ISSN 1814-4225 (print)
ISSN 2663-2012 (online)

УДК 004.42:006.063:629.73:338.45 **doi: 10.32620/aktt.2025.4sup2.18**

В. В. НЕРУБАСЬКИЙ, Т. С. КОЗАРИК

АТ «Елемент», Одеса, Україна

ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ LDRA TOOL SUITE ПРИ СЕРТИФІКАЦІЇ ВИРОБІВ АТ «ЕЛЕМЕНТ»

У вступній частині статті наведено стислу інформацію про основний напрямок діяльності АТ "Елемент" – розробку та виробництво електронних систем керування авіаційними двигунами. З метою забезпечення безпеки апаратури та програмного забезпечення таких авіаційних систем, їх розробка повинна вестися за суворого дотримання рекомендацій DO-178C/ED-12C і DO-254. Розробка має бути відстежуваною та веріфікованою, якісною й належно документованою. Обсяг робіт та документів із сертифікації виробів настільки великий, що традиційні паперові технології не гарантують належного результату. Тому використовуються спеціальні програмні інструменти, які автоматизують супровід розробки програмного забезпечення. У цій статті розглядаються інструменти, що автоматизують процеси відстеження виконання вимог, верифікації та тестування.

Дається огляд інструментів керування життєвим циклом програмного забезпечення вбудованих систем. Обмежувальними факторами при цьому є: підтримка обраної системи програмування з урахуванням типу цільового мікроконтролера; наявність менеджменту вимог, аналізу покриття та якості коду, трасування та різних видів тестування (модульного, інтеграційного тощо). До огляду потрапили найбільш значущі інструменти (V/sure Requirements, Enterprise Architect, DOORS, VectorCAST, Polarion та інші), що забезпечують підтримку сертифікації за DO-178C. Ці інструменти мають різні цінові категорії, різний набір функцій, різні можливості інтеграції з іншими системами, складність освоєння та специфічний післяпродажний сервіс.

Вибором АТ "Елемент" став LDRA Tool Suite – гнучка платформа для створення безпечного, захищеного та критично важливого програмного забезпечення в прискореному, економічно ефективному та керованому вимогами процесі. У подальшому дано опис основних функцій і складу додатків LDRA Tool Suite. Наведено основні принципи та особливості використання інструменту, а також його недоліки і, зокрема відсутність можливості простежити конкретні зміни в структурі вимог чи інших артефактах проєкту, а також висока складність освоєння.

Проаналізовано досвід освоєння LDRA Tool Suite, який свідчить про те, що витрати не завершуються покупкою ліцензії й потрібні інвестиції в навчання персоналу.

Ключові слова: *LDRA Tool Suite; DO-178C; електронна система керування;сертифікація програмного забезпечення; тестування; верифікація; кваліфікація інструментів.*

Вступ

АТ «Елемент» має багаторічний досвід розробки електронних систем керування (ЕСК) авіаційних двигунів і є одним з провідних підприємств України за науково-технічним напрямом «Електронні системи вимірювання, контролю параметрів та керування авіаційними двигунами», має Сертифікати Розробника та Виробника комплектуючих виробів авіаційної техніки.

Активно співпрацюючи з ДП «Івченко-Прогрес» та АТ «Мотор Січ», підприємство виготовило понад 300 серійних електронних регуляторів сімейства РДЦ-450М для різних модифікацій ТВД/ТВаД АІ-450 та виконує розробку ще кількох подібних виробів.

В останні роки активно розвиваються відносини з іноземними замовниками. За посередництвом ДП «Івченко-Прогрес» АТ «Елемент» розробляє електронний блок керування допоміжного ГТД турецького винищувача 5-го покоління KAAN.

Для забезпечення безпеки бортової апаратури авіаційного застосування всі роботи з програмного забезпечення (ПЗ) та апаратного забезпечення (АЗ) регуляторів на АТ «Елемент» ведуться відповідно до рекомендацій DO-178C/ED-12C та DO-254 [1, 2]. Необхідно відзначити, що комплекс заходів та підготовка відповідних документів щодо забезпечення доказової бази для сертифікації ЕСК за DO-178C/ED-12C та DO-254 є трудомістким і досить витратним процесом.

