

## АНОТАЦІЯ

*Нікітченко М. І.* Методи забезпечення консистентності моделей програмних систем в інкрементальних процесах розробки та засоби їх інтеграції з інструментальними середовищами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення. – Національний університет «Одеська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2025.

Роботу присвячено вирішенню актуальної науково-прикладної задачі, яка полягає у підвищенні ефективності та достовірності процесу модельно-орієнтованої розробки складних програмних систем шляхом розробки науково-методичного апарату та інструментальних засобів для забезпечення гарантованої консистентності UML-моделей.

Актуальність теми дослідження визначається наявним протиріччям між вимогами до формальної строгості моделей UML, яка традиційно забезпечується стандартом XMI, та потребою у гнучкості й інтеграції з сучасними ітеративними процесами розробки, де перевагу мають легковагові формати, такі як JSON. Цей конфлікт призводить до розриву між проектною моделлю та її реалізацією, провокуючи архітектурний дрейф та накопичення прихованих архітектурних дефектів, що експоненційно збільшує вартість супроводу програмного забезпечення. Встановлене протиріччя долається шляхом розробки нового підходу, що поєднує гнучкість формату JSON для опису статичної структури та формальну строгість XMI для поведінкової семантики в рамках єдиної, цілісної та гарантовано узгодженої моделі з двома поданнями. Цей підхід забезпечує ефективну перевірку консистентності в умовах сучасної ітеративної розробки. Це набуває особливого значення в контексті автоматизації процесів DevOps, дозволяючи подолати ізолюваність класичних CASE-засобів від конвеєрів CI/CD. Відтак, запропоноване рішення уможливлює реалізацію стратегії «shift-left», виявляючи архітектурні помилки на ранніх стадіях без сповільнення темпів написання коду.

Метою роботи є підвищення ефективності та достовірності процесу модельно-орієнтованої розробки складних програмних систем шляхом розробки науково-методичного апарату та інструментальних засобів для забезпечення гарантованої консистентності UML-моделей з двома поданнями (структурним у форматі JSON та поведінковим у форматі XMI).

Для досягнення поставленої мети було сформульовано та вирішено такі **задачі**:

- Проведено аналіз проблеми забезпечення консистентності UML-моделей, існуючих форматів їх зберігання та функціональності сучасних CASE-засобів для виявлення їх існуючих недоліків та обґрунтування комбінованого підходу зі структурним та поведінковим поданнями. Додатково було сформульовано формальну класифікацію помилок неузгодженості між структурними та поведінковими поданнями для обґрунтування актуальності проблеми.

- Розроблено формальну метамодель UML з двома поданнями, що математично описує структурне та поведінкове подання, та встановлено відношення відповідності між ними. Для структурного подання було сформовано узагальнений підхід до його відображення, ідентифікації елементів та дворівневої валідації у JSON; для поведінкового подання так само були визначені та описані узагальнені правила його представлення через профіль UML, трасування до структури та перевірки формальних інваріантів у XMI. Додатково, для цієї метамоделі було сформульовано набір правил консистентності мовою OCL та обґрунтовано їх трансформацію до формалізму, придатного для автоматизованої верифікації за допомогою Alloy.

- Розроблено метод автоматизованого забезпечення консистентності, який базується на комбінованому застосуванні OCL-інваріантів для перевірки правил та трансформації до формалізму Alloy для глибокої верифікації. Сформульовано та доведено теорему інкрементальної консистентності, яка теоретично обґрунтовує метод інкрементальної валідації на основі графа залежностей з класифікованими ребрами. Також розроблено метод двосторонньої синхронізації та алгоритми трансформації між монолітним поданням у форматі XMI та запропонованою моделлю з двома поданнями для забезпечення сумісності з існуючими інструментами.

- Розроблено архітектуру та реалізовано прототип програмного плагіна, що

втілює запропоновані методи, та проведено експериментальну оцінку його ефективності й продуктивності у порівнянні з існуючими промисловими аналогами.

Наукова новизна одержаних результатів, які виносяться на захист, полягає у наступному.

