

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
Міністерство освіти і науки України

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

СТРЕЛКІНА АНАСТАСІЯ АНДРІЇВНА

УДК 004.77:616.379-008.64-71-047.58(043)

ДИСЕРТАЦІЯ

МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ГАРАНТОЗДАТНОСТІ МЕДИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТУ
РЕЧЕЙ

122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

Інформаційні технології
(галузь знань)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних проваджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

підпис Стрелкіна Анастасія Андріївна

Науковий керівник Узун Дмитро Дмитрович,
кандидат технічних наук, доцент

Харків – 2019

АНОТАЦІЯ

Стрелкіна Анастасія Андріївна. Моделі та методи інформаційної технології забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки. – Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, 2019.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей базуючись на розробці та практичному застосуванні моделей та методів інформаційної технології для медичних систем. Об'єктом дослідження є медичні системи на основі Інтернету речей та підходи оцінювання їх функціонування та безпеки. Предметом дослідження є моделі та методи інформаційної технології забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей.

У роботі виконано аналітичний огляд сучасних моделей та методів оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей. Встановлено, що існуючі моделі та методи не враховують специфічних особливостей медичної галузі, недостатньо формалізовані і мають обмаль інструментальних засобів підтримки оцінювання і забезпечення гарантоздатності такого роду систем.

З урахуванням проведеного аналізу в роботі поставлено та вирішено наукове завдання розроблення моделей та методів інформаційної технології забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей з урахуванням атак на вразливості і дефектів програмних та апаратних компонентів, а також процедур функціонування медичного пристрою.

Обґрунтована методика проведення досліджень і математичний апарат, що використовується в дослідженні. При вирішенні наукових задач використовувалися методи системного аналізу, методи теоретико-множинного опису, теорії ймовірностей, апарат теорії марковських процесів, числові методи

розв'язання лінійних систем диференційних рівнянь, технології аналітичного моделювання алгоритмів поведінки відмовостійких систем, методи математичного моделювання і теорії оптимізації, теорії ігор, методи ризик-аналізу, методи об'єктно-орієнтованого програмування, методи функціонального моделювання.

Удосконалено комплекс моделей оцінювання гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей шляхом врахування різних функціональних станів, типів відмов та кібератак, що дає змогу розраховувати показники готовності, функціональної безпеки, кібербезпеки, визначати їх залежність від параметрів медичних мобільних пристроїв та хмарного середовища.

Вперше одержано модель функціональної поведінки медичного пристрою, яка, на відміну від відомих, враховує різні закони розподілу часу між заявками на обслуговування, а також різні типи відмов за рівнем критичності, що дозволяє визначити вплив показників медичного пристрою на готовність та гарантоздатність медичної IoT системи в цілому.

Набув подальшого розвитку метод забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей шляхом вибору контрзаходів з використанням теорії матричних ігор, що дозволяє вибирати за максіміним критерієм множину засобів захисту.

Удосконалено метод кейс-орієнтованої оцінки кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей за рахунок формування профільоутворюючої бази стандартів та функціональних вимог, а також процедури вибору інструментів оцінювання, що дозволяє підвищити повноту оцінювання.

Усі теоретичні розробки дисертації доведено до конкретних інженерних методик та алгоритмів із застосуванням запропонованої інформаційної технології оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей. Розроблені методики та інструментальні засоби «IoHTStandard» і «GTC», які є безпосередньо частиною прикладної інформаційної технології оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей, що, в свою чергу, дозволило підвищити повноту оцінювання гарантоздатності такого роду систем.

Розроблені моделі, методи, інформаційне та програмне забезпечення використані у ТОВ «ХАІ-МЕДИКА» (акт впровадження від 10.09.2019 р.), а також впроваджено під час виконання держбюджетного проекту кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки (акт впровадження від 04.09.2019 р.), а також у навчальному процесі Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ» та виконанні міжнародних проектів за програмами TEMPUS і ERASMUS+ (акт впровадження від 04.09.2019 р.).

Ключові слова: гарантоздатність, Інтернет речей, марковська модель, теорія ігор, медична система, Safety Case підхід.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

1. A. Strielkina, D. Uzun, V. Kharchenko and A. Tetskyi, "Modeling and Availability Assessment of Mobile Healthcare IoT Using Tree Analysis and Queueing Theory", in *Dependable IoT for Human and Industry: Modeling, Architecting, Implementation*, River Publishers, 2018, pp. 105-126.

2. A. Strielkina, V. Kharchenko and D. Uzun, "Availability Models of the Healthcare Internet of Things System Taking into Account Countermeasures Selection", *Information and Communication Technologies in Education, Research, and Industrial Applications*, vol 1007, pp. 220-242, 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-13929-2_11.

3. A. Strielkina, A. Tetskyi, B. Selin, O. Solovyov, D. Uzun, "Service for Vulnerabilities Analysis and Security Assessment of Open Source Systems", *CERes Journal*, Volume 1, Issue 2, pp. 53-64, 2015.

4. А. А. Стрелкіна, Д. Д. Узун, "Забезпечення кібербезпеки медичних систем: виклики і рішення в контексті Інтернету речей", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 1, с. 44–50, 2017.

5. А. С. Андрійчук, А. А. Стрелкіна, "Розроблення моделі керування доступом до приватної медичної інформації", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 2, с. 26–32, 2018.

6. Д. Э. Ляхов, А. А. Стрелкина, Д. Д. Узун, "Анализ методов и средств оценивания и обеспечения кибербезопасности IoT системы", *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр.*, Харьков, вып. 80, с. 182-193, 2018.

7. А. А. Стрелкіна, "Інформаційна технологія оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних IoT систем", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, №. 3(91), с. 48-54, 2019.

8. A. Strielkina and D. Uzun, "Researching the Applicability of Mathematical Approaches for Modeling Cyber Security Processes", *PhD Symposium at 13th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications ICTERI 2018 co-located with 14th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications (ICTERI 2017)*, pp. 29-35, 2017.

9. A. Strielkina, D. Uzun and V. Kharchenko, "Modelling of healthcare IoT using the queueing theory", *2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, pp. 849-852, 2017. DOI: 10.1109/idaacs.2017.8095207.

10. A. Streilkina, V. Kharchenko and D. Uzun, "A Markov Model of Healthcare Internet of Things System Considering Failures of Components", *14th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer*, p. 14, 2018.

11. A. Strielkina, O. Illiashenko, M. Zhydenko and D. Uzun, "Cybersecurity of healthcare IoT-based systems: Regulation and case-oriented assessment", *2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, pp. 67-73, 2018. DOI: 10.1109/dessert.2018.8409101.

12. A. Strielkina, S. Volochiy and V. Kharchenko, "Discrete-Continuous Stochastic Model of Insulin Pump Functioning for Health IoT System Using Erlang Phase Method", *5th International Workshop on Theory of Reliability and Markov Modeling for Information Technologies (TheRMIT 2019)*, pp. 794-809, 2019.

13. A. Strielkina, B. Volochiy and V. Kharchenko, "Model of Functional Behavior of Healthcare Internet of Things Device", *2019 10th International Conference on*

Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), pp. 63-69, 2019. DOI: 10.1109/dessert.2019.8770020.

14. А. А. Стрелкіна, "Исследование подходов к обеспечению кибербезопасности медицинских систем в контексте интернета вещей", *Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2016*, Харків: Нац. аерокосм. ун-т "ХАІ", Том 2, с.286-287, 2016.

15. М. О. Жиденко, А. А. Стрелкіна, "Дослідження нормативних документів щодо ризиків кібербезпеки медичних пристроїв", *Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі»*, с. 94, 2017.

16. А. А. Стрелкіна, А. Г. Тецький, О. А. Ілляшенко, "Аналіз можливостей використання вільного програмного забезпечення R для задач моделювання", *Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2017*, Харків: Нац. аерокосм. ун-т "ХАІ", Том 2, с.233, 2017.

17. А. А. Стрелкіна, "Розроблення моделей готовності IoT систем в галузі охорони здоров'я", *Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2018*, Харків: Нац. аерокосм. ун-т "ХАІ", Том 2, с.197, 2018.

ANNOTATION

Strielkina Anastasiia. Information technology models and methods of dependability ensuring of healthcare Internet of things systems.– Manuscript copyright.

Thesis on competition of scientific degree of Doctor of Philosophy by specialty 122 – Computer Science. – National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, 2019.

The dissertation is devoted to the enhancing the dependability of healthcare IoT systems based on the development and practical application of information technology models and methods for healthcare systems.

The scientific results are:

1) the complex of models of evaluation of the healthcare IoT systems dependability by taking into account different functional states, types of failures and cyberattacks has been improved, which allows to calculate indicators of availability, functional safety and cybersecurity, to determine their dependence on the parameters of medical mobile devices and cloud environment;

2) for the first time, a model of functional behavior of a healthcare device has been obtained, which, unlike the known ones, takes into account different laws of time distribution between service requests, as well as different types of failures by the level of criticality, which allows to determine the influence of indicators of the healthcare device on availability and dependability of healthcare IoT system in general;

3) the method of providing cybersecurity for healthcare IoT systems has been further developed by the choice of countermeasures using matrix game theory, which allows to choose the number of protection tools by the maximin criterion.

4) the method of case-based assessment of the healthcare IoT system cybersecurity has been improved through the formation of a profile-based base of standards and functional requirements, as well as procedures for selecting assessment tools to improve the completeness of the assessment.

Key words: dependability, Internet of Things, Markov model, game theory, healthcare system, Safety Case approach.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	12
ВСТУП	13
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИМОГ ДО ГАРАНТОЗДАТНОСТІ МЕДИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ	20
1.1. Аналіз предметної області і вимог до гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей	20
1.1.1. Аналіз можливостей використання медичних пристроїв в середовищі Інтернету речей	20
1.1.2. Аналіз архітектури медичної системи на основі Інтернету речей	23
1.1.3. Особливості забезпечення гарантоздатності	27
1.2. Аналіз нормативної бази забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей	30
1.2.1. Огляд міжнародної і національної нормативної бази вимог до медичних систем	30
1.2.2. Створення профільуютьуючої нормативної бази вимог до гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей	34
1.3. Аналіз моделей, методів і засобів оцінювання і забезпечення гарантоздатності	36
1.3.1. Аналіз можливостей застосування аналітичних методів математичного моделювання	38
1.3.2. Кейс-орієнтована оцінка медичних систем на основі Інтернету речей ..	46
1.4. Постановка наукового завдання та обґрунтування методики досліджень ...	48
1.4.1. Загальне наукове завдання (вербальна постановка)	48
1.4.2. Часткові завдання досліджень	48
1.4.3. Обґрунтування методики досліджень	49
1.5. Висновки до першого розділу	51
1.6. Література до першого розділу	52
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ ОЦІНЮВАННЯ ГОТОВНОСТІ МЕДИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ	64

2.1. Комплекс моделей оцінювання гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей	64
2.2. Розроблення і дослідження моделей кібератак на медичну систему на основі Інтернету речей	69
2.2.1. Базова модель «Загибелі-розмноження»	70
2.2.2. Модель, що описує атаку на одну вразливість	70
2.2.3. Модель, що описує атаку на вразливість із можливістю усунення	72
2.2.4. Дослідження функцій готовності моделей кібератак на медичну систему на основі Інтернету речей	74
2.3. Розроблення і дослідження моделі готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує відмови компонентів інфраструктури	76
2.3.1. Відмови медичної системи на основі Інтернету речей	76
2.3.2. Орграф готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує відмови компонентів інфраструктури	77
2.3.3. Симуляція розробленої моделі	83
2.4. Розроблення і дослідження моделі готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує атаки на вразливість компонентів інфраструктури	86
2.4.1. Атаки на медичні системи на основі Інтернету речей	86
2.4.2. Орграф готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує атаки на вразливість компонентів інфраструктури	87
2.4.3. Симуляція розробленої моделі	92
2.5. Висновки за розділом	94
2.6. Література до другого розділу	95
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПОВЕДІНКИ МЕДИЧНОГО ПРИСТРОЮ ТА МЕТОДУ ВИБОРУ ЗАСОБУ ЗАХИСТУ МЕДИЧНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ	98
3.1. Структурно-автоматна модель функціональної поведінки медичного пристрою	98
3.1.1. Аналіз функціональної поведінки медичного пристрою	98
3.1.2. Визначення базових подій і допущень до моделі функціональної поведінки медичного пристрою	102

3.1.3. Визначення компонент вектора стану моделі функціональної поведінки медичного пристрою	105
3.1.4. Розроблення опорного графу станів на основі базових подій функціональної поведінки медичного пристрою	107
3.1.5. Розроблення структурно-автоматної моделі на основі опорного графу станів функціональної поведінки медичного пристрою	110
3.1.6. Валідація розробленої структурно-автоматної моделі функціональної поведінки медичного пристрою	116
3.1.7. Модифікація моделі функціональної поведінки медичного пристрою для використання закону розподілу Ерланга	118
3.2. Метод забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей	124
3.2.1. Теоретико-ігровий підхід для забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей	124
3.2.2. Розроблення методу забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей	126
3.2.3. Приклад використання розробленого методу	129
3.3. Висновки за розділом	132
3.4. Література до третього розділу	133
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ І ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГАРАНТОЗДАТНОСТІ МЕДИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ	
4.1. Метод кейс-орієнтованого оцінювання кібербезпеки медичних IoT систем ...	135
4.1.1. Розроблення методу кейс-орієнтованого оцінювання кібербезпеки медичних IoT систем	135
4.1.2. Приклад використання методу кейс-орієнтованого оцінювання кібербезпеки медичних IoT системи	139
4.2. Розроблення інформаційної технології оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей	140
4.2.1. Базові завдання та принципи розробки інформаційної технології	140

4.2.2. Структура інформаційної технології оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей	141
4.2.3. Інструментальний засіб IoHTStandard.....	146
4.2.4. Інструментальний засіб GTC	151
4.3. Висновки до розділу 4.....	155
4.4. Література до розділу 4.....	156
ВИСНОВКИ.....	157
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	159
ДОДАТОК А. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА	174
ДОДАТОК Б. АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ.....	177
ДОДАТОК В. АНАЛІЗ РІВНЕЙ ВИМОГ ДО МЕДИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ.....	180
ДОДАТОК Г. ЛІСТИНГИ ПРОГРАМНОГО КОДУ МОДЕЛЕЙ	183
ДОДАТОК Д. ГРАФ СТАНІВ І ПЕРЕХОДІВ СТРУКТУРНО-АВТОМАТНОЇ МОДЕЛІ	193
ДОДАТОК Е. СОРТУВАННЯ ПОДІЙ ПОВЕДІНКИ.....	229
ДОДАТОК Ж. СТРУКТУРНО-АВТОМАТНА МОДЕЛЬ	284

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

CDHR – Center for Devices and Radiological Health.

DoS/DDoS – (Distributed) Denial-of-service, атака на відмову в обслуговуванні, розподілена атака на відмову в обслуговуванні.

ETA – Event tree analysis.

FDA – Food and Drug Administration.

FME(C)A – Failure modes and effects (and criticality) analysis.

FTA – Failure tree analysis.

HAZOP – Hazard and Operability Study.

HIPAA – Health Insurance Portability and Accountability Act.

IoT – Internet of Things.

RBD – блок-схеми надійності.

WBAN – Wireless Body Area Network.

БП – базова подія.

ДНСМ – дискретно-неперервна стохастична модель.

ЖЦ – життєвий цикл.

ЗБП – зведена базова подія.

ІЗ – інструментальний засіб.

ІС – інформаційна система.

ІТ – інформаційна технологія.

ЙАПП – ймовірності альтернативного продовження процедури.

КВ – критична відмова.

МА – марковський аналіз.

МС – медична система.

ПЗ – програмне забезпечення.

ПМД – персональні медичні дані.

САМ – структурно-автоматна модель.

СДР – системи диференціальних рівнянь.

СМО – система масового обслуговування.

ФРІП – формула розрахунку значення інтенсивності переходу.

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Інтернет речей (IoT) є експоненціально зростаючою технологією, яка працює з різними типами мережевих пристроїв, які відстежують, збирають та обробляють дані, надсилаючи їх у приватні або загальнодоступні хмарні сховища.

Одними із головних проблем сучасного суспільства є серцево-судинні захворювання і хвороби ендокринної системи. Через розповсюдженість таких захворювань, як (перелік не обмежується) діабет, ниркова недостатність, протягом останніх десятиліть в галузі охорони здоров'я (в тому числі пункти надання медичної допомоги, страхові компанії тощо), клінічної підтримки, і пов'язаних з нею бізнес-партнерів та ІТ-служб, намагаються знайти та надати ефективні рішення щодо моніторингу та контролю стану здоров'я людей. Сучасні поєднання апаратних, програмних та мережевих технологій у вигляді ІТ застосунків зросли в складності; прийняття рішень щодо догляду за пацієнтами часто заплутується у безлічі кінцевих цілей та засобів контролю. Щоб залишатися на ринку, компанії та організації, пов'язані з охороною здоров'я та медициною, зосереджуються більше на окремих цілях – компанії на продажі продукції, організації з надання медичної допомоги на наданні послуг за необхідною ціною тощо. І, таким чином, вимоги до традиційної мети отримання найкращих результатів для пацієнта і загальної користі для системи охорони здоров'я були знижені.

Варто також зазначити, що медична IoT система є системою з особливими вимогами до безпеки. Для таких систем характерна велика кількість відмов через динамічність, багатокomпонентність та багаторівневність. Під час використання мережевих медичних пристроїв можуть виникнути наступні проблеми:

- випадкові відмови (неможливість функціонувати, експлуатувати систему);
- приватність (зібрані особисті дані пацієнта);
- навмисне порушення функціонування (медичні IoT системи можуть мати безліч вразливостей, які можуть експлуатувати зловмисники; атаки зловмисного

програмного забезпечення можуть пошкодити всю систему, атакуючи лише один пристрій, наприклад, інсулінову помпу).

Таким чином, із усіма перевагами використання медичних IoT систем, зростають ризики кібербезпеки, функціональної безпеки та надійності. Ці властивості повинні розглядатися більш широко, не як поодинокі, а як комплексне поняття – гарантоздатність. Забезпеченням і дослідженням гарантоздатності критичним систем займалися вчені різних країн та наукових шкіл: Д. Лапрі, А. Авіженіс, Б. Рендел [1], В.С. Харченко [2], В.В. Скляр [3], Б.М. Конорев [4], А.В. Горбенко [5], А. Романовський [6], А. Теста [7], С. Бернарді [8], зокрема медичних систем О.В. Висоцька [9] та іншими вченими та їх науковими школами.

Оцінювання та забезпечення гарантоздатності критичних систем, до яких відносяться і медичні системи, є відносно трудомістким і складним процесом. Існуючі моделі і методи проведення такого оцінювання та забезпечення недостатньо формалізовані, не відповідають сучасним моделям оцінювання та забезпечення гарантоздатності, не мають інструментальних засобів підтримки оцінювання і забезпечення гарантоздатності, а також не враховують специфічних особливостей медичної галузі. У зв'язку з цим існує необхідність в удосконаленні моделей і методів оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних систем (МС) на основі Інтернету речей, з урахуванням атак на вразливості і дефектів програмних та апаратних компонент, процедур функціонування медичного пристрою.

Для зменшення проблеми наслідків динамічності, багатокomпонентності та багаторівневості в деяких випадках слід використовувати фрагментарність моделей, що розробляються для опису повторних частин моделей, які мають схожу структуру і відрізняються лише значеннями деяких параметрів. Це стосується фрагментарності, спричиненої зміною дефектів розробки та кількості атакованих вразливостей та відповідних показників відмов.

Таким чином, актуальним **науковим завданням** є розроблення моделей та методів інформаційної технології забезпечення гарантоздатності МС на основі Інтернету речей з урахуванням атак на вразливості і дефектів програмних та апаратних компонентів, а також процедур функціонування медичного пристрою.

Мета і завдання дослідження відповідно до предмета та об'єкта дослідження. *Об'єкт дослідження* – процеси забезпечення і оцінювання функціонування та безпеки медичних систем на основі Інтернету речей.

Предмет дослідження – моделі та методи інформаційної технології забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей.

Метою дисертаційного дослідження є підвищення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей базуючись на розробці та практичному застосуванні моделей та методів інформаційної технології для медичних систем.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі *задачі*:

- провести аналіз існуючих національних і міжнародних стандартів, нормативних документів, моделей, методів оцінки і забезпечення гарантоздатності медичних IoT систем;
- розробити комплекс моделей оцінювання гарантоздатності медичних IoT систем;
- розробити модель функціональної поведінки медичного IoT пристрою;
- удосконалити метод забезпечення кібербезпеки медичної IoT системи від кібератак;
- удосконалити метод кейс-орієнтованої оцінки гарантоздатності медичних IoT систем;
- розробити програмні засоби та елементи інформаційної технології оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних IoT систем;
- виконати практичне впровадження отриманих результатів при оцінюванні та забезпеченні гарантоздатності медичних IoT систем.

Методи дослідження. При вирішенні наукових задач використовувалися такі методи: методи системного аналізу, методи теоретико-множинного опису, теорії ймовірностей, апарат теорії марковських процесів, числові методи розв'язання лінійних систем диференціальних рівнянь (СДР) – при розробленні комплексу моделей оцінювання гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей; технології аналітичного моделювання алгоритмів поведінки відмовостійких систем – при розробленні моделі функціональної поведінки медичного пристрою; методи

математичного моделювання і теорії оптимізації, теорії ігор – при розробці методу забезпечення кібербезпеки МС на основі Інтернету речей; методи ризик-аналізу – при розробці методу кейс-орієнтованої оцінки гарантоздатності медичних IoT систем; методи об'єктно-орієнтованого програмування – при розробленні інструментальних засобів для отримання аналітичної моделі розподілу міжнародних стандартів та нормативних документів та для допомоги в прийнятті рішення щодо вибору оптимальних варіантів забезпечення кібербезпеки для всього діапазону атак на медичні системи; методи функціонального моделювання – при розробленні інформаційної технології підтримки оцінювання і забезпечення гарантоздатності МС на основі Інтернету речей.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

1) **удосконалено** комплекс моделей оцінювання гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей шляхом врахування різних функціональних станів, типів відмов та кібератак, що дає змогу розраховувати показники готовності, функціональної безпеки, кібербезпеки, визначати їх залежність від параметрів медичних мобільних пристроїв та хмарного середовища;

2) **вперше** одержано модель функціональної поведінки медичного пристрою, яка, на відміну від відомих, враховує різні закони розподілу часу між заявками на обслуговування, а також різні типи відмов за рівнем критичності, що дозволяє визначити вплив показників медичного пристрою на готовність та гарантоздатність медичної IoT системи в цілому;

3) **набув подальшого розвитку** метод забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей шляхом вибору контрзаходів з використанням теорії матричних ігор, що дозволяє вибирати за максіміним критерієм множину засобів захисту;

4) **удосконалено** метод кейс-орієнтованої оцінки кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей за рахунок формування профільоутворюючої бази стандартів та функціональних вимог, а також процедури вибору інструментів оцінювання, що дозволяє підвищити повноту оцінювання.

Особистий внесок здобувача полягає в розробленні нових моделей, методів, елементів інформаційної технології та інструментальних засобів, що забезпечують вирішення поставлених у дисертації задач. Всі основні наукові положення, результати, висновки і рекомендації дисертаційної роботи отримані автором особисто. Основні результати дисертації опубліковані у 17 наукових працях (додаток А), серед яких 2 глави в колективних англомовних монографіях (Springer, River Publishers), які включено до бази даних Scopus, 5 статей у наукових фахових журналах та збірниках наукових праць, у тому числі 1 стаття, яку опубліковано у періодичному науковому виданні іншої держави, яка входить до Європейського Союзу, 6 публікацій в працях англомовних конференцій, матеріали яких включено до бази даних Scopus і Web of Science, 4 публікацій у матеріалах (тезах і доповідях) наукових конференцій.

Праці [7, 14, 17] опубліковано без співавторів. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: аналіз стану розвитку сфери медичного IoT, існуючих проблем і нормативної бази [4], аналіз ризиків медичних IoT систем [15], аналіз вимог нормативних документів щодо забезпечення кібербезпеки медичних систем [5], аналіз проблем забезпечення і оцінювання кібербезпеки медичних систем [6], аналіз можливостей застосування марковських моделей і методів теорії ігор для оцінювання кібербезпеки [8], аналіз можливостей програмного забезпечення R для моделювання марковських процесів [16], комплекс моделей оцінювання гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей, марковські моделі оцінювання готовності медичних IoT систем і метод забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей шляхом вибору контрзаходів з використанням теорії матричних ігор [2, 3], моделі готовності медичних систем, що базуються на системах масового обслуговування [1, 9], моделі готовності з урахуванням відмов медичних IoT систем [10], метод кейс-орієнтованої оцінки кібербезпеки МС на основі Інтернету речей за рахунок формування профільоутворюючої бази стандартів та функціональних вимог [11], структурно-автоматна модель (САМ) функціонування інсулінової помпи [13], а також модифікована САМ використовуючи закон розподілу Ерланга [12].

Апробація матеріалів дисертації. Апробацію основних положень, ідей, висновків дисертаційної роботи проведено на міжгалузевому науково-технічному

семінарі «Критичні комп'ютерні технології та системи» на кафедрі комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки у Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського «ХАІ». Наукові результати роботи доповідалися також на:

- міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі (ПНПЗК-2017)» (м. Харків, 2017 р.);

- міжнародних конференціях з інформаційно-комунікаційних технологій у галузі освіти, досліджень та промислових застосувань «ICT in Education, Research, and Industrial Applications (ICTERI)» (м. Київ, 2017-18 рр., м. Херсон, 2019 р.);

- міжнародній конференції з інтелектуального збору даних та сучасних обчислювальних систем «Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)» (м. Бухарест, Румунія, 2017 р.);

- міжнародних науково-технічних конференціях «Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)» (м. Київ, 2018 р., м. Лідс, Велика Британія, 2019 р.);

- науково-технічних конференціях «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні» (м. Харків, 2016-18 рр.).

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи становить 301 сторінок друкованого тексту, з них анотація – на 6 стор., зміст – на 4 стор., перелік умовних скорочень – на 1 стор., основний текст – на 146 стор., список із 152 використаних джерел – на 15 стор., додатки – на 128 стор. Дисертація містить 69 рисунків, з яких 1 на 1 окремій сторінці, та 24 таблиць, з яких 6 на 7 окремих сторінках.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, результати яких викладено в дисертації, виконано на кафедрі комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «ХАІ» в рамках виконання науково-дослідних робіт за держбюджетною темою “Методи, програмно-апаратні засоби та інформаційні технології розроблення і модернізації

гарантоздатних комп'ютерних систем, мереж та IT-інфраструктур” (ДР №0117U005349) та міжнародних проектів TEMPUS-SEREIN і ERASMUS+ - ALIOT.

Роль автора в НДР і проектах, в яких вона є безпосереднім виконавцем, полягає у розробленні моделей, методів інформаційної технології забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей.

Практичне значення отриманих результатів. Практичне значення отриманих результатів полягає в доведенні теоретичних положень дисертації до конкретних алгоритмів, рекомендацій та безпосередньому використанні на підприємстві. Були розроблені методики, які є безпосередньо частиною прикладної інформаційної технології оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей та інструментальних засобів «IoHTStandard» і «GTC». А це, в свою чергу, дозволило підвищити повноту оцінювання гарантоздатності такого роду систем.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у (додаток Б):

– ТОВ «ХАІ-МЕДИКА» (акт впровадження від 10.09.2019 р.) при проектуванні телемедичних систем першого рівня і моделюванні поведінки медичних систем і оцінюванні гарантоздатності;

– при виконанні держбюджетного проекту кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки “Методи, програмно-апаратні засоби та інформаційні технології розроблення і модернізації гарантоздатних комп'ютерних систем, мереж та IT-інфраструктур”, ДР №0117U005349 (акт впровадження від 04.09.2019 р.);

– у навчальному процесі Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «ХАІ» та виконанні міжнародних проектів за програмами TEMPUS і ERASMUS+ (акт впровадження від 04.09.2019 р.).

Подяка. Автор висловлює глибоку подяку завідувачу кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», д.т.н., професору Вячеславу Сергійовичу Харченку, науковому керівнику, к.т.н., доценту Дмитру Дмитровичу Узуну, д.т.н., професору кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювання Національного університету «Львівська політехніка» Богдану Юрійовичу Волочію за корисні поради та зауваження, підтримку і віру під час підготовки даної дисертаційної роботи.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ ВИМОГ ДО ГАРАНТОЗДАТНОСТІ МЕДИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз предметної області і вимог до гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей

1.1.1. Аналіз можливостей використання медичних пристроїв в середовищі Інтернету речей

Інтернет речей (англ. Internet of Things, IoT) є однією з найпопулярніших і передових технологій сучасності. Одним з найважливіших напрямків, де сучасні технології можуть принести помітну користь суспільству, є сфера охорони здоров'я і медицини. Мережеві медичні пристрої вже набувають все більшого поширення і за попередніми прогнозами до 2022 року їх ринок становитиме близько 410 мільярдів доларів [1].

Згідно з [2] медичний пристрій – це «інструмент, апарат, прилад, винахід, імплантант, In vitro реагент або інший аналогічний чи споріднений предмет, в тому числі складова частина або додаток, який:

- визначається в офіційному Національному формулярі, або в Фармакопеї, або в будь-якому доповненні до цих документів;
- призначено для використання при діагностуванні захворювань або інших станів, або для лікування, або послаблення болю, або профілактики захворювань людини або тварин;
- призначено для впливу на структуру або будь-яку частину тіла людини або тварини, і який не досягає своєї первинної призначеної мети через хімічну реакцію всередині або на тілі людини або тварини, і який не залежить від метаболізму для досягнення своєї первинної мети».

Для класифікації медичних пристроїв зазвичай використовують Загальну номенклатуру медичного обладнання [3]. З точки зору безпеки, медичні пристрої поділяються на класи I, I_a, I_b і III відповідно до міри потенційного ризику від їх застосування [4]:

- 1) до класу I – медичні вироби з низькою мірою ризику;
- 2) до класу Iа – медичні вироби з середньою мірою ризику;
- 3) до класу Iб – медичні вироби з підвищеною мірою ризику;
- 4) до класу III – медичні вироби з високою мірою ризику.

Процес вибору класу безпеки медичного пристрою наведено на рис. 1.1.

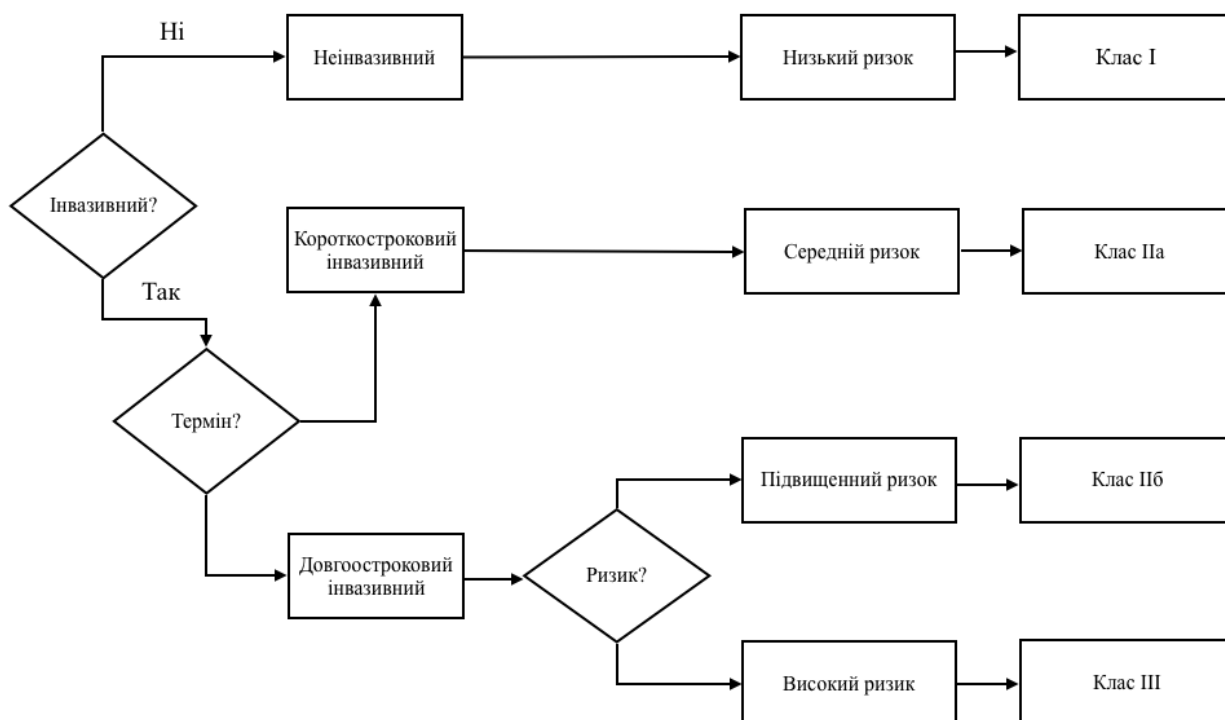


Рисунок 1.1 – Спрощена процедура класифікації медичних пристроїв по критерію безпеки

Для класифікації по функціональному призначенню виділяють такі критерії, як тривалість застосування, інвазивність, спосіб взаємодії з людським тілом, джерело енергії, виконання життєво важливих функцій тощо. На рис. 1.2 зображено класифікацію медичних пристроїв за критеріями типу пристроїв, мети застосування і типу використовуваних компонент.

У звіті Атлантичної ради США 2015 року [5] виділяється чотири основні типи мережевих медичних пристроїв:

- імплантовані, внутрішні;
- для носіння, зовнішні;
- стаціонарні;
- споживацькі для моніторингу здоров'я.



Рисунок 1.2 – Класифікація медичних пристроїв за критеріями типу пристроїв, мети застосування і типу компонент

До імплантованих відносяться кардіостимулятори та інші пристрої, які вживлені у пацієнта, але взаємодіють з іншими пристроями за допомогою бездротових інтерфейсів через звичайні пропрієтарні бездротові протоколи або Bluetooth. Зовнішні для носіння пристрої включають в себе, наприклад, портативні інсулінові помпи, які використовують пропрієтарні протоколи зв'язку. Стационарні медичні пристрої, наприклад, лікарняні станції дозування хіміотерапії, системи кардіомоніторингу для домашнього нагляду за лежачими хворими, зазвичай використовують традиційні бездротові мережі, як Wi-Fi мережі, у лікарнях або домах пацієнтів. Споживацькі пристрої для моніторингу здоров'я, як FitBit, Nike FuelBand або Withings, зазвичай взаємодіють через Bluetooth з прив'язаними мобільними пристроями. Ці пристрої іноді не відносять до медичних, бо для їх виробництва та використання не потрібно схвалення регулюючих органів.

Однією з найбільш затребуваних для лікування, моніторингу, прогнозування та медикаментозного лікування є хвороба на діабет. Відповідно до [6], за оцінками експертів, у 2014 році близько 422 мільйони дорослих мало цукровий діабетом, порівняно з 108 мільйонами у 1980 році, глобальна поширеність діабету майже подвоїлася з 1980 року, зросла з 4,7% до 8,5% у дорослому населенні. Це

спричинило 1,5 мільйона смертей і 2,2 мільйона смертей через високий рівень глюкози в крові у 2012 році, і, за прогнозами, діабет стане 7-ою провідною причиною смерті в 2030 році.

1.1.2. Аналіз архітектури медичної системи на основі Інтернету речей

Мережеві медичні пристрої зазвичай поєднуються у мережу, яка включає в себе пацієнтів, організації охорони здоров'я, лікарів та інших. В більшості випадків, їх взаємодія потребує бездротового та багаторазового зв'язку, який включає розповсюдження клінічних даних та контролювання стану пристрою.

Актуалізацію існуючої загальної архітектури медичної системи (МС) згідно з [7-8] представлено на рис. 1.3.

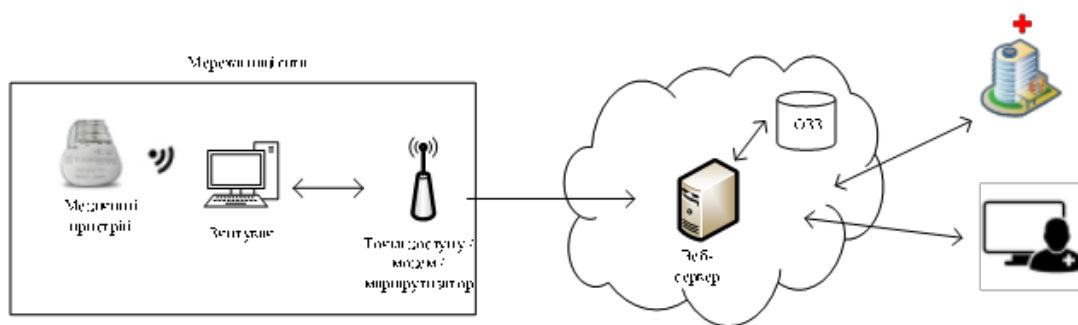


Рисунок 1.3 – Узагальнена схема медичної IoT інфраструктури

Таким чином, складовими IoT інфраструктури в медичній галузі є хмара, пристрій (бездротова натільна комп'ютерна мережа, англ. Wireless body area network, WBAN), медичні працівники та канали зв'язку між пристроєм і хмарою, і постачальник медичних послуг і хмарою (рис. 1.4).

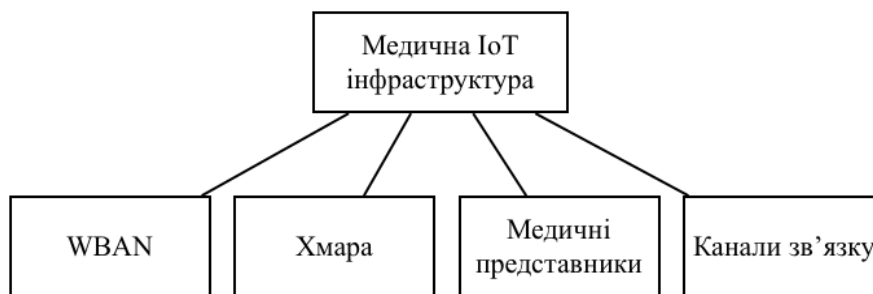


Рисунок 1.4 – Компоненти медичної IoT інфраструктури

В свою чергу складові медичної IoT інфраструктури характеризуються наступним чином:

– WBAN складається з різних датчиків, розташованих у різних частинах тіла, і блоку керування. Датчики використовуються для запису фізіологічних процесів і перетворення отриманих даних у зручний для сприйняття та аналізу формат [10]. Ці датчики або навіть пристрої можуть фіксувати будь-які фізіологічні, термальні, поведінкові показники тіла. Дані, зібрані датчиками передаються до натільного блоку керування тілом за допомогою, наприклад, протоколів Bluetooth або ZigBee. Блок керування призначений для зчитування звітів, моніторингу стану, зміни налаштувань та оновлення програмного забезпечення пристрою тощо; може безпосередньо підключатися до хмарних серверів;

– хмара і її складові забезпечують простий доступ до серверів, зберігання даних, баз даних та широкого спектру програмних послуг в Інтернеті. Основна мета використання хмари – зберігання, аналітика та візуалізація. Хмари забезпечують отримання телеметричних даних у необхідному обсязі від пристроїв та визначення способу обробки та зберігання отриманих даних, дозволяють медичним телеметричним аналізом надавати цінну інформацію як у режимі реального часу, так і пізніше та надсилати команди з хмари чи шлюзу пристрою до конкретного медичного пристрою. Використовуючи хмарні сервіси, можна ефективно зберігати та динамічно обробляти дані, взаємодіяти та інтегрувати дані;

– медичні представники готують аналітичний звіт по кожному пацієнту для перевірки стану хвороби, оцінюють дані та надсилають повідомлення.

Приклад узагальненої архітектурної моделі медичної IoT системи представлений на рис. 1.5.

Тобто, модель архітектури можна розділити на чотири рівні:

- рівень сенсорів та датчиків, що контролює роботу пристроїв на фізичному рівні;
- мережевий рівень, який є основою всієї системи, бо об'єднує пристрої [9];
- рівень систем управління сервісами та програмами;
- рівень інтерфейсів та додатків, який забезпечує зручність для кінцевого користувача [2].

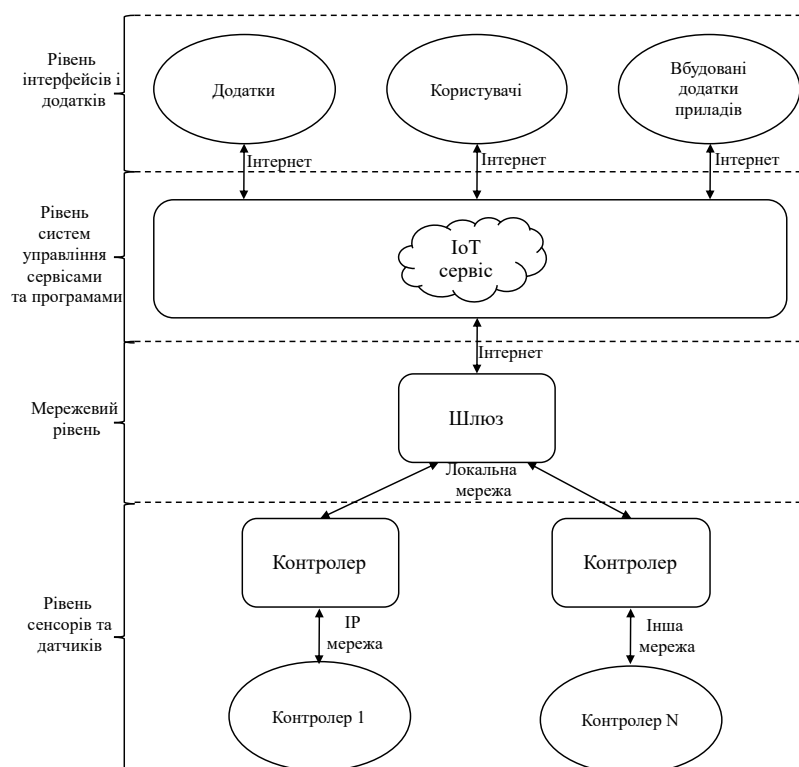


Рисунок 1.5 – Архітектура медичної IoT системи

В дисертаційній роботі досліджується поведінка узагальненої інсулінової помпи, що функціонує IoT інфраструктурі. Діаграма діяльності для інсулінової помпи, що працює незалежно, без взаємодії з іншими пристроями або Інтернетом, була описана в [11], де показано, як ПЗ перетворює вхідні дані з рівнем цукру в крові в послідовність команд, які керують помпою. На рис. 1.6 показано вдосконалену версію діаграми діяльності функціонування інсулінової помпи в середовищі IoT та взаємодії з іншими компонентами.

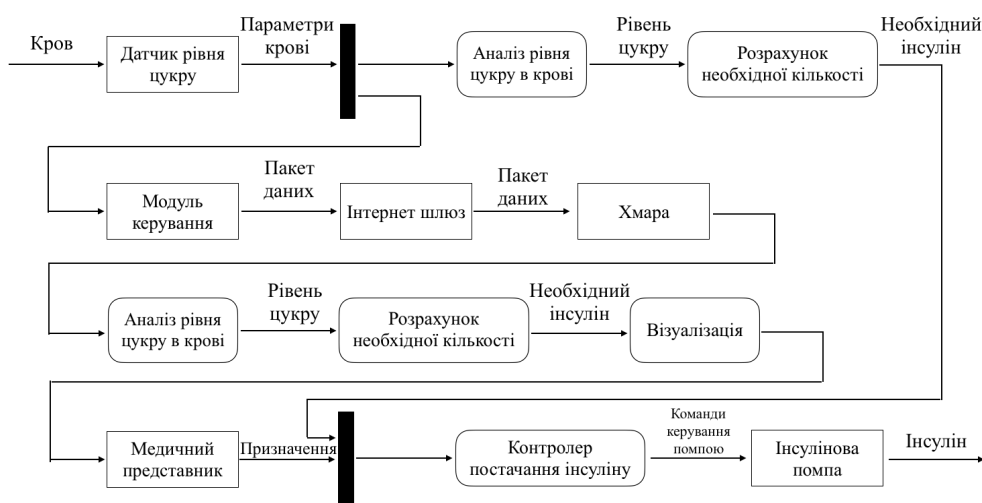


Рисунок 1.6 – Процеси, що відбуваються в інсуліновій IoT помпі

В загальному вигляді взаємодію між усіма складовими медичної IoT інфраструктури представлено на рис. 1.7.

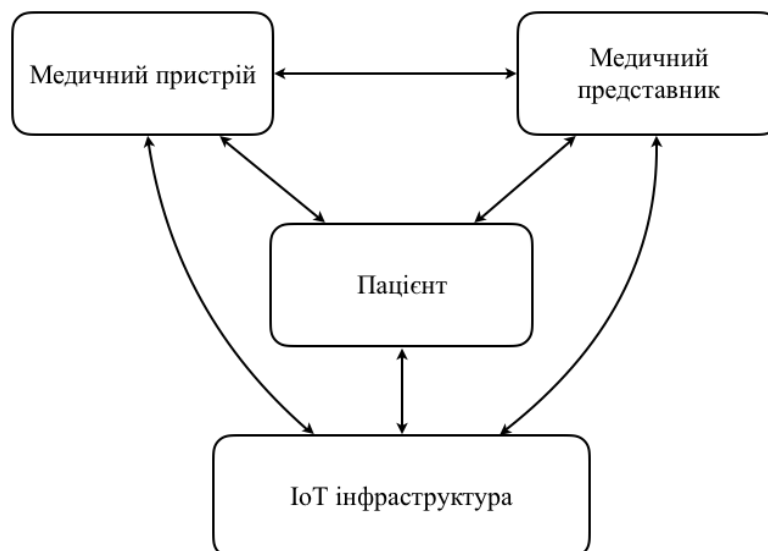


Рисунок 1.7 – Взаємодія між усіма складовими медичної IoT інфраструктури

Медична IoT система є системою, з особливими вимогами щодо безпеки. Якщо інсулінова помпа або будь-який інший важливий елемент інфраструктури не працює або працює не належним чином, то здоров'ю пацієнтів може бути задана шкода, вони можуть впасти в кому, оскільки рівень цукру в крові занадто високий або занадто низький, або попередні призначення лікарів пацієнт не отримує вчасно тощо. Отже, медична IoT система повинна відповідати вимогам готовності та надавати цілодобове обслуговування без винятків. Таким чином, деякими життєво важливими високорівненими вимогами, яким повинна відповідати така IoT система, є:

- система повинна бути готовою для доставки інсуліну іншим за потреби (готовність системи);
- система повинна працювати надійно та доставляти правильну кількість інсуліну для протидії поточному рівню цукру в крові [11];
- будь-який компонент IoT системи повинен взаємодіяти з будь-яким іншим за потреби;
- система повинна мати можливість масштабування;
- хмара повинна мати можливість обробляти, зберігати та візуалізувати всі дані пацієнтів за потреби.

1.1.3. Особливості забезпечення гарантоздатності

Для досліджуваних систем характерна велика кількість відмов через динамічність, багатокомпонентність та багаторівневність. На рис. 1.8 показано статистику відмов медичних пристроїв за останні роки [12]. Забезпечення безпеки таких систем зазвичай включає такі процеси, як визначення вимог до компонентів системи, аналіз загроз, оцінки ризиків, аналіз типів та наслідків відмов, визначення складних взаємодій між компонентами та сценаріями функціональної поведінки цих компонентів. Таким чином, повна оцінка безпеки таких систем є складним і комплексним процесом.



Рисунок 1.8 – Статистика по кількості зареєстрованих збоїв інсулінових помп відносно загальної кількості збоїв медичного обладнання

Характер небезпечних ситуацій залежить від можливих умов або комбінацій обставин, що виникають під час використання інсулінових помп. Відповідно до [13, 14], ретельний аналіз безпеки є першим кроком, необхідним для впровадження систематичного процесу управління ризиками медичних виробів. Небезпеки використання інсулінових помп можна класифікувати по наступним категоріям [15, 16]:

- обслуговування;
- довкілля;
- апаратного забезпечення;
- програмного забезпечення (ПЗ);

- електричні;
- фізичні;
- біологічні та/або хімічні;
- використання.

На рис. 1.9 показано основні причини небезпечних ситуацій інсулінових помп.

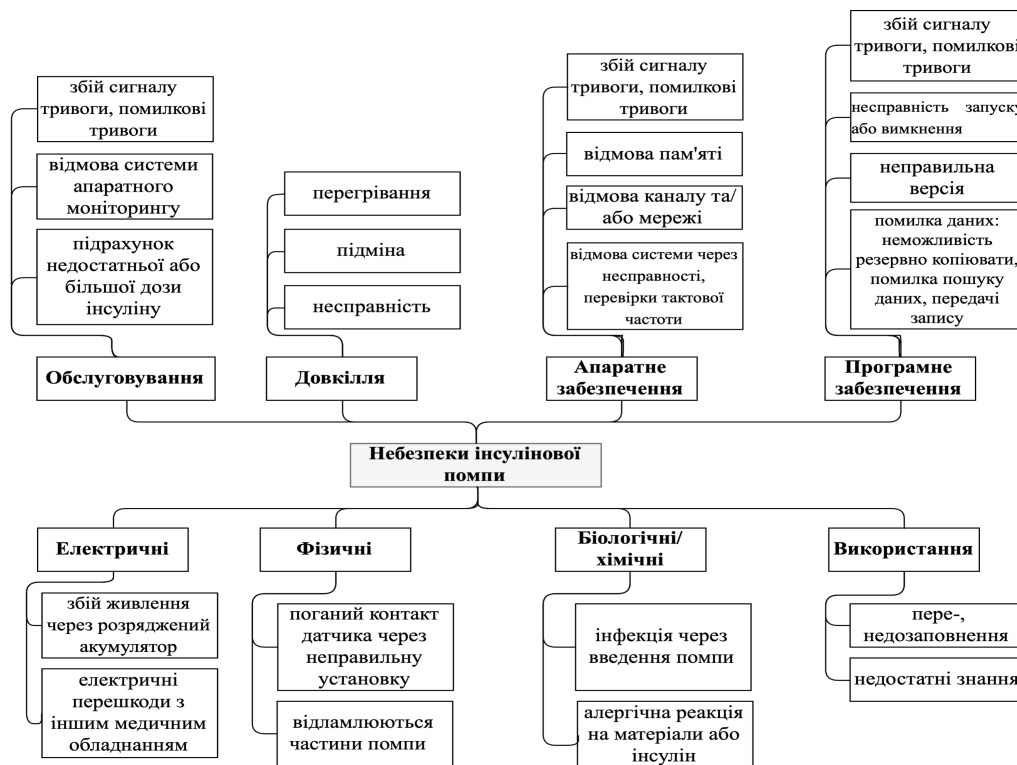


Рисунок 1.9 – Класифікація небезпек використання інсулінових помп

Забезпечення кібербезпеки, функціональної безпеки, готовності та надійності повинно розглядатися більш широко, не як поодинокі властивості, а як комплексне поняття – гарантоздатність, під яким зазвичай розуміють комплексну властивість здатності системи надавати необхідні послуги, яким можна виправдано довіряти. Забезпеченням і дослідженням гарантоздатності критичним систем займалися Д. Лапрі, А. Авіженіс, Б. Рендел [17], В.С. Харченко [18], В.В. Скляр [19], Б.М. Конорев [20], А.В. Горбенко [21], А. Романовський [22], А. Теста [23], С. Бернарді [24], зокрема медичних систем О.В. Висоцька [25] та іншими вченими та їх науковими школами.

В роботі [17] А. Авізієнісом та ін. наведена класична таксономія поняття гарантоздатності критичних систем. На рис. 1.10. представлено актуалізовану таксономію поняття гарантоздатності згідно особливостей об'єкта дослідження.

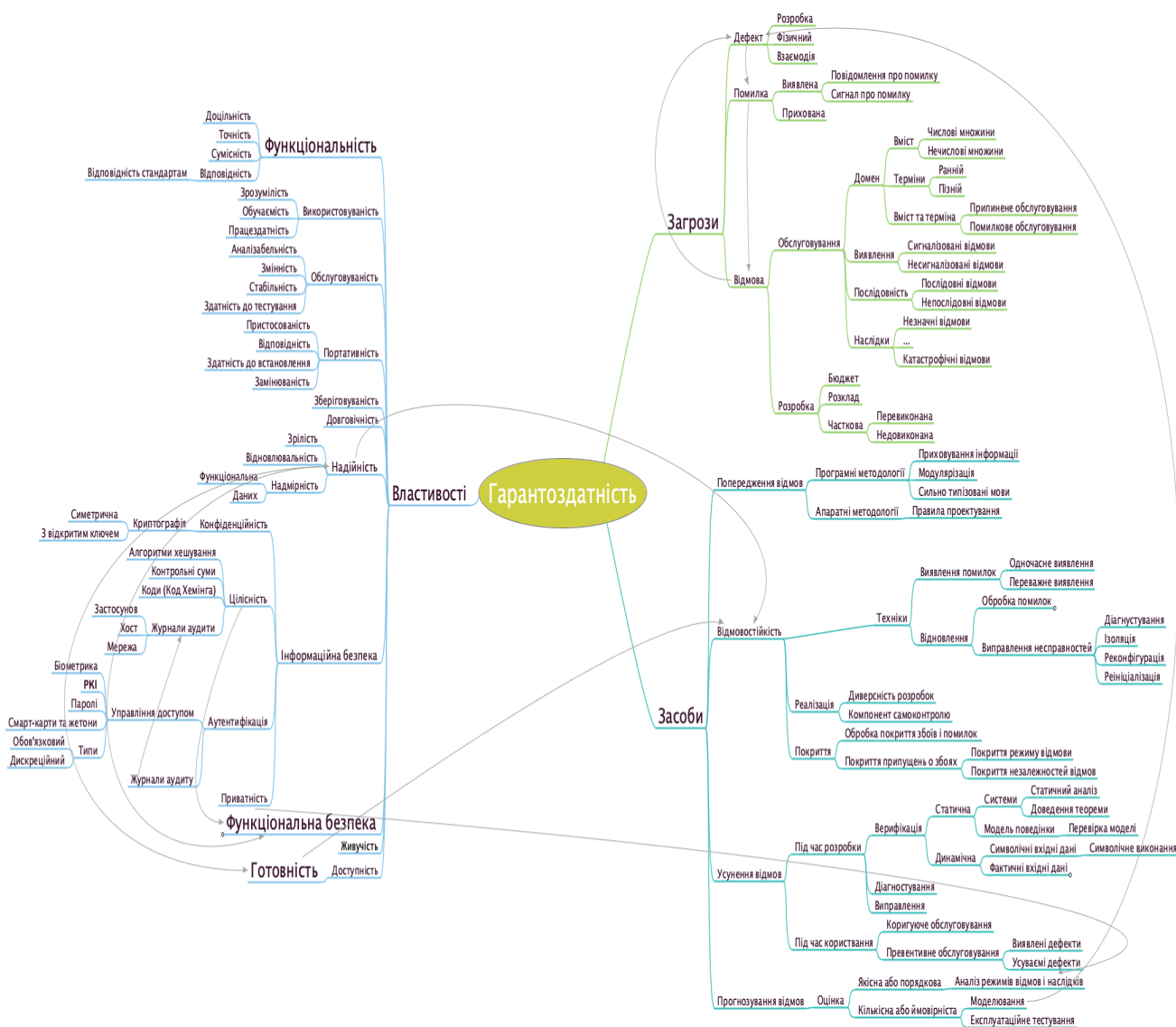


Рисунок 1.10 – Актуалізована таксономія поняття гарантоздатності

На рис. 1.11 показано взаємозв'язок між виникненням між збоїв, помилок, що приводить до збою.

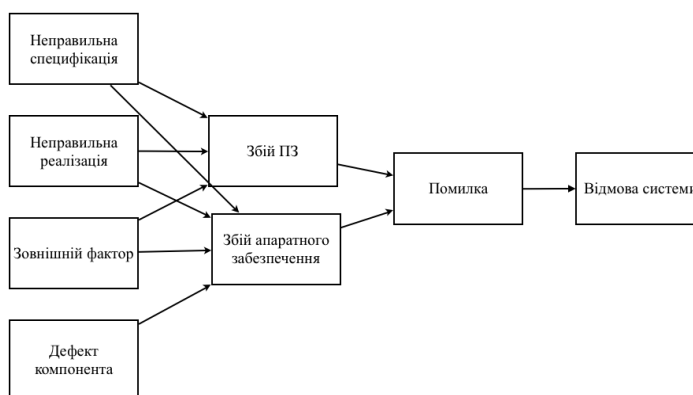


Рисунок 1.11 – «Ланцюжок загроз» – процес виникнення відмови системи

У загальному вигляді функціонування системи з урахуванням можливостей процедури оцінювання гарантоздатності представлена на рис. 1.12.

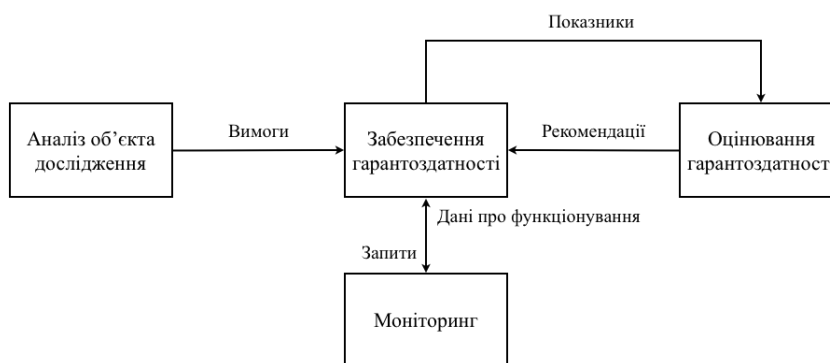


Рисунок 1.12 – Процес функціонування системи з урахуванням можливостей оцінювання гарантоздатності

Спочатку відбувається аналіз об'єкта дослідження, формування вимог до його функціонування. При забезпеченні гарантоздатності необхідно постійно проводити моніторинг поточного стану функціонування системи, а також оцінювати стан забезпечення гарантоздатності за допомогою необхідних моделей і їх аналізу.

В даній дисертаційній роботі згідно з наведеною таксономією (рис. 1.10) розглядаються такі властивості гарантоздатності як функціональність, функціональна безпека і інформаційна безпека (разом з її властивостями цілісністю, доступністю і конфіденційністю). В якості показника гарантоздатності використовується функція готовності, що є ймовірністю застати систему у працездатному стані в певний момент часу.

Таким чином, проведення процедури оцінювання гарантоздатності дозволить підвищити поточний рівень забезпечення готовності, надійності, безпеки і запобігти помилок у специфікації медичних IoT систем на ранніх етапах планування.

1.2. Аналіз нормативної бази забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей

1.2.1. Огляд міжнародної і національної нормативної бази вимог до медичних систем

Вимоги до складових процесу забезпечення гарантоздатності медичних пристроїв в основному регламентуються федеральними законами США і

Управлінням продовольства і медикаментів (англ. Food and Drug Administration, FDA), котрі лягли в основу розроблення національних стандартів інших країн.

Існує низка міжнародних стандартів сертифікації медичних виробів. Деякі з яких – ISO/IEC 27032:2012 [26] – питання кібербезпеки і їх відповідність з іншими видами безпеки, щоб виділити основні практики в області кібербезпеки, а також IEC 62304:2006 [27], який встановлює вимоги до життєвого циклу програмного забезпечення медичного обладнання. Зараз цей стандарт переглядається та узгоджується з ISO 82304:2016 [28].

Поясненням до федерального закону США «Про відповідальність і перенесення даних про страхування здоров'я громадян» (англ. Health Insurance Portability and Accountability Act, HIPAA) є правила конфіденційності [29] і безпеки [30]. Під дію документів HIPAA попадають медичні організації такі, як медичні заклади, страхові компанії, центри медичних розрахунків. Основним завданням цього нормативного акту є захист персональних даних пацієнтів, заборона розголошення лікарської таємниці і покарання винних у разі умисного чи ні порушення певних правил.

В Україні забезпечення конфіденційності інформації пацієнтів гарантується наступною нормативно-правовою базою [31, 32]:

- Закон України «Про захист персональних даних»;
- Закон України «Про охорону здоров'я»;
- Закон України «Про державні фінансові гарантії надання медичних послуг та лікарських засобів»;
- Наказ МОЗ «Про затвердження Порядку надання первинної медичної допомоги»;
- Наказ МОЗ «Про затвердження Порядку вибору лікаря, який надає первинну медичну допомогу, та форми декларації про вибір лікаря, який надає первинну медичну допомогу»;
- Постанова КМУ «Про затвердження порядку функціонування електронної системи охорони здоров'я».

Нормативні гарантії дані Законом України реалізують права пацієнта на отримання інформації про стан свого здоров'я. Для отримання цієї інформації, пацієнт подає запит щодо доступу до персональних даних вказавши в запиті лише прізвище, ім'я та по батькові, місце проживання і реквізити документа, який посвідчує його особу. Водночас у запиті пацієнт вказує перелік персональних даних, які його цікавлять, заклад охорони здоров'я, до якого він звертається із запитом. Тому ця гарантія більш формальна, а на практиці пацієнт, аби отримати дані, зазначає значно більше інформації, аби можна було дати відповідь на його запит.

Центр приладів і радіологічного здоров'я (англ. Center for Devices and Radiological Health, CDHR), який є філіалом FDA, відповідає за передмаркетингове затвердження усіх медичних пристроїв, а також за нагляд за виготовленням, продуктивністю і безпекою цих пристроїв. Управління продовольства і медикаментів вимагає, щоб виробники приладів забезпечували безпеку своєї продукції як на етапі розроблення, так і протягом терміну обслуговування цих пристроїв. З цією метою було випущено три документа: «Guidance for Industry: «Cybersecurity for Networked Medical Devices Containing Off-The-Shelf (OTS) Software» [33], «Premarket Submissions for Management of Cybersecurity in Medical Devices» [34], «Postmarket Management of Cybersecurity in Medical Devices» [35].

У документі «Premarket Submissions for Management of Cybersecurity in Medical Devices» [34] FDA рекомендує виробникам обладнання розробити набір керуючих документів для зменшення ймовірності компрометації функціональних можливостей через неповноцінне забезпечення безпеки і з метою підтримки цілісності функціональності медичних пристроїв і функціональної безпеки. FDA радить виробникам медичного обладнання виконувати:

- ідентифікацію активів, загроз і вразливостей;
- оцінювання впливу загроз і вразливостей на пристрій і кінцевих споживачів;
- оцінювання ймовірностей виникнення загроз і вразливостей;
- визначення рівнів ризиків і можливих стратегій зменшення впливу;
- оцінювання остаточного ризику і критеріїв прийнятності ризиків.

Документ «Postmarket Management of Cybersecurity in Medical Devices» [35] наполегливо рекомендує продовжувати контроль, виявлення і усунення потенційних ризиків кібербезпеки після випуску пристрою на ринок. FDA рекомендує виробникам використовувати NIST Framework для управління ризиками, а також інструмент для вразливостей кібербезпеки, який оцінює такі фактори, як вектор атаки, складність атаки, обов'язкові привілеї, взаємодію з користувачем, масштаб, вплив на конфіденційність, вплив на цілісність, вплив на доступність, рівень виправлень, довіра, впевненість у звіті.

Цей документ передбачає, що виробники проводять моделювання, аналіз каналів і джерел можливих загроз, що оптимізує безпеку мережі, застосунків і Інтернету шляхом вияву потенційних і можливих вразливостей і розроблення заходів протидії.

Результати аналізу основних вимог документів, розроблених FDA, представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Основні вимоги документів FDA

Pre-Market Guidance [34]		Post-Market Guidance [35]	
1		2	
Доступність	Дані доступні в разі потреби	Структурований системний підхід до кібер-ризиків і систем управління якістю	Розробка програмного, цілісного, підходу з комплексною командою для оцінки ризиків кібербезпеки і якості
Цілісність	Дані є точними і повними	Управління вразливостями, продуктивність пристрою і критерій прийнятності ризиків	Регулярна оцінка вразливостей для визначення продуктивності пристроїв, якщо вони були скомпрометовані, наряду з узгодженими критеріями прийнятності ризиків

Продовження таблиці 1.1

1		2	
Конфіденційність	Дані захищені та доступні тільки уповноваженим особам	Безперервний процес виявлення, зменшення та усунення ризиків кібербезпеки	Програма оцінки ризиків наряду з критеріями прийняття ризиків для постійного оцінювання медичних пристроїв протягом усього життєвого циклу
Кібербезпека	Потрібно враховувати питання кібербезпеки від стадії концепції та розробки до кінця життєвого циклу	Управління вразливостями, прийнятності ризику, критерій впливу на здоров'я і тяжкості	Документування впливу вразливостей на медичний пристрій і здоров'я пацієнта

Акт про безпеку та інновації FDA визначає, що зі збільшенням обміну даними між пристроями та електронними системами медичного обліку та використанням бездротового спектру, FDA потрібно бути чіткішими у своїх аспектах регулювання, які застосовуватимуться до визначення вразливостей кібербезпеки [36].

Окрім того, FDA радить виробникам медичних пристроїв розробляти комплексні програми ризик-менеджменту в сфері кібербезпеки, замість того, щоб реактивно реагувати і усувати недоліки пристрою тільки після того, як вони завдали шкоди комп'ютерним мережам МС.

1.2.2. Створення профільоутворюючої нормативної бази вимог до гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей

Медичні системи, що функціонують в середовищі Інтернету речей, впроваджують нові практики в існуючій медичній сфері. Цей процес охоплює та потребує захищеність персональних медичних даних (ПМД) та безпеки пацієнта в цілому і, в свою чергу, зменшуючи операційні витрати, збільшуючи популярність

такого роду медичних послуг серед пацієнтів, швидкість обчислень та простоту доступу до таких послуг, оптимальне використання ресурсів, обмін записами та підтримку наукових досліджень тощо [37]. З іншого боку, мережеві МС не можуть забезпечувати повну гарантоздатність, що може включати в себе також захищеність ПМД та безпеку використання медичних пристроїв, навіть якщо система побудована відповідно до міжнародних норм. У цьому випадку необхідно розглядати проблеми забезпечення гарантоздатності.

Необхідно враховувати вимоги до кожного рівня інфраструктури медичної системи, що функціонує в середовищі Інтернету речей, і на основі цього була побудована модель профільювальної нормативної бази вимог до МС, що функціонують в середовищі Інтернету речей, яка представлена на рис.1.13.

У відповідності до ієрархічної моделі нормативних документів з вимогами до МС, що функціонують в середовищі Інтернету речей, можна виділити наступні рівні вимог, які показані у Додатку В відповідно до [16, 30, 31, 38-55].

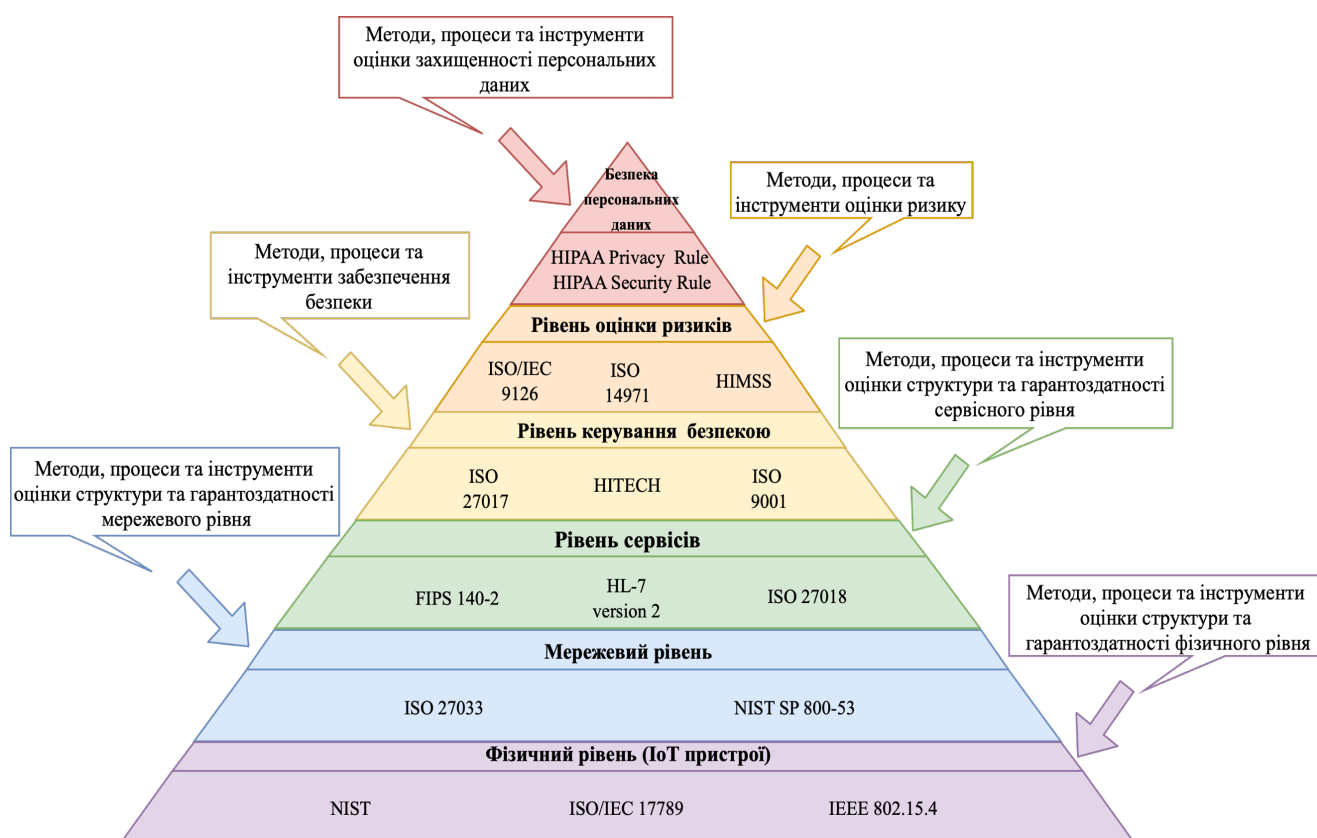


Рисунок 1.13 – Профільювальною нормативна база вимог до медичних систем, що функціонують в середовищі Інтернету речей

На підставі результатів аналізу, можна виділити наступні основні вимоги до медичних IoT систем.

Вимога 1. Переконатися, що організація дотримується правил забезпечення гарантоздатності. Різні вимоги міжнародних стандартів надають довірчі рішення щодо побудови систем забезпечення гарантоздатності, захисту даних та керування безвідмовною роботою медичних пристроїв. Наполегливо рекомендується верифікувати системи відповідно до офіційних норм.

Вимога 2. Застосовувати довірену архітектуру мережі. Оскільки IoT системи засновані на мережах і всі дані передаються через мережу, важливо уникати зловмисних атак під час передачі інформації з одного пристрою на інший (забезпечувати цілісність і доступність).

Вимога 3. Забезпечити захист ПМД. Медична інформація включає в себе інформацію про приватні дані пацієнтів (конфіденційність). Інформація може бути пов'язана з фізичним чи психічним станом людини, його минулим чи майбутнім станом здоров'я, а також з поточним станом людини. Модифікація даних може спричинити незворотні наслідки.

Розглянуті міжнародні і національні стандарти, інші нормативні документи дозволяють виявити основні вимоги до реалізації МС, що функціонують в середовищі Інтернету речей.

Таким чином, представлена профільуютьуюча база стандартів може бути використана для розроблення методології оцінки гарантоздатності МС на основі Інтернету речей.

1.3. Аналіз моделей, методів і засобів оцінювання і забезпечення гарантоздатності

Методи забезпечення гарантоздатності будь-яких інформаційних систем можна розділити на п'ять основних категорій [56]:

- правові – регламентують правовий порядок роботи з системами і інформацією в нею, і встановлюють відповідальність за його порушення згідно з законодавством;

- організаційні – в основному орієнтовані на роботу з людьми, організацію систем фізичного і інформаційного захисту, організацію контролю виконання вжитих заходів, покладання персональної відповідальності за виконання заходів;

- інженерно-технічні – пов’язані з побудовою оптимальних (фізичних) рішень з урахуванням вимог до гарантоздатності;

- технічні – засновані на застосуванні спеціальних технічних засобів забезпечення та контролю гарантоздатності;

- програмно-апаратні – в основному пов’язані з процесом обробки і передачі інформації.

Процес забезпечення і оцінювання гарантоздатності МС, що функціонують в середовищі Інтернету речей потребує побудову моделей систем, які досліджуються. Моделювання поведінки систем може привести до істотного зниження термінів і вартості розробки медичних IoT систем, а також за рахунок аналізу великої кількості варіантів підвищує ефективність використання такого роду систем [57, 58]. Також моделювання допомагає оцінювати показники різних складових гарантоздатності (наприклад, функціональної безпеки, кібербезпеки, готовності тощо).