Найбільш витратними є розробка та верифікація ПЗ та АЗ. Заощаджувати час покликані відповідні програмні інструменти. Питання вибору та кваліфікації засобів розробки ПЗ ЕСК вже розглядалися [3], тому надалі основну увагу будемо приділяти

Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International

інструментам верифікації. Такі інструменти присутні на ринку і будучи спеціалізованими програмними засобами невисокого попиту коштують досить дорого. Тому задача вибору найбільш відповідного інструменту не є легкою.

Важкий вибір

Відразу обмовимося, що перед вибором конкретного продукту ми провели аналіз майже всього, що можна придбати на ринку. Головними вимогами для нас були: забезпечення кваліфікації ПЗ за DO-178 та АЗ за DO-254, можливість інтеграції з прийнятими засобами розробки (STM32CubeIDE, STM32CubeMX для мікроконтролерів сімейства STM32), засоби аналізу коду, трасування, керування вимогами, забезпечення тестування, перевірка структурного покриття, тощо. Такі системи об'єднані загальним терміном ALM (Application Lifecycle Management) - це комплексний процес керування життєвим циклом ПЗ від його початкового планування до розробки, розгортання та обслуговування системи.

V/sure Requirements ALM - комплексна платформа для збирання, аналізу та керування вимогами протягом усього життєвого циклу розробки ПЗ [4]. V/sure Requirements ALM забезпечує керування вимогами, ризиками, змінами, конфігурацією. Ця платформа також забезпечує простежуваність, встановлюючи та підтримуючи зв'язки між різними етапами процесу розробки ПЗ. Це дозволяє відслідковувати вимоги від їх походження до проектування, реалізації та тестування, гарантуючи, що кожну вимогу враховано та перевірено. Є система керування тестами, що надає командам розробників можливість ефективно відстежувати невдалі тести до дефектів.

V/sure Requirements ALM може працювати з іншими продуктами, але не має власних засобів тестування.

Enterprise Architect - це популярний інструмент моделювання та проектування, який підтримує розробку систем з інтенсивним використанням ПЗ у різних галузях, включаючи аерокосмічну [5]. Інструмент має засоби керування вимогами, конфігурацією, тестуванням, дозволяє встановлювати та керувати зв'язками простежуваності між різними артефактами проекту. Enterprise Architect підтримує створення та візуалізацію системних та програмних моделей, включаючи блок-схеми, кінцеві автомати, діаграми потоків даних та діаграми дій.

Для даного продукту DO-178C не є основним, але забезпечуються процеси керування конфігурацією та документуванням. Немає вбудованих засобів тестування та верифікації.

IBM DOORS надає можливості для збирання, аналізу та керування вимогами протягом усього життєвого циклу розробки ПЗ, підтримуючи суворе керування вимогами, потрібне DO-178C [6]. DOORS дозволяє збирати вимоги в структурованому вигляді, дозволяючи визначати ієрархію вимог, атрибути та відносини. Інструмент полегшує перевірку вимог, надаючи функції для зв'язування дій щодо перевірки, таких як тестові приклади або огляди, з вимогами. DOORS підтримує керування змінами, надаючи функції для відстеження та керування змінами вимог.

Недоліком є те, що DOORS не пропонує інтеграцію поза межами технологічної системи IBM, що ускладнює адаптацію до інших інструментів. Крім того для повноцінного тестування необхідно купувати додаткові інструменти.

VectorCAST - вбудована платформа тестування ПЗ, сімейство продуктів, які автоматизують дії з тестування протягом усього життєвого циклу розробки ПЗ. VectorCAST автоматизує завдання модульного, інтеграційного та системного тестування, забезпечує можливості структурного покриття для проектів, що розробляються відповідно до DO-178C рівнів A, B та C. Це тестування може виконуватися на цільовій платформі або симулятором цільової платформи. VectorCAST забезпечує автоматичне регресійне тестування, аналіз повноти тестів, формування інформації про покриття.

VectorCAST не має розвинених засобів керування вимогами та інстументів, орієнтованих на конкретний микроконтроллер (STM32).