– *Вперше розроблено* формальну метамодель UML, яка охоплює структурне та поведінкове подання, реалізовані на основі комбінованого використання форматів JSON та XMI відповідно, які логічно пов'язані між собою через формально визначене відношення відповідності; для цих подань сформульовано та узагальнено підходи до їх формалізації (для JSON) та правил представлення й валідації (для XMI). На відміну від існуючих підходів, що використовують монолітні або пропрієтарні формати, запропонована метамодель одночасно забезпечує компактне та VCS-дружнє зберігання статичної структури, адаптовану до частих і швидких змін, та підтримку стандартного XMI-представлення для динамічних аспектів, що забезпечує як сумісність із існуючими інструментами моделювання, так і ефективну інтеграцію в сучасні ітеративні процеси розробки.

– *Вперше запропоновано* метод автоматизованого забезпечення консистентності UML-моделі, побудованої за принципом двох подань. Метод функціонує на основі формально визначеного відношення відповідності між структурними та поведінковими елементами та базується на застосуванні OCL-інваріантів для верифікації локальної та глобальної узгодженості моделей при інкрементальному редагуванні. Для подолання обмежень OCL, він також включає двоступеневий підхід з трансформацією моделі у специфікацію Alloy для глибокої верифікації за допомогою SAT-вирішувачів. На відміну від відомих методів валідації, запропонований метод дозволяє проводити глибоку формальну верифікацію складних транзитивних властивостей та автоматично генерувати контрприклад для дефектів, що підвищує точність і повноту виявлення семантичних неузгодженостей.

– *Вперше сформульовано та доведено* теорему інкрементальної консистентності, яка гарантує, що будь-яка послідовність допустимих змін над структурним або поведінковим поданням, за умови виконання локалізованих перевірок OCL-інваріантів, зберігає глобальну узгодженість моделі в межах

формального відношення відповідності. На відміну від традиційних підходів повної перевірки (зі складністю  $O(N)$ ), це дозволяє теоретично обґрунтувати коректність та обчислювальну ефективність (зі складністю  $O(k \cdot d)$ ) інкрементальних методів валідації, завдяки чому можливе створення інструментів, придатних для інтеграції в CI/CD та IDE.

– *Отримав подальший розвиток* метод двосторонньої синхронізації, що реалізований через механізм інкрементальних оновлень та локалізованої перевірки консистентності, яка ґрунтується на формальному графі залежностей із запропонованою класифікацією його ребер на структурні, семантичні та трасувальні. Особливістю розробленого методу є поєднання автоматичного виявлення конфліктів, формалізованих правил трансформації моделей і підтримки взаємної актуальності обох подань у реальному часі. На відміну від існуючих підходів, що часто є односпрямованими або покладаються на ручне втручання, запропонований метод забезпечує проактивну підтримку узгодженості в обох напрямках, що дозволяє одночасно вносити зміни як з боку коду, так і з боку моделі, запобігаючи архітектурному дрейфу.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці алгоритмічних та інструментальних засобів, що може бути безпосередньо впроваджено в процеси розробки програмного забезпечення. Розроблено та реалізовано прототип програмного плагіна, який втілює запропоновані методи, може бути інтегрований у сучасні процеси безперервної інтеграції та доставки і дозволяє автоматизувати контроль архітектурної цілісності. Запропонований підхід дозволяє скоротити час перевірки консистентності після внесення змін у 12 разів (з 3,8 с до 0,3 с) та зменшити споживання оперативної пам'яті вдвічі порівняно з традиційними методами повної валідації. Експериментально підтверджено високу достовірність методу: точність виявлення семантичних дефектів (F1-міра) становить 98,5 % у нативному середовищі та 95,7 % в умовах інтероперабельності, що значно перевищує показники існуючих промислових аналогів. В результаті це дозволяє знизити вартість та трудомісткість розробки за рахунок раннього автоматизованого виявлення прихованих архітектурних дефектів, запобігаючи їх прояву на пізніх стадіях життєвого циклу.

Об'єкт дослідження – процес модельно-орієнтованої розробки програмного забезпечення.

Предмет дослідження – моделі та інструментальні засоби забезпечення, які реалізують методи консистентності UML-моделей зі структурним та поведінковим поданнями.

