

ONTOLOGY FOR MANAGEMENT OF FOOD SAFETY

Y. Chaplinsky

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine

Key words:

*Food safety
Decision-making
Ontology
Controlled vocabulary
Knowledge graph*

Article history:

Received 11.07.2023
Received in revised form
31.07.2023
Accepted 11.08.2023

Corresponding author:

Y. Chaplinsky

E-mail:

cyuriy2011@gmail.com

Citation: Ю. П. Чаплінський (2023). Використання онтологій в управлінні безпечністю продуктів харчування. *Наукові праці НУХТ*, 29(4), 7—19.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-4-3

ABSTRACT

Modern tasks and real situations, which are formed in the food safety management system, are determined by the ever-increasing complexity of problematic situations, the need to being accounted and taking into account a large number of interrelated factors. Knowledge is becoming one of the main means of taking into account such features of food safety management. As a modern intellectual tool for the use of knowledge, ontologies and an ontological approach to support decision-making for solving food safety problems were considered.

Different types of ontology-oriented tools: controlled vocabulary, ontology, graph knowledge base were analyzed in the article. Examples of controlled vocabularies that define terminology used in the food industry, relationships between terms, and certain properties of food products were provided in the article. Modern developments of ontologies were presented, which allowed ontologies to be considered as a means of clearly presenting the understanding of decision-making processes in a certain problem area and making decisions based on them. Ontology described the structure of a specific problem area or a set of problem areas and consisted of a set of classes of terms connected by relations, their definitions and axioms that set restrictions on the interpretation of these terms within the framework of a given problem area or their set. Graph knowledge bases, or knowledge graphs, that implement a data model that uses semantics to represent real-world objects and the relationships between them were considered. Knowledge graphs provided an opportunity to start creating ontologies, visually present them, analyze and model complex situations. The considered ontology-oriented tools enable the development of integrated decision-making media for solving food safety problems that integrate methods of system, process and situational analysis.

ВИКОРИСТАННЯ ОНТОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ БЕЗПЕЧНІСТЮ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

Ю. П. Чаплінський

Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України

Сучасні завдання та реальні ситуації, які складаються в системі управління безпечністю продуктів харчування, визначаються зростаючою складністю проблемних ситуацій, необхідністю обліку й урахування великої кількості взаємопов'язаних факторів тощо. Сьогодні знання стають одним із головних засобів урахування таких особливостей управління безпечністю продуктів харчування. Як сучасний інтелектуальний інструмент використання знань розглядають онтології та онтологічний підхід до підтримки прийняття рішень для розв'язання задач безпеки продуктів харчування.

У статті проаналізовано різні види онтолого-орієнтованих засобів: керований словник, онтологія, графова база знань. Наведено приклади керованих словників, які визначають термінологію, що використовується в харчовій галузі, визначають зв'язки між термінами і певні властивості продуктів харчування. Наведено сучасні розробки онтологій, які дають змогу розглядати онтології як засіб явного представлення розуміння процесів прийняття рішень у певній проблемній області та прийняття рішень на їх основі. Онтологія описує структуру певної проблемної області або множини проблемних областей і складається з множини класів термінів, зв'язаних відношеннями, їх визначень та аксіом, що задають обмеження на інтерпретацію цих термінів у межах певної проблемної області або їх множини. Розглянуто графові бази знань або графи знань, що реалізують модель даних, яка використовує семантику для представлення об'єктів реального світу та зв'язків між ними. Графи знань надають можливість почати створювати онтології, візуально їх представити, проводити аналіз і моделювання складних ситуацій. Розглянуті онтолого-орієнтовані засоби дають змогу створювати інтегровані середовища прийняття рішень для розв'язання задач безпеки продуктів харчування, що інтегрують у собі методи системного, процесного та ситуаційного аналізу.

Ключові слова: безпека продуктів харчування, прийняття рішень, онтологія, керований словник, граф знань.

Постановка проблеми. Реальні ситуації, які складаються в системі управління безпечністю продуктів харчування, визначаються зростаючою складністю проблемних ситуацій, необхідністю обліку й урахування великої кількості взаємопов'язаних факторів і вимог щодо показників якості й безпечності продуктів харчування тощо. В цих умовах інтелектуальні можливості фахівців можуть не узгоджуватися з об'ємом інформації, який необхідно осмислити та переробити в ході управління різноманітними процесами. Сьогодні знання стають одним із головних чинників до підвищення безпечністю продуктів харчування.

Під управлінням знаннями розуміють технологію, що включає комплекс формалізованих методів, що охоплюють пошук, структурування і систематизацію,

зберігання, аналіз, оновлення, поширення та генерацію нових знань.

Для врахування перерахованих особливостей і властивостей виробництв та технологій і багатьох інших вимог, що виникають у процесі функціонування системи управління безпекою продуктів харчування, потрібна побудова єдиної технології прийняття рішень, що дає змогу виробляти найбільш прийнятні рішення. Слід зазначити, що сучасні розв'язки прикладних задач є результатом поєднання та інтеграції знань, розуміння та ідей розв'язання множин взаємозв'язаних задач з різних предметних областей.

