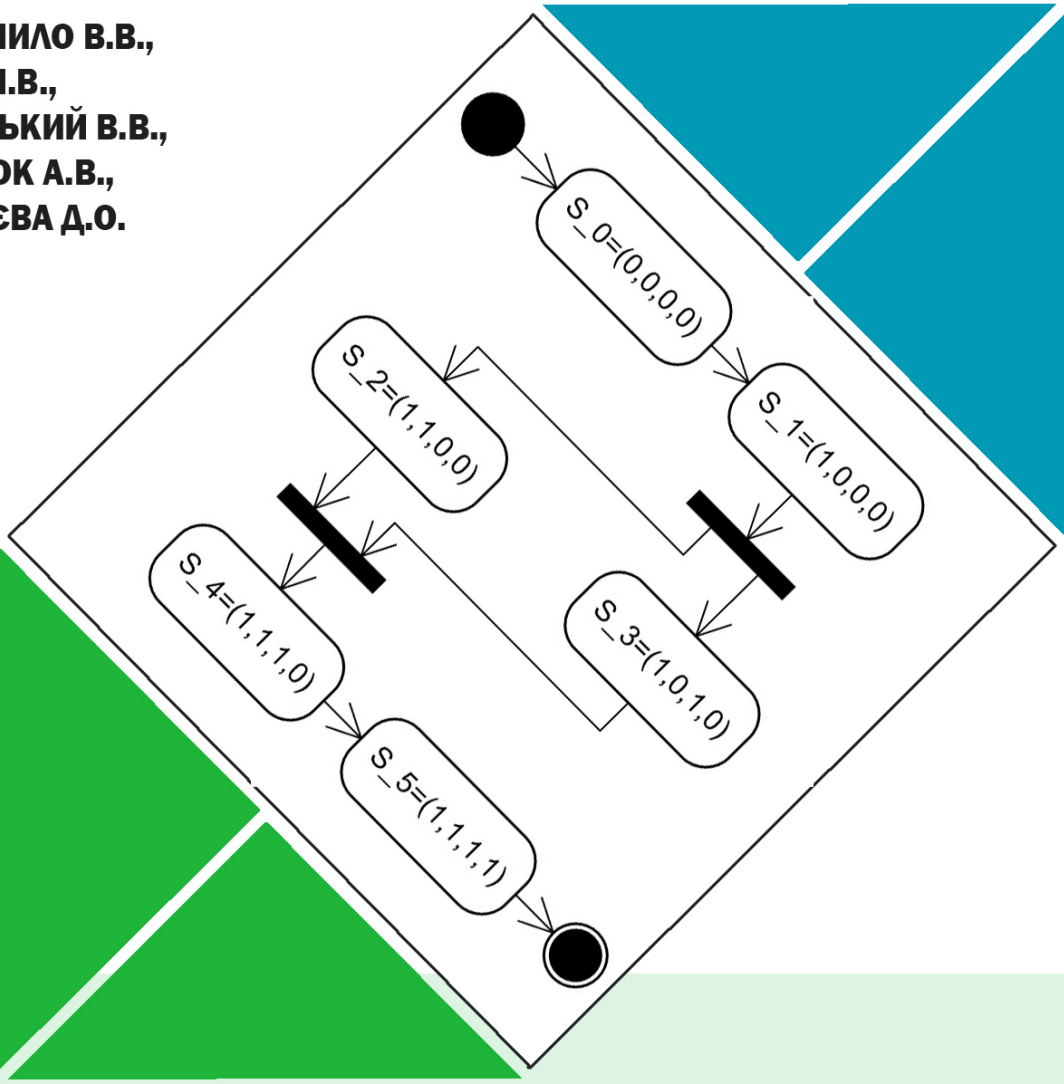
ШКАРУПИЛО В.В.,
БЛІНОВ І.В.,
КУЧАНСЬКИЙ В.В.,
ДАВИДЮК А.В.,
ДІМІТРІЄВА Д.О.



МЕТОДИ І ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ АРТЕФАКТІВ ПРОЦЕСУ ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНО- АЛГОРИТМІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ СИСТЕМ КРИТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

МОНОГРАФІЯ

2023

EUROPEAN
SCIENTIFIC
PLATFORM

ім. Г.Є.Пухова
ІПМЕ
НАН України

Шкарупило В.В., Блінов І.В., Кучанський В.В., Давидюк А.В., Дімітрієва Д.О.

