

АНОТАЦІЯ

Горбатюк С. О. Методи модельного розроблення та аналізування кібербезпеки для інформаційних систем логістики. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 12.123 Комп'ютерна інженерія. – Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова, Київ, 2023.

Загальна проблема дослідження полягає у перевірці властивостей безпеки розподілених систем, що використовуються для вирішення відповідних задач у системах міжнародної логістики, за допомогою перевірки моделей (model checking) та алгебраїчного підходу з інсерційним моделюванням. Іншою актуальною проблемою є задача виявлення та протидії випадкам шахрайства, особлива увага приділяється даній проблемі ще на стадії розробки високонадійних систем за допомогою модельного способу розробки логістичних систем.

Метою роботи є вирішення науково-прикладної проблеми створення методології для технології модельного способу розробки для високонадійних розподілених систем, зокрема для систем логістики.

Для досягнення вказаної мети необхідно розв'язати наступні взаємопов'язані задачі:

- провести аналіз існуючих моделей, методів і технологічних засобів, які дозволяють створити інструментарій та методологію для використання розподілених систем, зокрема технології блокчейн в логістичних системах;
- провести аналіз властивостей безпеки та можливих атак в логістичних системах
- визначити теоретичні основи базових понять інсерційного моделювання для логістичних агентів в певному діючому середовищі;
- запропонувати архітектурно-структурні рішення, алгоритми та програмно-апаратні засоби формування і відображення взаємодії логістичних

агентів та безперервного контролю за їх розміщенням та поведінками з метою дотримання безпеки функціонування;

- запропонувати рішення, методи кібербезпеки та алгоритми верифікації для перевірки властивостей цілісних логістичних систем, таких як безпека та життєдіяльність;

- визначити використання алгебраїчного та інсерційного підходу на стадіях модельного способу розробки для процедур верифікації, тестування;

- розглянути методи безпеки в логістичних системах, захисту від атак зловмисника та шахрайства та методи аналізу вразливостей;

- розглянути методи аналізу безпеки в системах на основі блокчейн платформ на основі інсерційного підходу;

- побудувати приклад модельної розробки логістичної системи.

Перший розділ дисертації *«Сучасні системи логістики та модельний метод розробки»* присвячено виявленню та вивченню глобальних проблем, які накопичились в сучасній системі міжнародної логістики, та які можуть бути вирішені за допомогою застосування технології блокчейн та методів модельної розробки систем. Проаналізовано приклади на напрямки прогресивних шляхів використання розподілених систем та смарт-контрактів на їх основі в міжнародній логістиці передовими логістичними операторами, науковими та державними установами. Розглянуто методологію проектування логістичних систем з врахуванням необхідності дотримання властивостей безпеки та надійності протидії шахрайству та атакам зловмисників. При розробці високонадійних систем, критичних до безпеки, є доцільним використання модельного способу розробки, тому проаналізовано процедуру валідації та верифікації артефактів на всіх етапах розробки таких систем.

У другому розділі *«Алгебраїчний підхід у формалізації, верифікації та модельному тестуванні в системах міжнародної та місцевої обслуговуючої логістики»* розкрито основи використання алгебраїчного підходу та інсерційного моделювання при формальній верифікації та формалізації за допомогою тестування на основі моделей. Наведено приклад застосування на

практиці алгебри поведінок на прикладі діючої закритої логістичної системи фермерського господарства, наведено приклади запису моделей поведінок агентів. Розглянуто основні властивості безпеки, що перевіряються в логістичній системі фермерського господарства. Приклад застосування у фермерському господарстві розширено до більш широкого застосування у відкритій системі міжнародної логістики.

У третьому розділі *«Перевірка властивостей кібербезпеки в проектуванні логістичних систем на блокчейн платформах»* проаналізовано проблеми безпеки в проектуванні логістичної блокчейн платформи. Описано інсерційну семантику блокчейн-системи та в розумних контрактах (Smart Contracts,) змодельовано дії зловмисників у цих системах, формалізовано атаки DAO для розумних контрактів. Запропоновано принципи дій для запобігання атакам при проектуванні блокчейн систем.

Четвертий розділ *«Використання модельного способу в розробці індустріальних логістичних систем»* описує два приклади використання модельного методу розробки: приклад побудови логістичної системи для фермерського господарства, яка використовує моделювання на рівні моделей вимог та другий - приклад формалізації вимог та подальше розроблення для логістичної системи, що визначає та супроводжує функціонування ланцюжка постачання. Розглянуто схему документообігу при мультимодальному міжнародному перевезенні, запропоновано використання модельного способу розробки контракту для моноmodalного перевезення на блокчейн платформі з метою мінімізації ризиків для учасників та запобігання дій шахраїв.

Практичне значення отриманих результатів полягає у доведенні наукових результатів до практичного використання, які підтверджені актами впровадження ФГ «Надія», ТОВ «Смарт Трейдинг», ПрАТ «Ксібекс», приватного підприємства ЛітСофт.