Як сучасний інструмент для реалізації наведеного вище розглядають онтології та онтологічний підхід до підтримки прийняття рішень. Під онтологією будемо розуміти систему, що описує структуру певної проблемної області і складається з множини класів понять, пов'язаних відношеннями, їх визначень та аксіом, що задають обмеження на інтерпретацію цих понять у межах певної проблемної області (Staab, Studer, Schnurr, & Sure, 2001).

Основною перевагою використання онтологій та онтологічного підходу є можливість реалізації цілісного підходу до процесів прийняття рішень і представлення областей прийняття рішень, що інтегрує методи системного, процесного та ситуаційного аналізу.

Слід зауважити, що не існує стандартної методології для представлення проблемних областей на основі онтолого-керованих технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні інтерес та необхідність у використанні знання-орієнтованих технологій, що базуються на онтологіях, визначається використанням комп'ютерних технологій у системах управління виробничою сферою, якими необхідно керувати й обмінюватися даними, і необхідністю гармонізувати різні термінології для полегшення використання та взаємодії. В рамках Індустрії 4.0 (Lu, 2017), до якої можна віднести і харчову галузь та, відповідно, безпеку продуктів харчування, що керується та базується на обробці великих даних і реалізується через цифрові екосистеми й цифрові платформи, онтології знаходять своє місце для представлення виробничого процесу та підтримки процесу прийняття рішень. Так, сучасні дослідження в галузі виробництва спрямовані на встановлення концептуальних і формальних основ виробничих онтологій (Usman та ін., 2013), зосереджені на використанні онтологій у прикладних системах (Perzylo, Somani, Rickert, & Knoll, 2015), на онтологічному представленні складних виробничих ресурсів, таких як кіберфізичні виробничі системи (Horvath, & Gerritsen, 2012).

При цьому велику увагу приділяють представленню знань про продукт виробництва, що, у свою чергу, веде до онтологій щодо функцій, компонентів або якості продуктів виробництва (Imran, & Young, 2015). Сьогодні використання інформаційних систем у виробництві сприяло розвитку онтологій у таких сферах виробництва, як проектування промислових установок або (пере)конфігурації (Kadar, Terkaj, & Sacco, 2013), управління ланцюгами постачання (Palmer та ін., 2016) та системи обслуговування продуктів виробництва (Shani, Franke, Hribernik, & Thoben, 2017).

Мета дослідження: проаналізувати сучасний стан і розвиток розробки й використання онтолого-орієнтованих інформаційних технологій, метою яких є підтримка розв'язання задач управління безпекою продуктів харчування.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження стали публікації й розробки щодо створення та використання сучасних знання-орієнтованих засобів, що стосуються проблематики безпеки продуктів харчування.

Викладення основних результатів дослідження. Проблема безпечності продуктів харчування (Димань, & Мазур, 2011) — складна комплексна проблема, що вимагає численних зусиль для її вирішення. Сучасна реалізація системи управління безпечністю продуктів харчування базується на використанні інтелектуальних інформаційних технологій, які допомагають приймати рішення споживачам, виробникам продуктів харчування, роздрібним торговцям та іншим учасникам. Сьогодні це розглядається в контексті «Інтернету продуктів харчування» (Internet of Food, IoF) (Boulos, Yassine, Shirmohammadi, Namahoot, & Bruckner, 2015).

Для того, щоб інформацію, що стосується сфери продуктів харчування та несе семантичне навантаження, можна було використовувати в інформаційних технологіях, їх потрібно зробити зрозумілими для них. Залежно від мети використання можна використати різні види семантичного представлення інформації: керований словник, онтологія, графова база знань.

Під керованим словником (Harpring, 2010) розуміють засіб, який надає можливість визначати термінологію, що використовується в певній галузі. В керованому словнику визначаються терміни та їхні синоніми, які використовуються для визначення, індексування або категоризації. Визначені терміни та їхні синоніми можуть формувати тезауруси й таксономії, які розглядають як специфічні види керованих словників. Зв'язки між термінами можуть існувати або не існувати в керованому словнику. Такі словники реалізуються за допомоги SKOS (Simple Knowledge Organization System) і представляють собою легкі онтології.

У разі необхідності формалізувати опис проблемної області, визначити та застосувати правила поведінки системи управління, організувати взаємодію між компонентами системи, користувачем і системою, що дає змогу автоматично адаптувати поведінку системи при зміні ситуацій та залежно від відповідного контексту використовують онтології. Під онтологією (Чаплінський, 2013) будемо розуміти засіб явного представлення розуміння процесів прийняття рішень у певній проблемній області.