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ ІМ. Г.Є. ПУХОВА
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ

МЕТОДИ І ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ АРТЕФАКТІВ ПРОЦЕСУ ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ СИСТЕМ КРИТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

МОНОГРАФІЯ

За загальною редакцією Шкарупила В.В.

Вінниця
«Європейська наукова платформа»
2023

УДК 004.052.42
Ш 66

https://doi.org/10.36074/mzkapppasskp-monograph.2023

Рецензенти:

Лахно Валерій Анатолійович	доктор технічних наук, професор професор кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки Національного університету біоресурсів і природокористування України
Зайцев Євген Олександрович	доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Інституту електродинаміки Національної академії наук України

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України (протокол № 12 від 1 грудня 2022 року), Вченою радою Інституту електродинаміки НАН України (протокол № 12 від 8 грудня 2022 року).

Шкарупило В. В.

Ш 66 Методи і засоби контролю артефактів процесу проєктування програмно-алгоритмічної складової систем критичного призначення: монографія / В.В. Шкарупило, І.В. Блінов, В.В. Кучанський, А.В. Давидюк, Д.О. Дімітрієва ; за заг. ред. В. В. Шкарупила. — Вінниця : ГО «Європейська наукова платформа», 2023. — 120 с.

ISBN 978-617-8126-22-3
DOI 10.36074/mzkapppasskp-monograph.2023

Представлену працю присвячено висвітленню аспектів контролю показників функціональних і нефункціональних характеристик розроблюваної програмно-алгоритмічної складової систем критичного призначення. У якості досліджуваного показника функціональних характеристик адресується несуперечність програмно-алгоритмічної складової. Для цього залучаються формальні методи і засоби. При цьому у якості сценаріїв предметних областей, що охоплюються у праці, розглядаються сценарії, що мають місце на ринку електричної енергії, а також сценарії аерокосмічної галузі. Значна увага приділяється викладенню результатів проведених дослідження і розвитку поширеного методу формальної верифікації TLC. У свою чергу, сценарії енергетики подаються відповідними артефактами – UML-діаграмами дій, і викладаються з позиції їх аналізу як подань функціональних характеристик інформаційно-технологічних системи керування електроенергетичними системами та ринком електричної енергії, відповідно до рекомендацій ENTSO-E. Нефункціональні характеристики адресуються, зокрема, у розрізі пропускної спроможності ліній електропередач – викладаються напрацювання у напрямі розрахунку оптимального співвідношення між витратами на спорудження та експлуатацію ліній. Окрема увага приділяється опрацюванню аспектів реалізації кіберзахисту – шляхом викладення підходу до верифікації артефактів кіберзахисту систем критичного призначення, що базується на застосуванні логіки предикатів як механізму формування даних для підтримки прийняття відповідних рішень.

Викладений матеріал подано у вигляді чотирьох окремих розділів.

Монографію призначено для магістрантів та аспірантів технічних спеціальностей, зокрема спеціальностей 123 – комп'ютерна інженерія, 125 – кібербезпека; для фахівців у галузі інформаційного обміну та функціонування ринків електричної енергії; для магістрантів та аспірантів, що вивчають електроенергетичні системи і комплекси.

Монографію підготовлено за результатами досліджень, проведених згідно вирішуваних задач наступних НДДКР: «Розроблення методів та засобів верифікації артефактів процесу проєктування систем критичного призначення» (№ держ. реєстрації: 0121U110615); «Розроблення спеціалізованих комп'ютерних технологій моделювання та опрацювання оперативної інформації в задачах енергетики» (№ держ. реєстрації: 0120U102683).

УДК 004.052.42

© Шкарупило В.В., Блінов І.В., Кучанський В.В., Давидюк А.В., Дімітрієва Д.О., 2023
© Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2023
© Інститут електродинаміки НАН України, 2023
© ГО «Європейська наукова платформа», 2023