Polarion - комплексна платформа управління життєвим циклом програм (ALM) фірми Siemens, яку можна використовувати для забезпечення відповідності вимогам DO-178C [5]. Polarion дозволяє ефективно збирати, систематизувати та керувати вимогами, підтримує керування змінами, надаючи функції для відстеження та керування змінами вимог, пропонує функції управління тестуванням, які підтримують створення, виконання та відстеження тестових випадків та результатів тестування. Присутні керування версіями, інформаційні панелі та відкритий API.

Цей продукт забезпечує лише менеджмент розробки ПЗ, а також має засоби керування тестуванням, але не має повноцінного середовища тестування.

Parasoft - набір продуктів для тестування [5]. Це рішення включає статичний аналіз, аналіз метрик, модульне тестування, покриття коду та покриття об'єктів, надаючи командам розробників практичний спосіб запобігання, виявлення та виправлення помилок у їх функціональних системах безпеки.

ISSN 1814-4225 (print)
ISSN 2663-2012 (online)

Рис.1. Можливості LDRA Tool Suite

Parasoft не має більшості функцій ALM систем і інтегрується лише у Microsoft Visual Studio.

Існує також багато відомих інструментів верифікації та тестування (Spira Teams, Jira, Tuleap та ін.), непридатних для розробки вбудованого ПЗ авіоніки або тих, що не мають засобів підтримки DO-178. Є інструменти - хмарні платформи (Modern Requirement, Xebrio, ReqView), застосування яких є неприйнятним за умовами безпеки або конфіденційності даних.

Всі вищезазнчені програмні продукти не відповідали нашим потребам чи були відкинуті з інших причин. Так DOORS та Enterprise Architect розраховані на великі підприємства та мають зависоку ціну. Polarion не пропонує пробної або безкоштовної версії, щоб випробувати його перед фактичною оплатою. Деякі західні фірми-розробники відмовилися співпрацювати з невеликою українською компанією під час війни.

Що є LDRA Tool Suite?

Вибір LDRA Tool Suite був неоднозначним. Порівняно з іншими претендентами цей продукт мав свої переваги та недоліки. Але це було не так важливо, як сервіс, який ми отримали: навчальний курс, консультації з використання, питання-відповіді. А 30-денну пробну версію ми використовували практично двічі, тому що не встигали з освоєнням.

LDRA Tool Suite - це комплекс програмних засобів, призначений для аналізу, тестування, трасування вимог і сертифікації ПЗ, що застосовується у критичних до безпеки сферах: авіація, автомобілебудування, залізничний транспорт, медицина, енергетика, військова техніка [7]. LDRA активно використовується компаніями, які розробляють ПЗ відповідно до жорстких галузевих стандартів, таких як DO-178C, DO-254, ISO 26262, IEC 61508, EN 50128. Цей набір інструментів дозволяє автоматизувати процеси аналізу, перевірки, звітності, формування трасувальних матриць і досягнення відповідності стандартам, що значно знижує витрати на розробку і підвищує надійність ПЗ.

Не останню роль зіграв той факт, що користувачами LDRA Tool Suite є Lockheed Martin, BAe, Norhrop Grumman, Honeywell та інші провідні компанії.

Далі наведемо короткий опис додатків, що входять до складу LDRA Tool Suite [7].

Статичний аналіз коду (Static Analysis) - автоматично перевіряє програмний код на відповідність стандартам програмування (наприклад, MISRA C/C++**,** CERT**,** JSF++**),** аналізує стиль коду, виявляє помилки, потенційні дефекти, дублікати коду та порушення архітектурних правил.

Динамічний аналіз (Dynamic Analysis) - виконує моніторинг поведінки програми під час виконання: перевірка змінних, гілок, циклів, викликів функцій, виявлення збоїв у реальному середовищі.

Покриття коду (Code Coverage) - забезпечує структурне покриття на рівні інструкцій, гілок, умов, змінних тощо - необхідне для досягнення відповідності рівням сертифікації (наприклад, **Level A DO-178C**).

TBrun - модульне та інтеграційне тестування (Unit/Integration Testing) - генерація, виконання та автоматизація модульних тестів для окремих функцій або підсистем. Підтримує stub-функції, вхідні/вихідні сценарії, параметризацію.