Онтології, зазвичай, описуються за допомогою RDF, RDFS, OWL. RDF (Resource Description Framework) — це модель опису (формат опису) інформації про ресурси у вигляді структур, що дає змогу об'єднувати інформацію з різних джерел. Мова RDFS (RDF Schema) — мова опису словників RDF-термінів (класів і властивостей Web-ресурсів). OWL (Ontology Web Language) — стандарт W3C для визначення онтологій, мова опису онтологій, що базується на дескрипційній логіці. OWL надає механізми для створення всіх необхідних компонентів онтології: понять, екземплярів і властивостей (або відносин).

Наступним засобом семантичного представлення проблемної області є графові бази знань або графи знань. Граф знань — це модель даних, яка використовує семантику для представлення об'єктів реального світу та зв'язків між ними. Їх розглядають як сховище, що містить онтологію у вигляді триплетів, тобто базою графа знань є модель знань: набір взаємопов'язаних описів понять, сутностей, зв'язків і подій. Вершиною графа виступають суб'єкти та об'єкти, дугами —

предикати (відношення, зв'язок або властивості). Графи знань, представлені в RDF або LPG (Labeled Property Graph), забезпечують найкращу структуру для інтеграції, уніфікації, зв'язування та повторного використання знань.

Керований словник є відправною точкою в створенні інтелектуальних засобів розв'язання складних задач, якими є задачі безпеки продуктів харчування. Першим кроком у використанні знань є побудова ієрархічних структур класів, або таксономій, що реалізується в керованому словнику.

Розглянемо приклади засобів, які можна віднести до керованих словників та які стосуються сфери безпеки продуктів харчування, наприклад:

Стандарти GS1. Глобальна класифікація продуктів GPC (Global Product Classification, 2023) містить класифікацію тисяч продуктів, включаючи продукти харчування, напої та тютюн, які представляються через ієрархією на чотирьох рівнях: сегмент, сімейство, клас і блок. Для представлення даних про продукцію в GS1 було розроблено стандарт GDSN (Global Data Synchronization Network) (GS1 GDSN release, 2023). Властивості в GDSN стосуються певних характеристик продуктів, наприклад: сорт, рід, розмір, вид, тип приготування, інгредієнти, внутрішній колір м'якоти. Словник GS1 (Web GS1 Web Vocabulary, 2023), або стандарт GS1 SmartSearch, є зовнішнім розширенням schema.org (Schema.org, 2023).

LanguaL. *LanguaL* (Moller, & Ireland, 2017) — це тезаурус (керований словник) для опису даних про продукти харчування, зокрема для класифікації продуктів харчування та для пошуку інформації за певними ознаками. Він використовувався в США та Європі для банків даних про склад продуктів харчування (поживні речовини та забруднювачі), споживання продуктів харчування та законодавство. У *LanguaL* кожний продукт харчування описується набором термінів, які визначають властивості та які характерні для певного продукту харчування, як, наприклад, біологічне походження, методи приготування та консервації, а також технологічні обробки. Щоб зробити *LanguaL* незалежною від природних мов, її було організовано з використанням абстрактних ідентифікаторів на основі унікальних кодів. *LanguaL* базується на концепції, що будь-який продукт харчування можна цілісно описати за допомогою комбінації характеристик.

EUroFIR Thesauri. *EUroFIR Thesauri* (Moller, 2008) пропонує множину керованих словників про склад продуктів харчування. Специфікації базуються на моделі реляційної бази даних, що містить чотири основні сутності (продукт харчування, компонент, цінність, посилання) та інші додаткові сутності. Опис продуктів харчування регулюється тезаурусом *LanguaL*.

AGROVOC. *AGROVOC* (AGROVOC, 2023) представляє собою великий багатомовний тезаурус, термінологія якого широко використовується на практиці для предметних галузей у сільському господарстві, рибальстві, лісовому господарстві, харчуванні та суміжних областях, тобто охоплює всі області знань, що представляють інтерес для продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО). Словник складається з більш ніж 32000 понять, до 40000 термінів на 23 мовах, включаючи українську мову. *AGROVOC* використовується в спеціалізованих електронних бібліотеках і цифрових сховищах для індексування та пошуку даних. *AGROVOC* можна вважати основою для єдиної харчової онтології, яка охоплює всі види продуктів харчування у світі.

FoodEx2. FoodEx2 (Food classification standardisation — The FoodEx2 system, 2023) являє собою стандартизовану систему класифікації та опису продуктів харчування. Ця система складається з описів великої кількості окремих продуктів харчування, об'єднаних у групи продуктів та категорії продуктів за допомоги ієрархічних відношень. Центральним у системі є основний список продуктів харчування та їх загальні описи, які передбачають мінімальний рівень деталізації, необхідний для оцінки споживання або оцінки впливу. Більш детальні описи можна знайти в «розширеному списку».