ISBN 978-617-8126-22-3

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ 5

ПЕРЕДМОВА 7

РОЗДІЛ 1
РОЗВИТОК МЕТОДУ ПЕРЕВІРКИ НА МОДЕЛІ 11
1.1 Обґрунтування доцільності прикладного застосування і розвитку формальних методів і засобів 11
1.2 Постановка вирішуваної задачі 11
1.3 Дослідження методу перевірки на моделі 13
1.3.1 Аналіз сценарію предметної області 13
1.3.2 Створення і перевірка специфікації 15
1.3.3 Автоматизація процесу синтезу специфікацій 18
1.3.4 Дослідження послідовного сценарію 20
1.3.5 Дослідження сценарію із поданням паралелізму 28
1.4 Розвиток методу і валідація результатів 34
1.4.1 Аспекти проведеного розвитку методу 35
1.4.2 Оцінювання корисного ефекту 35
1.4.2.1 Опис сценарію предметної області 35
1.4.2.2 Дослідження реалізацій методу 38
1.4.2.3 Узагальнення результату оцінювання 42
1.4.2.4 Перевірка нульової гіпотези для нижньої границі 44
1.4.2.5 Перевірка нульової гіпотези для верхньої границі 46
1.4.3 Огляд сценарію енергетики 48
1.5 Дослідження впливу мультипоточності 48
1.6 Висновки 51

РОЗДІЛ 2.
ОПИС СЦЕНАРІЮ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ РОЗПОДІЛУ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ МІЖДЕРЖАВНИХ ПЕРЕТИНІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ РОЛЬОВИХ МОДЕЛЕЙ 55
2.1 Аспекти розподілу пропускної спроможності міждержавних перетинів електричних мереж 55
2.2 Побудова об’єктно-орієнтованих моделей розподілу пропускної спроможності з урахуванням європейських вимог 63
2.3 Висновки 76

РОЗДІЛ 3
АПРОКСИМАЦІЯ ЕКОНОМІЧНИХ КРИВИХ ПРОВОДІВ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ ЗАДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СПОРУДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ 78
3.1 Методики вибору перерізів проводів повітряної лінії 78
3.2 Оптимізація перерізу та конструкції фази повітряної лінії 85

3.3 Алгоритмізація апроксимації економічних кривих і розроблення програми розрахунку 91
3.4 Висновки 94

РОЗДІЛ 4
ПІДХОДИ ДО ВЕРИФІКАЦІЇ АРТЕФАКТІВ ПРОЦЕСУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ 95
4.1 Аналіз нормативної бази щодо кіберзахисту систем критичного призначення..95
4.2 Методи отримання артефактів кіберзахисту 98
4.3 Підхід до верифікації артефактів кіберзахисту 101
4.4 Висновки 110

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 111

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

AAC – Already Allocated Capacity;
ATC – Available Transmission Capacity;
BFS – Breadth-first Search;
CE – Computing Element;
CSP – Communicating Sequential Processes;
DCS – Distributed Control System;
DFS – Depth-first Search;
IACS – Industrial Automation and Control Systems;
ICS – Industrial Control Systems;
JRE – Java Runtime Environment;
MC – Model Checking (Model Checker);
MPI – Message Passing Interface;
NTC – Net Transfer Capacity;
PLC – Programmable Logic Controller;
SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition;
TLA – Temporal Logic of Actions;
TLC – TLA Checker;
TTC – Total Transfer Capacity;
TRM – Transmission Reliability Margin;
UMM – Unified Modeling Methodology UN/CEFACT;
UML – Unified Modeling Language;
WN – Worker Node;
XML – eXtensible Markup Language;
БК – Бортовий комп'ютер;
БУК – Блок управління конфігурацією;
БЦОК – Бортовий цифровий обчислювальний комплекс;
ДРП – Джерело реактивної потужності;
КА – Космічний апарат;
КПА – Контрольно-перевірочна апаратура;
ЛЕП – Лінія електропередачі;
МЕМ – Магістральні електричні мережі;
НД ТЗІ – Нормативні документи технічного захисту інформації;
НПС – Наявна пропускнуа спроможність;
НФХ – Нефункціональна характеристика;
ОП – Оперативна пам'ять;
ОСП – Оператор системи передачі;
ОЕС – Об’єднана енергетична система;
ПАС – Програмно-алгоритмічна складова;

ПВВ – Пристрій введення/виведення;
ПЛ – Повітряна лінія;
ПСЕП – Підсистема електропостачання;
СКП – Система критичного призначення;
СО – Системний оператор;
СП – Система переходів;
ФВ – Формальна верифікація;
ФС – Формальна специфікація;
ФХ – Функціональна характеристика;
ШР – Шунтувальний реактор.