**Ключові слова:** модельно-орієнтована інженерія, UML, консистентність моделі, подання моделі, JSON, XMI, інкрементальна валідація, двостороння синхронізація, програмний плагін, граф залежностей.

### Список публікацій здобувача

*Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації.*

1. Нікітченко М. І. Дворівнева архітектура UML на основі гібридного формату JSON IXMI. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2025. Т. 36 (75), № 1. С. 157–162. DOI: 10.32782/2663-5941/2025.1.2/23. Видання включено до переліку наукових фахових видань України, категорія «Б».

[https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2025/1\\_2025/part\\_2/25.pdf](https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2025/1_2025/part_2/25.pdf)

2. Nikitchenko, M. I., Komleva, N. O. Method for Incremental Control of Consistency Between Structural and Behavioral Views of Software Architecture. AAIT. 2025, 8 (2), 162–177. DOI: 10.15276/aait.08.2025.11. Видання включено до переліку наукових фахових видань України, категорія «Б».

<https://aait.od.ua/index.php/journal/article/view/177/179>

3. Нікітченко М. І., Комлева Н. О. Структурне подання UML-метамоделі у форматі JSON. Інформатика та математичні методи в моделюванні. 2025. Том 15, № 2. С. 205–217. DOI: 10.15276/imms.v15.no2.205. Видання включено до переліку наукових фахових видань України, категорія «Б».

[http://immm.op.edu.ua/files/archive/n2\\_v15\\_2025/2025\\_2\(6\).pdf](http://immm.op.edu.ua/files/archive/n2_v15_2025/2025_2(6).pdf)

4. Нікітченко М. І., Комлева Н. О. Поведінкове подання у форматі XMI в межах UML-метамоделі з двома поданнями. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2025. Т. 357, № 5.1, С. 326-336. DOI: 10.31891/2307-5732-2025-357-42. Видання включено до переліку наукових фахових видань України, категорія «Б».

<https://heraldts.khmnu.edu.ua/index.php/heraldts/article/view/1943>

5. Нікітченко М. І. Архітектура та реалізація плагіна інкрементальної валідації UML-метамodelей з двома поданнями. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2025. Т. 36 (75), № 4. С. 208-216. DOI: 10.32782/2663-5941/2025.4.2/28. *Видання включено до переліку наукових фахових видань України, категорія «Б».*

[https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2025/4\\_2025/part\\_2/30.pdf](https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2025/4_2025/part_2/30.pdf)

6. Нікітченко М. І., Комлева Н. О. Метод двосторонньої синхронізації UML-моделі з двома поданнями на основі інкрементальних оновлень. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2025. Т. 3(94), № 2. С. 243-249. DOI: 10.35546/kntu2078-4481.2025.3.2.30. *Видання включено до переліку наукових фахових видань України, категорія «Б».*

[https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk\\_kntu/article/view/1137](https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk_kntu/article/view/1137)

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.*

7. Нікітченко М. І. Управління та редагування UML-документів: структура, інтеграція, автоматизація. Інформатика. Культура. Техніка. Одеса, 2024. Т. 1. № 1. С. 104-111. DOI: 10.15276/ict.01.2024.15.

<https://ict.op.edu.ua/index.php/journal/uk/article/view/105>

8. Нікітченко М. І. Розвиток і вдосконалення UML-моделей у гібридному форматі. Матеріали конференцій МЦНД. Дрогобич, Україна, 31.01.2025. С. 294–296. DOI: 10.62731/mcnd-31.01.2025.008.

<https://archives.mcnd.org.ua/index.php/conference-proceeding/article/view/521>

9. Нікітченко М. І. Інтеграція гібридного формату UML та IDE в контексті Model-Driven Development. Матеріали конференцій МЦНД. Тернопіль, Україна, 21.03.2025. С. 192–194. DOI: 10.62731/mcnd-21.03.2025.

<https://archives.mcnd.org.ua/index.php/conference-proceeding/article/view/654>

10. Нікітченко М. І. Аналіз форматів збереження UML-моделей у сучасних CASE-засобах. Матеріали конференцій МЦНД. Чернігів, Україна, 20.06.2025. С. 208–212. DOI: 10.62731/mcnd-20.06.2025.

