модел на планиране и управление;
- Йерархичен модел на оборудването;
- Функционален модел на оперативното управление.

На фиг. 8 е представен функционалният модел на оперативното управление според стандарта IEC 62264, който показва основните функции на ниво производство и потоците информация между тях. В центъра на модела е функцията за управление на производството (Production Control), която представлява ядрото на оперативното управление. Тук се координира реалното изпълнение на производствените поръчки – стартиране, спиране, проследяване на статуса, управление на ресурси и събиране на данни от процеса. Над него е разположена функция-

та за детайлно планиране на производството (Production Scheduling) – кога, къде и с какви ресурси се изпълняват поръчките. Тук се вземат предвид наличните мощности, материали, персонал и ограничения. В горната част на фиг. 8 е разположена функцията за обработка на поръчките (Order Processing), където клиентските поръчки се превръщат в производствени поръчки. От дясната страна на диаграмата е функцията, която управлява наличностите от готова продукция (Product Inventory Control), включващи количествата, местоположението и статуса им. Над нея се намира функцията за администриране на експедицията (Product Shipping Administration), която управлява подготовката на доставки, транспорт и предаване на готовата продукция към клиента. В лявата част на фиг. 8 е показана функцията за управление и проследяване на суровини, материали и енергия (Material and Energy Control), необходими за производството. Под нея е функцията по снабдяване (Procurement), която се занимава с доставчици, заявки за материали и попълване на складовите наличности. В долната централна част се намира функция за управление на поддръжката (Maintenance Management), касаеща планираната и аварийна поддръжка на оборудването. От дясната страна под управлението на производството е функцията по осигуряване на качеството (Quality Assurance), която отговаря за контрола и осигуряването на качеството – инспекции, тестове, отклонения и коригиращи действия. В долната дясна част е развойната дейност (Research & Development), която използва данни от производството, качеството и поддръжката за подобряване на продукти и процеси. Макар да не участва директно в ежедневно управление, тя е важен потребител на производствена информация. От дясната страна извън основния кръг е показана функцията маркетинг и продажби (Marketing & Sales), представляваща бизнес средата, която подава изисквания и получава обратна информация за изпълнение, срокове и качество. Стрелките между отделните функции показват двупосочни потоци от информация – планове, заявки, резултати, състояния и отчети.



Фиг. 8. Функционален модел на оперативното управление съгласно IEC 62264 [9]

4. Основни изводи

При разработването на индустриални системи за енергиен мениджмънт могат да се използват няколко референтни рамки, архитектури и унифицирани модели, всеки от които предлага уникални предимства, съобразени с различен индустриален контекст. Силната страна на рамката, базирана на стандарта ISO 50001, е, че предлага цялостен и систематичен подход към енергийния мениджмънт, приложим за всяка индустрия, като помага на организацията да постигнат нормативно съответствие. Референтните архитектури на консорциума за индустриален интернет на нещата, архитектурите OPC UA, както и тези съгласно стандарта IEC 62264 са фокусирани върху мониторинг в реално време, прогнозни анализи и оптимизиране на използването на енергия и позволяват вземането на решения в реално време, предсказваща поддръжка и интеграция с други инициативи за интелигентна фабрика. Те са подходящи за индустрии със значително висока степен на автоматизация и дигитализация.

Унифицираните информационни модели (UIM) в системите за енергиен мениджмънт (EnMS) са от решаващо значение за осигуряване на безпроблемна интеграция, обмен на данни и оперативна ефективност. Те стандартизират представянето на данни и взаимодействия, свързвайки различни системи, технологии и заинтересовани страни. Унифицираните информационни модели (UIM) улесняват безпроблемната комуникация между различни системи чрез предоставяне на обща структура на данните и семантика. Те се приспособяват лесно към нови технологии и системи, осигурявайки мащабируемост, тъй като енергийните системи се усложняват. Осигуряват единен достоверен източник, свеждайки до минимум несъответствията в данните и подобрявайки вземането на решения, и са съобразени с индустриалните стандарти. Намаляват разходите за разработка, поддръжка и експлоатация чрез стандартизиране на системните интеграции.

Референтните рамки и архитектури могат да се възприемат като слоеве на една интегрирана система от знания: рамките определят контекста и методите, архитектурите описват структурната организация, моделите дефинират функциите, а унифицираните информационни модели осигуряват единен и разбираем език за обмен на данни.

Заклучение

Развитието на интелигентните системи за енергиен мениджмънт предполага тясна интеграция между концептуални, референтни и информационни модели, изградени в съответствие с международно признати стандарти. Прилагането на архитектурни рамки като RAMI 4.0, SGAM, както и на комуникационни и информационни стандарти като OPC UA и IEC 62264, осигурява стабилна основа за дигитализацията и автоматизацията на енергийните процеси.

Посоката на развитие е към самообучаващи се и адаптивни енергийни системи, които, използвайки методи на изкуствения интелект и семантичните технологии, ще могат да оптимизират потреблението на енергия в реално време, да реализират предсказваща поддръжка и да повишават устойчивостта на индустриалните предприятия.

По този начин референтните рамки и модели се превръщат от инструмент за стандартизация в интелигентна методологична основа, която подпомага прехода към Индустрия 5.0 – нова епоха на хуманно-центрирана, енергийно ефективна и взаимосвързана индустрия.

Литература

1. Karagiannis, D., H. Kühn. Metamodeling Platforms. LNCS 2455. Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg, 2002, 182.
2. ISO/IEC/IEEE-42010:2011. Systems and Software Engineering – Architecture Description.
3. Mili, H., M. Fayad, D. Brugal, D. Hamu, D. Dori. Enterprise Frameworks: Issues and Research Directions. – *Software: Practice and Experience*, 32, 2002, 801–831.
4. ISO 50001:2011. Energy Management Systems – Requirements with Guidance for Use (IDT).
5. Uslar, M., S. Rohjans, C. Neureiter, F. P. Andrén, J. Velasquez, C. Steinbrink, V. Efthymiou, G. Migliavacca, S. Horsmanheimo, H. Brunner, T. I. Strasser. Applying the Smart Grid Architecture Model for Designing and Validating System-of-Systems in the Power and Energy Domain: A European Perspective. – *Energies*, 12, 2019, 258. doi: 10.3390/en12020258.
6. Industry IoT Consortium. The Industrial Internet Reference Architecture, Version 1.10. An Industry IoT Consortium Foundational Document, 2022-11-07.
7. OPC UA Foundation. OPC UA Specification, Part 1: Overview and Concepts. <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/>.
8. VDI/VDE/ZVEI. GMA Status Report: Reference Architectural Model Industry 4.0 (RAMI4.0). 2015. https://www.vdi.de/.../VDIGMA_Statusreport_Referenzarchitektur.
9. ISO/IEC 62264-3:2007. Enterprise-Control System Integration, Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management. CEN/CENELEC Management Centre, Brussels.

За контакти:

Д-р инж. Полина Кесова

p.krasimirova@gmail.com

Проф. д-р Идиллия Бачкова

idilia@uctm.ed

Катедра „Автоматизация на производството“

Химикотехнологичен и металургичен

университет – София