ПЕРЕДМОВА

Адресуючи системи критичного призначення (СКП) та відповідні компоненти, варто зазначити, що до об’єктів критичної інфраструктури України відносяться, зокрема, і об’єкти електроенергетики. При цьому інформаційно-технологічні системи керування електроенергетичними системами та ринком електричної енергії можуть бути віднесені до СКП, оскільки їх відмова може завдати суттєвих економічних збитків, стати потенційною загрозою стабільності роботи електроенергетичної системи, впливатиме на ефективність більшості технологічних процесів країни. Разом із цим, інтеграція об’єднаної енергетичної системи (ОЕС) України з європейською енергосистемою ENTSO-E, що фактично відбулося в 2022 році, передбачала визначення та реалізацію умов термінової синхронізації та включала оцінювання захисту об’єктів критичної інфраструктури, динамічної стабільності енергосистем, а також оперативних перемикань у межах правових, нормативних та інформаційних технологій, охоплюючи і кібербезпеку. Подальший розвиток ОЕС України та інтеграція ринку електричної енергії України до складу загальноєвропейського ринку потребує розвитку методів розподілу пропускної спроможності міждержавних електричних перетинів у відповідності з європейськими вимогами та розвитку електричних мереж, зокрема і за рахунок будівництва нових ліній електропередачі (ЛЕП). Це, у свою чергу, обумовлює важливість проведення оцінювання несуперечності функціонування інформаційно-технологічних систем розподілу пропускної спроможності ще на етапі їх проєктування, а також проведення оптимізації витрат на спорудження й експлуатацію нових електричних мереж та їх об'єктів, за умови дотримання нормованих вимог до якості та надійності електропостачання.

Для розкриття зазначених вище аспектів матеріал монографії подається чотирма окремими розділами.

У першому розділі, підготовленому Шкарупилом В.В., висвітлено аспекти проведення контролю несуперечності розроблюваної програмно-алгоритмічної складової (ПАС) СКП, здійснюваного на етапі проєктування процесу розроблення ПАС. Несуперечність при цьому адресується у якості показника функціональних характеристик (ФХ), що реалізується ПАС. Викладаються отримані результати проведених дослідження і розвитку

поширеного методу перевірки на моделі TLC (TLA Checker), при здійсненні автоматизованого контролю несуперечності ПАС СКП. Для цього у якості сценаріїв предметних областей охоплюються сценарії енергетики, аерокосмічної галузі. Названі сценарії опрацьовуються на основі відповідних артефактів – графічних і формалізованих подань ПАС. Графічні подання адресуються у якості первинних артефактів, на основі яких отримуються формалізовані подання – формальні специфікації (ФС), що уможливлюють здійснення процесу формальної верифікації (ФВ) в автоматизованому режимі. Названий метод TLC досліджується з позицій обчислювальних і просторових характеристик вирішуваної на його основі задачі ФВ. При цьому охоплюються дві альтернативні реалізації методу – на основі методів обходу у ширину (BFS, Breadth-first Search) і у глибину (DFS, Depth-first Search) теорії графів. Викладений у межах розділу запропонований розвиток методу базується на комбінуванні BFS- і DFS-обходів за ітеративного підходу до організації процесу ФВ. Більше того, у розділі подаються також і результати дослідження методу з позиції мультипоточної його реалізації.

Дімітрієвою Д.О. у межах першого розділу викладено обґрунтування доцільності прикладного застосування і розвитку формальних методів і засобів.

У другому розділі, підготовленому Бліновим І.В., розглянуто загальні способи розподілу пропускної спроможності міждержавних перетинів електричних мереж, наведено приклад такого розподілу, а також особливості побудови об’єктно-орієнтованих, зокрема рольових, моделей розподілу пропускної спроможності, з урахуванням європейських вимог, відповідно до рекомендацій ENTSO-E. Показано приклад побудови таких моделей для варіантів явного та неявного аукціонів щодо купівлі-продажу пропускної спроможності міждержавних електричних перетинів. Наведено загальний підхід до побудови таких моделей, що є основою для розроблення інформаційно-технологічних систем керування цим сегментом ринку електричної енергії та описом сценарію роботи відповідної предметної області для використання методу перевірки на моделі на етапі проєктування відповідної системи керування.