Існує множина різних методів математичного моделювання процесів із дискретним характером, кожен з яких характеризується своєю сферою застосування, які можна класифікувати на аналітичні, імітаційні та гібридні [59].

Аналітичні методи математичного моделювання застосовуються, коли властивості описуваного об’єкта можна відобразити за допомогою детермінованих величин або системи математичних рівнянь, якщо інформація про реальний об’єкт в заданому інтервалі часу дозволяє повністю формалізувати його поведінку поза розглянутого інтервалу [60]. Імітаційні методи моделювання засновані на тому, що досліджуваний об’єкт замінюється імітуючим об’єктом для отримання наближених знань про деяке параметрі об’єкта, не проводячи

безпосередній вимір його параметрів [61]. При цьому відбувається висока деталізація об'єкта дослідження, що може сказатися на часових параметрах процесу моделювання і, таким чином, не доцільно використовувати при моделюванні складних і комплексних систем [62]. Гібридне моделювання дозволяє використовувати переваги обох підходів, тобто комбінувати аналітичні підходи з імітаційними [63]. Проте використання даного підходу не описано ні в яких нормативних документах. Таким чином, в даному дослідженні доцільно використовувати методи аналітичного моделювання, яке, в свою чергу, можна поділити на дві групи – комбінаторні і просторові.

1.3.1. Аналіз можливостей застосування аналітичних методів математичного моделювання

Міжнародний стандарт ІЕС 60301-3-1:2003 [64] наводить перелік методик до аналізу гарантоздатності:

- методика аналізу дерев відмов (англ. Failure tree analysis, FTA) [65];
- методика аналізу дерев подій (англ. Event tree analysis, ETA) [66];
- методика аналізу за допомогою блок-схем надійності (англ. Reliability block diagram analysis, RBD) [67];
- методика марковського аналізу (МА) [68];
- методика аналізу за допомогою мереж Петрі [69];
- методика аналізу видів, наслідків (та критичності) відмов (англ. Failure modes and effects (and criticality) analysis, FME(C)A) [70];
- методика аналізу небезпеки і працездатності (англ. Hazard and Operability Study, HAZOP) [71];
- методика таблиць істинності (аналіз структурної функції) [72].

В даній роботі для проведення процедури класифікації методик аналізу гарантоздатності були виділені наступні критерії, що показані на рис. 1.14:

- стадії життєвого циклу – методики аналізу гарантоздатності зазвичай використовується на етапі формування вимог та проектування, і, в свою чергу,

можливість застосування залежить від наявної інформації про досліджувану систему;

- мета аналізу – може бути якісною (ідентифікація режимів відмов компонентів, їх наслідків на системному рівні та причинно-наслідкових шляхів, а також визначення можливих стратегій відновлення/ремонту) або кількісною (числові дані, що використовуються як вхідні параметри для моделей надійності та/або готовності, оцінюючи показники надійності та/або готовності, використовуючи ймовірнісні або стохастичні припущення, проведення аналізу критичності та чутливості компонентів);

- спосіб аналізу – методи оцінювання знизу-вверх використовується при впливі одиночних несправностей, а відправною точкою аналізу є виявлення несправностей на рівні компонентів, при цьому кожна складова розглядається окремо і вивчаються її наслідки на наступному вищому рівні системи; методи оцінювання зверху-вниз використовується при впливі декількох несправностей, аналіз починається з розгляду режиму відмови на найвищому, а потім спускається вниз, визначаючи причини несправностей;

- причинно-наслідковий зв'язок [73] – показує, яким чином методики дізнаються зв'язок між причинами та наслідками; дедуктивні призначені для використання при відомих наслідках і невідомих причинах; індуктивні призначені для використання при відомих причинах і невідомих наслідках; дослідницькі призначені для використання при невідомих причинах і наслідках;

- класи відмов – одиничні відмови або комбінації відмов;

- залежності моделювання [74] – можливість моделювання поведінки об'єкта дослідження, залежно від часу або послідовності, а також подій, що залежать від стану об'єкта дослідження; може бути використаним лише з кількісними методиками і такі моделі дають комплексну оцінку, а також мають можливість взаємодіяти з іншими методиками.

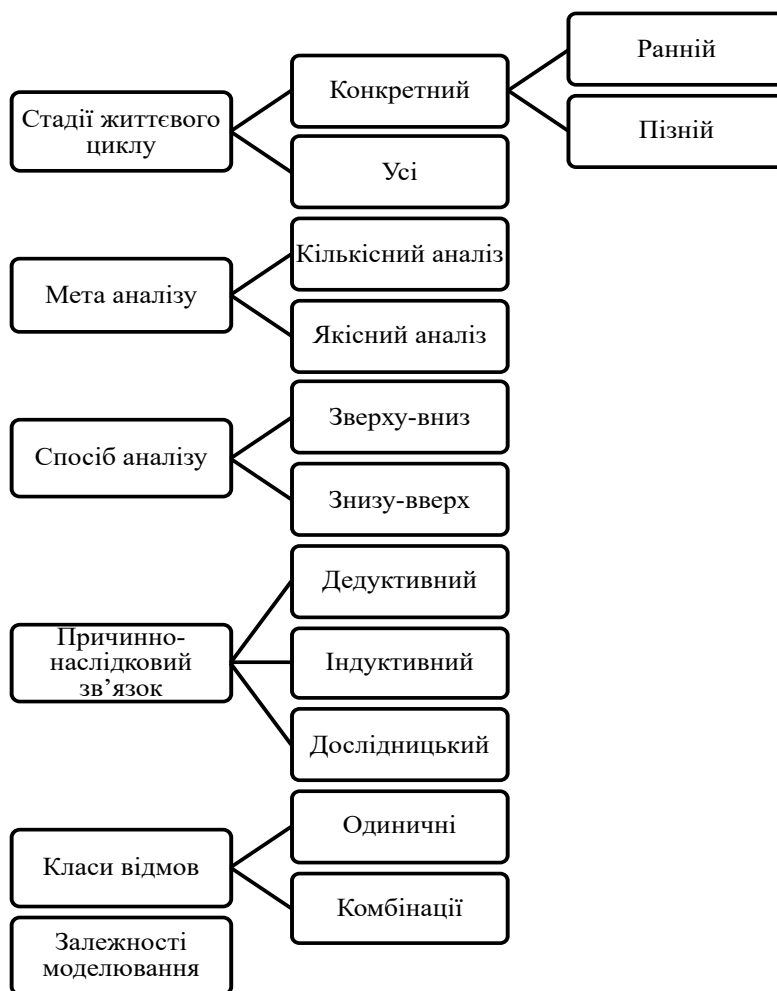


Рисунок 1.14 – Критерії класифікації методик аналізу гарантоздатності

У таблиці 1.2 наведено порівняння процедур оцінювання згідно ІЕС 60301-3-1:2003 за зазначеними критеріями.

Таблиця 1.2 – Методики оцінювання гарантоздатності згідно ІЕС 60301-3-1:2003

Методика	Стадії ЖЦ	Мета	Спосіб	Причинно-наслідкових зв'язок	Класи відмов	Залежності
1	2	3	4	5	6	7
FTA	Усі	К, Я	Знизу-вверх	Дедуктивний	Комбінації	-
ETA	Усі	К, Я	Знизу-вверх	Індуктивний	Комбінації	+
RBD	Усі	К, Я	Зверху-вниз	NA	Незалежні	-
MA	Пізні	К	Зверху-вниз	NA	Незалежні	+

1	2	3	4	5	6	7
Мережі Петрі	Пізні	К, Я	Зверху-вниз	NA	Незалежні	+
FMEA	Усі	Я	Знизу-вверх	Індуктивний	Незалежні	-
FMECA	Усі	Я	Знизу-вверх	Індуктивний	Незалежні	-
HAZOP	Рані	Я	Знизу-вверх	Дослідницький	Незалежні	-
Таблиці істинності	Пізні	К, Я	NA	Індуктивний	Комбінації	-

Примітка. К – кількісний аналіз, Я – якісний аналіз, NA – критерій неможливо застосовувати до цього методу

До найбільш розповсюджених комбінаторних методів аналітичного моделювання належать діагностування дерева відмов (FTA) та аналіз за допомогою блок-схем надійності (RBD).

Для аналізу проблем функціональної безпеки та/або кібербезпеки IoT системи можна застосувати метод аналізу дерев відмов або атак, який є дедуктивним методом аналізу безпеки та надійності системи як складових процесу забезпечення гарантоздатності. Керівні документи FDA [75, 76] згадують про використання цього методу при створенні медичних пристроїв для виявлення та класифікації небезпечних ситуацій. Наприклад, у [77] дерева використовувались для аналізу сценаріїв віктимізації електронної пошти. У [78] FTA використовувались для обчислення похибки призначення ліків. Для побудови дерева відмов/атак необхідно проаналізувати можливі відмови/атаки на медичну IoT інфраструктуру або на її окремі компоненти.

Оскільки IoT інфраструктура багатокомпонентна, доцільно розглядати проблеми безпеки кожного компонента та каналів зв'язку окремо. У цьому випадку буде побудовано кілька дерев як підкомпоненти одного великого дерева.

Розглянемо абстрактний приклад використання дерева відмов для МС, що функціонують в середовищі IoT. Перш за все необхідно визначити головну подію. Прикладами такої події можуть бути відмова певного датчика, порушення

(неможливість надсилання критичних показників), P_{sf} можна обчислити, використовуючи наступним чином:

$$P_{sf} = P_1 P_2 P_3 + P_1 P_4 P_5, \quad (1.1)$$

де $P_1 - P_5$ – це, відповідно, ймовірність наступних подій: отримано доступ до WLAN; використовується незашифрований канал; перевірка цілісності пропущена; реальний пристрій відключено; ідентифікація пристрою порушена.



Рисунок 1.16 – Фрагмент дерева з можливими сценаріями, в яких критичні значення показників можуть не передаватися до хмари

На практиці дерева відмов мають більш складну структуру, поєднуючи різні варіанти використання елементів І/АБО. Структура залежить від найбільш вірогідних сценаріїв, розглянутих у процесі аналізу проблем гарантоздатності медичних системи, що функціонують в середовищі Інтернету речей. У цьому випадку різні сценарії можуть бути складними і перетинатися в однакових подіях.

Для обчислення ймовірності виникнення основної події необхідно параметризувати побудоване дерево. Під параметризацією мається на увазі визначення ймовірності настання подій на нижчому рівні. Дані для параметризації можна отримати, зібравши статистику функціонування компонентів. За відсутності статистики та, як наслідок, неможливості визначення кількісних показників, можливо використовувати метод експертних оцінок та використання змінних нечіткої логіки.

Таким чином, дерева – це універсальний метод, який можна застосовувати як для оцінки безпеки, так і для надійності. Перевагами цього методу є універсальність, гнучкість, наочність та доступність інструментів, що дозволяють моделювати. Проте недоліком дерев є неможливість визначення всіх можливих сценаріїв настання головної події. Існує також проблема деталізації кожного сценарію, оскільки надмірна деталізація може зменшити видимість загального стану відповідної інфраструктури. Крім того, у разі впровадження процедур технічного обслуговування, збільшення дерев стає достатньо складним і комплексним процесом, і такі параметри, як швидкість відновлення або середній час ремонту, не можуть враховуватися в даному випадку.

До комбінаторних методів аналітичного моделювання належать також методи оптимізації, серед яких можна виділити методи теорії ігор. Використання даних методів для оцінювання складових гарантоздатності були описані у роботах [79-81]. Даний підхід забезпечує оптимальне співвідношення між витратами на засоби захисту системи і зниженням ризиків використання системи [82-84]. Для опису моделі, заснованої на теорії ігор, необхідно мати такі вхідні параметри та дії:

- класифікацію загроз;
- проведений аналіз ризиків, результатом якого є очікувана сума збитків у разі успішної атаки;
- формальний опис засобів захисту (ймовірності захисту).

Після побудови матриці гри можна заздалегідь оцінити наслідки кожного рішення, відхилити невдалі варіанти для забезпечення безпеки та рекомендувати найефективніші варіанти для всього діапазону атак з урахуванням стратегій x_i . Якщо в побудованій матриці результатом гри є втрати внаслідок успішної атаки d_i , найкраща з точки зору наявної інформації буде стратегія, в якій середня втрата буде мінімальною, тобто мінімальною кількість:

$$\sum_{i=1}^n d_i \cdot p(x_i) \rightarrow \min \quad (1.2)$$

Ігрові моделі використовуються для вирішення проблеми вибору рішень, що забезпечують оптимальне співвідношення між витратами на захист та зменшеним

ризиком експлуатації системи. Однак, моделі, побудовані на основі теорії ігор, не враховують стратегій поведінки атакуючого залежно від його готовності та обладнання, а також не враховують можливості загроз.

Одними з найбільш поширених просторових математичних методів аналізу гарантоздатності є марковський аналіз (МА). Наукові публікації щодо цього підходу представлені ученими різних країн В.С. Харченко [85], Б.Ю. Волочієм [86], К.С. Триведі [87], Бутенко В.О. [88], М.А. Бойд [89], Н. Фугуа [90] та іншими вченими та їх науковими школами. Гошева-Попстоянова та Триведі в [91] представили огляд підходу до оцінки гарантоздатності систем. Згідно цього, системи можна моделювати як марковський ланцюг з дискретним часом або безперервним часом або як напівмарківський процес. В [92] показано, як використовувати марковські моделі для аналізу гарантоздатності і кібербезпеки.

В більшості випадків даний підхід використовується для оцінювання функціональності складних систем, а також стратегій технічного обслуговування й ремонту. Для використання даного підходу існують деякі базові припущення:

- потоки відмов і відновлення системи є найпростішими (стаціонарні, ординарні, без післядії);
- параметри таких потоків приймаються як сталі величини.

Виділяючи стохастичні параметри систем, а саме інтенсивність відмов λ та інтенсивність відновлення μ , можна описати відповідну математичну модель, яка здатна визначити необхідні ймовірності в системі $P_0 = f(\lambda, \mu)$.

Загалом, спрощений марковський граф процесів, що відбуваються в досліджуваній системі, і характеризується N відмовами, показано на рис. 1.17. Інтенсивність переходу до поглинаючого стану S_n може бути визначена як інтенсивність реальної загрози відмови λ_n та інтенсивності готовності до відмови K_{an} , $n = 1, \dots, N$.

Практичне використання збільшеної моделі може спростити процес моделювання, зводячи його до простих завдань.

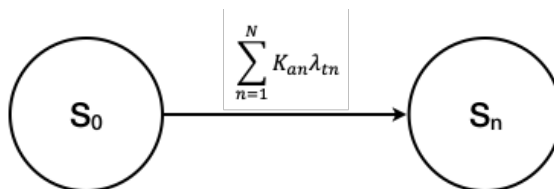


Рисунок 1.17 – Спрощений марковський граф процесів, що відбуваються в досліджуваній системі

Так як для таких систем характерна велика кількість відмов через динамічність, багатокомпонентність та багаторівневність, то слід використовувати фрагментарність моделей, що розробляються, для опису повторних частин моделей, які мають схожу структуру і відрізняються лише значеннями деяких параметрів. Це стосується фрагментарності, спричиненої зміною відмов через помилки проектування та кількості атакованих вразливостей та відповідних показників відмов. Авторами [93] показано підхід до забезпечення фрагментарності шляхом поділу моделі на N фрагментів, які мають схожу структуру, але різні параметри. Такий підхід може допомогти представити взаємозв'язок між різними частинами системи.

Отже, не існує єдиної методики аналізу гарантоздатності, яка включає в себе основні вимоги до моделювання. Тому необхідно використовувати декілька математичних підходів для опису більш повної моделі процесів аналізу гарантоздатності МС, що функціонують в середовищі Інтернету речей.

1.3.2. Кейс-орієнтована оцінка медичних систем на основі Інтернету речей

При оцінюванні гарантоздатності та її складових медичних систем, як і інших критичних систем, набув поширення підхід, заснований на методології кейс-оцінювання. Даний підхід передбачає комплексну, простежувану оцінку системи і її складових.

Наукові публікації щодо цього підходу представлені такими ученими, як П.Фейлер [94], П. Бішоп [95], Дж. Рушбі [96], В.С. Харченко [97] і багатьма іншими. Ця методологія була використана в дисертаційних дослідженнях А.О. Орехової [98] для оцінки безпеки людино-машинних інтерфейсів,

Е.І. Неткачової [99] для оцінки функціональної безпеки інформаційно-керуючих систем, А.О. Федосєєвої [100] для оцінки якості програмного забезпечення автоматизованих робочих місць для виробництва лікарських препаратів. Також, використання даної методики обумовлено міжнародними стандартами з безпеки IEC 1508 («functional safety assessment») [101], ISO/IEC TR15026-1:2010 [102].

Оцінка безпеки на основі кейс методології включає в себе формальне подання доказів, доводів і припущень, спрямованих на забезпечення гарантії того, що система, що досліджується відповідає вимогам безпеки, і вимоги безпеки є адекватними.

Основні елементи кейс методології наведені на рис. 1.18 [96, 103].

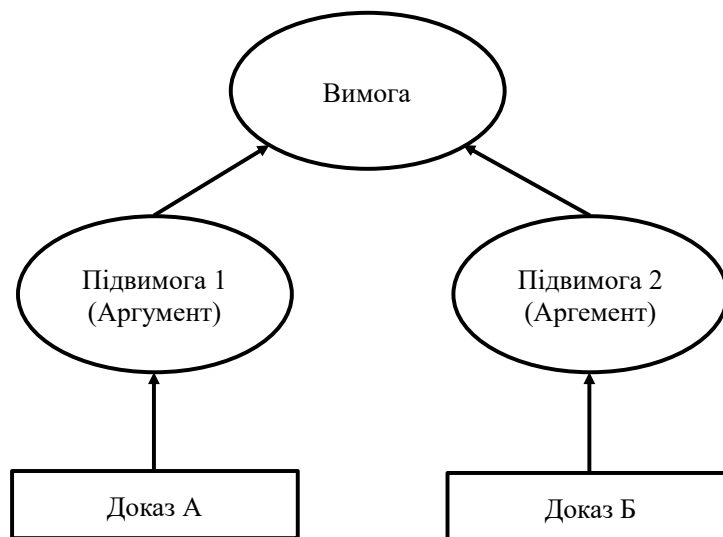


Рисунок 1.18 – Елементи кейс методології

Результатом використання даної методології є кейс-звіт, який повинен містити в собі всі відомості, необхідні для оцінки безпеки медичних систем, що функціонують в середовищі Інтернету речей. Чим вище вимоги до безпеки, тим вищий рівень деталізації необхіден. Якісний звіт надає інформацію в такому обсязі і вигляді, який зробить роботу експерта комфортною з точки зору достовірності, доступності та зручності використання.

Важливо, створити план виконання кейс методики на самому початку процесу проектування. Це дозволить визначити, які необхідно зібрати докази, і, що необхідно використовувати для їх підтримки на різних етапах життєвого циклу.

Даний підхід дозволяє побудувати переконливий доказ того, що система безпечна протягом часу.

1.4. Постановка наукового завдання та обґрунтування методики досліджень

Результати проведеного аналізу нормативної бази, моделей, методів оцінювання та забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей показали, що необхідно розвивати моделі, методи та інструментальні засоби підвищення гарантоздатності такого роду систем.

1.4.1. Загальне наукове завдання (вербальна постановка)

Таким чином, загальним науковим завданням дисертаційного дослідження є розроблення моделей та методів інформаційної технології забезпечення гарантоздатності МС на основі Інтернету речей з урахуванням атак на вразливості і дефектів програмних та апаратних компонент, а також процедур функціонування медичного пристрою.

Існують медичні системи, які функціонують в середовищі Інтернету речей.

Необхідно розробити математичні моделі та методи оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних систем, які функціонують в середовищі Інтернету речей.

1.4.2. Часткові завдання досліджень

Рішення загального завдання включає ряд часткових наукових і прикладних завдань, які необхідно вирішити, а саме:

1. Провести аналіз існуючих національних і міжнародних стандартів, нормативних документів, моделей, методів оцінки і забезпечення гарантоздатності медичних IoT систем.

2. Розробити комплекс моделей оцінювання гарантоздатності медичних IoT систем.
3. Розробити модель функціональної поведінки медичного IoT пристрою.
4. Удосконалити метод забезпечення кібербезпеки медичної IoT системи від кібератак.
5. Удосконалити метод кейс-орієнтованої оцінки гарантоздатності медичних IoT систем.
6. Розробити програмні засоби та елементи інформаційної технології забезпечення гарантоздатності медичних IoT систем.
7. Виконати практичне впровадження отриманих результатів при оцінюванні та забезпеченні гарантоздатності медичних IoT систем.

1.4.3. Обґрунтування методики досліджень

Сформулюємо основні етапи і методику досліджень, результати яких викладені в розділах 2, 3 та 4. Методика досліджень ґрунтується на застосуванні системного підходу до постановки та рішення загальної і часткових завдань дисертаційного дослідження, вибору математичного апарату, використовуваних моделей та методів дослідження, а також програмних засобів для реалізації інформаційної технології.

Методика досліджень розробляється виходячи з вимог до логіки та послідовності рішення поставлених завдань і адекватності обраного математичного апарату та складається з ряду основних етапів. На рис. 1.19 наведена запропонована в дисертаційній роботі методика досліджень, означені основні етапи, показані взаємозв'язки з отриманими результатами.

На першому етапі необхідно провести аналіз існуючої нормативної бази регламентуючих документів щодо гарантоздатності МС на основі Інтернету речей, визначити особливості побудови і функціонування такого роду систем. Особлива увага приділяється аналізу моделей, методів, процедур і підходів до оцінювання і забезпечення гарантоздатності МС на основі Інтернету речей.

На другому етапі розроблюється комплекс моделей оцінювання гарантоздатності МС на основі Інтернету речей, який включає в себе моделі готовності, які враховують в себе відмови і кібератаки на окремі компоненти медичної IoT інфраструктури і модель функціональної поведінки медичного пристрою.

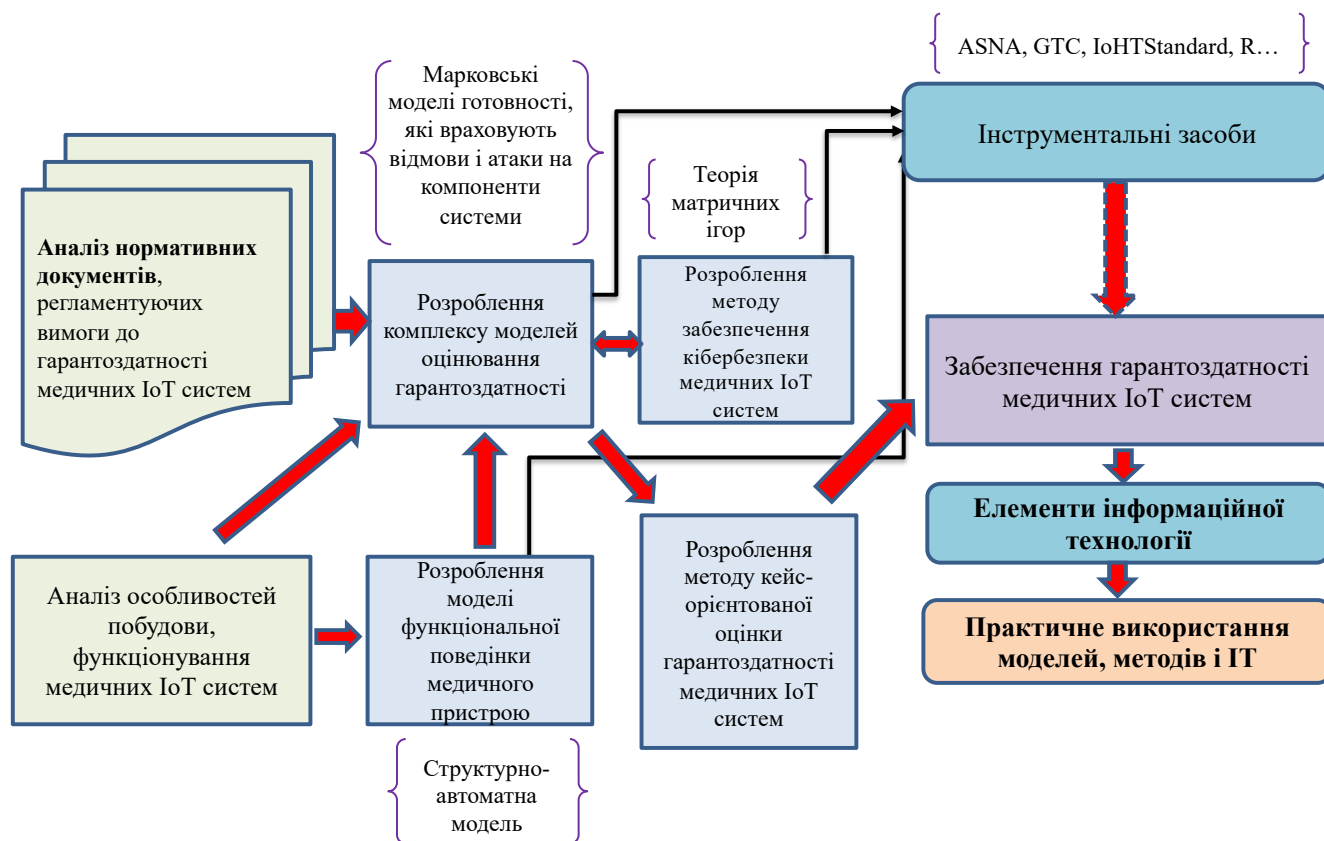


Рисунок 1.19 – Методика дисертаційного дослідження

На третьому етапі вдосконалюється метод забезпечення кібербезпеки МС на основі Інтернету речей, який базується на теоретико-ігровому підході до вибору засобів захисту систем.

На четвертому етапі розроблюється метод кейс-орієнтованої оцінки кібербезпеки МС на основі Інтернету речей за рахунок формування профільоутворюючої бази стандартів та функціональних вимог, а також процедури вибору інструментів оцінювання.

Завершальним етапом є розробка інструментальних засобів для побудови аналітичної моделі розподілу міжнародних стандартів та нормативних документів, а також для вибору оптимальних засобів захисту МС на основі Інтернету речей і

об'єднання розроблених моделей оцінювання готовності, функціональної поведінки медичного пристрою та методів вибору засобу захисту, кейс-орієнтованої оцінки кібербезпеки МС на основі Інтернету речей, розроблених інструментальних засобів в єдину інформаційну технологію оцінювання і забезпечення гарантоздатності МС на основі Інтернету речей.

Методологічну основу досліджень становлять методи системного аналізу [59, 104, 105]. У процесі проведення досліджень було використано методи теоретико-множинного опису [105], теорії ймовірностей [106], апарат теорії марковських процесів [107], числові методи розв'язання лінійних СДР [108] – при розробленні комплексу моделей оцінювання гарантоздатності МС на основі Інтернету речей; технології аналітичного моделювання алгоритмів поведінки відмовостійких систем [86] – при розробленні моделі функціональної поведінки медичного пристрою; методи математичного моделювання і теорії оптимізації, теорії ігор [109] – при розробці методу забезпечення кібербезпеки МС на основі Інтернету речей; методи ризик-аналізу [96] – при розробці методу кейс-орієнтованої оцінки гарантоздатності медичних IoT систем методи об'єктно-орієнтованого програмування [110] – при розробленні інструментальних засобів для отримання аналітичної моделі розподілу міжнародних стандартів та нормативних документів та для допомоги в прийнятті рішення щодо вибору оптимальних варіантів забезпечення кібербезпеки для всього діапазону атак медичних систем; методи функціонального моделювання [111] – при розробленні інформаційної технології підтримки оцінювання і забезпечення гарантоздатності МС на основі Інтернету речей.

1.5. Висновки до першого розділу

1. У даному розділі проведено аналіз можливостей сучасних МС, що функціонують в середовищі Інтернету речей, особливостей їх реалізації, що дозволило виявити основні вимоги до медичних IoT систем.

2. Шляхом аналізу встановлено, що процес забезпечення гарантоздатності МС, що функціонують в середовищі Інтернету речей, є трудомісткою задачею, яка потребує комплексного аналізу, спеціальних методів і засобів оцінювання.

3. Аналіз існуючих міжнародних і національних стандартів і нормативних документів дозволяє сформулювати нормативний профіль вимог до гарантоздатності МС на основі Інтернету речей.

4. Огляд існуючих міжнародних і національних стандартів, інших нормативних документів, вимог до гарантоздатності, існуючих методик до оцінювання гарантоздатності дозволяє зробити висновок, що необхідно вдосконалити існуючі інструментарії для оцінювання і забезпечення гарантоздатності.

5. Існує необхідність в розробленні програмної реалізації моделей і методів оцінки і забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей. Це дозволить автоматизувати роботу експертів, а також підвищити повноту оцінювання.

6. На основі проведеного аналізу сформульовано загальне завдання дисертаційного дослідження, яке розбивається на ряд часткових завдань, спрямованих на розробку комплексу моделей оцінювання гарантоздатності медичних IoT систем, моделі функціональної поведінки медичного пристрою, методу забезпечення кібербезпеки медичної IoT системи від кібератак, кейс-орієнтованої оцінки гарантоздатності медичних IoT систем, а також створення інструментальних засобів та інформаційної технології для підтримки оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей.

Основні результати, наведені у першому розділі, опубліковано у [112-117].

1.6. Література до першого розділу

1. BI Intelligence, “The global market for IoT healthcare tech will top \$400 billion in 2022”, 2016. [Online]. Available: www.businessinsider.com/the-global-market-for-iot-healthcare-tech-will-top-400-billion-in-2022-2016-5.

2. U.S. Department of Health and Human Services, “Medical Device Overview”, 2018. [Online]. Available: <https://www.fda.gov/industry/regulated-products/medical-device-overview>.
3. GMDN Agency, “User Guide”, [Online]. Available: <http://gmdnagency.com>.
4. Кабінет Міністрів України, “Постанова від 9 листопада 2004 р. № 1497. Про затвердження Порядку державної реєстрації медичної техніки та виробів медичного призначення”, 2004.
5. J. Healey, N. Pollard, B. Woods, “The healthcare Internet of things: rewards and risks”, 2015. [Online]. Available: www.atlanticcouncil.org/wp-content/uploads/2015/03/ACUS_Intel_MedicalDevices.pdf. Accessed on: December 20, 2018.
6. World Healthcare Organization, “Global report on diabetes”, 2016, 88 p.
7. M. Verovko, O. Verovko, V. Kazymyr, J. Davies and A. Bhalla, “Body area networks in a medical environment”, *2017 Internet Technologies and Applications (ITA)*, 2017. DOI: 10.1109/itecha.2017.8101917.
8. S. M. R. Islam, D. Kwak, M. H. Kabir, M. Hossain and K. Kwak, “The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey,” in *IEEE Access*, vol. 3, pp. 678-708, 2015. DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2437951.
9. С.О. Сілін, І.В. Шостак, “Підхід до створення віртуальної мережі між IoT-пристроями, що поєднані трансляцією мережевих адресів”, *Системи управління, навігації та зв’язку*, вип. 3(43), С. 114-116, 2017.
10. M.A. Malik, “Internet of Things (IoT) Healthcare Market by Component (Implantable Sensor Devices, Wearable Sensor Devices, System and Software), Application (Patient Monitoring, Clinical Operation and Workflow Optimization, Clinical Imaging, Fitness and Wellness Measurement) – Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2014 – 2021 – Market News Biz”, *Market News Biz*, 2016, pp. 124.
11. I. Sommerville, *Software Engineering*, 9th ed. Pearson, 2011.
12. “MAUDE – Manufacturer and User Facility Device Experience”, *Accessdata.fda.gov*, 2019. [Online]. Available: www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfMAUDE/search.CFM.

13. *Medical devices – Application of risk management to medical devices*, ISO/IEC 14971, Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2007.
14. “Infusion Pumps Total Product Life Cycle”, *U.S. Food and Drug Administration*, 2014. [Online]. Available: <https://www.fda.gov/media/78369/download>.
15. Y. Zhang, P. Jones and R. Jetley, “A Hazard Analysis for a Generic Insulin Infusion Pump”, *Journal of Diabetes Science and Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 263-283, 2010. DOI: 10.1177/193229681000400207.
16. *Medical devices – Application of risk management to medical devices*, ISO/IEC 14971, Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2007.
17. A. Avizienis, J. Laprie, B. Randell and C. Landwehr, “Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing”, *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, vol. 1, no. 1, pp. 11-33, 2004. DOI: 10.1109/tdsc.2004.2.
18. В.С. Харченко, “Гарантоздатні системи та багатоверсійні обчислення: аспекти еволюції”, *Радіоелектронні і комп’ютерні системи*, № 7. С. 46–59, 2009.
19. V. Sklyar, “Application of Reliability Theory to Functional Safety of Computer Control Systems”, *Reliability: Theory & Application*, vol. 12, no. 1, pp. 26-37, 2017.
20. ОУ-Н НКАУ 0060:2010. *Гарантоздатність програмно-технічних комплексів критичного призначення. Настанова національного космічного агентства України. Галузева система управління якістю*, НКАУ, 60 с. 2010.
21. А.В. Горбенко, «Проблемы и задачи создания гарантоспособных сервис-ориентированных web-систем», *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, № 3, С. 171-176, 2013.
22. J. Fitzgerald, C. Ingram and A. Romanovsky, “Concepts of Dependable Cyber-Physical Systems Engineering: Model-Based Approaches”, in *Trustworthy Cyber-Physical Systems Engineering*, J. Fitzgerald, C. Ingram and A. Romanovsky, Ed. London: CRC Press, 2016, pp. 1-22.
23. A. Testa, “Dependability assessment of wireless sensor networks with formal methods”, Doctor of Philosophy, “Federico II” University of Naples, 2013.
24. S. Bernardi, J. Merseguer and D. Petriu, *Model-driven dependability assessment of software systems*, 1st ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.

25. О.В. Висоцька, “Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень при здійсненні діагностично-лікувальних процесів“, дис. Докт. Техн. Наук: 05.13.09, Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем, Київ, 2015.

26. *Information technology — Security techniques — Guidelines for cybersecurity, ISO/IEC 27032:2012*, Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2012.

27. *Medical device software — Software life cycle processes, ISO/IEC 62304:2006*, Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2006.

28. *Health software — Part 1: General requirements for product safety, ISO/IEC 62304-1:2006*, Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2016.

29. “The HIPAA Privacy Rule”, *HHS.gov*, 2019. [Online]. Available: <https://www.hhs.gov/hipaa/for-professionals/privacy>.

30. “The Security Rule”, *HHS.gov*, 2019. [Online]. Available: <https://www.hhs.gov/hipaa/for-professionals/security>.

31. «Право на медичну інформацію | Ваше Здоров'я», *Ваше здоров'я*, 2014. [Електронний ресурс]. Доступно: www.vz.kiev.ua/pravo-na-medichnu-informaciyu/.

32. «Helsi – Питання про реформу», *Reform.helsi.me*, 2018. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://reform.helsi.me/faq#yakymy-normatyvno-pravovymy-documentamy-reglamentuetsya-vprovadzhennya-reform>.

33. U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration and Center for Devices and Radiological Health. *Guidance for Industry – Cybersecurity for Networked Medical Devices Containing Off-the-Shelf (OTS) Software*, 2005. [Online]. Available at: www.fda.gov/MedicalDevices/DeviceRegulationandGuidance/GuidanceDocuments/ucm077812.htm.

34. U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration and Center for Devices and Radiological Health. *Content of Premarket Submissions for Management of Cybersecurity in Medical Devices*, 2014. [Online]. Available at:

www.fda.gov/downloads/medicaldevices/deviceregulationandguidance/guidancedocuments/ucm356190.pdf.

35. U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration and Center for Devices and Radiological Health. *Postmarket Management of Cybersecurity in Medical Devices*. 2016. [Online]. Available at: www.fda.gov/downloads/MedicalDevices/DeviceRegulationandGuidance/GuidanceDocuments/UCM482022.pdf.

36. M. Rouse, *HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act)*. [Online]. Available at: <http://searchhealthit.techtarget.com/definition/HIPAA>.

37. C. Bhatt and S. Peddoju, *Cloud computing systems and applications in healthcare*, 1st ed. IGI Global, 2016.

38. *NIST Cybersecurity for IoT programs*. [Online]. Available at: <https://www.nist.gov/programs-projects/nist-cybersecurity-iot-program>.

39. *Cloud Computing. Software references*, ISO 50545: 2014. UK, The international organization of standardization, 2014.

40. *Information technology — Cloud computing — Reference architecture*, ISO/IEC 17789:2014. Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2014.

41. IEEE802.15.4 *Low-Rate Wireless Personal Area Networks*. US, IEEE standards association, 2011.

42. ISO/IEC 27033-1:2015 *Preview Information technology – Security techniques – Network security*. Geneva, The international organization of standardization, 2015.

43. “Security and privacy controls for federal information systems and organizations”, *NIST Special Publication*, rev. 4, pp. 53, 2015.

44. “140-2: Security requirements for cryptographic modules,” Information Technology Laboratory, *National Institute of Standards and Technology*, 2001.

45. ISO/ IEC 27018:2014€. *Protection for personally identifiable information*, Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2014.

46. *Health Level Seven*. [Online]. Available at: <http://www.hl7.org>.

47. Security Standards for the Protection of Electronic Protected Health Information [45 CFR parts 160 and 164]. Department of Health and Human Services, 2009.

48. *The Health Information Technology for Economic and Clinical Health Act (HITECH) Act*, 2009. [Online]. Available at: <http://www.hipaasurvivalguide.com/hitech-act-text.php>.
49. ISO/IEC 27017:2015. *Code of practice for information security controls based on ISO/IEC 27002 for cloud services*. Geneva, The international organization of standardization, 2015.
50. ISO 9001:2015. *Quality management systems — Requirements*. Geneva, The international organization of standardization, 2015.
51. ISO/IEC 9126:2001. *Software engineering – Product quality*. The international organization of standardization, 2001.
52. ISO/IEC 25010:2011. *Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SquaRE) — System and software quality models*. The international organization of standardization, 2011.
53. *The Healthcare Information and Management Systems Society*. [Online]. Available at: <http://www.himss.org>.
54. «HIPAA Правила конфиденциальности в целях защиты информации о физическом и психическом здоровье пациентов», 2017. [Электронный ресурс]. Доступно: https://www.omh.ny.gov/omhweb/russian/hipaa/phi_protection.pdf.
55. «Обзор и сравнение существующих методов управления доступом», *Ict.nsc.ru*, 2016. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.ict.nsc.ru/ws/YM2003/6312/>.
56. А.М. Ажмухамедов, *Решение задач обеспечения информационной безопасности на основе системного анализа и нечеткого когнитивного моделирования*. Астрахань, 2015.
57. В.Н. Волкова, *Теория информационных процессов и систем*. Издательство Юрайт, 502 с., 2014.
58. И.В. Стеценко, *Моделирование систем*. Черкаси, 2010.
59. Т. Алиев, *Основы моделирования дискретных систем*. Санкт-Петербург, 2009.
60. G. Greefrath and K. Vorhölter, “Teaching and Learning Mathematical Modelling: Approaches and Developments”, *ICME-13 Topical Surveys*, pp. 1-42, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-45004-9_.

61. D. Chumachenko, A. Turiy and A. Chukhray, “Application of Statistical Simulation for Measles Epidemic Process Forecasting”, *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, 2019. DOI: 10.1109/ukrcon.2019.8879897.
62. S. Lupenko, H. Osukhivska, N. Lutsyk, N. Stadnyk, A. Zozulia and N. Shablii, “The comparative analysis of mathematical models of cyclic signals structure and processes”, *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*, pp. 115-127, № 2 (82), 2016.
63. R. Margetts, “A Mixed-Boolean Hybrid Mathematical Model with Discontinuous States”, *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, no. 1, pp. 5800-5805, 2017. DOI: 10.1016/j.ifacol.2017.08.510.
64. IEC 60300-3-1:2003. *Dependability management – Part 3-1: Application guide – Analysis techniques for dependability – Guide on methodology*. IEC, Switzerland, 2003.
65. Y. Chen, Z. Zhen, H. Yu and J. Xu, “Application of Fault Tree Analysis and Fuzzy Neural Networks to Fault Diagnosis in the Internet of Things (IoT) for Aquaculture”, *Sensors*, vol. 17, no. 12, pp. 153-168, 2017. DOI: 10.3390/s17010153.
66. A. Lewiński, T. Perzyński and L. Bester, “Computer aided safety analysis of railway control systems “, *Journal of KONBiN*, vol. 26, no. 1, pp. 137-150, 2013. DOI: 10.2478/jok-2013-0089.
67. K. Keefe and W. Sanders, “Reliability Analysis with Dynamic Reliability Block Diagrams in the Möbius Modeling Tool”, *Proceedings of the 9th EAI International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools*, p. 6, 2016. DOI: 10.4108/eai.14-12-2015.2262723.
68. H. Azizpour and M. Lundteigen, “Analysis of simplification in Markov-based models for performance assessment of Safety Instrumented System”, *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 183, pp. 252-260, 2019. DOI: 10.1016/j.res.2018.09.012.
69. E. Ciortea, “IoT analysis of manufacturing using Petri Nets”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 400, pp. 400-406, 2018. DOI: 10.1088/1757-899x/400/4/042010.

70. A. Asllani, A. Lari and N. Lari, “Strengthening information technology security through the failure modes and effects analysis approach”, *International Journal of Quality Innovation*, vol. 4, no. 1, 2018. DOI: 10.1186/s40887-018-0025-1.
71. B. Russell and D. Van Duren, *Practical internet of things security*, 2nd ed. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2018, pp. 90-101.
72. R. Johar, E. Fakieh, R. Allagani and S. Qaisar, “A smart home appliances control system based on digital electronics and GSM network”, *2018 15th Learning and Technology Conference (L&T)*, pp. 52-58, 2018. DOI: 10.1109/lt.2018.8368485.
73. G. Mauri and S. Scheer, “Constructing Reliable Embedded Systems Using the Results of System Safety Analysis”, *Reliable Software Technologies Ada-Europe 2000*, pp. 173-184, 2000. DOI: 10.1007/10722060_17.
74. D. Nicol, W. Sanders and K. Trivedi, “Model-based evaluation: from dependability to security”, *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, vol. 1, no. 1, pp. 48-65, 2004. DOI: 10.1109/tdsc.2004.11.
75. U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Devices and Radiological Health, Office of Device Evaluation. *Applying Human Factors and Usability Engineering to Medical Devices: Guidance for Industry and Food and Drug Administration Staff*, 2016.
76. U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Drug Evaluation and Research Center for Biologics Evaluation and Research. *Guidance for Industry: Q9 Quality Risk Management*, 2006.
77. V. Nagaraju, L. Fiondella and T. Wandji. “A survey of fault and attack tree modelling and analysis for cyber risk management”, *Proceedings of the IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST)*, pp. 1–6, 2017.
78. M. Lyons, S. Adams, M. Woloshynowych and C. Vincent. “Human reliability analysis in healthcare: a review of techniques”, *International Journal of Risk and Safety in Medicine*, v. 16, pp. 223–237, 2004.
79. L. Cui and C. Fang, “Reliability-Game Theory”, *Advances in System Reliability Engineering*, pp. 77-115, 2019. DOI: 10.1016/b978-0-12-815906-4.00003-8.

80. X. Zhang and S. Mahadevan, "A Game Theoretic Approach to Network Reliability Assessment", *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 66, no. 3, pp. 875-892, 2017. DOI: 10.1109/tr.2017.2717186.

81. X. Liang and Y. Xiao, "Game Theory for Network Security", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 15, no. 1, pp. 472-486, 2013. DOI: 10.1109/surv.2012.062612.00056.

82. П. Арьков, «Разработка комплекса моделей для выбора оптимальной системы защиты информации в информационной системе организации», Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, ГОУ ВПО Волгоградский государственный университет, 2014.

83. K. Chung, C. A. Kamhoua, K. A. Kwiat, Z.T. Kalbarczyk, and R.K. Iyer "Game Theory with Learning for Cyber Security Monitoring", *2016 IEEE 17th International Symposium on High Assurance Systems Engineering (HASE)*, 2016. DOI: 10.1109/hase.2016.4.

84. W. Saad, T. Alpcan, T. Basar and A. Hjørungnes, "Coalitional Game Theory for Security Risk Management", *2013 Fifth International Conference on Internet Monitoring and Protection*, 2013. DOI: 10.1109/icimp.2013.14.

85. В.С. Харченко, В.В. Скляр, Е.В. Брежнев. *Безопасность информационно-управляющих систем и инфраструктур*. 2013. 528 с.

86. Ю.Я. Бобало, Б.Ю. Волочий, О.Ю. Лозинський, Б.А. Мандзій, Л.Д.Озірковський, Д.В. Федасюк, С.В. Щербовських, В.С. Яковина. *Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем: монографія*, Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013, 300 с.

87. G. Bolch, S. Greiner, H. de Meer and K. Trivedi, *Queueing networks and Markov chains*. Hoboken, N.J.: Wiley, 2006.

88. В.С. Харченко, В.О. Бутенко, О.Н. Одарущенко. «Метрико-интервальные модели и инструментальные средства для оценивания готовности информационно-управляющих систем с использованием марковских процессов», *Системи обробки інформації*, № 9(125), С. 59-64, 2014.

89. M. Boyd, *An Introduction to Markov Modeling: Concepts and Uses*, 1st ed. Anaheim, California: Tutorial at the RAMS, 1998, pp. 1-26.
90. N. Fugua. "The Applicability of Markov Analysis Methods to Reliability, Maintainability, and Safety", *Reliability Analysis Center START Sheet*, vol.10(2), pp. 1-8, 2003.
91. K. Goševa-Popstojanova and K. Trivedi, "Stochastic Modeling Formalisms for Dependability, Performance and Performability", *Performance Evaluation: Origins and Directions*, pp. 403-422, 2000. DOI: 10.1007/3-540-46506-5_17.
92. D. M. Nicol, W. H. Sanders, K.S. Trivedi, "Model-based evaluation: From dependability to security", *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, vol. 01, no. 1, pp. 48-65, (2004). DOI: 10.1109/TDSC.2004.11.
93. V. Butenko, V. Kharchenko, E. Odarushenko, and D. Butenko, "Metric-based approach and tool for modelling the I&C system using Markov chains," in *Proceedings of ICONE-23 23rd International Conference on Nuclear Engineering*, Chiba, Japan, 2015, p. 9. DOI: 10.1299/jsmeicone.2015.23._ICONE23-1_279.
94. P. Feiler, J. Goodenough, A. Gurfinkel, C. Weinstock, Lutz Wrage, "Four Pillars for Improving the Quality of Safety-Critical Software-Reliant Systems", *Software Engineering Institute*, p.1-17, 2003.
95. P. G. Bishop, R. E. Bloomfield, "A Methodology for Safety Case Development", *Industrial Perspectives of Safety-critical Systems: Proceedings of the Sixth Safety-critical Systems Symposium*, p.194-203, 1998.
96. J. Rushby, "The Interpretation and Evaluation of Assurance Cases", 2015.
97. В. С. Харченко та Е. І. Неткачева, *Case-оценка критических программных систем. Харьков, Украина: Нац. Аэрокосм. Ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2012.*
98. А.О. Орехова, "Моделі, методи та інформаційна технологія оцінки якості людино-машинних інтерфейсів інформаційно-управляючих систем": дис. Канд. Техн. Наук: 05.13.06, Нац. Аерокосм. Ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, 2014.

99. Е.И. Неткачева, “Методы и информационная технология функциональной безопасности ИУС с использованием формальных нотаций”, дис. Канд. Техн. Наук : 05.13.06, Нац. Аерокосм. Ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, 2013.

100. А.О. Федосеева, “Моделі і методи інформаційної технології оцінювання якості програмного забезпечення автоматизованих робочих місць для виробництва лікарських препаратів“, дис. Канд. Техн. Наук : 05.13.06, Нац. Аерокосм. Ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, 2018.

101. *Functional safety – Safety related systems, ISO/IEC 1508*, Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 1995.

102. *Committee No.65: Industrial Process Measurement and Control*, Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2010.

103. “Dependability Assessment of Software for Safety Instrumentation and Control Systems at Nuclear Power Plants”, International atomic energy agency, Vienna, 2018.

104. Н. П. Бусленко, *Моделирование сложных систем*. М.: Наука, 1978, 399 с.

105. Б. Я. Советов, С. А. Яковлев, *Моделирование систем: учеб. Для вузов*. М.: Высш. Шк., 1985, 271 с.

106. В. П. Сигорский, *Математический аппарат инженера*. К.: Техніка, 1975, 768 с.

107. В. С. Харченко, И. В. Лысенко, *Теория систем и системный анализ*. Х.: НАУ «ХАІ», 2003, 130 с.

108. E. Hairer, G. Wanner, *Solving Ordinary Differential Equations II: Stiff and Differential Algebraic Problems*. Springer, 2010, 631 p.

109. А. Г. Кремлев, *Основные понятия теории игр: учебное пособие*. Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2016, 144 с.

110. Т.И. Лапина, *Методы и технологии объектно-ориентированного программирования*, ЮЗГУ, 2011.

111. В. Дубейковский. *Практика функционального моделирования с ALLFusion Process Modeler 4.1*. М. : Диалог-МИФИ, 2004. – 464 с.

112. А. А. Стрелкіна, Д. Д. Узун, “Забезпечення кібербезпеки медичних систем: виклики і рішення в контексті Інтернету речей”, *Радіоелектронні і комп’ютерні системи*, № 1, с. 44–50, 2017.

113. А. С. Андрійчук, А. А. Стрелкіна, “Розроблення моделі керування доступом до приватної медичної інформації”, *Радіоелектронні і комп’ютерні системи*, № 2, с. 26–32, 2018.

114. Д. Э. Ляхов, А. А. Стрелкина, Д. Д. Узун, “Анализ методов и средств оценивания и обеспечения кибербезопасности IoT системы“, *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. Тр.*, Харьков, вып. 80, с. 182-193, 2018.

115. A. Strielkina and D. Uzun, “Researching the Applicability of Mathematical Approaches for Modeling Cyber Security Processes”, *PhD Symposium at 13th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications ICTERI 2018 co-located with 14th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications (ICTERI 2017)*, pp. 29-35, 2017.

116. А. А. Стрелкина, «Исследование подходов к обеспечению кибербезопасности медицинских систем в контексте интернета вещей», *Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп’ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2016*, Харків: Нац. Аерокосм. Ун-т «ХАІ», Том 2, с.286-287, 2016.

117. М. О. Жиденко, А. А. Стрелкіна, «Дослідження нормативних документів щодо ризиків кібербезпеки медичних пристроїв», *Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі»*, с. 94, 2017.

РОЗДІЛ 2.

РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ ОЦІНЮВАННЯ ГОТОВНОСТІ МЕДИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

2.1. Комплекс моделей оцінювання гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей

Для оцінювання гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей в залежності від функціональних станів, вразливостей безпеки, рівнів деградування медичних IoT систем тощо, необхідно розробити відповідні моделі. Для формального опису поведінки медичної IoT системи пропонується застосовувати теоретико-множину модель, яка б адекватно відображала як структуру системи, так і причинно-наслідкові зв'язки між її компонентами. Теоретико-множинна модель, що описує множину моделей поведінки медичної IoT інфраструктури, представлено на рис. 2.1.

M_{00}^{10}			M_{00}^{F0}		
$M_{R_I 0}^{10}$	$M_{0 R_D}^{10}$	$M_{R_I R_D}^{10}$	$M_{R_I 0}^{F0}$	$M_{0 R_D}^{F0}$	$M_{R_I R_D}^{F0}$
M_{00}^{1V}			M_{00}^{FV}		
$M_{R_I 0}^{1V}$	$M_{0 R_D}^{1V}$	$M_{R_I R_D}^{1V}$	$M_{R_I 0}^{FV}$	$M_{0 R_D}^{FV}$	$M_{R_I R_D}^{FV}$

Рисунок 2.1 – Модельний діапазон для медичної IoT системи

Відповідно до рис. 2.1:

– F – це потужність множини функціональних станів $F = \{S_{F_0}, S_{F_1}, \dots, S_{F_m}\}$. Коли $F=1$ множина є виродженою (наприклад, лише функція запиту). Коли $F > 1$, модель враховує різні режими функціонування медичної IoT інфраструктури (наприклад, зчитування, запит, моніторинг, режим сну, ін'єкція (для інсулінової помпи) тощо);

– V – це потужність множини вразливостей безпеки $V = \{S_{V_0}, S_{V_1}, \dots, S_{V_p}\}$, де p – кількість вразливостей. Коли $V = 0$, множина є виродженою; коли $V \geq 1$,

враховуються режими відбиття та усунення атак. У міру усунення вразливостей кількість атак зменшується;

– R_I – це потужність множини рівнів деградування медичної IoT інфраструктури $R_I = \{S_{R_{I_0}}, S_{R_{I_1}}, \dots, S_{R_{I_k}}\}$, тобто можливості обслуговувати заявки від вузлів пристроїв. Коли $R_I = 0$, відмови не приймаються до уваги, тобто верхній рівень – недеградуєча інфраструктура;

– R_D – це потужність множини відмов пристрою (для даної роботи – інсулінової помпи) $R_D = \{S_{R_{D_0}}, S_{R_{D_1}}, \dots, S_{R_{D_l}}\}$, і коли $R_D = 0$, відмови також не беруться до уваги.

Ознаки класифікації моделей наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Ознаки класифікації моделей гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей

№	Загальна характеристика	Деталізація моделей	Умовне позначення
1	2	3	4
1	Моделі з одним функціональним станом без вразливостей безпеки	Базова модель ідеальної системи з одним функціональним станом	M_{00}^{10}
2		Модель системи з одним функціональним станом, без вразливостей безпеки, з відмовами інфраструктури, без відмов медичних пристроїв	$M_{R_I, 0}^{10}$
3		Модель системи з одним функціональним станом, без вразливостей безпеки, без відмов інфраструктури, з відмовами медичних пристроїв	$M_{0R_D}^{10}$
4		Модель системи з одним функціональним станом, без вразливостей безпеки, з відмовами інфраструктури і медичних пристроїв	$M_{R_I R_D}^{10}$
5	Моделі з декількома функціональними станами без вразливостей безпеки	Модель ідеальної системи з декількома функціональними станами	M_{00}^{F0}
6		Модель системи з декількома функціональними станами, без вразливостей безпеки, з відмовами інфраструктури, без відмов медичних пристроїв	$M_{R_I, 0}^{F0}$
7		Модель системи з декількома функціональними станами, без вразливостей безпеки, без відмов інфраструктури, з відмовами медичних пристроїв	$M_{0R_D}^{F0}$
8		Модель системи з декількома функціональними станами, без вразливостей безпеки, з відмовами інфраструктури і медичних пристроїв	$M_{R_I R_D}^{F0}$

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
9	Моделі з одним функціональним станом з вразливостями безпеки	Модель системи з одним функціональним станом, з вразливостями безпеки, без відмов інфраструктури, без відмов медичних пристроїв	M_{00}^{1V}
10		Модель системи з одним функціональним станом, з вразливостями безпеки, з відмовами інфраструктури, без відмов медичних пристроїв	$M_{R_I 0}^{1V}$
11		Модель системи з одним функціональним станом, з вразливостями безпеки, без відмов інфраструктури, з відмовами медичних пристроїв	$M_{0 R_D}^{1V}$
12		Модель системи з одним функціональним станом, з вразливостями безпеки, з відмовами інфраструктури і медичних пристроїв	$M_{R_I R_D}^{1V}$
13	Моделі з декількома функціональними з вразливостями безпеки	Модель системи з декількома функціональними станами, з вразливостями безпеки, без відмов інфраструктури і медичних пристроїв	M_{00}^{FV}
14		Модель системи з декількома функціональними станами, з вразливостями безпеки, з відмовами інфраструктури, без відмов медичних пристроїв	$M_{R_I 0}^{FV}$
15		Модель системи з декількома функціональними станами, з вразливостями безпеки, без відмов інфраструктури, з відмовами медичних пристроїв	$M_{0 R_D}^{FV}$
16		Модель системи з декількома функціональними станами, з вразливостями безпеки, з відмовами інфраструктури і медичних пристроїв	$M_{R_I R_D}^{FV}$

В даній роботі за системи масового обслуговування (СМО) приймаються системи, в яких випадкові заявки на обслуговування від IoT пристроїв приходять у випадковий час, при цьому вхідні заявки обслуговуються усіма доступними каналами (пристроями) обслуговування. Під потоком на обслуговування маються на увазі потоки заявок, що обслуговуються одна за іншою безперервно зайнятим каналом (наприклад, хмарою). На рис. 2.2 представлено модель СМО для розглядаємого випадка медичної IoT системи.

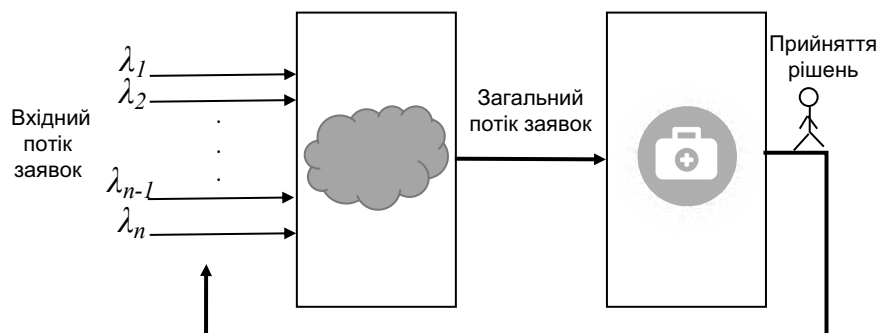


Рисунок 2.2 – Система масового обслуговування для медичної IoT системи

Якщо розглядати один пристрій, що обслуговується, процеси, що відбуваються можуть бути представлені стохастичним процесом (ланцюгом) з дискретними станами та дискретним часом. Однак, розглядаючи медичну IoT інфраструктуру (через величезну кількість пристроїв і різницю в їх характеристиках), слід зазначити, що в цьому випадку всі потоки найпростіші, а процес, що відбувається в IoT системі, є стохастичним марковським процесом (ланцюгом) з дискретними станами і безперервним часом. Припущенням для використання цього апарату є те, що інтенсивності відмов λ і відновлень μ прийняті за постійні, події не залежать одна від одної, а ймовірність виникнення двох і більше подій протягом короткого проміжку часу становить набагато менше, ніж ймовірність виникнення однієї події протягом того ж періоду часу.

В якості базової моделі розглядається модель ідеальної медичної IoT системи без вразливостей безпеки, в якій протікають процеси без відмов. Цей випадок можна описати марковськими процесами з дискретними станами і безперервним часом, наприклад, процесом загибелі і розмноження (рис. 2.3 для M_{00}^{10} , де n – це кількість запитів у черзі, що надходить від різних кінцевих IoT користувачів, а λ_{01} , λ_{12} , λ_{n-1n} – це інтенсивності потоків запитів на обслуговування, μ_{10} , μ_{21} , μ_{nn-1} – це інтенсивності потоків обробки запитів).

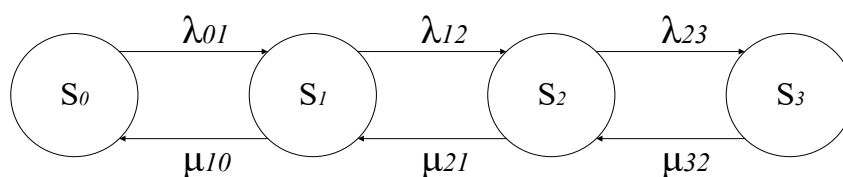


Рисунок 2.3 – Схема процесу «загибелі-розмноження» опису поведінки медичної IoT системи

Для випадку моделі M_{00}^{F0} з різними функціональними станами медичної IoT інфраструктури (наприклад, зчитування, запит, моніторинг, режим сну тощо) приклад графа представлено на рис. 2.4.

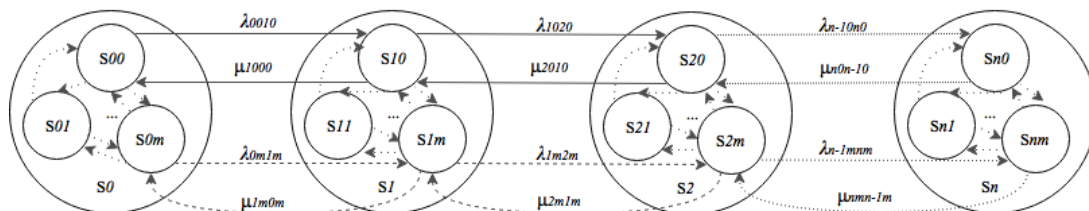


Рисунок 2.4 – Граф, що описує різні функціональні стани медичної IoT інфраструктури

Для випадку $M_{R_l0}^{10}$ приклад марковської моделі представлено на рис. 2.5, де $\lambda_{0'01}, \lambda_{1'11}, \dots$ – це інтенсивності відмов інфраструктури, $\mu_{'010}, \mu_{'212}, \dots$ – це інтенсивності відновлень. Розмічений оргграф станів і переходів (рис.2.5) на відміну від попередніх моделей має вертикальну вверх орієнтацію для більшої наочності.

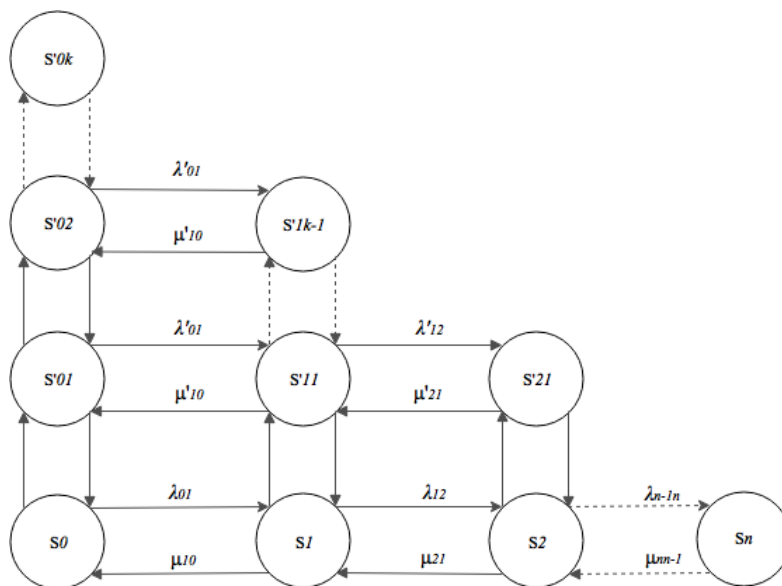


Рисунок 2.5 – Граф, що описує відмови медичної IoT інфраструктури

Для випадку $M_{0R_D}^{10}$ приклад марковської моделі представлено на рис. 2.6, де $\lambda_{0''01}, \lambda_{1''11}, \dots$ – це інтенсивності відмов кінцевих пристроїв, $\mu_{''010}, \mu_{''212}, \dots$ – це інтенсивності відновлень. Розмічений оргграф станів і переходів (рис.2.6) на відміну від попередніх моделей має вертикальну вниз орієнтацію для більшої наочності.

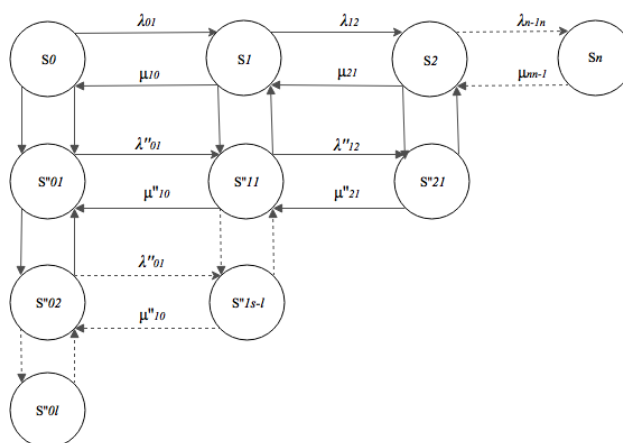


Рисунок 2.6 – Граф, що описує відмови кінцевих пристроїв інфраструктури

На основі розробленого комплексу моделей оцінювання гарантоздатності медичної IoT інфраструктури можна зробити висновок, що використання таких моделей є перспективним для дослідження, аналізу та вдосконалення медичної IoT інфраструктури через декомпозицію, фрагментарність, успадкування та згортання.

2.2. Розроблення і дослідження моделей кібератак на медичну систему на основі Інтернету речей

Наведемо гіпотетичну ситуацію. Лікарня, що є частиною медичної IoT інфраструктури, отримує три запити на обслуговування від користувачів мережеских інсулінових pomp (наприклад, результати планового вимірювання рівня цукру, запит на запис на прийом до лікаря та статистику щодо кількості ін'єкцій). Потік усіх запитів найпростіший. Середній час отримання нового запиту від користувача інсулінового насоса становить 30 хв (визначається суб'єктивними характеристиками), t . Після отримання запиту медичний персонал починає його обробляти. Час обробки одного запиту розподіляється відповідно до експоненціального закону і в середньому становить 10 хв, t_{pr} . У початковий час запитів у системі немає. Необхідно визначити надійнісні характеристики системи. Будемо вважати, що процес надходження та обробки запитів є однорідним марковським; одночасне отримання декількох запитів на обслуговування та одночасна обробка практично неможливі.

2.2.1. Базова модель «Загибелі-розмноження»

У відповідності до зазначених вище вимог і припущень, в системі є чотири можливих стани:

- S_0 – в системі немає запитів на обслуговування;
- S_1 – в системі один запит на обслуговування;
- S_2 – в системі два запита на обслуговування;
- S_3 – в системі три запита на обслуговування.

Оскільки усі заявки рівнозначні, з точки зору надійності, не має різниці, який запит на обслуговування знаходиться у стані S_3 , важливо, щоб був лише один. Зважаючи на це, ситуація моделюється процесом «загибелі – розмноження» M_{00}^{10} , що представлено на рис. 2.3, де λ_{01} , λ_{12} , і λ_{23} – це інтенсивності потоку запитів на обслуговування, а μ_{10} , μ_{21} , і μ_{32} – це інтенсивності обробки запитів. Інтенсивність отримання одного запиту на обслуговування рівна $\lambda = 1/t$, а інтенсивність обробки одного запиту рівна $\mu = 1/t_{pr}$. У стані S_0 немає запитів, отже, $\lambda_{01}=3 \lambda$; у стані S_1 , отримана одна заявка – $\lambda_{12}=2 \lambda$, у стані S_2 , отримано дві заявки – $\lambda_{23}=\lambda$. У стані S_3 , дві заявки оброблюються, отже, $\mu_{32}=3 \mu$, для стану S_2 , $\mu_{21}=2 \mu$, і для стану S_1 , $\mu_{10}=\mu$.

Отже, ймовірність знаходження у стані, коли в системі немає запитів:

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} + \frac{\lambda_{01}\lambda_{12}}{\mu_{10}\mu_{21}} + \frac{\lambda_{01}\lambda_{12}\lambda_{23}}{\mu_{10}\mu_{21}\mu_{32}}} \approx 0.4219.$$

Аналогічно обчислюються решта ймовірностей, які рівні $P_1=0.4219$, $P_2=0.14$ і $P_3=0.016$.

2.2.2. Модель, що описує атаку на одну вразливість

У разі успішної кібератаки на єдину вразливість у медичній IoT системі, розроблена вище модель «загибелі – розмноження» змінюється наступним чином, як показано на рис. 2.7 (M_{00}^{IV} , де $V=I$).

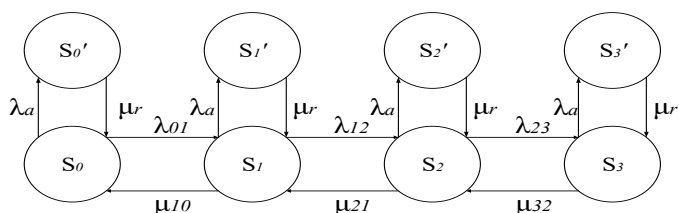


Рисунок 2.7 – Модель, що враховує успішну атаку на стадії обробки запиту на обслуговування (з зупинкою)

Припустимо, що успішна атака на медичну IoT систему відбувається з ймовірністю 20% (кожна п'ята атака успішна), і $\mu_r = 0,9$. Припустимо, що в початковий момент часу з вірогідністю 100% перебуває у стані S_0 . На рис. 2.8 показано перехід до стаціонарних станів. Модель симулювалася за допомогою R середовища і пакету «markovchain» (код наведено у Додатку В).

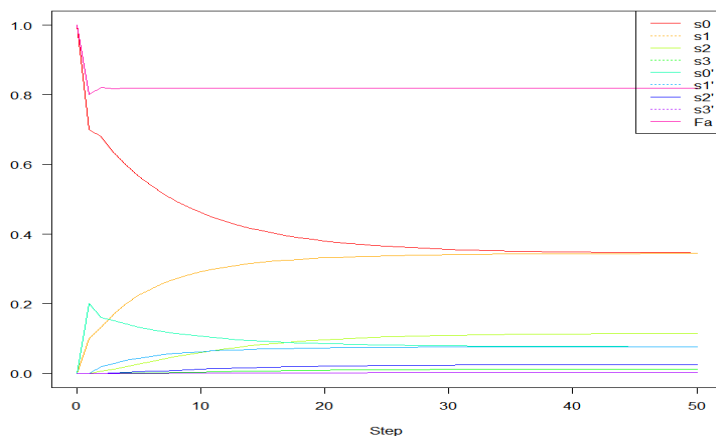


Рисунок 2.8 – Результати симуляції моделі успішної атаки на стадії обробки запиту на обслуговування (із зупинкою)

Якщо медична IoT система продовжує виконувати свої функції без зупинок під час атак, у цьому випадку відповідна марковська модель показана на рис. 2.9. На рис. 2.10 показано перехід до стаціонарних станів.

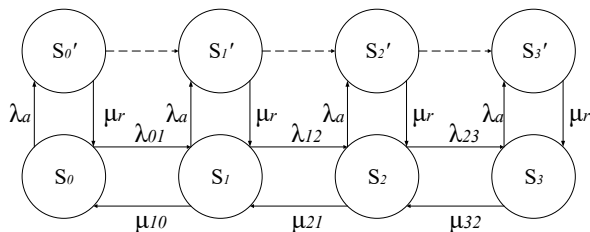


Рисунок 2.9 – Модель, що враховує успішну атаку на стадії обробки запиту на обслуговування (без зупинок)

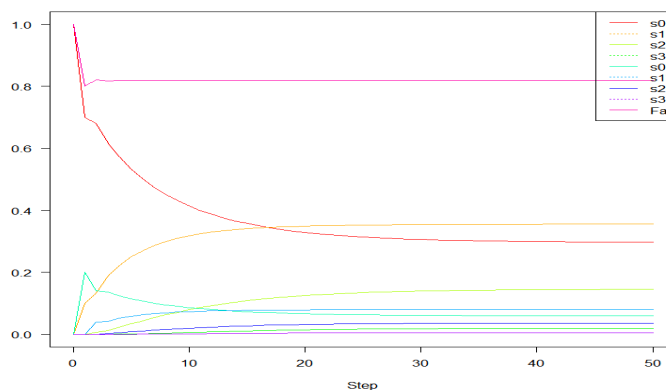


Рисунок 2.10 – Результати симуляції моделі успішної атаки на стадії обробки запиту на обслуговування (без зупинок)

2.2.3. Модель, що описує атаку на вразливості із можливістю усунення

У вищеповисаних випадках вразливості не усуваються, а система просто перезавантажується та продовжує функціонувати так само. На рис. 2.11 показано випадок, коли медична IoT система має одну вразливість, котра усувається (із $\mu_r' = K_\mu \cdot \mu_r$, $K_\mu < 1$, $t_r' > t_r$). На рис. 2.12 показано перехід до стаціонарних станів.

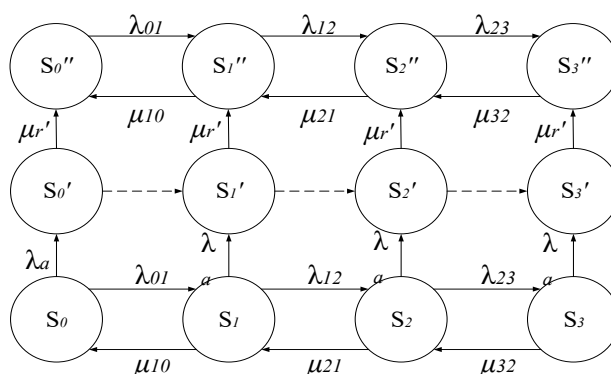


Рисунок 2.11 – Модель, що враховує успішну атаку на стадії обробки запиту на обслуговування (без зупинок і усуненням однієї вразливості)

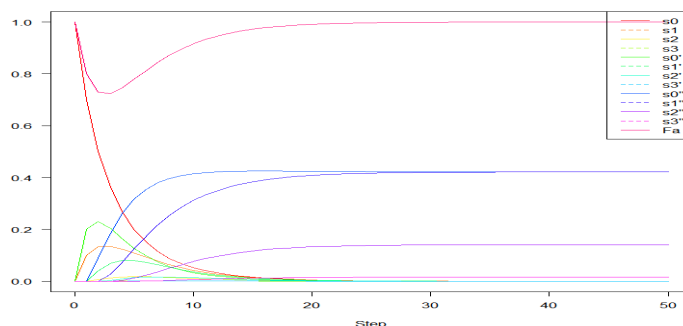


Рисунок 2.12 – Результати симуляції моделі успішної атаки на стадії обробки запиту на обслуговування (без зупинок і усуненням однієї вразливості)

У попередніх випадках розглядалася система з однією вразливістю. Пропонуються наступні моделі з двома вразливими (M_{00}^{IV} , де $V=2$), що зображено на рис. 2.13 та 2.15. У першому випадку (рис. 2.13), як у випадках, зображених на рис. 2.7 та 2.9, друга вразливість не усувається, а система просто перезавантажується та продовжує функціонувати так само (з $\lambda_a' = K_\lambda \cdot \lambda_a$, $K_\lambda < 1$). На рис. 2.14 показано перехід до стаціонарних станів.