FoodDB. FoodDB (FoodDB, 2023) — це безкоштовний Інтернет-ресурс про продукти харчування, який охоплює сирі та необроблені фрукти, спеції, овочі, трави тощо. FoodDB містить інформацію про понад 28 000 хімічних речовин, які містяться у понад 1000 сирих або необроблених продуктах харчування. FoodDB надає інформацію про макроелементи та мікроелементи, включаючи компоненти, які надають харчовим продуктам смак, колір, смак, текстуру та аромат. Кожен запис у FoodDB містить понад 100 окремих полів даних, що охоплюють детальну інформацію про склад, біохімічну та фізіологічну інформацію, отриману з літературних джерел. Такі записи включають дані про речовину, її опис, інформацію про її структуру, хімічний клас, її фізико-хімічні дані, джерело(а) отримання, колір, аромат, смак, фізіологічний ефект, передбачуваний вплив на здоров'я на основі досліджень, що опубліковані, та концентрації в різних продуктах харчування.

Open Food Facts. Open Food Facts (Open Food Facts, 2023) являє собою глобальну базу даних продуктів харчування з відкритим вихідним кодом, яка дозволяє користувачам дізнаватися про поживну інформацію продуктів харчування та порівнювати продукти з різних куточків світу. Ідея Open Food Facts — надати інформацію користувачам, щоб вони могли зрозуміти маркування продуктів харчування та вибрати здорову їжу, яка містить менше потенційно шкідливих речовин. Ця система є корисною для фахівців харчової промисловості, які можуть використовувати Open Food Facts для відстеження, моніторингу та стратегічного планування виробництва продуктів харчування. Користувачі можуть додавати продукти харчування в базу даних Open Food Facts.

GoodRelations. GoodRelations (Hepp, 2008) — це легка онтологія для обміну даними про продукти харчування, пропозиції, точки продажу, ціни, положення та умови в Інтернеті. GoodRelations можна використовувати в усіх синтаксисах RDF, який підтримує шаблон Entity-Attribute-Value. GoodRelations вміщує опис продукту харчування та його специфікації незалежно від конкретної предметної області. GoodRelations складається з 16 верхніх категорій та більш ніж 300 підкатегорій, з максимальною глибиною, рівній 4. GoodRelations використовується великими компаніями, такими як Google, Yahoo, Best Buy тощо.

Через керовані словники або через засоби, які їх використовують, користувачі можуть отримувати доступ і обмінюватися даними про продукти харчування в усьому світі, отримувати пов'язану з ними інформацію та систематизувати знання про продукти харчування, включаючи інформацію про їх небезпечність, що принесе користь різним зацікавленим сторонам, таким як дослідники, виробники продуктів харчування, дистриб'ютори харчових продуктів, роздрібні продавці та споживачі.

Використання керованих словників дає змогу отримувати дані стосовно продуктів харчування, але при розв'язанні задач управління безпечністю продуктів харчування необхідна інтеграція різнорідної інформації та знань щодо гарантування безпечності продуктів харчування, необхідне управління розв'язанням задач, що виникають. Це забезпечують онтології, що дають змогу реалізувати інтегрований погляд на сферу безпеки продуктів харчування:

RICHIFIELDS ontology. Онтологія RICHIFIELDS (Eftimov, Ispirova, Korosec, & Seljak, 2018) складається з шести суперкласів: Component, Food, FoodGroup, Personal, Single Nucleotide Polymorphism та Unit. RICHIFIELDS базується на розумінні, що необхідно визначити онтологію, яка охоплює область інтересу, пов'язану з продуктами харчування та харчуванням, і яку можна використовувати для семантичної сумісності харчової інформації. Структура RICHIFIELDS включає харчову онтологію, з якою пов'язані продукти харчування; складову, яка пояснює, як відповідні харчові продукти харчування визначити та представити структурованим способом; міру подібності, яка використовується для зв'язку харчових продуктів з онтологією. RICHIFIELDS використовує онтологію одиниць вимірювання (онтологія для стандартизації одиниць вимірювання в біомедичній сфері, UO) (Gkoutos, Schofield, & Hoehndorf, 2012), яка нині використовується в багатьох наукових ресурсах для стандартизованого опису одиниць вимірювання.

Onto-FP. Onto-FP (Muljarto, Salmon, Neveu, Charnomordic, & Buche, 2014) призначений для надання дослідникам основи для систематизації та формування своїх знань на основі семантики. Областю Onto-FP є харчова промисловість. Onto-FP охоплює спектр діяльності від збирання врожаю, підготовки, проміжних процесів і кінцевих процесів виробництва продуктів харчування. В Onto-FP визначені чотири основні класи подання загального процесу трансформації харчового продукту: продукція, операція, атрибут, спостереження. Відношення між основними елементами згруповані в чотири категорії: відношення між двома або більше продуктами; відношення між продуктами та операціями; відношення між двома або більше операціями; відношення, що пов'язані зі спостереженнями.

FoodOn. FoodOn (Dooley та ін., 2018) — це онтологія, направлена на розробку семантичного представлення знань щодо безпеки продуктів харчування, продовольчої безпеки, сільськогосподарських і тваринницьких практик, пов'язаних з виробництвом продуктів харчування, кулінарними, харчовими та хімічними інгредієнтами й процесами. Онтологія FoodOn відкрита і доступна на GitHub (<https://github.com/FoodOntology>). Метою FoodOn є створення контенту, що представляє продукти харчування та пов'язані процеси. Ця онтологія використовується при проведенні досліджень в наукових і державних установах.