При цьому зазначається, що переріз проводів та конструкція фази ЛЕП повинні бути обрані таким чином, щоб вони відповідали оптимальному співвідношенню між витратами на спорудження та експлуатацію лінії, що зростають із збільшенням перерізу, та витратами, пов'язаними з

оптимізацією конструкції фази. Під конструкцією фази розуміється кількість проводів у фазі, їх перетин і взаємне розташування. Вибір конструкції фази – досить складне техніко-економічне завдання, оскільки він визначає основні характеристики лінії – від пропускної спроможності – до витрат на її спорудження та експлуатацію. Більше того, вимоги до ЛЕП постійно зростають, причому, насамперед, щодо підвищення надійності, збільшення пропускної спроможності, передачі заданої потужності у нормальному та післяаварійному режимах. При цьому в нормальному режимі необхідно забезпечити найбільш економічну передачу електроенергії, що відповідає мінімуму витрат на спорудження та експлуатацію лінії. Оптимізація конструктивних повітряних параметрів ЛЕП, що передбачає комплексну оптимізацію проводів, їх ізолюючої підвіски та опор, сприяє цьому. Названі параметри адресуються у межах даної монографії як нефункціональні (НФХ) параметри. Висвітленню зазначених аспектів присвячено третій розділ монографії.

У третьому розділі, підготовленому Кучанським В.В., викладено запропонований підхід до визначення оптимального перетину проводу на основі апроксимації економічних кривих, з урахуванням впливу керованих пристроїв компенсації реактивної потужності. У наш час при виборі параметрів ЛЕП і, перш за все, їх номінальної напруги, фахівці широко використовують емпіричні формули. Такі формули, однак, недостатньо точні і не можуть забезпечити оптимальні конструктивні рішення. Значення номінальної напруги суттєво впливає на інші технічні характеристики ліній та економічні показники передачі електроенергії. У ринковій економіці економічні критерії варіантів передачі енергії стають вирішальними. Розроблені понад 30 років тому нормативні документи у цій сфері, на які досі спираються фахівці-проєктувальники, враховують економію передачі електроенергії, але базуються на відмінних від сучасних реаліях, і використовують менш розвинений математичний апарат, розроблений для незрівнянно нижчих обчислювальних можливостей. Це обумовлює актуальність розроблення економіко-математичної моделі, яка об’єднує технічні параметри ЛЕП, режими роботи і економічні показники. Названа модель викладається у межах даного розділу.

У четвертому розділі, підготовленому Давидюком А.В., опрацювання НФХ-складової розроблюваної ПАС СКП виконується з позиції формування підходу до верифікації артефактів кіберзахисту СКП. Демонструється, зокрема, використання логіки предикатів як механізму формування даних

для підтримки прийняття рішень щодо впровадження інструментів і заходів для підвищення стійкості СКП. Використання логіки предикатів, у свою чергу, дозволяє оперативно формувати вичерпний список можливих варіантів для аналізу, включаючи фактори впливу, умови та наслідки, а також зв'язки між ними. На основі отриманих даних об'єкти критичної інформаційної інфраструктури класифікуються за рівнями зрілості (низький, середній, високий). Об'єкти з більшою кількістю уразливостей пропонується розташовувати нижче за рівнем, з меншою кількістю – вище. Таке ранжування пропонується використовувати для оцінювання ефективності застосовуваних заходів кіберзахисту.

Доступ до повного тексту видання в електронному вигляді закрито з ініціативи авторів.

Друковані примірники можна знайти тут:

- **Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського (м. Київ, вул. Голосіївська, 3)**

- **Національна бібліотека України імені Ярослава Мудрого (м. Київ, вул. Грушевського Михайла, 1)**

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ШКАРУПИЛО Вадим Вікторович
БЛІНОВ Ігор Вікторович
КУЧАНСЬКИЙ Владислав Володимирович
ДАВИДЮК Андрій Вікторович
ДІМІТРІЄВА Дар'я Олександрівна

МЕТОДИ І ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ АРТЕФАКТІВ ПРОЦЕСУ ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ СИСТЕМ КРИТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

МОНОГРАФІЯ

Редакція: Шкарупило В.В.
Верстка: Білоус Т.В.
Дизайн: Бондаренко І.В.

Підписано до друку 21.12.2022. Формат 60×84/16.
Умовно-друк. арк. 6,98. Тираж: 100 примірників.
Замовлення № 371. Цифровий друк.
Папір офсетний. Гарнітура Franklin Gothic Book.

Віддруковано з готового оригінал-макету.

Видавець: ГО «Європейська наукова платформа»
21037, Україна, м. Вінниця, вул. Зодчих, 18, офіс 81
Телефони: +38 098 1948380; +38 098 1526044 | E-mail: info@ukrlogos.in.ua
URL: www.publishing.logos-science.com

Виготовлювач друкованої продукції: ГО «Європейська наукова платформа».
21037, Україна, м. Вінниця, вул. Зодчих, 18, офіс 81. E-mail: info@ukrlogos.in.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК № 7172 від 21.10.2020.