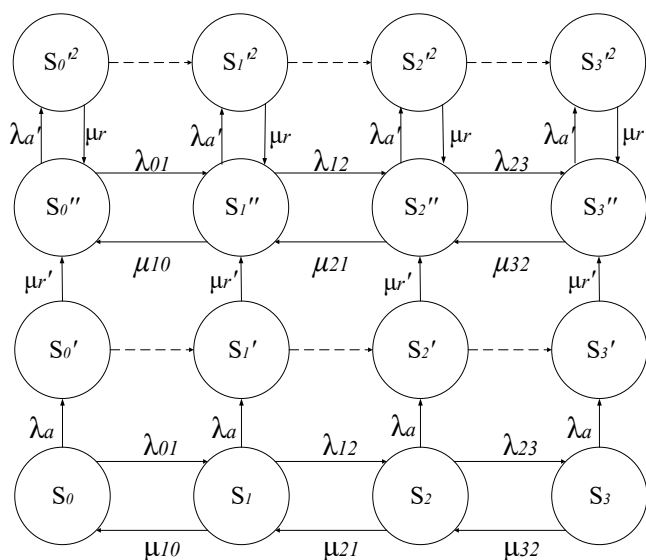


Рисунок 2.13 – Модель, що враховує успішну атаку на стадії обробки запиту на обслуговування (без зупинок і усуненням однієї з двох вразливостей)

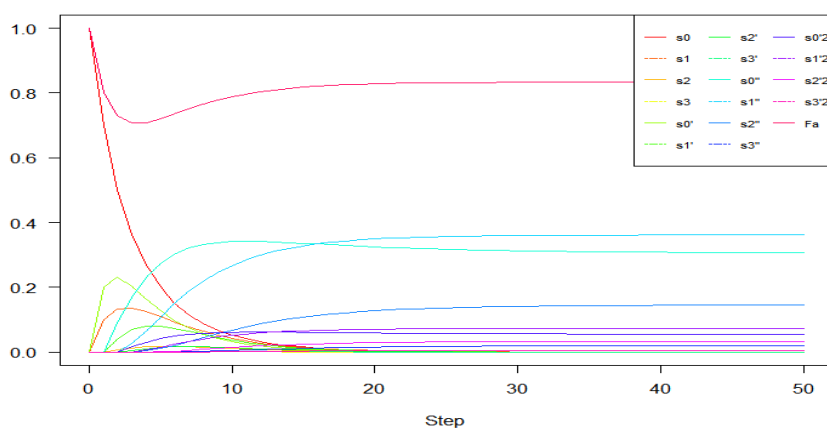


Рисунок 2.14 – Результати симуляції моделі успішної атаки на стадії обробки запиту на обслуговування (без зупинок і усуненням однієї з двох вразливостей)

У другому випадку (рис. 2.15) як у випадку, зображеному на рис. 2.11, друга вразливість усувається. На рис. 2.16 показано перехід до стаціонарних станів для розглянутого випадку.

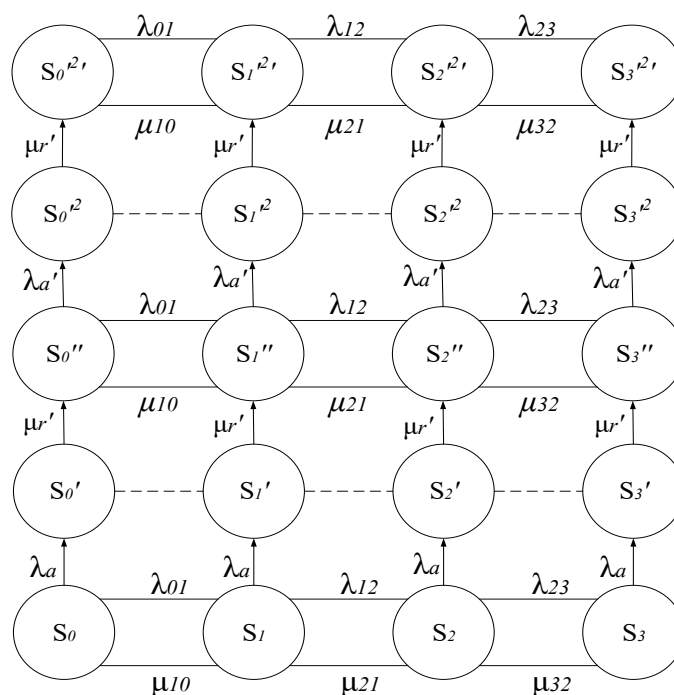


Рисунок 2.15 – Модель, що враховує успішні атаки на стадії обробки запиту на обслуговування (без зупинок і усуненням двох вразливостей)

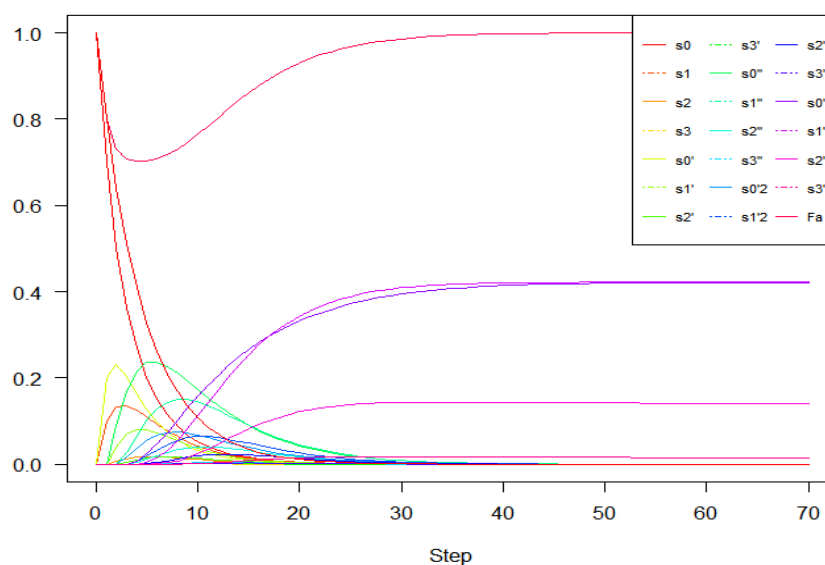


Рисунок 2.16 – Результати симуляції моделі успішної атаки на стадії обробки запиту на обслуговування (без зупинок і усуненням двох вразливостей)

2.2.4. Дослідження функцій готовності моделей кібератак на медичну систему на основі Інтернету речей

Для випадків, що показані на рис. 2.7 і 2.9, значення функції готовності розраховується наступним чином:

відповідно, надійнішою) і необхідно більше часу, щоб дійти до стаціонарного значення для випадку, зображеного як F_{a5} (рис. 2.16) через те, що необхідно більше ресурсів для усунення другої вразливості. Покращення готовності системи може бути досягнуто за рахунок збільшення параметрів μ_r та μ_r' , тобто прискорюючи час відновлення.

2.3. Розроблення і дослідження моделі готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує відмови компонентів інфраструктури

2.3.1. Відмови медичної системи на основі Інтернету речей

Зрозуміло, що медична система на основі Інтернету речей є системою з особливими вимогами щодо безпеки. В розділі 1.1 були представлені основні вимоги до функціонування таких систем. Таким чином, як і в будь-яких інших інформаційних та технічних системах, в системах на базі IoT можуть виникати відмови. На рис. 2.18 наведено основні причини відмов медичної системи на основі Інтернету, які були прокласифіковані за ознакою відмов основних елементів медичної IoT інфраструктури.



Рисунок 2.18 – Класифікація відмов медичної системи на основі Інтернету речей

В цілому в медичній IoT системі можливі відмови в роботі окремих підкомпонентів. Ці відмови можуть призвести до виходу з ладу основних компонентів інфраструктури (тобто інсулінової помпи, хмари тощо). У свою чергу, відмови основних компонентів можуть призвести до виходу з ладу всієї медичної IoT системи. На рис. 2.19 показано залежність відмов медичної IoT системи, де 0 - в системі немає жодних відмов, 1 – є одна відмова (підкомпонента), 2 – є дві відмови (підкомпонента і основний елемент), 3 – є три відмови (збій всієї медичної IoT системи), де $\lambda_{subcomponent}$, $\lambda_{component}$ і λ_{system} – це інтенсивності відмов підкомпонента, компонента і системи в цілому відповідно, а $\mu_{subcomponent}$, $\mu_{component}$ і μ_{system} – це інтенсивності відновлення підкомпонента, компонента і системи в цілому відповідно.

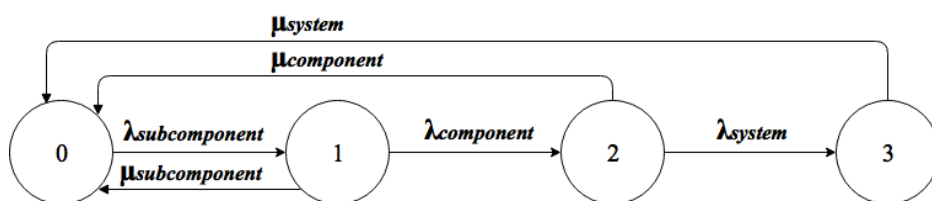


Рисунок 2.19 – Взаємозв’язок відмов компонент медичної системи на основі Інтернету речей

2.3.2. Орграф готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує відмови компонентів інфраструктури

У даному дослідженні були виділені основні припущення при розробці моделей готовності:

- потік подій, що переводить систему з одного функціонального стану в інший, має властивості стаціонарності, ординарності і відсутності післядії, відповідно вхідні параметри моделі приймаються постійними;
- модель не враховує усунення будь-яких причин, через які виникли відмови, система надає лише стандартні засоби захисту;
- засоби контролю та діагностики спрацьовують ідеально, це означає, що вони виявляють правильно і вчасно всі виникаючі відмови і несправності;
- процес, що відбувається в медичній системі на основі Інтернету речей, є процесом без післядії, ймовірність кожної події в майбутньому залежить тільки від

стану системи в даний час і не залежить від того, як система прибула до цього стану раніше. Таким чином, він задовольняє властивість Маркова.

В таблиці 2.2 наведені значення вхідних параметрів моделі готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує відмови компонентів інфраструктури. Значення вхідних даних для моделювання марковської моделі були взяті з [1-4] для відмов інсулінової помпи, для відмов хмарного середовища [5-7] та оцінки експертів. Так як дані моделі представляють собою програмні конструкції середовища і мови розробки R, то в таблиці 2.2 наведені та в подальшому будуть використовуватися рядково-символьні позначення вхідних параметрів в латинській транскрипції.

Таблиця 2.2 – Значення вхідних параметрів (інтенсивності) моделі готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує відмови компонентів інфраструктури

№	Назва параметра - інтенсивності	Позначення	Значення	Од. вим.
1	2	3	4	5
1	Відмови через розрядження або пошкодження батареї приладу	la12	9.5e-5	1/год
2	Відмови через несправність сенсору	la13	1.7e-5	1/год
3	Відмови помпи (некоректний розрахунок дози ін'єкції)	la14	1.9e-5	1/год
4	Відмови помпи через програмні дефекти	la15	1.3e-5	1/год
5	Відмови помпи через відмову апаратної частини модулю керування	la16	2e-5	1/год
6	Відмови внутрішньої натільної комп'ютерної мережі	la17	5.9e-5	1/год
7	Відмови зовнішньої бездротової мережі через неможливість відправити дані	la19	8.9e-6	1/год
8	Відмови зовнішньої бездротової мережі через недоступність точки доступу	la110	2.4e-5	1/год
9	Часткова відмова через несправності мобільного застосунку	la111	9.2e-6	1/год
10	Відмови програмного забезпечення хмари	la112	4e-6	1/год
11	Відмови апаратного забезпечення хмари	la113	5e-6	1/год
12	Відмови хмарного планувальника	la114	8e-6	1/год
13	Відмови хмарної служби	la115	1e-5	1/год
14	Відмови хмари через відключення електроенергії	la116	5.4e-6	1/год
15	Відмови через неправильне призначення лікаря	la118	1e-5	1/год
16	Відмови мобільного застосунку через відмову хмари	la1711	7.9e-5	1/год
17	Відмови медичної IoT інфраструктури через відмову хмари	la1719	3.5e-4	1/год

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5
18	Відмови помпи через програмні дефекти через неправильне призначення лікаря	la185	1.7e-5	1/год
19	Відмови помпи через програмні дефекти через некоректний розрахунок дози ін'єкції	la45	8.6e-3	1/год
20	Відмови помпи (як комплексу) через програмні дефекти	la58	6.8e-3	1/год
21	Відмови помпи (як комплексу) через відмову апаратної частини модулю керування	la68	4.7e-3	1/год
22	Відмови помпи (як комплексу) через відмову внутрішньої натільної комп'ютерної мережі	la78	1.9e-6	1/год
23	Відмови медичної IoT інфраструктури через відмову інсулінової помпи	la819	2e-5	1/год
24	Відмови хмари через відмову програмного забезпечення хмари	la1217	2.3e-4	1/год
25	Відмови хмари через відмову апаратного забезпечення хмари	la1317	3e-5	1/год
26	Відмови хмари через відмову хмарного планувальника	la1417	2.7e-5	1/год
27	Відмови хмари через відмову хмарної служби	la1517	1e-5	1/год
28	Відмови хмари через відмову через відключення електроенергії	la1617	2.5e-4	1/год
29	Відновлення після відмови через розрядження або пошкодження батареї приладу	mu21	0.9	1/год
30	Відновлення після відмови сенсору	mu31	0.005	1/год
31	Відновлення після відмови помпи (некоректний розрахунок дози ін'єкції)	mu41	0.07	1/год
32	Відновлення після усунення програмний дефектів	mu51	0.006	1/год
33	Відновлення після усунення відмови апаратної частини модулю керування	mu61	0.05	1/год
34	Відновлення після усунення відмови внутрішньої натільної комп'ютерної мережі	mu71	0.009	1/год
35	Відновлення інсулінової помпи	mu81	0.01	1/год
36	Відновлення після усунення відмови зовнішньої бездротової мережі через неможливість відправити дані	mu91	0.006	1/год
37	Відновлення після усунення відмови зовнішньої бездротової мережі через недоступність точки доступу	mu101	0.04	1/год
38	Відновлення після усунення часткової відмови через несправності мобільного застосунку	mu111	0.3	1/год
39	Відновлення після усунення відмови програмного забезпечення хмари	mu121	0.3	1/год

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5
40	Відновлення після усунення відмови апаратного забезпечення хмари	mu131	0.5	1/год
41	Відновлення після усунення відмови хмарного планувальника	mu141	0.3	1/год
42	Відновлення після усунення відмови хмарної служби	mu151	0.44	1/год
43	Відновлення після усунення відмови хмари через відключення електроенергії	mu161	0.92	1/год
44	Відновлення хмари	mu171	0.33	1/год
45	Відновлення після неправильного призначення лікаря	mu181	0.8	1/год
46	Відновлення медичної IoT інфраструктури	mu191	0.66	1/год

На рис. 2.20 наведено розмічений марковський граф відмов медичної IoT інфраструктури, де λ – інтенсивність відмов, μ – інтенсивність відновлення.

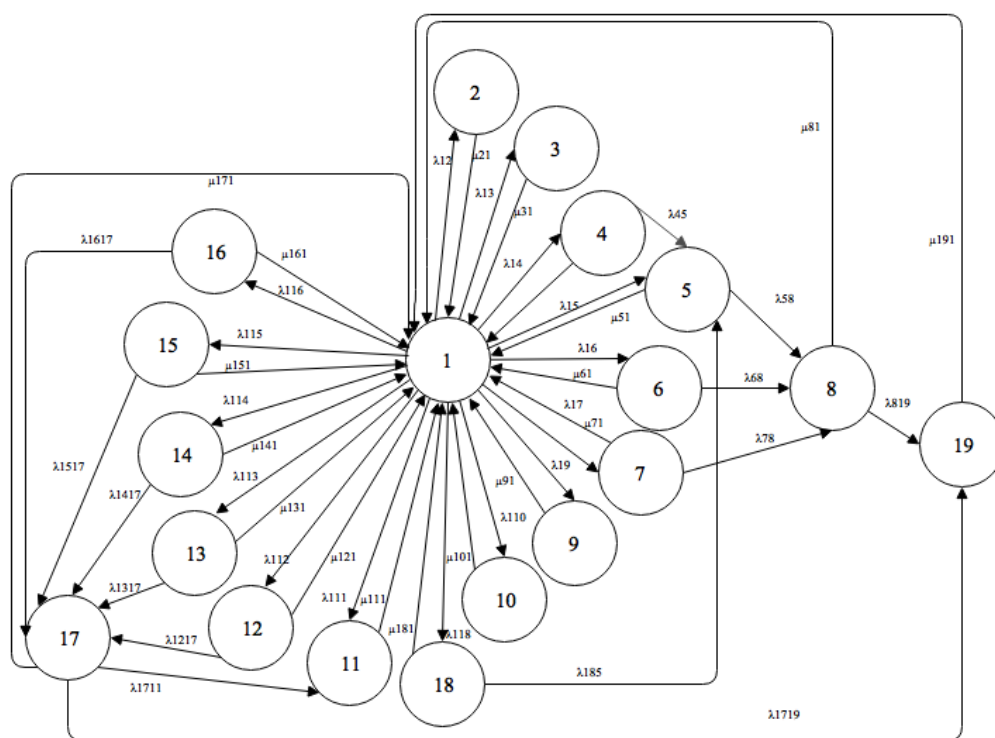


Рисунок 2.20 – Марковський граф відмов медичної IoT інфраструктури

У відповідності до рис. 2.20, основними станами медичної IoT інфраструктури є: 1 - нормальний стан (штатний) системи; 2 – відмова живлення (акумулятора) інсулінової помпи через розряд, перезарядку та/або спричинене пошкодження; 3 – відмова будь-якого та/або декількох датчиків інсулінової помпи внаслідок виходу з ладу, не доставляє ніяких вихідних даних на вхід, отримання нульових

вихідних значень та/або відсутності значущих значень та/або домішок тощо; 4 – відмова помпи (неточний розмір / швидкість дози інсуліну) через дефекти компонентів, неправильне положення помпи, температуру навколишнього середовища, тиск повітря та/або помилки проектування тощо; 5 – відмова програмного забезпечення модуля керування інсуліновою помпи через переповнення або спустошення буфера, неправильні бібліотеки, алгоритми чи програмування, помилка настройки порогу тощо; 6 – відмова модуля керування інсуліновою помпи через перегрівання, короткий або розімкнутий ланцюг, високий струм витoku, високий або низький опір, пропущений сигнал тривоги, помилковий сигнал тривоги, збій зчитування/записування даних та/або помилку проектування тощо; 7 – відмова внутрішньої мережі внутрішньої бездротової мережі тіла (WBAN) через втрату пакету, ізоляцію, збій модуля зв'язку (наприклад, L2CAP, BNEP тощо), пошкодження заголовка та/або невідповідність довжини повідомлення та/або пошкодження корисного навантаження тощо; 8 – відмова інсулінової помпи (як комплексу) через відмову будь-якого одного або декількох основних компонентів; 9 – часткова відмова зовнішньої мережі зв'язку через збої в передачі даних; 10 – часткова відмова зовнішньої мережі зв'язку через недоступність Bluetooth/стільникової/Wi-Fi мереж; 11 – часткова відмова через відмову від мобільного застосунку зчитувача (блок управління); 12 – відмова хмарного програмного забезпечення через планове або незаплановане перезавантаження, оновлення програмного забезпечення та/або складний проект; 13 – відмова хмарного обладнання через збої на жорсткому диску, RAID-контролері, пам'яті та/або інших пристроїв; 14 – відмова хмарного планувальника через переповнення та/або таймаут; 15 – відмова хмарної служби на етапі запиту та/або виконання; 16 – відмова хмари через відключення електроенергії; 17 – відмова хмари внаслідок відмови будь-якого та/або декількох хмарних компонентів; 18 – відмова через неправильне призначення або використання пристрою медичним персоналом; 19 – відмова медичної IoT інфраструктури цілком.

Система диференційний рівнянь Колмогорова-Чепмена для наведеного марковського графа (рис. 2.20) наступна:

$$\begin{aligned}
dP_1 / dt = & -(\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14} + \lambda_{15} + \lambda_{16} + \lambda_{17} + \lambda_{19} + \lambda_{110} + \lambda_{111} + \lambda_{112} + \lambda_{113} + \lambda_{114} + \lambda_{115} + \\
& + \lambda_{116} + \lambda_{118})P_1(t) + \mu_{21}P_2(t) + \mu_{31}P_3(t) + \mu_{41}P_4(t) + \mu_{51}P_5(t) + \mu_{61}P_6(t) + \mu_{71}P_7(t) + \\
& + \mu_{81}P_8(t) + \mu_{91}P_9(t) + \mu_{101}P_{10}(t) + \mu_{111}P_{11}(t) + \mu_{121}P_{12}(t) + \mu_{131}P_{13}(t) + \mu_{141}P_{14}(t) + \\
& + \mu_{151}P_{15}(t) + \mu_{161}P_{16}(t) + \mu_{171}P_{17}(t) + \mu_{181}P_{18}(t) + \mu_{191}P_{19}(t);
\end{aligned}$$

$$dP_2 / dt = -\mu_{21}P_2(t) + \lambda_{12}P_1(t);$$

$$dP_3 / dt = -\mu_{13}P_3(t) + \lambda_{13}P_1(t);$$

$$dP_4 / dt = -(\mu_{41} + \lambda_{45})P_4(t) + \lambda_{14}P_1(t);$$

$$dP_5 / dt = -(\mu_{51} + \lambda_{58})P_5(t) + \lambda_{15}P_1(t) + \lambda_{45}P_4(t) + \lambda_{185}P_{18}(t);$$

$$dP_6 / dt = -(\mu_{61} + \lambda_{68})P_6(t) + \lambda_{16}P_1(t);$$

$$dP_7 / dt = -(\mu_{71} + \lambda_{78})P_7(t) + \lambda_{17}P_1(t);$$

$$dP_8 / dt = -(\mu_{81} + \lambda_{819})P_8(t) + \lambda_{58}P_5(t) + \lambda_{68}P_6(t) + \lambda_{78}P_7(t);$$

$$dP_9 / dt = -\mu_9P_9(t) + \lambda_{19}P_1(t);$$

$$dP_{10} / dt = -\mu_{101}P_{10}(t) + \lambda_{110}P_1(t);$$

$$dP_{11} / dt = -\mu_{111}P_{11}(t) + \lambda_{111}P_1(t) + \lambda_{1711}P_{17}(t);$$

$$dP_{12} / dt = -(\mu_{121} + \lambda_{1217})P_{12}(t) + \lambda_{112}P_1(t);$$

$$dP_{13} / dt = -(\mu_{131} + \lambda_{1317})P_{13}(t) + \lambda_{113}P_1(t);$$

$$dP_{14} / dt = -(\mu_{141} + \lambda_{1417})P_{14}(t) + \lambda_{114}P_1(t);$$

$$dP_{15} / dt = -(\mu_{151} + \lambda_{1517})P_{15}(t) + \lambda_{115}P_1(t);$$

$$dP_{16} / dt = -(\mu_{161} + \lambda_{1617})P_{16}(t) + \lambda_{116}P_1(t);$$

$$\begin{aligned}
dP_{17} / dt = & -(\lambda_{1711} + \lambda_{1719} + \mu_{171})P_{17}(t) + \lambda_{1217}P_{12}(t) + \lambda_{1317}P_{13}(t) + \lambda_{1417}P_{14}(t) + \\
& + \lambda_{1517}P_{15}(t) + \lambda_{1617}P_{16}(t);
\end{aligned}$$

$$dP_{18} / dt = -(\mu_{181} + \lambda_{185})P_{18}(t) + \lambda_{118}P_1(t);$$

$$dP_{19} / dt = -\mu_{191}P_{19}(t) + \lambda_{919}P_9(t) + \lambda_{1719}P_{17}(t).$$

Початковими значеннями є:

$$P_1(0) = 1, P_i(0) = 0, i = 2, 3, \dots, 19.$$

Програма для дослідження моделі в середовищі R наведено у Додатку В.

2.3.3. Симуляція розробленої моделі

Працездатний стан – це стан 1, а вісімнадцять інших – стани з відмовами різних компонентів та частин медичної IoT системи. Отримані ймовірності пошуку медичної IoT системи в кожному стані марковської моделі (стаціонарні значення) наступні:

$P_{f1} = 0,9853745$; $P_{f2} = 0,000103622$; $P_{f3} = 0,003330566$; $P_{f4} = 0,000251795$; $P_{f5} = 0,001162896$; $P_{f6} = 0,0003859747$; $P_{f7} = 0,006145591$; $P_{f8} = 0,0009757008$; $P_{f9} = 0,001486934$; $P_{f10} = 0,0006328081$; $P_{f11} = 3,207395e-05$; $P_{f12} = 3,070724e-05$; $P_{f13} = 1,056492e-05$; $P_{f14} = 2,90451e-05$; $P_{f15} = 2,596815e-05$; $P_{f16} = 5,734457e-06$; $P_{f17} = 3,038937e-08$; $P_{f18} = 1,545724e-05$; $P_{f19} = 2,957985e-08$.

Отже, $A(t) = P_{f1}(t)$, на рис. 2.21 показано значення функції готовності, що змінюються перед переходом на стаціонарне значення ($A_{stationary} = 0,9853745$). За результатами моделювання функція отримує це значення приблизно на етапі 2300 год., тобто через 3 місяці після початку роботи.

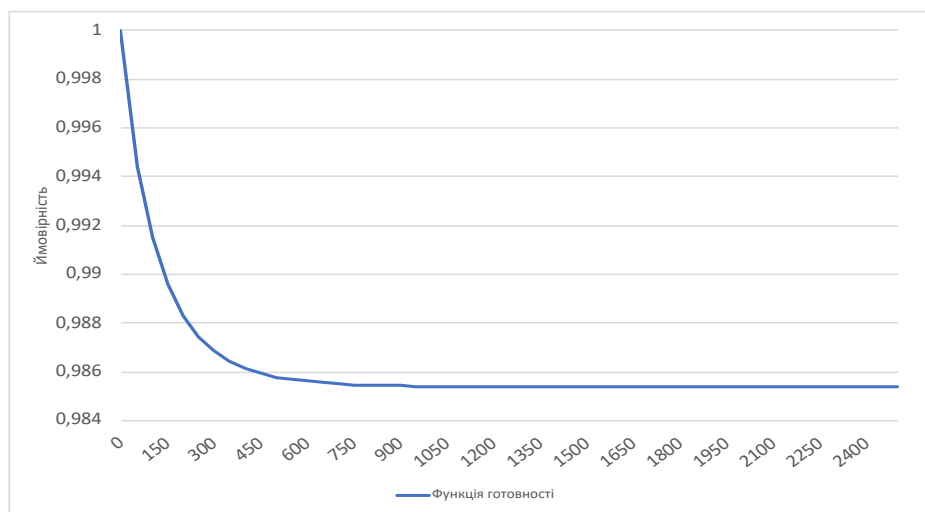


Рисунок 2.21 – Зміна функції готовності для моделі медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує відмови компонентів інфраструктури

На рис. 2.22 показано зменшення значення функції готовності залежно від різних типів показників відмов медичної IoT системи:

– інтенсивність переходу λ_{13} з працездатного стану до стану 3 відмови будь-якого та/або декількох датчиків інсулінової помпи внаслідок виходу з ладу, не

доставляє ніяких вихідних даних на вхід, отримання нульових вихідних значень та/або відсутності значущих значень та/або домішок тощо (рис. 2.22.а);

– інтенсивність переходу λ_{15} з працездатного стану до стану 5 відмови програмного забезпечення модуля керування інсуліновою помпи через переповнення або спустошення буфера, неправильні бібліотеки, алгоритми чи програмування, помилка настройки порогу тощо (рис. 2.22.б);

– інтенсивність переходу λ_{110} з працездатного стану до стану 10 часткової відмови зовнішньої мережі зв'язку через недоступність Bluetooth/стільникової/Wi-Fi мереж (рис. 2.22.в);

– інтенсивність переходу λ_{112} з працездатного стану до стану 12 відмови хмарного програмного забезпечення через планове або незаплановане перезавантаження, оновлення програмного забезпечення та/або складний проект (рис. 2.22.г).

Зниження значення функції готовності з працездатного стану медичної системи на основі Інтернету речей у стани з відмовами відбувається через різні причини, наприклад, дефекти в проектах апаратних та програмних компонентів, вплив зовнішніх факторів (атак) тощо. Відповідно до рис. 2.22, при зміні інтенсивності $\lambda_{13} = 0 \dots 0,000025$ 1/год значення готовності зменшується з 0,9886673 до 0,983804; для інтенсивності $\lambda_{15} = 0 \dots 0,000025$ 1/год значення готовності зменшується з 0,9870318 до 0,9839211; для інтенсивності $\lambda_{110} = 0 \dots 0,000035$ 1 / год, значення готовності зменшується з 0,9859984 до 0,9851145; для інтенсивності $\lambda_{112} = 0 \dots 0,00003$ 1/год значення готовності зменшується з 0,9854048 до 0,9853004. Аналіз отриманих результатів показує, що найбільший вплив на зміну функції готовності має інтенсивність λ_{15} , а наступна за ступенем впливу є інтенсивність λ_{13} (тобто різні складові пристрою пацієнта (для нашого випадку, відмови інсулінової помпи). Найменший вплив мають відмови хмарних компонентів через швидкий час відновлення [5-7]. Ці результати підтверджуються статистичними даними (готовності, надійності та доступності) постачальників хмарних технологій AWS, Google, Azure, IBM тощо та виробників кінцевих пристроїв (інсулінових pomp) [1-7].

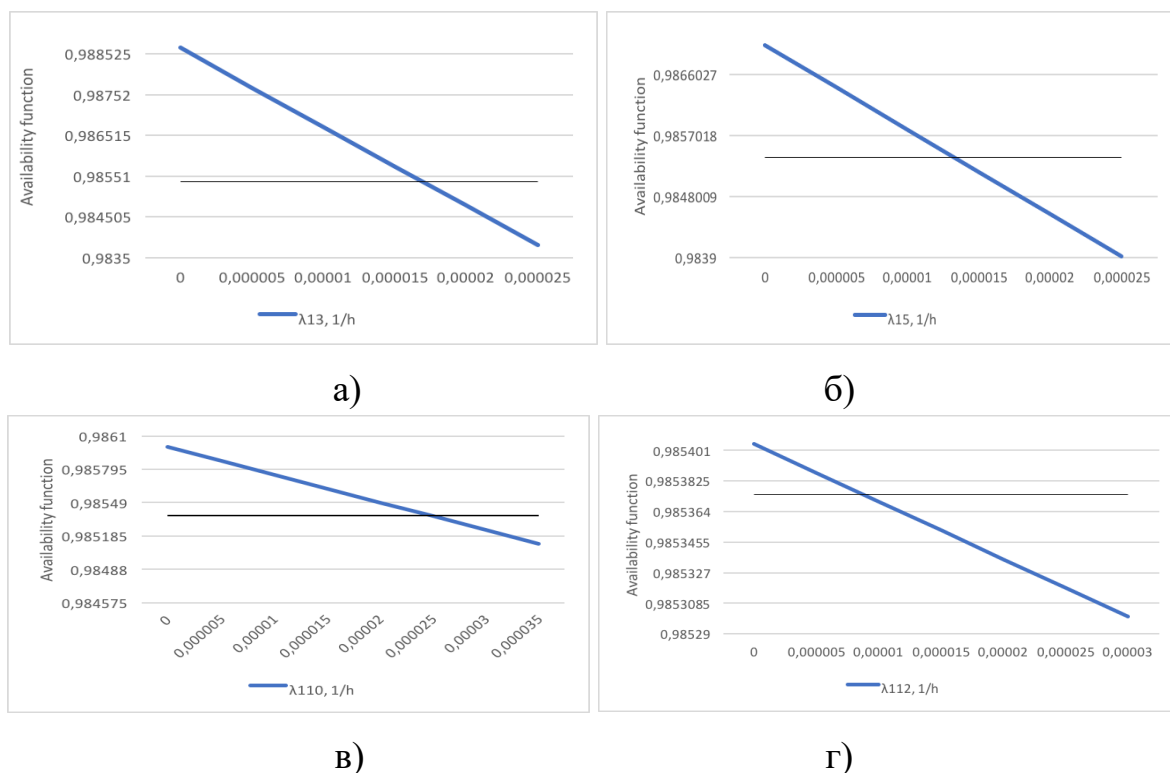


Рисунок 2.22 – Залежності зміни функції готовності з урахуванням зміни інтенсивностей а) λ_{13} , б) λ_{15} , в) λ_{110} , г) λ_{112}

Зрозуміло, що найбільш критичним за функціонуванням в медичній IoT інфраструктурі є сам медичний пристрій, тобто інсулінова помпа для даного дослідження, яка безпосередньо контактує з тілом пацієнта, тому відмова будь-якого підкомпонента помпи може привести до критичних наслідків здоров'я людини. На рис. 2.23 наведено залежність зміни функції готовності при зміні інтенсивностей λ_{13} , λ_{14} , λ_{15} , λ_{16} у діапазоні $0 \dots 0,000025$ 1/год (відмов помп з різних причин).

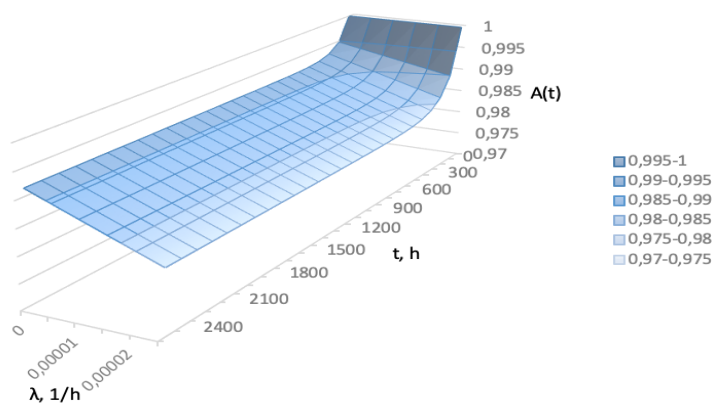


Рисунок 2.23 – Зміна функції готовності в залежності від різних причин відмов інсулінової помпи

Відповідно до рис. 2.23, при зміні інтенсивностей у діапазоні $0 \dots 0,000025$ 1/год на часовому інтервалі від 100 до 2500 год, значення готовності зменшується з 0,994742757 до 0,99152048636112 при $\lambda=0$ 1/год, з 0,989915119 до 0,982178126 при $\lambda=0,000025$ 1/год.

Аналіз отриманих результатів показує, що повна відмова МС на основі Інтернету речей трапляється не надто часто (один випадок на аналізованому часовому інтервалі через повний збій хмари). Тим не менш, відмови складових компонент системи виникають досить часто, що може вплинути на виконання критично важливих функцій медичної системи на основі Інтернету речей і, в гіршому випадку, призвести до загибелі пацієнту. Найчастіше відмови виникають через відмови роботи інсулінових pomp та її окремих елементів і компонентів та деяких компонентів хмари.

Готовність системи можна покращити шляхом більш швидкого відновлення (ремонт) обладнання та системних ресурсів та застосування більш надійних пристроїв.

2.4. Розроблення і дослідження моделі готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує атаки на вразливості компонентів інфраструктури

2.4.1. Атаки на медичні системи на основі Інтернету речей

Оскільки атаки є можливими наслідками реалізації загроз на існуючи вразливості, тому слід розглянути атаку як шкідливу дію, що впливає на продуктивність медичної IoT системи.

У [8] зазначалося, що в 2016-2017 роках на сектор охорони здоров'я було спрямовано близько 250 кібер-атак (лише публічно розкриті інциденти). Існує декілька типів атак на IoT, про які йшлося в ряді робіт [9-11]. Проблеми безпеки інсулінової помпи як об'єкт кібербезпеки були показані в [12]. Автори цих праць представили цілі, слабкі місця та техніки кібератак. Основні категорії атак спрямовані на управління, дані, контролери (кінцеві вузли) і мережі. Атаки на дані є дуже руйнівними в галузі медицини через зв'язок з лікарем і пацієнтом, привілеї та

недоторканність приватного життя пацієнта і конфіденційність. Атаки на управління включають намір зловмисника на отримання доступу до управління як всієї медичної IoT системи, так і окремих компонентів. Атаки на контролери спрямовані на кінцеві вузли (пристрої пацієнтів), щоб отримати доступ, контроль і наносити фізичний збиток. Атаки на мережі спрямовані на виявлення, копіювання конфіденційної інформації або будь-яких інших даних, що надходять в мережі. На рис. 2.24 наведено основні причини атак на медичні системи на основі Інтернету, які були прокласифіковані за ознакою спрямованості атак.

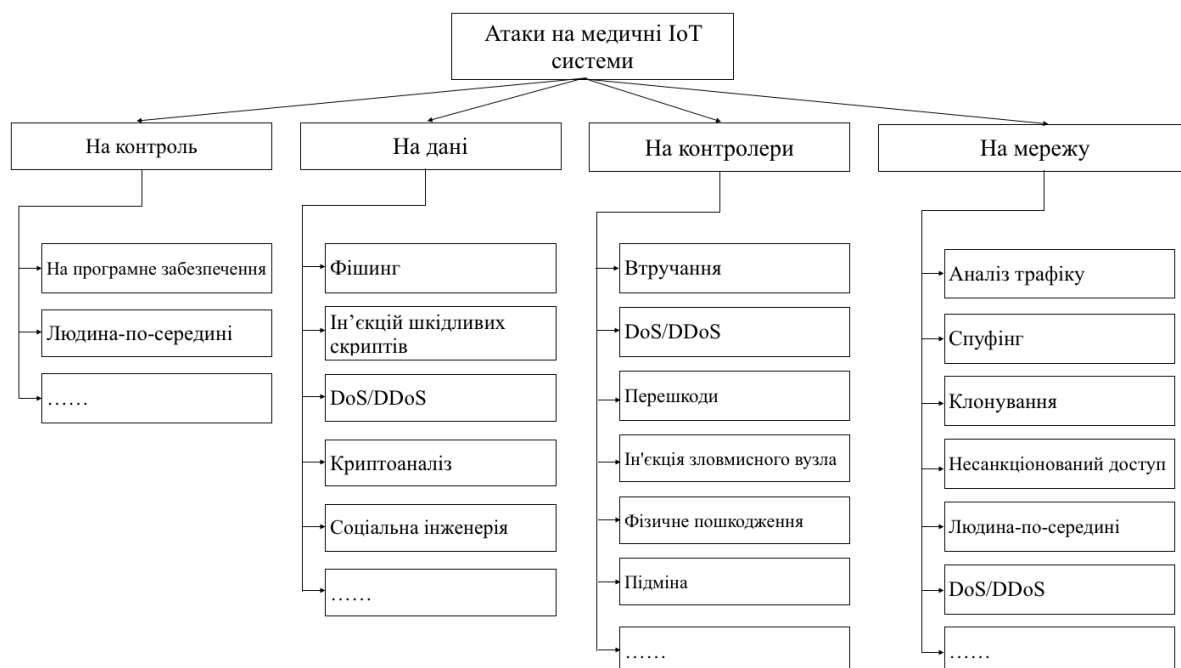


Рисунок 2.24 – Класифікація атак на медичну IoT систему за ознакою спрямованості

Такі атаки на вразливості можуть заважати пристроям та інфраструктурі в цілому взаємодіяти коректно і без відмов.

2.4.2. Орграф готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує атаки на вразливості компонентів інфраструктури

Відповідно до класифікації моделей, описаної у розділі 2.1, спрощений марковський граф представлений для випадку M_{00}^{IV} нижче. Модель не враховує усунення вразливостей і помилок проектування. Основні припущення до розробки

моделі такі ж самі, як було описано до моделі у розділі 2.3.2. Інтенсивності відмов та/або атак, відновлення та/або відбиття постійні.

Відповідно до рис.2.19, така марковська модель медичної IoT системи ділиться на чотири рівня: перший рівень – це працездатний стан (стан 1), другий рівень – це стани, перехід до котрих зумовлено атаками (стани 2-5, 8, 9, 11-14, 16-19), третій рівень передбачає стани з різними відмовами (стани 6, 7, 10, 15), четвертий рівень – це повна відмова системи (стан 20). Таким чином, в системі лише один працездатний стан.

В таблиці 2.3 наведені значення вхідних параметрів моделі готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує атаки на вразливості компонентів інфраструктури. Значення вхідних даних для симуляції марковської моделі були Дані для симулювання моделі були взяті з [13-14] (кібератаки на медичні системи [15–17]) та оцінки експертів. Так як дані моделі представляють собою програмні конструкції середовища і мови розробки R, то в таблиці 2.3 наведені та в подальшому будуть рядково-символьні позначення вхідних параметрів в латинській транскрипції.

Таблиця 2.3 – Значення вхідних параметрів (інтенсивності) моделі готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує атаки на вразливості компонентів інфраструктури

№	Назва параметра - інтенсивності	Позначення	Значення	Од. вим.
1	2	3	4	5
1	Атаки аналізу трафіку	la12	5e-6	1/год
2	Спуфінг атаки	la13	4e-6	1/год
3	Атаки клонування	la14	1,8e-6	1/год
4	Несанкціонованого доступу до мережі або бази даних	la15	1,5e-6	1/год
5	Атаки людина-по-середині	la18	4e-6	1/год
6	DoS/DDoS атаки	la19	5,7e-7	1/год
7	Атаки на програмне забезпечення	la111	6e-7	1/год
8	Фішинг атаки	la112	2e-6	1/год
9	Атаки ін'єкції зловмисного коду/скриптів	la113	1,6e-3	1/год
10	Соціальної інженерії	la114	1,3e-7	1/год
11	Атаки фальсифікації кінцевих вузлів	la116	1,7e-6	1/год
12	Джаммінг атаки	la117	6e-7	1/год
13	Атаки вкладання зловмисного вузла	la118	2e-6	1/год
14	Фізичного пошкодження	la119	2e-6	1/год
15	Відмови мережі через вдалу атаку аналізу трафіку	la26	1e-7	1/год

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5
16	Відмови мережі через вдалу спуфінг атаку	la36	1e-7	1/год
17	Відмови мережі через вдалу атаку клонування	la46	3e-7	1/год
18	Відмови мережі через несанкціонований доступ до мережі або бази даних	la56	6e-6	1/год
19	Відмови мережі через вдалу DoS/DDoS атаку	la96	7,5e-6	1/год
20	Відмови медичної IoT інфраструктури через відмову мережі	la620	1,7e-7	1/год
21	Відмови медичної IoT інфраструктури через витік даних	la720	1e-7	1/год
22	Відмови медичної IoT інфраструктури через втрату контролю	la1020	2,1e-7	1/год
23	Відмови медичної IoT інфраструктури через відмову контролерів (апаратне забезпечення)	la1520	7,3e-6	1/год
24	Відмови через витік даних через вдалу атаку аналізу трафіку	la27	5e-6	1/год
25	Відмови через витік даних через несанкціонований доступ до мережі або бази даних	la57	5e-6	1/год
26	Відмови через витік даних через вдалу DoS/DDoS атаку	la97	2e-6	1/год
27	Відмови через витік даних через вдалу атаку на програмне забезпечення	la117	2,4e-6	1/год
28	Відмови через витік даних через вдалу фішинг атаку	la127	2,2e-6	1/год
29	Відмови через витік даних через вдалу атаку ін'єкції зловмисного коду/скриптів	la137	5e-6	1/год
30	Відмови через витік даних через вдалу соціальну інженерію	la147	1,7e-6	1/год
31	Відмови через втрату контролю через вдалу атаку людина-по-середині	la810	6,7e-7	1/год
32	Відмови через втрату контролю через вдалу DoS/DDoS атаку	la910	1,3e-6	1/год
33	Відмови через втрату контролю через вдалу соціальну інженерію	la1410	2e-5	1/год
34	Відмови через відмову контролерів через вдалу атаку фальсифікації кінцевих вузлів	la1615	1,4e-7	1/год
35	Відмови через відмову контролерів через вдалу джаммінг атаку	la1715	1e-7	1/год
36	Відмови через відмову контролерів через вдалу атаку вкладання зловмисного вузла	la1815	1e-5	1/год
37	Відмови через відмову контролерів вдале фізичне пошкодження	la1915	4,5e-7	1/год
38	Відмови через відмову контролерів вдалу DoS/DDoS атаку	la915	6,9e-4	1/год
39	Відновлення медичної IoT інфраструктури	mu201	3,6e-5	1/год
40	Відновлення після атаки аналізу трафіку	mu21	8e-2	1/год

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5
41	Відновлення після спуфінг атаки	mu31	9e-2	1/год
42	Відновлення після атаки клонування	mu41	9,7e-3	1/год
43	Відновлення після несанкціонованого доступу до мережі або бази даних	mu51	6,7e-3	1/год
44	Відновлення після атаки людина-по-середині	mu81	8e-2	1/год
45	Відновлення після DoS/DDoS атаки	mu91	4,7e-3	1/год
46	Відновлення після фішинг атаки	mu111	9,6e-3	1/год
47	Відновлення після атаки на програмне забезпечення	mu121	1,5e-2	1/год
48	Відновлення після атаки ін'єкції зловмисного коду/скриптів	mu131	1,2e-2	1/год
49	Відновлення після соціальної інженерії	mu141	9e-4	1/год
50	Відновлення після фальсифікації кінцевих вузлів	mu161	2,7e-3	1/год
51	Відновлення після джаммінг атаки	mu171	2e-4	1/год
52	Відновлення після атаки вкладання зловмисного вузла	mu181	4e-3	1/год
53	Відновлення після фізичного пошкодження	mu191	3e-3	1/год

На рис. 2.25 представлено марковський граф функціонування основних компонентів під час кібератак, λ – інтенсивність відмов/атак, μ – інтенсивність відновлення/відбиття атак.

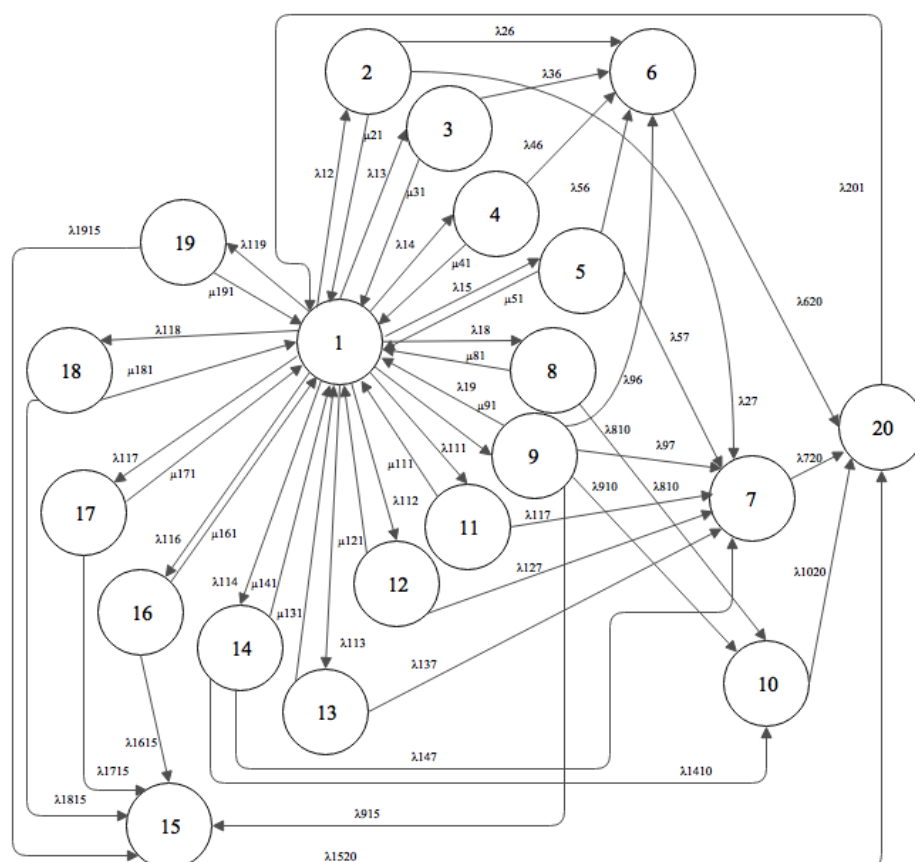


Рисунок 2.25 – Марковський граф атак на вразливості компонент медичної IoT інфраструктури

Таким чином, відповідно до рис. 2.25, основними станами медичної IoT системи є: 1 - нормальний стан системи; 2 – атака аналізу трафіку; 3 – спуфінг атака; 4 – атака клонування; 5 – несанкціонований доступ до мережі або бази даних; 6 – відмова мережі; 7 – відмова через втрату даних; 8 – атака типу «людина-по-середині»; 9 – DoS/DDoS атака; 10 – відмова через втрату контролю; 11 – атаки на програмне забезпечення (тобто віруси, хробаки, троянські коні, шпигунські програми, рекламне програмне забезпечення тощо); 12 – фішинг атака; 13 – атака ін'єкцій шкідливих скриптів; 14 – соціальна інженерія; 15 – відмова контролерів (апаратне забезпечення, кінцевих вузлів); 16 – атака втручання в кінцеві вузли; 17 – атака перешкод; 18 – атака ін'єкції зловмисного вузла; 19 – фізичне пошкодження; 20 – повна відмова медичної IoT системи.

Система диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена для наведеного Марковського графа (рис. 2.25) наступна:

$$\begin{aligned} dP_1 / dt = & -(\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14} + \lambda_{15} + \lambda_{18} + \lambda_{19} + \lambda_{111} + \lambda_{112} + \lambda_{113} + \lambda_{114} + \lambda_{116} + \lambda_{117} + \lambda_{118} + \\ & + \lambda_{119})P_1(t) + \mu_{21}P_2(t) + \mu_{31}P_3(t) + \mu_{41}P_4(t) + \mu_{51}P_5(t) + \mu_{81}P_8(t) + \mu_{91}P_9(t) + \mu_{111}P_{11}(t) + \\ & + \mu_{121}P_{12}(t) + \mu_{131}P_{13}(t) + \mu_{141}P_{14}(t) + \mu_{161}P_{16}(t) + \mu_{171}P_{17}(t) + \mu_{181}P_{18}(t) + \mu_{191}P_{19}(t) + \\ & + \lambda_{201}P_{20}(t); \end{aligned}$$

$$dP_2 / dt = -(\mu_{21} + \lambda_{26})P_2(t) + \lambda_{12}P_1(t);$$

$$dP_3 / dt = -(\mu_{31} + \lambda_{36})P_3(t) + \lambda_{13}P_1(t);$$

$$dP_4 / dt = -(\mu_{41} + \lambda_{46})P_4(t) + \lambda_{14}P_1(t);$$

$$dP_5 / dt = -(\mu_{51} + \lambda_{56} + \lambda_{57})P_5(t) + \lambda_{15}P_1(t);$$

$$dP_6 / dt = -\lambda_{620}P_6(t) + \lambda_{26}P_2(t) + \lambda_{36}P_3(t) + \lambda_{46}P_4(t) + \lambda_{56}P_5(t) + \lambda_{96}P_9(t);$$

$$\begin{aligned} dP_7 / dt = & -\lambda_{720}P_7(t) + \lambda_{27}P_2(t) + \lambda_{57}P_5(t) + \lambda_{97}P_9(t) + \lambda_{117}P_{11}(t) + \lambda_{127}P_{12}(t) + \lambda_{137}P_{13}(t) + \\ & + \lambda_{147}P_{14}(t); \end{aligned}$$

$$dP_8 / dt = -(\mu_{81} + \lambda_{810})P_8(t) + \lambda_{18}P_1(t);$$

$$dP_9 / dt = -(\mu_{91} + \lambda_{96} + \lambda_{97} + \lambda_{910} + \lambda_{95})P_9(t) + \lambda_{19}P_1(t);$$

$$dP_{10} / dt = -\lambda_{1020}P_{10}(t) + \lambda_{810}P_8(t) + \lambda_{910}P_9(t) + \lambda_{1410}P_{14}(t);$$

$$dP_{11} / dt = -(\mu_{111} + \lambda_{117})P_{11}(t) + \lambda_{111}P_1(t);$$

$$dP_{12} / dt = -(\mu_{121} + \lambda_{127})P_{12}(t) + \lambda_{112}P_1(t);$$

$$dP_{13} / dt = -(\mu_{131} + \lambda_{137})P_{13}(t) + \lambda_{113}P_1(t);$$

$$dP_{14} / dt = -(\mu_{141} + \lambda_{147} + \lambda_{1410})P_{14}(t) + \lambda_{114}P_1(t);$$

$$dP_{15} / dt = -\lambda_{1520}P_{15}(t) + \lambda_{915}P_9(t) + \lambda_{1615}P_{16}(t) + \lambda_{1715}P_{17}(t) + \lambda_{1815}P_{18}(t) + \lambda_{1915}P_{19}(t);$$

$$dP_{16} / dt = -(\mu_{161} + \lambda_{1615})P_{16}(t) + \lambda_{116}P_1(t);$$

$$dP_{17} / dt = -(\mu_{171} + \lambda_{1715})P_{17}(t) + \lambda_{117}P_1(t);$$

$$dP_{18} / dt = -(\mu_{181} + \lambda_{1815})P_{18}(t) + \lambda_{118}P_1(t);$$

$$dP_{19} / dt = -(\mu_{191} + \lambda_{1915})P_{19}(t) + \lambda_{119}P_1(t);$$

$$dP_{20} / dt = -\lambda_{201}P_{20}(t) + \lambda_{620}P_6(t) + \lambda_{720}P_7(t) + \lambda_{1020}P_{10}(t) + \lambda_{1520}P_{15}(t).$$

Початковими значеннями є:

$$P_1(0) = 1, P_i(0) = 0, i = 2, 3, \dots, 20.$$

Програма для дослідження моделі в середовищі R наведено у Додатку В.

2.4.3. Симуляція розробленої моделі

Працездатний стан – це стан 1 ($A(t) = P_{a1}$), а дев'ятнадцять інших – стани з відмовами різних компонентів та частин медичної IoT системи через вдалі кібератаки. Отримані ймовірності пошуку медичної IoT системи в кожному стані марковської моделі (стаціонарні значення) наступні:

$$\begin{aligned} P_{a1} &= 0,9200121; P_{a2} = 5,73576e-05; P_{a3} = 4,294692e-05; P_{a4} = 0,0001696415; \\ P_{a5} &= 0,0002171216; P_{a6} = 0,01081887; P_{a7} = 0,04191969; P_{a8} = 4,88764e-05; \\ P_{a9} &= 0,0001009014; P_{a10} = 0,01365914; P_{a11} = 5,696207e-05; P_{a12} = 0,0001208568; \\ P_{a13} &= 1,517664e-05; P_{a14} = 0,001280493; P_{a15} = 0,00138444; P_{a16} = 0,000618885; \\ P_{a17} &= 0,002611121; P_{a18} = 0,0005009447; P_{a19} = 0,005841538; P_{a20} = 0,0005229814. \end{aligned}$$

На рис. 2.26 показано зменшення значення функції готовності залежно від різних типів показників атак на медичну IoT систему:

– інтенсивність переходу λ_{15} з працездатного стану до стану 5 несанкціонованого доступу до мережі або бази даних (рис. 2.26.а);

- інтенсивність переходу λ_{19} з працездатного стану до стану 9 DoS/DDoS атаки (рис. 2.26.б);
- інтенсивність переходу λ_{111} з працездатного стану до стану 11 атаки на програмне забезпечення (рис. 2.26.в);
- інтенсивність переходу λ_{114} з працездатного стану до стану 14 соціальної інженерії.

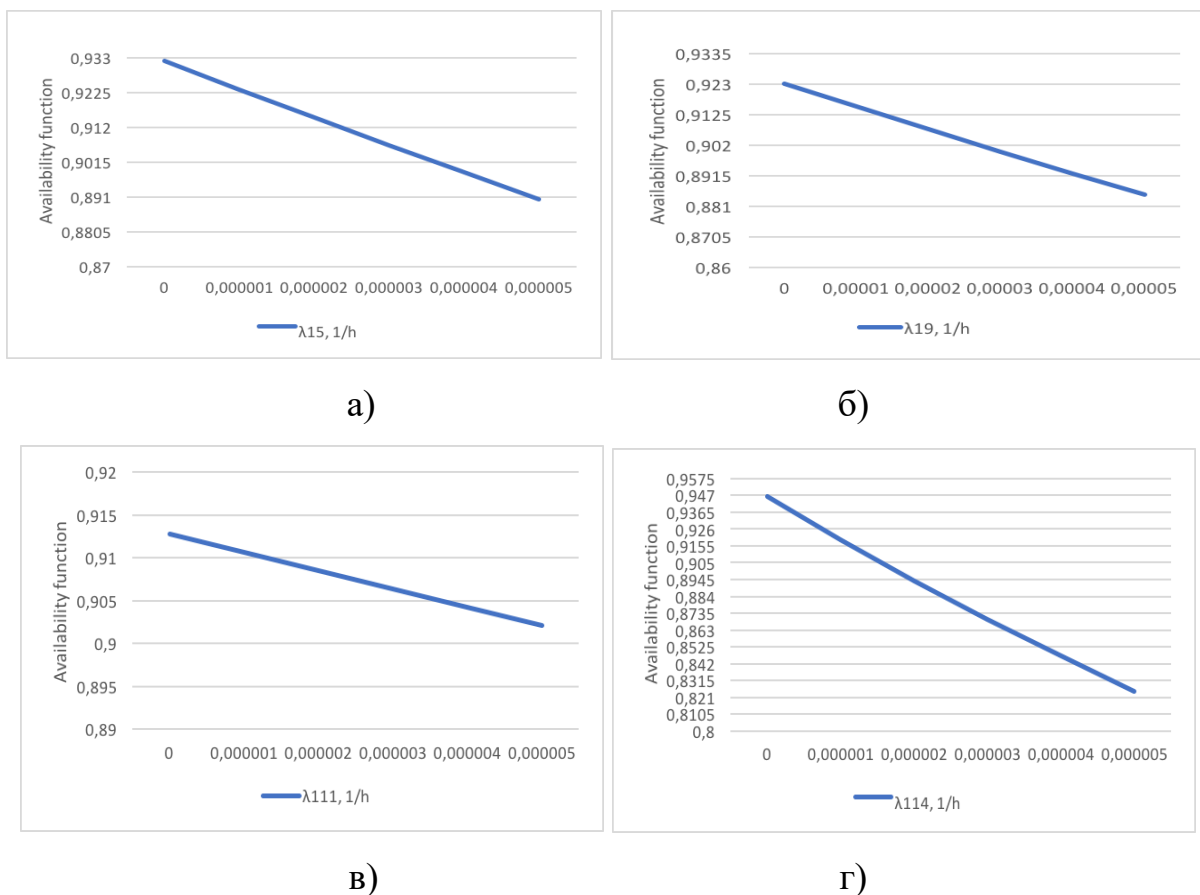


Рисунок 2.26 – Залежності зміни функції готовності з урахуванням зміни інтенсивностей а) λ_{15} , б) λ_{19} , в) λ_{111} , г) λ_{114}

Відповідно до рис. 2.26, при зміні інтенсивності $\lambda_{15} = 0 \dots 0,000005$ 1/год значення готовності зменшується з 0,9321055 до 0,8903234; для інтенсивності $\lambda_{19} = 0 \dots 0,000005$ 1/год значення готовності зменшується з 0,9230558 до 0,8849824; для інтенсивності $\lambda_{111} = 0 \dots 0,000005$ 1/год, значення готовності зменшується з 0,9227771 до 0,9021277; для інтенсивності $\lambda_{114} = 0 \dots 0,000005$ 1/год значення готовності зменшується з 0,9464262 до 0,8248332. Аналіз отриманих результатів показує, що найбільший вплив на зміну функції готовності має інтенсивність λ_{19} – DoS/DDoS атака (одна з найчастіших і руйнівних атак), наступні за впливом –

λ_{114} – соціальна інженерія (тобто людський фактор), λ_{15} – несанкціонований доступ до мережі або бази даних і λ_{111} – атаки на програмне забезпечення (тобто віруси, хробаки, троянські коні, шпигунські програми, рекламне програмне забезпечення тощо).

2.5. Висновки за розділом

1. У розділі удосконалено комплекс моделей оцінювання гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей шляхом врахування різних функціональних станів, типів відмов та кібератак, що дає змогу розраховувати показники готовності, функціональної безпеки, кібербезпеки, визначати їх залежність від параметрів медичних мобільних пристроїв та хмарного середовища.

2. Аналіз отриманих результатів моделювання кібератак на медичну систему на основі Інтернету речей показав, що:

- підвищено рівень готовності системи на 14% за рахунок усунення декількох вразливостей;
- на початковому етапі функціонування медичної IoT системи, готовність системи знижується через виконання процесу усунення вразливостей;
- необхідно більше часу, щоб дійти до стаціонарного значення для випадку, коли необхідно усунувати вразливості, бо необхідно більше ресурсів для цього;
- підвищити готовність системи можливо шляхом збільшення інтенсивностей μ_r та μ_r' , тобто прискорюючи час відновлення працездатності медичної IoT системи.

3. Аналіз отриманих результатів моделювання готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує відмови компонентів інфраструктури показав, що:

- найбільший вплив на готовність медичної IoT системи мають показники кінцевих пристроїв пацієнтів (для даного дослідження – інсулінової помпи), а найменший – хмарні компоненти через швидкий час відновлення;

– підвищити готовність системи можна шляхом більш швидкого відновлення (ремонту) обладнання та системних ресурсів та застосування більш надійних елементів кінцевих користувацьких пристроїв.

4. Аналіз отриманих результатів моделювання готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує атаки на вразливості компонентів інфраструктури показав, що:

– значення функції готовності достатньо низьке, що спричинено високою кількістю вдалих кібератак на такого роду системи;

– підвищити готовність системи можливо шляхом більш швидкого відновлення компонент систем та застосування більш ефективних засобів захисту медичної IoT інфраструктури.

Результати досліджень, що представлені в даному розділі, опубліковано у роботах [18-23].

2.6. Література до другого розділу

1. Y. Zhang, P. Jones and R. Jetley, "A Hazard Analysis for a Generic Insulin Infusion Pump", *Journal of Diabetes Science and Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 263-283, 2010. DOI: 10.1177/193229681000400207.

2. R. Rafeh, and A. Rabiee, "Towards the Design of Safety-Critical Software", *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 11 (5), pp. 683-694, 2014. DOI: 10.1016/S1665-6423(13)71576-1.

3. D. C. Klonoff, and J. S. Reyes, "Insulin Pump Safety Meeting: Summary Report", *Journal of Diabetes Science and Technology*, vol. 3(2), pp. 396-402, 2009. DOI: 10.1177/193229680900300224.

4. A. Guenego, G. Bouzillé, S. Breitel, A. Esvant, J.-Y Poirier, "Insulin Pump Failures: Has There Been an Improvement? Update of a Prospective Observational Study", *Diabetes Technology and Therapeutics*, vol. 18 (12). Mary Ann Liebert, pp.820-824, 2016. DOI: 10.1089/dia.2016.0265.

5. Reliability Pillar. *AWS Well-Architected Framework*. Amazon Web Services, p. 45, 2018.
6. M. Yanovsky, O. Yanovskaya, V. Kharchenko, "Analysis of Methods for Providing Availability and Accessibility of Cloud Services", *2016 12th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer*, pp. 414-426, 2016.
7. Cloud Computing Vulnerability Incidents: A Statistical Overview. *Cloud Vulnerabilities Working Group*, p. 21, 2013.
8. *McAfee Labs Threat Report*, December 2017, 13 p.
9. M. Abomhara, and G. M. Kien, "Cyber Security and the Internet of Things: Vulnerabilities, Threats, Intruders and Attacks", *J. Cyber Secur. Mobil*, vol. 4, no. 1, 2014, pp. 65-88. DOI: 10.13052/jcsm2245-1439.414.
10. M. Farooq, M. Waseem, A. Khairi, and S. Mazhar, "A Critical Analysis on the Security Concerns of Internet of Things (IoT)", *International Journal of Computer Applications*, vol. 111, 2015, 6 p. DOI: 10.5120/19547-1280.
11. M. Nawir et al., "Internet of Things (IoT): Taxonomy of security attacks", *3rd International Conference on Electronic Design*, pp. 321-326, 2016. DOI:10.1109/ICED.2016.7804660.
12. A. Humayed, J. Lin, F. Li and B. Luo, "Cyber-Physical Systems Security—A Survey", *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, no. 6, pp. 1802-1831, 2017. DOI: 10.1109/JIOT.2017.2703172.
13. "Kaspersky security bulletin: overall statistics for 2017," *Kaspersky Lab*, 29 p., 2017.
14. The State of Industrial Cybersecurity 2017," *The Business Advantage Group Limited*, 23 p., 2017.
15. G. Bell, and M. Ebert, "Health care and cyber security: Increasing Threats Require Increased Capabilities," *KPMG International, USA*, 7 p., 2015.
16. A. Le Bris, W. El Asri, "State of cybersecurity & cyber threats in healthcare organizations," *Essec Business School*, 12 p., 2016.

17. "The state of cybersecurity in healthcare organizations in 2016," *Ponemone Institute*, 32 p., 2016.
18. A. Strielkina, D. Uzun and V. Kharchenko, "Modelling of healthcare IoT using the queueing theory", *2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, pp. 849-852, 2017. DOI: 10.1109/idaacs.2017.8095207.
19. A. Strielkina, D. Uzun, V. Kharchenko and A. Tetskyi, "Modeling and Availability Assessment of Mobile Healthcare IoT Using Tree Analysis and Queueing Theory", in *Dependable IoT for Human and Industry: Modeling, Architecting, Implementation*, River Publishers, 2018, pp. 105-126.
20. A. Streilkina, V. Kharchenko and D. Uzun, "A Markov Model of Healthcare Internet of Things System Considering Failures of Components", *14th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer*, p. 14, 2018.
21. A. Strielkina, V. Kharchenko and D. Uzun, "Availability Models of the Healthcare Internet of Things System Taking into Account Countermeasures Selection", *Information and Communication Technologies in Education, Research, and Industrial Applications*, vol 1007, pp. 220-242, 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-13929-2_11.
22. А. А. Стрелкіна, А. Г. Тецький, О. А. Ілляшенко, "Аналіз можливостей використання вільного програмного забезпечення R для задач моделювання", *Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2017*, Харків: Нац. аерокосм. ун-т "ХАІ", Том 2, с.233, 2017.
23. А. А. Стрелкіна, "Розроблення моделей готовності IoT систем в галузі охорони здоров'я", *Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2018*, Харків: Нац. аерокосм. ун-т "ХАІ", Том 2, с.197, 2018.

РОЗДІЛ 3.

РОЗРОБЛЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПОВЕДІНКИ МЕДИЧНОГО ПРИСТРОЮ ТА МЕТОДУ ВИБОРУ ЗАСОБУ ЗАХИСТУ МЕДИЧНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

3.1. Структурно-автоматна модель функціональної поведінки медичного пристрою

Для побудови структурно-автоматної моделі (САМ) необхідно виконати наступні дії [1]:

- визначити параметри та показники функціональності об'єкта дослідження, які мають бути відображені в САМ;
- сформулювати перелік базових подій та опис ситуацій (умов і обставин), за яких ці події відбуваються;
- сформулювати вектор стану об'єкта дослідження;
- за допомогою логічних виразів описати ситуації, в яких відбуваються базові події, з використанням компонент вектора стану, параметрів та показників функціональності об'єкта дослідження;
- сгрупувати вирази для розрахунку інтенсивностей базових подій у кожній ситуації;
- для ситуацій, в яких після базової події можливі різні післядії, які виникають з певними ймовірностями, необхідно скласти вирази для розрахунку ймовірностей альтернативних переходів;
- встановити правила модифікації компонентів вектора стану.
- провести верифікацію та валідацію розробленої САМ.

3.1.1. Аналіз функціональної поведінки медичного пристрою

Згідно [2-3], на рис. 3.1 зображено узагальнену структуру інсулінової помпи, що функціонує в середовищі IoT. Відповідно, базовими компонентами IoT структури, в якій функціонує інсулінова помпа є:

- кінцевий користувач (пацієнт), який є «носієм» помпи;
- лікар, представник закладу охорони здоров'я, до якого відправляються дані і який приймає рішення щодо подальшого лікування пацієнта;
- хмара, через яку відбуваються комунікації між пацієнтом і представником медичної організації;
- сама інсулінова помпа, що складається з бездротового модуля зв'язку з пацієнтом і лікарем, контролера, резервуара для ліків, механізму ін'єкції ліків, джерела живлення і інтерфейсу для комунікації з користувачем.

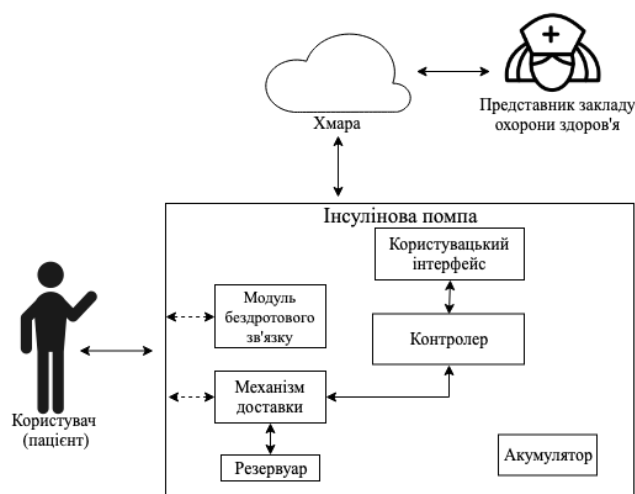


Рисунок 3.1 – Структурна схема інсулінової помпи, що функціонує в середовищі Інтернету речей

Дані з сенсору надсилаються на аналіз рівня цукру в крові та обчислення потреби в інсуліні, що проводиться за допомогою інтегрованих технічних можливостей та інструментів інсулінової помпи та/або надсилаються на хмари через Інтернет-шлюз для подальшої обробки, зберігання та візуалізації. Інтерфейс користувача необхідний для візуалізації процесів, що проходять в помпі як в текстовій так і звуковій формі, та зміни налаштувань. Контролер помпи необхідний для програмування налаштувань ін'єкції болюса і базальної дози ліків у відповідності до призначень лікаря. Механізм ін'єкції використовується для введення інсуліну/глюкагону пацієнту. В свою чергу, ліки беруться із резервуару.

На основі аналізу основних функцій і принципу функціонування інсулінової помпи [4], сформовано перелік процедур (таблиця 3.1), які будуть основою для визначення базових подій, необхідних для розроблення САМ.

Таблиця 3.1 – Перелік процедур, що відбуваються під час функціонування інсулінової помпи

№	Процедура	Умова виконання
1	Проведення самотестування	Інсулінова помпа увімкнена
2	Взяття аналізу крові	Успішне самотестування
3	Передача даних до закладу охорони здоров'я	Успішне взяття аналізів крові, тобто, якщо аналізи неотримані, то і дані не передаються і після виконання процедури ін'єкції
4	Перевірка наявності елементів помпи	Після передачі даних до лікаря. Відбувається перевірка, чи підключені основні елементи до помпи (набір для ін'єкції, резервуар, трубки тощо)
5	Заливання помпи	Успішна перевірка наявності елементів. Виконується заливання помпи
6	Перевірка залитої помпи	Успішне заливання помпи
7	Перевірка наявності ліків	Успішна перевірка залитої помпи
8	Отримання даних від лікаря	Тільки при умові успішної передачі даних до закладу і після перевірки наявності ліків
9	Перевірка відповідності ліків	Після прийняття даних і перевірки наявності ліків або, якщо дані не було отримано або не були передані, то ліки порівнюються з попереднім призначенням
10	Перевірка базальної дози ліків	Успішна перевірка відповідності ліків призначенням лікаря
11	Перевірка болюсної дози ліків	Успішні перевірки відповідності ліків призначенням лікаря і перевірки базальної дози
12	Перевірка концентрації базальної дози ліків	Успішні перевірки базальної і болюсної доз ліків
13	Перевірка концентрації болюсної дози ліків	Успішні перевірки базальної і болюсної доз ліків, а також концентрації в базальній дозі
14	Перевірка об'єму базальної дози ліків	Успішні перевірки концентрації базальної і болюсної доз ліків
15	Перевірка об'єму болюсної дози ліків	Успішні перевірки концентрації базальної і болюсної доз ліків, а також перевірки об'єму базальної дози ліків
16	Перевірка швидкості ін'єкції базальної дози ліків	Успішні перевірки об'єму базальної і болюсної доз ліків
17	Перевірка швидкості ін'єкції болюсної дози ліків	Успішні перевірки об'єму базальної і болюсної доз ліків, а також успішної перевірки швидкості ін'єкції базальної дози ліків
18	Зміна налаштувань (відновлення)	Неуспішні перевірки характеристик базальної і болюсної ін'єкції
19	Ін'єкція базально	Успішна перевірка всіх налаштувань
20	Ін'єкція болюса	Під час успішної базальної ін'єкції
21	Перевірка резервуару	Під час успішної базальної ін'єкції
22	Вимкнення пристрою	Успішне виконання всіх процедур або критична відмова через невиконання певної процедури

Кожна процедура може закінчуватися як успішно, так і неуспішно.