TBmanager - управління вимогами та трасування (Requirements & Traceability) - дозволяє імпортувати вимоги, зв'язувати їх з кодом, тестами, документацією. Підтримує повне трасування у відповідності до стандартів DO-178C (low/high-level requirements, objectives).

TBvision - візуалізація результатів аналізу-інтерактивний інтерфейс для перегляду звітів про порушення стандартів, результатів тестів, покриття та структури коду. Забезпечує зручну навігацію по проблемах і місцях їх виникнення.

TBpublish - генерація звітів - формування документів для сертифікації, аудиту або внутрішньої документації: звіти про верифікацію, покриття, трасування, відповідність стандартам.

Робота з документацією – це можливість імпорту PDF/Word/Excel документів, розбиття на секції, створення прив'язок до вимог і тестів, підвищення прозорості та відслідковуваності артефактів проекту.

LDRA Tool Suite підтримує кваліфікацію для DO-178C. Це означає що продукт можна використовувати як інструмент для автоматизованої верифікації, трасування вимог, аналізу покриття коду та тестування, — тобто для тих завдань, які прямо передбачені стандартом DO-178C.

Однак, згідно з вимогами самого стандарту, якщо інструмент бере участь у процесі сертифікації ПЗ і виконує функції, які впливають на кінцеву якість або безпеку продукту, — наприклад: автоматична перевірка коду (static analysis), генерація або запуск тестів, формування сертифікаційних звітів - тоді сам інструмент також повинен бути "кваліфікованим для цільового проекту" (DO-330). Це означає, що має бути доказ, що він працює коректно, надійно і не вносить помилок у критичні процеси. Для цього існує пакет кваліфікації інструмента (Tool Qualification Support Package, TQSP).

Недоліки

Незважаючи на досить тривалу історію LDRA Tool Suite має недоліки.

Одним із виявлених недоліків є обмежена функціональність системи Baseline, яка, хоча й дозволяє фіксувати факт змін у вимогах, не надає можливості визначити, які саме зміни відбулися. Іншими словами, засіб ведення контрольних знімків (Baseline) може сигналізувати про те, що певні артефакти були змінені з моменту попереднього збереження стану, але не забезпечує засобів для аналізу змістовних відмінностей між версіями.

При цьому LDRA дозволяє зберігати стан проекту на певний момент у вигляді файлу .tbmspec, який містить конфігурацію середовища, структуру вимог і пов'язані елементи тестування на момент створення цього файлу.

Для подолання вказаного обмеження було об'єднано механізм Baseline з системою контролю версій GitHub. Зберігаючи .tbmspec-файли у репозиторії, можливо не лише зафіксувати, що зміни були, а й простежити конкретні зміни у структурі вимог або інших артефактах проекту. Засоби порівняння GitHub дозволяють побачити, які саме елементи були змінені, додані або видалені, що істотно підвищує прозорість процесу модифікації.

Ще одним важливим аспектом, який варто враховувати під час впровадження LDRA Tool Suite, є доволі висока складність освоєння. Інтерфейс програми насичений функціональністю, але не всі елементи є інтуїтивно зрозумілими, особливо для новачків або фахівців, які раніше не працювали з інструментами формальної верифікації.

Досвід

Хочемо поділитися досвідом роботи з LDRA Tool Suite.

Наш замовник та аудитор - турецька компанія TR Motor - брала активну участь у процесі редагування та написаних вимог, надаючи зауваження та рекомендації. Наші колеги допомагали формулювати вимоги у відповідності до стандартів, де має значення навіть вживання окремих слів! Усі вимоги мають містити ключові слова «shall», «should» або «will». «Shall» використовується для позначення вимоги, яка є обов'язковою, має бути реалізована і перевірена. «Will» застосовується для позначення факту і не підлягає перевірці. «Should» позначає ціль, яку бажано досягти, але яка не є обов'язковою для перевірки. Щоб забезпечити чіткість і однознач-

ISSN 1814-4225 (print)
ISSN 2663-2012 (online)

ність, слід уникати нечітких формулювань, наприклад «як правило», «в основному», «ідеальний», «очевидно», «деякі», «завжди», «і т. д.», «поганий», «кращий», «легкий».