<https://archives.mcnd.org.ua/index.php/conference-proceeding/article/view/862>

11. Нікітченко М. І. Механізм перетворення UML-моделей із XMI до подання з розділенням структури та поведінки. Матеріали конференцій МЦНД. Рівне, Україна, 12.09.2025. С. 108-111. DOI: 10.62731/mcnd-12.09.2025.004.

<https://archives.mcnd.org.ua/index.php/conference-proceeding/article/view/1047>

12. Нікітченко М. І. Механізм зворотної трансформації комбінованої UML-моделі у формат стандартного XMI. Матеріали конференцій МЦНД. Тернопіль, Україна, 19.09.2025. С. 94-97. DOI: 10.62731/mcnd-19.09.2025.004

<https://archives.mcnd.org.ua/index.php/conference-proceeding/article/view/1053>

## ABSTRACT

*Nikitchenko M. I.* Methods for ensuring the consistency of software system models in incremental development processes and means of their integration with tool environments. – Qualification scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 121 Software Engineering. – National University “Odessa Polytechnic” of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Odessa, 2025.

The work is devoted to solving an urgent scientific and applied problem, which consists in increasing the efficiency and reliability of the model-oriented development of complex software systems by developing a scientific and methodological apparatus and tools to ensure the guaranteed consistency of UML models.

The relevance of the research topic is determined by the existing contradiction between the requirements for the formal rigor of UML models, which is traditionally ensured by the XMI standard, and the need for flexibility and integration with modern iterative development processes, where lightweight formats such as JSON are preferred. This conflict leads to a gap between the design model and its implementation, provoking “architectural drift” and the accumulation of hidden architectural defects, which exponentially increases the cost of software maintenance. The established contradiction is overcome by developing a new approach that combines the flexibility of the JSON format for describing static structure and the formal rigor of XMI for behavioral semantics within

a single, coherent, and guaranteed consistent model with two views. This approach provides effective consistency checking in the context of modern iterative development. This is particularly important in the context of DevOps process automation, as it allows overcoming the isolation of classic CASE tools from CI/CD pipelines. Thus, the proposed solution enables the implementation of the «shift-left» strategy, detecting architectural errors at early stages without slowing down the pace of code writing.

**The purpose of the study** is to improve the efficiency and reliability of the model-driven development process for complex software systems by developing scientific and methodological tools and instruments to ensure the guaranteed consistency of UML models with two viws (structural in JSON format and behavioral in XMI format).

To achieve this goal, the following tasks were formulated and solved:

- An analysis of the problem of ensuring the consistency of UML models, existing formats for their storage, and the functionality of modern CASE tools was conducted to identify their existing shortcomings and justify a combined approach with structural and behavioral representations. In addition, a formal classification of inconsistencies between structural and behavioral viws was formulated to justify the relevance of the problem.

- A formal UML metamodel with two viws was developed, which mathematically describes the structural and behavioral views, and the correspondence between them was established. For the structural view, a generalized approach to its reflection, element identification, and two-level validation in JSON was formulated; for the behavioral view, generalized rules for its representation through the UML profile, tracing to the structure, and verification of formal invariants in XMI were also defined and described. Additionally, a set of consistency rules was formulated for this metamodel in OCL and their transformation into a formalism suitable for automated verification using Alloy was justified.

- A method for automated consistency assurance has been developed, based on the combined use of OCL invariants for rule checking and transformation to Alloy formalism for deep verification. An incremental consistency theorem has been formulated and proven, which theoretically justifies the method of incremental validation based on a dependency graph with classified edges. A method of bidirectional synchronization and transformation algorithms between a monolithic representation in XMI format and the proposed model with

two representations have also been developed to ensure compatibility with existing tools.

- An architecture has been developed and a prototype software plugin implementing the proposed methods has been implemented, and an experimental evaluation of its effectiveness and performance has been conducted in comparison with existing industrial analogues.