При формуванні моделі функціональної поведінки інсулінової помпи, її склад і окремі складові необхідно представити відповідними показниками функціональності (ймовірності успішного виконання процедури) і параметрами (середнє значення процедури тривалості процедури), які показані у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри і показники функціональності складових моделі функціональної поведінки інсулінової помпи

№	Процедура	Показник	Параметр	
		Умовне позначення	Умовне позначення	Значення, с
1	Самотестування	P_{sst}	$T_{s.t.}$	60
2	Вимкнення приладу	P_{su}	$T_{p.d.}$	10
3	Аналізу крові	P_{ao}	$T_{b.a.}$	180
4	Відправлення даних до лікаря	P_{dt}	$T_{d.t.}$	120
5	Перевірки наявності і працездатності всіх елементів помпи	P_{ce}	$T_{c.e.}$	20
6	Перевірки заливання помпи	P_{pp}	$T_{c.p.}$	30
7	Заливання помпи	P_{cp}	$T_{p.p.}$	10
8	Перевірки наявності ліків	P_{dc}	$T_{d.c.}$	20
9	Отримання призначень лікаря	P_{da}	$T_{d.a.}$	15
10	Перевірки відповідності призначених ліків	P_{cd}	$T_{c.d.}$	10
11	Перевірки базальної дози ліків	P_{bd}	$T_{b.d.}$	10
12	Перевірки болюсної дози ліків	P_{bld}	$T_{bl.d.}$	10
13	Перевірки концентрації базальної дози ліків	P_{bc}	$T_{b.c.}$	10
14	Перевірки концентрації болюсної дози ліків	P_{blc}	$T_{bl.c.}$	10
15	Перевірки об'єму базальної дози ліків	P_{bv}	$T_{b.v.}$	10
16	Перевірки об'єму болюсної дози ліків	P_{blv}	$T_{bl.v.}$	10
17	Перевірки швидкості базальної ін'єкції	P_{bs}	$T_{b.s.}$	10
18	Перевірки швидкості ін'єкції болюса	P_{bls}	$T_{bl.s.}$	10
19	Відновлення	P_{rs}	$T_{r.c.}$	60
20	Базальної ін'єкції	P_{in}	T_{in}	3600
21	Ін'єкції болюса	P_{bl}	T_{bl}	20
22	Перевірки резервуару під час ін'єкції	$P_{r.c.}$	T_{rc}	3600

Середні значення тривалостей виконання процедур взято з технічних специфікацій виробників інсулінових помп. В реальності виконання кожної

процедури у відмовостійких системах (в даному випадку, медичних систем) не є успішною, тобто ймовірність успішного виконання будь-якої процедури $P < 1$.

3.1.2. Визначення базових подій і допущень до моделі функціональної поведінки медичного пристрою

Під час розроблення САМ необхідно прийняти до уваги всі процедури і процеси, що відбуваються під час функціонування інсулінової помпи. Процедури характеризуються подіями початку, закінчення і середнім значенням тривалості. Тривалість процедур визначається між подіями “Початок процедури ...” і “Закінчення процедури ...”. Події закінчення процедури прийняті за базові події (БП). Події невиконання процедур, а також процедури із середнім значенням тривалості рівним 0 представлені як зведені базові події (ЗБП) [5]. Для досліджуваної системи складено опис подій, згідно переліку процедур, наведених раніше, які показані в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Події поведінки функціональних станів інсулінової помпи

№	Подія – початок процедури	Подія – закінчення процедури (Базові події)	Сер. знач. тривалості
1	2	3	4
1	Увімкнення живлення: Початок першого самотестування	БП1: Закінчення процедури першого самотестування	T_{st}
2	Сигнал невиконання самотестування: початок процедури вимкнення живлення	ЗБП2: Закінчення процедури вимкнення живлення	$T_{p.d}$
3	Початок повторного самотестування	БП3: Закінчення повторного самотестування	T_{st}
4	Початок процедури взяття аналізів крові (рівень глюкози)	БП4: Закінчення процедури зняття аналізів крові	$T_{b.a}$
5	Початок процедури передачі отриманих даних до хмари (лікаря)	БП5: Закінчення процедури передачі знятих даних до хмари	$T_{d.t}$
6	Початок перевірки наявності всіх елементів (помпи)	БП6: Закінчення перевірки наявності всіх елементів	$T_{c.e}$
7	Початок заливання помпи перед пуском	БП7: Закінчення заливання помпи перед запуском	$T_{p.p}$
8	Початок процедури перевірки залитої помпи	БП8: Закінчення процедури перевірки залитої помпи	$T_{c.p}$

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4
9	Сигнал несправності помпи – критична відмова помпи: початок процедури вимкнення живлення	ЗБП9: Закінчення процедури вимкнення живлення	T _{p.d.}
10	Початок процедури перевірки наявності ліків	БП10: Закінчення процедури перевірки наявності ліків	T _{d.c.}
11	Початок процедури прийняття призначень лікаря	БП11: Закінчення процедури прийняття призначень лікаря	T _{d.a.}
12	Початок перевірки відповідності ліків призначенням лікаря	БП12: Закінчення перевірки відповідності ліків призначенням лікаря	T _{c.d.}
13	Сигнал невідповідності ліків – критична відмова помпи: початок процедури вимкнення живлення	ЗБП13: Закінчення процедури вимкнення живлення	T _{p.d.}
14	Початок перевірки базальної дози ліків	БП14: Закінчення перевірки базальної дози ліків	T _{b.d.}
15	Сигнал порушення базальної дози – критична відмова помпи: початок процедури вимкнення живлення	ЗБП15: Закінчення процедури вимкнення живлення	T _{p.d.}
16	Початок перевірки дози болюса	БП16: Закінчення перевірки дози болюса	T _{bl.d.}
17	Сигнал порушення дози болюса – критична відмова помпи: початок процедури вимкнення живлення	ЗБП17: Закінчення процедури вимкнення живлення	T _{p.d.}
18	Початок перевірки концентрації ліків в базальній дозі	БП18: Закінчення перевірки концентрації ліків в базальній дозі	T _{b.c.}
19	Сигнал порушення концентрації ліків в базальній дозі – критична відмова помпи: початок процедури вимкнення живлення	ЗБП19: Закінчення процедури вимкнення живлення	T _{p.d.}
20	Початок перевірки концентрації ліків в болюсі	БП20: Закінчення перевірки концентрації ліків в болюсі	T _{bl.c.}
21	Сигнал порушення концентрації ліків в болюсі – критична відмова помпи: початок процедури вимкнення живлення	ЗБП21: Закінчення процедури вимкнення живлення	T _{p.d.}
22	Початок перевірки об'єму базальної дози для ін'єкції	БП22: Закінчення перевірки об'єму базальної дози для ін'єкції	T _{b.v.}
23	Сигнал порушення концентрації об'єму базальної дози для ін'єкції – критична відмова помпи: початок процедури вимкнення живлення	ЗБП23: Закінчення процедури вимкнення живлення	T _{p.d.}
24	Початок перевірки об'єму болюсу для ін'єкції	БП24: Закінчення перевірки об'єму болюсу для ін'єкції	T _{bl.v.}

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4
25	Сигнал порушення концентрації об'єму болюсу для ін'єкції – критична відмова помпи: початок процедури вимкнення живлення	ЗБП25: Закінчення процедури вимкнення живлення	$T_{p.d.}$
26	Початок процедури перевірки швидкості ін'єкції базальної дози ліків	БП26: Закінчення процедури перевірки швидкості ін'єкції базальної дози ліків	$T_{b.s.}$
27	Сигнал порушення швидкості ін'єкції базальної дози ліків – критична відмова помпи: початок процедури вимкнення живлення	ЗБП27: Закінчення процедури вимкнення живлення	$T_{p.d.}$
28	Початок процедури перевірки швидкості ін'єкції болюсу	БП28: Закінчення процедури перевірки швидкості ін'єкції болюсу	$T_{bl.s.}$
29	Сигнал порушення швидкості ін'єкції болюсної дози ліків – критична відмова помпи: початок процедури вимкнення живлення	ЗБП29: Закінчення процедури вимкнення живлення	$T_{p.d.}$
30	Початок процедури зміни налаштувань	БП30: Закінчення процедури зміни налаштувань	$T_{r.s.}$
31	Початок процедури ін'єкції	БП31: Закінчення процедури ін'єкції	T_{in}
32	Початок процедури ін'єкції болюсу	ЗБП32: Закінчення процедури ін'єкції болюсу	$T_{bl} \ll T_{in}$
33	Початок процедури перевірки резервуару під час ін'єкції	ЗБП33: Закінчення процедури перевірки резервуару під час ін'єкції	T_{rc}
34	Сигнал пустого резервуару - відмова помпи – початок процедури припинення ін'єкції	ЗБП34: Закінчення процедури припинення ін'єкції	$T_{p.d.} \ll T_{in}$
35	Початок процедури відправлення результатів ін'єкції до лікаря	БП35: Закінчення процедури відправлення результатів ін'єкції до хмари	$T_{d.t.}$
36	Початок процедури вимкнення живлення після виконання всіх функцій	БП36: Закінчення процедури вимкнення живлення після виконання всіх функцій	$T_{p.d.}$

Слід зазначити, що зведені базові події ЗБП15, ЗБП17, ЗБП19, ЗБП21, ЗБП23, ЗБП25, ЗБП27 і ЗБП29 відбуваються лише, коли у моделі не передбачено процедури відновлення.

При розробці моделі було прийнято декілька допущень і гіпотеза:

– процедури 1, 2, 5, 7, 9-18, 22 мають фіксовану тривалість; однак в розробленій моделі ці процедури представлено, як неперервні випадкові величини з експоненційним законом розподілу; а значення цих тривалостей прийняті як середні значення випадкової величини;

– тривалість процедур 3, 4, 6, 8, 19-21 є неперервними випадковими величинами; а значення цих тривалостей прийняті як середні значення випадкової величини; так як реальні закони розподілу для тривалостей цих процедур в даний час є невідомими, то під час розроблення моделі прийнята традиційна гіпотеза про експоненційний закон розподілу. Зауважимо, що результати аналізу моделей з такими гіпотезами мають граничне значення [6];

– враховано (прийнято до уваги), що тривалості процедур мають різні значення – години, хвилини, секунди; тому в моделі введено (використано) допущення, що тривалість процедури 22 (при умові критичної відмови) в кілька секунд мають значення рівні нулю;

– процедури 19, 20, 21 в реальності відбуваються паралельно; однак в моделі використано припущення, про їх послідовне виконання. Але так як середнє значення тривалості процедур 20 є набагато меншою від середнього значення тривалості процедури 19, а середнє значення тривалості процедури 21 рівна середньому значенню тривалості процедури 19, то їх значення прийнято рівними нулю;

– ймовірність виконання процедури 22 (вимкнення пристрою) в даному дослідженні дорівнює 1.

Проведене обґрунтування гіпотез і допущень уточнює (доповнює) інформацію про ступінь адекватності моделі.

3.1.3. Визначення компонент вектора стану моделі функціональної поведінки медичного пристрою

Вектор стану для моделі функціональної поведінки інсулінової помпи представлено наступними компонентами, що наведені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Компоненти вектора стану

Компонента вектора стану	Призначення	Значення
1	2	3
V1	Поточний стан результату самотестування	0 – початкове значення; 1 – перше самотестування успішне; 2 – перше самотестування неуспішне; 3 – друге самотестування успішне; 4 – критична відмова через неуспішне друге самотестування
V2	Поточний стан зв'язку інсулінової помпи з лікарем	0 – початкове значення; 1 – вдале відправлення даних до лікаря; 2 – невдале відправлення даних до лікаря; 3 – вдале прийняття даних від лікаря; 4 – невдале прийняття даних від лікаря
V3	Стан отримання аналізу крові	0 – початкове значення; 1 – аналіз крові отримано; 2 – аналіз крові не отримано
V4	Поточний стан перевірки працездатності всіх елементів помпи	0 – початкове значення; 1 – всі елементи помпи працездатні; 2 – критична відмова, елементи помпи непрацездатні
V5	Поточний стан інформації про ліки	0 – початкове значення; 1 – ліки наявні; 2 – критична відмова через відсутність ліків; 3 – ліки відповідають призначенню лікаря; 4 – критична відмова через невідповідність ліків призначенню лікаря
V6	Поточний стан приладу	1 – початкове значення, прилад увімкнено; 0 – завдання успішно виконано, прилад вимкнено; 2 – прилад несправний, немає можливості відновлення, відмова критична; 3 – прилад вважається несправним після невдалого першого самотестування, відбувається перезавантаження; 4 – прилад несправний, відновлення не успішне, відмова критична; 5 – прилад несправний, є можливість відновлення; відмова критична
V7	Поточний стан характеристики налаштувань базальної ін'єкції	0 – початкове значення; 1 – базальна доза правильна; 2 – базальна доза неправильна; 3 – концентрація ліків в базальній дозі правильна; 4 – концентрація ліків в базальній дозі неправильна; 5 – об'єм базальної дози правильний; 6 – об'єм базальної дози неправильний; 7 – швидкість

1	2	3
		базальної дози правильна; 8 – швидкість базальної дози неправильна; 9 – базальна ін'єкція успішна; 10 – базальна ін'єкція неуспішна
V8	Поточний стан характеристики налаштувань ін'єкції болюса	0 – початкове значення; 1 – доза болюса правильна; 2 – доза болюса неправильна, 3 – концентрації ліків в болюсі правильна; 4 – концентрації ліків в болюсі неправильна; 5 – об'єм болюсу правильний; 6 – об'єм болюсу неправильний; 7 – швидкість болюсу правильна; 8 – швидкість болюсу неправильна; 9 – ін'єкція болюса успішна; 10 – ін'єкція болюса неуспішна
V9	Стан призначень лікаря	0 – початкове значення; 1 – призначення нове; 2 – призначення попереднє
V10	Поточний стан наповненості резервуару для ліків під час ін'єкції	0 – початкове значення; 1 – резервуар заповнено; 2 – критична відмова через порожній резервуар

Формалізоване представлення умови успішного виконання завдання має такий вигляд ($V6=0$), тобто інсулінову помпу вимкнено.

3.1.4. Розроблення опорного графу станів на основі базових подій функціональної поведінки медичного пристрою

Для побудови опорного графу вхідними даними є: базові події, що визначаються (задаються) алгоритмом функціональної поведінки інсулінової помпи; компоненти вектора стану; показники функціональності і параметри складових розроблюваної системи. Фрагмент результатів побудови САМ занесені до таблиці 3.5 (повний граф станів і переходів розроблювальної САМ наведено у Додатку Д).

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
1	Початковий стан	--	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	--	--
2	1БП1	P_{sst}	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	$1 \rightarrow 2$	$P_{sst} * 1 / T_{s.t.}$
3	1БП1 (ЗБП2)	$1 - P_{sst}$	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	$1 \rightarrow 3$	$(1 - P_{sst}) * 1 / T_{p.d.}$
...															
6	ЗБП3	P_{sst}	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	$3 \rightarrow 6$	$P_{sst} * 1 / T_{s.t.}$
7		$1 - P_{sst}$	4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	KB	$3 \rightarrow KB$	$(1 - P_{sst}) * 1 / T_{s.t.}$
...															
12	6БП4	P_{ao}	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	11	$6 \rightarrow 11$	$P_{ao} * 1 / T_{b.a.}$
13		$1 - P_{ao}$	3	0	2	0	0	1	0	0	0	0	12	$6 \rightarrow 12$	$(1 - P_{ao}) * 1 / T_{b.a.}$
...															
24	12БП5	P_{dt}	3	1	2	0	0	1	0	0	0	0	19	$12 \rightarrow 19$	$P_{dt} * 1 / T_{d.t.}$
25		$1 - P_{dt}$	3	2	2	0	0	1	0	0	2	0	20	$12 \rightarrow 20$	$(1 - P_{dt}) * 1 / T_{d.t.}$
...															
38	19БП6	P_{ce}	3	1	2	1	0	1	0	0	0	0	27	$19 \rightarrow 27$	$P_{ce} * 1 / T_{c.e.}$
39		$1 - P_{ce}$	3	1	2	2	0	2	0	0	0	0	KB	$19 \rightarrow KB$	$(1 - P_{ce}) * 1 / T_{c.e.}$
...															
54	27БП7	P_{pp}	3	1	2	3	0	1	0	0	0	0	35	$27 \rightarrow 35$	$P_{pp} * 1 / T_{p.p.}$
55	27БП7 (ЗБП9)	$1 - P_{pp}$	3	1	2	4	0	2	0	0	0	0	KB	$27 \rightarrow KB$	$(1 - P_{pp}) * 1 / T_{p.p.}$
...															
70	35БП8	P_{cp}	3	1	2	5	0	1	0	0	0	0	43	$35 \rightarrow 43$	$P_{cp} * 1 / T_{c.p.}$
71	35БП8 (ЗБП9)	$1 - P_{cp}$	3	1	2	6	0	2	0	0	0	0	KB	$35 \rightarrow KB$	$(1 - P_{cp}) * 1 / T_{c.p.}$
...															
86	43БП10	P_{dc}	3	1	2	5	1	1	0	0	0	0	53	$43 \rightarrow 53$	$P_{dc} * 1 / T_{d.c.}$
87		$1 - P_{dc}$	3	1	2	5	2	2	0	0	0	0	KB	$43 \rightarrow KB$	$(1 - P_{dc}) * 1 / T_{d.c.}$
...															
106	53БП11	P_{da}	3	3	2	5	1	1	0	0	1	0	66	$53 \rightarrow 66$	$P_{da} * 1 / T_{d.a.}$
107		$1 - P_{da}$	3	4	2	5	1	1	0	0	2	0	67	$53 \rightarrow 67$	$(1 - P_{da}) * 1 / t_{d.a.}$
....															
134	67БП12	P_{cd}	3	4	2	5	3	1	0	0	2	0	86	$67 \rightarrow 86$	$P_{cd} * 1 / T_{c.d.}$
135	67БП12 (ЗБП13)	$1 - P_{cd}$	3	4	2	5	4	2	0	0	2	0	KB	$67 \rightarrow KB$	$(1 - P_{cd}) * 1 / T_{c.d.}$
...															
172	86БП14	P_{bd}	3	4	2	5	3	1	1	0	2	0	109	$86 \rightarrow 109$	$P_{bd} * 1 / T_{b.d.}$
173	86БП14 (ЗБП15)	$1 - P_{bd}$	3	4	2	5	3	5	2	0	2	0	110	$86 \rightarrow 110$	$(1 - P_{bd}) * 1 / T_{b.d.}$
...															

Продовження таблиці 3.5

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1				V5	V6	V7	V8	V9	V10			
218	109БП16	P _{bld}	3	4	2	5	3	1	1	1	2	0	133	109 → 133	P _{bld} *1/ T _{bl.d.}
219	109БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	3	4	2	5	3	5	1	2	2	0	134	109 → 134	(1- P _{bld})*1/ T _{bl.d.}
...															
266	133БП18	P _{bc}	3	4	2	5	3	1	3	1	2	0	157	133 → 157	P _{bc} *1/ T _{b.c.}
267	133БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	3	4	2	5	3	5	4	1	2	0	158	133 → 158	(1- P _{bc})*1/ T _{b.c.}
...															
314	157БП20	P _{blc}	3	4	2	5	3	1	3	3	2	0	181	157 → 181	P _{blc} *1/ t _{bl.c.}
315	157БП20 (ЗБП21)	1- P _{blc}	3	4	2	5	3	5	3	4	2	0	182	157 → 182	(1- P _{blc})*1/ T _{bl.c.}
...															
362	181БП22	P _{bv}	3	4	2	5	3	1	5	3	2	0	205	181 → 205	P _{bv} *1/ T _{b.v.}
363	181БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	3	4	2	5	3	5	6	3	2	0	206	181 → 206	(1- P _{bv})*1/ T _{b.v.}
...															
410	205БП24	P _{blv}	3	4	2	5	3	1	5	5	2	0	229	205 → 229	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
411	205БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	3	4	2	5	3	5	5	6	2	0	230	205 → 230	(1- P _{blv})*1/ T _{bl.v.}
...															
462	229БП26	P _{bs}	3	4	2	5	3	1	7	5	2	0	251	229 → 251	P _{bs} *1/ T _{b.s.}
463	229БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	3	4	2	5	3	5	8	5	2	0	252	229 → 252	(1- P _{bs})*1/ T _{b.s.}
...															
516	251БП28	P _{bls}	3	4	2	5	3	1	7	7	2	0	270	251 → 270	P _{bls} *1/ T _{bl.s.}
517	251БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	3	4	2	5	3	5	7	8	2	0	271	251 → 271	(1- P _{bls})*1/ T _{bl.s.}
518	252БП30	P _{rs}	3	4	2	5	3	1	7	5	2	0	251	252 → 251	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
519		1- P _{rs}	3	4	2	5	3	4	8	5	2	0	KB	252 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
...															
558	270БП31 (ЗБП32, ЗБП33, ЗБП34)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	3	4	2	5	3	1	9	9	2	1	290	270 → 290	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/ T _{t.in}
559		1- P _{in}	3	4	2	5	3	2	10	9	2	1	KB	270 → KB8	(1- P _{in})*1/T _{in}
560		P _{in} (1- P _{bl})	3	4	2	5	3	2	9	10	2	1	KB	270 → KB8	P _{in} (1- P _{bl})*1/ T _{in}
561		P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})	3	4	2	5	3	2	9	9	2	2	KB	270 → KB	P _{in} P _{bl} (1- P _{r.c.})*1/T _{in}
...															
582	290БП35	P _{dt}	3	5	2	5	3	1	9	9	2	1	309	290 → 309	P _{dt} *1/ T _{d.t.}
583		1 - P _{dt}	3	6	2	5	3	1	9	9	2	1	310	290 → 310	(1-P _{dt})*1/T _{dt.}
...															
593	310БП36	P _{su}	3	6	2	5	3	0	9	9	2	1	320	310 → 320	P _{su} *1/T _{p.d.}

В розробленій моделі після всіх БП існує альтернативне продовження процедур, для яких вказана умова виконання.

3.1.5. Розроблення структурно-автоматної моделі на основі опорного графу станів функціональної поведінки медичного пристрою

Визначення компонент САМ на основі опорного графа станів. Для складання формалізованого опису всіх ситуацій, в яких може відбуватися кожна БП, необхідно їх виявити. Для виявлення ситуацій із таблиці 3.5 і Додатка Д вибираються всі стани, появляються після БП1 з урахуванням всіх альтернативних продовжень процедури і вибираються стани, що їм передують. Саме ці попередні стани забезпечують складання формалізованого опису всіх ситуацій, в яких відбувається БП1. Такі дії виконуються для всіх наступних БП. Для компактного представлення САМ необхідно здійснити об'єднання ситуацій і компонент, яке виконується за двома наступними правилами [7]:

Правило 1. Якщо для різних ситуацій ФРП і ПМКВС є однаковими, то такі ситуації в САМ можна об'єднати. Для цього треба модифікувати формалізований опис ситуації, а саме компоненти вектора стану, які мають різні значення записуються через оператор OR. Якщо виконується переведення САМ від конкретного значення параметра до його символічного позначення, то об'єднання ситуацій необхідно проводити після завершення цієї процедури.

Правило 2. Якщо в одній ситуації є однаковими ПМКВС для різних альтернатив, то компоненти САМ для такої ситуації слід об'єднати. Для цього ФРП необхідно представити сумою двох формул.

Визначення компонент САМ для базових події БП1 (і зведеною з нею базової подія ЗБП2), БП3 і БП4 наведено у таблицях 3.6-3.8 відповідно. Повне перелік визначених компонент наведено у Додатку Е. Це визначення здійснюється на основі графа станів, представленого в таблиці 3.5 та Додатку Д.

Визначення компонентів структурно-автоматної моделі для БП1 на основі таблиці 3.6. Базова подія 1 відбувається в одній ситуації.

Таблиця 3.6 – Сортуння станів по базовій події БП1

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
1	Початковий стан	--	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	--	--
2	1БП1	P_{sst}	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	$1 \rightarrow 2$	$P_{sst} * 1/T_{s.t.}$
3	1БП1 (ЗБП2)	$1 - P_{sst}$	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	$1 \rightarrow 3$	$(1 - P_{sst}) * 1/T_{s.t.}$

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 1): ($V1=0$) AND ($V2=0$) AND ($V3=0$) AND ($V4=0$) AND ($V5=0$) AND ($V6=1$) AND ($V7=0$) AND ($V8=0$) AND ($V9=0$) AND ($V10=0$).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{sst} * 1/t_{s.t.}$; ПМКВС: $V1:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1 - P_{sst}) * 1/t_{s.t.}$; ПМКВС: $V1:=2$; $V6:=3$.

Визначення компонентів структурно-автоматної моделі для БП3 таблиці 3.7. Базова подія 3 відбувається в одній ситуації.

Таблиця 3.7 – Сортуння станів по базовій події БП3

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
3	1БП1 (ЗБП2)	$1 - P_{sst}$	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	$1 \rightarrow 3$	$(1 - P_{sst}) * 1/T_{p.d.}$
6	ЗБП3	P_{sst}	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	$3 \rightarrow 6$	$P_{sst} * 1/T_{s.t.}$
7		$1 - P_{sst}$	4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	KB1	$3 \rightarrow KB1$	$(1 - P_{sst}) * 1/T_{s.t.}$

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 3): ($V1=2$) AND ($V2=0$) AND ($V3=0$) AND ($V4=0$) AND ($V5=0$) AND ($V6=3$) AND ($V7=0$) AND ($V8=0$) AND ($V9=0$) AND ($V10=0$).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{sst} * 1/t_{s.t.}$; ПМКВС: $V1:=3$; $V6:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1 - P_{sst}) * 1/t_{s.t.}$; ПМКВС: $V1:=4$; $V6:=2$.

Визначення компонентів структурно-автоматної моделі для БП4 таблиці 3.8. Базова подія 4 відбувається в двох ситуаціях.

Таблиця 3.8 – Сортуння станів по базовій події БП4

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
Ситуація 1															
2	1БП1	P _{sst}	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	1 → 2	P _{sst} *1/t _{s.t.}
4	2БП4	P _{ao}	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	4	2 → 4	P _{ao} *1/t _{b.a.}
5		1 -P _{ao}	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	5	2 → 5	(1-P _{ao})*1/t _{b.a.}
Ситуація 2															
6	3БП3	P _{sst}	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	3 → 6	P _{sst} *1/t _{s.t.}
12	6БП4	P _{ao}	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	11	6 → 11	P _{ao} *1/t _{b.a.}
13		1 -P _{ao}	3	0	2	0	0	1	0	0	0	0	12	6 → 12	(1-P _{ao})*1/t _{b.a.}

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 2): $(V1=1)$ AND $(V2=0)$ AND $(V3=0)$ AND $(V4=0)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=0)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{ao} * 1/t_{b.a.}$; ПМКВС: $V3:=1$;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1 - P_{ao}) * 1/t_{b.a.}$; ПМКВС: $V3:=2$.

СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 6): $(V1=3)$ AND $(V2=0)$ AND $(V3=0)$ AND $(V4=0)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=0)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{ao} * 1/t_{b.a.}$; ПМКВС: $V3:=1$;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1 - P_{ao}) * 1/t_{b.a.}$; ПМКВС: $V3:=2$.

Фрагмент результатів розроблення САМ у вигляді опорного графу станів зведені в таблиці 3.9 (повний опорний граф представлено у Додатку Ж).

Таблиця 3.9 – Фрагмент структурно-автоматної моделі у вигляді опорного графа станів моделі функціональної поведінки медичного пристрою

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРІП	ПМКВС
БП1 ЗБП2	1) $(V1=0)$ AND $(V2=0)$ AND $(V3=0)$ AND $(V4=0)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=0)$ AND $(V10=0)$	$P_{sst} * 1/t_{s.t.}$	$V1:=1$
		$(1 - P_{sst}) * 1/t_{s.t.}$	$V1:=2$; $V6:=0$
БП3	1) $(V1=2)$ AND $(V2=0)$ AND $(V3=0)$ AND $(V4=0)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=0)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=0)$ AND $(V10=0)$	$P_{sst} * 1/T_{s.t.}$	$V1:=3$; $V6:=1$

Продовження таблиці 3.9

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРІП	ПМКВС
		$(1-P_{sst}) * 1/T_{s.t.}$	V1:=4; V6:=2
БП4	1) (V1=1) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{ao} * 1/T_{b.a}$	V3:=1
		$(1-P_{ao}) * 1/T_{b.a}$	V3:=2
	2) (V1=3) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{ao} * 1/T_{b.a}$	V3:=1
		$(1-P_{ao}) * 1/T_{b.a}$	V3:=2
БП5	1) (V1=1) AND (V2=0) AND (V3=1) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{dt} * 1/T_{d.t.}$	V2:=1
		$(1-P_{dt}) * 1/T_{d.t.}$	V2:=2; V9:=2
	2) (V1=1) AND (V2=0) AND (V3=2) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{dt} * 1/T_{d.t.}$	V2:=1
		$(1-P_{dt}) * 1/T_{d.t.}$	V2:=2; V9:=2
	3) (V1=3) AND (V2=0) AND (V3=1) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{dt} * 1/T_{d.t.}$	V2:=1
		$(1-P_{dt}) * 1/T_{d.t.}$	V2:=2; V9:=2
	4) (V1=3) AND (V2=0) AND (V3=2) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{dt} * 1/T_{d.t.}$	V2:=1
		$(1-P_{dt}) * 1/T_{d.t.}$	V2:=2; V9:=2
...			

Програмний засіб ASNA за розробленою моделлю дає змогу виконувати побудову графа станів і переходів. Формалізоване представлення об'єкта дослідження у формі САМ, яка введена у програмний засіб ASNA, представлено на рис. 3.2-3.4.

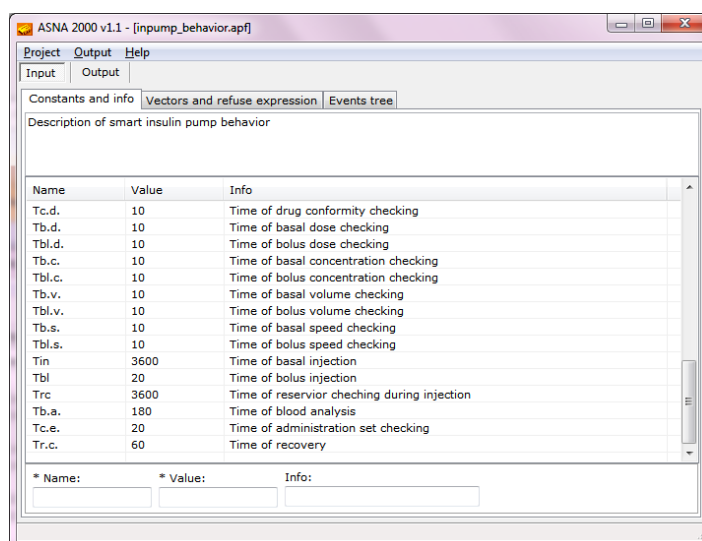


Рисунок 3.2 – Введений перелік показників функціональності та функціональної поведінки інсулінової помпи, представлених в її моделі до програмного засобу ASNA

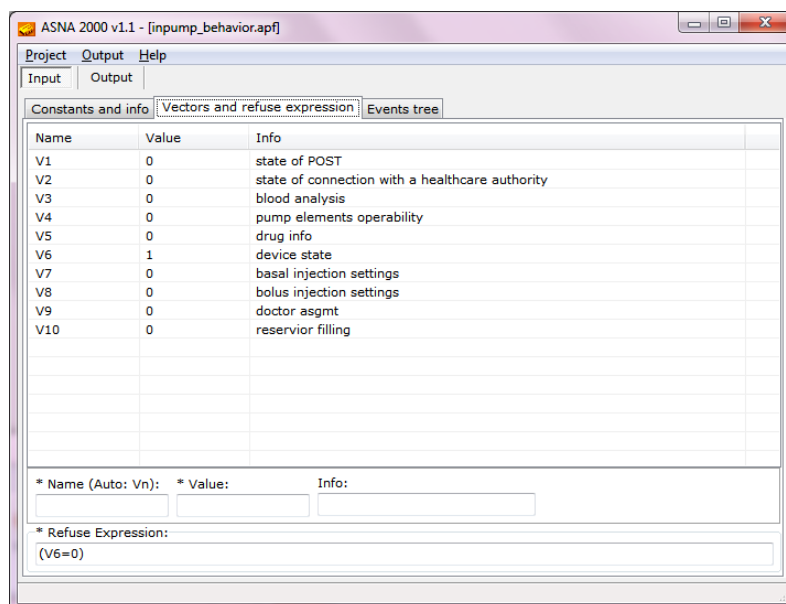


Рисунок 3.3 – Введені початкові значення компонент вектора станів і умова успішного виконання завдання до програмного засобу ASNA

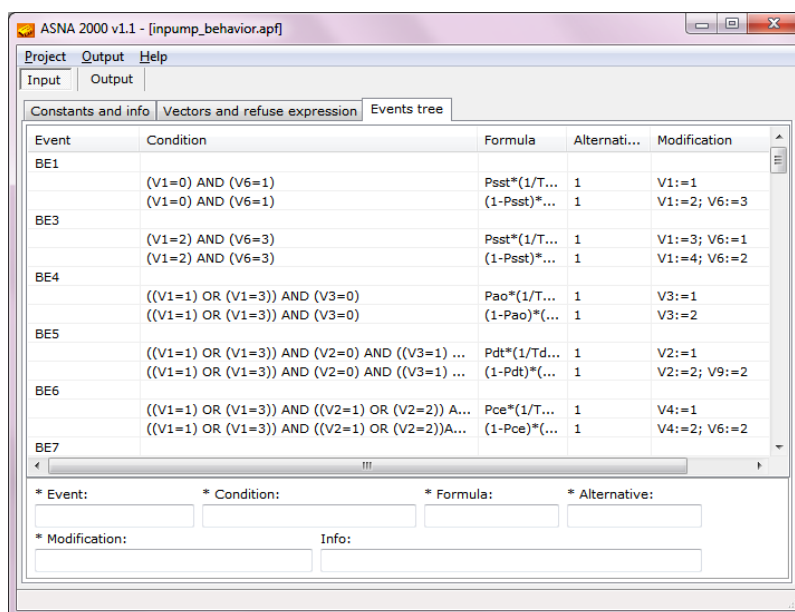


Рисунок 3.4 – Введена структурно-автоматна модель функціональної поведінки інсулінової помпи до програмного засобу ASNA

Після побудови САМ об'єкта дослідження її необхідно верифікувати для того, щоб впевнитися, що розроблена САМ, що була введена в програмний засіб ASNA, буде правильно граф станів і переходів. В даному дослідженні верифікація САМ проводилася поступовою перевіркою кожного запису дерева подій, правил модифікацій і формул кожної гілки альтернативи. Для цього використовувався підхід ізоляції окремих гілок алгоритму поведінки об'єкта дослідження шляхом введення значень ймовірностей 1 або 0 в альтернативні події.

Дискретно-неперервна стохастична модель функціональної поведінки інсулінової помпи представлена у вигляді графа станів та переходів і має такі параметри: 209 станів та 553 переходи для системи без відновлень і 466 станів та 872 переходи для системи з відновленням. Дискретно-неперервна стохастична модель функціональної поведінки інсулінової помпи, що функціонує в середовищі IoT у вигляді системи лінійних однорідних диференціальних рівнянь першого порядку (3.1):

$$\begin{aligned}
 dP_1/dt &= -(\lambda_1 + \lambda_{22})P_1(t); \\
 dP_2/dt &= \lambda_{22}P_1(t) - 2\lambda_2P_2(t); \\
 dP_3/dt &= \lambda_{22}P_1(t) - (\lambda_{22} + \lambda_2)P_3(t) \\
 &\dots \\
 dP_{174}/dt &= \lambda_{12}P_{138}(t) - (\lambda_{22} + \lambda_{18})P_{174}(t); \\
 &\dots \\
 dP_{211}/dt &= \lambda_{18}P_{223}(t) + \lambda_{13}P_{187}(t) - 2\lambda_{14}P_{211}(t); \\
 &\dots \\
 dP_{348}/dt &= \lambda_{22}P_{204}(t); \\
 &\dots \\
 dP_{466}/dt &= \lambda_{22} \sum_{i=450}^{465} P_i(t),
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

де $P_j, j = \overline{1, 466}$ ймовірність успішного виконання процедури, $\lambda_k, k = \overline{1, 22}$ це зворотне значення до середнього значення тривалості виконання процедури (Таблиця 3.2). Початковою умовою є $P_1(t=0) = 1$ і в будь-який час $P_1(t) + P_2(t) + \dots + P_{466}(t) = 1$.

У програмному засобі ASNA відбувається розв'язання системи лінійних однорідних диференціальних рівнянь, яке подається у вигляді ймовірностей перебування у станах.

Якщо за отриманим графом станів і переходів скласти систему лінійних однорідних диференціальних рівнянь, то достовірність результатів значень показників ефективності (успішного виконання завдання) будуть мати низьку достовірність, так як для тривалостей процедур буде використано експоненціальний закон розподілу. Для підвищення достовірності результатів необхідно використовувати закон розподілу Ерланга.

3.1.6. Валідація розробленої структурно-автоматної моделі функціональної поведінки медичного пристрою

Завдання валідації моделі полягає в тому, щоб перевірити відповідність якісного представлення про характер зміни значень показника ефективності, яке є у розробника моделі, з залежностями, отриманими за допомогою розробленої моделі. Розроблено дві моделі: в першій моделі не врахована процедура відновлення працездатності пристрою, а в другій – врахована.

Завдання дослідження 1. Необхідно перевірити:

1.1. Чи правильно показує перша модель зміну залежностей ймовірності невиконання завдання від тривалості спостереження при зміні значень ймовірностей успішного виконання всіх процедур?

1.2. Чи правильно показує друга модель зміну залежностей ймовірності невиконання завдання від тривалості спостереження при зміні значень ймовірностей успішного виконання всіх процедур?

1.3. чи правильно співвідносяться залежності, отримані за допомогою обох моделей?

Розрахунки виконано для наступних значень показників: ймовірності успішного виконання процедур приймають такі значення: 0,99999; 0,95; 0,9.

Очікуваний результат. Для досліджень 1.1. і 1.2 при зменшенні значення ймовірностей успішного виконання процедур ймовірність невиконання завдання має зростати. Для дослідження 1.3 залежності ймовірності невиконання завдання для моделі 2 мають бути нижче від залежностей ймовірності невиконання завдання для моделі 1.

Отримані за допомогою моделей 1 і 2 результати наведені на рис. 3.5. Проведеним дослідженням за завданнями 1.1, 1.2 відповідають криві 1, 3, 5 та 2, 4, 6 відповідно.

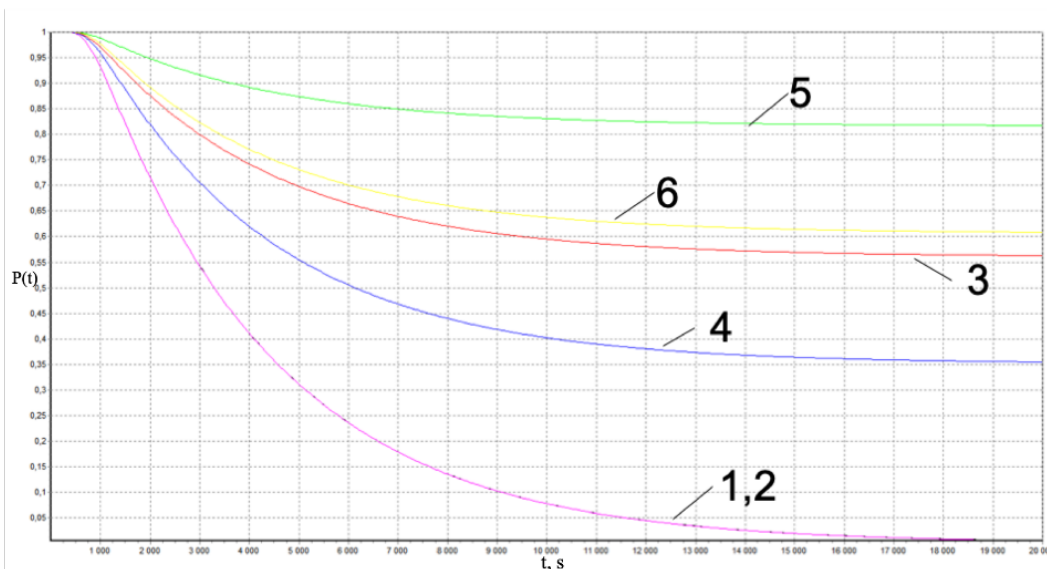


Рисунок 3.4 – Результати валідації моделей, де криві 1 і 2 для $P_{в.з} = 0,99999$, криві 3 і 4 для $P_{в.з} = 0,95$ і криві 5, 6 для $P_{в.з} = 0,9$

Дослідження за завданням 1.3 представлені кривими 1 і 2 для $P_{в.з} = 0,99999$, кривими 3 і 4 для $P_{в.з} = 0,95$ і кривими 5, 6 для $P_{в.з} = 0,9$.

Висновки за результатами дослідження 1. Отримані результати досліджень згідно завдань 1.1, 1.2 та 1.3 співпадають з очікуваними.

Завдання дослідження 2. Необхідно перевірити чи відповідає характер залежності ймовірності невиконання завдання на інтервалі часу від нуля до закінчення її спадання.

Очікуваний результат. Залежність розпочинається із значення ймовірності невиконання завдання рівної одиниці. Це значення повинно утримуватися деякий час. Цей час визначає сумарна тривалість виконання всіх процедур, що відповідає умові, при якій завдання може бути виконано. Приймаємо до уваги, що тривалості всіх процедур є фіксованими, а випадковий характер процесу визначають ймовірності успішного виконання завдання кожної із процедур. Оскільки в розробленій моделі прийнято, що тривалості процедур є випадковими величинами з експоненційним законом розподілу, середнє значення якого дорівнює тривалості процедури, важливо щоб характер залежності був близьким до реального. Тобто спадання залежності має розпочинатися після досягнення часу спостереження сумарній тривалості виконання всіх процедур.

Отримані за допомогою моделей 1 і 2 результати наведені на рис. 3.5.

Тривалість успішного виконання всіх процедур становить 4200 с. Спадання залежності не виконання залежності починається з 500 с.

Висновки за результатами дослідження 2. Характер залежності на означеному вище інтервалі часу не відповідає очікуваному. Тому пропонується виконати удосконалення дискретно-неперервної стохастичної моделі, з метою заміни експоненційного закону розподілу законом розподілу Ерланга. Це удосконалення реалізується модифікацією структурно-автоматної моделі. Методика модифікації представлена в статті [8]. По характеру залежності ймовірності виконання завдання можна вибирати порядок закону розподілу Ерланга. Чим вищий порядок закону Ерланга, тим меншою є дисперсія інтервалів часу і тим вищою буде достовірність результату.

3.1.7. Модифікація моделі функціональної поведінки медичного пристрою для використання закону розподілу Ерланга

В об'єкті дослідження є декілька процедур, тривалість яких необхідно представити законом Ерланга необхідного порядку. Для цього необхідно для певної процедури сформуванню ланцюжок фіктивних станів, які відрізняються кількістю фіктивних станів і формулами для визначення інтенсивностей переходів із стану в стан.

Для кожного альтернативного продовження процесу формується свій ланцюжок фіктивних станів, незважаючи на те, що ці ланцюжки мають бути абсолютно однаковими. Для формування кожного ланцюжка у вектор стану вводиться своя компонента, яка має назву «Поточне значення фіктивного переходу в ланцюжку першої (другої, третьої, і т.д.) альтернативи». Початкове значення для кожної компоненти дорівнює нулю.

Кількість додаткових компонент вектора стану визначається кількістю альтернативних продовжень процесу, які виникають на момент закінчення виконання кожного окремого завдання. Тривалість виконання кожного окремого завдання необхідно представити законом розподілу Ерланга відповідного порядку.

Через те, що кожне окреме завдання має альтернативні продовження, до моделі додані дві додаткові компоненти в вектор стану $V11$ і $V12$, які необхідні для відображення поточного значення фіктивного переходу для кожного ланцюжку в процедурі.

Початковими значеннями є $V11=0$ і $V12=0$, що означає, що об'єкт дослідження у моделі представлений реальним станом. Поточне значення компоненти змінюється в межах від 1 до E , де E – це порядок закону розподілу для процедури, тобто кількість фіктивних станів в ланцюжку.

Відповідно до визначених процедур необхідно визначити компоненти САМ, які необхідно змінити. Кожній процедурі відповідає певна одна або декілька базових подій і ситуацій, в якій вона відбувається. Заміна експоненційного закону розподілу законом розподілу Ерланга проведена для представлення тривалостей процедур 1, 3, 4, 5, 8 (таблиця 3.1).

Внесення змін до САМ відбувається наступним чином. Логічний вираз кожної альтернативи, де відбувається певна базова подія, доповнюється додатковими трьома логічними виразами, які і формують фіктивні стани.

Логічний вираз 1. Даний вираз необхідний для розпізнання актуального стану і ініціації формування ланцюжка фіктивних станів. Модифікація даного виразу відбувається наступним чином. Вносяться складові ($E>1$) для розпізнавання, що порядок закону розподілу Ерланга більше 1 (не використовується експоненційний закон); для першої і другої альтернатив логічні вирази мають такий вигляд: ($V11=0$) AND ($V12=0$). Формула розрахунку інтенсивності переходу доповнюється співмножником E для незмінності середнього значення тривалості процедури при зміні порядку закону розподілу Ерланга E . Правила модифікації компонент вектора стану (RCMSV) для першої і другої альтернативи мають бути такими: $V11:=1$ і $V12:=1$.

Логічний вираз 2. Даний вираз необхідний для ініціації формування наступних фіктивних станів ланцюжка (крім останнього). Модифікація даного виразу відбувається наступним чином. Вносяться складові ($E>1$) для розпізнавання, що порядок закону розподілу Ерланга більше 1 (не використовується експоненційний

закон); для першої і другої альтернатив логічні вирази мають такий вигляд: $((V11 > 0) \text{ AND } (V11 < (E-1))) \text{ AND } (V12 = 0)$ і $(V11 = 0) \text{ AND } ((V12 > 0) \text{ AND } (V12 < (E-1)))$. Формула розрахунку формується аналогічно, як для першого виразу. Правила модифікації компоненти вектора стану для першої і другої альтернативи мають бути такими: $V11 := V11 + 1$ і $V12 := V12 + 1$.

Логічний вираз 3. Даний вираз необхідний для ініціації формування останніх станів ланцюжка фіктивних станів, тобто перехід у відповідний реальний стан. Модифікація даного виразу відбувається наступним чином. Вносяться складові $(E > 1)$ для розпізнавання, що порядок закону розподілу Ерланга більше 1 (не використовується експоненційний закон); для першої і другої альтернатив логічні вирази мають такий вигляд: $(V11 = (E-1)) \text{ AND } (V12 = 0)$ і $(V11 = 0) \text{ AND } (V12 = (E-1))$. Формула розрахунку формується аналогічно, як для першого і другого виразів. Правила модифікації компонента вектора стану для першої і другої альтернативи мають бути такими: $V11 := 0$ і $V12 := 0$, що формування ланцюжка завершено і сформовано новий реальний стан об'єкта моделювання.

У таблиці 3.10 в першому і другому рядку представленні логічні вирази, які розпізнають стан (ситуацію) в якому відбувається базова подія БП1. Два логічні вирази показують, що після завершення першої процедури (базова подія БП1) існує є два альтернативних продовження процесу функціонування інвазійної помпи. При цьому тривалість процедури, яка закінчується базовою подією БП1, є випадковою величиною з експоненційним законом розподілу. Якщо цю випадкову величину треба представити законом розподілу Ерланга, то стан в якому відбувається ця процедура треба замінити двома ланцюжками фіктивних станів.

У таблиці 3.10 компоненти САМ в третьому, четвертому і п'ятому рядках замінюють компоненти САМ першого рядка, а компоненти САМ в шостому, сьомому і восьмому рядках замінюють компоненти САМ другого рядка.

Логічні вирази третього і шостого рядків розпізнають (представляють) перший фіктивний стан. Він є спільним для обох (двох) ланцюжків. Тому логічні вирази його представлення є однаковими. У формулах визначення інтенсивностей переходу в наступний фіктивний стани, як співмножник додаються параметри $E1$ і

Е2. В правилах модифікації задаємо (встановлюємо, фіксуємо) перший фіктивний перехід в обох ланцюжках ($V11:=1$ і $V12:=1$).

Логічні вирази четвертого і шостого рядків розпізнають (представляють) наступні фіктивні стани для обох (двох) ланцюжків. Крім останнього.

Логічні вирази п'ятого і сьомого рядків розпізнають (представляють) останні фіктивні стани обох ланцюжків, з яких здійснюється останній перехід в ланцюжку фіктивних станів. Цей перехід здійснюється в реальні стани, які представляють успішне або неуспішне завершення процедури 1 (базова подія БП1). В цих станах значення компонент вектора $V11$ і $V12$ обнуляються ($V11:=0$ і $V12:=0$).

Фрагмент результатів внесення змін до САМ представлено у таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Фрагмент САМ для моделі функціональної поведінки, використовуючи Ерлангівський закон розподілу для тривалостей виконання процедур

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються базові події	ФРІП	ПМКВС
БП1	$(E=1) \text{ AND } (V1=0)$	$P_{sst} * (1/T_{s.t.})$	$V1:=1$
	$(E=1) \text{ AND } (V1=0)$	$(1-P_{sst}) * (1/T_{s.t.})$	$V1:=2; V6:=3$
	$(E>1) \text{ AND } (V1=0) \text{ AND } (V11=0) \text{ AND } (V12=0)$	$E * P_{sst} * (1/T_{s.t.})$	$V11:=1$
	$(E>1) \text{ AND } (V1=0) \text{ AND } ((V11>0) \text{ AND } (V11<(E-1))) \text{ AND } (V12=0)$	$E * P_{sst} * (1/T_{s.t.})$	$V11:=V11+1$
	$(E>1) \text{ AND } (V1=0) \text{ AND } (V11=(E-1)) \text{ AND } (V12=0)$	$E * P_{sst} * (1/T_{s.t.})$	$V1:=1; V11:=0$
	$(E>1) \text{ AND } (V1=0) \text{ AND } (V11=0) \text{ AND } (V12=0)$	$E * (1-P_{sst}) * (1/T_{s.t.})$	$V12:=1$
	$(E>1) \text{ AND } (V1=0) \text{ AND } (V11=0) \text{ AND } ((V12>0) \text{ AND } (V12<(E-1)))$	$E * (1-P_{sst}) * (1/T_{s.t.})$	$V12:=V12+1$
	$(E>1) \text{ AND } (V1=0) \text{ AND } (V11=0) \text{ AND } (V12=(E-1))$	$E * (1-P_{sst}) * (1/T_{s.t.})$	$V1:=2; V6:=3; V12:=0$
БП3	$(E=1) \text{ AND } (V1=2) \text{ AND } (V6=3)$	$P_{sst} * (1/T_{s.t.})$	$V1:=3; V6:=1$
	$(E=1) \text{ AND } (V1=2) \text{ AND } (V6=3)$	$(1-P_{sst}) * (1/T_{s.t.})$	$V1:=4; V6:=2$
	$(E>1) \text{ AND } (V1=2) \text{ AND } (V6=3) \text{ AND } (V11=0) \text{ AND } (V12=0)$	$E * P_{sst} * (1/T_{s.t.})$	$V11:=1$
	$(E>1) \text{ AND } (V1=2) \text{ AND } (V6=3) \text{ AND } ((V11>0) \text{ AND } (V11<(E-1))) \text{ AND } (V12=0)$	$E * P_{sst} * (1/T_{s.t.})$	$V11:=V11+1$
	$(E>1) \text{ AND } (V1=2) \text{ AND } (V6=3) \text{ AND } (V11=(E-1)) \text{ AND } (V12=0)$	$E * P_{sst} * (1/T_{s.t.})$	$V1:=3; V6:=1; V11:=0$
	$(E>1) \text{ AND } (V1=2) \text{ AND } (V6=3) \text{ AND } (V11=0) \text{ AND } (V12=0)$	$E * (1-P_{sst}) * (1/T_{s.t.})$	$V12:=1$
	$(E>1) \text{ AND } (V1=2) \text{ AND } (V6=3) \text{ AND } (V11=0) \text{ AND } ((V12>0) \text{ AND } (V12<(E-1)))$	$E * (1-P_{sst}) * (1/T_{s.t.})$	$V12:=V12+1$
	$(E>1) \text{ AND } (V1=2) \text{ AND } (V6=3) \text{ AND } (V11=0) \text{ AND } (V12=(E-1))$	$E * (1-P_{sst}) * (1/T_{s.t.})$	$V1:=4; V6:=2; V12:=0$
...			

За результатами внесених змін, САМ вводиться до програмного засобу ASNA, який формує граф станів і переходів. Для того, щоб впевнитися, що модифікована

САМ побудована вірно, її необхідно також верифікувати. У таблиці 3.11 представлені розмірності моделі у вигляді графа станів та переходів для різних значень порядку закону розподілу Ерланга.

Таблиця 3.11 – Розмірності моделі у вигляді графа станів та переходів для різних значень порядку закону розподілу Ерланга

Порядок закону розподілу Ерланга, Е	Кількість станів графа	Кількість переходів
1	466	872
2	498	936
5	562	1064
10	682	1304

Отримані дані у таблиці 3.11 доцільно використовувати для перевірки моделей, перед їх використанням.

Валідація модифікованої моделі. Розроблено дві моделі: в першій моделі є припущення про експоненційний закон розподілу, а в другій – закон Ерланга заданого порядку.

Завдання дослідження 3. Необхідно визначити, яким є граничне значення ймовірності виконання завдання для моделі з експоненційним законом розподілу – верхнім чи нижнім.

Розрахунки виконано для наступних значень показників. Ймовірності успішного виконання процедур приймають таке значення 0,95; порядки закону розподілу Ерланга Е – 1 (експоненційний закон); 2; 5; 10.

Очікуваний результат. Для дослідження граничне значення невиконання завдання при експоненційному законі розподілу є нижнім.

Отримані за допомогою моделей результати. Результати дослідження 3 для різних значень порядків закону Ерланга представлені на рис. 3.5.

Висновки за результатами дослідження 3. Отримані результати досліджень 3 співпадають з очікуваними.

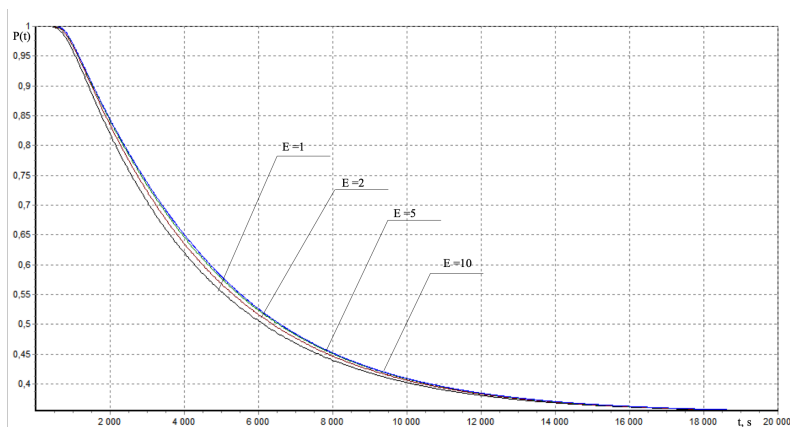


Рисунок 3.5 – Результати валідації моделі для дослідження 3

Завдання дослідження 4. Необхідно перевірити, чи показує модель характерну різницю між залежностями ймовірності невиконання завдання від інтервалу спостереження при використанні експоненційного закону розподілу і закону розподілу Ерланга 2-го, 5-го і 10-го порядків для тривалостей виконання процедур.

Розрахунки виконано для наступних значень показників. Ймовірності успішного виконання процедур приймають таке значення 0,95; порядки закону розподілу Ерланга $E - 1$ (експоненційний закон); 2; 5; 10.

Очікуваний результат. Для дослідження 4, чим вище порядок закону, тим пізніше починається падіння характеристики виконання завдання.

Отримані за допомогою моделей результати. Результати дослідження 4 наведені на рис. 3.6.

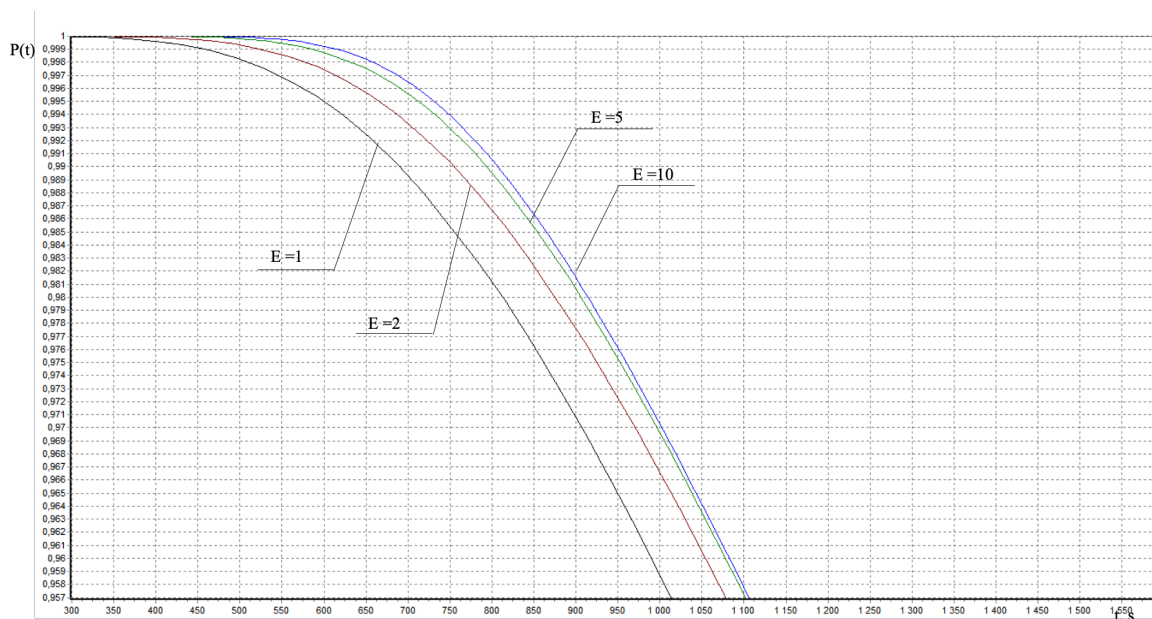


Рисунок 3.6 – Результати валідації моделі для дослідження 4

Висновки за результатами дослідження 4. Аналіз результатів показав, що різниця між значеннями ймовірностей невиконання завдання на заданому інтервалі спостереження, визначених з використанням закону Ерланга і експоненційного закону розподілу, зростає з збільшенням порядку закону Ерланга.

3.2. Метод забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей

3.2.1. Теоретико-ігровий підхід для забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей

Застосування ігрових методів дозволяє забезпечити оптимізацію вибору засобів захисту інформаційних систем. Математичну модель можливо представити теоретико-ігровим підходом для забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей, якщо:

- в моделі наявно декілька учасників;
- поведінка учасників невизначена, бо у кожного з них є декілька варіантів дій;
- інтереси учасників відмінні (розбіжні);
- поведінка учасників взаємопов'язана, оскільки результат, одержуваний кожним з них, залежить від поведінки всіх учасників;
- наявні правил поведінки, відомі всім учасникам.

Метою застосування теоретико-ігрового підходу є методи для визначення оптимальної стратегії кожного гравця.

В даній дисертаційній роботі метод, що базується на теоретико-ігровому підході, представляє з себе дискретну з повною інформацією матричну гру з природою з прийняттям рішень в умовах ризику. В якості природи виступає зловмисник, який проводить кібератаку на медичну систему на основі Інтернету речей, а іншим гравцем є адміністратор безпеки даної системи. Атакуючий має на меті завдати якомога більшої шкоди медичній IoT системі. Мета адміністратора безпеки в грі полягає в тому, щоб дозволити атакуючому заподіяти найменший

збиток при найменших витратах на засоби захисту. Взаємозв'язок між гравцями визначається платіжною матрицею (таблиця 3.12).

Таблиця 3.12 – Платіжна матриця гри

		y_1	y_2	...	y_m
x_1	$p(x_1)$	a_{11}	a_{12}	...	a_{1m}
x_2	$p(x_2)$	a_{21}	a_{22}	...	a_{2m}
...	...	...	...	...	...
x_n	$p(x_n)$	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nm}

Відповідно до таблиці 3.12, стратегія зловмисника (різні види атак на медичну IoT систему) – це рядки $x_i = (i = \overline{1, n})$, де n – це кількість кібератак на медичну IoT систему, а стратегія адміністратора безпеки (засоби захисту медичної системи) стовпці – це $y_j = (j = \overline{1, m})$, де m – кількість засобів захисту. Результатом гри є показник a_{ij} , наприклад, втрати для всіх варіантів комбінацій $x_i = (i = \overline{1, n})$ і $y_j = (j = \overline{1, m})$. Умовою ефективного забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей є правило: вартість засобів захисту повинна бути менше вартості втрат, понесених при успішній реалізації атаки.

Відповідно до [9] коефіцієнтом ефективного захисту буде:

$$\gamma_{ij} = \frac{S_j}{(1 - p_{ij}^{(p)}) \cdot p_{ij}^{(a)} \cdot D}, \quad i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, \quad (3.2)$$

де $S_j(j = \overline{1, m})$ – вартість застосовуваного засобу захисту; $p_{ij}^{(d)}$ – ймовірність нанесення збитку при атаці x_i при використанні засобу захисту y_j у медичній IoT системі, $p_{ij}^{(d)} = (1 - p_{ij}^{(p)})p_{ij}^{(a)}$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, де $p_{ij}^{(p)}$ – ймовірність захисту від кібератаки, $p_{ij}^{(a)}$ – ймовірність проведення атаки; D – величина можливого збитку медичній IoT системі.

Умова ефективного забезпечення кібербезпеки медичних систем – це співвідношення $\gamma_{ij} \leq 1$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$.

Для вибору оптимальної стратегії застосовуються кілька критеріїв:

- критерій Вальда (максимінний) – обирається стратегія з максимальною вигодою при найгіршому результаті (песимістичний підхід);
- критерій максимуму (максимаксний) – обирається стратегія з самим успішним результатом (оптимістичний підхід);

- критерій Гурвіца – обирається стратегія, яка враховує можливість як найгіршого, так і найкращого результату;

- критерій Севіджа (мінімаксний) – обирається стратегія, яка не допускає занадто високих втрат. Для цього використовується матриця ризиків, в якій обчислюється максимальний прибуток при кожному варіанті дії гравця, і серед результатів обирається найменший;

- критерій Байеса – всім стратегіям, що розглядається, присвоюється рівна ймовірність і обирається та, при якій очікуваний виграш виявиться найбільшим.

Умову ефективного забезпечення кібербезпеки необхідно використовувати з критерієм Вальда [10]. Тобто матриця гри доповнюється рядком, кожен елемент якої є мінімальним значення виграшу у відповідній стратегії. Оптимальною за даним критерієм вважається та стратегія, при виборі якої мінімальне значення виграшу максимально. Обрана таким чином стратегія повністю виключає ризик. Це означає, що приймаючий рішення не може зіткнутися з гіршим результатом, ніж той, на який він орієнтується.

3.2.2. Розроблення методу забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей

Метод забезпечення кібербезпеки медичних систем призначений для оцінки витрат кожного рішення щодо захисту медичних IoT систем та обрати найбільш ефективні варіанти забезпечення кібербезпеки (оптимальний набір засобів захисту) для всього діапазону можливих кібератак.

Вхідними даними є відомості про медичні IoT системи, можливі кібератаки на такого роду системи і можливі засоби захисту, а вихідним результатом – значення коефіцієнту ефективного захисту, а також обрана множина засобів захисту.

Метод забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей складається з наступних процедур:

- визначення стратегій зломисника;
- визначення стратегій захисту медичної системи;

- визначення вартості стратегій захисту медичної системи;
- отримання ймовірностей кібератак;
- визначення ймовірностей відбиття атак;
- визначення величини збитку;
- складання платіжної матриці;
- визначення коефіцієнту ефективного захисту;
- вибір оптимального засобу захисту медичної системи.

Алгоритм методу забезпечення кібербезпеки медичних IoT систем показаний на рис. 3.7 і містить 10 етапів, наведених блоками 1-10.

Етап 1. Процедура визначення стратегій зловмисника. Дана процедура полягає в збиранні інформації про можливі існуючі кібератаки на медичні IoT системи $x_i=(i=\overline{1,n})$, їх класифікацію та представлення у вербальному вигляді.

Етап 2. Процедура визначення стратегій захисту медичної системи. Дана процедура полягає в збиранні інформації про можливі існуючі засоби захисту медичних IoT систем від кібератак $y_j=(j=\overline{1,m})$, їх класифікацію та представлення у вербальному вигляді.

Етап 3. Процедура визначення вартості стратегій захисту медичної системи. Дана процедура полягає в визначенні вартості усіх засобів захисту S_j , співставленні визначеної вартості і визначених стратегій на другому етапі даного методу.

Етап 4. Процедура отримання ймовірностей кібератак. Дана процедура полягає в знаходженні ймовірностей кібератак $p_{ij}^{(a)}$, перелік яких був складений на першому етапі даного методу. Для даного дослідження ці значення можна отримати за результатами симуляції моделі готовності медичної IoT системи, яка враховує атаки на компоненти, що була описана у розділі 2.4.

Етап 5. Процедура визначення ймовірностей відбиття атак. Дана процедура полягає в знаходженні і визначенні ймовірностей відбиття кібератак $p_{ij}^{(p)}$, перелік яких був складений на першому етапі даного методу.

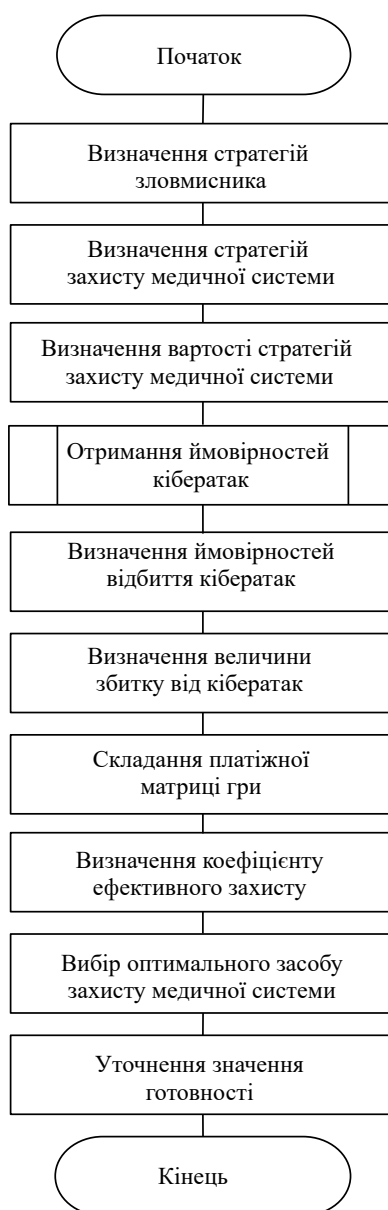


Рисунок 3.7 – Метод забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей

Етап 6. Процедура визначення величини збитку. Дана процедура полягає у знаходженні передбачуваної можливій величині збитку медичній IoT системі D при реалізації атаки $p_{ij}^{(a)}$. До збитку також можна віднести купівлю, установку і використання засобів захисту, які можуть потребувати додаткових витрат.

Етап 7. Процедура складання платіжної матриці. Дана процедура полягає заповненні платіжної матриці (Таблиця 3.12) раніше визначеними значеннями $x_i=(i=\overline{1,n})$, $y_j=(j=\overline{1,m})$ і $p_{ij}^{(a)}$.

Етап 8. Процедура визначення коефіцієнту ефективного захисту. Дана процедура полягає в визначенні коефіцієнту ефективного захисту γ_{ij}

використовуючи співвідношення 3.2, доповненні платіжної матриці цим визначеним значенням як результатом гри.

Етап 9. Процедура вибору оптимального засобу захисту медичної системи. Дана процедура полягає в виборі оптимального засобу захисту медичної системи шляхом застосування для раніше заповненої платіжної матриці критерій Вальда, враховуючи умову ефективного забезпечення кібербезпеки медичної IoT системи.

Етап 10. Уточнення значення готовності. Дана процедура полягає в уточненні значення функції готовності використовуючи модель медичної IoT системи, яка враховує атаки на компоненти, що була описана у розділі 2.4 з урахуванням обраного засобу протидії кібератакам і коефіцієнту ефективного захисту.

3.2.3. Приклад використання розробленого методу

Відповідно до класифікації кібератак на медичну IoT інфраструктуру, що була наведена у розділі 2.4 на рис. 2.24, засоби захисту були поділені відповідно до представленої класифікації кібератак. таблиці 3.13-16 визначають матрицю ймовірностей захисту від атак. Ймовірності атак були взяті з розділу 2.4.3 як результати симуляції розробленої моделі. Ці ймовірності визначалися як експертні оцінки.

Таблиця 3.13 – Матриця ймовірностей захисту від атак на мережі

Засіб захисту \ Атака	Ймовірність атаки	Засоби захисту			
		IDS	Firewall	Аутентифікація	Криптографія
		Ймовірність захисту від кібератаки			
Аналіз трафіку	5,74e-05	0,7	0,85	0,001	0,3
Спуфінг	4,29e-05	0,7	0,8	0,1	0,001
Клонування	0,000169642	0,01	0,9	0,5	0,001
Несанкціонований доступ	0,01081887	0,01	0,9	0,9	0,6
Людина-посередині	4,89e-05	0,01	0,6	0,5	0,4
DoS/DDoS	0,000100901	0,4	0,8	0,001	0,001

Таблиця 3.14 – Матриця ймовірностей захисту від атак на контролери

Засіб захисту \ Атака	Ймовірність атаки	Засоби захисту			
		IDS	Firewall	Криптографія	Захист від взлома та самознищення
		Ймовірність захисту від кібератаки			
Втручання	0,000618885	0,01	0,01	0,3	0,9
DoS/DDoS	0,000100901	0,4	0,8	0,001	0,6
Перешкоди	0,002611121	0,01	0,4	0,01	0,91
Ін'єкції зловмисного вузла	0,000500945	0,01	0,7	0,01	0,7

Таблиця 3.15 – Матриця ймовірностей захисту від атак на дані

Засіб захисту \ Атака	Ймовірність атаки	Засоби захисту				
		IDS	Firewall	Аутентифікація	Криптографія	Тренінги
		Ймовірність захисту від кібератаки				
Фішинг	0,000120857	0,001	0,3	0,5	0,8	0,001
Ін'єкції шкідливих скриптів	1,51e-05	0,5	0,5	0,001	0,8	0,1
DoS/DDoS	0,000100901	0,4	0,8	0,001	0,001	0,0001
Аналіз трафіку	5,74e-05	0,7	0,85	0,001	0,3	0,001
Несанкціонований доступ	0,01081887	0,01	0,9	0,9	0,6	0,2
Соціальна інженерія	0,001280493	0,001	0,001	0,6	0,2	0,7

Таблиця 3.16 – Матриця ймовірностей захисту від атак спрямованих на отримання контролю

Засіб захисту \ Атака	Ймовірність атаки	Засоби захисту			
		IDS	Firewall	Аутентифікація	Криптографія
		Ймовірність захисту від кібератаки			
Атаки на ПЗ	5,70e-05	0,2	0,95	0,1	0,2
Людина-посередині	4,89e-05	0,4	0,5	0,001	0,4
Соціальна інженерія	0,001280493	0,2	0,6	0,7	0,2

Згідно зі статистичними даними, середній збиток D від нападу на медичну систему становить близько 10000 доларів США (наприклад, страховий платіж). Вартість засобів захисту (S_j) у пропорції представлена відповідними значеннями, як показано в таблиці 3.17.