З'ясувалося, що після проведення статичного аналізу у TBvision в проєкті TBmanager з'являється можливість переглядати вихідні файли та функції у вікні Source File Viewer. У цьому вікні відображаються всі проаналізовані файли з вихідним кодом і перелік функцій, що містяться в кожному з них. Функцію можна перетягнути на відповідну вимогу в дереві проекту, тим самим створюючи зв'язок між реалізацією і вимогою.

Тестові сценарії створюються за допомогою інструменту TBrun, який інтегрований у TBmanager. Щоб створити тест треба зробити наступне:

– обрати вимогу або функцію,

– викликати команду "Create New Test Case",

– вказати вхідні дані, очікувані результати та умови виконання,

Після збереження тест прив'язується до вибраного елемента.

TBmanager дозволяє імпортувати зовнішні документи, що використовуються у проєкті для довідки, формальної звітності або трасування. Імпорт виконується через вкладку Documents, після чого документи відображаються у структурі проекту та доступні для перегляду, коментування або прив'язки. PDF-документи можна логічно структурувати, розділяючи їх на іменовані секції. Це дозволяє створювати в проекті посилання на окремі фрагменти документа. Імпортовані документи та їхні секції можуть бути закріплені за конкретними елементами проекту — наприклад, за вимогами, цілями сертифікації, тест-кейсами або задачами верифікації. Це дозволяє підвищити якість подальшого аудиту ПЗ, а цих аудитів від початку до завершення розробки аж чотири (SOI-1/2/3/4).

До речі аудити (Stage of Involvement) є неформальними зовнішніми перевірками, спрямованими на оцінку якості певних етапів процесу розробки ПЗ та їх відповідності вимогам DO-178C. І в такій ситуації використання LDRA Tool Suite лише вітається.

Тож для ефективної роботи користувачам необхідно детально ознайомитися з документацією, а в деяких випадках — пройти повноцінне навчання. Усвідомлюючи це, сама компанія LDRA пропонує навчальні курси та сертифікаційні програми, які охоплюють як базову роботу з інструментом, так і просунуті сценарії, включно з налаштуванням трасування, автоматизацією тестування тощо.

Впровадження LDRA потребує не лише ліцензії, але й інвестицій у навчання персоналу, особливо якщо передбачається сертифікація за DO-178C або аналогічними стандартами.

Внесок авторів: формулювання проблеми - **В. В. Нерубаський**; огляд та аналіз інформаційних джерел - **В. В. Нерубаський**; опис об'єкта дослідження – **Т. С. Козарик**, опис досвіду використання та висновки - **Т. С. Козарик**.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо цього дослідження, фінансового, особистого, авторського чи іншого, який міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в цій статті.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Наявність даних

Дані будуть надані за обґрунтованим запитом.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що вони не використовували технології штучного інтелекту при створенні даної роботи.

Подяка

Автори висловлюють подяку співробітникам LDRA за надані консультації.

Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

Література

1. RTCA/DO-178C Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification [Text]. Radio Technical Commission for Aeronautics, December 13, 2011.

2. RTCA/DO-254 Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware [Text]. Radio Technical Commission for Aeronautics, April 19, 2000.

3. Нерубасский, В. В. Вопросы выбора и квалификации средств разработки программного обеспечения для электронных САУ авиационных двигателей [Текст] / В. В. Нерубасский, & Д. А. Лавренюк // Авіакосмічна техніка і технологія. – 2022. - №4 спецвипуск 2. - С. 80-85. doi: 10.32620/aktt.2022.4sup2.12.

4. V/SURE. Ensure RTCA DO-178 Complience. Enforce Traceability. Ease & Accelerate You Audit. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://visuresolutions.com/standards/do-178-software/. - 20.05.2025.

5. 16 Best Requirements Management Software for 2025. Pros and Cons. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://visuresolutions.com/alm-

guide/top-requirements-management-software-tools.html - 20.05.2025.

6. IBM Engineering Requirements Management. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.ibm.com/products/requirements-management?mhsrc=ibmsearch_a&mhq=DOORS/. - 10.05.2025.