Food-Biomarker Ontology (FOBI). FOBI (Castellano-Escuder, González-Domínguez, Wishart, Andres-Lacueva, & Sánchez-Pla, 2020) — це вільна комплексна онтологія, що складається з двох взаємопов'язаних онтологій: онтології харчування (сирі продукти харчування та багатокomпонентна їжа), і онтології біомаркерів (містить біомаркери споживання продуктів харчування, класифіковані за їхніми хімічними класами). Ці дві онтології є концептуально незалежними, але пов'язані між собою різними властивостями. Онтологія харчування описує основні інгредієнти, що входять до складу кожної багатокomпонентної їжі відповідно до літера-

турних джерел. Крім того, FOBI також включає ідентифікатори FoodOn для продуктів харчування, спільних для обох онтологій. При створенні онтології біомаркерів було розглянуто майже 600 відомих харчових метаболітів, включаючи харчові сполуки та їхні метаболіти, отримані з організму господаря та мікробіоти. FOBI складається з 1197 термінів, 4 різних властивостей, 13 класів харчових продуктів верхнього рівня, 11 класів біомаркерів верхнього рівня та понад 4500 взаємозв'язків.

FOODS (Food-Oriented Ontology-Driven System). FOODS (Snae, & Brückner, 2008) — це онтолого-керована система, яка надає Інтернет-орієнтовану систему рекомендацій щодо меню для пацієнтів з діабетом у Таїланді. Онтологія містить специфікації інгредієнтів, речовин, фактів харчування, що рекомендовані для щоденного споживання у розрізі різних регіонів, страв і меню. FOODS поширює знання на вміст та інгредієнти, як описано виробником. Використовуючи FOODS підприємства можуть допомагати клієнтам, надаючи відповідні пропозиції страв та меню з урахуванням індивідуальних харчових профілів. Їжа класифікується за дев'ятьма основними поняттями: регіональна кухня, страви, напої, інгредієнти, наявність, поживні речовини, хвороби на основі харчування, способи приготування, посуд та ціни. Існує два різних інтерфейси залежно від ролі користувача: перша частина для кухарів або людей, які готують їжу; друга частина — для клієнтів або користувачів, які хочуть отримати пораду про харчування або замовити існуючі страви, тобто в ресторані. FOODS використовує мову OWL.

FoodWiki. FoodWiki (Çelik, 2015) є онтолого-керованою, мобільною інформаційною системою охорони здоров'я з питань безпечного споживання продуктів харчування. Це дає змогу користувачам/пацієнтам в групах ризику аналізувати та контролювати споживання їжі. Ця система включає бази знань і механізми пошуку, які на основі запитів користувачів рекомендує відповідне споживання продуктів харчування. Мета FoodWiki полягає в наданні допомоги та докладної інформації щодо продуктів харчування під час покупки цих товарів. FoodWiki орієнтована на фасовану продукцію, що присутня на турецькому ринку. Коли людина робить усвідомлений вибір щодо споживання продуктів харчування, вона може максимізувати якість свого життя і звести до мінімуму використання шкідливих для здоров'я речовин при харчуванні. Підхід, що лежить в основі FoodWiki, базується на єдиному словнику.

CC-HACCP Ontology. Онтологія CC-HACCP (Mu, & Zhang, 2015) — це онтологія холодового ланцюга (cold chain) HACCP, що реалізує семантичний опис знань і підтримує обмін інформацією щодо моніторингу та управління небезпеками холодового ланцюга в рамках HACCP. CC-HACCP включає певну множину основних класів: аналіз ризиків і критичні контрольні точки HACCP, суб'єкти холодового ланцюга CC_Role, товари холодового ланцюга CC_Cargo та бізнес-процеси холодового ланцюга CC_Step. У CC-HACCP визначено клас HACCP, що складається з критичної контрольної точки CCP, аналізу небезпек HA, заходів контролю CM, граничних значень критичної контрольної точки CL, коригувальних заходів CA, перевірки VE та записи RE. Клас CC_Role включає такі ролі: Raw_Material_Supplier, Виробник, Logistics_Service_Provider, Оптовий продавець і Роздрібний продавець. Клас CC_Cargo розділено на два типи Frozen_Cargo та Refrigerated_Cargo за діапазоном температур зберігання. Клас бізнес-процесу

CC_Step визначає абстрактні конкретні кроки бізнес-процесу холодового ланцюга. CC_Step відповідає за роботу складових CC_Role. Для представлення об'єктів моніторингу використовується клас CC_Proof, який використовується для виявлення відповідності граничному значенню критичної контрольної точки CCP.