Таблиця 3.17 – Вартість засобів захисту (пропорційно)

IDS	Firewall	Аутентифікація	Криптографія	Захист від взлома та самознищення	Тренінги
50	10	4	7	2	2

Для вибору оптимального засобу захисту було використано максимінний критерій Вальда (найкращий із найгірших засобів захисту). Відповідно,

використовуючи співвідношення 3.5 для кожної групи атак, визначено коефіцієнти ефективного захисту. А саме: для атак на мережі був обраний Firewall з коефіцієнтом ефективного захисту $\gamma_{\text{network}} = 0,924311$, для атак на контролери було обрано Захист від взлому та самознищення з коефіцієнтом ефективного захисту $\gamma_{\text{controllers}} = 0,851060607$, для атак на дані був обраний Firewall з коефіцієнтом ефективного захисту $\gamma_{\text{data}} = 0,924311$, а для атак спрямованих на отримання контролю була обрана Аутентифікація з коефіцієнтом ефективного захисту $\gamma_{\text{control}} = 0,78094921$.

Відповідно до описаного вище методу, що базується на теоретико-ігровому підході, були отримані результати, що дозволили скорегувати вихідні параметри марковської моделі. Результати моделювання марковської моделі готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує атаки на вразливості компонентів інфраструктури, зображеної на рис. 2.25, з використанням модифікованих початкових даних відповідно до результатів гри, наступні:

$P_{a1} = 0,969398$; $P_{a2} = 1,633232\text{e-}05$; $P_{a3} = 1,203168\text{e-}05$; $P_{a4} = 5,160693\text{e-}05$; $P_{a5} = 5,949243\text{e-}05$; $P_{a6} = 0,003040368$; $P_{a7} = 0,01373675$; $P_{a8} = 1,516303\text{e-}05$; $P_{a9} = 2,945473\text{e-}05$; $P_{a10} = 0,004921064$; $P_{a11} = 1,685261\text{e-}05$; $P_{a12} = 3,745716\text{e-}05$; $P_{a13} = 4,155224\text{e-}06$; $P_{a14} = 0,000466583$; $P_{a15} = 0,0007246805$; $P_{a16} = 0,0001917184$; $P_{a17} = 0,0007433931$; $P_{a18} = 0,0001546808$; $P_{a19} = 0,006155206$; $P_{a20} = 0,0002249595$.

На рис. 3.8 представлені зміни функцій готовності без та із застосуванням контрзаходів.

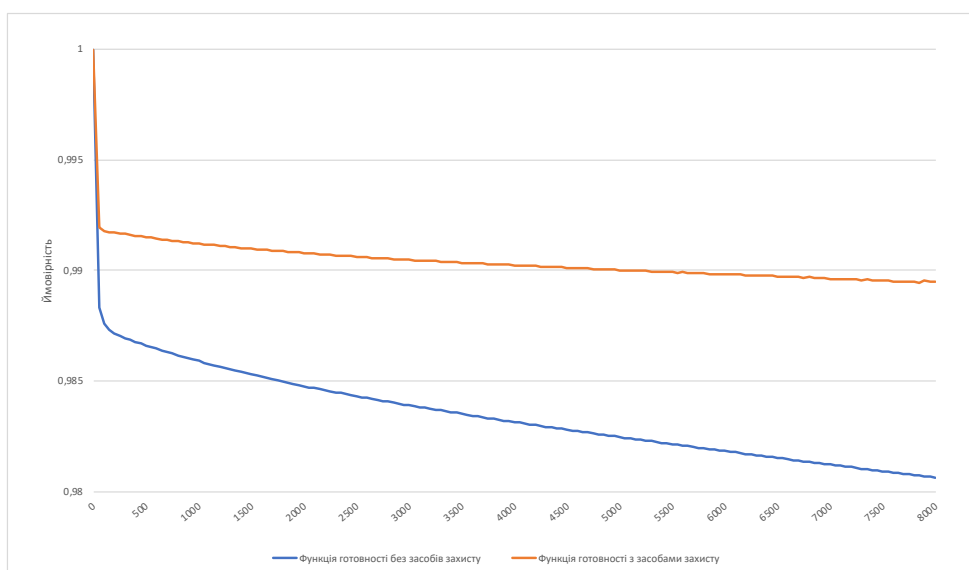


Рисунок 3.8 – Зміна функції готовності після використання методу

Відповідно, отримані результати показують, що значення функції готовності (стаціонарне значення) для медичної IoT системи без використання засобів захисту було $A_{stationary} = 0,9200121$, а після впровадження інструменту протидії в систему значення функції готовності змінилось на $A_{stationary} = 0,969398$. Таким чином, використовуючи даний метоу, котрий базується на використанні результатів теоретико-ігрового підходу з вибором контрзаходів, готовність може бути збільшена до 4%. З іншого боку, якщо мова йде про неготовність медичної IoT системи, яка становила близько $100 - 92 = 8\%$, а після уточнення $100 - 96 = 4\%$, тобто, можна зробити висновок, що існує потенціал для зменшення неготовності медичної IoT системи на 200% або в 2 рази.

3.3. Висновки за розділом

1. У розділі вперше одержано модель функціональної поведінки медичного пристрою, яка, на відміну від відомих, враховує різні закони розподілу часу між заявками на обслуговування, а також різні типи відмов за рівнем критичності, що дозволяє визначити вплив показників медичного пристрою на готовність та гарантоздатність медичної IoT системи в цілому.

2. Аналіз отриманих результатів моделювання функціональної поведінки медичного пристрою, що функціонує в середовищі IoT, показав, що:

- при експоненційному законі розподілу характер залежності ймовірності виконання завдання медичною системою на означеному інтервалі спостереження не відповідає очікуваному;

- граничне значення виконання завдання при експоненційному законі розподілу є верхнім; різниця між значеннями ймовірностей виконання завдання на заданому інтервалі спостереження, визначених з використанням закону Ерланга і експоненційного закону розподілу, зростає з збільшенням порядку закону Ерланга, тобто, чим вище порядок закону, тим пізніше починається падіння характеристики виконання завдання;

– результати проведених досліджень підтверджують готовність розроблених моделей функціональної поведінки інсулінової помпи до використання в методиці синтезу показників функціональності її складових.

3. У розділі набув подальшого розвитку метод забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей шляхом вибору контрзаходів з використанням теорії матричних ігор, що дозволяє вибирати за максимінним критерієм множину засобів захисту.

4. Використання методу забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей дозволяє оцінити вартість кожного рішення щодо захисту медичних IoT систем та обрати оптимальний засіб для всього діапазону кібератак.

5. Результати досліджень, що представлені в даному розділі, опубліковано у роботах [9, 11-13].

3.4. Література до третього розділу

1. Ю.Я. Бобало, Б.Ю. Волочій, О.Ю. Лозинський, Б.А. Мандзій, Л.Д.Озірковський, Д.В. Федасюк, С.В. Щербовських, В.С. Яковина. *Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем: монографія*, Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013, 300 с.

2. Y. Zhang, P. Jones and R. Jetley, "A Hazard Analysis for a Generic Insulin Infusion Pump", *Journal of Diabetes Science and Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 263-283, 2010. DOI: 10.1177/193229681000400207.

3. Y. Chen, M. Lawford, H. Wang and A. Wassyng, "Insulin Pump Software Certification", *Foundations of Health Information Engineering and Systems*, pp. 87-106, 2014. DOI: 10.1007/978-3-642-53956-5_7.

4. "The Generic Infusion Pump (GIP). A workbench for improving safety, security and usability of medical systems", *Real Time Systems Group*. Available: <https://rtg.cis.upenn.edu/gip/#Requirements>.

5. D. Fedasyuk and S. Volochiy, "Method of developing the structural-automaton models of fault-tolerant systems", *2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)*, pp. 22-26, 2017. DOI: 10.1109/cadsm.2017.7916076.

6. Д. Мартин, *Системный анализ передачи данных*. Москва: Мир, 1975, с. 58-59.

7. С.Б. Волочий, "Математичне та програмне забезпечення для дискретно-неперервного стохастичного моделювання відмовостійких програмно-технічних комплексів", Дисертація на здобуття наукового ступеня: кандидата технічних наук, Національний університет Львівська політехніка, 2018.

8. S. Volochiy, D. Fedasyuk and R. Chohey, "Formalized development of the state transition graphs using the Erlang phase method", *2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, 2017. DOI: 10.1109/idaacs.2017.8095255.

9. A. Strielkina, A. Tetskyi, B. Selin, O. Solovyov, D. Uzun, "Service for Vulnerabilities Analysis and Security Assessment of Open Source Systems", *CERes Journal*, Volume 1, Issue 2, pp. 53-64, 2015.

10. М. А. Тынкевич, *Экономико-математические методы (исследование операций)*, 2-е изд., Кемерово, 2012, 177 с.

11. A. Strielkina, S. Volochiy and V. Kharchenko, "Discrete-Continuous Stochastic Model of Insulin Pump Functioning for Health IoT System Using Erlang Phase Method", *5th International Workshop on Theory of Reliability and Markov Modeling for Information Technologies (TheRMIT 2019)*, pp. 794-809, 2019.

12. A. Strielkina, B. Volochiy and V. Kharchenko, "Model of Functional Behavior of Healthcare Internet of Things Device", *2019 10th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, pp. 63-69, 2019. DOI: 10.1109/deSSERT.2019.8770020.

13. A. Strielkina, V. Kharchenko and D. Uzun, "Availability Models of the Healthcare Internet of Things System Taking into Account Countermeasures Selection", *Information and Communication Technologies in Education, Research, and Industrial Applications*, vol 1007, pp. 220-242, 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-13929-2_11.

РОЗДІЛ 4.

РОЗРОБЛЕННЯ І ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ
ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГАРАНТОЗДАТНОСТІ
МЕДИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

4.1. Метод кейс-орієнтованого оцінювання кібербезпеки медичних IoT систем

4.1.1. Розроблення методу кейс-орієнтованого оцінювання кібербезпеки медичних IoT систем

В даній дисертаційній роботі було обрано Safety Case підхід для оцінки кібербезпеки медичних IoT систем. Кейс-орієнтована оцінка являє собою підхід, який складається з дослідницьких, технічних, адміністративних та управлінських аргументів (claims) і доказів того, що використання МС на основі Інтернету речей є безпечним і залишатиметься таким при функціонуванні у певних умовах експлуатації протягом усього життєвого циклу системи. Особлива увага у такому випадку приділяється логічно обґрунтованим аргументам (вимогам/підвимогам відповідно до рис. 1.18) безпеки системи.

У дисертаційній роботі загальний кейс-орієнтований підхід зображує конкретний спосіб оцінки відповідності МС на основі Інтернету речей вимогам, що починається з розробки профілю вимог і закінчується підсумковим звітом, що забезпечує тим самим підтвердження вагомих аргументів того, що система є належним чином захищеною для даної області застосування в даному середовищі. Спочатку цей підхід застосовували для критично важливих для безпеки систем атомних електричних станцій. Загальна методика кейс-орієнтованого оцінювання, заснована на послідовності взаємопов'язаних заходів, що дозволяє відповісти на наступні запитання «Що (повинно бути зроблено)?», «Як (це буде повинно бути зроблено)?», «За допомогою чого (це слід зробити)?».

Метод кейс-орієнтованого оцінювання кібербезпеки медичних IoT системи наведено на рис. 4.1. Опис позначень подано у легенді.

діаграми Венна, що включає вимоги до медичних, IoT та кібербезпеки складових). Також у розділі 1.2 (рис. 1.13) була наведена ієрархічна модель нормативних документів забезпечення безпеки медичних IoT систем, яка також повинна використовуватися на даному етапі виконання методу. На початку вимоги потрібно декомпонувати і експертами необхідно призначити пріоритети. Результатом етапу стає структурований перелік всіх вимог із пріоритетами по даній функціональності. Результатом виконання цього етапу повинна бути множина вимог до медичної IoT систем $R = \{R_1, R_2, R_3, \dots, R_i\}$, де i – кількість виявлених вимог. Більш детально процес формування нормативного профілю вимог до ІС наведено в роботі [1].

Етап 2. Формування проектної інформації. Елементом цього етапу є блок «Дані IoT системи», який включає в себе підблоки «Документація», «Код», «Звіти тестування» тощо, і може описати будь-яку відповідну інформацію, яка може бути корисною під час розроблення медичної IoT системи. На даному етапі відбувається опис поведінки медичної IoT системи, який дає відповідь на запитання «Що (повинно бути зроблено)?». Результатом виконання цього етапу повинна бути множина даних о системі $D = \{D_1, D_2, D_3, \dots, D_j\}$, де j – кількість виявлених даних о медичній IoT системі.

Етап 3. Виявлення засобів оцінювання кібербезпеки медичних IoT систем. Елементом цього етапу є блок «Оцінювання», який складається з двох підблоків «Методи та Техніки» (представляє теоретичні та практичні методи та прийоми, які можна використовувати для аналізу кібербезпеки) і «Засоби» (інструменти аналізу кібербезпеки, які реалізують вищезазначені методи та прийоми). Наприклад, одними з основних методів та прийомів, що застосовуються для аналізу кібербезпеки, є:

- (X)ME(Y)A, де $X \in \{Concept, Design, Failure, Intrusion, Process, Product, Software, System\}$ і $Y \in \{Criticality, Diagnostic\}$;
- (Z)TA, де $Z \in \{Attack, Cause, Event, Failure, Fault, Problem, Solution\}$;
- (T)BD, де $T \in \{Reliability, Security\}$.

Результатом виконання цього етапу повинна бути множина обраних методів, технік і засобів оцінювання кібербезпеки медичних IoT систем $A = \{A_1, A_2, A_3, \dots,$

$A_k\}$, де k – кількість виявлених можливих методів, технік і засобів оцінювання кібербезпеки медичних IoT систем.

Етап 4. Прийняття рішення. Елементом цього етапу є блок «Засіб прийняття рішення», який описує поведінку системи, відповідаючи на питання «За допомогою чого (це слід зробити)?». Блоки «Вимоги», «Дані IoT системи» та «Оцінювання» з'єднані між собою через блок «Засіб прийняття рішення», і інформація, яка є результатом виконання відповідних етапів методу (множина вимог, даних і обраних методів, технік і засобів оцінювання кібербезпеки медичної IoT систем), використовується як вхід для «Інструменту прийняття рішень». Для визначення засобів оцінювання кібербезпеки відповідно до визначених вимог на етапі 1, необхідно побудувати матрицю відповідності вимог, яка містить в собі відповідність функціональних вимог і можливі засоби оцінювання (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Приклад матриці відповідності вимог

	R_1	R_2	R_3	...	R_i
A_1	+		+		
A_2					+
A_3	+				
...					
A_k		+			

Така ж сама матриця може бути побудована для визначення відповідності наявних даних до виявлених вимог до медичних IoT систем. В результаті можливо відстежити взаємозв'язок вимог і завдань на доробку. Також це дозволяє об'єктивно оцінити, яка частина вимог до МС покрита засобами оцінювання кібербезпеки.

Етап 5. Формування звіту о результатах оцінювання кібербезпеки медичних IoT систем. Елементом цього етапу є нижній трикутник, який включає в себе «Обробка даних», «Згорання» та «Звіт про завершення методу», який включатиме інформацію про відповідність або невідповідність системи відповідному рівню забезпечення кібербезпеки МС на основі Інтернету речей. Результатом виконання

цього етапу повинна бути множина рекомендацій щодо підвищення рівня забезпечення кібербезпеки медичних IoT систем $O = \{O_1, O_2, O_3, \dots, O_f\}$, де f – кількість виявлених рекомендацій до підвищення рівня забезпечення кібербезпеки медичних IoT систем.

4.1.2. Приклад використання методу кейс-орієнтованого оцінювання кібербезпеки медичних IoT системи

Для демонстрації методу було обрано медичну IoT систему з бездротовими інсуліновими помпами (відповідно до результатів попередніх досліджень, що наведені у підрозділах 1.1.2 і 3.1).

В якості вимог були взяті вимоги з нормативних документів [2-8]. Використовуючи запропоновану ієрархічну модель нормативних документів забезпечення кібербезпеки медичних IoT систем (рис. 1.13), була виявлена наступна кількість вимог: рівень захисту даних – 30; рівень оцінки ризику – 35; рівень управління інформаційною безпекою – 23; сервісний рівень – 25; мережевий рівень – 30; рівень сенсорів – 32.

Оскільки аналізована система належить до класу первинних критично важливих систем з точки зору безпеки, то для аналізу кібербезпеки були обрані методи IMECA, HAZOP, класичний інструмент марковського моделювання, методи теорії ігор для вибору засобів захисту, інструмент CyberPNAx, який їх реалізує. Беручи до уваги, що медична IoT система, що досліджується, повинна реалізовувати шифрування переданих даних як один із елементів забезпечення кібербезпеки, тоді для випуску у виробництво очікується, що система, що оцінюється, буде оцінена мінімум як рівень Evaluation Assurance Level 3.

Відповідно до технологічного підходу до оцінки кібербезпеки, наприклад, було обрано оцінку виконання вимог класу ALC: Компоненти життєвого циклу підтримки гарантій, які відповідають стандарту ISO/IEC 15408, частина 3. Результатом розглянутого методу, що застосовується для оцінки кібербезпеки IoT в галузі медицини, є звіт про завершення методу, який містить контрольний список

з вимогами та розбіжностями, які необхідно усунути, щоб відповідати рівню Evaluation Assurance Level 3.

4.2. Розроблення інформаційної технології оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей

Запропоновані у цьому підрозділі елементи інформаційної технології (ІТ) базуються на наукових результатах, представлених в попередніх розділах дисертаційної роботи.

4.2.1. Базові завдання та принципи розробки інформаційної технології

На основі моделей, методів, процедур, що були отримані в розділах 1, 2, 3 і 4.1, в даному підрозділі пропонується розробити процес у формі інформаційної технології оцінювання і забезпечення гарантоздатності МС на основі Інтернету речей, на основі формалізованих методів проектування, які містять такі етапи синтезу проектних рішень: вибір моделі, вибір методу, вирішення задачі і прийняття рішень. Базовими завданнями до розроблення даної ІТ є:

- розроблення інструментальних засобів (ІЗ) підтримки оцінювання і забезпечення гарантоздатності МС на основі Інтернету речей;
- автоматизація розрахунку показників оцінювання гарантоздатності МС на основі Інтернету речей;
- візуалізація результатів оцінювання гарантоздатності МС на основі Інтернету речей.

Ключовими принципами розроблення даної ІТ є:

- новизна підходу до проектування: в основу ІТ покладені розроблені моделі і методи процедур оцінювання;
- актуальність інтерфейсу: інструментальні засоби ІТ представлені у вигляді застосунків із графічним інтерфейсом, із інтуїтивно зрозумілим користувачеві інтерфейсом;
- модульність: оцінювання може проводитися в ІТ поетапно;

– простота використання: ІТ дозволяє просто і зрозуміло провести оцінювання і інтерпретувати отримані результати;

– достовірність отриманих результатів оцінки: отримані результати дозволяють приймати управлінське рішення відносно використання МС на основі Інтернету речей.

4.2.2. Структура інформаційної технології оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей

Елементи ІТ представлені у таблиці 4.2 згідно з алгоритмом її реалізації. Структура ІТ складається з наступних процесів: формування вимог ТЗ до гарантоздатності МС на основі Інтернету речей; визначення компонент МС на основі Інтернету речей, які зазнають відмови та кібератаки; визначення значення готовності МС на основі Інтернету речей; визначення показників функціональності медичних пристроїв; вибір контрзаходів захисту медичної IoT системи від кібератак; кейс-орієнтоване оцінювання кібербезпеки МС на основі Інтернету речей.

Таблиця 4.2 – Елементи інформаційної технології оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей

№ п/п	Процес	Вхідні дані	Вихідні дані	Механізми	Керування
1	Формування вимог ТЗ до гарантоздатності МС на основі Інтернету речей	– технічне завдання, – контекст використання, – вимоги замовника	– результати аналізу технічної документації, – вимоги до МС на основі Інтернету речей	– експерти, що приймають рішення, – БД нормативних документів, стандартів, інструкцій, – ІЗ визначення вимог до МС IoHTStandard	Нормативні документи, стандарти, інструкції
2	Визначення компонент МС на основі Інтернету	– результати аналізу технічної	Результати аналізу вразливих	– експерти, що приймають	Нормативні документи,

Продовження таблиці 4.2

№ п/п	Процес	Вхідні дані	Вихідні дані	Механізми	Керування
	речей, які наражаються на кібератаки і можуть відмовляти	документації, – вимоги до МС на основі Інтернету речей, – дані репозиторіїв вразливостей і відмов	елементів	рішення, – БД компонент МС на основі Інтернету речей	стандарты, інструкції
3	Визначення значення готовності МС на основі Інтернету речей	– результати аналізу вразливих елементів, – дані репозиторіїв вразливостей і відмов, – показники функціональності медичних пристроїв, – контрзахід захисту медичної IoT системи від кібератак	Показники готовності МС на основі Інтернету речей	– експерти, що приймають рішення, – ІЗ для оцінювання готовності	Комплекс моделей оцінювання гарантоздатності
4	Визначення показників функціональності медичних пристроїв	– технічне завдання, – вимоги замовника, – результати аналізу вразливих елементів	Показники функціональності медичних пристроїв	– експерти, що приймають рішення, – ІЗ для побудови САМ ASNA	Комплекс моделей оцінювання гарантоздатності (модель функціональної поведінки)
5	Вибір контрзаходів захисту медичної IoT системи від кібератак	– технічне завдання, – дані репозиторіїв вразливостей і відмов, – результати аналізу вразливих елементів,	Контрзахід захисту медичної IoT системи від кібератак	– експерти, що приймають рішення, – ІЗ для вибору контрзаходів GTC	Метод вибору контрзаходів від кібератак

Продовження таблиці 4.2

№ п/п	Процес	Вхідні дані	Вихідні дані	Механізми	Керування
		– показники готовності МС на основі Інтернету речей			
6	Кейс-орієнтоване оцінювання кібербезпеки МС на основі Інтернету речей	– показники готовності МС на основі Інтернету речей, – контрзахід захисту медичної IoT системи від кібератак	– звіт по оцінювання гарантоздатності МС на основі Інтернету речей – рекомендації по забезпеченні гарантоздатності	– експерти, що приймають рішення, – система для генерації звітів	Метод кейс-орієнтованої оцінки

Загальна функціональна модель інформаційної технології, яка базується на запропонованих моделях та методах оцінювання та забезпечення гарантоздатності МС на основі Інтернету речей, наведена на рис. 4.2 вигляді IDEF0-діаграми. Основні етапи реалізації розробленої ІТ.

Етап 1. Відбувається аналіз проектної документації для формування вимог ТЗ до гарантоздатності МС на основі Інтернету речей. Для цього, в першу чергу, необхідно провести аналіз ТЗ з описом системи, контексту використання і вимог замовника. Результатом цього виявлення вимог є вихідна інформація про систему, що моделюється, а саме: логіка її функціонування, функції, що виконуються і т. д. А також складається список вимог до гарантоздатності МС на основі Інтернету речей, що досліджується(наприклад, вимоги до критичності відмов).

Етап 2. Визначення компонент МС на основі Інтернету речей, які можуть відмовити, у тому числі внаслідок кібератак, на основі вихідної інформації, що була отримана на першому етапі даної ІТ, а також даних відкритих репозиторіїв вразливостей та відмов. Результатом виконання етапу є список вразливих до кібератак та відмов елементів МС на основі Інтернету речей, можливих кібератак і відмов.

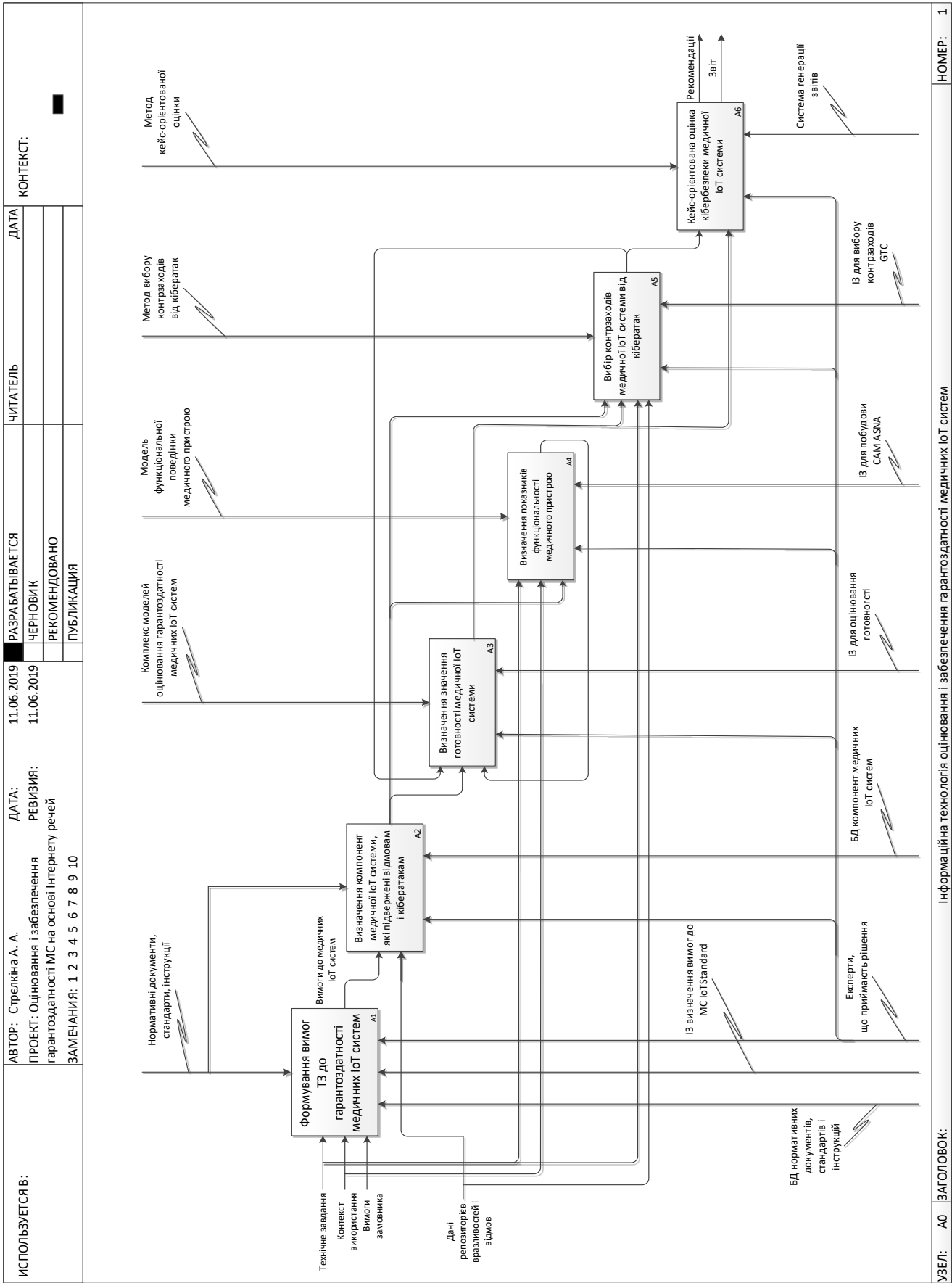


Рисунок 4.2 – IDEF0-діаграма інформаційної технології оцінювання та забезпечення гарантоздатності МС на основі Інтернету речей

Етап 3. Визначення значення показника готовності МС на основі Інтернету речей, використовуючи моделі готовності, які враховують відмови компонентів медичної IoT інфраструктури, атаки на вразливості компонентів. Результатом виконання етапу є показник готовності, а також супровідна інформація про найбільш можливі кібератаки та вразливі компоненти системи, що досліджується.

Етап 4. Визначаються показники функціональності медичних пристроїв на основі ТЗ, вимог замовника, результату аналізу вразливих елементів. Результатом виконання етапу є показники функціональності медичних пристроїв (ймовірність виконання завдання медичним пристроєм).

Етап 5. Відбувається вибір контрзаходів захисту медичної IoT системи від кібератак на основі вимог ТЗ, даних відкритих репозиторіїв вразливостей, результатів аналізу вразливих елементів, а також отриманих на попередніх етапах показників готовності МС на основі Інтернету речей. Результатом виконання даного етапу буде оптимальний засіб захисту МС на основі Інтернету речей для всього діапазону можливих кібератак.

Етап 6. Відбувається кейс-орієнтоване оцінювання кібербезпеки МС на основі Інтернету речей на основі вихідної інформації, що була отримана на попередніх етапах, а саме показників готовності МС і обраного контрзаходу захисту медичної IoT системи від кібератак. Результатом виконання цього етапу є висновок про відповідність системи, що досліджується, вимогам до її гарантоздатності та рекомендації щодо по забезпеченні гарантоздатності за результатами оцінювання.

В даній дисертаційній роботі запропоновано ІЗ IoHTStandard, який може використовуватися для побудови ієрархічної моделі нормативних документів забезпечення безпеки медичних IoT систем. Також розроблено ІЗ GTC, який призначено для отримання оптимальних варіантів забезпечення кібербезпеки для всього діапазону атак, яке засноване на методах теорії ігор. Для визначення показників функціональності медичних пристроїв використовувався ІЗ ASNA, що формує марковську модель на основі множини логічних нотацій, які описують процес функціонування медичного пристрою. В ролі ІЗ оцінки готовності

медичних IoT систем використовувався інструментарій (мова програмування) R; відповідні вихідні коди наведено у Додатку Г.

4.2.3. Інструментальний засіб IoHTStandard

Архітектура та технології розробки ІЗ IoHTStandard. При виборі архітектурного рішення для ІЗ враховувалися наступні принципи:

- організація відповідно технології «клієнт-сервер»;
- розподілений доступ до даних;
- відповідність інтерфейсу вимогам юзабіліті.

Узагальнена архітектура ІЗ для формування моделі і взаємозв'язку нормативних документів забезпечення безпеки медичних IoT систем наведена на рис. 4.3.

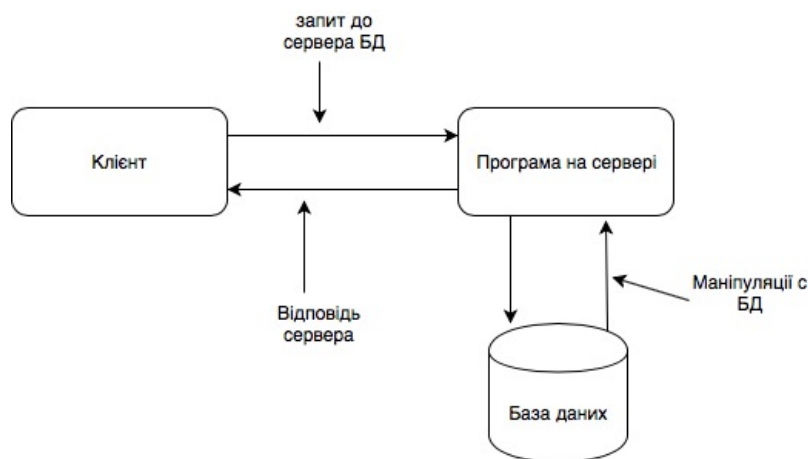


Рисунок 4.3 – Основні складові технології архітектури ІЗ

Більш детально схема взаємодії серверної та клієнтської частин зображена на рис. 4.4. Серверна частина ІЗ складається з наступних складових:

- Database – БД з нормативними документами та переліком медичних приладів;
- Model – в якості моделі використовуються запити на мові Python;
- Controller – обробляє запити, які за допомогою model звертаються до БД;
- Routing – обробляє API запити, щоби надіслати до controller;
- API Gateway – відповідає за всі запити комунікацій між двома частинами ІЗ;

– Static serving – для комунікацій з клієнтом, тобто для передачі всіх зображень, стилів та даних, що будуть зображені на стороні веб частини ІЗ.

Клієнтська частина побудована за допомогою React.js. Інструмент Redux управляє усіма компонентами веб частини, які використовує користувач.

Складові взаємодіють між собою використовуючи повідомлення у форматі JSON для звернення до даних. Таким чином, комунікація відбувається за допомогою зовнішнього API, наданого серверною частиною та сприяє заміні будь-якого компонента архітектури. Для отримання даних та їх відображення використовуються REST запити.

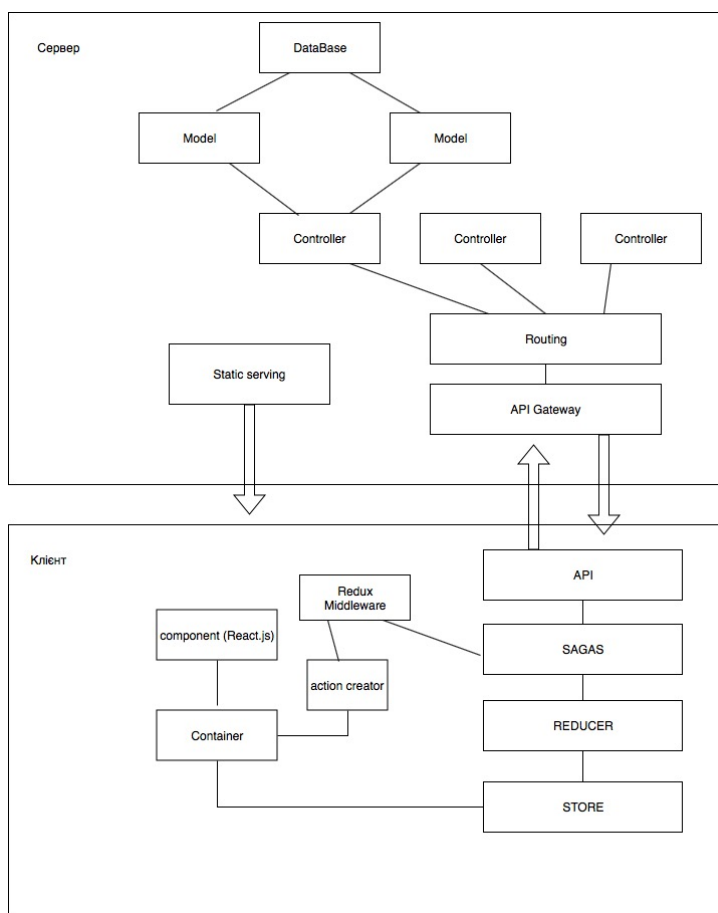


Рисунок 4.4 – Архітектурна схема ІЗ

Результати розробки ІЗ IoHTStandard. Даний ІЗ дозволяє обирати категорії медичних приладів, тип приладу та виводити на екран табличне зображення з архітектурними рівнями медичної IoT системи та переліком документів для кожного з них з коротким описом та посиланням на офіційні сайти організацій

стандартизації. Інтерфейс засобу IoHTStandard є головним вікном з розкривним меню (рис. 4.5).

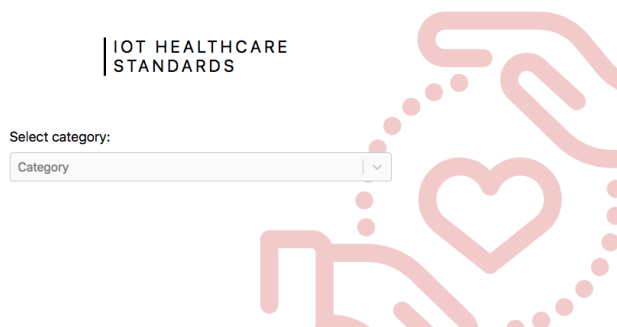


Рисунок 4.5— Інтерфейс ІЗ у вигляді веб-додатку

Використовуючи розкривне меню можна обрати категорію медичного приладу (рис. 4.6), згідно класифікації, що наведена у розділі 1, в даному ІЗ представлено чотири категорії.

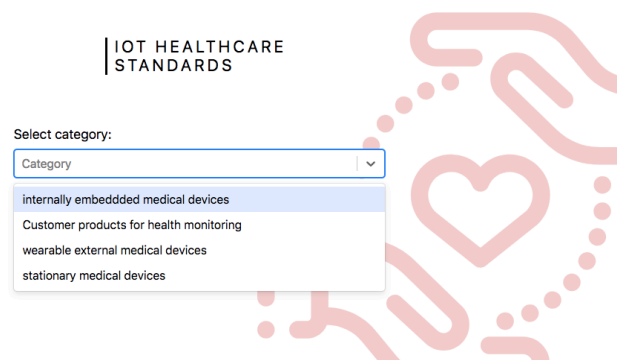


Рисунок 4.6 – Вибір категорії медичного приладу у ІЗ

Далі відбувається вибір приладу та вивід результату (рис. 4.7).

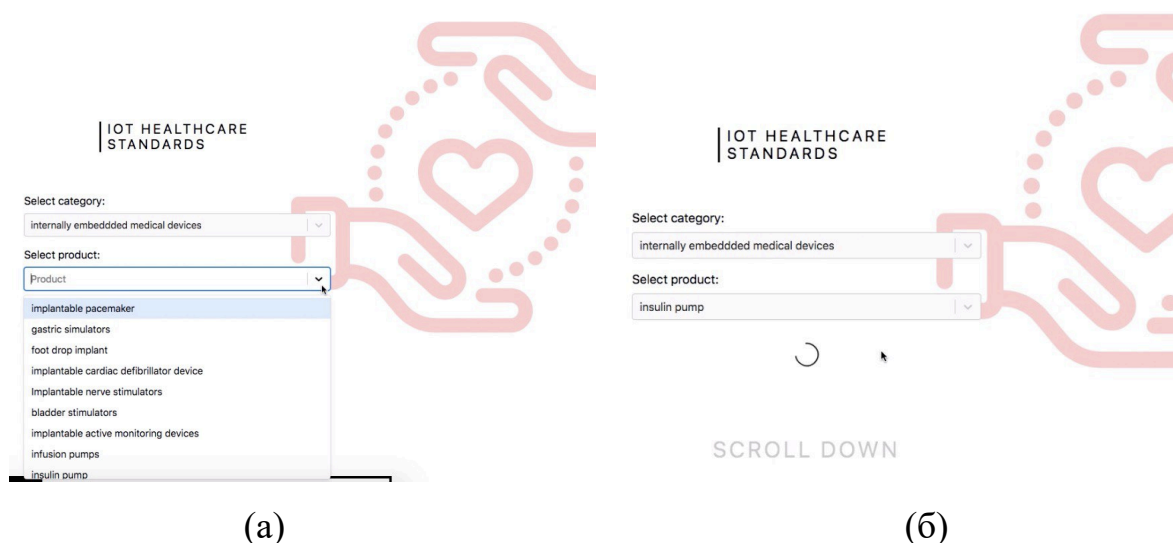


Рисунок 4.7 – Вибір приладу у ІЗ, де а) перелік можливих пристроїв для обраної категорії, б) обраний медичний пристрій (інсулінова помпа)

Далі для обраної категорії і медичного пристрою будується ієрархічна модель нормативних документів забезпечення безпеки медичних IoT систем, елементи котрої зображені на рис. 4.8.

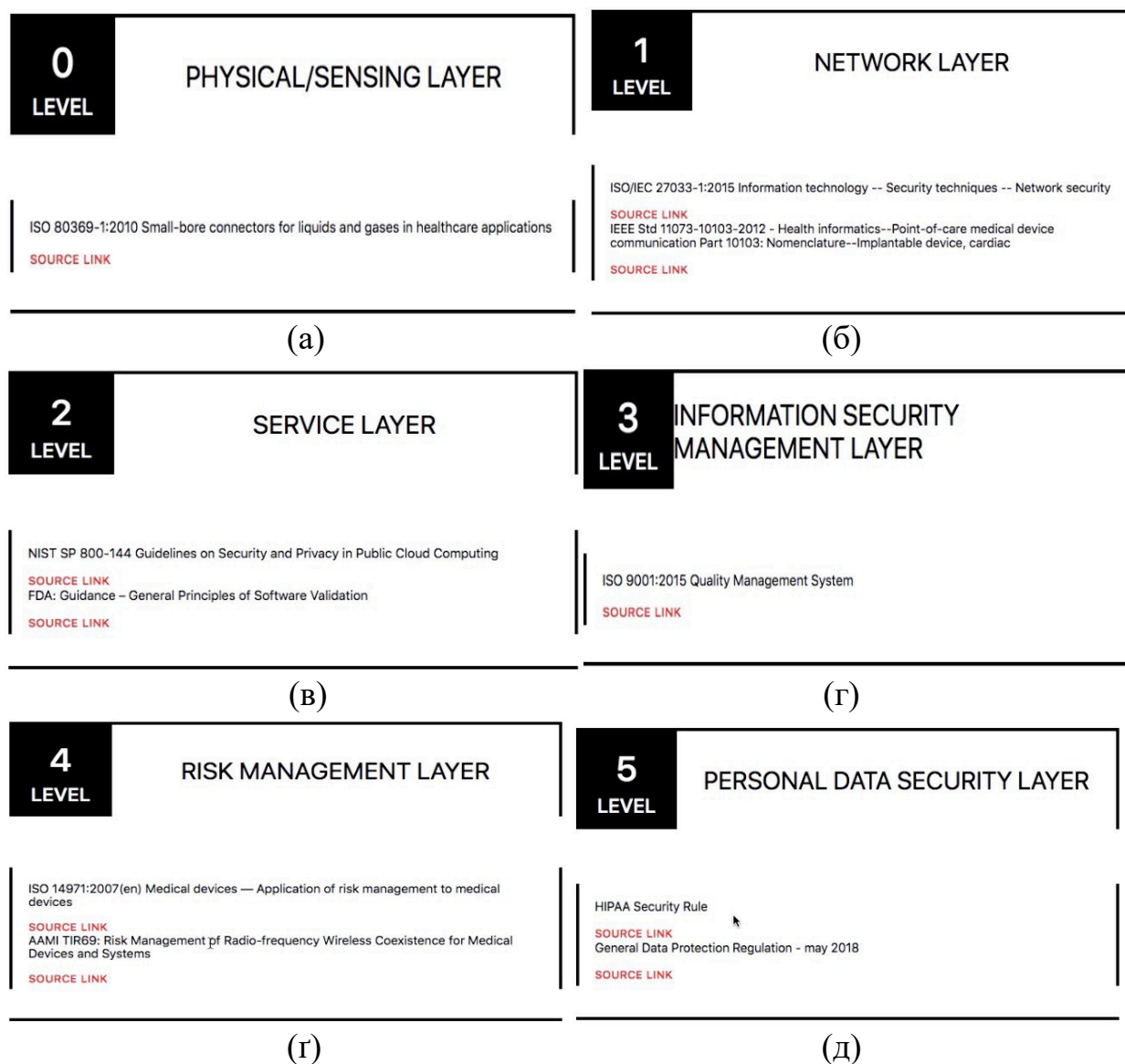


Рисунок 4.8 – Ієрархічна модель нормативних документів забезпечення безпеки медичних IoT систем, що була побудована ІЗ, де а) стандарти з вимогами до фізичного рівня, б) стандарти з вимогами до мережевого рівня, в) стандарти з вимогами до рівня сервісів, г) стандарти з вимогами до рівня управління інформаційною безпекою, г) стандарти з вимогами до рівня управління ризиками, д) стандарти з вимогами до рівня безпеки персональних даних

Також ІЗ дозволяє перейти за допомогою посилань на офіційні сайти організацій стандартизації (рис. 4.9).

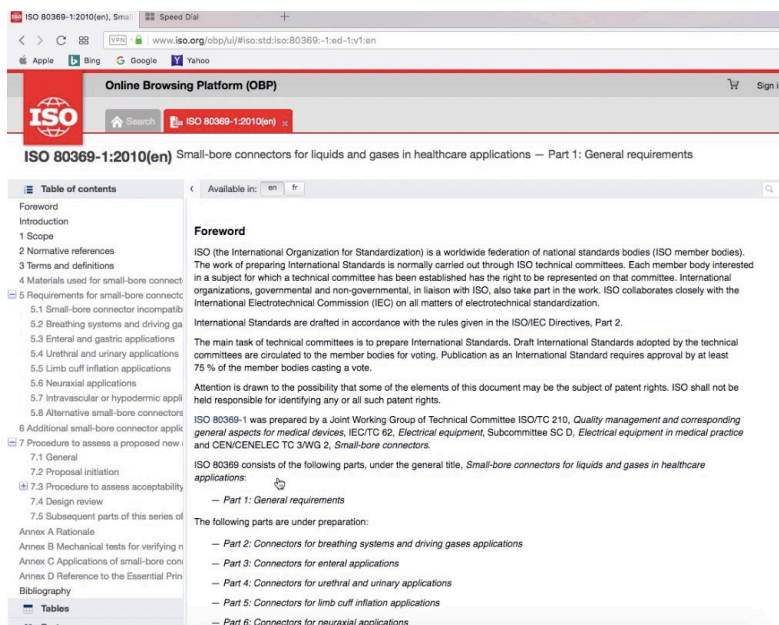


Рисунок 4.9 – Приклад переходу на сайт міжнародної організації стандартизації для обраного стандарту на фізичному рівні

Даний ІЗ у формі веб-додатку є односторінковим та має анімаційні елементи, які залежать від сценаріїв роботи користувача.

Серверна частина ІЗ дозволяє адміністраторам ІЗ додавати, редагувати та видаляти стандарти, категорії і медичні прилади (рис. 4.10).

Change standard category

Name:

Level:

Standard:

"ISO 14117 First edition 2012-07-15 Active implantable medical devices -- Electromagnetic compatibility -- EMC test protocols For implantable cardiac pacemakers, imp
ISO/IEEE 11073-10404:2010(E) - Health informatics -- Personal health device communication -- Part 10404: Device specialization -- Pulse oximeter
IEEE Std 11073-10406-2011 - Health informatics --Personal health device communication Part 10406
HIPAA Security Rule
ISO 14971:2007(en) Medical devices -- Application of risk management to medical devices
ISO 9001:2015 Quality Management System
ISO/IEC 17789:2014 Information technology -- Cloud computing -- Reference architecture

+

Рисунок 4.10 – Приклад зміни категорії стандартів

Отже, в ході розроблення ІЗ IoHTStandard, була реалізована аналітична модель розподілу міжнародних стандартів та нормативних документів стосовно обраного стандарту та можливість співвідношення окремого медичного приладу до певної категорії стандарту.

4.2.4. Інструментальний засіб GTC

Архітектура та технології розробки ІЗ GTC. Були виділені наступні вимоги до розробки інструментального засобу GTC:

- легкість модернізації та підтримки ІЗ в майбутньому;
- час, що витрачається на розробку;
- підтримка – технологія повинна бути широко використовуваною, що забезпечить хороше документування і досить велика кількість фахівців;
- невисока вартість;
- зручність експлуатації.

Розроблювальна система повинна бути добре масштабованою. Щоб забезпечити легкість модернізації та супроводу системи, що розробляється в майбутньому, було прийнято рішення спроектувати і побудувати програмний продукт на основі об'єктно-орієнтованого підходу. Мовою програмування для ІЗ GTC було обрано C #.

В даній роботі було раціонально використовувати дворівневу архітектуру. В цьому випадку, ІЗ, що розроблюється, поділяється на два рівня `UserInterface` і `BusinessLogic` (рис. 4.11), тобто клієнт-серверна архітектура, як і в попередньому підрозділі.

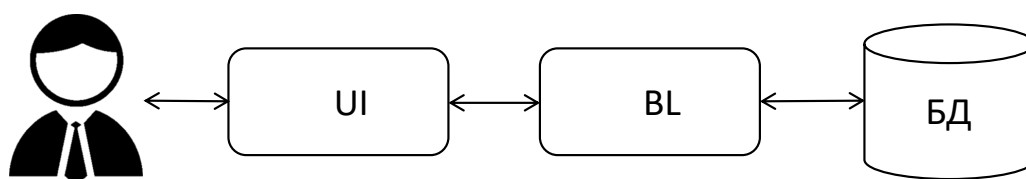


Рисунок 4.11 – Архітектура розроблювального ІЗ GTC

`UserInterface` – рівень системної архітектури, що відповідає за реалізацію графічного інтерфейсу проекту. `BusinessLogic` – рівень системної архітектури, що відповідає за реалізацію методу вибору оптимального засобу захисту МС на основі Інтернету речей. Для цього були створено класи і методи, які виконують необхідний алгоритм програми. `BL` модуль був реалізований компонентом, який виконує функціональність з побудови результуючої матриці, вибору оптимального

засобу захисту інформації (критерій Вальда), а вихідні дані беруться із бази даних (БД).

Алгоритм функціонування ІЗ наведено на рис. 4.12 і відповідає методу забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей, що було наведено у розділі 3.2 даної дисертаційної роботи.

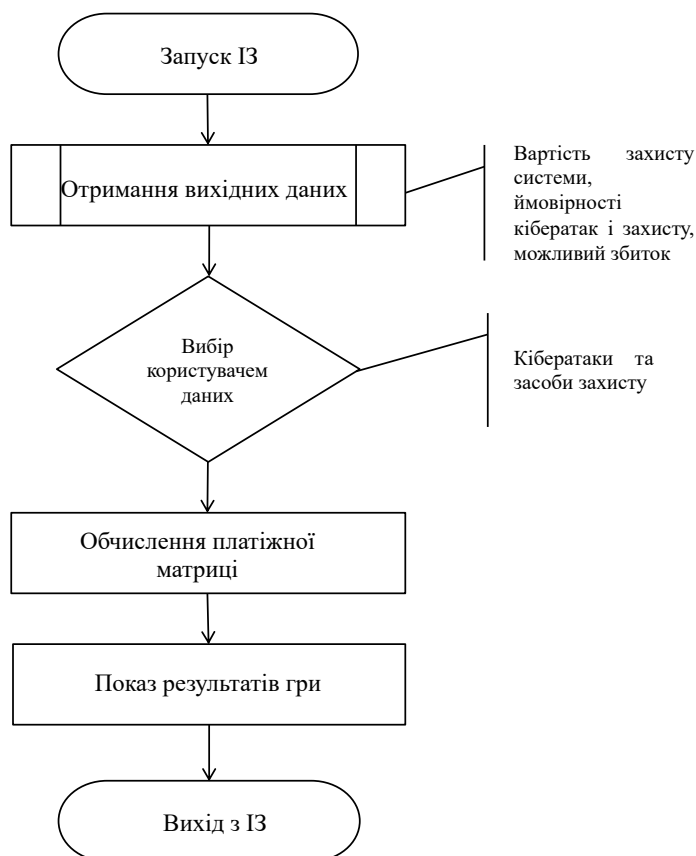


Рисунок 4.12 – Алгоритм функціонування ІЗ GTC

Результати розробки ІЗ GTC. ІЗ GTC в ході свого функціонування використовує такі вхідні дані, як список можливих атак, їх ймовірність і можливі збитки, список можливих засобів захисту і їх вартість. А в ході своєї роботи створює результуючу матрицю та вибирає оптимальний засіб захисту від можливих кібератак (на підставі критерію Вальда).

Інтерфейс засобу GTC є головним вікном з розкритим меню (рис. 4.13), де необхідно обрати категорію атаки і натиснути кнопку «Define protection tool» (Обрати засіб захисту).

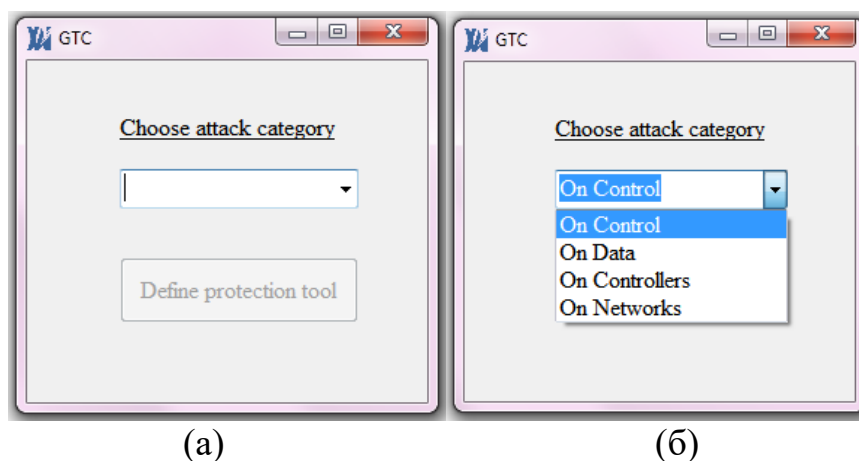


Рисунок 4.13 – Інтерфейс засобу GTC, де а) головне вікно з розкривним меню, б) вибір категорії атаки

Після вибору категорії атаки і натиснення кнопки «Define protection tool», відкривається інше вікно, де показані вихідні дані до вибору засобу захисту, які були завантажені з бази даних, а саме перелік кібератак можливих в даній категорії, їх ймовірності, можливий збиток, перелік засобів захисту від кібератак і їх вартість у пропорції (рис. 4.14).

Attacks	Attacks probabilities	Damage
Software attacks	5,696207E-05	10000
MITM attack	4,88764E-05	
Social Engineering	0,001280493	

Protection tools	Cost
Cryptographic Schemes	7
Authentication	4
Training	2

	PT 1	PT 2	PT 3
A 1			
A 2			
A 3			

	PT 1	PT 2	PT 3
A 1			
A 2			
A 3			

Рисунок 4.14 – Інтерфейс засобу GTC з вихідними даними до вибору засобу захисту

Далі необхідно ввести ймовірності відбиття атак «Attacks reflection probabilities» (Ймовірності відбиття атак) для кожної атаки та засобу захисту (рис. 4.15).

The screenshot shows the GTC software interface with the following data entered:

Attacks	Attacks probabilities	Damage
Software attacks	5,696207E-05	10000
MITM attack	4,88764E-05	
Social Engineering	0,001280493	

Protection tools	Cost
Cryptographic Schemes	7
Authentication	4
Training	2

Attacks reflection probabilities (should enter):

	PT 1	PT 2	PT 3
A 1	0,2	0,95	0,1
A 2	0,4	0,5	0,001
A 3	0,2	0,6	0,7

Game result:

	PT 1	PT 2	PT 3
A 1			
A 2			
A 3			

Calculate

Рисунок 4.15 – Інтерфейс засобу GTC з введеними ймовірностями відбиття атак

Далі необхідно натиснути кнопку «Calculate» (Розрахувати), щоб обрати оптимальний засіб захисту (рис. 4.16).

The screenshot shows the GTC software interface after calculation. The 'Game result' table is now populated with numerical values, and the optimal protection tool for each attack is highlighted in green.

	PT 1	PT 2	PT 3
A 1	12,2889	7,0222	3,5111
A 2	14,3218	16,3678	4,0961
A 3	0,5467	0,7809	0,5206

Calculate

Рисунок 4.16 – Інтерфейс засобу GTC з обраним засобом захисту

Після цього у «Game result» (Результат гри) відображається результуюча матриця гри, де зеленим показано обраний засіб захисту (для даного прикладу – це аутентифікація).

Отже, реалізований засіб допомагає обрати найбільш ефективний варіант забезпечення безпеки для всього діапазону кібератак за методів теорії ігор.

4.3. Висновки до розділу 4

1. У даному розділі удосконалено метод кейс-орієнтованої оцінки кібербезпеки МС на основі Інтернету речей за рахунок формування профільуютьуючої бази стандартів та функціональних вимог, а також процедури вибору інструментів оцінювання, що дозволяє підвищити повноту оцінювання.

2. Використання методу кейс-орієнтованої оцінки кібербезпеки МС на основі Інтернету речей дозволяє:

- скоротити навантаження на експерта, що проводить оцінювання такого роду систем, що дозволяє йому негайно розпочати роботу без потреби формування методології оцінки кібербезпеки МС на основі Інтернету речей;

- зменшує невизначеність, пов'язану з оцінкою МС на основі Інтернету речей, і, таким чином, зменшуючи властиві вразливості та загрози, що врешті-решт призводить до зниження загального ризику.

3. У даному розділі розроблена структура інформаційної технології оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей, яка базується на запропонованих в попередніх розділах моделях та методах оцінювання і забезпечення гарантоздатності.

4. Запропоновано ІЗ IoHTStandard, призначений для отримання аналітичної моделі розподілу міжнародних стандартів та нормативних документів та співвідношення окремої категорії медичних приладів до певної категорії стандартів.

5. Запропоновано ІЗ GTC, призначений для допомоги в прийнятті рішення щодо вибору оптимальних варіантів забезпечення кібербезпеки для всього діапазону атак, яке засноване на методах теорії ігор.

Результати досліджень, що представлені в даному розділі, опубліковано у роботах [9-10].

4.4. Література до розділу 4

1. А.О. Федосєєва, “Моделі і методи інформаційної технології оцінювання якості програмного забезпечення автоматизованих робочих місць для виробництва лікарських препаратів“, дис. канд. техн. наук : 05.13.06, Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, 2018.
2. *NIST Cybersecurity for IoT programs*. [Online]. Available: <https://www.nist.gov/programs-projects/nist-cybersecurity-iot-program>.
3. "Security and privacy controls for federal information systems and organizations", *NIST Special Publication*, pp. 53, 2013.
4. "140-2: Security requirements for cryptographic modules", Information Technology Laboratory, *National Institute of Standards and Technology*, 2001.
5. *Standards for privacy of individually identifiable health information [45 CFR parts 160 and 164]*. Department of Health and Human Services, 2002.
6. Security Standards for the Protection of Electronic Protected Health Information [45 CFR parts 160 and 164]. Department of Health and Human Services, 2003.
7. *The Health Information Technology for Economic and Clinical Health Act (HITECH) Act*, 2009. [Online]. Available: <http://www.hipaasurvivalguide.com/hitech-act-text.php>.
8. ISO 14971. *Application of risk management to medical devices*. The international organization of standardization. 2009.
9. A. Strielkina, O. Illiashenko, M. Zhydenko and D. Uzun, "Cybersecurity of healthcare IoT-based systems: Regulation and case-oriented assessment", *2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, pp. 67-73, 2018. DOI: 10.1109/dessert.2018.8409101.
10. А. А. Стрелкіна, "Інформаційна технологія оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних IoT систем", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, вип. 3, с. 48-54, 2019.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз нормативної бази, методів і засобів оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей. В дисертації поставлено і вирішено актуальне наукове завдання розроблення моделей та методів інформаційної технології забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей з урахуванням атак на вразливості і дефектів програмних та апаратних компонентів, процедур функціонування медичного пристрою.

2. Удосконалено комплекс моделей оцінювання гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей шляхом врахування різних функціональних станів, типів відмов та кібератак, що дає змогу розраховувати показники готовності, функціональної безпеки, кібербезпеки, визначати їх залежність від параметрів медичних мобільних пристроїв та хмарного середовища.

3. Вперше одержано модель функціональної поведінки медичного пристрою, яка, на відміну від відомих, враховує різні закони розподілу часу між заявками на обслуговування, а також різні типи відмов за рівнем критичності, що дозволяє визначити вплив показників медичного пристрою на готовність та гарантоздатність медичної IoT системи в цілому. Результати використання розробленої моделі показали, що граничне значення виконання завдання при експоненційному законі розподілу є верхнім; різниця між значеннями ймовірностей виконання завдання на заданому інтервалі спостереження, визначених з використанням закону Ерланга і експоненційного закону розподілу, зростає з збільшенням порядку закону Ерланга.

4. Набув подальшого розвитку метод забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей шляхом вибору контрзаходів з використанням теорії матричних ігор, що дозволяє вибирати за максіміним критерієм множину засобів захисту. Після використання методу, існує потенціал для зменшення неготовності медичної IoT системи на 200% або в 2 рази.

5. Удосконалено метод кейс-орієнтованої оцінки кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей за рахунок формування профільоутворюючої

бази стандартів та функціональних вимог, а також процедури вибору інструментів оцінювання, що дозволяє підвищити повноту оцінювання.

6. Достовірність отриманих результатів підтверджується обґрунтованістю допущень, коректним обранням математичного апарату та результатами практичних впроваджень.

7. Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що основні наукові положення дисертації реалізовані у виді розрахункових моделей, методів, а також відповідних програмних засобів, які створюють прикладну інформаційну технологію оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей. Розроблені програмні реалізації аналітичних моделей. Використання цих моделей в інформаційній технології підтримки прийняття рішень при оцінюванні і забезпеченні гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей дозволяє мати вагомий інструмент для винесення відповідного рішення.

8. Запропоновані наукові й практичні результати апробовано на наукових конференціях та впроваджено у ТОВ «ХАІ-МЕДИКА» (акт впровадження від 10.09.2019 р.) при проектуванні систем телемедицини першого рівня і моделюванні поведінки медичних систем і оцінюванні гарантоздатності, а також у навчальному процесі Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» та міжнародних проектах SEREIN (543968-TEMPUS-1-2013-1-EE-TEMPUS-JPCR) за програмою Tempus і ALIOT (573818-EPP-1-2016-1-UK-EPPKA2-CBHE-JP) за програмою Erasmus+ (акт впровадження від 04.09.2019р.), при виконанні науково-дослідних робіт за держбюджетною темою “Методи, програмно-апаратні засоби та інформаційні технології розроблення і модернізації гарантоздатних комп'ютерних систем, мереж та IT-інфраструктур” (акт впровадження від 04.09.2019р.).

8. Подальші дослідження доцільно проводити у напрямку вдосконалення комплексу моделей оцінювання гарантоздатності, а також інформаційної технології оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. A. Avizienis, J. Laprie, B. Randell and C. Landwehr, "Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing", *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, vol. 1, no. 1, pp. 11-33, 2004. DOI: 10.1109/tdsc.2004.2.
2. В.С. Харченко, "Гарантоздатні системи та багатоверсійні обчислення: аспекти еволюції", *Радіoeлектронні і комп'ютерні системи*, № 7. С. 46–59, 2009.
3. V. Sklyar, "Application of Reliability Theory to Functional Safety of Computer Control Systems", *Reliability: Theory & Application*, vol. 12, no. 1, pp. 26-37, 2017.
4. ОУ-Н НКАУ 0060:2010. Гарантоздатність програмно-технічних комплексів критичного призначення. Настанова національного космічного агентства України. Галузева система управління якістю, НКАУ, 60 с. 2010.
5. А.В. Горбенко, "Проблемы и задачи создания гарантоспособных сервис-ориентированных web-систем", *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, № 3, С. 171-176, 2013.
6. J. Fitzgerald, C. Ingram and A. Romanovsky, "Concepts of Dependable Cyber-Physical Systems Engineering: Model-Based Approaches", in *Trustworthy Cyber-Physical Systems Engineering*, J. Fitzgerald, C. Ingram and A. Romanovsky, Ed. London: CRC Press, 2016, pp. 1-22.
7. A. Testa, "Dependability assessment of wireless sensor networks with formal methods", Doctor of Philosophy, "Federico II" University of Naples, 2013.
8. S. Bernardi, J. Merseguer and D. Petriu, *Model-driven dependability assessment of software systems*, 1st ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.
9. О.В. Висоцька, "Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень при здійсненні діагностично-лікувальних процесів", дис. докт. техн. наук: 05.13.09, Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем, Київ, 2015.
10. BI Intelligence, "The global market for IoT healthcare tech will top \$400 billion in 2022", 2016. [Online]. Available: www.businessinsider.com/the-global-market-for-iot-healthcare-tech-will-top-400-billion-in-2022-2016-5.

11. U.S. Department of Health and Human Services, "Medical Device Overview", 2018. [Online]. Available: <https://www.fda.gov/industry/regulated-products/medical-device-overview>. Accessed on: December 26, 2018.
12. GMDN Agency, "User Guide", [Online]. Available: www.gmdnagency.com.
13. Кабінет Міністрів України, "Постанова від 9 листопада 2004 р. № 1497. Про затвердження Порядку державної реєстрації медичної техніки та виробів медичного призначення", 2004.
14. J. Healey, N. Pollard, B. Woods, "The healthcare Internet of things: rewards and risks", 2015. [Online]. Available: www.atlanticcouncil.org/wp-content/uploads/2015/03/ACUS_Intel_MedicalDevices.pdf. Accessed on: December 20, 2018.
15. World Healthcare Organization, "Global report on diabetes", 2016, 88 p.
16. M. Verovko, O. Verovko, V. Kazymyr, J. Davies and A. Bhalla, "Body area networks in a medical environment", *2017 Internet Technologies and Applications (ITA)*, 2017. DOI: 10.1109/itecha.2017.8101917.
17. S. M. R. Islam, D. Kwak, M. H. Kabir, M. Hossain and K. Kwak, "The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey," in *IEEE Access*, vol. 3, pp. 678-708, 2015. DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2437951.
18. С.О. Сілін, І.В. Шостак, "Підхід до створення віртуальної мережі між IoT-пристроями, що поєднані трансляцією мережевих адресів", *Системи управління, навігації та зв'язку*, вип. 3(43), С. 114-116, 2017.
19. M.A. Malik, "Internet of Things (IoT) Healthcare Market by Component (Implantable Sensor Devices, Wearable Sensor Devices, System and Software), Application (Patient Monitoring, Clinical Operation and Workflow Optimization, Clinical Imaging, Fitness and Wellness Measurement) - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2014 - 2021 - Market News Biz", *Market News Biz*, 2016, pp. 124.
20. I. Sommerville, *Software Engineering*, 9th ed. Pearson, 2011.
21. "MAUDE - Manufacturer and User Facility Device Experience", *Accessdata.fda.gov*, 2019. [Online]. Available: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfMAUDE/search.CFM>.

22. *Medical devices – Application of risk management to medical devices*, ISO/IEC 14971, Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2007.
23. "Infusion Pumps Total Product Life Cycle", *U.S. Food and Drug Administration*, 2014. [Online]. Available: <https://www.fda.gov/media/78369/download>.
24. Y. Zhang, P. Jones and R. Jetley, "A Hazard Analysis for a Generic Insulin Infusion Pump", *Journal of Diabetes Science and Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 263-283, 2010. DOI: 10.1177/193229681000400207.
25. *Medical devices – Application of risk management to medical devices*, ISO/IEC 14971, Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2007.
26. *Information technology — Security techniques — Guidelines for cybersecurity*, ISO/IEC 27032:2012, Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2012.
27. *Medical device software — Software life cycle processes*, ISO/IEC 62304:2006, Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2006.
28. *Health software — Part 1: General requirements for product safety*, ISO/IEC 62304-1:2006, Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2016.
29. "The HIPAA Privacy Rule", *HHS.gov*, 2019. [Online]. Available: <https://www.hhs.gov/hipaa/for-professionals/privacy>.
30. "The Security Rule", *HHS.gov*, 2019. [Online]. Available: <https://www.hhs.gov/hipaa/for-professionals/security>.
31. "Право на медичну інформацію | Ваше Здоров'я", *Ваше здоров'я*, 2014. [Електроний ресурс]. Доступно: <http://www.vz.kiev.ua/pravo-na-medichnu-informaciyu/>.
32. "Helsi - Питання про реформу", *Reform.helsi.me*, 2018. [Електроний ресурс]. Доступно: <https://reform.helsi.me/faq#yakymy-normatyvno-pravovymy-documentamy-reglamentuetsya-vprovadzhennya-reform>.
33. U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration and Center for Devices and Radiological Health. *Guidance for Industry - Cybersecurity for Networked Medical Devices Containing Off-the-Shelf (OTS) Software*,

2005. [Online]. Available at: www.fda.gov/MedicalDevices/DeviceRegulationandGuidance/GuidanceDocuments/ucm077812.htm.

34. U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration and Center for Devices and Radiological Health. *Content of Premarket Submissions for Management of Cybersecurity in Medical Devices*, 2014. [Online]. Available at: www.fda.gov/downloads/medicaldevices/deviceregulationandguidance/guidancedocuments/ucm356190.pdf.

35. U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration and Center for Devices and Radiological Health. *Postmarket Management of Cybersecurity in Medical Devices*. 2016. [Online]. Available at: www.fda.gov/downloads/MedicalDevices/DeviceRegulationandGuidance/GuidanceDocuments/UCM482022.pdf.

36. M. Rouse, *HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act)*. [Online]. Available at: <http://searchhealthit.techtarget.com/definition/HIPAA>.

37. C. Bhatt and S. Peddoju, *Cloud computing systems and applications in healthcare*, 1st ed. IGI Global, 2016.

38. *NIST Cybersecurity for IoT programs*. [Online]. Available at: <https://www.nist.gov/programs-projects/nist-cybersecurity-iot-program>.

39. *Cloud Computing. Software references*, ISO 50545: 2014. UK, The international organization of standardization, 2014.

40. *Information technology — Cloud computing — Reference architecture*, ISO/IEC 17789:2014. Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2014.

41. IEEE802.15.4 *Low-Rate Wireless Personal Area Networks*. US, IEEE standards association, 2011.

42. ISO/IEC 27033-1:2015 *Preview Information technology -- Security techniques -- Network security*. Geneva, The international organization of standardization, 2015.

43. "Security and privacy controls for federal information systems and organizations", *NIST Special Publication*, rev. 4, pp. 53, 2015.

44. "140-2: Security requirements for cryptographic modules," Information Technology Laboratory, *National Institute of Standards and Technology*, 2001.
45. ISO/ IEC 27018:2014(E). *Protection for personally identifiable information*, Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2014.
46. *Health Level Seven*. [Online]. Available at: <http://www.hl7.org>.
47. Security Standards for the Protection of Electronic Protected Health Information [45 CFR parts 160 and 164]. Department of Health and Human Services, 2009.
48. *The Health Information Technology for Economic and Clinical Health Act (HITECH) Act*, 2009. [Online]. Available at: <http://www.hipaasurvivalguide.com/hitech-act-text.php>.
49. ISO/IEC 27017:2015. *Code of practice for information security controls based on ISO/IEC 27002 for cloud services*. Geneva, The international organization of standardization, 2015.
50. ISO 9001:2015. *Quality management systems — Requirements*. Geneva, The international organization of standardization, 2015.
51. ISO/IEC 9126:2001. *Software engineering -- Product quality*. The international organization of standardization, 2001.
52. ISO/IEC 25010:2011. *Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models*. The international organization of standardization, 2011.
53. *The Healthcare Information and Management Systems Society*. [Online]. Available at: <http://www.himss.org>.
54. "HIPAA Правила конфиденциальности в целях защиты информации о физическом и психическом здоровье пациентов", 2017. [Электронный ресурс]. Доступно: https://www.omh.ny.gov/omhweb/russian/hipaa/phi_protection.pdf.
55. "Обзор и сравнение существующих методов управления доступом", *Ict.nsc.ru*, 2016. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.ict.nsc.ru/ws/YM2003/6312/>.

56. А.М. Ажмухамедов, *Решение задач обеспечения информационной безопасности на основе системного анализа и нечеткого когнитивного моделирования*. Астрахань, 2015.
57. В.Н. Волкова, *Теория информационных процессов и систем*. Издательство Юрайт, 502 с., 2014.
58. І.В. Стеценко, *Моделювання систем*. Черкаси, 2010.
59. Т. Алиев, *Основы моделирования дискретных систем*. Санкт-Петербург, 2009.
60. G. Greefrath and K. Vorhölter, "Teaching and Learning Mathematical Modelling: Approaches and Developments", *ICME-13 Topical Surveys*, pp. 1-42, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-45004-9_.
61. D. Chumachenko, A. Turiy and A. Chukhray, "Application of Statistical Simulation for Measles Epidemic Process Forecasting", *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, 2019. DOI: 10.1109/ukrcon.2019.8879897.
62. S. Lupenko, H. Osukhivska, N. Lutsyk, N. Stadnyk, A. Zozulia and N. Shablii, "The comparative analysis of mathematical models of cyclic signals structure and processes", *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*, pp. 115-127, № 2 (82), 2016.
63. R. Margetts, "A Mixed-Boolean Hybrid Mathematical Model with Discontinuous States", *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, no. 1, pp. 5800-5805, 2017. DOI: 10.1016/j.ifacol.2017.08.510.
64. IEC 60300-3-1:2003. *Dependability management - Part 3-1: Application guide - Analysis techniques for dependability - Guide on methodology*. IEC, Switzerland, 2003.
65. Y. Chen, Z. Zhen, H. Yu and J. Xu, "Application of Fault Tree Analysis and Fuzzy Neural Networks to Fault Diagnosis in the Internet of Things (IoT) for Aquaculture", *Sensors*, vol. 17, no. 12, pp. 153-168, 2017. DOI: 10.3390/s17010153.
66. A. Lewiński, T. Perzyński and L. Bester, "Computer aided safety analysis of railway control systems ", *Journal of KONBiN*, vol. 26, no. 1, pp. 137-150, 2013. DOI: 10.2478/jok-2013-0089.