7. LDRA Product Brochure v9.6. 01.20 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ldra.com/ products/ldra-tool-suite/. - 12.05.2025.

References

1. *RTCA/DO-178C Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification. Radio Technical Commission for Aeronautics*, December 13, 2011.

2. *RTCA/DO-254 Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware. Radio Technical Commission for Aeronautics*, April 19, 2000.

3. Nerubasskii, V. V., & Lavrenyuk, D. A. Voprosy vybora i kvalifikatsii sredstv razrabotki programmnogo obespecheniya dlya elektronnykh SAU aviatsionnykh dvigatelei [Issues of selection and qualification of software development tools for aircraft engines electronic control systems]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2022, no. 4sup2, pp. 80-85. doi: 10.32620/aktt.2022.4sup2.12.

4. *V/SURE. Ensure RTCA DO-178 Complience. Enforce Traceability. Ease & Accelerate You Audit.* Available at: https://visuresolutions.com/standards/do-178-software/. (accessed 20.05.2025).

5. *16 Best Requirements Management Software for 2025. Pros and Cons.* Available et: https://visuresolutions.com/alm-guide/top-requirements-management-software-tools.html (accessed 20.05.2025).

6. *IBM Engineering Requirements Management.* Available at: https://www.ibm.com/products/Requirements-management?mhsrc=ibmsearch_a&mhq=DOORS/. (accessed 10.05.2025).

7. *LDRA Product Brochure v9.6. 01.20.* Available at: https://ldra.com/products/ldra-tool-suite/ (accessed 12.05.2025).

Надійшла до редакції 25.06.2025, розглянута на редколегії 18.08.2025

EXPERIENCE OF USING LDRA TOOL SUITE DURING "ELEMENT" JSC PRODUCTS CERTIFICATION

Vadym Nerubasky, Timofii Kozaryk

The introductory part of the article provides brief information about the main direction of the JSC Element activity: development and production of electronic control systems for aircraft engines. To ensure the safety of the hardware and software of such systems, their development must be carried out in strict compliance with the DO-178C/ED-12C and DO-254. The development must be traceable, verified, high-quality, and properly documented. The volume of work and documents for product certification is so large that traditional paper technologies do not guarantee a proper result. Therefore, special software tools are used to automate some processes. This article considers tools that automate the requirements tracking, verification, and testing processes.

The following section provides an overview of software lifecycle management tools for embedded systems. The limiting factors are support for the selected programming system considering the type of target microcontroller, availability of requirements management tools, coverage and code quality analysis, tracing, and various types of testing (module, integration, etc.). The review includes the most significant tools (V/sure Requirements, Enterprise Architect, DOORS, VectorCAST, Polarion, and others) that support DO-178C certification. These tools have different price categories, feature sets, integration capabilities with other systems, development difficulty, and specific after-sales service.

Element JSC chose is LDRA Tool Suite – a flexible platform for creating safe, secure, and mission-critical software in an accelerated, cost-effective, and requirements-driven process. The following sections describe the main functions and composition of LDRA Tool Suite applications. The main principles and features of using the tool are given. The disadvantages of the tool include the lack of the ability to track specific changes in the structure of requirements or other project artifacts and the high complexity of development.

The authors share their experience in developing with LDRA Tool Suite, noting that the costs do not end with the purchase of a license and that staff training investments are required.

Keywords: LDRA Tool Suit; DO-178C; electronic control system; software certification; testing; verification; tool qualification.

Нерубаський Вадим Володимирович – старш. наук. співроб. бюро розробки програмного забезпечення, АТ «Елемент, Одеса, Україна.

Козарик Тимофій Сергійович – інженер-програміст 2-ї категорії бюро розробки програмного забезпечення, АТ «Елемент, Одеса, Україна.

Vadym Nerubaskyi – Senior Scientist, Software Development Bureau, JSC «Element», Odesa, Ukraine, e-mail: odessa@element.od.ua, ORCID: 0000-0002-7145-5753.

Timofii Kozaryk – Engineer-Programmer 2nd Category, Software Development Bureau, JSC «Element», Odesa, Ukraine, e-mail: odessa@element.od.ua, ORCID: 0009-0002-7555-043X.