Hazard Ontology ma HACCP Ontology. Hazard Ontology (Letia, & Groza, 2010) представляє можливі небезпеки в певній сфері виробництва продуктів харчування. Небезпеки визначаються як біологічні, хімічні або фізичні агенти, які можуть спричинити захворювання або травми у споживачу. HACCP Ontology (Letia, & Groza, 2010) визначає основні поняття стандарту HACCP. HACCP Ontology включає визначення потенційних небезпек у кожній точці виробничого процесу. HACCP Ontology дає змогу під час аналізу небезпек оцінити значущість кожної небезпеки на основі ймовірності виникнення та тяжкості. HACCP Ontology надає можливість реалізації обґрунтування небезпеки, заходів контролю, відповідних критичних меж. На основі представлених онтологій була розроблена система контролю переробки креветок.

Варто зазначити, що жодна з розглянутих онтологій не є повністю всеосяжною з точки зору масштабів і сфери охоплення (деякі з них призначені для дуже конкретних цілей або регіонів), але вони можуть бути використаними як основа для розробки засобів розв'язання задач з безпеки продуктів харчування. Подолання обмеженого використання цих онтологій для задач прийняття рішень у галузі безпеки продуктів харчування вимагає розробки підходів, які базуються на онтологічному підході та охоплюють широку сферу задач прийняття рішень з безпеки продуктів харчування.

В Інституті кібернетики НАН України при виконанні науково-дослідних робіт щодо створення технологій підтримки прийняття рішень для розв'язання прикладних задач були розроблені знанне-орієнтовані інформаційні технології, які базуються на знаннях у вигляді онтологій і контексту. Така онтологія (Чаплінський, 2013) базується на взаємопов'язаній множині онтологій, що представляє собою багаторівневу асоціативну структуру.

При виконанні науково-дослідних робіт щодо підтримки прийняття рішень на основі системної оптимізації був розроблений прототип онтології підтримки розв'язання задач системи управління безпекою продуктів харчування. Ця онтологія базується на термінах, що описують область безпеки продуктів харчування у розрізі законодавства, документації, акторів ринку, небезпеки, управління безпекою харчових продуктів на основі принципів HACCP. Також описуються технології виробництва продуктів харчування, підприємство, діяльність підприємства та об'єкти систем підприємства, що пов'язані з безпекою продуктів харчування. Проблемна онтологія дає змогу інтеграції визначених термінів для представлення розв'язання певних задач у відповідних предметних областях, наприклад, визначення критичних контрольних точок виробництва продуктів харчування. Для конкретизації розв'язання задачі використовується контекстна онтологія, яка дає змогу представити конкретне розв'язання задачі для конкретного підприємства та для конкретного продукту харчування через модель деякого контексту (Чаплінський, & Субботіна, 2016). Створена онтологія реалізована на мові OWL. Для доступу для певної інформації використовується мова запитів SPARQL.

Для того, щоб почати створювати онтології, візуально їх представити, використовують графові бази знань, або графи знань. Графи знань можна використовувати для розуміння та моделювання складних концепцій. Графи знань можна використовувати для розуміння зв'язків між даними.

Розглянемо приклади графів знань, які можна використати при розв'язанні задач безпеки продуктів харчування:

FoodKG (Food Knowledge Graph). FoodKG (Hausmann та ін., 2019) — це графова база знань, мета якої допомогти людям персоналізувати свої дієтичні цілі, надаючи їм інформацію для покращення узгодженості між їх харчовою поведінкою та загальними рекомендаціями щодо харчування. FoodKG базується на трьох основних джерелах даних: рецепти та раціони, поживний вміст інгредієнтів та харчову онтологію для організації інгредієнтів. Як рецепти та раціони в FoodKG використовують інформацію з Інтернет-сайтів рецептів і раціонів. Для інгредієнтів FoodKG використовує національну базу даних поживних речовин Міністерства сільського господарства США, яка містить приблизно 8000 записів для різних типів продуктів харчування та їх поживні речовини. Як харчова онтологія використовується онтологія FoodOn (Dooley та ін., 2018). FoodOn надає систематику продуктів харчування. Однак FoodOn не є довідником, тому FoodOn не має детальної інформації про поживний вміст продуктів харчування. FoodKG містить декілька ключових компонентів: рецепти, раціони та їхні інгредієнти; харчові дані для окремих продуктів харчування; додаткові знання про продукти харчування; зв'язки між наведеними вище компонентами.

FKG (Food Knowledge Graph (from World Food Atlas Project)). FKG (Rostami, Xie, Ishino, Yamakata, Aizawa, & Jain, 2021) — це колекція взаємопов'язаної описової інформації про різні аспекти їжі. FKG є складовою частиною World Food Atlas Project (WFA). Мета WFA акумулювати інформацію, пов'язану з усіма стравами та продуктами харчування, які доступні людині в будь-якій точці світу. FKG містить різні виміри підключення та різні типи вузлів. Вузли інгредієнтів пов'язані між собою семантично ієрархічною структурою, отриманою з онтології FoodOn (Dooley та ін., 2018), яка надає інформацію щодо подібності між різними інгредієнтами та діє як основа формальної семантики FKG. Вузли в категорії інгредієнтів можуть бути фактичними вузлами конкретних інгредієнтів, або абстрактними вузлами, які представляють клас інгредієнтів. Ієрархічні зв'язки між вузлами інгредієнтів гарантують, що інгредієнти в одній категорії завжди мають короткий шлях один до одного, ніж до вузлів поза категорією. Вузли можуть містити географічну інформацію, таку як географічна доступність, популярність і походження страв та деяких інгредієнтів.