67. K. Keefe and W. Sanders, "Reliability Analysis with Dynamic Reliability Block Diagrams in the Möbius Modeling Tool", *Proceedings of the 9th EAI International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools*, p. 6, 2016. DOI: 10.4108/eai.14-12-2015.2262723.
68. H. Azizpour and M. Lundteigen, "Analysis of simplification in Markov-based models for performance assessment of Safety Instrumented System", *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 183, pp. 252-260, 2019. DOI: 10.1016/j.ress.2018.09.012.
69. E. Ciortea, "IoT analysis of manufacturing using Petri Nets", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 400, pp. 400-406, 2018. DOI: 10.1088/1757-899x/400/4/042010.
70. A. Asllani, A. Lari and N. Lari, "Strengthening information technology security through the failure modes and effects analysis approach", *International Journal of Quality Innovation*, vol. 4, no. 1, 2018. DOI: 10.1186/s40887-018-0025-1.
71. B. Russell and D. Van Duren, *Practical internet of things security*, 2nd ed. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2018, pp. 90-101.
72. R. Johar, E. Fakieh, R. Allagani and S. Qaisar, "A smart home appliances control system based on digital electronics and GSM network", *2018 15th Learning and Technology Conference (L&T)*, pp. 52-58, 2018. DOI: 10.1109/lt.2018.8368485.
73. G. Mauri and S. Scheer, "Constructing Reliable Embedded Systems Using the Results of System Safety Analysis", *Reliable Software Technologies Ada-Europe 2000*, pp. 173-184, 2000. DOI: 10.1007/10722060_17.
74. D. Nicol, W. Sanders and K. Trivedi, "Model-based evaluation: from dependability to security", *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, vol. 1, no. 1, pp. 48-65, 2004. DOI: 10.1109/tdsc.2004.11.
75. U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Devices and Radiological Health, Office of Device Evaluation. *Applying Human Factors and Usability Engineering to Medical Devices: Guidance for Industry and Food and Drug Administration Staff*, 2016.

76. U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Drug Evaluation and Research Center for Biologics Evaluation and Research. *Guidance for Industry: Q9 Quality Risk Management*, 2006.

77. V. Nagaraju, L. Fiondella and T. Wandji. "A survey of fault and attack tree modeling and analysis for cyber risk management", *Proceedings of the IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST)*, pp. 1–6, 2017.

78. M. Lyons, S. Adams, M. Woloshynowych and C. Vincent. "Human reliability analysis in healthcare: a review of techniques", *International Journal of Risk and Safety in Medicine*, v. 16, pp. 223–237, 2004.

79. L. Cui and C. Fang, "Reliability-Game Theory", *Advances in System Reliability Engineering*, pp. 77-115, 2019. DOI: 10.1016/b978-0-12-815906-4.00003-8.

80. X. Zhang and S. Mahadevan, "A Game Theoretic Approach to Network Reliability Assessment", *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 66, no. 3, pp. 875-892, 2017. DOI: 10.1109/tr.2017.2717186.

81. X. Liang and Y. Xiao, "Game Theory for Network Security", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 15, no. 1, pp. 472-486, 2013. DOI: 10.1109/surv.2012.062612.00056.

82. П. Арьков, "Разработка комплекса моделей для выбора оптимальной системы защиты информации в информационной системе организации", Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, ГОУ ВПО Волгоградский государственный университет, 2014.

83. K. Chung, C. A. Kamhoua, K. A. Kwiat, Z.T. Kalbarczyk, and R.K. Iyer "Game Theory with Learning for Cyber Security Monitoring", *2016 IEEE 17th International Symposium on High Assurance Systems Engineering (HASE)*, 2016. DOI: 10.1109/hase.2016.4.

84. W. Saad, T. Alpcan, T. Basar and A. Hjorungnes, "Coalitional Game Theory for Security Risk Management", *2013 Fifth International Conference on Internet Monitoring and Protection*, 2013. DOI: 10.1109/icimp.2013.14.

85. В.С. Харченко, В.В. Скляр, Е.В. Брежнев. *Безопасность информационно-управляющих систем и инфраструктур*. 2013. 528 с.

86. Ю.Я. Бобало, Б.Ю. Волочий, О.Ю. Лозинський, Б.А. Мандзій, Л.Д.Озірковський, Д.В. Федасюк, С.В. Щербовських, В.С. Яковина. *Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем: монографія*, Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013, 300 с.
87. G. Bolch, S. Greiner, H. de Meer and K. Trivedi, *Queueing networks and Markov chains*. Hoboken, N.J.: Wiley, 2006.
88. В.С. Харченко, В.О. Бутенко, О.Н. Одарущенко. "Метрико-интервальные модели и инструментальные средства для оценивания готовности информационно-управляющих систем с использованием марковских процессов", *Системи обробки інформації*, № 9(125), С. 59-64, 2014.
89. M. Boyd, *An Introduction to Markov Modeling: Concepts and Uses*, 1st ed. Anaheim, California: Tutorial at the RAMS, 1998, pp. 1-26.
90. N. Fugua. "The Applicability of Markov Analysis Methods to Reliability, Maintainability, and Safety", *Reliability Analysis Center START Sheet*, vol.10(2), pp. 1-8, 2003.
91. K. Goševa-Popstojanova and K. Trivedi, "Stochastic Modeling Formalisms for Dependability, Performance and Performability", *Performance Evaluation: Origins and Directions*, pp. 403-422, 2000. DOI: 10.1007/3-540-46506-5_17.
92. D. M. Nicol, W. H. Sanders, K.S. Trivedi, "Model-based evaluation: From dependability to security", *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, vol. 01, no. 1, pp. 48-65, (2004). DOI: 10.1109/TDSC.2004.11.
93. V. Butenko, V. Kharchenko, E. Odarushenko, and D. Butenko, "Metric-based approach and tool for modeling the I&C system using Markov chains," in *Proceedings of ICONE-23 23rd International Conference on Nuclear Engineering*, Chiba, Japan, 2015, p. 9. DOI: 10.1299/jsmeicone.2015.23._ICONE23-1_279.
94. P. Feiler, J. Goodenough, A. Gurfinkel, C. Weinstock, Lutz Wrage, "Four Pillars for Improving the Quality of Safety-Critical Software-Reliant Systems", *Software Engineering Institute*, p.1-17, 2003.

95. P. G. Bishop, R. E. Bloomfield, "A Methodology for Safety Case Development", *Industrial Perspectives of Safety-critical Systems: Proceedings of the Sixth Safety-critical Systems Symposium*, p.194-203, 1998.

96. J. Rushby, "The Interpretation and Evaluation of Assurance Cases", 2015.

97. В. С. Харченко та Е. І. Неткачева, *Case-оценка критических программных систем. Харьков, Украина: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*, 2012.

98. А.О. Орехова, "Моделі, методи та інформаційна технологія оцінки якості людино-машинних інтерфейсів інформаційно-управляючих систем": дис. канд. техн. наук: 05.13.06, Нац. аэрокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, 2014.

99. Е.И. Неткачева, "Методы и информационная технология функциональной безопасности ИУС с использованием формальных нотаций", дис. канд. техн. наук : 05.13.06, Нац. аэрокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, 2013.

100. А.О. Федосеева, "Моделі і методи інформаційної технології оцінювання якості програмного забезпечення автоматизованих робочих місць для виробництва лікарських препаратів", дис. канд. техн. наук : 05.13.06, Нац. аэрокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, 2018.

101. *Functional safety - Safety related systems, ISO/IEC 1508*, Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 1995.

102. *Committee No.65: Industrial Process Measurement and Control*, Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 2010.

103. "Dependability Assessment of Software for Safety Instrumentation and Control Systems at Nuclear Power Plants", International atomic energy agency, Vienna, 2018.

104. Н. П. Бусленко, *Моделирование сложных систем*. М.: Наука, 1978, 399 с.

105. Б. Я. Советов, С. А. Яковлев, *Моделирование систем: учеб. для вузов*. М.: Высш. Шк., 1985, 271 с.

106. В. П. Сигорский, *Математический аппарат инженера*. К.: Техніка, 1975, 768 с.

107. В. С. Харченко, И. В. Лысенко, *Теория систем и системный анализ*. Х.: НАУ «ХАИ», 2003, 130 с.
108. E. Hairer, G. Wanner, *Solving Ordinary Differential Equations II: Stiff and Differential Algebraic Problems*. Springer, 2010, 631 p.
109. А. Г. Кремлев, *Основные понятия теории игр: учебное пособие*. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016, 144 с.
110. Т.И. Лапина, *Методы и технологии объектно-ориентированного программирования*, ЮЗГУ, 2011.
111. В. Дубейковский. *Практика функционального моделирования с ALLFusion Process Modeler 4.1*. М.: Диалог-МИФИ, 2004. – 464 с.
112. А. А. Стрелкіна, Д. Д. Узун, “Забезпечення кібербезпеки медичних систем: виклики і рішення в контексті Інтернету речей”, *Радіoeлектронні і комп’ютерні системи*, № 1, с. 44–50, 2017.
113. А. С. Андрійчук, А. А. Стрелкіна, “Розроблення моделі керування доступом до приватної медичної інформації”, *Радіoeлектронні і комп’ютерні системи*, № 2, с. 26–32, 2018.
114. Д. Э. Ляхов, А. А. Стрелкина, Д. Д. Узун, “Анализ методов и средств оценивания и обеспечения кибербезопасности IoT системы“, *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр.*, Харьков, вып. 80, с. 182-193, 2018.
115. A. Strielkina and D. Uzun, “Researching the Applicability of Mathematical Approaches for Modeling Cyber Security Processes”, *PhD Symposium at 13th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications ICTERI 2018 co-located with 14th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications (ICTERI 2017)*, pp. 29-35, 2017.
116. А. А. Стрелкина, "Исследование подходов к обеспечению кибербезопасности медицинских систем в контексте интернета вещей", *Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп’ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2016*, Харків: Нац. аерокосм. ун-т "ХАИ", Том 2, с.286-287, 2016.

117. М. О. Жиденко, А. А. Стрелкіна, "Дослідження нормативних документів щодо ризиків кібербезпеки медичних пристроїв", *Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі»*, с. 94, 2017.

118. R.Rafeh, and A. Rabiee, "Towards the Design of Safety-Critical Software", *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 11 (5), pp. 683-694, 2014. DOI: 10.1016/S1665-6423(13)71576-1.

119. D. C. Klonoff, and J. S.Reyes, "Insulin Pump Safety Meeting: Summary Report", *Journal of Diabetes Science and Technology*, vol. 3(2), pp. 396-402, 2009. DOI: 10.1177/193229680900300224.

120. A. Guenego, G. Bouzillé, S. Breitel, A. Esvant, J.-Y Poirier, "Insulin Pump Failures: Has There Been an Improvement? Update of a Prospective Observational Study", *Diabetes Technology and Therapeutics*, vol. 18 (12). Mary Ann Liebert, pp.820-824, 2016. DOI: 10.1089/dia.2016.0265.

121. Reliability Pillar. *AWS Well-Architected Framework*. Amazon Web Services, p. 45, 2018.

122. M. Yanovsky, O. Yanovskaya, V. Kharchenko, "Analysis of Methods for Providing Availability and Accessibility of Cloud Services", *2016 12th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer*, pp. 414-426, 2016.

123. Cloud Computing Vulnerability Incidents: A Statistical Overview. *Cloud Vulnerabilities Working Group*, p. 21, 2013.

124. *McAfee Labs Threat Report*, December 2017, 13 p.

125. M. Abomhara, and G. M. Kien, "Cyber Security and the Internet of Things: Vulnerabilities,Threats, Intruders and Attacks", *J. Cyber Secur. Mobil*, vol. 4, no. 1, 2014, pp. 65-88. DOI: 10.13052/jcsm2245-1439.414.

126. M. Farooq, M. Waseem, A. Khairi, and S. Mazhar, "A Critical Analysis on the Security Concerns of Internet of Things (IoT)", *International Journal of Computer Applications*, vol. 111, 2015, 6 p. DOI: 10.5120/19547-1280.

127. M. Nawir et al., "Internet of Things (IoT): Taxonomy of security attacks", *3rd International Conference on Electronic Design*, pp. 321-326, 2016. DOI:10.1109/ICED.2016.7804660.
128. A. Humayed, J. Lin, F. Li and B. Luo, "Cyber-Physical Systems Security—A Survey", *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, no. 6, pp. 1802-1831, 2017. DOI: 10.1109/JIOT.2017.2703172.
129. "Kaspersky security bulletin: overall statistics for 2017," *Kaspersky Lab*, 29 p., 2017.
130. The State of Industrial Cybersecurity 2017," *The Business Advantage Group Limited*, 23 p., 2017.
131. G. Bell, and M. Ebert, "Health care and cyber security: Increasing Threats Require Increased Capabilities," *KPMG International*, USA, 7 p., 2015.
132. A. Le Bris, W. El Asri, "State of cybersecurity & cyber threats in healthcare organizations," *Essec Business School*, 12 p., 2016.
133. "The state of cybersecurity in healthcare organizations in 2016," *Ponemone Institute*, 32 p., 2016.
134. A. Strielkina, D. Uzun and V. Kharchenko, "Modelling of healthcare IoT using the queueing theory", *2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, pp. 849-852, 2017. DOI: 10.1109/idaacs.2017.8095207.
135. A. Strielkina, D. Uzun, V. Kharchenko and A. Tetskyi, "Modeling and Availability Assessment of Mobile Healthcare IoT Using Tree Analysis and Queueing Theory", in *Dependable IoT for Human and Industry: Modeling, Architecting, Implementation*, River Publishers, 2018, pp. 105-126.
136. A. Streilkina, V. Kharchenko and D. Uzun, "A Markov Model of Healthcare Internet of Things System Considering Failures of Components", *14th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer*, p. 14, 2018.
137. A. Strielkina, V. Kharchenko and D. Uzun, "Availability Models of the Healthcare Internet of Things System Taking into Account Countermeasures

Selection", *Information and Communication Technologies in Education, Research, and Industrial Applications*, vol 1007, pp. 220-242, 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-13929-2_11.

138. А. А. Стрелкіна, А. Г. Тецький, О. А. Ілляшенко, "Аналіз можливостей використання вільного програмного забезпечення R для задач моделювання", *Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2017*, Харків: Нац. аерокосм. ун-т "ХАІ", Том 2, с.233, 2017.

139. А. А. Стрелкіна, "Розроблення моделей готовності IoT систем в галузі охорони здоров'я", *Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2018*, Харків: Нац. аерокосм. ун-т "ХАІ", Том 2, с.197, 2018.

140. Y. Chen, M. Lawford, H. Wang and A. Wassying, "Insulin Pump Software Certification", *Foundations of Health Information Engineering and Systems*, pp. 87-106, 2014. DOI: 10.1007/978-3-642-53956-5_7.

141. "The Generic Infusion Pump (GIP). A workbench for improving safety, security and usability of medical systems", *Real Time Systems Group*. Available: <https://rtg.cis.upenn.edu/gip/#Requirements>.

142. D. Fedasyuk and S. Volochiy, "Method of developing the structural-automaton models of fault-tolerant systems", *2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)*, pp. 22-26, 2017. DOI: 10.1109/cadsm.2017.7916076.

143. Д. Мартин, *Системный анализ передачи данных*. Москва: Мир, 1975, с. 58-59.

144. С.Б. Волочій, "Математичне та програмне забезпечення для дискретно-неперервного стохастичного моделювання відмовостійких програмно-технічних комплексів", Дисертація на здобуття наукового ступеня: кандидата технічних наук, Національний університет Львівська політехніка, 2018.

145. S. Volochiy, D. Fedasyuk and R. Chohey, "Formalized development of the state transition graphs using the Erlang phase method", *2017 9th IEEE International*

Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), 2017. DOI: 10.1109/idaacs.2017.8095255.

146. A. Strielkina, A. Tetskyi, B. Selin, O. Solovyov, D. Uzun, "Service for Vulnerabilities Analysis and Security Assessment of Open Source Systems", *CERes Journal*, Volume 1, Issue 2, pp. 53-64, 2015.

147. М. А. Тынкевич, *Экономико-математические методы (исследование операций)*, 2-е изд., Кемерово, 2012, 177 с.

148. A. Strielkina, S. Volochiy and V. Kharchenko, "Discrete-Continuous Stochastic Model of Insulin Pump Functioning for Health IoT System Using Erlang Phase Method", *5th International Workshop on Theory of Reliability and Markov Modeling for Information Technologies (TheRMIT 2019)*, pp. 794-809, 2019.

149. A. Strielkina, B. Volochiy and V. Kharchenko, "Model of Functional Behavior of Healthcare Internet of Things Device", *2019 10th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, pp. 63-69, 2019. DOI: 10.1109/dessert.2019.8770020.

150. A. Strielkina, V. Kharchenko and D. Uzun, "Availability Models of the Healthcare Internet of Things System Taking into Account Countermeasures Selection", *Information and Communication Technologies in Education, Research, and Industrial Applications*, vol 1007, pp. 220-242, 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-13929-2_11.

151. A. Strielkina, O. Illiashenko, M. Zhydenko and D. Uzun, "Cybersecurity of healthcare IoT-based systems: Regulation and case-oriented assessment", *2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, pp. 67-73, 2018. DOI: 10.1109/dessert.2018.8409101.

152. А. А. Стрелкіна, "Інформаційна технологія оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних IoT систем", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, вип. 3, с. 48-54, 2019.

ДОДАТОК А.
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

1. A. Strielkina, D. Uzun, V. Kharchenko and A. Tetskyi, "Modeling and Availability Assessment of Mobile Healthcare IoT Using Tree Analysis and Queueing Theory", in *Dependable IoT for Human and Industry: Modeling, Architecting, Implementation*, River Publishers, 2018, pp. 105-126.

2. A. Strielkina, V. Kharchenko and D. Uzun, "Availability Models of the Healthcare Internet of Things System Taking into Account Countermeasures Selection", *Information and Communication Technologies in Education, Research, and Industrial Applications*, vol 1007, pp. 220-242, 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-13929-2_11.

3. A. Strielkina, A. Tetskyi, B. Selin, O. Solovyov, D. Uzun, "Service for Vulnerabilities Analysis and Security Assessment of Open Source Systems", *CERes Journal*, Volume 1, Issue 2, pp. 53-64, 2015.

4. А. А. Стрелкіна, Д. Д. Узун, "Забезпечення кібербезпеки медичних систем: виклики і рішення в контексті Інтернету речей", *Радіoeлектронні і комп'ютерні системи*, № 1, с. 44–50, 2017.

5. А. С. Андрійчук, А. А. Стрелкіна, "Розроблення моделі керування доступом до приватної медичної інформації", *Радіoeлектронні і комп'ютерні системи*, № 2, с. 26–32, 2018.

6. Д. Э. Ляхов, А. А. Стрелкина, Д. Д. Узун, "Анализ методов и средств оценивания и обеспечения кибербезопасности IoT системы", *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр.*, Харьков, вып. 80, с. 182-193, 2018.

7. А. А. Стрелкіна, "Інформаційна технологія оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних IoT систем", *Радіoeлектронні і комп'ютерні системи*, №. 3(91), с. 48-54, 2019.

8. A. Strielkina and D. Uzun, "Researching the Applicability of Mathematical Approaches for Modeling Cyber Security Processes", *PhD Symposium at 13th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications*

ICTERI 2018 co-located with 14th International Conference on ICT in Education, Research, and Industrial Applications (ICTERI 2017), pp. 29-35, 2017.

9. A. Strielkina, D. Uzun and V. Kharchenko, "Modelling of healthcare IoT using the queueing theory", *2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, pp. 849-852, 2017. DOI: 10.1109/idaacs.2017.8095207.

10. A. Streilkina, V. Kharchenko and D. Uzun, "A Markov Model of Healthcare Internet of Things System Considering Failures of Components", *14th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer*, p. 14, 2018.

11. A. Strielkina, O. Illiashenko, M. Zhydenko and D. Uzun, "Cybersecurity of healthcare IoT-based systems: Regulation and case-oriented assessment", *2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, pp. 67-73, 2018. DOI: 10.1109/dessert.2018.8409101.

12. A. Strielkina, S. Volochiy and V. Kharchenko, "Discrete-Continuous Stochastic Model of Insulin Pump Functioning for Health IoT System Using Erlang Phase Method", *5th International Workshop on Theory of Reliability and Markov Modeling for Information Technologies (TheRMIT 2019)*, pp. 794-809, 2019.

13. A. Strielkina, B. Volochiy and V. Kharchenko, "Model of Functional Behavior of Healthcare Internet of Things Device", *2019 10th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, pp. 63-69, 2019. DOI: 10.1109/dessert.2019.8770020.

14. А. А. Стрелкина, "Исследование подходов к обеспечению кибербезопасности медицинских систем в контексте интернета вещей", *Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2016*, Харків: Нац. аерокосм. ун-т "ХАІ", Том 2, с.286-287, 2016.

15. М. О. Жиденко, А. А. Стрелкіна, "Дослідження нормативних документів щодо ризиків кібербезпеки медичних пристроїв", *Міжнародна науково-практична*

конференція «Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі», с. 94, 2017.

16. А. А. Стрелкіна, А. Г. Тецький, О. А. Ілляшенко, "Аналіз можливостей використання вільного програмного забезпечення R для задач моделювання", *Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2017*, Харків: Нац. аерокосм. ун-т "ХАІ", Том 2, с.233, 2017.

17. А. А. Стрелкіна, "Розроблення моделей готовності IoT систем в галузі охорони здоров'я", *Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2018*, Харків: Нац. аерокосм. ун-т "ХАІ", Том 2, с.197, 2018.

ДОДАТОК Б.

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ



Товариство з обмеженою відповідальністю
«ХАІ-МЕДИКА»

Україна, 61070, м. Харків, а/с 9859 Тел/факс (057) 315 - 11 - 86,
E-mail: info@xai-medica.com, , <http://www.xai-medica.com>

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ результатів дисертаційної роботи Стрелкіної Анастасії Андріївни на здобуття освітньо-наукового ступеня доктора філософії

Комісія у складі доцента, к.т.н. Шаронова В.Б., с.н.с., к.ф.-м.н. Кириченко В.О., м.н.с. Печеніна О.В. встановила, що результати наукових досліджень Стрелкіної Анастасії Андріївни, а саме:

- модель функціональної поведінки медичного пристрою, яка враховує різні закони розподілу часу між заявками на обслуговування, а також різні типи відмов за рівнем критичності, що дозволяє визначити вплив показників медичного пристрою на готовність та гарантоздатність в цілому;
- метод кейс-орієнтованої оцінки кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей за рахунок формування профільуютьуючої бази стандартів та функціональних вимог, а також процедури вибору інструментів оцінювання, що дозволяє підвищити повноту оцінювання

були використані у ТОВ «ХАІ-МЕДИКА» при проектуванні систем телемедицини першого рівня і моделюванні поведінки медичних систем і оцінюванні гарантоздатності. Це дозволило автоматизувати процес моделювання функціональної поведінки медичного пристрою на етапі проектування, розробки і оцінювання, а також зменшити терміни проведення оцінювання та надати рекомендації щодо забезпечення гарантоздатності і вибору інструментів оцінювання.

Голова комісії

доцент, к.т.н., Шаронов В.Б.

Члени комісії

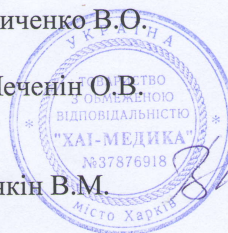
с.н.с., к.ф.-м.н. Кириченко В.О.

м.н.с. Печенін О.В.

Директор ТОВ «ХАІ-МЕДИКА»

Кожемякін В.М.

10.09.2019р.



ЗАТВЕРДЖУЮ

Помічник ректора із забезпечення якості освіти
Національного аерокосмічного університету
ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

к.т.н., професор

Ю.А. Воробйов

« 04 » 09 2019 р.



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

наукових результатів дисертаційної роботи Стрелкіної Анастасії Андріївни
виконаної на здобуття наукового ступеня доктора філософії
у навчальному процесі та при виконанні міжнародних проектів

Комісія у складі голови – декана факультету радіоелектроніки, комп'ютерних систем та інфокомунікацій к.т.н., доцента Одокієнка О.В., членів к.т.н., професора кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки Орехова О.О., к.т.н., професора кафедри Фурманова К.К., к.т.н., доцента кафедри Плахтєєва А.П. встановила, що результати наукових досліджень Стрелкіної Анастасії Андріївни, а саме:

1) комплекс моделей оцінювання гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей шляхом врахування різних функціональних станів, типів відмов та кібератак, що дає змогу розраховувати показники готовності, функціональної безпеки, кібербезпеки, визначати їх залежність від параметрів медичних пристроїв та хмарного середовища;

2) модель функціональної поведінки медичного пристрою, яка враховує різні закони розподілу часу між заявками на обслуговування, а також різні типи відмов за рівнем критичності, що дозволяє визначити вплив показників медичного пристрою на готовність та гарантоздатність в цілому;

3) метод забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей шляхом вибору контрзаходів з використанням теорії матричних ігор, що дозволяє вибирати за максіміним критерієм множину засобів захисту;

4) метод кейс-орієнтованої оцінки кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей за рахунок формування профільуютьуючої бази стандартів та функціональних вимог, а також процедури вибору інструментів оцінювання, що дозволяє підвищити повноту оцінювання

було впроваджено у навчальному процесі кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки у вигляді лекцій та практичних занять з методів оцінювання та забезпечення гарантоздатності критичних систем, що функціонують в середовищі Інтернету речей, у навчальній дисципліні «Технології розроблення та забезпечення функціональної безпеки ІУС» (4 години лекцій та 6 годин практичних занять),

а також у наступних міжнародних проектах транс'європейської програми взаємообмінів між університетам TEMPUS і ERASMUS+ за фінансування Європейського Союзу:

– Модернізація курсів для підготовки магістрів, аспірантів та підвищення кваліфікації фахівців у сфері інформаційної безпеки «SEREIN» (Modernization of postgraduate studies on security and resilience for human and industry related domains «SEREIN»), 2013-2016 рр., зокрема навчально-методичного забезпечення курсу «Методи, інструменти та обґрунтування гарантій для безпечних та стійких обчислень»;

– Інтернет речей: нова навчальна програма для потреб промисловості і суспільства «ALIOT» (Internet of Things: Emerging Curriculum for Industry and Human Applications «ALIOT»), 2016-2019 рр., зокрема навчально-методичного забезпечення курсу «Інтернет речей для медичних систем».

Це дозволило впровадити у навчальний процес нові науково-технічні досягнення, покращити наочність, фундаментальність та практичну спрямованість навчального процесу, підвищити якість виконання наукових процесів, а також покращити міжнародні зв'язки університету у галузі підготовки фахівців і наукового співробітництва.

Голова комісії

Члени комісії

О.В. Одокієнко

О.О. Орехов

К.К. Фурманов

А.П. Плахтєєв

04 09 2019 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Національного аерокосмічного університету
ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

д.т.н., професор

В. В. Павлюков

2019 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

наукових результатів дисертаційної роботи Стрелкіної Анастасії Андріївни,
виконаної на здобуття наукового ступеня доктора філософії
при виконанні держбюджетних проектів

Комісія у складі голови – декана факультету радіоелектроніки, комп'ютерних систем та інфокомунікацій, к.т.н. Одокієнка О. В., членів –доцента кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки, к.т.н., доцента, А.В. Шостака, доцента кафедри, к.т.н., доцента А. В. Боярчука, доцента кафедри, к.т.н., доцента Лисенка І. В. встановила, що результати наукових досліджень Стрелкіної Анастасії Андріївни, а саме:

1) комплекс моделей оцінювання гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей шляхом врахування різних функціональних станів, типів відмов та кібератак, що дає змогу розраховувати показники готовності, функціональної безпеки, кібербезпеки, визначати їх залежність від параметрів медичних пристроїв та хмарного середовища;

2) модель функціональної поведінки медичного пристрою, яка враховує різні закони розподілу часу між заявками на обслуговування, а також різні типи відмов за рівнем критичності, що дозволяє визначити вплив показників медичного пристрою на готовність та гарантоздатність в цілому;

3) метод забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей шляхом вибору контрзаходів з використанням теорії матричних ігор, що дозволяє вибирати за максіміним критерієм множину засобів захисту;

4) метод кейс-орієнтованої оцінки кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей за рахунок формування профільуютьовуючої бази стандартів та функціональних вимог, а також процедури вибору інструментів оцінювання, що дозволяє підвищити повноту оцінювання

було впроваджено у науково-дослідницькій роботі кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки у вигляді теоретичних положень, використаних при виконанні НДР:

Методи, програмно-апаратні засоби та інформаційні технології розроблення і модернізації гарантоздатних комп'ютерних систем, мереж та IT-інфраструктур (Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», ДР №0117U005349, 2018-2020 рр.).

Це дозволило підвищити якість виконання НДР щодо розроблення та впровадження сучасних методів оцінювання та забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей.

Голова комісії

О. В. Одокієнко

Члени комісії

А. В. Шостак

А. В. Боярчук

І. В. Лисенко

04 09 2019 р.

ДОДАТОК В.

АНАЛІЗ РІВНЕЙ ВИМОГ ДО МЕДИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТУ
РЕЧЕЙ

У відповідності до ієрархічної моделі нормативних документів (рис. 1.13), можна виділити наступні рівні вимог

Фізичний рівень. Даний рівень включає в себе стандарти призначені для середовища Інтернету речей в загалі, а не тільки для медичних пристроїв:

- програма забезпечення кібербезпеки IoT від NIST сприяє розробці та використанню різних типів методів регулювання для підвищення безпеки пристроїв та IoT середовища, в якому вони розміщені. Співпрацюючи з зацікавленими сторонами в уряді, галузі, міжнародних органах та наукових колах, програма спрямована на виховання довіри та сприяння створенню середовища, що сприяє інноваціям [38];

- ISO/IEC 17789:2014 визначає еталону архітектуру хмарних обчислень Це включає в себе ролі, діяльності, функціональні елементів і зв'язків між ними в хмарних обчисленнях [39, 40];

- IEEE 802.15.4 визначає фізичний рівень та контроль доступу для низькочастотних бездротових персональних мереж. Він підтримується робочою групою IEEE 802.15. Найпопулярніші бездротові специфікації засновані на ньому. Крім того, його можна використовувати з 6LoWPAN та найпоширенішими протоколами для формування бездротового вбудованого Інтернету [41].

Мережевий рівень. Нормативні документи даного рівня призначені для забезпечення безпеки мережі, яка включає в себе пристрої, захист керуючої діяльності, пов'язаної з пристроями, застосунками/сервісами та кінцевими користувачами (пацієнтами) – ISO 27033 [42] і являє собою засоби управління безпекою та пов'язані з ними процедури оцінки – NIST 800-53 [43].

Рівень сервісів. Даний рівень забезпечує стандартами щодо хмарних і сервісних конфігурацій, таких як FIPS 140-2 [44] для статичних даних, ISO 27018 [45] для захисту даних у хмарі та Health Level 7 [46] для передачі медичних даних

між використовуваними програмними застосунками різними постачальниками. Відповідність до ISO 27018 [45] гарантує системний підхід до захисту даних і доводить, що постачальник – «свідомий громадянин» у хмарній екосистемі. На цьому рівні відбувається зберігання та обробка даних.

Зверху ієрархічної моделі представлені три рівня, які пов'язані з управлінням безпекою, оцінкою ризиків та захистом ПМД як високорівневою складовою. Представлені там нормативні документи пояснюють, як працювати з секретними медичними даними (HIPAA [30, 31, 47]), як організувати безпеку в сфері охорони здоров'я та медичних системах (Інформаційні технології охорони здоров'я для економічного і клінічного здоров'я (англ. Health Information Technology for Economic and Clinical Health, HITECH) [48], ISO 27017 [49]) та як зменшити ризики, пов'язані з життям людини.

Рівень керування безпекою. Даний рівень дає керівні вказівки та рекомендації керівництва щодо аспектів безпеки хмарних обчислень (ISO 27017 [49]), поліпшення якості, безпеки та ефективності сфери охорони здоров'я, тестування (HITECH) та системи управління якістю (ISO 9001 [50]).

Рівень оцінки ризиків. Даний рівень включає в себе стандарти оцінки якості (ISO/IEC 9126 [51, 52]), управління ризиками для медичних виробів (ISO 14971 [16]) та відповідність вимогам суспільства інформаційних та керуючих систем охорони здоров'я (англ. Healthcare Information and Management Systems Society, HIMSS) [53].

Рівень захисту ПМД. Даний рівень складається з правил, що встановлюють політику та процедури збереження конфіденційності та безпеки інформації про здоров'я, що визначається індивідуально, окреслює можливі атаки на сферу медицини та встановлює цивільні та кримінальні покарання.

Відповідно до [29], правило конфіденційності забезпечує федеральний захист персональної інформації, що використовується медичними організаціями, і надає пацієнтам сукупність прав щодо цієї інформації, а також дозволяє розкривати персональну інформацію про здоров'я, необхідну для лікування пацієнтів та

використання в інших важливих цілях. Предметом захисту є персональні медичні дані пацієнта, які включають в себе:

- інформація про фізичне та психічне здоров'я пацієнта;
- історія його звернень до медичних установ;
- фінансова інформація щодо медичних послуг (наприклад, страхові внески);
- особисті дані пацієнта, за допомогою яких можна будь-яким чином ідентифікувати відповідну особистість.

НІРАА дозволяє використовувати правило «Необхідного мінімуму» [54] при проектуванні систем, які задовольняють усі вимоги конфіденційності. Тобто, система повинна докласти всі необхідні зусилля, щоб використовувати, вимагати або розкривати тільки той мінімум інформації, котрій необхідний для досягнення мети.

Правило безпеки «визначає ряд адміністративних, фізичних і технічних заходів, які повинні виконувати медичні організації для забезпечення конфіденційності, цілісності та доступності електронної інформації про здоров'я, що захищається» [55]. Правило безпеки вимагає, щоб медичні заклади, які зберігають або передають дані в цифровій формі, приймали відповідні заходи захисту адміністративного, технічного та фізичного характеру:

- для забезпечення цілісності і конфіденційності інформації о пацієнтах;
- для відображення будь-яких загроз, спрямованих на дані;
- для попередження несанкціонованого доступу до даних, що захищаються;
- для загального контролю дотримання вимог правил службовцями.

Підтримка відповідності вимог до правил НІРАА є безперервним процесом, який надає можливість забезпечити усесторонню безпеку даних організації, проводячи періодичні оцінки ризиків. Невиконання вимог вищеописаних правил веде до отримання штрафів, в'язниці та судових процесів.

ДОДАТОК Г.

ЛІСТИНГИ ПРОГРАМНОГО КОДУ МОДЕЛЕЙ

Г.1. Скрипт моделі, що описує атаку на одну вразливість (з зупинкою)

```

library(expm)
library(markovchain)
library(diagram)
library(pracma)

tmA <- matrix(c( .7, .1, 0, 0, .2, 0, 0, 0,
  .1, .633, .067, 0, 0, .2, 0, 0,
  0, .2, .567, .033, 0, 0, .2, 0,
  0, 0, .3, .5, 0, 0, 0, .2,
  .9, 0, 0, 0, .1, 0, 0, 0,
  0, .9, 0, 0, 0, .1, 0, 0,
  0, 0, .9, 0, 0, 0, .1, 0,
  0, 0, 0, .9, 0, 0, 0, .1), nrow = 8, byrow = TRUE) #define the transition matrix
dtmcA <- new("markovchain",transitionMatrix=tmA, states=c("s0","s1","s2",
"s3","s0'", "s1'", "s2'", "s3'"), name="MarkovChain") #create the DTMC
plot(dtmcA)

iterate.tmA <- function(x, tmA, n){
res <- matrix(NA, n+1, length(x))
res[1,] <-x
for(i in seq_len(n))
res[i+1,]<-x %*% tmA
res
}
n<-50
y1<-iterate.tmA(c(1,0,0,0,0,0,0,0),tmA,n)

summed <- rowSums(y1[, c(1,2, 3, 4)])
y1<-cbind(y1,summed)
col_set <- rainbow(ncol(y1))
matplot(0:n, y1, type="l", lty=1, xlab="Step", ylab="y", las=1, col = col_set)
legend("topright", legend = c("s0","s1","s2", "s3","s0'", "s1'", "s2'", "s3'", "Fa"),
col=col_set, lty = c(1,9), lwd = 1)

```

Г.2. Скрипт моделі, що описує атаку на одну вразливість (без зупинки)

```
tmA <- matrix(c( .7, .1, 0, 0, .2, 0, 0, 0,
  .1, .633, .067, 0, 0, .2, 0, 0,
  0, .2, .567, .033, 0, 0, .2, 0,
    0, 0, .3, .5, 0, 0, 0, .2,
    .9, 0, 0, 0, 0, .1, 0, 0,
    0, .9, 0, 0, 0, .033, .067, 0,
    0, 0, .9, 0, 0, 0, .067, .033,
    0, 0, 0, .9, 0, 0, 0, .1),nrow = 8, byrow = TRUE) #define the transition matrix

dtmcA <- new("markovchain",transitionMatrix=tmA, states=c("s0","s1","s2",
"s3","s0'", "s1'", "s2'", "s3'"), name="MarkovChain") #create the DTMC

plot(dtmcA)

n<-50
y1<-iterate.tmA(c(1,0,0,0,0,0,0,0),tmA,n)
summed <- rowSums(y1[, c(1, 2, 3, 4)])
y1<-cbind(y1,summed)
col_set <- rainbow(ncol(y1))
matplot(0:n, y1, type="l", lty=1, xlab="Step", ylab="y", las=1, col = col_set)
legend("topright", legend = c("s0","s1","s2", "s3","s0'", "s1'", "s2'", "s3'", "Fa"),
col=col_set, lty = c(1,9), lwd = 1)
```

Г.3. Скрипт моделі, що описує атаку на вразливості із можливістю усунення (без зупинок і усуненням однієї вразливості)

```
tmA <- matrix(c( .7, .1, 0, 0, .2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
  .1, .633, .067, 0, 0, .2, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
  0, .2, .567, .033, 0, 0, .2, 0, 0, 0, 0, 0,
  0, 0, .3, .5, 0, 0, 0, .2, 0, 0, 0, 0,
  0, 0, 0, 0, .45, .1, 0, 0, .45, 0, 0, 0,
  0, 0, 0, 0, 0, .483, .067, 0, 0, .45, 0, 0,
  0, 0, 0, 0, 0, 0, .517, .033, 0, 0, .45, 0,
  0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .55, 0, 0, 0, .45,
  0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .9, .1, 0, 0,
  0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .1, .833, .067, 0,
  0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .2, .767, .033,
  0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .3, .7), nrow = 12, byrow = TRUE) #define the transition matrix
```

```
dtmcA      <-      new("markovchain",transitionMatrix=tmA,states=c("s0","s1","s2",
"s3","s0'", "s1'", "s2'", "s3'", "s0'", "s1'", "s2'", "s3'"),name="MarkovChain") #create the
DTMC
```

```
plot(dtmcA)
n<-50
```

```
y1<-iterate.tmA(c(1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0),tmA,n)
```

```
summed <- rowSums(y1[, c(1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12)])
y1<-cbind(y1,summed)
col_set <- rainbow(ncol(y1))
matplot(0:n, y1, type="l", lty=1, xlab="Step", ylab="y", las=1, col = col_set)
legend("topright", legend = c("s0","s1","s2", "s3","s0'", "s1'", "s2'", "s3'", "s0'", "s1'", "s2'",
"s3'", "Fa"), col = col_set, lty = c(1,14), lwd = 1)
```

```
summed <- rowSums(y1[, c(1, 2, 3, 4)])
y1<-cbind(y1,summed)
```

Г.4. Скрипт моделі, що описує атаку на вразливості із можливістю усунення (без зупинок і усуненням однієї з двох вразливостей)

```
tmA <- matrix(c( .7, .1, 0, 0, .2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
.1, .633, .067, 0, 0, .2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, .2, .567, .033, 0, 0, .2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, .3, .5, 0, 0, 0, .2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, .45, .1, 0, 0, .45, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, .483, .067, 0, 0, .45, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, .517, .033, 0, 0, .45, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .55, 0, 0, 0, .45, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .72, .1, 0, 0, .18, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .1, .653, .067, 0, 0, .18, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .2, .587, .033, 0, 0, .18, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .3, .52, 0, 0, 0, .18,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .9, 0, 0, 0, 0, .1, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .9, 0, 0, 0, .033, .067, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .9, 0, 0, 0, .067, .033,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .9, 0, 0, 0, .1), nrow = 16, byrow = TRUE) #define the transition
matrix
```



```
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .9, .1, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .1, .833, .067, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .2, .767, .033,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, .3, .7), nrow = 20, byrow = TRUE) #define the
transition matrix
```

```
dtmcA <- new("markovchain",transitionMatrix=tmA, states=c("s0","s1","s2",
"s3","s0'", "s1'", "s2'", "s3'", "s0'", "s1'", "s2'", "s3'", "s0'2","s1'2","s2'2", "s3'2",
"s0'2'", "s1'2'", "s2'2'", "s3'2'"), name="MarkovChain") #create the DTMC
```

```
plot(dtmcA)
```

```
n<-70
```

```
y1<-iterate.tmA(c(1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0),tmA,n)
```

```
summed <- rowSums(y1[, c(1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12, 17, 18, 19, 20)])
y1<-cbind(y1,summed)
col_set <- rainbow(ncol(y1))
matplot(0:n, y1, type="l", lty=1, xlab="Step", ylab="P", las=1, col = col_set)
legend("topright", legend = c("s0","s1","s2", "s3","s0'", "s1'", "s2'", "s3'", "s0'", "s1'", "s2'",
"s3'", "s0'2","s1'2","s2'2", "s3'2", "s0'2'", "s1'2'", "s2'2'", "s3'2'", "Fa"), col = col_set, lty =
c(1,22), lwd = 1,fill=(1:6), ncol=2, cex=0.5)
```

```
summed <- rowSums(y1[, c(1, 2, 3, 4)])
y1<-cbind(y1,summed)
```

```
matplot(0:n, y1, type="l", lty=1, xlab="Step", ylab="P", las=1, col = col_set)
legend("topright", legend = c("s0","s1","s2", "s3","s0'", "s1'", "s2'", "s3'",
"s0'", "s1'", "s2'", "s3'", "s0'2","s1'2","s2'2", "s3'2", "s0'2'", "s1'2'", "s2'2'", "s3'2'", "Fa"),
col = col_set, lty = c(1,22), lwd = 1, ncol=3, cex=0.7)
```

Г.6. Скрипт моделі готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує відмови компонентів інфраструктури

```
library(markovchain)
```

```
la12 = round(0.0000956099503772178, digits = 7)
la13 = round(0.0000168687619455346, digits = 7)
la14= round(0.0000195178274496168, digits = 7)
la15 = round(0.0000133062255779759 , digits = 7)
```

la16 = round(0.000020522645399441, digits = 7)
 la1711= round(0.000079646017699115, digits = 7)
 la1719 = round(0.000353982300884956, digits = 7)
 la185 = round(0.0000172690763052209, digits = 7)
 la45= round(0.00862944162436548, digits = 7)
 la58 = round(0.00684678016284234, digits = 7)
 la68=round(0.00467111534795043 , digits = 7)
 la17= round(0.0000587666255503281, digits = 7)
 la78= round(0.00000192742954095579, digits = 7)
 la819= round(0.0000201842053693906, digits = 7)
 la19= round(0.00000898246349085327, digits = 7)
 la110= round(0.0000246637133138683, digits = 7)
 la111= round(0.0000092869537786788 , digits = 7)
 la112 = round(0.00000873887126059284, digits = 7)
 la118= round(0.0000125754488871946, digits = 7)
 la116 = round(0.00000541992712329451, digits = 7)
 la115 = round(0.0000116832923438658, digits = 7)
 la114 = round(0.00000822123777128943, digits = 7)
 la113 = round(0.00000523723295059919, digits = 7)
 la1317 = round(0.0000300678952473327, digits = 7)
 la1417 = round(0.0000264255910987483 , digits = 7)
 la1217 = round(0.000237099023709902, digits = 7)
 la1517= round(0.0000110987791342952, digits = 7)
 la1617 = round(0.00025974025974026, digits = 7)
 mu21= round(0.909090909090909, digits = 7)
 mu31= round(0.005, digits = 7)
 mu41 = round(0.067681895093063, digits = 7)
 mu51 = round(0.006291635825315, digits = 7)
 mu61 = round(0.047664442326025, digits = 7)
 mu71 = round(0.0094259590913375, digits = 7)
 mu91 = round(0.00596421471172962, digits = 7)
 mu101=round(0.0384615384615385, digits = 7)
 mu111= round(0.285714285714286, digits = 7)
 mu121 = round(0.278940027894003, digits = 7)
 mu131 = round(0.484966052376334, digits = 7)
 mu141=round(0.278164116828929, digits = 7)
 mu151 = round(0.443951165371809, digits = 7)
 mu161 = round(0.927643784786642, digits = 7)
 mu181 = round(0.803212851405622, digits = 7)
 mu191 = round(0.666667, digits = 7)
 mu81 = round(0.01, digits = 7)
 mu171 = round(0.3333333, digits = 7)


```

su1 = round(-(la12 + la13 + la14 + la15 + la16 + la17 + la19 + la110 + la111 + la112 + la113
+ la114 + la115 + la116 + la118), digits = 7)
su2 = round(-mu21, digits = 7)
su3 = round(-mu31 , digits = 7)
su4 = round(-(mu41 + la45), digits = 7)
su5 = round(-(mu51 + la58), digits = 7)
su6= round(-(mu61 + la68), digits = 7)
su7= round(-(mu71 + la78), digits = 7)
su8= round(-(la819-mu81), digits = 7)
su9 = round(-mu91, digits = 7)
su10= round(-mu101, digits = 7)
su11= round(-mu111, digits = 7)
su12= round(-(mu121 + la1217), digits = 7)
su13= round(-(mu131 + la1317), digits = 7)
su14= round(-(mu141 + la1417), digits = 7)
su15 = round(-(mu151 + la1517), digits = 7)
su16= round(-(mu161 + la1617), digits = 7)
su17= round(-(la1711 + mu171 + la1719) , digits = 7)
su18= round(-(mu181 + la185), digits = 7)
su19 = round(-mu191, digits = 7)

```

```

mmStates <- c("1", "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9", "10", "11", "12", "13", "14", "15",
"16", "17", "18", "19")

```

```

Q <- matrix(data = c(su1, la12, la13, la14, la15, la16, la17, 0, la19, la110, la111, la112,
la113, la114, la115, la116, 0, la118, 0,
mu21, su2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
mu31, 0, su3, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
mu41, 0, 0, su4, la45, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
mu51, 0, 0, 0, su5, 0, 0, la58, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
mu61, 0, 0, 0, 0, su6, 0, la68, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
mu71, 0, 0, 0, 0, 0, su7, la78, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
mu81, 0, 0, 0, 0, 0, 0, su8, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, la819,
mu91, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, su9, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
mu101, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, su10, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
mu111, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, su11, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
mu121, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, su12, 0, 0, 0, 0, la1217, 0, 0,
mu131, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, su13, 0, 0, 0, la1317, 0, 0,
mu141, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, su14, 0, 0, la1417, 0, 0,
mu151, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, su15, 0, la1517, 0, 0,
mu161, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, su16, la1617, 0, 0,
mu171, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, la1711, 0, 0, 0, 0, 0, su17, 0, la1719,
mu181, 0, 0, 0, la185, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, su18, 0,

```

```
mu191, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, su19), nrow = 19, byrow = TRUE,
dimnames = list(mmStates, mmStates))
```

```
simCTMC <- new("ctmc", states = mmStates,
              byrow = byRow, generator = Q,
              name = "Transition Model")
```

```
steadyStates(simCTMC)
```

Г.7. Скрипт моделі готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує атаки на вразливості компонентів інфраструктури

```
la12 = round(0.00000504232, digits = 7)
la13 = round(0.00000430903, digits = 7)
la14 = round(0.000001834242, digits = 7)
la15= round(0.0000015836757991, digits = 7)
la18 = round(0.00000439404, digits = 7)
la19 = round(0.0000005793930, digits = 7)
la111 = round(0.000000623024, digits = 7)
la112 = round(0.000002103847, digits = 7)
la113 = round(0.0000001605489, digits = 7)
la114= round(0.000001340073, digits = 7)
la116 = round(0.000001760392, digits = 7)
la117 =round(0.00000064234, digits = 7)
la118= round(0.00000240101, digits = 7)
la119= round(0.000020402042, digits = 7)
la26= round(0.0000001020101, digits = 7)
la36= round(0.0000001252042, digits = 7)
la46= round(0.000000308024, digits = 7)
la56= round(0.000006203921, digits = 7)
la96= round(0.0000075328, digits = 7)
la620 = round(0.000000173911, digits = 7)
la720= round(0.000000110115, digits = 7)
la1020 = round(0.000000210101, digits = 7)
la1520 = round( 0.00000730219, digits = 7)
la201 = round(0.0000367101, digits = 7)
la27 = round(0.00000513723295059919, digits = 7)
la57 = round(0.00000513723295059919, digits = 7)
la97 = round(0.000002006724737, digits = 7)
la117 = round(0.00000244255483, digits = 7)
la127 = round(0.0000022709902, digits = 7)
```

$la_{137} = \text{round}(0.00000051098752, \text{digits} = 7)$
 $la_{147} = \text{round}(0.00000178687791342952, \text{digits} = 7)$
 $la_{810} = \text{round}(0.00000067109852, \text{digits} = 7)$
 $la_{910} = \text{round}(0.0000013649742952, \text{digits} = 7)$
 $la_{1410} = \text{round}(0.00000201017912, \text{digits} = 7)$
 $la_{1615} = \text{round}(0.000000140987429, \text{digits} = 7)$
 $la_{1715} = \text{round}(0.00000011017812, \text{digits} = 7)$
 $la_{1815} = \text{round}(0.000013679185, \text{digits} = 7)$
 $la_{1915} = \text{round}(0.0000004528101391, \text{digits} = 7)$
 $la_{915} = \text{round}(0.00069781125, \text{digits} = 7)$

$\mu_{21} = \text{round}(0.08019211, \text{digits} = 7)$
 $\mu_{31} = \text{round}(0.092112112, \text{digits} = 7)$
 $\mu_{41} = \text{round}(0.00976125364, \text{digits} = 7)$
 $\mu_{51} = \text{round}(0.006768189563, \text{digits} = 7)$
 $\mu_{81} = \text{round}(0.0828191112, \text{digits} = 7)$
 $\mu_{91} = \text{round}(0.00476326025, \text{digits} = 7)$
 $\mu_{111} = \text{round}(0.00968811125, \text{digits} = 7)$
 $\mu_{121} = \text{round}(0.015983322121, \text{digits} = 7)$
 $\mu_{131} = \text{round}(0.01212321, \text{digits} = 7)$
 $\mu_{141} = \text{round}(0.0009322321, \text{digits} = 7)$
 $\mu_{161} = \text{round}(0.00278940203, \text{digits} = 7)$
 $\mu_{171} = \text{round}(0.00021131124, \text{digits} = 7)$
 $\mu_{181} = \text{round}(0.004393931123, \text{digits} = 7)$
 $\mu_{191} = \text{round}(0.0032123123, \text{digits} = 7)$

$su_1 = \text{round}(- (la_{12} + la_{13} + la_{14} + la_{15} + la_{18} + la_{19} + la_{111} + la_{112} + la_{113} + la_{114} + la_{116} + la_{117} + la_{118} + la_{119}), \text{digits} = 7)$
 $su_2 = \text{round}(- (\mu_{21} + la_{26} + la_{27}), \text{digits} = 7)$
 $su_3 = \text{round}(- (\mu_{31} + la_{36}), \text{digits} = 7)$
 $su_4 = \text{round}(- (\mu_{41} + la_{46}), \text{digits} = 7)$
 $su_5 = \text{round}(- (\mu_{51} + la_{56} + la_{57}), \text{digits} = 7)$
 $su_6 = \text{round}(- la_{620}, \text{digits} = 7)$
 $su_7 = \text{round}(- la_{720}, \text{digits} = 7)$
 $su_8 = \text{round}(- (\mu_{81} + la_{810}), \text{digits} = 7)$
 $su_9 = \text{round}(- (\mu_{91} + la_{96} + la_{97} + la_{910} + la_{915}), \text{digits} = 7)$
 $su_{10} = \text{round}(- la_{1020}, \text{digits} = 7)$
 $su_{11} = \text{round}(- (\mu_{111} + la_{117}), \text{digits} = 7)$
 $su_{12} = \text{round}(- (\mu_{121} + la_{127}), \text{digits} = 7)$
 $su_{13} = \text{round}(- (\mu_{131} + la_{137}), \text{digits} = 7)$
 $su_{14} = \text{round}(- (\mu_{141} + la_{147}), \text{digits} = 7)$
 $su_{15} = \text{round}(- la_{1520}, \text{digits} = 7)$

```

su16 = round(-(mu161 + la1615), digits = 7)
su17= round(-(mu171 + la1715), digits = 7)
su18= round(-(mu181 + la1815) , digits = 7)
su19= round(-(mu191 + la1915), digits = 7)
su20 = round(-la201, digits = 7)

```

```

mmStates <- c("1", "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9", "10", "11", "12", "13", "14", "15",
"16", "17", "18", "19", "20")

```

```

Q <- matrix(data = c( su1, la12, la13, la14, la15, 0, 0, la18, la19, 0, la111, la112, la113,
la114, 0, la116, la117, la118, la119, 0,
mu21, su2, 0, 0, 0, la26, la27, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
mu31, 0, su3, 0, 0, la36, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
mu41, 0, 0, su4, 0, la46, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
mu51, 0, 0, 0, su5, la56, la57, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, su6, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, la620,
0, 0, 0, 0, 0, 0, su7, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, la720,
mu81, 0, 0, 0, 0, 0, 0, su8, 0, la810, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
mu91, 0, 0, 0, 0, la96, la97, 0, su9, la910, 0, 0, 0, 0, 0, la915, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, su10, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, la1020,
mu111, 0, 0, 0, 0, 0, la117, 0, 0, 0, su11, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
mu121, 0, 0, 0, 0, 0, la127, 0, 0, 0, 0, su12, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
mu131, 0, 0, 0, 0, 0, la137, 0, 0, 0, 0, 0, su13, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
mu141, 0, 0, 0, 0, 0, la147, 0, 0, la1410, 0, 0, 0, su14, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, su15, 0, 0, 0, 0, la1520,
mu161, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, la1615, su16, 0, 0, 0, 0,
mu171, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, la1715, 0, su17, 0, 0, 0,
mu181, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, la1815, 0, 0, su18, 0, 0,
mu191, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, la1915, 0, 0, 0, su19, 0,
la201, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, su20), nrow = 20, byrow = TRUE,
dimnames = list(mmStates, mmStates))

```

```

simCTMC <- new("ctmc", states = mmStates,
              byrow = byRow, generator = Q,
              name = "Transition Model")

```

```

steadyStates(simCTMC)

```

```

probabilityatT(simCTMC, 0, 1, useRCpp = TRUE)

```

ДОДАТОК Д.

ГРАФ СТАНІВ І ПЕРЕХОДІВ СТРУКТУРНО-АВТОМАТНОЇ МОДЕЛІ

Д.1. Граф станів і переходів моделі без відновлення

Таблиця Д.1 – Модель функціональної поведінки інсулінової помпи у вигляді графа станів і переходів без відновлень

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
1	Початковий стан	--	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	--	--
2	1БП1	P_{sst}	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	$1 \rightarrow 2$	$P_{sst} * 1 / t_{s.t.}$
3	1БП1 (ЗБП2)	$1 - P_{sst}$	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	$1 \rightarrow 3$	$(1 - P_{sst}) * 1 / t_{p.d.}$
4	2БП4	P_{ao}	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	4	$2 \rightarrow 4$	$P_{ao} * 1 / t_{b.a.}$
5		$1 - P_{ao}$	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	5	$2 \rightarrow 5$	$(1 - P_{ao}) * 1 / t_{b.a.}$
6	3БП3	P_{sst}	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	$3 \rightarrow 6$	$P_{sst} * 1 / t_{s.t.}$
7		$1 - P_{sst}$	4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	KB1	$3 \rightarrow KB1$	$(1 - P_{sst}) * 1 / t_{s.t.}$
8	4БП5	P_{dt}	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	7	$4 \rightarrow 7$	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$
9		$1 - P_{dt}$	1	2	1	0	0	1	0	0	2	0	8	$4 \rightarrow 8$	$(1 - P_{dt}) * 1 / t_{d.t.}$
10	5БП5	P_{dt}	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	9	$5 \rightarrow 9$	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$
11		$1 - P_{dt}$	1	2	2	0	0	1	0	0	2	0	10	$5 \rightarrow 10$	$(1 - P_{dt}) * 1 / t_{d.t.}$
12	6БП4	P_{ao}	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	11	$6 \rightarrow 11$	$P_{ao} * 1 / t_{b.a.}$
13		$1 - P_{ao}$	3	0	2	0	0	1	0	0	0	0	12	$6 \rightarrow 12$	$(1 - P_{ao}) * 1 / t_{b.a.}$
14	7БП6	P_{ce}	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	13	$7 \rightarrow 13$	$P_{ce} * 1 / t_{c.e.}$
15		$1 - P_{ce}$	1	1	1	2	0	2	0	0	0	0	KB2	$7 \rightarrow KB2$	$(1 - P_{ce}) * 1 / t_{c.e.}$
16	8БП6	P_{ce}	1	2	1	1	0	1	0	0	2	0	14	$8 \rightarrow 14$	$P_{ce} * 1 / t_{c.e.}$
17		$1 - P_{ce}$	1	2	1	2	0	2	0	0	2	0	KB2	$8 \rightarrow KB2$	$(1 - P_{ce}) * 1 / t_{c.e.}$

Продовження таблиці Д.1

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
18	9БП6	P _{ce}	1	1	2	1	0	1	0	0	0	0	15	9 → 15	P _{ce} *1/ t _{c.e.}
19		1 - P _{ce}	1	1	2	2	0	2	0	0	0	0	KB2	9 → KB2	(1 - P _{ce}) *1/ t _{c.e.}
20	10БП6	P _{ce}	1	2	2	1	0	1	0	0	2	0	16	10 → 16	P _{ce} *1/ t _{c.e.}
21		1 - P _{ce}	1	2	2	2	0	2	0	0	2	0	KB2	10 → KB2	(1 - P _{ce}) *1/ t _{c.e.}
22	11БП5	P _{dt}	3	1	1	0	0	1	0	0	0	0	17	11 → 17	P _{dt} *1/ t _{d.t.}
23		1 - P _{dt}	3	2	1	0	0	1	0	0	2	0	18	11 → 18	(1 - P _{dt}) *1/ t _{d.t.}
24	12БП5	P _{dt}	3	1	2	0	0	1	0	0	0	0	19	12 → 19	P _{dt} *1/ t _{d.t.}
25		1 - P _{dt}	3	2	2	0	0	1	0	0	2	0	20	12 → 20	(1 - P _{dt}) *1/ t _{d.t.}
26	13БП7	P _{pp}	1	1	1	3	0	1	0	0	0	0	21	13 → 21	P _{pp} *1/ t _{p.p.}
27	13БП7 (ЗБП9)	1 - P _{pp}	1	1	1	4	0	2	0	0	0	0	KB3	13 → KB3	(1 - P _{pp}) *1/ t _{p.p.}
28	14БП7	P _{pp}	1	2	1	3	0	1	0	0	2	0	22	14 → 22	P _{pp} *1/ t _{p.p.}
29	14БП7 (ЗБП9)	1 - P _{pp}	1	2	1	4	0	2	0	0	2	0	KB3	14 → KB3	(1 - P _{pp}) *1/ t _{p.p.}
30	15БП7	P _{pp}	1	1	2	3	0	1	0	0	0	0	23	15 → 23	P _{pp} *1/ t _{p.p.}
31	15БП7 (ЗБП9)	1 - P _{pp}	1	1	2	4	0	2	0	0	0	0	KB3	15 → KB3	(1 - P _{pp}) *1/ t _{p.p.}
32	16БП7	P _{pp}	1	2	2	3	0	1	0	0	2	0	24	16 → 24	P _{pp} *1/ t _{p.p.}
33	16БП7 (ЗБП9)	1 - P _{pp}	1	2	2	4	0	2	0	0	2	0	KB3	16 → KB3	(1 - P _{pp}) *1/ t _{p.p.}
34	17БП6	P _{ce}	3	1	1	1	0	1	0	0	0	0	25	17 → 25	P _{ce} *1/ t _{c.e.}
35		1 - P _{ce}	3	1	1	2	0	2	0	0	0	0	KB2	17 → KB2	(1 - P _{ce}) *1/ t _{c.e.}
36	18БП6	P _{ce}	3	2	1	1	0	1	0	0	2	0	26	18 → 26	P _{ce} *1/ t _{c.e.}
37		1 - P _{ce}	3	2	1	2	0	2	0	0	2	0	KB2	18 → KB2	(1 - P _{ce}) *1/ t _{c.e.}
38	19БП6	P _{ce}	3	1	2	1	0	1	0	0	0	0	27	19 → 27	P _{ce} *1/ t _{c.e.}
39		1 - P _{ce}	3	1	2	2	0	2	0	0	0	0	KB2	19 → KB2	(1 - P _{ce}) *1/ t _{c.e.}

Продовження таблиці Д.1

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
40	20БП6	P _{се}	3	2	2	1	0	1	0	0	2	0	28	20 → 28	P _{се} *1/ t _{c.e.}
41		1 - P _{се}	3	3	2	2	0	2	0	0	2	0	KB3	20 → KB3	(1 - P _{се}) *1/ t _{c.e.}
42	21БП8	P _{ср}	1	1	1	5	0	1	0	0	0	0	29	21 → 29	P _{ср} *1/ t _{c.p.}
43	21БП8 (ЗБП9)	1 - P _{ср}	1	1	1	6	0	2	0	0	0	0	KB3	21 → KB3	(1 - P _{ср}) *1/ t _{c.p.}
44	22БП8	P _{ср}	1	2	1	5	0	1	0	0	2	0	30	22 → 30	P _{ср} *1/ t _{c.p.}
45	22БП8 (ЗБП9)	1 - P _{ср}	1	2	1	6	0	2	0	0	2	0	KB3	22 → KB3	(1 - P _{ср}) *1/ t _{c.p.}
46	23БП8	P _{ср}	1	1	2	5	0	1	0	0	0	0	31	23 → 31	P _{ср} *1/ t _{c.p.}
47	23БП8 (ЗБП9)	1 - P _{ср}	1	1	2	6	0	2	0	0	0	0	KB3	23 → KB3	(1 - P _{ср}) *1/ t _{c.p.}
48	24БП8	P _{ср}	1	2	2	5	0	1	0	0	2	0	32	24 → 32	P _{ср} *1/ t _{c.p.}
49	24БП8 (ЗБП9)	1 - P _{ср}	1	2	2	6	0	2	0	0	2	0	KB3	24 → KB3	(1 - P _{ср}) *1/ t _{c.p.}
50	25БП7	P _{рр}	3	1	1	3	0	1	0	0	0	0	33	25 → 33	P _{рр} *1/ t _{p.p.}
51	25БП7 (ЗБП9)	1 - P _{рр}	3	1	1	4	0	2	0	0	0	0	KB3	25 → KB3	(1 - P _{рр}) *1/ t _{p.p.}
52	26БП7	P _{рр}	3	2	1	3	0	1	0	0	2	0	34	26 → 34	P _{рр} *1/ t _{p.p.}
53	26БП7 (ЗБП9)	1 - P _{рр}	3	2	1	4	0	2	0	0	2	0	KB3	26 → KB3	(1 - P _{рр}) *1/ t _{p.p.}
54	27БП7	P _{рр}	3	1	2	3	0	1	0	0	0	0	35	27 → 35	P _{рр} *1/ t _{p.p.}
55	27БП7 (ЗБП9)	1 - P _{рр}	3	1	2	4	0	2	0	0	0	0	KB3	27 → KB3	(1 - P _{рр}) *1/ t _{p.p.}
56	28БП7	P _{рр}	3	2	2	3	0	1	0	0	2	0	36	28 → 36	P _{рр} *1/ t _{p.p.}
57	28БП7 (ЗБП9)	1 - P _{рр}	3	2	2	4	0	2	0	0	2	0	KB3	28 → KB3	(1 - P _{рр}) *1/ t _{p.p.}
58	29БП10	P _{dc}	1	1	1	5	1	1	0	0	0	0	37	29 → 37	P _{dc} *1/ t _{d.e.}
59		1 - P _{dc}	1	1	1	5	2	2	0	0	0	0	KB4	29 → KB4	(1 - P _{dc}) *1/ t _{d.e.}

Продовження таблиці Д.1

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
60	30БП10	P _{dc}	1	2	1	5	1	1	0	0	2	0	38	30 → 38	P _{dc} *1/ t _{d.c.}
61		1 - P _{dc}	1	2	1	5	2	2	0	0	2	0	KB4	30 → KB4	(1 - P _{dc}) *1/ t _{d.c.}
62	31БП10	P _{dc}	1	1	2	5	1	1	0	0	0	0	39	31 → 39	P _{dc} *1/ t _{d.c.}
63		1 - P _{dc}	1	1	2	5	2	2	0	0	0	0	KB4	31 → KB4	(1 - P _{dc}) *1/ t _{d.c.}
64	32БП10	P _{dc}	1	2	2	5	1	1	0	0	2	0	40	32 → 40	P _{dc} *1/ t _{d.c.}
65		1 - P _{dc}	1	2	2	5	2	2	0	0	2	0	KB4	32 → KB4	(1 - P _{dc}) *1/ t _{d.c.}
66	33БП8	P _{cp}	3	1	1	5	0	1	0	0	0	0	41	33 → 41	P _{cp} *1/ t _{c.p.}
67	33БП8 (ЗБП9)	1 - P _{cp}	3	1	1	6	0	2	0	0	0	0	KB3	33 → KB3	(1 - P _{cp}) *1/ t _{c.p.}
68	34БП8	P _{cp}	3	2	1	5	0	1	0	0	2	0	42	34 → 42	P _{cp} *1/ t _{c.p.}
69	34БП8 (ЗБП9)	1 - P _{cp}	3	2	1	6	0	0	0	0	2	0	KB3	34 → KB3	(1 - P _{cp}) *1/ t _{c.p.}
70	35БП8	P _{cp}	3	1	2	5	0	1	0	0	0	0	43	35 → 43	P _{cp} *1/ t _{c.p.}
71	35БП8 (ЗБП9)	1 - P _{cp}	3	1	2	6	0	2	0	0	0	0	KB3	35 → KB3	(1 - P _{cp}) *1/ t _{c.p.}
72	36БП8	P _{cp}	3	2	2	5	0	1	0	0	2	0	44	36 → 44	P _{cp} *1/ t _{c.p.}
73	36БП8 (ЗБП9)	1 - P _{cp}	3	2	2	6	0	2	0	0	2	0	KB3	36 → KB3	(1 - P _{cp}) *1/ t _{c.p.}
74	37БП11	P _{da}	1	3	1	5	1	1	0	0	1	0	45	37 → 45	P _{da} *1/ t _{d.a.}
75		1 - P _{da}	1	4	1	5	1	1	0	0	2	0	46	37 → 46	(1 - P _{da}) *1/ t _{d.a.}
76	38БП12	P _{cd}	1	2	1	5	3	1	0	0	2	0	47	38 → 47	P _{cd} *1/ t _{c.d.}
77	38БП12 (ЗБП13)	1 - P _{cd}	1	2	1	5	4	2	0	0	2	0	KB5	38 → KB5	(1 - P _{cd}) *1/ t _{c.d.}
78	39БП11	P _{da}	1	3	2	5	1	1	0	0	1	0	48	39 → 48	P _{da} *1/ t _{d.a.}
79		1 - P _{da}	1	4	2	5	1	1	0	0	2	0	49	39 → 49	(1 - P _{da}) *1/ t _{d.a.}
80	40БП12	P _{cd}	1	2	2	5	3	1	0	0	2	0	50	40 → 50	P _{cd} *1/ t _{c.d.}
81	40БП12 (ЗБП13)	1 - P _{cd}	1	2	2	5	4	2	0	0	2	0	KB5	40 → KB5	(1 - P _{cd}) *1/ t _{c.d.}

Продовження таблиці Д.1

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
82	41БП10	P _{dc}	3	1	1	5	1	1	0	0	0	0	51	41 → 51	P _{dc} *1/ t _{d.c.}
83		1 - P _{dc}	3	1	1	5	2	2	0	0	0	0	KB4	41 → KB4	(1 - P _{dc}) *1/ t _{d.c.}
84	42БП10	P _{dc}	3	2	1	5	1	1	0	0	2	0	52	42 → 52	P _{dc} *1/ t _{d.c.}
85		1 - P _{dc}	3	2	1	5	2	2	0	0	2	0	KB4	42 → KB4	(1 - P _{dc}) *1/ t _{d.c.}
86	43БП10	P _{dc}	3	1	2	5	1	1	0	0	0	0	53	43 → 53	P _{dc} *1/ t _{d.c.}
87		1 - P _{dc}	3	1	2	5	2	2	0	0	0	0	KB4	43 → KB4	(1 - P _{dc}) *1/ t _{d.c.}
88	44БП10	P _{dc}	3	2	2	5	1	1	0	0	2	0	54	44 → 54	P _{dc} *1/ t _{d.c.}
89		1 - P _{dc}	3	2	2	5	2	2	0	0	2	0	KB4	44 → KB4	(1 - P _{dc}) *1/ t _{d.c.}
90	45БП12	P _{cd}	1	3	1	5	3	1	0	0	1	0	55	45 → 55	P _{cd} *1/ t _{c.d.}
91	45БП12 (ЗБП13)	1 - P _{cd}	1	2	1	5	4	2	0	0	2	0	KB5	45 → KB5	(1 - P _{cd}) *1/ t _{c.d.}
92	46БП12	P _{cd}	1	4	1	5	3	1	0	0	2	0	56	46 → 56	P _{cd} *1/ t _{c.d.}
93	46БП12 (ЗБП13)	1 - P _{cd}	1	4	1	5	4	2	0	0	2	0	KB5	46 → KB5	(1 - P _{cd}) *1/ t _{c.d.}
94	47БП14	P _{bd}	1	2	1	5	3	1	1	0	2	0	57	47 → 57	P _{bd} *1/ t _{b.d.}
95	47БП14 (ЗБП15)	1 - P _{bd}	1	2	1	5	3	2	2	0	2	0	KB6	47 → KB6	(1 - P _{bd}) *1/ t _{b.d.}
96	48БП12	P _{cd}	1	3	2	5	3	1	0	0	1	0	58	48 → 58	P _{cd} *1/ t _{c.d.}
97	48БП12 (ЗБП13)	1 - P _{cd}	1	3	2	5	4	2	0	0	1	0	KB5	48 → KB5	(1 - P _{cd}) *1/ t _{c.d.}
98	49БП12	P _{cd}	1	4	2	5	3	1	0	0	2	0	59	49 → 59	P _{cd} *1/ t _{c.d.}
99	49БП12 (ЗБП13)	1 - P _{cd}	1	4	2	5	4	2	0	0	2	0	KB5	49 → KB5	(1 - P _{cd}) *1/ t _{c.d.}
100	50БП14	P _{bd}	1	2	2	5	3	1	1	0	2	0	60	50 → 60	P _{bd} *1/ t _{b.d.}
101	50БП14 (ЗБП15)	1 - P _{bd}	1	2	2	5	3	2	2	0	2	0	KB6	50 → KB6	(1 - P _{bd}) *1/ t _{b.d.}
102	51БП11	P _{da}	3	3	1	5	1	1	0	0	1	0	61	51 → 61	P _{da} *1/ t _{d.a.}
103		1 - P _{da}	3	4	1	5	1	1	0	0	2	0	62	51 → 62	(1 - P _{da}) *1/ t _{d.a.}