The scientific novelty of the results presented for defense lies in the following:

- *For the first time*, a formal UML metamodel has been developed that covers structural and behavioral views implemented based on the combined use of JSON and XMI formats, respectively, which are logically linked through a formally defined correspondence relationship. Approaches to their formalization (for JSON) and representation and validation rules (for XMI) have been formulated and generalized for these views. Unlike existing approaches that use monolithic or proprietary formats, the proposed metamodel simultaneously provides compact and VCS-friendly storage of static structure, adapted to frequent and rapid changes, and support for standard XMI representation for dynamic aspects, ensuring both compatibility with existing modeling tools and effective integration into modern iterative development processes.

- *For the first time*, a method for automated consistency assurance of a UML model built on the principle of two views is proposed. The method operates on the basis of a formally defined correspondence between structural and behavioral elements and is based on the use of OCL invariants to verify the local and global consistency of models during incremental editing. To overcome the limitations of OCL, it also includes a two-step approach with model transformation into an Alloy specification for deep verification using SAT solvers. Unlike known validation methods, the proposed method allows for deep formal verification of complex transitive properties and automatic generation of counterexamples for defects, which increases the accuracy and completeness of semantic inconsistency detection.

- *For the first time*, the incremental consistency theorem has been formulated and proven, which guarantees that any sequence of permissible changes to the structural or behavioral view, subject to localized checks of OCL invariants, preserves the global consistency of the model within the formal correspondence relation. Unlike traditional full

verification approaches (with  $O(N)$  complexity), this allows us to theoretically justify the correctness and computational efficiency (with  $O(k \cdot d)$  complexity) of incremental validation methods, making it possible to create tools suitable for integration into CI/CD and IDE.

– The method of two-way synchronization *has been further developed*, implemented through a mechanism of incremental updates and localized consistency checking, which is based on a formal dependency graph with the proposed classification of its edges into structural, semantic, and tracing ones. A distinctive feature of the developed method is the combination of automatic conflict detection, formalized model transformation rules, and real-time support for the mutual relevance of both representations. Unlike existing approaches, which are often unidirectional or rely on manual intervention, the proposed method provides proactive support for consistency in both directions, allowing simultaneous changes to be made on both the code and model sides, preventing architectural drift.

**The practical significance of the obtained results** lies in the development of algorithmic and instrumental means that can be directly implemented in software development processes. A prototype software plugin has been developed and implemented that embodies the proposed methods, can be integrated into modern continuous integration and delivery processes, and allows for the automation of architectural integrity control. The proposed approach reduces the consistency verification time after changes by 12 times (from 3.8 s to 0.3 s) and halves the RAM consumption compared to traditional full validation methods. The high reliability of the method has been experimentally confirmed: the accuracy of semantic defect detection (F1-measure) is 98.5% in a native environment and 95.7% in interoperability conditions, which significantly exceeds the performance of existing industrial analogues. As a result, this reduces the cost and labor intensity of development through early automated detection of hidden architectural defects, preventing their manifestation in later stages of the life cycle.

The object of research is the process of model-driven software development.

The subject of research is methods, models, and tools for ensuring the consistency of UML models with two representations.

**Keywords:** model-driven engineering, UML, model consistency, two model views,

JSON, XMI, incremental validation, two-way synchronization, software plugin, dependency graph.

### **List of publications of the applicant**

*Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published.*

1. Nikitchenko, M. I. Two-tier UML architecture based on hybrid JSON and XMI format. Scientific Notes of V. I. Vernadsky Ternopil National University. Series: Technical Sciences. 2025. Vol. 36 (75), No. 1. Pp. 157–162. DOI: 10.32782/2663-5941/2025.1.2/23. *The issue is included in the list of scientific professional publications of Ukraine, category «B».*

[https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2025/1\\_2025/part\\_2/25.pdf](https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2025/1_2025/part_2/25.pdf)

2. Nikitchenko, M. I., Komleva, N. O. Method for Incremental Control of Consistency Between Structural and Behavioral Views of Software Architecture. AAIT. 2025, 8 (2), 162–177. DOI: 10.15276/aait.08.2025.11. *The issue is included in the list of scientific professional publications of Ukraine, category «B».*