Використання графів знань дає змогу розробляти нові рецепти, виявляти кореляції між дієтою та захворюваннями, знаходити альтернативні інгредієнти, персоналізовані рекомендації щодо дієти, управління ланцюгом постачання їжі, знизити витрати на виробництво харчових продуктів та інтелектуальне виробництво харчового обладнання.

Висновки

Використання розглянутих знання-орієнтованих технологій при управлінні безпекою продуктів харчування, в основі яких лежать онтології, включаючи і

легкі онтології, дають можливість реалізації задач від отримання релевантної, зрозумілої, реальної та доступної інформації для розв'язання конкретної задачі, до підтримки функціонування систем управління безпекою продуктів харчування.

Результати роботи буде використано в рамках науково-дослідної роботи «Розробка онтолого-керованих методів підтримки створення та функціонування системи управління безпечністю продуктів харчування на основі процедур системної оптимізації».

ЛІТЕРАТУРА

Димань, Т. М., & Мазур, Т. Г. (2011). *Безпека продовольчої сировини і харчових продуктів: підручник*. Київ: Академія.

Чаплінський, Ю. П. (2013). Онтологічні складові підтримки прийняття управлінських рішень. *Наукові праці НУХТ*, 48, 65—58. Взято з http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2013_48_12.

Чаплінський, Ю. П., Субботіна, О. В. (2016). Онтологія та контекст при розв'язанні складних задач прийняття рішень. *Штучний інтелект*, 2, 147—155. Взято з http://nbuv.gov.ua/UJRN/II_2016_2_18

AGROVOC Multilingual Thesaurus (2023). Взято з <https://agrovoc.fao.org/browse/agrovoc/en/>.

Boulos, M. N. K., Yassine, A., Shirmohammadi, S., Namahoot, C. S., Bruckner, M. (2015). Towards an “Internet of Food”: Food Ontologies for the Internet of Things. *Future Internet*, 7, 372—392. doi:10.3390/fi7040372.

Castellano-Escuder, P., González-Domínguez, R., Wishart, D., Andres-Lacueva, C., Sánchez-Pla, A. (2020). FOBI: an ontology to represent food intake data and associate it with metabolomic data. Database. 2020. 10.1093/databa/baaa033.

Çelik, D. (2015). FoodWiki: Ontology-Driven Mobile Safe Food Consumption System. *The Scientific World Journal*, 2015. doi:10.1155/2015/475410.

Chen, Yi, Guo, Y., Fan, Q., Zhang, Q., & Dong, Yu (2023). Health-Aware Food Recommendation Based on Knowledge Graph and Multi-Task Learning. *Foods*, 12(10), 2079; doi:10.3390/foods12102079.

Dooley, Damion, Griffiths, Emma, Gosal, Gurinder, Buttigieg, Pier Luigi, Hoehndorf, Robert ... Hsiao, William. (2018). FoodOn: a harmonized food ontology to increase global food traceability, quality control and data integration. *npj Sci Food*, 2, 23, 1—10. doi:10.1038/s41538-018-0032-6.

Eftimov, T, Ispirova, G., Korosec, P, & Seljak, B. (2018). The RICHFIELDS Framework for Semantic Interoperability of Food Information Across Heterogenous Information Systems. *Proceedings of the 10th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management*, Vol. 1, 315—322. doi:10.5220/0006951703150322.

Food classification standardisation — The FoodEx2 system (2023). Взято з <https://www.efsa.europa.eu/en/data/data-standardisation>.

FoodDB (2023). Взято з <https://foodb.ca/>.

Gkoutos, G. V., Schofield, P. N., & Hoehndorf, R. (2012). The Units Ontology: a tool for integrating units of measurement in science. *Database*, 2012, bas033. doi:10.1093/database/bas033.

Global Product Classification (2023). Взято з <https://www.gs1.org/standards/gpc>.

GS1 GDSN release (2023). Взято з <https://www.gs1.org/standards/gdsn/3-1-21>.

GS1 Web Vocabulary (2023). Взято з <https://www.gs1.org/voc/>.

Haussmann, S., Seneviratne, O., Chen, Yu, Ne'eman, Y., Codella, J., Chen, C., McGuinness, D., & Zaki, M. (2019). FoodKG: A Semantics-Driven Knowledge Graph for Food Recommendation. *The Semantic Web — ISWC 2019*, 146–162 doi:10.1007/978-3-030-30796-7_10.

Haussmann, S., Chen, Y., Seneviratne, O., Rastogi, N., Codella, J., Chen, C.H., McGuinness, D., & Zaki, M. J. (2019). FoodKG enabled Q&A application. *Proceedings of International Semantic Web Conference*. Взято з <http://ceur-ws.org/Vol-2456/paper71.pdf>.