Продовження таблиці Д.1

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПІ	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
104	52БП12	P _{cd}	3	2	1	5	3	1	0	0	2	0	63	52 → 63	P _{cd} *1/ t _{c.d.}
105	52БП12 (ЗБП13)	1 - P _{cd}	3	2	1	5	4	2	0	0	2	0	KB5	52 → KB5	(1 - P _{cd})*1/ t _{c.d.}
106	53БП11	P _{da}	3	3	2	5	1	1	0	0	1	0	64	53 → 64	P _{da} *1/ t _{d.a.}
107		1 - P _{da}	3	4	2	5	1	1	0	0	2	0	65	53 → 65	(1 - P _{da})*1/ t _{d.a.}
108	54БП12	P _{cd}	3	2	2	5	3	1	0	0	2	0	66	54 → 66	P _{cd} *1/ t _{c.d.}
109	54БП12 (ЗБП13)	1 - P _{cd}	3	2	2	5	4	2	0	0	2	0	KB5	54 → KB5	(1 - P _{cd})*1/ t _{c.d.}
110	55БП14	P _{bd}	1	3	1	5	3	1	1	0	1	0	67	55 → 67	P _{bd} *1/ t _{b.d.}
111	55БП14 (ЗБП15)	1 - P _{bd}	1	3	1	5	3	2	2	0	1	0	KB6	55 → KB6	(1 - P _{bd})*1/ t _{b.d.}
112	56БП14	P _{bd}	1	4	1	5	3	1	1	0	2	0	68	56 → 68	P _{bd} *1/ t _{b.d.}
113	56БП14 (ЗБП15)	1 - P _{bd}	1	4	1	5	3	2	2	0	2	0	KB6	56 → KB6	(1 - P _{bd})*1/ t _{b.d.}
114	57БП16	P _{bld}	1	2	1	5	3	1	1	1	2	0	69	57 → 69	P _{bld} *1/ t _{bl.d.}
115	57БП16 (ЗБП17)	1 - P _{bld}	1	2	1	5	3	2	2	2	2	0	KB7	57 → KB7	(1 - P _{bld})*1/ t _{bl.d.}
116	58БП14	P _{bd}	1	3	2	5	3	1	1	0	1	0	70	58 → 70	P _{bd} *1/ t _{b.d.}
117	58БП14 (ЗБП15)	1 - P _{bd}	1	3	2	5	3	2	2	0	1	0	KB6	58 → KB6	(1 - P _{bd})*1/ t _{b.d.}
118	59БП14	P _{bd}	1	4	2	5	3	1	1	0	2	0	71	59 → 71	P _{bd} *1/ t _{b.d.}
119	59БП14 (ЗБП15)	1 - P _{bd}	1	4	2	5	3	2	2	0	2	0	KB6	59 → KB6	(1 - P _{bd})*1/ t _{b.d.}
120	60БП16	P _{bld}	1	2	2	5	3	1	1	1	2	0	72	60 → 72	P _{bld} *1/ t _{bl.d.}
121	60БП16 (ЗБП17)	1 - P _{bld}	1	2	2	5	3	2	1	2	2	0	KB7	60 → KB7	(1 - P _{bld})*1/ t _{bl.d.}
122	61БП12	P _{cd}	3	3	1	5	3	1	0	0	1	0	73	61 → 73	P _{cd} *1/ t _{c.d.}
123	61БП12 (ЗБП13)	1 - P _{cd}	3	3	1	5	4	2	0	0	1	0	KB5	61 → KB5	(1 - P _{cd})*1/ t _{c.d.}
124	62БП12	P _{cd}	3	4	1	5	3	1	0	0	2	0	74	62 → 73	P _{cd} *1/ t _{c.d.}
125	62БП12 (ЗБП13)	1 - P _{cd}	3	4	1	5	4	2	0	0	2	0	KB5	62 → KB5	(1 - P _{cd})*1/ t _{c.d.}

Продовження таблиці Д.1

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПІ	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
126	63БП14	P _{bd}	3	2	1	5	3	1	1	0	2	0	75	63 → 75	P _{bd} *1/ t _{b.d.}
127	63БП14 (ЗБП15)	1- P _{bd}	3	2	1	5	3	2	2	0	2	0	KB6	63 → KB6	(1- P _{bd})*1/ t _{b.d.}
128	64БП12	P _{cd}	3	3	2	5	3	1	0	0	1	0	76	64 → 76	P _{cd} *1/ t _{c.d.}
129	64БП12 (ЗБП13)	1- P _{cd}	3	3	2	5	4	2	0	0	1	0	KB5	64 → KB5	(1- P _{cd})*1/ t _{c.d.}
130	65БП12	P _{cd}	3	4	2	5	3	1	0	0	2	0	77	65 → 77	P _{cd} *1/ t _{c.d.}
131	65БП12 (ЗБП13)	1- P _{cd}	3	4	2	5	4	2	0	0	2	0	KB5	65 → KB5	(1- P _{cd})*1/ t _{c.d.}
132	66БП14	P _{bd}	3	2	2	5	3	1	1	0	2	0	78	66 → 78	P _{bd} *1/ t _{b.d.}
133	66БП14 (ЗБП15)	1- P _{bd}	3	2	2	5	3	2	2	0	2	0	KB6	66 → KB6	(1- P _{bd})*1/ t _{b.d.}
134	67БП16	P _{bld}	1	3	1	5	3	1	1	1	1	0	79	67 → 79	P _{bld} *1/ t _{bld.}
135	67БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	1	3	1	5	3	2	1	2	1	0	KB7	67 → KB7	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.}
136	68БП16	P _{bld}	1	4	1	5	3	1	1	1	2	0	80	68 → 80	P _{bld} *1/ t _{bld.}
137	68БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	1	4	1	5	3	2	1	2	2	0	KB7	68 → KB7	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.}
138	69БП18	P _{bc}	1	2	1	5	3	1	3	1	2	0	81	69 → 81	P _{bc} *1/ t _{b.c.}
139	69БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	1	2	1	5	3	2	4	1	2	0	KB6	69 → KB6	(1- P _{bc})*1/ t _{b.c.}
140	70БП16	P _{bld}	1	3	2	5	3	1	1	1	1	0	82	70 → 82	P _{bld} *1/ t _{bld.}
141	70БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	1	3	2	5	3	2	1	2	1	0	KB7	70 → KB7	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.}
142	71БП16	P _{bld}	1	4	2	5	3	1	1	1	2	0	83	71 → 83	P _{bld} *1/ t _{bld.}
143	71БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	1	4	2	5	3	2	1	2	2	0	KB7	71 → KB7	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.}
144	72БП18	P _{bc}	1	2	2	5	3	1	3	1	2	0	84	72 → 84	P _{bc} *1/ t _{b.c.}
145	72БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	1	2	2	5	3	2	4	1	2	0	KB6	72 → KB6	(1- P _{bc})*1/ t _{b.c.}
146	73БП14	P _{bd}	3	3	1	5	3	1	1	0	1	0	85	73 → 85	P _{bd} *1/ t _{b.d.}
147	73БП14 (ЗБП15)	1- P _{bd}	3	3	1	5	3	2	2	0	1	0	KB6	73 → KB6	(1- P _{bd})*1/ t _{b.d.}

Продовження таблиці Д.1

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
148	74БП14	P _{bd}	3	4	1	5	3	1	1	0	2	0	86	74 → 86	P _{bd} *1/ t _{b.d.}
149	74БП14 (ЗБП15)	1- P _{bd}	3	4	1	5	3	2	2	0	2	0	KB6	74 → KB6	(1- P _{bd})*1/ t _{b.d.}
150	75БП16	P _{bld}	3	2	1	5	3	1	1	1	2	0	87	75 → 87	P _{bld} *1/ t _{bld.}
151	75БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	3	2	1	5	3	2	1	2	2	0	KB7	75 → KB7	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.}
152	76БП14	P _{bd}	3	3	2	5	3	1	1	0	1	0	88	76 → 88	P _{bd} *1/ t _{b.d.}
153	76БП14 (ЗБП15)	1- P _{bd}	3	3	2	5	3	2	2	0	1	0	KB6	76 → KB6	(1- P _{bd})*1/ t _{b.d.}
154	77БП14	P _{bd}	3	4	2	5	3	1	1	0	2	0	89	77 → 89	P _{bd} *1/ t _{b.d.}
155	77БП14 (ЗБП15)	1- P _{bd}	3	4	2	5	3	2	2	0	2	0	KB6	77 → KB6	(1- P _{bd})*1/ t _{b.d.}
156	78БП16	P _{bld}	3	2	2	5	3	1	1	1	2	0	90	78 → 90	P _{bld} *1/ t _{bld.}
157	78БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	3	2	2	5	3	2	1	2	2	0	KB7	78 → KB7	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.}
158	79БП18	P _{bc}	1	3	1	5	3	1	3	1	1	0	91	79 → 91	P _{bc} *1/ t _{b.c.}
159	79БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	1	3	1	5	3	2	4	1	1	0	KB6	79 → KB6	(1- P _{bc})*1/ t _{b.c.}
160	80БП18	P _{bc}	1	4	1	5	3	1	3	1	2	0	92	80 → 92	P _{bc} *1/ t _{b.c.}
161	80БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	1	4	1	5	3	2	4	1	2	0	KB6	80 → KB6	(1- P _{bc})*1/ t _{b.c.}
162	81БП20	P _{bld}	1	2	1	5	3	1	3	3	2	0	93	81 → 93	P _{bld} *1/ t _{bld.}
163	81БП20 (ЗБП21)	1- P _{bld}	1	2	1	5	3	2	3	4	2	0	KB7	81 → KB7	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.}
164	82БП18	P _{bc}	1	3	2	5	3	1	3	1	1	0	94	82 → 94	P _{bc} *1/ t _{b.c.}
165	82БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	1	3	2	5	3	2	4	1	1	0	KB6	82 → KB6	(1- P _{bc})*1/ t _{b.c.}
166	83БП18	P _{bc}	1	4	2	5	3	1	3	1	2	0	95	83 → 95	P _{bc} *1/ t _{b.c.}
167	83БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	1	4	2	5	3	2	4	1	2	0	KB6	83 → KB6	(1- P _{bc})*1/ t _{b.c.}
168	84БП20	P _{bld}	1	2	2	5	3	1	3	3	2	0	96	84 → 96	P _{bld} *1/ t _{bld.}
169	84БП20 (ЗБП21)	1- P _{bld}	1	2	2	5	3	2	3	4	2	0	KB7	84 → KB7	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.}

Продовження таблиці Д.1

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
170	85БП16	P _{bld}	3	3	1	5	3	1	1	1	1	0	97	85 → 97	P _{bld} *1/ tbl.d.
171	85БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	3	3	1	5	3	2	1	2	1	0	KB7	85 → KB7	(1- P _{bld}) *1/ tbl.d.
172	86БП16	P _{bld}	3	4	1	5	3	1	1	1	2	0	98	86 → 98	P _{bld} *1/ tbl.d.
173	86БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	3	4	1	5	3	2	1	2	2	0	KB7	86 → KB7	(1- P _{bld}) *1/ tbl.d.
174	87БП18	P _{bc}	3	2	1	5	3	1	3	1	2	0	99	87 → 99	P _{bc} *1/ tbl.c.
175	87БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	3	2	1	5	3	2	4	1	2	0	KB6	87 → KB6	(1- P _{bc}) *1/ tbl.c.
176	88БП16	P _{bld}	3	3	2	5	3	1	1	1	1	0	100	88 → 100	P _{bld} *1/ tbl.d.
177	88БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	3	3	2	5	3	2	1	2	1	0	KB7	88 → KB7	(1- P _{bld}) *1/ tbl.d.
178	89БП16	P _{bld}	3	4	2	5	3	1	1	1	2	0	101	89 → 101	P _{bld} *1/ tbl.d.
179	89БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	3	4	2	5	3	2	1	2	2	0	KB7	89 → KB7	(1- P _{bld}) *1/ tbl.d.
180	90БП18	P _{bc}	3	2	2	5	3	1	3	1	2	0	102	90 → 102	P _{bc} *1/ tbl.c.
181	90БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	3	2	2	5	3	2	4	1	2	0	KB6	90 → KB6	(1- P _{bc}) *1/ tbl.c.
182	91БП20	P _{blc}	1	3	1	5	3	1	3	3	1	0	103	91 → 103	P _{blc} *1/ tbl.c.
183	91БП20 (ЗБП21)	1- P _{blc}	1	3	1	5	3	2	3	4	1	0	KB7	91 → KB7	(1- P _{blc}) *1/ tbl.c.
184	92БП20	P _{blc}	1	4	1	5	3	1	3	3	2	0	104	92 → 104	P _{blc} *1/ tbl.c.
185	92БП20 (ЗБП21)	1- P _{blc}	1	4	1	5	3	2	3	4	2	0	KB7	92 → KB7	(1- P _{blc}) *1/ tbl.c.
186	93БП22	P _{bv}	1	2	1	5	3	1	5	3	2	0	105	93 → 105	P _{bv} *1/ tbl.v.
187	93БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	1	2	1	5	3	2	6	3	2	0	KB6	93 → KB6	(1- P _{bv}) *1/ tbl.v.
188	94БП20	P _{blc}	1	3	2	5	3	1	3	3	1	0	106	94 → 106	P _{blc} *1/ tbl.c.
189	94БП20 (ЗБП21)	1- P _{blc}	1	3	2	5	3	2	3	4	1	0	KB7	94 → KB7	(1- P _{blc}) *1/ tbl.c.
190	95БП20	P _{blc}	1	4	2	5	3	1	3	3	2	0	107	95 → 107	P _{blc} *1/ tbl.c.
191	95БП20 (ЗБП21)	1- P _{blc}	1	4	2	5	3	2	3	4	2	0	KB7	95 → KB7	(1- P _{blc}) *1/ tbl.c.

Продовження таблиці Д.1

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
192	96БП22	P _{bv}	1	2	2	5	3	1	5	3	2	0	108	96 → 108	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
193	96БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	1	2	2	5	3	2	6	3	2	0	KB6	96 → KB6	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
194	97БП18	P _{bc}	3	3	1	5	3	1	3	1	1	0	109	97 → 109	P _{bc} *1/ t _{b.c.}
195	97БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	3	3	1	5	3	2	4	1	1	0	KB6	97 → KB6	(1- P _{bc})*1/ t _{b.c.}
196	98БП18	P _{bc}	3	4	1	5	3	1	3	1	2	0	110	98 → 110	P _{bc} *1/ t _{b.c.}
197	98БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	3	4	1	5	3	2	4	1	2	0	KB6	98 → KB6	(1- P _{bc})*1/ t _{b.c.}
198	99БП20	P _{blc}	3	2	1	5	3	1	3	3	2	0	111	99 → 111	P _{blc} *1/ t _{bl.c.}
199	99БП20 (ЗБП21)	1- P _{blc}	3	2	1	5	3	2	3	4	2	0	KB7	99 → KB7	(1- P _{blc})*1/ t _{bl.c.}
200	100БП18	P _{bc}	3	3	2	5	3	1	3	1	1	0	112	100 → 112	P _{bc} *1/ t _{b.c.}
201	100БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	3	3	2	5	3	2	4	1	1	0	KB6	100 → KB6	(1- P _{bc})*1/ t _{b.c.}
202	101БП18	P _{bc}	3	4	2	5	3	1	3	1	2	0	113	101 → 113	P _{bc} *1/ t _{b.c.}
203	101БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	3	4	2	5	3	2	4	1	2	0	KB6	101 → KB6	(1- P _{bc})*1/ t _{b.c.}
204	102БП20	P _{blc}	3	2	2	5	3	1	3	3	2	0	114	102 → 114	P _{blc} *1/ t _{bl.c.}
205	102БП20 (ЗБП21)	1- P _{blc}	3	2	2	5	3	2	3	4	2	0	KB7	102 → KB7	(1- P _{blc})*1/ t _{bl.c.}
206	103БП22	P _{bv}	1	3	1	5	3	1	5	3	1	0	115	103 → 115	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
207	103БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	1	3	1	5	3	2	6	3	1	0	KB6	103 → KB6	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
208	104БП22	P _{bv}	1	4	1	5	3	1	5	3	2	0	116	104 → 116	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
209	104БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	1	4	1	5	3	2	6	3	2	0	KB6	104 → KB6	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
210	105БП24	P _{blv}	1	2	1	5	3	1	5	5	2	0	117	105 → 117	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
211	105БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	1	2	1	5	3	2	5	6	2	0	KB7	105 → KB7	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
212	106БП22	P _{bv}	1	3	2	5	3	1	5	3	1	0	118	106 → 118	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
213	106БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	1	3	2	5	3	2	6	3	1	0	KB6	106 → KB6	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}

Продовження таблиці Д.1

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПІ	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
214	107БП22	P _{bv}	1	4	2	5	3	1	5	3	2	0	119	107 → 119	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
215	107БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	1	4	2	5	3	2	6	3	2	0	KB6	107 → KB6	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
216	108БП24	P _{blv}	1	2	2	5	3	1	5	5	2	0	120	108 → 120	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
217	108БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	1	2	2	5	3	2	5	6	2	0	KB7	108 → KB7	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
218	109БП20	P _{blc}	3	3	1	5	3	1	3	3	1	0	121	109 → 121	P _{blc} *1/ t _{bl.c.}
219	109БП20 (ЗБП21)	1- P _{blc}	3	3	1	5	3	2	3	4	1	0	KB7	109 → KB7	(1- P _{blc})*1/ t _{bl.c.}
220	110БП20	P _{blc}	3	4	1	5	3	1	3	3	2	0	122	110 → 122	P _{blc} *1/ t _{bl.c.}
221	110БП20 (ЗБП21)	1- P _{blc}	3	4	1	5	3	2	3	4	2	0	KB7	110 → KB7	(1- P _{blc})*1/ t _{bl.c.}
222	111БП22	P _{bv}	3	2	1	5	3	1	5	3	2	0	123	111 → 123	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
223	111БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	3	2	1	5	3	2	6	3	2	0	KB6	111 → KB6	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
224	112БП20	P _{blc}	3	3	2	5	3	1	3	3	1	0	124	112 → 124	P _{blc} *1/ t _{bl.c.}
225	112БП20 (ЗБП21)	1- P _{blc}	3	3	2	5	3	2	3	4	1	0	KB7	112 → KB7	(1- P _{blc})*1/ t _{bl.c.}
226	113БП20	P _{blc}	3	4	2	5	3	1	3	3	2	0	125	113 → 125	P _{blc} *1/ t _{bl.c.}
227	113БП20 (ЗБП21)	1- P _{blc}	3	4	2	5	3	2	3	4	2	0	KB7	113 → KB7	(1- P _{blc})*1/ t _{bl.c.}
228	114БП22	P _{bv}	3	2	2	5	3	1	5	3	2	0	126	114 → 126	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
229	114БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	3	2	2	5	3	2	6	3	2	0	KB6	114 → KB6	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
230	115БП24	P _{blv}	1	3	1	5	3	1	5	5	1	0	127	115 → 127	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
231	115БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	1	3	1	5	3	2	5	6	1	0	KB7	115 → KB7	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
232	116БП24	P _{blv}	1	4	1	5	3	1	5	5	1	0	128	116 → 128	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
233	116БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	1	4	1	5	3	2	5	6	1	0	KB7	116 → KB7	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
234	117БП26	P _{bs}	1	2	1	5	3	1	7	5	2	0	129	117 → 129	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
235	117БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	1	2	1	5	3	2	8	5	2	0	KB6	117 → KB6	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}

Продовження таблиці Д.1

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПІ	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
236	118БП24	P _{blv}	1	3	2	5	3	1	5	5	1	0	130	118 → 130	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
237	118БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	1	3	2	5	3	2	5	6	1	0	KB7	118 → KB7	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
238	119БП24	P _{blv}	1	4	2	5	3	1	5	5	2	0	131	119 → 131	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
239	119БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	1	4	2	5	3	2	5	6	2	0	KB7	119 → KB7	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
240	120БП26	P _{bs}	1	2	2	5	3	1	7	5	2	0	132	120 → 132	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
241	120БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	1	2	2	5	3	2	8	5	2	0	KB6	120 → KB6	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
242	121БП22	P _{bv}	3	3	1	5	3	1	5	3	1	0	133	121 → 133	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
243	121БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	3	3	1	5	3	2	6	3	1	0	KB6	121 → KB6	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
244	122БП22	P _{bv}	3	4	1	5	3	1	5	3	2	0	134	122 → 134	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
245	122БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	3	4	1	5	3	2	6	3	2	0	KB6	122 → KB6	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
246	123БП24	P _{blv}	3	2	1	5	3	1	5	5	2	0	135	123 → 135	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
247	123БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	3	2	1	5	3	2	5	6	2	0	KB7	123 → KB7	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
248	124БП22	P _{bv}	3	3	2	5	3	1	5	3	1	0	136	124 → 136	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
249	124БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	3	3	2	5	3	2	6	3	1	0	KB6	124 → KB6	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
250	125БП22	P _{bv}	3	4	2	5	3	1	5	3	2	0	137	125 → 137	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
251	125БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	3	4	2	5	3	2	6	3	2	0	KB6	125 → KB6	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
252	126БП24	P _{blv}	3	2	2	5	3	1	5	5	2	0	138	126 → 138	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
253	126БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	3	2	2	5	3	2	5	6	2	0	KB7	126 → KB7	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
254	127БП26	P _{bs}	1	3	1	5	3	1	7	5	1	0	139	127 → 139	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
255	127БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	1	3	1	5	3	2	8	5	1	0	KB6	127 → KB6	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
256	128БП26	P _{bs}	1	4	1	5	3	1	7	5	1	0	140	128 → 140	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
257	128БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	1	4	1	5	3	2	8	5	1	0	KB6	128 → KB6	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}

Продовження таблиці Д.1

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПІ	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
258	129БП28	P _{bls}	1	2	1	5	3	1	7	7	1	0	141	129 → 141	P _{bls} *1/ t _{bl.s.}
259	129БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	1	2	1	5	3	2	7	8	1	0	KB7	129 → KB7	(1- P _{bls})*1/ t _{bl.s.}
260	130БП26	P _{bs}	1	3	2	5	3	1	7	5	1	0	142	130 → 142	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
261	130БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	1	3	2	5	3	2	8	5	1	0	KB6	130 → KB6	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
262	131БП26	P _{bs}	1	4	2	5	3	1	7	5	2	0	143	131 → 143	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
263	131БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	1	4	2	5	3	2	7	5	2	0	KB6	131 → KB6	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
264	132БП28	P _{bls}	1	2	2	5	3	1	7	7	2	0	144	132 → 144	P _{bls} *1/ t _{bl.s.}
265	132БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	1	2	2	5	3	2	7	8	2	0	KB7	132 → KB7	(1- P _{bls})*1/ t _{bl.s.}
266	133БП24	P _{blv}	3	3	1	5	3	1	5	5	1	0	145	133 → 145	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
267	133БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	3	3	1	5	3	2	5	6	1	0	KB7	133 → KB7	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
268	134БП24	P _{blv}	3	4	1	5	3	1	5	5	2	0	146	134 → 146	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
269	134БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	3	4	1	5	3	2	5	6	2	0	KB7	134 → KB7	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
270	135БП26	P _{bs}	3	2	1	5	3	1	7	5	2	0	147	135 → 147	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
271	135БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	3	2	1	5	3	2	8	5	2	0	KB6	135 → KB6	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
272	136БП24	P _{blv}	3	3	2	5	3	1	5	5	1	0	148	136 → 148	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
273	136БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	3	3	2	5	3	2	5	6	1	0	KB7	136 → KB7	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
274	137БП24	P _{blv}	3	4	2	5	3	1	5	5	2	0	149	137 → 149	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
275	137БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	3	4	2	5	3	2	5	6	2	0	KB7	137 → KB7	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
276	138БП26	P _{bs}	3	2	2	5	3	1	7	5	2	0	150	138 → 150	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
277	138БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	3	2	2	5	3	2	8	5	2	0	KB6	138 → KB6	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
278	139БП28	P _{bls}	1	3	1	5	3	1	7	7	1	0	151	139 → 151	P _{bls} *1/ t _{bl.s.}
279	139БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	1	3	1	5	3	2	7	8	1	0	KB7	139 → KB7	(1- P _{bls})*1/ t _{bl.s.}

Продовження таблиці Д.1

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
280	140БП28	P _{bls}	1	4	1	5	3	1	7	7	1	0	152	140 → 152	P _{bls} *1/ t _{bl.s.}
281	140БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	1	4	1	5	3	2	7	8	1	0	KB7	140 → KB7	(1- P _{bls})*1/ t _{bl.s.}
282	141БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	2	1	5	3	1	9	9	1	1	153	141 → 153	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/ t _{in}
283		1- P _{in}	1	2	1	5	3	2	10	9	1	1	KB8	141 → KB8	(1- P _{in})*1/ t _{in}
284		P _{in} (1- P _{bl})	1	2	1	5	3	2	9	10	1	1	KB8	141 → KB8	P _{in} (1- P _{bl})*1/ t _{in}
285		P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})	1	2	1	5	3	2	9	9	1	2	KB8	141 → KB8	P _{in} P _{bl} (1- P _{r.c.})*1/ t _{in}
286	142БП28	P _{bls}	1	3	2	5	3	1	7	7	1	0	154	142 → 154	P _{bls} *1/ t _{bl.s.}
287	142БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	1	3	2	5	3	2	7	8	1	0	KB7	142 → KB7	(1- P _{bls})*1/ t _{bl.s.}
288	143БП28	P _{bls}	1	4	2	5	3	1	7	7	2	0	155	143 → 155	P _{bls} *1/ t _{bl.s.}
289	143БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	1	4	2	5	3	2	7	8	2	0	KB7	143 → KB7	(1- P _{bls})*1/ t _{bl.s.}
290	144БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	2	2	5	3	1	9	9	2	1	156	144 → 156	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/ t _{in}
291		1- P _{in}	1	2	2	5	3	2	10	9	2	1	KB8	144 → KB8	(1- P _{in})*1/ t _{in}
292		P _{in} (1- P _{bl})	1	2	2	5	3	2	9	10	2	1	KB8	144 → KB8	P _{in} (1- P _{bl})*1/ t _{in}
293		P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})	1	2	2	5	3	2	9	9	2	2	KB8	144 → KB8	P _{in} P _{bl} (1- P _{r.c.})*1/ t _{in}
294	145БП26	P _{bs}	3	3	1	5	3	1	7	5	1	0	157	145 → 157	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
295	145БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	3	3	1	5	3	2	8	5	1	0	KB6	145 → KB6	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
296	146БП26	P _{bs}	3	4	1	5	3	1	7	5	2	0	158	146 → 158	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
297	146БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	3	4	1	5	3	2	8	5	2	0	KB6	146 → KB6	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
298	147БП28	P _{bls}	3	2	1	5	3	1	7	7	2	0	159	147 → 159	P _{bls} *1/ t _{bl.s.}
299	147БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	3	2	1	5	3	2	7	8	2	0	KB7	147 → KB7	(1- P _{bls})*1/ t _{bl.s.}

Продовження таблиці Д.1

№ шаг а	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
300	148БП26	P _{bs}	3	3	2	5	3	1	7	5	1	0	160	148 → 160	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
301	148БП26 (ЗБП27)	1 - P _{bs}	3	3	2	5	3	2	8	5	1	0	KB6	148 → KB6	(1 - P _{bs})*1/ t _{b.s.}
302	149БП26	P _{bs}	3	4	2	5	3	1	7	5	2	0	161	149 → 161	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
303	149БП26 (ЗБП27)	1 - P _{bs}	3	4	2	5	3	2	8	5	2	0	KB6	149 → KB6	(1 - P _{bs})*1/ t _{b.s.}
304	150БП28	P _{bls}	3	2	2	5	3	1	7	7	2	0	162	150 → 162	P _{bls} *1/ t _{b.l.s.}
305	150БП28 (ЗБП29)	1 - P _{bls}	3	2	2	5	3	2	7	8	2	0	KB7	150 → KB7	(1 - P _{bls})*1/ t _{b.l.s.}
306	151БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	3	1	5	3	1	9	9	1	1	163	151 → 163	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/ t _{in}
307		1 - P _{in}	1	3	1	5	3	2	10	9	1	1	KB8	151 → KB8	(1 - P _{in}) *1/ t _{in}
308		P _{in} (1 - P _{bl})	1	3	1	5	3	2	9	10	1	1	KB8	151 → KB8	P _{in} (1 - P _{bl}) *1/ t _{in}
309		P _{in} P _{bl} (1 - P _{r.c.})	1	3	1	5	3	2	9	9	1	2	KB8	151 → KB8	P _{in} P _{bl} (1 - P _{r.c.}) *1/ t _{in}
310	152БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	4	1	5	3	1	9	9	1	1	164	152 → 164	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/ t _{in}
311		1 - P _{in}	1	4	1	5	3	2	10	9	1	1	KB8	152 → KB8	(1 - P _{in}) *1/ t _{in}
312		P _{in} (1 - P _{bl})	1	4	1	5	3	2	9	10	1	1	KB8	152 → KB8	P _{in} (1 - P _{bl}) *1/ t _{in}
313		P _{in} P _{bl} (1 - P _{r.c.})	1	4	1	5	3	2	9	9	1	2	KB8	152 → KB8	P _{in} P _{bl} (1 - P _{r.c.}) *1/ t _{in}
314	153БП34	P _{dt}	1	5	1	5	3	1	9	9	1	1	165	153 → 165	P _{dt} *1/ t _{d.t.}
315		1 - P _{dt}	1	6	1	5	3	1	9	9	1	1	166	153 → 166	(1 - P _{dt}) *1/ t _{d.t.}
316	154БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	3	2	5	3	1	9	9	1	1	167	154 → 167	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/ t _{in}
317		1 - P _{in}	1	3	2	5	3	2	10	9	1	1	KB8	154 → KB8	(1 - P _{in}) *1/ t _{in}
318		P _{in} (1 - P _{bl})	1	3	2	5	3	2	9	10	1	1	KB8	154 → KB8	P _{in} (1 - P _{bl}) *1/ t _{in}
319		P _{in} P _{bl} (1 - P _{r.c.})	1	3	2	5	3	2	9	9	1	2	KB8	154 → KB8	P _{in} P _{bl} (1 - P _{r.c.}) *1/ t _{in}

Продовження таблиці Д.1

№ шаг а	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
320	155БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.}$	1	4	2	5	3	1	9	9	2	1	168	155 → 168	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.} * 1 / t_{in}$
321		$1 - P_{in}$	1	4	2	5	3	2	10	9	2	1	KB8	155 → KB8	$(1 - P_{in}) * 1 / t_{in}$
322		$P_{in} (1 - P_{bl})$	1	4	2	5	3	2	9	10	2	1	KB8	155 → KB8	$P_{in} (1 - P_{bl}) * 1 / t_{in}$
323		$P_{in} P_{bl} (1 - P_{r.c.})$	1	4	2	5	3	2	9	9	2	2	KB8	155 → KB8	$P_{in} P_{bl} (1 - P_{r.c.}) * 1 / t_{in}$
324	156БП34	P_{dt}	1	5	2	5	3	1	9	9	2	1	169	156 → 169	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$
325		$1 - P_{dt}$	1	6	2	5	3	1	9	9	2	1	170	156 → 170	$(1 - P_{dt}) * 1 / t_{d.t.}$
326	157БП28	P_{bls}	3	3	1	5	3	1	7	7	1	0	171	157 → 171	$P_{bls} * 1 / t_{bl.s.}$
327	157БП28 (ЗБП29)	$1 - P_{bls}$	3	3	1	5	3	2	7	8	1	0	KB7	157 → KB7	$(1 - P_{bls}) * 1 / t_{bl.s.}$
328	158БП28	P_{bls}	3	4	1	5	3	1	7	7	2	0	172	158 → 172	$P_{bls} * 1 / t_{bl.s.}$
329	158БП28 (ЗБП29)	$1 - P_{bls}$	3	4	1	5	3	2	7	8	2	0	KB7	158 → KB7	$(1 - P_{bls}) * 1 / t_{bl.s.}$
330	159БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.}$	3	2	1	5	3	1	9	9	2	1	173	159 → 173	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.} * 1 / t_{in}$
331		$1 - P_{in}$	3	2	1	5	3	2	10	9	2	1	KB8	159 → KB8	$(1 - P_{in}) * 1 / t_{in}$
332		$P_{in} (1 - P_{bl})$	3	2	1	5	3	2	9	10	2	1	KB8	159 → KB8	$P_{in} (1 - P_{bl}) * 1 / t_{in}$
333		$P_{in} P_{bl} (1 - P_{r.c.})$	3	2	1	5	3	2	9	9	2	2	KB8	159 → KB8	$P_{in} P_{bl} (1 - P_{r.c.}) * 1 / t_{in}$
334	160БП28	P_{bls}	3	3	2	5	3	1	7	7	1	0	174	160 → 174	$P_{bls} * 1 / t_{bl.s.}$
335	160БП28 (ЗБП29)	$1 - P_{bls}$	3	3	2	5	3	2	7	8	1	0	KB7	160 → KB7	$(1 - P_{bls}) * 1 / t_{bl.s.}$
336	161БП28	P_{bls}	3	4	2	5	3	1	7	7	2	0	175	161 → 175	$P_{bls} * 1 / t_{bl.s.}$
337	161БП28 (ЗБП29)	$1 - P_{bls}$	3	4	2	5	3	2	7	8	2	0	KB7	161 → KB7	$(1 - P_{bls}) * 1 / t_{bl.s.}$
338	162БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.}$	3	2	2	5	3	1	9	9	2	1	176	162 → 176	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.} * 1 / t_{in}$
339		$1 - P_{in}$	3	2	2	5	3	2	10	9	2	1	KB8	162 → KB8	$(1 - P_{in}) * 1 / t_{in}$
340		$P_{in} (1 - P_{bl})$	3	2	2	5	3	2	9	10	2	1	KB8	162 → KB8	$P_{in} (1 - P_{bl}) * 1 / t_{in}$
341		$P_{in} P_{bl} (1 - P_{r.c.})$	3	2	2	5	3	2	9	9	2	2	KB8	162 → KB8	$P_{in} P_{bl} (1 - P_{r.c.}) * 1 / t_{in}$

Продовження таблиці Д.1

№ шаг а	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
342	163БП34	P _{dt}	1	5	1	5	3	1	9	9	1	1	177	163 → 177	P _{dt} *1/ t _{d.t.}
343		1 - P _{dt}	1	6	1	5	3	1	9	9	1	1	178	163 → 178	(1-P _{dt})*1/ t _{d.t.}
344	164БП34	P _{dt}	1	5	1	5	3	1	9	9	1	1	179	164 → 179	P _{dt} *1/ t _{d.t.}
345		1 - P _{dt}	1	6	1	5	3	1	9	9	1	1	180	164 → 180	(1-P _{dt})*1/ t _{d.t.}
346	165БП35	P _{su}	1	5	1	5	3	0	9	9	1	1	181	165 → 181	P _{su} *1/ t _{p.d.}
347	166БП35	P _{su}	1	6	1	5	3	0	9	9	1	1	182	166 → 182	P _{su} *1/ t _{p.d.}
348	167БП34	P _{dt}	1	5	2	5	3	1	9	9	1	1	183	167 → 183	P _{dt} *1/ t _{d.t.}
349		1 - P _{dt}	1	6	2	5	3	1	9	9	1	1	184	167 → 184	(1-P _{dt})*1/ t _{d.t.}
350	168БП34	P _{dt}	1	5	2	5	3	1	9	9	2	1	185	168 → 185	P _{dt} *1/ t _{d.t.}
351		1 - P _{dt}	1	6	2	5	3	1	9	9	2	1	186	168 → 186	(1-P _{dt})*1/ t _{d.t.}
352	169БП35	P _{su}	1	5	2	5	3	0	9	9	2	1	187	169 → 187	P _{su} *1/ t _{p.d.}
353	170БП35	P _{su}	1	6	2	5	3	0	9	9	2	1	188	170 → 188	P _{su} *1/ t _{p.d.}
354	171БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	3	3	1	5	3	1	9	9	1	1	189	171 → 189	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/ t _{in}
355		1 - P _{in}	3	3	1	5	3	2	10	9	1	1	KB8	171 → KB8	(1 - P _{in}) *1/ t _{in}
356		P _{in} (1 - P _{bl})	3	3	1	5	3	2	9	10	1	1	KB8	171 → KB8	P _{in} (1 - P _{bl})*1/ t _{in}
357		P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})	3	3	1	5	3	2	9	9	1	2	KB8	171 → KB8	P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})*1/ t _{in}
358	172БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	3	3	1	5	3	1	9	9	2	1	190	172 → 190	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/ t _{in}
359		1 - P _{in}	3	3	1	5	3	2	10	9	2	1	KB8	172 → KB8	(1 - P _{in}) *1/ t _{in}
360		P _{in} (1 - P _{bl})	3	3	1	5	3	2	9	10	2	1	KB8	172 → KB8	P _{in} (1 - P _{bl})*1/t _{in}
361		P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})	3	3	1	5	3	2	9	9	2	2	KB8	172 → KB8	P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})*1/t _{in}
362	173БП34	P _{dt}	3	5	1	5	3	1	9	9	2	1	191	173 → 191	P _{dt} *1/t _{d.t.}
363		1 - P _{dt}	3	6	1	5	3	1	9	9	2	1	192	173 → 192	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}

Продовження таблиці Д.1

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
364	174БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.}$	3	3	2	5	3	1	9	9	1	1	193	174 → 193	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.} * 1 / t_{in}$
365		$1 - P_{in}$	3	3	2	5	3	2	10	9	1	1	KB8	174 → KB8	$(1 - P_{in}) * 1 / t_{in}$
366		$P_{in} (1 - P_{bl})$	3	3	2	5	3	2	9	10	1	1	KB8	174 → KB8	$P_{in} (1 - P_{bl}) * 1 / t_{in}$
367		$P_{in} P_{bl} (1 - P_{r.c.})$	3	3	2	5	3	2	9	9	1	2	KB8	174 → KB8	$P_{in} P_{bl} (1 - P_{r.c.}) * 1 / t_{in}$
368	175БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.}$	3	4	2	5	3	1	9	9	2	1	194	175 → 194	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.} * 1 / t_{in}$
369		$1 - P_{in}$	3	4	2	5	3	2	10	9	2	1	KB8	175 → KB8	$(1 - P_{in}) * 1 / t_{in}$
370		$P_{in} (1 - P_{bl})$	3	4	2	5	3	2	9	10	2	1	KB8	175 → KB8	$P_{in} (1 - P_{bl}) * 1 / t_{in}$
371		$P_{in} P_{bl} (1 - P_{r.c.})$	3	4	2	5	3	2	9	9	2	2	KB8	175 → KB8	$P_{in} P_{bl} (1 - P_{r.c.}) * 1 / t_{in}$
372	176БП34	P_{dt}	3	5	2	5	3	1	9	9	2	1	195	176 → 195	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$
373		$1 - P_{dt}$	3	6	2	5	3	1	9	9	2	1	196	176 → 196	$(1 - P_{dt}) * 1 / t_{d.t.}$
374	177БП35	P_{su}	1	5	1	5	3	0	9	9	1	1	197	177 → 197	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
375	178БП35	P_{su}	1	6	1	5	3	0	9	9	1	1	198	178 → 198	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
376	179БП35	P_{su}	1	5	1	5	3	0	9	9	1	1	199	179 → 199	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
377	180БП35	P_{su}	1	6	1	5	3	0	9	9	1	1	200	180 → 200	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
378	183БП35	P_{su}	1	5	2	5	3	0	9	9	1	1	201	183 → 201	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
379	184БП35	P_{su}	1	6	2	5	3	0	9	9	1	1	202	184 → 202	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
380	185БП35	P_{su}	1	5	2	5	3	0	9	9	2	1	203	185 → 203	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
381	186БП35	P_{su}	1	6	2	5	3	0	9	9	2	1	204	186 → 204	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
382	189БП34	P_{dt}	3	5	1	5	3	1	9	9	1	1	205	189 → 205	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$
383		$1 - P_{dt}$	3	6	1	5	3	1	9	9	1	1	206	189 → 206	$(1 - P_{dt}) * 1 / t_{d.t.}$
384	190БП34	P_{dt}	3	5	1	5	3	1	9	9	2	1	207	190 → 207	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$
385		$1 - P_{dt}$	3	6	1	5	3	1	9	9	2	1	208	190 → 208	$(1 - P_{dt}) * 1 / t_{d.t.}$

Продовження таблиці Д.1

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
386	191БП35	P _{su}	3	5	1	5	3	0	9	9	2	1	209	191 → 209	P _{su} *1/ t _{p.d.}
387	192БП35	P _{su}	3	6	1	5	3	0	9	9	2	1	210	192 → 210	P _{su} *1/ t _{p.d.}
388	193БП34	P _{dt}	3	5	2	5	3	1	9	9	1	1	211	193 → 211	P _{dt} *1/ t _{d.t.}
389		1 - P _{dt}	3	6	2	5	3	1	9	9	1	1	212	193 → 212	(1 - P _{dt}) *1/ t _{d.t.}
390	194БП34	P _{dt}	3	5	2	5	3	1	9	9	2	1	213	194 → 213	P _{dt} *1/ t _{d.t.}
391		1 - P _{dt}	3	6	2	5	3	1	9	9	2	1	214	194 → 214	(1 - P _{dt}) *1/ t _{d.t.}
392	195БП35	P _{su}	3	5	2	5	3	0	9	9	2	1	215	195 → 215	P _{su} *1/ t _{p.d.}
393	196БП35	P _{su}	3	6	2	5	3	0	9	9	2	1	216	196 → 216	P _{su} *1/ t _{p.d.}
394	205БП35	P _{su}	3	5	1	5	3	0	9	9	1	1	217	205 → 217	P _{su} *1/ t _{p.d.}
395	206БП35	P _{su}	3	6	1	5	3	0	9	9	1	1	218	206 → 218	P _{su} *1/ t _{p.d.}
396	207БП35	P _{su}	3	5	1	5	3	0	9	9	2	1	219	207 → 219	P _{su} *1/ t _{p.d.}
397	208БП35	P _{su}	3	6	1	5	3	0	9	9	2	1	220	208 → 220	P _{su} *1/ t _{p.d.}
398	211БП35	P _{su}	3	5	2	5	3	0	9	9	1	1	221	211 → 221	P _{su} *1/ t _{p.d.}
399	212БП35	P _{su}	3	6	2	5	3	0	9	9	1	1	222	212 → 222	P _{su} *1/ t _{p.d.}
400	213БП35	P _{su}	3	5	2	5	3	0	9	9	2	1	223	213 → 223	P _{su} *1/ t _{p.d.}
401	214БП35	P _{su}	3	6	2	5	3	0	9	9	2	1	224	214 → 224	P _{su} *1/ t _{p.d.}

Д.2. Граф станів і переходів моделі з відновленням

Таблиця Д.2 – Модель функціональної поведінки інсулінової помпи у вигляді графа станів і переходів відновленнями

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
1	Початковий стан	--	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	--	--
2	1БП1	P _{sst}	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	1 → 2	P _{sst} *1/t _{s.t.}
3	1БП1 (ЗБП2)	1 - P _{sst}	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	1 → 3	(1 - P _{sst}) *1/t _{p.d.}

Продовження таблиці Д.2

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРПП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
4	2БП4	P_{ao}	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	4	$2 \rightarrow 4$	$P_{ao} * 1 / t_{b.a.}$
5		$1 - P_{ao}$	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	5	$2 \rightarrow 5$	$(1 - P_{ao}) * 1 / t_{b.a.}$
6	3БП3	P_{sst}	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	$3 \rightarrow 6$	$P_{sst} * 1 / t_{s.t.}$
7		$1 - P_{sst}$	4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	KB1	$3 \rightarrow KB1$	$(1 - P_{sst}) * 1 / t_{s.t.}$
8	4БП5	P_{dt}	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	7	$4 \rightarrow 7$	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$
9		$1 - P_{dt}$	1	2	1	0	0	1	0	0	2	0	8	$4 \rightarrow 8$	$(1 - P_{dt}) * 1 / t_{d.t.}$
10	5БП5	P_{dt}	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	9	$5 \rightarrow 9$	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$
11		$1 - P_{dt}$	1	2	2	0	0	1	0	0	2	0	10	$5 \rightarrow 10$	$(1 - P_{dt}) * 1 / t_{d.t.}$
12	6БП4	P_{ao}	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	11	$6 \rightarrow 11$	$P_{ao} * 1 / t_{b.a.}$
13		$1 - P_{ao}$	3	0	2	0	0	1	0	0	0	0	12	$6 \rightarrow 12$	$(1 - P_{ao}) * 1 / t_{b.a.}$
14	7БП6	P_{ce}	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	13	$7 \rightarrow 13$	$P_{ce} * 1 / t_{c.e.}$
15		$1 - P_{ce}$	1	1	1	2	0	2	0	0	0	0	KB2	$7 \rightarrow KB2$	$(1 - P_{ce}) * 1 / t_{c.e.}$
16	8БП6	P_{ce}	1	2	1	1	0	1	0	0	2	0	14	$8 \rightarrow 14$	$P_{ce} * 1 / t_{c.e.}$
17		$1 - P_{ce}$	1	2	1	2	0	2	0	0	2	0	KB2	$8 \rightarrow KB2$	$(1 - P_{ce}) * 1 / t_{c.e.}$
18	9БП6	P_{ce}	1	1	2	1	0	1	0	0	0	0	15	$9 \rightarrow 15$	$P_{ce} * 1 / t_{c.e.}$
19		$1 - P_{ce}$	1	1	2	2	0	2	0	0	0	0	KB2	$9 \rightarrow KB2$	$(1 - P_{ce}) * 1 / t_{c.e.}$
20	10БП6	P_{ce}	1	2	2	1	0	1	0	0	2	0	16	$10 \rightarrow 16$	$P_{ce} * 1 / t_{c.e.}$
21		$1 - P_{ce}$	1	2	2	2	0	2	0	0	2	0	KB2	$10 \rightarrow KB2$	$(1 - P_{ce}) * 1 / t_{c.e.}$
22	11БП5	P_{dt}	3	1	1	0	0	1	0	0	0	0	17	$11 \rightarrow 17$	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$
23		$1 - P_{dt}$	3	2	1	0	0	1	0	0	2	0	18	$11 \rightarrow 18$	$(1 - P_{dt}) * 1 / t_{d.t.}$
24	12БП5	P_{dt}	3	1	2	0	0	1	0	0	0	0	19	$12 \rightarrow 19$	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$
25		$1 - P_{dt}$	3	2	2	0	0	1	0	0	2	0	20	$12 \rightarrow 20$	$(1 - P_{dt}) * 1 / t_{d.t.}$
26	13БП7	P_{pp}	1	1	1	3	0	1	0	0	0	0	21	$13 \rightarrow 21$	$P_{pp} * 1 / t_{p.p.}$
27	13БП7 (ЗБП9)	$1 - P_{pp}$	1	1	1	4	0	2	0	0	0	0	KB3	$13 \rightarrow KB3$	$(1 - P_{pp}) * 1 / t_{p.p.}$
28	14БП7	P_{pp}	1	2	1	3	0	1	0	0	2	0	22	$14 \rightarrow 22$	$P_{pp} * 1 / t_{p.p.}$
29	14БП7 (ЗБП9)	$1 - P_{pp}$	1	2	1	4	0	2	0	0	2	0	KB3	$14 \rightarrow KB3$	$(1 - P_{pp}) * 1 / t_{p.p.}$
30	15БП7	P_{pp}	1	1	2	3	0	1	0	0	0	0	23	$15 \rightarrow 23$	$P_{pp} * 1 / t_{p.p.}$
31	15БП7 (ЗБП9)	$1 - P_{pp}$	1	1	2	4	0	2	0	0	0	0	KB3	$15 \rightarrow KB3$	$(1 - P_{pp}) * 1 / t_{p.p.}$
32	16БП7	P_{pp}	1	2	2	3	0	1	0	0	2	0	24	$16 \rightarrow 24$	$P_{pp} * 1 / t_{p.p.}$
33	16БП7 (ЗБП9)	$1 - P_{pp}$	1	2	2	4	0	2	0	0	2	0	KB3	$16 \rightarrow KB3$	$(1 - P_{pp}) * 1 / t_{p.p.}$
34	17БП6	P_{ce}	3	1	1	1	0	1	0	0	0	0	25	$17 \rightarrow 25$	$P_{ce} * 1 / t_{c.e.}$
35		$1 - P_{ce}$	3	1	1	2	0	2	0	0	0	0	KB2	$17 \rightarrow KB2$	$(1 - P_{ce}) * 1 / t_{c.e.}$
36	18БП6	P_{ce}	3	2	1	1	0	1	0	0	2	0	26	$18 \rightarrow 26$	$P_{ce} * 1 / t_{c.e.}$
37		$1 - P_{ce}$	3	2	1	2	0	2	0	0	2	0	KB2	$18 \rightarrow KB2$	$(1 - P_{ce}) * 1 / t_{c.e.}$
38	19БП6	P_{ce}	3	1	2	1	0	1	0	0	0	0	27	$19 \rightarrow 27$	$P_{ce} * 1 / t_{c.e.}$
39		$1 - P_{ce}$	3	1	2	2	0	2	0	0	0	0	KB2	$19 \rightarrow KB2$	$(1 - P_{ce}) * 1 / t_{c.e.}$

Продовження таблиці Д.2

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження											№ стану	Перехід з стану в стан	ФРПП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10				
40	20БП6	P _{ce}	3	2	2	1	0	1	0	0	2	0	28	20 → 28	P _{ce} *1/ t _{c.e.}	
41		1 - P _{ce}	3	3	2	2	0	2	0	0	2	0	KB3	20 → KB3	(1-P _{ce})*1/ t _{c.e.}	
42	21БП8	P _{cp}	1	1	1	5	0	1	0	0	0	0	29	21 → 29	P _{cp} *1/ t _{c.p.}	
43	21БП8 (ЗБП9)	1 - P _{cp}	1	1	1	6	0	2	0	0	0	0	KB3	21 → KB3	(1-P _{cp})*1/ t _{c.p.}	
44	22БП8	P _{cp}	1	2	1	5	0	1	0	0	2	0	30	22 → 30	P _{cp} *1/ t _{c.p.}	
45	22БП8 (ЗБП9)	1 - P _{cp}	1	2	1	6	0	2	0	0	2	0	KB3	22 → KB3	(1-P _{cp})*1/ t _{c.p.}	
46	23БП8	P _{cp}	1	1	2	5	0	1	0	0	0	0	31	23 → 31	P _{cp} *1/ t _{c.p.}	
47	23БП8 (ЗБП9)	1 - P _{cp}	1	1	2	6	0	2	0	0	0	0	KB3	23 → KB3	(1-P _{cp})*1/ t _{c.p.}	
48	24БП8	P _{cp}	1	2	2	5	0	1	0	0	2	0	32	24 → 32	P _{cp} *1/ t _{c.p.}	
49	24БП8 (ЗБП9)	1 - P _{cp}	1	2	2	6	0	2	0	0	2	0	KB3	24 → KB3	(1-P _{cp})*1/ t _{c.p.}	
50	25БП7	P _{pp}	3	1	1	3	0	1	0	0	0	0	33	25 → 33	P _{pp} *1/ t _{p.p.}	
51	25БП7 (ЗБП9)	1 - P _{pp}	3	1	1	4	0	2	0	0	0	0	KB3	25 → KB3	(1-P _{pp})*1/ t _{p.p.}	
52	26БП7	P _{pp}	3	2	1	3	0	1	0	0	2	0	34	26 → 34	P _{pp} *1/ t _{p.p.}	
53	26БП7 (ЗБП9)	1 - P _{pp}	3	2	1	4	0	2	0	0	2	0	KB3	26 → KB3	(1-P _{pp})*1/ t _{p.p.}	
54	27БП7	P _{pp}	3	1	2	3	0	1	0	0	0	0	35	27 → 35	P _{pp} *1/ t _{p.p.}	
55	27БП7 (ЗБП9)	1 - P _{pp}	3	1	2	4	0	2	0	0	0	0	KB3	27 → KB3	(1-P _{pp})*1/ t _{p.p.}	
56	28БП7	P _{pp}	3	2	2	3	0	1	0	0	2	0	36	28 → 36	P _{pp} *1/ t _{p.p.}	
57	28БП7 (ЗБП9)	1 - P _{pp}	3	2	2	4	0	2	0	0	2	0	KB3	28 → KB3	(1-P _{pp})*1/ t _{p.p.}	
58	29БП10	P _{dc}	1	1	1	5	1	1	0	0	0	0	37	29 → 37	P _{dc} *1/ t _{d.c.}	
59		1 - P _{dc}	1	1	1	5	2	2	0	0	0	0	KB4	29 → KB4	(1-P _{dc})*1/ t _{d.c.}	
60	30БП10	P _{dc}	1	2	1	5	1	1	0	0	2	0	38	30 → 38	P _{dc} *1/ t _{d.c.}	
61		1 - P _{dc}	1	2	1	5	2	2	0	0	2	0	KB4	30 → KB4	(1-P _{dc})*1/ t _{d.c.}	

Продовження таблиці Д.2

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження											№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10				
62	31БП10	P _{dc}	1	1	2	5	1	1	0	0	0	0	39	31 → 39	P _{dc} *1/ t _{d.c.}	
63		1 - P _{dc}	1	1	2	5	2	2	0	0	0	0	KB4	31 → KB4	(1-P _{dc})*1/ t _{d.c.}	
64	32БП10	P _{dc}	1	2	2	5	1	1	0	0	2	0	40	32 → 40	P _{dc} *1/ t _{d.c.}	
65		1 - P _{dc}	1	2	2	5	2	2	0	0	2	0	KB4	32 → KB4	(1-P _{dc})*1/ t _{d.c.}	
66	33БП8	P _{cp}	3	1	1	5	0	1	0	0	0	0	41	33 → 41	P _{cp} *1/ t _{c.p.}	
67	33БП8 (ЗБП9)	1 - P _{cp}	3	1	1	6	0	2	0	0	0	0	KB3	33 → KB3	(1-P _{cp})*1/ t _{c.p.}	
68	34БП8	P _{cp}	3	2	1	5	0	1	0	0	2	0	42	34 → 42	P _{cp} *1/ t _{c.p.}	
69	34БП8 (ЗБП9)	1 - P _{cp}	3	2	1	6	0	0	0	0	2	0	KB3	34 → KB3	(1-P _{cp})*1/ t _{c.p.}	
70	35БП8	P _{cp}	3	1	2	5	0	1	0	0	0	0	43	35 → 43	P _{cp} *1/ t _{c.p.}	
71	35БП8 (ЗБП9)	1 - P _{cp}	3	1	2	6	0	2	0	0	0	0	KB3	35 → KB3	(1-P _{cp})*1/ t _{c.p.}	
72	36БП8	P _{cp}	3	2	2	5	0	1	0	0	2	0	44	36 → 44	P _{cp} *1/ t _{c.p.}	
73	36БП8 (ЗБП9)	1 - P _{cp}	3	2	2	6	0	2	0	0	2	0	KB3	36 → KB3	(1-P _{cp})*1/ t _{c.p.}	
74	37БП11	P _{da}	1	3	1	5	1	1	0	0	1	0	45	37 → 45	P _{da} *1/ t _{d.a.}	
75		1 - P _{da}	1	4	1	5	1	1	0	0	2	0	46	37 → 46	(1-P _{da})*1/ t _{d.a.}	
76	38БП12	P _{cd}	1	2	1	5	3	1	0	0	2	0	47	38 → 47	P _{cd} *1/ t _{c.d.}	
77	38БП12 (ЗБП13)	1 - P _{cd}	1	2	1	5	4	2	0	0	2	0	KB5	38 → KB5	(1-P _{cd})*1/ t _{c.d.}	
78	39БП11	P _{da}	1	3	2	5	1	1	0	0	1	0	48	39 → 48	P _{da} *1/ t _{d.a.}	
79		1 - P _{da}	1	4	2	5	1	1	0	0	2	0	49	39 → 49	(1-P _{da})*1/ t _{d.a.}	
80	40БП12	P _{cd}	1	2	2	5	3	1	0	0	2	0	50	40 → 50	P _{cd} *1/ t _{c.d.}	
81	40БП12 (ЗБП13)	1 - P _{cd}	1	2	2	5	4	2	0	0	2	0	KB5	40 → KB5	(1-P _{cd})*1/ t _{c.d.}	
82	41БП10	P _{dc}	3	1	1	5	1	1	0	0	0	0	51	41 → 51	P _{dc} *1/ t _{d.c.}	
83		1 - P _{dc}	3	1	1	5	2	2	0	0	0	0	KB4	41 → KB4	(1-P _{dc})*1/ t _{d.c.}	

Продовження таблиці Д.2

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
84	42БП10	P _{dc}	3	2	1	5	1	1	0	0	2	0	52	42 → 52	P _{dc} * 1/ t _{d.c.}
85		1 - P _{dc}	3	2	1	5	2	2	0	0	2	0	KB4	42 → KB4	(1 - P _{dc}) * 1/ t _{d.c.}
86	43БП10	P _{dc}	3	1	2	5	1	1	0	0	0	0	53	43 → 53	P _{dc} * 1/ t _{d.c.}
87		1 - P _{dc}	3	1	2	5	2	2	0	0	0	0	KB4	43 → KB4	(1 - P _{dc}) * 1/ t _{d.c.}
88	44БП10	P _{dc}	3	2	2	5	1	1	0	0	2	0	54	44 → 54	P _{dc} * 1/ t _{d.c.}
89		1 - P _{dc}	3	2	2	5	2	2	0	0	2	0	KB4	44 → KB4	(1 - P _{dc}) * 1/ t _{d.c.}
90	45БП12	P _{cd}	1	3	1	5	3	1	0	0	1	0	55	45 → 55	P _{cd} * 1/ t _{c.d.}
91	45БП12 (ЗБП13)	1 - P _{cd}	1	2	1	5	4	2	0	0	2	0	KB5	45 → KB5	(1 - P _{cd}) * 1/ t _{c.d.}
92	46БП12	P _{cd}	1	4	1	5	3	1	0	0	2	0	56	46 → 56	P _{cd} * 1/ t _{c.d.}
93	46БП12 (ЗБП13)	1 - P _{cd}	1	4	1	5	4	2	0	0	2	0	KB5	46 → KB5	(1 - P _{cd}) * 1/ t _{c.d.}
94	47БП14	P _{bd}	1	2	1	5	3	1	1	0	2	0	57	47 → 57	P _{bd} * 1/ t _{b.d.}
95	47БП14 (ЗБП15)	1 - P _{bd}	1	2	1	5	3	5	2	0	2	0	58	47 → 58	(1 - P _{bd}) * 1/ t _{b.d.}
96	48БП12	P _{cd}	1	3	2	5	3	1	0	0	1	0	59	48 → 59	P _{cd} * 1/ t _{c.d.}
97	48БП12 (ЗБП13)	1 - P _{cd}	1	3	2	5	4	2	0	0	1	0	KB5	48 → KB5	(1 - P _{cd}) * 1/ t _{c.d.}
98	49БП12	P _{cd}	1	4	2	5	3	1	0	0	2	0	60	49 → 60	P _{cd} * 1/ t _{c.d.}
99	49БП12 (ЗБП13)	1 - P _{cd}	1	4	2	5	4	2	0	0	2	0	KB5	49 → KB5	(1 - P _{cd}) * 1/ t _{c.d.}
100	50БП14	P _{bd}	1	2	2	5	3	1	1	0	2	0	61	50 → 61	P _{bd} * 1/ t _{b.d.}
101	50БП14 (ЗБП15)	1 - P _{bd}	1	2	2	5	3	5	2	0	2	0	62	50 → 62	(1 - P _{bd}) * 1/ t _{b.d.}
102	51БП11	P _{da}	3	3	1	5	1	1	0	0	1	0	63	51 → 63	P _{da} * 1/ t _{d.a.}
103		1 - P _{da}	3	4	1	5	1	1	0	0	2	0	64	51 → 64	(1 - P _{da}) * 1/ t _{d.a.}
104	52БП12	P _{cd}	3	2	1	5	3	1	0	0	2	0	65	52 → 65	P _{cd} * 1/ t _{c.d.}
105	52БП12 (ЗБП13)	1 - P _{cd}	3	2	1	5	4	2	0	0	2	0	KB5	52 → KB5	(1 - P _{cd}) * 1/ t _{c.d.}
106	53БП11	P _{da}	3	3	2	5	1	1	0	0	1	0	66	53 → 66	P _{da} * 1/ t _{d.a.}
107		1 - P _{da}	3	4	2	5	1	1	0	0	2	0	67	53 → 67	(1 - P _{da}) * 1/ t _{d.a.}
108	54БП12	P _{cd}	3	2	2	5	3	1	0	0	2	0	68	54 → 68	P _{cd} * 1/ t _{c.d.}
109	54БП12 (ЗБП13)	1 - P _{cd}	3	2	2	5	4	2	0	0	2	0	KB5	54 → KB5	(1 - P _{cd}) * 1/ t _{c.d.}
110	55БП14	P _{bd}	1	3	1	5	3	1	1	0	1	0	69	55 → 69	P _{bd} * 1/ t _{b.d.}
111	55БП14 (ЗБП15)	1 - P _{bd}	1	3	1	5	3	5	2	0	1	0	70	55 → 70	(1 - P _{bd}) * 1/ t _{b.d.}
112	56БП14	P _{bd}	1	4	1	5	3	1	1	0	2	0	71	56 → 71	P _{bd} * 1/ t _{b.d.}
113	56БП14 (ЗБП15)	1 - P _{bd}	1	4	1	5	3	5	2	0	2	0	72	56 → 72	(1 - P _{bd}) * 1/ t _{b.d.}
114	57БП16	P _{bld}	1	2	1	5	3	1	1	1	2	0	73	57 → 73	P _{bld} * 1/ t _{bld.}
115	57БП16 (ЗБП17)	1 - P _{bld}	1	2	1	5	3	5	1	2	2	0	74	57 → KB7	(1 - P _{bld}) * 1/ t _{bld.}
116	58БП30	P _{rs}	1	2	1	5	3	1	1	0	2	0	57	58 → 57	P _{rs} * (1/T _{r.c.})
117		1 - P _{rs}	1	2	1	5	3	4	2	0	2	0	KB	58 → KB	(1 - P _{rs}) * (1/T _{r.c.})
118	59БП14	P _{bd}	1	3	2	5	3	1	1	0	1	0	75	59 → 75	P _{bd} * 1/ t _{b.d.}
119	59БП14 (ЗБП15)	1 - P _{bd}	1	3	2	5	3	5	2	0	1	0	76	59 → 76	(1 - P _{bd}) * 1/ t _{b.d.}
120	60БП14	P _{bd}	1	4	2	5	3	1	1	0	2	0	77	60 → 77	P _{bd} * 1/ t _{b.d.}

Продовження таблиці Д.2

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
121	60БП14 (ЗБП15)	1- P _{bd}	1	4	2	5	3	5	2	0	2	0	78	60 → 78	(1- P _{bd})*1/ t _{b.d.}
122	61БП16	P _{bld}	1	2	2	5	3	1	1	1	2	0	79	61 → 72	P _{bld} *1/ t _{bld.}
123	61БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	1	2	2	5	3	5	1	2	2	0	80	61 → 80	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.}
124	62БП30	P _{rs}	1	2	2	5	3	1	1	0	2	0	61	62 → 61	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
125		1- P _{rs}	1	2	2	5	3	4	2	0	2	0	KB	62 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
126	63БП12	P _{cd}	3	3	1	5	3	1	0	0	1	0	81	63 → 81	P _{cd} *1/ t _{c.d.}
127	63БП12 (ЗБП13)	1- P _{cd}	3	3	1	5	4	2	0	0	1	0	KB5	63 → KB5	(1- P _{cd})*1/ t _{c.d.}
128	64БП12	P _{cd}	3	4	1	5	3	1	0	0	2	0	82	64 → 82	P _{cd} *1/ t _{c.d.}
129	64БП12 (ЗБП13)	1- P _{cd}	3	4	1	5	4	2	0	0	2	0	KB5	64 → KB5	(1- P _{cd})*1/ t _{c.d.}
130	65БП14	P _{bd}	3	2	1	5	3	1	1	0	2	0	83	65 → 83	P _{bd} *1/ t _{b.d.}
131	65БП14 (ЗБП15)	1- P _{bd}	3	2	1	5	3	5	2	0	2	0	84	65 → 84	(1- P _{bd})*1/ t _{b.d.}
132	66БП12	P _{cd}	3	3	2	5	3	1	0	0	1	0	85	66 → 85	P _{cd} *1/ t _{c.d.}
133	66БП12 (ЗБП13)	1- P _{cd}	3	3	2	5	4	2	0	0	1	0	KB5	66 → KB5	(1- P _{cd})*1/ t _{c.d.}
134	67БП12	P _{cd}	3	4	2	5	3	1	0	0	2	0	86	67 → 86	P _{cd} *1/ t _{c.d.}
135	67БП12 (ЗБП13)	1- P _{cd}	3	4	2	5	4	2	0	0	2	0	KB5	67 → KB5	(1- P _{cd})*1/ t _{c.d.}
136	68БП14	P _{bd}	3	2	2	5	3	1	1	0	2	0	87	68 → 87	P _{bd} *1/ t _{b.d.}
137	68БП14 (ЗБП15)	1- P _{bd}	3	2	2	5	3	5	2	0	2	0	88	68 → 88	(1- P _{bd})*1/ t _{b.d.}
138	69БП16	P _{bld}	1	3	1	5	3	1	1	1	1	0	89	69 → 89	P _{bld} *1/ t _{bld.}
139	69БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	1	3	1	5	3	5	1	2	1	0	90	69 → 90	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.}
140	70БП30	P _{rs}	1	3	1	5	3	1	1	0	1	0	69	70 → 69	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
141		1- P _{rs}	1	3	1	5	3	4	2	0	1	0	KB	70 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
142	71БП16	P _{bld}	1	4	1	5	3	1	1	1	2	0	91	71 → 91	P _{bld} *1/ t _{bld.}
143	71БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	1	4	1	5	3	5	1	2	2	0	92	71 → 92	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.}
144	72БП30	P _{rs}	1	4	1	5	3	1	1	0	2	0	71	72 → 71	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
145		1- P _{rs}	1	4	1	5	3	4	2	0	2	0	KB	72 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
146	73БП18	P _{bc}	1	2	1	5	3	1	3	1	2	0	93	73 → 93	P _{bc} *1/ t _{b.c.}
147	73БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	1	2	1	5	3	5	4	1	2	0	94	73 → 94	(1- P _{bc})*1/ t _{b.c.}
148	74БП30	P _{rs}	1	2	1	5	3	1	1	1	2	0	73	74 → 73	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
149		1- P _{rs}	1	2	1	5	3	4	1	2	2	0	KB	72 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
150	75БП16	P _{bld}	1	3	2	5	3	1	1	1	1	0	95	75 → 95	P _{bld} *1/ t _{bld.}
151	75БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	1	3	2	5	3	5	1	2	1	0	96	75 → 96	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.}
152	76БП30	P _{rs}	1	3	2	5	3	1	1	0	1	0	75	76 → 75	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
153		1- P _{rs}	1	3	2	5	3	4	2	0	1	0	KB	76 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
154	77БП16	P _{bld}	1	4	2	5	3	1	1	1	2	0	97	77 → 97	P _{bld} *1/ t _{bld.}
155	77БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	1	4	2	5	3	5	1	2	2	0	98	77 → 98	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.}
156	78БП30	P _{rs}	1	4	2	5	3	1	1	0	2	0	77	78 → 77	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
157		1- P _{rs}	1	4	2	5	3	4	2	0	2	0	KB	78 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})

Продовження таблиці Д.2

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
158	79БП18	P _{bc}	1	2	2	5	3	1	3	1	2	0	99	79 → 99	P _{bc} * 1/ t _{b.c.}
159	79БП18 (ЗБП19)	1 - P _{bc}	1	2	2	5	3	5	4	1	2	0	100	79 → 100	(1 - P _{bc}) * 1/ t _{b.c.}
160	80БП30	P _{rs}	1	2	2	5	3	1	1	1	2	0	79	80 → 79	P _{rs} * (1/T _{r.c.})
161		1 - P _{rs}	1	2	2	5	3	4	1	2	2	0	KB	80 → KB	(1 - P _{rs}) * (1/T _{r.c.})
162	81БП14	P _{bd}	3	3	1	5	3	1	1	0	1	0	101	81 → 101	P _{bd} * 1/ t _{b.d.}
163	81БП14 (ЗБП15)	1 - P _{bd}	3	3	1	5	3	5	2	0	1	0	102	81 → 102	(1 - P _{bd}) * 1/ t _{b.d.}
164	82БП14	P _{bd}	3	4	1	5	3	1	1	0	2	0	103	74 → 103	P _{bd} * 1/ t _{b.d.}
165	82БП14 (ЗБП15)	1 - P _{bd}	3	4	1	5	3	5	2	0	2	0	104	74 → 104	(1 - P _{bd}) * 1/ t _{b.d.}
166	83БП16	P _{bld}	3	2	1	5	3	1	1	1	2	0	105	83 → 105	P _{bld} * 1/ t _{bld.}
167	83БП16 (ЗБП17)	1 - P _{bld}	3	2	1	5	3	5	1	2	2	0	106	83 → 106	(1 - P _{bld}) * 1/ t _{bld.}
168	84БП30	P _{rs}	3	2	1	5	3	1	1	0	2	0	83	84 → 83	P _{rs} * (1/T _{r.c.})
169		1 - P _{rs}	3	2	1	5	3	4	2	0	2	0	KB	84 → KB	(1 - P _{rs}) * (1/T _{r.c.})
170	85БП14	P _{bd}	3	3	2	5	3	1	1	0	1	0	107	85 → 107	P _{bd} * 1/ t _{b.d.}
171	85БП14 (ЗБП15)	1 - P _{bd}	3	3	2	5	3	5	2	0	1	0	108	85 → 108	(1 - P _{bd}) * 1/ t _{b.d.}
172	86БП14	P _{bd}	3	4	2	5	3	1	1	0	2	0	109	86 → 109	P _{bd} * 1/ t _{b.d.}
173	86БП14 (ЗБП15)	1 - P _{bd}	3	4	2	5	3	5	2	0	2	0	110	86 → 110	(1 - P _{bd}) * 1/ t _{b.d.}
174	87БП16	P _{bld}	3	2	2	5	3	1	1	1	2	0	111	87 → 111	P _{bld} * 1/ t _{bld.}
175	87БП16 (ЗБП17)	1 - P _{bld}	3	2	2	5	3	5	1	2	2	0	112	87 → 112	(1 - P _{bld}) * 1/ t _{bld.}
176	88БП30	P _{rs}	3	2	2	5	3	1	1	0	2	0	87	88 → 87	P _{rs} * (1/T _{r.c.})
177		1 - P _{rs}	3	2	2	5	3	4	2	0	2	0	KB	88 → KB	(1 - P _{rs}) * (1/T _{r.c.})
178	89БП18	P _{bc}	1	3	1	5	3	1	3	1	1	0	113	89 → 113	P _{bc} * 1/ t _{b.c.}
179	89БП18 (ЗБП19)	1 - P _{bc}	1	3	1	5	3	5	4	1	1	0	114	89 → 114	(1 - P _{bc}) * 1/ t _{b.c.}
180	90БП30	P _{rs}	1	3	1	5	3	1	1	1	1	0	89	90 → 89	P _{rs} * (1/T _{r.c.})
181		1 - P _{rs}	1	3	1	5	3	4	1	2	1	0	KB	90 → KB	(1 - P _{rs}) * (1/T _{r.c.})
182	91БП18	P _{bc}	1	4	1	5	3	1	3	1	2	0	115	80 → 115	P _{bc} * 1/ t _{b.c.}
183	91БП18 (ЗБП19)	1 - P _{bc}	1	4	1	5	3	5	4	1	2	0	116	80 → 116	(1 - P _{bc}) * 1/ t _{b.c.}
184	92БП30	P _{rs}	1	4	1	5	3	1	1	1	2	0	91	92 → 90	P _{rs} * (1/T _{r.c.})
185		1 - P _{rs}	1	4	1	5	3	4	1	2	2	0	KB	92 → KB	(1 - P _{rs}) * (1/T _{r.c.})
186	93БП20	P _{bld}	1	2	1	5	3	1	3	3	2	0	117	93 → 117	P _{bld} * 1/ t _{bld.}
187	93БП20 (ЗБП21)	1 - P _{bld}	1	2	1	5	3	5	3	4	2	0	118	93 → 118	(1 - P _{bld}) * 1/ t _{bld.}
188	94БП30	P _{rs}	1	2	1	5	3	1	3	1	2	0	93	94 → 93	P _{rs} * (1/T _{r.c.})
189		1 - P _{rs}	1	2	1	5	3	4	4	1	2	0	KB	94 → KB	(1 - P _{rs}) * (1/T _{r.c.})
190	95БП18	P _{bc}	1	3	2	5	3	1	3	1	1	0	119	95 → 119	P _{bc} * 1/ t _{b.c.}
191	95БП18 (ЗБП19)	1 - P _{bc}	1	3	2	5	3	5	4	1	1	0	120	95 → 120	(1 - P _{bc}) * 1/ t _{b.c.}
192	96БП30	P _{rs}	1	3	2	5	3	1	1	1	1	0	95	96 → 95	P _{rs} * (1/T _{r.c.})
193		1 - P _{rs}	1	3	2	5	3	4	1	2	1	0	KB	95 → KB	(1 - P _{rs}) * (1/T _{r.c.})
194	97БП18	P _{bc}	1	4	2	5	3	1	3	1	2	0	121	97 → 95	P _{bc} * 1/ t _{b.c.}