<https://aait.od.ua/index.php/journal/article/view/177/179>

3. Nikitchenko M. I., Komleva N. O. Structural view of the UML metamodel in JSON format. Informatics and Mathematical Methods in Modeling. 2025. Volume 15, No. 2. Pp. 205–217. DOI: 10.15276/imms.v15.no2.205. *The issue is included in the list of scientific professional publications of Ukraine, category «B».*

[http://immm.op.edu.ua/files/archive/n2\\_v15\\_2025/2025\\_2\(6\).pdf](http://immm.op.edu.ua/files/archive/n2_v15_2025/2025_2(6).pdf)

4. Nikitchenko M. I., Komleva N. O. Behavioral view in XMI format within a UML metamodel with two views. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2025. Vol. 357, No 5.1, Pp. 326-336. DOI: 10.31891/2307-5732-2025-357-42. *The issue is included in the list of scientific professional publications of Ukraine, category «B».*

<https://heraldts.khmnu.edu.ua/index.php/heraldts/article/view/1943>

5. Nikitchenko M. I. Architecture and implementation of a plugin for incremental validation of UML metamodels with two views. Scientific notes of V.I. Vernadsky Ternopil National University. Series: Technical sciences. 2025. Vol. 36 (75), No. 4. Pp. 208-216.

DOI: 10.32782/2663-5941/2025.4.2/28. *The issue is included in the list of scientific professional publications of Ukraine, category «B».*

[https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2025/4\\_2025/part\\_2/30.pdf](https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2025/4_2025/part_2/30.pdf)

6. Nikitchenko M. I., Komleva N. O. Method for bilateral synchronization of a UML model with two representations based on incremental updates. Bulletin of Kherson National Technical University. 2025. Vol. 3(94), No. 2. Pp. 243-249. DOI: 10.35546/kntu2078-4481.2025.3.2.30. *The issue is included in the list of scientific professional publications of Ukraine, category «B».*

[https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk\\_kntu/article/view/1137](https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk_kntu/article/view/1137)

*Scientific works that confirm the approbation of the dissertation materials.*

7. Nikitchenko M. Management and editing of UML documents: structure, integration, automation. Informatics. Culture. Technics. Odesa, 2024. Vol. 1, no. 1. P. 104–111. DOI: 10.15276/ict.01.2024.15.

<https://ict.op.edu.ua/index.php/journal/uk/article/view/105>

8. Nikitchenko M. Development and improvement of UML models in a hybrid format. Conference Proceedings of the International Center for Scientific Research. Drohobych, Ukraine, January 31, 2025. P. 294–296. DOI: <https://doi.org/10.62731/mcnd-31.01.2025.008>.

<https://archives.mcnd.org.ua/index.php/conference-proceeding/article/view/521>

9. Nikitchenko M. Integration of the hybrid UML format and IDE in the context of Model-Driven Development. Conference Proceedings of the International Center for Scientific Research. Ternopil, Ukraine, March 21, 2025. P. 192–194. DOI: 10.62731/mcnd-21.03.2025.

<https://archives.mcnd.org.ua/index.php/conference-proceeding/article/view/654>

10. Nikitchenko M. Analysis of storage formats for UML models in modern CASE-tools. Conference Proceedings of the International Center for Scientific Research. Chernihiv, Ukraine, June 20, 2025. P. 208–212. DOI: 10.62731/mcnd-20.06.2025.

<https://archives.mcnd.org.ua/index.php/conference-proceeding/article/view/862>

11. Nikitchenko M. Mechanism of converting UML models from XMI to a

representation with separated structure and behavior. Conference Proceedings of the International Center for Scientific Research. Rivne, Ukraine, September 12, 2025. P. 108–111. DOI: 10.62731/mcnd-12.09.2025.004.

<https://archives.mcnd.org.ua/index.php/conference-proceeding/article/view/1047>

12. Nikitchenko M. Mechanism of reverse transformation of a hybrid UML model into the standard XMI format. Conference Proceedings of the International Center for Scientific Research. Ternopil, Ukraine, September 19, 2025. P. 94–97. DOI: 10.62731/mcnd-19.09.2025.004.

<https://archives.mcnd.org.ua/index.php/conference-proceeding/article/view/1053>