Harpring, P. (2010). *Introduction to controlled vocabularies: terminology for art, architecture, and other cultural works*. Los Angeles: Getty Publications. Взято з <https://www.getty.edu/publications/virtuallibrary/160606018X.html>.

Hepp, Martin (2008). *GoodRelations: An Ontology for Describing Products and Services Offers on the Web*. Proceedings of the 16th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management, 5268. 329-346. doi:10.1007/978-3-540-87696-0_29.

Horváth, I., & Gerritsen, B. H. (2012). *Cyber-physical systems: Concepts, technologies and implementation principles*. Proceedings of TMCE, 1, 7—11.

Imran, M., & Young, B. (2015). The application of common logic based formal ontologies to assembly knowledge sharing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 26(1), 139—158. Взято з https://www.academia.edu/14501665/Cyber_Physical_Systems_Concepts_technologies_and_implementation_principles.

Kadar, B., Terkaj, W., Sacco, M. (2013). Semantic virtual factory supporting interoperable modelling and evaluation of production systems. *CIRP Annals — Manufacturing Technology*, 62(1), 443—446. doi:10.1016/j.cirp.2013.03.045.

LanguaL. (2023). Взято з <https://www.langua.org/default.asp>.

Letia, I., Groza, A. (2010). Developing Hazard Ontology for supporting HACCP systems in food supply chains. *SISY 2010 — 8th IEEE International Symposium on Intelligent Systems and Informatics*, 57—62. Взято з 10.1109/SISY.2010.5647189.

Lu, Y. (2017). Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of industrial information integration*, 6, 1—10. doi:10.1016/j.jii.2017.04.005.

Moller, Anders, Unwin, Ian, Ireland, Jayne, Roe, Mark, Becker, Wulff & Colombani, Paolo. (2008). *The EuroFIR Thesauri 2008 EuroFIR Technical Report D1.8.22*. Denmark: Danish Food Information. Взято з https://www.researchgate.net/publication/236035595_The_EuroFIR_Thesauri_EuroFIR_D1822.

Moller, A., & Ireland, J. (2017). *LanguaL 2017 — The LanguaL Thesaurus Technical Report*. Denmark: Danish Food Informatics. doi:10.13140/RG.2.2.23131.26404.

Mu, X., Zhang, Lin (2015). *An Ontology Development For HACCP Knowledge Description and Sharing in Food Cold Chain*. Proceedings of the International Conference on Chemical, Material and Food Engineering, 154—158. doi: 10.2991/cmfe-15.2015.37.

Muljarto, A. R., Salmon, J.-M., Neveu, P., Buche, P., & Charnomordic, B. (2014). Ontology-Based Model for Food Transformation Processes — Application to Winemaking. *Communications in Computer and Information Science*, 478, 32—343. doi:10.1007/978-3-319-13674-5_30.

Open Food Facts (2023). Взято з <https://vest.agrisemantics.org/content/openfood-facts-food-ontology>.

Palmer, C., Urwin, E. N., Pinazo-Sánchez, J. M., Cid, F. S., Rodríguez, E. P., Pajkowska-Gocva, S., & Young, R. I. M. (2016). Reference ontologies to support the development of global production network systems. *Computers in Industry*, 77, 48—60. doi:10.1016/j.compind.2015.11.002.

Perzylo, A., Somani, N., Rickert, M., & Knoll, A. (2015). An ontology for CAD data and geometric constraints as a link between product models and semantic robot task descriptions. *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2015 IEEE/RSJ International Conference*, 4197—4203. doi: 10.1109/IROS.2015.7353971.

Rostami, A., Xie, Z., Ishino, A., Yamakata, Y., Aizawa, K., & Jain, R. (2021). World Food Atlas Project. Proceedings of International Workshop on Multimedia for Cooking and Eating Activities, 33-36. doi:10.1145/3463947.3469235.

Schema.org. (2023). Взято з <https://schema.org/>.

Shani, U., Franke, M., Hribernik, K. A., & Thoben, K. D. (2017). Ontology mediation to rule them all: Managing the plurality in product service systems. *Systems Conference (SysCon), 2017 Annual IEEE International*, 1—7. doi: 10.1109/SYSCON.2017.7934810.

Snae, Chakkrit & Brückner, Michael. (2008). FOODS: A Food-Oriented Ontology-Driven System. *2008 2nd IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (IEEE-DEST 2008)*, 168—176. doi:10.1109/DEST.2008.4635195.

Staab S., Studer R., Schnurr H.-P., & Sure Y. (2001) Knowledge Processes and Ontologies. *IEEE Intelligent Systems*, 16 (1), 26—34. doi:10.1109/5254.912382.

Usman, Z., Young, R. I. M., Chungoora, N., Palmer, C., Case, K., & Harding, J. A. (2013). Towards a formal manufacturing reference ontology. *International Journal of Production Research*, 51(22), 6553—6572. doi:10.1080/00207543.2013.801570.