Автор дисертації є співрозробником спеціальної системи логістики для фермерського господарства, розробленої та впровадженої в фермерському господарстві «Надія», що знаходиться в с. Марійка, Жашківського району,

Черкаської області, на основі досліджень в дисертації. Описані в дисертаційному дослідженні підходи до побудови логістичних систем є універсальними, та можуть використовуватись, за умови адаптації, до логістичних систем будь-якої складності та масштабу, як для закритих, так і для відкритих систем національного та міжнародного рівня.

Одержані результати також використовуються з навчальною метою в Національному університеті біоресурсів і природокористування України під час викладання дисциплін для ІТ-спеціальностей.

Ключові слова: верифікація, валідація, математичне моделювання, алгебраїчний підхід, інсерційне моделювання, розподілені системи, міжнародна логістика, логістичні системи.

ANNOTATION

S.O. Horbatiuk. Cybersecurity problems and model method of distributed systems development in international logistics. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 12.123 Computer Engineering. – V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine, Kyiv, 2021.

The general problem of the research is to check the security properties of distributed systems used to solve problems in international logistics systems, using model checking and algebraic approach with insertion modeling. Another urgent problem is the task of detecting and counteracting cases of fraud, special attention is paid to this problem at the stage of development of highly reliable systems using a model method of developing logistics systems.

The goal of the work is to solve the scientific and applied problem of creating a technology model of development for highly reliable distributed systems, in particular for logistics systems.

To achieve this goal it is necessary to solve the following interrelated problems:

- to analyze the existing models, methods and technological means that allow to create tools and methodology for the use of distributed systems, in particular blockchain technology in logistics systems;
- to analyze security properties and possible attacks in logistics systems;
- to determine the theoretical foundations of the basic concepts of insertion modeling for logistics agents in a particular operating environment;
- to offer architectural and structural solutions, algorithms and software and hardware for the formation and display of the interaction of logistics agents and continuous control over their location and behavior in order to ensure the safety of operation;
- to propose solutions, cybersecurity methods and verification algorithms to verify the properties of integrated logistics systems, such as security and life;
- to determine the use of algebraic and insertional approach at the stages of the model method of development for verification, testing procedures;
- to consider methods of security in logistics systems, protection against attackers and fraud and methods of vulnerability analysis;
- to consider methods of security analysis in systems based on blockchain platforms based on the insertion approach;
- to build an example of model development of a logistics system.

The first section of the dissertation "*Modern logistics systems and model development method*" is devoted to identifying and studying global problems that have accumulated in the modern system of international logistics, and which can be solved using blockchain technology and methods of model development. Examples on the directions of progressive ways of using distributed systems and smart contracts based on them in international logistics by advanced logistics operators, research and government agencies are analyzed. The methodology of designing logistics systems is considered, taking into account the need to comply with the properties of security and reliability to combat fraud and attacks by attackers. When developing highly reliable systems critical to security, it is advisable to use a model

method of development, so the procedure for validation and verification of artifacts at all stages of development of such systems is analyzed.

The second section *"Algebraic approach in formalization, verification and model testing in international and local service logistics systems"* reveals the basics of using the algebraic approach and insertion modeling in formal verification and formalization through model-based testing. An example of application in practice of algebra of behaviors on an example of the operating closed logistic system of a farm is given, examples of record of models of behavior of agents are resulted. The main safety properties tested in the logistics system of the farm are considered. The example of application in farming has been extended to a wider application in the open system of international logistics.

The third section *"Testing the properties of cybersecurity in the design of logistics systems on blockchain platforms"* analyzes security issues in the design of logistics blockchain platform. The insertion semantics of a blockchain system are described and in Smart Contracts, the actions of attackers in these systems are modeled, DAO attacks for smart contracts are formalized. The principles of actions for prevention of attacks at designing of blockchain systems are offered.

The fourth section *"Using the model method in the development of industrial logistics systems"* describes two examples of using the model development method: an example of building a logistics system for a farm that uses modeling at the level of requirements models and the second - an example of formalization requirements and further development for the logistics system. and accompanies the functioning of the supply chain. The scheme of document circulation in multimodal international transportation is considered, the use of a model method of contract development for monomodal transportation on a blockchain platform is proposed in order to minimize risks for participants and prevent fraud.

The practical significance of the obtained results lies in bringing the scientific results to practical use, which are confirmed by the acts of implementation of farming household "Nadiya", LLC "Smart Trading", PJSC "Xebec's", private enterprise LitSoft.

The author of the dissertation is a co-developer of a special logistics system for the farm, developed and implemented in the farm "Nadiya" located in the village. Mariyka, Zhashkiv district, Cherkasy region, based on research in the dissertation. The approaches to the construction of logistics systems described in the dissertation research are universal and can be used, subject to adaptation, to logistics systems of any complexity and scale, both for closed and open systems of national and international level.

The obtained results are also used for educational purposes at the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine in teaching disciplines for IT specialties.

Keywords: *verification, validation, mathematical modeling, algebraic approach, insertion modeling, distributed systems, international logistics, logistics systems.*