Продовження таблиці Д.2

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
195	97БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	1	4	2	5	3	5	4	1	2	0	122	97 → 122	(1- P _{bc})*1/ t _{b.c.}
196	98БП30	P _{rs}	1	4	2	5	3	1	1	1	2	0	97	98 → 97	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
197		1- P _{rs}	1	4	2	5	3	4	1	2	2	0	KB	98 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
198	99БП20	P _{bld}	1	2	2	5	3	1	3	3	2	0	123	99 → 123	P _{bld} *1/ t _{bld.c.}
199	99БП20 (ЗБП21)	1- P _{bld}	1	2	2	5	3	5	3	4	2	0	124	99 → KB7	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.c.}
200	100БП30	P _{rs}	1	2	2	5	3	1	3	1	2	0	99	100 → 99	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
201		1- P _{rs}	1	2	2	5	3	4	4	1	2	0	KB	100 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
202	101БП16	P _{bld}	3	3	1	5	3	1	1	1	1	0	125	101 → 125	P _{bld} *1/ t _{bld.d.}
203	101БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	3	3	1	5	3	5	1	2	1	0	126	101 → 126	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.d.}
204	102БП30	P _{rs}	3	3	1	5	3	1	1	0	1	0	101	102 → 101	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
205		1- P _{rs}	3	3	1	5	3	2	2	0	1	0	KB	102 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
206	103БП16	P _{bld}	3	4	1	5	3	1	1	1	2	0	127	103 → 127	P _{bld} *1/ t _{bld.d.}
207	103БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	3	4	1	5	3	5	1	2	2	0	128	103 → KB7	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.d.}
208	104БП30	P _{rs}	3	4	1	5	3	1	1	0	2	0	103	104 → 103	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
209		1- P _{rs}	3	4	1	5	3	4	2	0	2	0	KB	104 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
210	105БП18	P _{bc}	3	2	1	5	3	1	3	1	2	0	129	105 → 129	P _{bc} *1/ t _{b.c.}
211	105БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	3	2	1	5	3	5	4	1	2	0	130	105 → 130	(1- P _{bc})*1/ t _{b.c.}
212	106БП30	P _{rs}	3	2	1	5	3	1	1	1	2	0	105	106 → 105	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
213		1- P _{rs}	3	2	1	5	3	4	1	2	2	0	KB	106 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
214	107БП16	P _{bld}	3	3	2	5	3	1	1	1	1	0	131	88 → 131	P _{bld} *1/ t _{bld.d.}
215	107БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	3	3	2	5	3	5	1	2	1	0	132	88 → 132	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.d.}
216	108БП30	P _{rs}	3	3	2	5	3	1	1	0	1	0	107	108 → 107	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
217		1- P _{rs}	3	3	2	5	3	4	2	0	1	0	KB	108 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
218	109БП16	P _{bld}	3	4	2	5	3	1	1	1	2	0	133	109 → 133	P _{bld} *1/ t _{bld.d.}
219	109БП16 (ЗБП17)	1- P _{bld}	3	4	2	5	3	5	1	2	2	0	134	109 → 134	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.d.}
220	110БП30	P _{rs}	3	4	2	5	3	1	1	0	2	0	109	110 → 109	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
221		1- P _{rs}	3	4	2	5	3	4	2	0	2	0	KB	110 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
222	111БП18	P _{bc}	3	2	2	5	3	1	3	1	2	0	135	111 → 135	P _{bc} *1/ t _{b.c.}
223	111БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	3	2	2	5	3	5	4	1	2	0	136	111 → KB6	(1- P _{bc})*1/ t _{b.c.}
224	112БП30	P _{rs}	3	2	2	5	3	1	1	1	2	0	111	112 → 111	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
225		1- P _{rs}	3	2	2	5	3	4	1	2	2	0	KB	112 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
226	113БП20	P _{bld}	1	3	1	5	3	1	3	3	1	0	137	113 → 137	P _{bld} *1/ t _{bld.c.}
227	113БП20 (ЗБП21)	1- P _{bld}	1	3	1	5	3	5	3	4	1	0	138	113 → 138	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.c.}
228	114БП30	P _{rs}	1	3	1	5	3	1	3	1	1	0	113	114 → 113	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
229		1- P _{rs}	1	3	1	5	3	4	4	1	1	0	KB	114 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
230	115БП20	P _{bld}	1	4	1	5	3	1	3	3	2	0	139	115 → 139	P _{bld} *1/ t _{bld.c.}
231	115БП20 (ЗБП21)	1- P _{bld}	1	4	1	5	3	5	3	4	2	0	140	115 → 140	(1- P _{bld})*1/ t _{bld.c.}

Продовження таблиці Д.2

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
232	116БП30	P _{rs}	1	4	1	5	3	1	3	1	2	0	115	116 → 115	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
233		1- P _{rs}	1	4	1	5	3	4	4	1	2	0	KB	116 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
234	117БП22	P _{bv}	1	2	1	5	3	1	5	3	2	0	141	117 → 141	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
235	117БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	1	2	1	5	3	5	6	3	2	0	142	117 → 142	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
236	118БП30	P _{rs}	1	2	1	5	3	1	3	3	2	0	117	118 → 117	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
237		1- P _{rs}	1	2	1	5	3	4	3	4	2	0	KB	118 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
238	119БП20	P _{blc}	1	3	2	5	3	1	3	3	1	0	143	119 → 143	P _{blc} *1/ t _{bl.c.}
239	119БП20 (ЗБП21)	1- P _{blc}	1	3	2	5	3	5	3	4	1	0	144	119 → 144	(1- P _{blc})*1/ t _{bl.c.}
240	120БП30	P _{rs}	1	3	2	5	3	1	3	1	1	0	119	120 → 119	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
241		1- P _{rs}	1	3	2	5	3	4	4	1	1	0	KB	120 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
242	121БП20	P _{blc}	1	4	2	5	3	1	3	3	2	0	145	121 → 145	P _{blc} *1/ t _{bl.c.}
243	121БП20 (ЗБП21)	1- P _{blc}	1	4	2	5	3	5	3	4	2	0	146	121 → 146	(1- P _{blc})*1/ t _{bl.c.}
244	122БП30	P _{rs}	1	4	2	5	3	1	3	1	2	0	121	122 → 121	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
245		1- P _{rs}	1	4	2	5	3	2	4	1	2	0	KB	122 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
246	123БП22	P _{bv}	1	2	2	5	3	1	5	3	2	0	147	123 → 147	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
247	123БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	1	2	2	5	3	5	6	3	2	0	148	123 → 148	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
248	124БП30	P _{rs}	1	2	2	5	3	1	3	3	2	0	123	124 → 123	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
249		1- P _{rs}	1	2	2	5	3	4	3	4	2	0	KB	124 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
250	125БП18	P _{bc}	3	3	1	5	3	1	3	1	1	0	149	125 → 149	P _{bc} *1/ t _{b.c.}
251	125БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	3	3	1	5	3	5	4	1	1	0	150	125 → 150	(1- P _{bc})*1/ t _{b.c.}
252	126БП30	P _{rs}	3	3	1	5	3	1	1	1	1	0	125	126 → 125	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
253		1- P _{rs}	3	3	1	5	3	4	1	2	1	0	KB	126 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
254	127БП18	P _{bc}	3	4	1	5	3	1	3	1	2	0	151	127 → 151	P _{bc} *1/ t _{b.c.}
255	127БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	3	4	1	5	3	5	4	1	2	0	152	127 → 152	(1- P _{bc})*1/ t _{b.c.}
256	128БП30	P _{rs}	3	4	1	5	3	1	1	1	2	0	127	128 → 127	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
257		1- P _{rs}	3	4	1	5	3	4	1	2	2	0	KB	128 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
258	129БП20	P _{blc}	3	2	1	5	3	1	3	3	2	0	153	129 → 153	P _{blc} *1/ t _{bl.c.}
259	129БП20 (ЗБП21)	1- P _{blc}	3	2	1	5	3	5	3	4	2	0	154	129 → 154	(1- P _{blc})*1/ t _{bl.c.}
260	130БП30	P _{rs}	3	2	1	5	3	1	3	1	2	0	129	130 → 129	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
261		1- P _{rs}	3	2	1	5	3	4	4	1	2	0	KB	129 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
262	131БП18	P _{bc}	3	3	2	5	3	1	3	1	1	0	155	131 → 155	P _{bc} *1/ t _{b.c.}
263	131БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	3	3	2	5	3	5	4	1	1	0	156	131 → 156	(1- P _{bc})*1/ t _{b.c.}
264	132БП30	P _{rs}	3	3	2	5	3	1	1	1	1	0	131	132 → 131	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
265		1- P _{rs}	3	3	2	5	3	4	1	2	1	0	KB	132 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
266	133БП18	P _{bc}	3	4	2	5	3	1	3	1	2	0	157	133 → 157	P _{bc} *1/ t _{b.c.}
267	133БП18 (ЗБП19)	1- P _{bc}	3	4	2	5	3	5	4	1	2	0	158	133 → 158	(1- P _{bc})*1/ t _{b.c.}
268	134БП30	P _{rs}	3	4	2	5	3	1	1	1	2	0	133	134 → 133	P _{rs} *(1/T _{r.c.})

Продовження таблиці Д.2

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
269		1- P _{rs}	3	4	2	5	3	4	1	2	2	0	KB	134 → KB	(1-P _{rs})*(1/T _{r.c.})
270	135БП20	P _{bhc}	3	2	2	5	3	1	3	3	2	0	159	135 → 159	P _{bhc} *1/ t _{bl.c.}
271	135БП20 (ЗБП21)	1- P _{bhc}	3	2	2	5	3	5	3	4	2	0	160	135 → 160	(1- P _{bhc})*1/ t _{bl.c.}
272	136БП30	P _{rs}	3	2	2	5	3	1	3	1	2	0	135	136 → 135	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
273		1- P _{rs}	3	2	2	5	3	4	4	1	2	0	KB	136 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
274	137БП22	P _{bv}	1	3	1	5	3	1	5	3	1	0	161	137 → 161	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
275	137БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	1	3	1	5	3	5	6	3	1	0	162	137 → 162	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
276	138БП30	P _{rs}	1	3	1	5	3	1	3	3	1	0	137	138 → 137	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
277		1- P _{rs}	1	3	1	5	3	4	3	4	1	0	KB	138 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
278	139БП22	P _{bv}	1	4	1	5	3	1	5	3	2	0	163	139 → 163	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
279	139БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	1	4	1	5	3	5	6	3	2	0	164	139 → 164	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
280	140БП30	P _{rs}	1	4	1	5	3	1	3	3	2	0	139	140 → 139	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
281		1- P _{rs}	1	4	1	5	3	4	3	4	2	0	KB	140 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
282	141БП24	P _{blv}	1	2	1	5	3	1	5	5	2	0	165	141 → 165	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
283	141БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	1	2	1	5	3	5	5	6	2	0	166	141 → 166	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
284	142БП30	P _{rs}	1	2	1	5	3	1	5	3	2	0	141	142 → 141	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
285		1- P _{rs}	1	2	1	5	3	4	6	3	2	0	KB	142 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
286	143БП22	P _{bv}	1	3	2	5	3	1	5	3	1	0	167	106 → 167	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
287	143БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	1	3	2	5	3	5	6	3	1	0	168	106 → 168	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
288	144БП30	P _{rs}	1	3	2	5	3	1	3	3	1	0	143	144 → 143	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
289		1- P _{rs}	1	3	2	5	3	4	3	4	1	0	KB	144 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
290	145БП22	P _{bv}	1	4	2	5	3	1	5	3	2	0	169	107 → 169	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
291	145БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	1	4	2	5	3	5	6	3	2	0	170	107 → 170	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
292	146БП30	P _{rs}	1	4	2	5	3	1	3	3	2	0	145	146 → 145	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
293		1- P _{rs}	1	4	2	5	3	4	3	4	2	0	KB	146 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
294	147БП24	P _{blv}	1	2	2	5	3	1	5	5	2	0	171	147 → 171	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
295	147БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	1	2	2	5	3	5	5	6	2	0	172	147 → 172	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
296	148БП30	P _{rs}	1	2	2	5	3	1	5	3	2	0	147	148 → 147	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
297		1- P _{rs}	1	2	2	5	3	4	6	3	2	0	KB	148 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
298	149БП20	P _{bhc}	3	3	1	5	3	1	3	3	1	0	173	149 → 173	P _{bhc} *1/ t _{bl.c.}
299	149БП20 (ЗБП21)	1- P _{bhc}	3	3	1	5	3	5	3	4	1	0	174	149 → 174	(1- P _{bhc})*1/ t _{bl.c.}
300	150БП30	P _{rs}	3	3	1	5	3	1	3	1	1	0	149	150 → 149	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
301		1- P _{rs}	3	3	1	5	3	4	4	1	1	0	KB	150 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
302	151БП20	P _{bhc}	3	4	1	5	3	1	3	3	2	0	175	110 → 175	P _{bhc} *1/ t _{bl.c.}
303	151БП20 (ЗБП21)	1- P _{bhc}	3	4	1	5	3	5	3	4	2	0	176	110 → 176	(1- P _{bhc})*1/ t _{bl.c.}
304	152БП30	P _{rs}	3	4	1	5	3	1	3	1	2	0	151	152 → 151	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
305		1- P _{rs}	3	4	1	5	3	4	4	1	2	0	KB	152 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})

Продовження таблиці Д.2

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
306	153БП22	P _{bv}	3	2	1	5	3	1	5	3	2	0	177	153 → 177	P _{bv} * 1/ t _{b.v.}
307	153БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	3	2	1	5	3	5	6	3	2	0	178	153 → 178	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
308	154БП30	P _{rs}	3	2	1	5	3	1	3	3	2	0	153	154 → 153	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
309		1- P _{rs}	3	2	1	5	3	5	3	4	2	0	KB	154 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
310	155БП20	P _{blc}	3	3	2	5	3	1	3	3	1	0	179	155 → 179	P _{blc} * 1/ t _{bl.c.}
311	155БП20 (ЗБП21)	1- P _{blc}	3	3	2	5	3	5	3	4	1	0	180	155 → 180	(1- P _{blc})*1/ t _{bl.c.}
312	156БП30	P _{rs}	3	3	2	5	3	1	3	1	1	0	155	156 → 155	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
313		1- P _{rs}	3	3	2	5	3	4	4	1	1	0	KB	156 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
314	157БП20	P _{blc}	3	4	2	5	3	1	3	3	2	0	181	113 → 181	P _{blc} * 1/ t _{bl.c.}
315	157БП20 (ЗБП21)	1- P _{blc}	3	4	2	5	3	5	3	4	2	0	182	113 → 182	(1- P _{blc})*1/ t _{bl.c.}
316	158БП30	P _{rs}	3	4	2	5	3	1	3	1	2	0	157	158 → 157	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
317		1- P _{rs}	3	4	2	5	3	4	4	1	2	0	KB	158 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
318	159БП22	P _{bv}	3	2	2	5	3	1	5	3	2	0	183	159 → 183	P _{bv} * 1/ t _{b.v.}
319	159БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	3	2	2	5	3	5	6	3	2	0	184	159 → 184	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
320	160БП30	P _{rs}	3	2	2	5	3	1	3	3	2	0	159	160 → 159	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
321		1- P _{rs}	3	2	2	5	3	4	3	4	2	0	KB	160 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
322	161БП24	P _{blv}	1	3	1	5	3	1	5	5	1	0	185	161 → 185	P _{blv} * 1/ t _{bl.v.}
323	161БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	1	3	1	5	3	5	5	6	1	0	186	161 → 186	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
324	162БП30	P _{rs}	1	3	1	5	3	1	5	3	1	0	161	162 → 161	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
325		1- P _{rs}	1	3	1	5	3	5	6	3	1	0	KB	162 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
326	163БП24	P _{blv}	1	4	1	5	3	1	5	5	1	0	187	163 → 128	P _{blv} * 1/ t _{bl.v.}
327	163БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	1	4	1	5	3	5	5	6	1	0	188	163 → 188	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
328	164БП30	P _{rs}	1	4	1	5	3	1	5	3	2	0	163	164 → 163	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
329		1- P _{rs}	1	4	1	5	3	4	6	3	2	0	KB	164 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
330	165БП26	P _{bs}	1	2	1	5	3	1	7	5	2	0	189	117 → 189	P _{bs} * 1/ t _{b.s.}
331	165БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	1	2	1	5	3	5	8	5	2	0	190	117 → 190	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
332	166БП30	P _{rs}	1	2	1	5	3	1	5	5	2	0	165	166 → 165	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
333		1- P _{rs}	1	2	1	5	3	4	5	6	2	0	KB	166 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
334	167БП24	P _{blv}	1	3	2	5	3	1	5	5	1	0	191	167 → 191	P _{blv} * 1/ t _{bl.v.}
335	167БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	1	3	2	5	3	5	5	6	1	0	192	167 → 192	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
336	168БП30	P _{rs}	1	3	2	5	3	1	5	3	1	0	167	168 → 167	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
337		1- P _{rs}	1	3	2	5	3	5	6	3	1	0	KB	168 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
338	169БП24	P _{blv}	1	4	2	5	3	1	5	5	2	0	193	169 → 193	P _{blv} * 1/ t _{bl.v.}
339	169БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	1	4	2	5	3	5	5	6	2	0	194	169 → 194	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
340	170БП30	P _{rs}	1	4	2	5	3	1	5	3	2	0	169	170 → 169	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
341		1- P _{rs}	1	4	2	5	3	4	6	3	2	0	KB	170 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
342	171БП26	P _{bs}	1	2	2	5	3	1	7	5	2	0	195	171 → 195	P _{bs} * 1/ t _{b.s.}

Продовження таблиці Д.2

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
343	171БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	1	2	2	5	3	5	8	5	2	0	196	171 → 196	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
344	172БП30	P _{rs}	1	2	2	5	3	1	5	5	2	0	171	172 → 171	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
345		1- P _{rs}	1	2	2	5	3	4	5	6	2	0	KB	172 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
346	173БП22	P _{bv}	3	3	1	5	3	1	5	3	1	0	197	173 → 197	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
347	173БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	3	3	1	5	3	5	6	3	1	0	198	173 → 198	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
348	174БП30	P _{rs}	3	3	1	5	3	1	3	3	1	0	173	174 → 173	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
349		1- P _{rs}	3	3	1	5	3	4	3	4	1	0	KB	174 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
350	175БП22	P _{bv}	3	4	1	5	3	1	5	3	2	0	199	175 → 199	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
351	175БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	3	4	1	5	3	5	6	3	2	0	200	176 → 200	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
352	176БП30	P _{rs}	3	4	1	5	3	1	3	3	2	0	175	176 → 175	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
353		1- P _{rs}	3	4	1	5	3	4	3	4	2	0	KB	176 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
354	177БП24	P _{blv}	3	2	1	5	3	1	5	5	2	0	201	177 → 201	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
355	177БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	3	2	1	5	3	5	5	6	2	0	202	177 → 202	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
356	178БП30	P _{rs}	3	2	1	5	3	1	5	3	2	0	177	178 → 177	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
357		1- P _{rs}	3	2	1	5	3	4	6	3	2	0	KB	178 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
358	179БП22	P _{bv}	3	3	2	5	3	1	5	3	1	0	203	179 → 203	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
359	179БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	3	3	2	5	3	5	6	3	1	0	204	179 → 204	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
360	180БП30	P _{rs}	3	3	2	5	3	1	3	3	1	0	179	180 → 179	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
361		1- P _{rs}	3	3	2	5	3	4	3	4	1	0	KB	180 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
362	181БП22	P _{bv}	3	4	2	5	3	1	5	3	2	0	205	181 → 205	P _{bv} *1/ t _{b.v.}
363	181БП22 (ЗБП23)	1- P _{bv}	3	4	2	5	3	5	6	3	2	0	206	182 → 206	(1- P _{bv})*1/ t _{b.v.}
364	182БП30	P _{rs}	3	4	2	5	3	1	3	3	2	0	181	182 → 180	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
365		1- P _{rs}	3	4	2	5	3	4	3	4	2	0	KB	182 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
366	183БП24	P _{blv}	3	2	2	5	3	1	5	5	2	0	207	183 → 207	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
367	183БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	3	2	2	5	3	5	5	6	2	0	208	183 → 208	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
368	184БП30	P _{rs}	3	2	2	5	3	1	5	3	2	0	183	184 → 183	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
369		1- P _{rs}	3	2	2	5	3	4	6	3	2	0	KB	184 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
370	185БП26	P _{bs}	1	3	1	5	3	1	7	5	1	0	209	185 → 209	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
371	185БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	1	3	1	5	3	5	8	5	1	0	210	185 → 210	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
372	186БП30	P _{rs}	1	3	1	5	3	1	5	5	1	0	185	186 → 185	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
373		1- P _{rs}	1	3	1	5	3	4	5	6	1	0	KB	186 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
374	187БП26	P _{bs}	1	4	1	5	3	1	7	5	1	0	211	187 → 211	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
375	187БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	1	4	1	5	3	5	8	5	1	0	212	187 → 212	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
376	188БП30	P _{rs}	1	4	1	5	3	1	5	5	1	0	187	188 → 187	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
377		1- P _{rs}	1	4	1	5	3	4	5	6	1	0	KB	188 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
378	189БП28	P _{bls}	1	2	1	5	3	1	7	7	1	0	213	189 → 213	P _{bls} *1/ t _{bl.s.}
379	189БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	1	2	1	5	3	5	7	8	1	0	214	189 → 214	(1- P _{bls})*1/ t _{bl.s.}

Продовження таблиці Д.2

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
380	190БП30	P _{rs}	1	2	1	5	3	1	7	5	2	0	189	190 → 189	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
381		1- P _{rs}	1	2	1	5	3	4	8	5	2	0	KB	190 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
382	191БП26	P _{bs}	1	3	2	5	3	1	7	5	1	0	215	191 → 215	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
383	191БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	1	3	2	5	3	5	8	5	1	0	216	191 → 216	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
384	192БП30	P _{rs}	1	3	2	5	3	1	5	5	1	0	191	192 → 191	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
385		1- P _{rs}	1	3	2	5	3	4	5	6	1	0	KB	192 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
386	193БП26	P _{bs}	1	4	2	5	3	1	7	5	2	0	217	193 → 143	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
387	193БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	1	4	2	5	3	5	7	5	2	0	218	193 → 218	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
388	194БП30	P _{rs}	1	4	2	5	3	1	5	5	2	0	193	194 → 193	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
389		1- P _{rs}	1	4	2	5	3	4	5	6	2	0	KB	194 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
390	195БП28	P _{bls}	1	2	2	5	3	1	7	7	2	0	219	195 → 144	P _{bls} *1/ t _{bl.s.}
391	195БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	1	2	2	5	3	5	7	8	2	0	220	195 → 220	(1- P _{bls})*1/ t _{bl.s.}
392	196БП30	P _{rs}	1	2	2	5	3	1	7	5	2	0	195	196 → 195	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
393		1- P _{rs}	1	2	2	5	3	4	8	5	2	0	KB	196 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
394	197БП24	P _{blv}	3	3	1	5	3	1	5	5	1	0	221	197 → 145	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
395	197БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	3	3	1	5	3	5	5	6	1	0	222	197 → 222	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
396	198БП30	P _{rs}	3	3	1	5	3	1	5	3	1	0	198	198 → 197	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
397		1- P _{rs}	3	3	1	5	3	4	6	3	1	0	KB	198 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
398	199БП24	P _{blv}	3	4	1	5	3	1	5	5	2	0	223	199 → 146	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
399	199БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	3	4	1	5	3	5	5	6	2	0	224	199 → 224	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
400	200БП30	P _{rs}	3	4	1	5	3	1	5	3	2	0	199	200 → 199	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
401		1- P _{rs}	3	4	1	5	3	4	6	3	2	0	KB	200 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
402	201БП26	P _{bs}	3	2	1	5	3	1	7	5	2	0	225	201 → 225	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
403	201БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	3	2	1	5	3	5	8	5	2	0	226	201 → 226	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
404	202БП30	P _{rs}	3	2	1	5	3	1	5	5	2	0	201	202 → 201	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
405		1- P _{rs}	3	2	1	5	3	4	5	6	2	0	KB	202 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
406	203БП24	P _{blv}	3	3	2	5	3	1	5	5	1	0	227	203 → 148	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
407	203БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	3	3	2	5	3	5	5	6	1	0	228	203 → 228	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
408	204БП30	P _{rs}	3	3	2	5	3	1	5	3	1	0	203	204 → 203	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
409		1- P _{rs}	3	3	2	5	3	4	6	3	1	0	KB	204 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
410	205БП24	P _{blv}	3	4	2	5	3	1	5	5	2	0	229	205 → 229	P _{blv} *1/ t _{bl.v.}
411	205БП24 (ЗБП25)	1- P _{blv}	3	4	2	5	3	5	5	6	2	0	230	205 → 230	(1- P _{blv})*1/ t _{bl.v.}
412	206БП30	P _{rs}	3	4	2	5	3	1	5	3	2	0	205	206 → 205	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
413		1- P _{rs}	3	4	2	5	3	4	6	3	2	0	KB	206 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
414	207БП26	P _{bs}	3	2	2	5	3	1	7	5	2	0	231	207 → 231	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
415	207БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	3	2	2	5	3	5	8	5	2	0	232	207 → 232	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
416	208БП30	P _{rs}	3	2	2	5	3	1	5	5	2	0	207	208 → 207	P _{rs} *(1/T _{r.c.})

Продовження таблиці Д.2

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРПП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
417		1- P _{rs}	3	2	2	5	3	4	5	6	2	0	KB	208 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
418	209БП28	P _{bls}	1	3	1	5	3	1	7	7	1	0	233	209 → 233	P _{bls} *1/ t _{bl.s.}
419	209БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	1	3	1	5	3	5	7	8	1	0	234	209 → 234	(1- P _{bls})*1/ t _{bl.s.}
420	210БП30	P _{rs}	1	3	1	5	3	1	7	5	1	0	209	210 → 209	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
421		1- P _{rs}	1	3	1	5	3	4	8	5	1	0	KB	210 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
422	211БП28	P _{bls}	1	4	1	5	3	1	7	7	1	0	235	211 → 235	P _{bls} *1/ t _{bl.s.}
423	211БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	1	4	1	5	3	5	7	8	1	0	236	211 → 236	(1- P _{bls})*1/ t _{bl.s.}
424	212БП30	P _{rs}	1	4	1	5	3	1	7	5	1	0	207	208 → 207	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
425		1- P _{rs}	1	4	1	5	3	4	8	5	1	0	KB	208 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
426	213БП31 (ЗБП32, ЗБП33, ЗБП34)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	2	1	5	3	1	9	9	1	1	237	213 → 237	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/ t _{in}
427		1- P _{in}	1	2	1	5	3	2	10	9	1	1	KB8	213 → KB8	(1- P _{in}) *1/ t _{in}
428		P _{in} (1- P _{bl})	1	2	1	5	3	2	9	10	1	1	KB8	213 → KB8	P _{in} (1-P _{bl})*1/ t _{in}
429		P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})	1	2	1	5	3	2	9	9	1	2	KB8	213 → KB8	P _{in} P _{bl} (1- P _{r.c.})*1/ t _{in}
430	214БП30	P _{rs}	1	2	1	5	3	1	7	7	1	0	213	214 → 213	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
431		1- P _{rs}	1	2	1	5	3	4	7	8	1	0	KB	214 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
432	215БП28	P _{bls}	1	3	2	5	3	1	7	7	1	0	238	215 → 238	P _{bls} *1/ t _{bl.s.}
433	215БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	1	3	2	5	3	5	7	8	1	0	239	215 → 239	(1- P _{bls})*1/ t _{bl.s.}
434	216БП30	P _{rs}	1	3	2	5	3	1	7	5	1	0	207	216 → 207	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
435		1- P _{rs}	1	3	2	5	3	4	8	5	1	0	KB	216 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
436	217БП28	P _{bls}	1	4	2	5	3	1	7	7	2	0	240	217 → 240	P _{bls} *1/ t _{bl.s.}
437	217БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	1	4	2	5	3	5	7	8	2	0	241	217 → 241	(1- P _{bls})*1/ t _{bl.s.}
438	218БП30	P _{rs}	1	4	2	5	3	1	7	5	2	0	217	218 → 217	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
439		1- P _{rs}	1	4	2	5	3	4	7	5	2	0	KB	218 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
440	219БП31 (ЗБП32, ЗБП33, ЗБП34)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	2	2	5	3	1	9	9	2	1	242	219 → 242	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/ t _{in}
441		1- P _{in}	1	2	2	5	3	2	10	9	2	1	KB8	219 → KB8	(1- P _{in}) *1/ t _{in}
442		P _{in} (1- P _{bl})	1	2	2	5	3	2	9	10	2	1	KB8	219 → KB8	P _{in} (1-P _{bl})*1/ t _{in}
443		P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})	1	2	2	5	3	2	9	9	2	2	KB8	219 → KB8	P _{in} P _{bl} (1- P _{r.c.})*1/ t _{in}
444	220БП30	P _{rs}	1	2	2	5	3	1	7	7	2	0	207	208 → 207	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
445		1- P _{rs}	1	2	2	5	3	4	7	8	2	0	KB	208 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
446	221БП26	P _{bs}	3	3	1	5	3	1	7	5	1	0	243	221 → 243	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
447	221БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	3	3	1	5	3	5	8	5	1	0	244	221 → 244	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
448	222БП30	P _{rs}	3	3	1	5	3	1	5	5	1	0	221	222 → 221	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
449		1- P _{rs}	3	3	1	5	3	4	5	6	1	0	KB	222 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
450	223БП26	P _{bs}	3	4	1	5	3	1	7	5	2	0	245	223 → 245	P _{bs} *1/ t _{b.s.}

Продовження таблиці Д.2

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
451	223БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	3	4	1	5	3	5	8	5	2	0	246	223 → 246	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
452	224БП30	P _{rs}	3	4	1	5	3	1	5	5	2	0	223	224 → 223	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
453		1- P _{rs}	3	4	1	5	3	4	5	6	2	0	KB	224 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
454	225БП28	P _{bls}	3	2	1	5	3	1	7	7	2	0	247	225 → 247	P _{bls} *1/ t _{bl.s.}
455	225БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	3	2	1	5	3	5	7	8	2	0	248	225 → 248	(1- P _{bls})*1/ t _{bl.s.}
456	226БП30	P _{rs}	3	2	1	5	3	1	7	5	2	0	225	226 → 225	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
457		1- P _{rs}	3	2	1	5	3	4	8	5	2	0	KB	226 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
458	227БП26	P _{bs}	3	3	2	5	3	1	7	5	1	0	249	227 → 249	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
459	227БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	3	3	2	5	3	5	8	5	1	0	250	227 → 250	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
460	228БП30	P _{rs}	3	3	2	5	3	1	5	5	1	0	227	228 → 227	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
461		1- P _{rs}	3	3	2	5	3	4	5	6	1	0	KB	228 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
462	229БП26	P _{bs}	3	4	2	5	3	1	7	5	2	0	251	229 → 251	P _{bs} *1/ t _{b.s.}
463	229БП26 (ЗБП27)	1- P _{bs}	3	4	2	5	3	5	8	5	2	0	252	229 → 252	(1- P _{bs})*1/ t _{b.s.}
464	230БП30	P _{rs}	3	4	2	5	3	1	5	5	2	0	229	230 → 229	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
465		1- P _{rs}	3	4	2	5	3	4	5	6	2	0	KB	230 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
466	231БП28	P _{bls}	3	2	2	5	3	1	7	7	2	0	253	231 → 253	P _{bls} *1/ t _{bl.s.}
467	231БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	3	2	2	5	3	5	7	8	2	0	254	231 → 254	(1- P _{bls})*1/ t _{bl.s.}
468	232БП30	P _{rs}	3	2	2	5	3	1	7	5	2	0	231	232 → 231	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
469		1- P _{rs}	3	2	2	5	3	4	8	5	2	0	KB	232 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
470	233БП31 (ЗБП32, ЗБП33, ЗБП34)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	3	1	5	3	1	9	9	1	1	255	233 → 255	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/ t _{in}
471		1- P _{in}	1	3	1	5	3	2	10	9	1	1	KB8	233 → KB8	(1- P _{in})*1/ t _{in}
472		P _{in} (1- P _{bl})	1	3	1	5	3	2	9	10	1	1	KB8	233 → KB8	P _{in} (1-P _{bl})*1/ t _{in}
473		P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})	1	3	1	5	3	2	9	9	1	2	KB8	233 → KB8	P _{in} P _{bl} (1- P _{r.c.})*1/ t _{in}
474	234БП30	P _{rs}	1	3	1	5	3	1	7	7	1	0	233	234 → 233	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
475		1- P _{rs}	1	3	1	5	3	4	7	8	1	0	KB	234 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
476	235БП31 (ЗБП32, ЗБП33, ЗБП34)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	4	1	5	3	1	9	9	1	1	256	235 → 256	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/ t _{in}
477		1- P _{in}	1	4	1	5	3	2	10	9	1	1	KB8	235 → KB8	(1- P _{in})*1/ t _{in}
478		P _{in} (1- P _{bl})	1	4	1	5	3	2	9	10	1	1	KB8	235 → KB8	P _{in} (1-P _{bl})*1/ t _{in}
479		P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})	1	4	1	5	3	2	9	9	1	2	KB8	235 → KB8	P _{in} P _{bl} (1- P _{r.c.})*1/ t _{in}
480	236БП30	P _{rs}	1	4	1	5	3	1	7	7	1	0	232	236 → 235	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
481		1- P _{rs}	1	4	1	5	3	4	7	8	1	0	KB	236 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
482	237БП35	P _{dt}	1	5	1	5	3	1	9	9	1	1	257	237 → 257	P _{dt} *1/ t _{d.t.}
483		1- P _{dt}	1	6	1	5	3	1	9	9	1	1	258	237 → 258	(1- P _{dt})*1/ t _{d.t.}
484	238БП31 (ЗБП32, ЗБП33, ЗБП34)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	3	2	5	3	1	9	9	1	1	259	238 → 259	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/ t _{in}

Продовження таблиці Д.2

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРПП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
485		1- P _{in}	1	3	2	5	3	2	10	9	1	1	KB8	238 → KB8	(1- P _{in}) * 1/ t _{in}
486		P _{in} (1- P _{bl})	1	3	2	5	3	2	9	10	1	1	KB8	238 → KB8	P _{in} (1-P _{bl})*1/ t _{in}
487		P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})	1	3	2	5	3	2	9	9	1	2	KB8	238 → KB8	P _{in} P _{bl} (1- P _{r.c.})*1/ t _{in}
488		P _{rs}	1	3	2	5	3	1	7	7	1	0	238	239 → 238	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
489	239БП30	1- P _{rs}	1	3	2	5	3	4	7	8	1	0	KB	239 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
490	240БП31 (ЗБП32, ЗБП33, ЗБП34)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	4	2	5	3	1	9	9	2	1	260	240 → 260	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/ t _{in}
491		1- P _{in}	1	4	2	5	3	2	10	9	2	1	KB8	240 → KB8	(1- P _{in}) *1/ t _{in}
492		P _{in} (1- P _{bl})	1	4	2	5	3	2	9	10	2	1	KB8	240 → KB8	P _{in} (1-P _{bl})*1/ t _{in}
493		P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})	1	4	2	5	3	2	9	9	2	2	KB8	240 → KB8	P _{in} P _{bl} (1- P _{r.c.})*1/ t _{in}
494	241БП30	P _{rs}	1	4	2	5	3	1	7	7	2	0	240	241 → 240	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
495		1- P _{rs}	1	4	2	5	3	4	7	8	2	0	KB	241 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
496	242БП35	P _{dt}	1	5	2	5	3	1	9	9	2	1	261	242 → 261	P _{dt} *1/ t _{d.t.}
497		1 - P _{dt}	1	6	2	5	3	1	9	9	2	1	262	242 → 262	(1- P _{dt})*1/ t _{d.t.}
498	243БП28	P _{bls}	3	3	1	5	3	1	7	7	1	0	263	243 → 263	P _{bls} *1/ t _{bl.s.}
499	243БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	3	3	1	5	3	5	7	8	1	0	264	243 → 264	(1- P _{bls})*1/ t _{bl.s.}
500	244БП30	P _{rs}	3	3	1	5	3	1	7	5	1	0	243	244 → 243	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
501		1- P _{rs}	3	3	1	5	3	5	8	5	1	0	KB	244 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
502	245БП28	P _{bls}	3	4	1	5	3	1	7	7	2	0	265	245 → 265	P _{bls} *1/ t _{bl.s.}
503	245БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	3	4	1	5	3	5	7	8	2	0	266	245 → 266	(1- P _{bls})*1/ t _{bl.s.}
504	246БП30	P _{rs}	3	4	1	5	3	1	7	5	2	0	245	246 → 245	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
505		1- P _{rs}	3	4	1	5	3	4	8	5	2	0	KB	246 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
506	247БП31 (ЗБП32, ЗБП33, ЗБП34)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	3	2	1	5	3	1	9	9	2	1	267	247 → 267	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/ t _{in}
507		1- P _{in}	3	2	1	5	3	2	10	9	2	1	KB8	159 → KB8	(1- P _{in}) *1/ t _{in}
508		P _{in} (1- P _{bl})	3	2	1	5	3	2	9	10	2	1	KB8	159 → KB8	P _{in} (1-P _{bl})*1/ t _{in}
509		P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})	3	2	1	5	3	2	9	9	2	2	KB8	159 → KB8	P _{in} P _{bl} (1- P _{r.c.})*1/ t _{in}
510	248БП30	P _{rs}	3	2	1	5	3	1	7	7	2	0	247	248 → 247	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
511		1- P _{rs}	3	2	1	5	3	4	7	8	2	0	KB	248 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
512	249БП28	P _{bls}	3	3	2	5	3	1	7	7	1	0	268	249 → 268	P _{bls} *1/ t _{bl.s.}
513	249БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	3	3	2	5	3	5	7	8	1	0	269	249 → 269	(1- P _{bls})*1/ t _{bl.s.}
514	250БП30	P _{rs}	3	3	2	5	3	1	7	5	1	0	249	250 → 249	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
515		1- P _{rs}	3	3	2	5	3	4	8	5	1	0	KB	250 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
516	251БП28	P _{bls}	3	4	2	5	3	1	7	7	2	0	270	251 → 270	P _{bls} *1/ t _{bl.s.}
517	251БП28 (ЗБП29)	1- P _{bls}	3	4	2	5	3	5	7	8	2	0	271	251 → 271	(1- P _{bls})*1/ t _{bl.s.}
518	252БП30	P _{rs}	3	4	2	5	3	1	7	5	2	0	251	252 → 251	P _{rs} *(1/T _{r.c.})

Продовження таблиці Д.2

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРПП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
519		1- P _{rs}	3	4	2	5	3	4	8	5	2	0	KB	252 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
520	253БП31 (ЗБП32, ЗБП33, ЗБП34)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	3	2	2	5	3	1	9	9	2	1	272	253 → 272	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} * 1/ t _{in}
521		1- P _{in}	3	2	2	5	3	2	10	9	2	1	KB8	253 → KB8	(1- P _{in}) * 1/ t _{in}
522		P _{in} (1- P _{bl})	3	2	2	5	3	2	9	10	2	1	KB8	253 → KB8	P _{in} (1-P _{bl})*1/ t _{in}
523		P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})	3	2	2	5	3	2	9	9	2	2	KB8	253 → KB8	P _{in} P _{bl} (1- P _{r.c.})*1/ t _{in}
524	254БП30	P _{rs}	3	2	2	5	3	1	7	7	2	0	253	254 → 253	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
525		1- P _{rs}	3	2	2	5	3	4	7	8	2	0	KB	254 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
526	255БП35	P _{dt}	1	5	1	5	3	1	9	9	1	1	273	255 → 273	P _{dt} *1/ t _{d.t.}
527		1 - P _{dt}	1	6	1	5	3	1	9	9	1	1	274	255 → 274	(1- P _{dt})*1/ t _{d.t.}
528	256БП35	P _{dt}	1	5	1	5	3	1	9	9	1	1	275	256 → 275	P _{dt} *1/ t _{d.t.}
529		1 - P _{dt}	1	6	1	5	3	1	9	9	1	1	276	256 → 276	(1- P _{dt})*1/ t _{d.t.}
530	257БП36	P _{su}	1	5	1	5	3	0	9	9	1	1	277	257 → 277	P _{su} *1/ t _{p.d.}
531	258БП36	P _{su}	1	6	1	5	3	0	9	9	1	1	278	258 → 278	P _{su} *1/ t _{p.d.}
532	259БП35	P _{dt}	1	5	2	5	3	1	9	9	1	1	279	259 → 279	P _{dt} *1/ t _{d.t.}
533		1 - P _{dt}	1	6	2	5	3	1	9	9	1	1	280	259 → 280	(1- P _{dt})*1/ t _{d.t.}
534	260БП35	P _{dt}	1	5	2	5	3	1	9	9	2	1	281	260 → 281	P _{dt} *1/ t _{d.t.}
535		1 - P _{dt}	1	6	2	5	3	1	9	9	2	1	282	260 → 282	(1- P _{dt})*1/ t _{d.t.}
536	261БП36	P _{su}	1	5	2	5	3	0	9	9	2	1	283	261 → 283	P _{su} *1/ t _{p.d.}
537	262БП36	P _{su}	1	6	2	5	3	0	9	9	2	1	284	262 → 284	P _{su} *1/ t _{p.d.}
538	263БП31 (ЗБП32, ЗБП33, ЗБП34)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	3	3	1	5	3	1	9	9	1	1	285	263 → 285	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} * 1/ t _{in}
539		1- P _{in}	3	3	1	5	3	2	10	9	1	1	KB8	263 → KB8	(1- P _{in}) * 1/ t _{in}
540		P _{in} (1- P _{bl})	3	3	1	5	3	2	9	10	1	1	KB8	263 → KB8	P _{in} (1-P _{bl})*1/ t _{in}
541		P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})	3	3	1	5	3	2	9	9	1	2	KB8	263 → KB8	P _{in} P _{bl} (1- P _{r.c.})*1/ t _{in}
542	264БП30	P _{rs}	3	3	1	5	3	1	7	7	1	0	263	264 → 263	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
543		1- P _{rs}	3	3	1	5	3	4	7	8	1	0	KB	264 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
544	265БП31 (ЗБП32, ЗБП33, ЗБП34)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	3	3	1	5	3	1	9	9	2	1	286	265 → 286	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} * 1/ t _{in}
545		1- P _{in}	3	3	1	5	3	2	10	9	2	1	KB8	265 → KB8	(1- P _{in}) * 1/ t _{in}
546		P _{in} (1- P _{bl})	3	3	1	5	3	2	9	10	2	1	KB8	265 → KB8	P _{in} (1-P _{bl})*1/ t _{in}
547		P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})	3	3	1	5	3	2	9	9	2	2	KB8	265 → KB8	P _{in} P _{bl} (1- P _{r.c.})*1/ t _{in}
548	266БП30	P _{rs}	3	4	1	5	3	1	7	7	2	0	265	266 → 265	P _{rs} *(1/T _{r.c.})
549		1- P _{rs}	3	4	1	5	3	4	7	8	2	0	KB	266 → KB	(1- P _{rs})*(1/T _{r.c.})
550	267БП35	P _{dt}	3	5	1	5	3	1	9	9	2	1	287	267 → 287	P _{dt} *1/ t _{d.t.}
551		1 - P _{dt}	3	6	1	5	3	1	9	9	2	1	288	267 → 288	(1- P _{dt})*1/ t _{d.t.}
552	268БП31 (ЗБП32, ЗБП33, ЗБП34)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	3	3	2	5	3	1	9	9	1	1	289	268 → 289	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} * 1/ t _{in}
553		1- P _{in}	3	3	2	5	3	2	10	9	1	1	KB8	268 → KB8	(1- P _{in}) * 1/ t _{in}
554		P _{in} (1- P _{bl})	3	3	2	5	3	2	9	10	1	1	KB8	268 → KB8	P _{in} (1-P _{bl})*1/ t _{in}

Продовження таблиці Д.2

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження										№ стану	Перехід з стану в стан	ФРПП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10			
555		$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.})$	3	3	2	5	3	2	9	9	1	2	KB8	268 →	$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.}) * 1 / t_{in}$
556	269БП30	P_{rs}	3	3	2	5	3	1	7	7	1	0	268	269 → 268	$P_{rs} * (1/T_{r.c.})$
557		$1 - P_{rs}$	3	3	2	5	3	5	7	8	1	0	KB	269 → KB	$(1 - P_{rs}) * (1/T_{r.c.})$
558	270БП31 (ЗБП32, ЗБП33, ЗБП34)	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.}$	3	4	2	5	3	1	9	9	2	1	290	270 → 290	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.} * 1 / t_{in}$
559		$1 - P_{in}$	3	4	2	5	3	2	10	9	2	1	KB8	270 → KB8	$(1 - P_{in}) * 1 / t_{in}$
560		$P_{in} (1 - P_{bl})$	3	4	2	5	3	2	9	10	2	1	KB8	270 → KB8	$P_{in} (1 - P_{bl}) * 1 / t_{in}$
561		$P_{in} P_{bl} (1 - P_{r.c.})$	3	4	2	5	3	2	9	9	2	2	KB8	270 → KB8	$P_{in} P_{bl} (1 - P_{r.c.}) * 1 / t_{in}$
562	271БП30	P_{rs}	3	4	2	5	3	1	7	7	2	0	270	271 → 270	$P_{rs} * (1/T_{r.c.})$
563		$1 - P_{rs}$	3	4	2	5	3	4	7	8	2	0	KB	271 → KB	$(1 - P_{rs}) * (1/T_{r.c.})$
564	272БП35	P_{dt}	3	5	2	5	3	1	9	9	2	1	291	272 → 291	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$
565		$1 - P_{dt}$	3	6	2	5	3	1	9	9	2	1	292	272 → 293	$(1 - P_{dt}) * 1 / t_{d.t.}$
566	273БП36	P_{su}	1	5	1	5	3	0	9	9	1	1	293	273 → 293	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
567	274БП36	P_{su}	1	6	1	5	3	0	9	9	1	1	294	274 → 294	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
568	275БП36	P_{su}	1	5	1	5	3	0	9	9	1	1	295	275 → 295	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
569	276БП36	P_{su}	1	6	1	5	3	0	9	9	1	1	296	276 → 296	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
570	279БП36	P_{su}	1	5	2	5	3	0	9	9	1	1	297	277 → 297	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
571	280БП36	P_{su}	1	6	2	5	3	0	9	9	1	1	298	278 → 298	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
572	281БП36	P_{su}	1	5	2	5	3	0	9	9	2	1	299	279 → 299	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
573	282БП36	P_{su}	1	6	2	5	3	0	9	9	2	1	300	280 → 300	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
574	285БП35	P_{dt}	3	5	1	5	3	1	9	9	1	1	301	281 → 301	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$
575		$1 - P_{dt}$	3	6	1	5	3	1	9	9	1	1	302	281 → 302	$(1 - P_{dt}) * 1 / t_{d.t.}$
576	286БП35	P_{dt}	3	5	1	5	3	1	9	9	2	1	303	282 → 303	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$
577		$1 - P_{dt}$	3	6	1	5	3	1	9	9	2	1	304	282 → 304	$(1 - P_{dt}) * 1 / t_{d.t.}$
578	287БП36	P_{su}	3	5	1	5	3	0	9	9	2	1	305	283 → 305	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
579	288БП36	P_{su}	3	6	1	5	3	0	9	9	2	1	306	284 → 306	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
580	289БП35	P_{dt}	3	5	2	5	3	1	9	9	1	1	307	289 → 307	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$
581		$1 - P_{dt}$	3	6	2	5	3	1	9	9	1	1	308	289 → 308	$(1 - P_{dt}) * 1 / t_{d.t.}$
582	290БП35	P_{dt}	3	5	2	5	3	1	9	9	2	1	309	290 → 309	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$
583		$1 - P_{dt}$	3	6	2	5	3	1	9	9	2	1	310	290 → 310	$(1 - P_{dt}) * 1 / t_{d.t.}$
584	291БП36	P_{su}	3	5	2	5	3	0	9	9	2	1	311	291 → 311	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
585	292БП36	P_{su}	3	6	2	5	3	0	9	9	2	1	312	292 → 312	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
586	301БП36	P_{su}	3	5	1	5	3	0	9	9	1	1	313	301 → 313	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
587	302БП36	P_{su}	3	6	1	5	3	0	9	9	1	1	314	302 → 314	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
588	303БП36	P_{su}	3	5	1	5	3	0	9	9	2	1	315	303 → 315	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
589	304БП36	P_{su}	3	6	1	5	3	0	9	9	2	1	316	304 → 316	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
590	307БП36	P_{su}	3	5	2	5	3	0	9	9	1	1	317	307 → 317	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
591	308БП36	P_{su}	3	6	2	5	3	0	9	9	1	1	318	308 → 318	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
592	309БП36	P_{su}	3	5	2	5	3	0	9	9	2	1	319	309 → 319	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$
593	310БП36	P_{su}	3	6	2	5	3	0	9	9	2	1	320	310 → 320	$P_{su} * 1 / t_{p.d.}$

ДОДАТОК Е.

СОРТУВАННЯ ПОДІЙ ПОВЕДІНКИ

Таблиця Е.1 – Сорткування станів по базовій події БП1

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
1	Початковий стан	--	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	--	--
2	1БП1	P_{sst}	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	$1 \rightarrow 2$	$P_{sst} * 1/t_{s.t.}$
3	1БП1 (ЗБП2)	$1 - P_{sst}$	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	$1 \rightarrow 3$	$(1 - P_{sst}) * 1/t_{s.t.}$

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БП1

Базова подія 1 відбувається в одній ситуації.

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 1): $(V1=0) \text{ AND } (V2=0) \text{ AND } (V3=0) \text{ AND } (V4=0) \text{ AND } (V5=0) \text{ AND } (V6=1) \text{ AND } (V7=0) \text{ AND } (V8=0) \text{ AND } (V9=0) \text{ AND } (V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{sst} * 1/t_{s.t.}$; ПМКВС: $V1:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1 - P_{sst}) * 1/t_{s.t.}$; ПМКВС: $V1:=2$; $V6:=3$.

Таблиця Е.2 – Сорткування станів по базовій події БП3

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
3	1БП1 (ЗБП2)	$1 - P_{sst}$	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	$1 \rightarrow 3$	$(1 - P_{sst}) * 1/t_{p.d.}$
6	ЗБП3	P_{sst}	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6	$3 \rightarrow 6$	$P_{sst} * 1/t_{s.t.}$
7		$1 - P_{sst}$	4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	KB1	$3 \rightarrow KB1$	$(1 - P_{sst}) * 1/t_{s.t.}$

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БП3

Базова подія 3 відбувається в одній ситуації.

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 3): $(V1=2) \text{ AND } (V2=0) \text{ AND } (V3=0) \text{ AND } (V4=0) \text{ AND } (V5=0) \text{ AND } (V6=3) \text{ AND } (V7=0) \text{ AND } (V8=0) \text{ AND } (V9=0) \text{ AND } (V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{sst} * 1/t_{s.t.}$; ПМКВС: $V1:=3$; $V6:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1 - P_{sst}) * 1/t_{s.t.}$; ПМКВС: $V1:=4$; $V6:=2$.

Таблиця Е.3 – Сортування станів по базовій події БП4

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
Ситуація 1																	
2	1БП1	P _{sst}	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1 → 2	P _{sst} *1/t _{s.t.}
4	2БП4	P _{ao}	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	2 → 4	P _{ao} *1/t _{b.a.}
5		1 -P _{ao}	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5	2 → 5	(1-P _{ao})*1/t _{b.a.}
Ситуація 2																	
6	3БП3	P _{sst}	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6	3 → 6	P _{sst} *1/t _{s.t.}
12	6БП4	P _{ao}	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	11	6 → 11	P _{ao} *1/t _{b.a.}
13		1 -P _{ao}	3	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	12	6 → 12	(1-P _{ao})*1/t _{b.a.}

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БП4

Базова подія 4 відбувається в двох ситуаціях.

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 2): ($V1=1$) AND ($V2=0$) AND ($V3=0$) AND ($V4=0$) AND ($V5=0$) AND ($V6=1$) AND ($V7=0$) AND ($V8=0$) AND ($V9=0$) AND ($V10=0$).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{ao} * 1/t_{b.a.}$; ПМКВС: $V3:=1$;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1 - P_{ao}) * 1/t_{b.a.}$; ПМКВС: $V3:=2$;

СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 6): ($V1=3$) AND ($V2=0$) AND ($V3=0$) AND ($V4=0$) AND ($V5=0$) AND ($V6=1$) AND ($V7=0$) AND ($V8=0$) AND ($V9=0$) AND ($V10=0$).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{ao} * 1/t_{b.a.}$; ПМКВС: $V3:=1$;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1 - P_{ao}) * 1/t_{b.a.}$; ПМКВС: $V3:=2$;

Таблиця Е.4 – Сортування станів по базовій події БП5

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
Ситуація 1																	
4	2БП4	P _{ao}	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	2 → 4	P _{ao} *1/t _{b.a.}
8	4БП5	P _{dt}	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	7	4 → 7	P _{dt} *1/t _{d.t.}
9		1 -P _{dt}	1	2	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0	8	4 → 8	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
Ситуація 2																	
5	2БП4	1 -P _{ao}	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5	2 → 5	(1-P _{ao})*1/t _{b.a.}
10	5БП5	P _{dt}	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	9	5 → 9	P _{dt} *1/t _{d.t.}
11		1 -P _{dt}	1	2	2	0	0	1	0	0	2	0	0	0	10	5 → 10	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
Ситуація 3																	
12	6БП4	P _{ao}	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	11	6 → 11	P _{ao} *1/t _{b.a.}
22	11БП5	P _{dt}	3	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	17	11 → 17	P _{dt} *1/t _{d.t.}
23		1 -P _{dt}	3	2	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0	18	11 → 18	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}

Ситуація 4																
13	6БП4	1 -P _{ao}	3	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	12	6 → 12	(1-P _{ao})*1/t _{b.a.}
24	12БП5	P _{dt}	3	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	19	12 → 19	P _{dt} *1/t _{d.t.}
25		1 -P _{dt}	3	2	2	0	0	1	0	0	2	0	0	20	12 → 20	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БП5

Базова подія 5 відбувається в чотирьох ситуаціях.

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 4): (V1=1) AND (V2=0) AND (V3=1) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: P_{dt}*1/t_{d.t.}; ПМКВС: V2:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: (1-P_{dt})*1/t_{d.t.}; ПМКВС: V2:=2; V9:=2.

СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 5): (V1=1) AND (V2=0) AND (V3=2) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: P_{dt}*1/t_{d.t.}; ПМКВС: V2:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: (1-P_{dt})*1/t_{d.t.}; ПМКВС: V2:=2; V9:=2.

СИТУАЦІЯ 3: формалізований опис ситуації 3 (вектор стану 11): (V1=3) AND (V2=0) AND (V3=1) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: P_{dt}*1/t_{d.t.}; ПМКВС: V2:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: (1-P_{dt})*1/t_{d.t.}; ПМКВС: V2:=2; V9:=2.

СИТУАЦІЯ 4: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 12): (V1=3) AND (V2=0) AND (V3=2) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: P_{dt}*1/t_{d.t.}; ПМКВС: V2:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: (1-P_{dt})*1/t_{d.t.}; ПМКВС: V2:=2; V9:=2.

Таблиця Е.5 – Сортування станів по базовій події БП6

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
Ситуація 1																	
8	4БП5	P _{dt}	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	7	4 → 7	P _{dt} *1/t _{d.t.}
14	7БП6	P _{ce}	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	13	7 → 13	P _{ce} *1/t _{c.e.}
15		1 -P _{ce}	1	1	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	KB2	7→KB2	(1-P _{ce})*1/t _{c.e.}

Ситуація 2																	
9	4БП5	1 -P _{dt}	1	2	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0	8	4 → 8	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
16	8БП6	P _{ce}	1	2	1	1	0	1	0	0	2	0	0	0	14	8 → 14	P _{ce} *1/t _{c.e.}
17		1 -P _{ce}	1	2	1	2	0	2	0	0	2	0	0	0	KB2	8 → KB2	(1-P _{ce})*1/t _{c.e.}
Ситуація 3																	
10	5БП5	P _{dt}	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	9	5 → 9	P _{dt} *1/t _{d.t.}
18	9БП6	P _{ce}	1	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	15	9 → 15	P _{ce} *1/t _{c.e.}
19		1 -P _{ce}	1	1	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	KB2	9 → KB2	(1-P _{ce})*1/t _{c.e.}
Ситуація 4																	
11	5БП5	1 -P _{dt}	1	2	2	0	0	1	0	0	2	0	0	0	10	5 → 10	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
20	10БП6	P _{ce}	1	2	2	1	0	1	0	0	2	0	0	0	16	10 → 16	P _{ce} *1/t _{c.e.}
21		1 -P _{ce}	1	2	2	2	0	2	0	0	2	0	0	0	KB2	10 → KB2	(1-P _{ce})*1/t _{c.e.}
Ситуація 5																	
22	11БП5	P _{dt}	3	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	17	11 → 17	P _{dt} *1/t _{d.t.}
34	17БП6	P _{ce}	3	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	25	17 → 25	P _{ce} *1/t _{c.e.}
35		1 -P _{ce}	3	1	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	KB2	17 → KB2	(1-P _{ce})*1/t _{c.e.}
Ситуація 6																	
23	11БП5	1 -P _{dt}	3	2	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0	18	11 → 18	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
36	18БП6	P _{ce}	3	2	1	1	0	1	0	0	2	0	0	0	26	18 → 26	P _{ce} *1/t _{c.e.}
37		1 -P _{ce}	3	2	1	2	0	2	0	0	2	0	0	0	KB2	18 → KB2	(1-P _{ce})*1/t _{c.e.}
Ситуація 7																	
24	12БП5	P _{dt}	3	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	19	12 → 19	P _{dt} *1/t _{d.t.}
38	19БП6	P _{ce}	3	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	27	19 → 27	P _{ce} *1/t _{c.e.}
39		1 -P _{ce}	3	1	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	KB2	19 → KB2	(1-P _{ce})*1/t _{c.e.}
Ситуація 8																	
25	12БП5	1 -P _{dt}	3	2	2	0	0	1	0	0	2	0	0	0	20	12 → 20	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
40	20БП6	P _{ce}	3	2	2	1	0	1	0	0	2	0	0	0	28	20 → 28	P _{ce} *1/t _{c.e.}
41		1 -P _{ce}	3	2	2	2	0	2	0	0	2	0	0	0	KB3	20 → KB3	(1-P _{ce})*1/t _{c.e.}

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БП6

Базова подія 6 відбувається в восьми ситуаціях.

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 7): (V1=1) AND (V2=1) AND (V3=1) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРП: P_{ce}*1/t_{c.e.}; ПМКВС: V4:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРП: (1-P_{ce})*1/t_{c.e.}; ПМКВС: V4:=2; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 8): (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРП: P_{ce}*1/t_{c.e.}; ПМКВС: V4:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРП: (1-P_{ce})*1/t_{c.e.}; ПМКВС: V4:=2; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 3: формалізований опис ситуації 3 (вектор стану 9): (V1=1) AND (V2=1) AND (V3=2) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{ce} * 1/t_{c.e.}$; ПМКВС: $V4:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{ce}) * 1/t_{c.e.}$; ПМКВС: $V4:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 4: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 12): $(V1=1)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=0)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{ce} * 1/t_{c.e.}$; ПМКВС: $V4:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{ce}) * 1/t_{c.e.}$; ПМКВС: $V4:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 5: формалізований опис ситуації 5 (вектор стану 17): $(V1=3)$ AND $(V2=1)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=0)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=0)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{ce} * 1/t_{c.e.}$; ПМКВС: $V4:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{ce}) * 1/t_{c.e.}$; ПМКВС: $V4:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 6: формалізований опис ситуації 6 (вектор стану 18): $(V1=3)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=0)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{ce} * 1/t_{c.e.}$; ПМКВС: $V4:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{ce}) * 1/t_{c.e.}$; ПМКВС: $V4:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 7: формалізований опис ситуації 7 (вектор стану 19): $(V1=3)$ AND $(V2=1)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=0)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=0)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{ce} * 1/t_{c.e.}$; ПМКВС: $V4:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{ce}) * 1/t_{c.e.}$; ПМКВС: $V4:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 8: формалізований опис ситуації 8 (вектор стану 20): $(V1=3)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=0)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{ce} * 1/t_{c.e.}$; ПМКВС: $V4:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{ce}) * 1/t_{c.e.}$; ПМКВС: $V4:=2$; $V6:=2$.

Таблиця Е.6 – Сортунання станів по базовій події БП7

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
Ситуація 1																	
14	7БП6	P _{се}	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	13	7 → 13	P _{се} *1/t _{с.е.}
26	13БП7	P _{рр}	1	1	1	3	0	1	0	0	0	0	0	0	21	13 → 21	P _{рр} *1/t _{р.р.}
27	13БП7 (ЗБП9)	1-P _{рр}	1	1	1	4	0	2	0	0	0	0	0	0	KB3	13 → KB3	(1-P _{рр})*1/t _{р.р.}
Ситуація 2																	
16	8БП6	P _{се}	1	2	1	1	0	1	0	0	2	0	0	0	14	8 → 14	P _{се} *1/t _{с.е.}
28	14БП7	P _{рр}	1	2	1	3	0	1	0	0	2	0	0	0	22	14 → 22	P _{рр} *1/t _{р.р.}
29	14БП7 (ЗБП9)	1-P _{рр}	1	2	1	4	0	2	0	0	2	0	0	0	KB3	14 → KB3	(1-P _{рр})*1/t _{р.р.}
Ситуація 3																	
18	9БП6	P _{се}	1	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	15	9 → 15	P _{се} *1/t _{с.е.}
30	15БП7	P _{рр}	1	1	2	3	0	1	0	0	0	0	0	0	23	15 → 23	P _{рр} *1/t _{р.р.}
31	15БП7 (ЗБП9)	1-P _{рр}	1	1	2	4	0	2	0	0	0	0	0	0	KB3	15 → KB3	(1-P _{рр})*1/t _{р.р.}
Ситуація 4																	
20	10БП6	P _{се}	1	2	2	1	0	1	0	0	2	0	0	0	16	10 → 16	P _{се} *1/t _{с.е.}
32	16БП7	P _{рр}	1	2	2	3	0	1	0	0	2	0	0	0	24	16 → 24	P _{рр} *1/t _{р.р.}
33	16БП7 (ЗБП9)	1-P _{рр}	1	2	2	4	0	2	0	0	2	0	0	0	KB3	16 → KB3	(1-P _{рр})*1/t _{р.р.}
Ситуація 5																	
34	17БП6	P _{се}	3	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	25	17 → 25	P _{се} *1/t _{с.е.}
50	25БП7	P _{рр}	3	1	1	3	0	1	0	0	0	0	0	0	33	25 → 33	P _{рр} *1/t _{р.р.}
51	25БП7 (ЗБП9)	1-P _{рр}	3	1	1	4	0	2	0	0	0	0	0	0	KB3	25 → KB3	(1-P _{рр})*1/t _{р.р.}
Ситуація 6																	
36	18БП6	P _{се}	3	2	1	1	0	1	0	0	2	0	0	0	26	18 → 26	P _{се} *1/t _{с.е.}
52	26БП7	P _{рр}	3	2	1	3	0	1	0	0	2	0	0	0	34	26 → 34	P _{рр} *1/t _{р.р.}
53	26БП7 (ЗБП9)	1-P _{рр}	3	2	1	4	0	2	0	0	2	0	0	0	KB3	26 → KB3	(1-P _{рр})*1/t _{р.р.}
Ситуація 7																	
38	19БП6	P _{се}	3	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	27	19 → 27	P _{се} *1/t _{с.е.}
54	27БП7	P _{рр}	3	1	2	3	0	1	0	0	0	0	0	0	35	27 → 35	P _{рр} *1/t _{р.р.}
55	27БП7 (ЗБП9)	1-P _{рр}	3	1	2	4	0	2	0	0	0	0	0	0	KB3	27 → KB3	(1-P _{рр})*1/t _{р.р.}
Ситуація 8																	
40	20БП6	P _{се}	3	2	2	1	0	1	0	0	2	0	0	0	28	20 → 28	P _{се} *1/t _{с.е.}
56	28БП7	P _{рр}	3	2	2	3	0	1	0	0	2	0	0	0	36	28 → 36	P _{рр} *1/t _{р.р.}
57	28БП7 (ЗБП9)	1-P _{рр}	3	2	2	4	0	2	0	0	2	0	0	0	KB3	28 → KB3	(1-P _{рр})*1/t _{р.р.}

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БП7

Базова подія 7 відбувається в восьми ситуаціях і представлена вектором стану 13:

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 13): (V1=1) AND (V2=1) AND (V3=1) AND (V4=1) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: P_{рр}*1/t_{р.р.}; ПМКВС: V4:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: (1-P_{рр})*1/t_{р.р.}; ПМКВС: V4:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 14): (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=1) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{pp} * 1/t_{p.p.}$; ПМКВС: V4:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{pp}) * 1/t_{p.p.}$; ПМКВС: V4:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 3: формалізований опис ситуації 3 (вектор стану 15): (V1=1) AND (V2=1) AND (V3=2) AND (V4=1) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{pp} * 1/t_{p.p.}$; ПМКВС: V4:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{pp}) * 1/t_{p.p.}$; ПМКВС: V4:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 4: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 16): (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=1) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{pp} * 1/t_{p.p.}$; ПМКВС: V4:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{pp}) * 1/t_{p.p.}$; ПМКВС: V4:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 5: формалізований опис ситуації 5 (вектор стану 25): (V1=3) AND (V2=1) AND (V3=1) AND (V4=1) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{pp} * 1/t_{p.p.}$; ПМКВС: V4:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{pp}) * 1/t_{p.p.}$; ПМКВС: V4:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 6: формалізований опис ситуації 6 (вектор стану 26): (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=1) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{pp} * 1/t_{p.p.}$; ПМКВС: V4:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{pp}) * 1/t_{p.p.}$; ПМКВС: V4:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 7: формалізований опис ситуації 7 (вектор стану 19): (V1=3) AND (V2=1) AND (V3=2) AND (V4=1) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{pp} * 1/t_{p.p.}$; ПМКВС: V4:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{pp}) * 1/t_{p.p.}$; ПМКВС: V4:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 8: формалізований опис ситуації 8 (вектор стану 20): (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=1) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{pp} * 1/t_{p.p.}$; ПМКВС: V4:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{pp}) * 1/t_{p.p.}$; ПМКВС: V4:=4; V6:=2.

Таблиця Е.7 – Сортуння станів по базовій події БП8

№ шаг а	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	Ймовірності альтернативного продовження процесу	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
Ситуація 1																	
26	13БП7	P _{pp}	1	1	1	3	0	1	0	0	0	0	0	0	21	13 → 21	P _{pp} *1/t _{p.p.}
42	21БП8	P _{cp}	1	1	1	5	0	1	0	0	0	0	0	0	29	21 → 29	P _{cp} *1/t _{c.p.}
43	21БП8 (ЗБП9)	1 -P _{cp}	1	1	1	6	0	2	0	0	0	0	0	0	KB3	21 → KB3	(1-P _{cp})*1/t _{c.p.}
Ситуація 2																	
28	14БП7	P _{pp}	1	2	1	3	0	1	0	0	2	0	0	0	22	14 → 22	P _{pp} *1/t _{p.p.}
44	22БП8	P _{cp}	1	2	1	5	0	1	0	0	2	0	0	0	30	22 → 30	P _{cp} *1/t _{c.p.}
45	22БП8 (ЗБП9)	1 -P _{cp}	1	2	1	6	0	2	0	0	2	0	0	0	KB3	22 → KB3	(1-P _{cp})*1/t _{c.p.}
Ситуація 3																	
30	15БП7	P _{pp}	1	1	2	3	0	1	0	0	0	0	0	0	23	15 → 23	P _{pp} *1/t _{p.p.}
46	23БП8	P _{cp}	1	1	2	5	0	1	0	0	0	0	0	0	31	23 → 31	P _{cp} *1/t _{c.p.}
47	23БП8 (ЗБП9)	1 -P _{cp}	1	1	2	6	0	2	0	0	0	0	0	0	KB3	23 → KB3	(1-P _{cp})*1/t _{c.p.}
Ситуація 4																	
32	16БП7	P _{pp}	1	2	2	3	0	1	0	0	2	0	0	0	24	16 → 24	P _{pp} *1/t _{p.p.}
48	24БП8	P _{cp}	1	2	2	5	0	1	0	0	2	0	0	0	32	24 → 32	P _{cp} *1/t _{c.p.}
49	24БП8 (ЗБП9)	1 -P _{cp}	1	2	2	6	0	2	0	0	2	0	0	0	KB3	24 → KB3	(1-P _{cp})*1/t _{c.p.}
Ситуація 5																	
50	25БП7	P _{pp}	3	1	1	3	0	1	0	0	0	0	0	0	33	25 → 33	P _{pp} *1/t _{p.p.}
66	33БП8	P _{cp}	3	1	1	5	0	1	0	0	0	0	0	0	41	33 → 41	P _{cp} *1/t _{c.p.}
67	33БП8 (ЗБП9)	1 -P _{cp}	3	1	1	6	0	2	0	0	0	0	0	0	KB3	33 → KB3	(1-P _{cp})*1/t _{c.p.}
Ситуація 6																	
52	26БП7	P _{pp}	3	2	1	3	0	1	0	0	2	0	0	0	34	26 → 34	P _{pp} *1/t _{p.p.}
68	34БП8	P _{cp}	3	2	1	5	0	1	0	0	2	0	0	0	42	34 → 42	P _{cp} *1/t _{c.p.}

69	34БП8 (ЗБП9)	1 -P _{cp}	3	2	1	6	0	0	0	0	2	0	0	0	KB3	34 → KB3	(1-P _{cp})*1/t _{c.p.}
Ситуація 7																	
54	27БП7	P _{pp}	3	1	2	3	0	1	0	0	0	0	0	0	35	27 → 35	P _{pp} *1/t _{p.p.}
70	35БП8	P _{cp}	3	1	2	5	0	1	0	0	0	0	0	0	43	35 → 43	P _{cp} *1/t _{c.p.}
71	35БП8 (ЗБП9)	1 -P _{cp}	3	1	2	6	0	2	0	0	0	0	0	0	KB3	35 → KB3	(1-P _{cp})*1/t _{c.p.}
Ситуація 8																	
56	28БП7	P _{pp}	3	2	2	3	0	1	0	0	2	0	0	0	36	28 → 36	P _{pp} *1/t _{p.p.}
72	36БП8	P _{cp}	3	2	2	5	0	1	0	0	2	0	0	0	44	36 → 44	P _{cp} *1/t _{c.p.}
73	36БП8 (ЗБП9)	1 -P _{cp}	3	2	2	6	0	2	0	0	2	0	0	0	KB3	34 → KB3	(1-P _{cp})*1/t _{c.p.}

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БП8

Базова подія 8 відбувається в восьми ситуаціях.

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 21): (V1=1) AND (V2=1) AND (V3=1) AND (V4=3) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРП: P_{cp}*1/t_{c.p.}; ПМКВС: V4:=5.

Для 2-ої альтернативи ФРП: (1-P_{cp})*1/t_{c.p.}; ПМКВС: V4:=6; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 22): (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=3) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРП: P_{cp}*1/t_{c.p.}; ПМКВС: V4:=5.

Для 2-ої альтернативи ФРП: (1-P_{cp})*1/t_{c.p.}; ПМКВС: V4:=6; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 3: формалізований опис ситуації 3 (вектор стану 23): (V1=1) AND (V2=1) AND (V3=2) AND (V4=3) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРП: P_{cp}*1/t_{c.p.}; ПМКВС: V4:=5.

Для 2-ої альтернативи ФРП: (1-P_{cp})*1/t_{c.p.}; ПМКВС: V4:=6; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 4: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 24): (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=3) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРП: P_{cp}*1/t_{c.p.}; ПМКВС: V4:=5.

Для 2-ої альтернативи ФРП: (1-P_{cp})*1/t_{c.p.}; ПМКВС: V4:=6; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 5: формалізований опис ситуації 5 (вектор стану 33): (V1=3) AND (V2=1) AND (V3=1) AND (V4=3) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{cp} * 1/t_{c.p.}$; ПМКВС: $V4:=5$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{cp}) * 1/t_{c.p.}$; ПМКВС: $V4:=6$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 6: формалізований опис ситуації 6 (вектор стану 34): $(V1=3)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=3)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{cp} * 1/t_{c.p.}$; ПМКВС: $V4:=5$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{cp}) * 1/t_{c.p.}$; ПМКВС: $V4:=6$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 7: формалізований опис ситуації 7 (вектор стану 35): $(V1=3)$ AND $(V2=1)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=3)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=0)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{cp} * 1/t_{c.p.}$; ПМКВС: $V4:=5$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{cp}) * 1/t_{c.p.}$; ПМКВС: $V4:=6$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 8: формалізований опис ситуації 8 (вектор стану 36): $(V1=3)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=3)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{cp} * 1/t_{c.p.}$; ПМКВС: $V4:=5$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{cp}) * 1/t_{c.p.}$; ПМКВС: $V4:=6$; $V6:=2$.

Таблиця Е.8 – Сортунання станів по базовій події БП10

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ІАПП	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
Ситуація 1																	
42	21БП8	P _{cp}	1	1	1	5	0	1	0	0	0	0	0	0	29	21 → 29	P _{cp} *1/t _{c.p.}
58	29БП10	P _{dc}	1	1	1	5	1	1	0	0	0	0	0	0	37	29 → 37	P _{dc} *1/t _{d.c.}
59		1 -P _{dc}	1	1	1	5	2	2	0	0	0	0	0	0	KB4	29 → KB4	(1-P _{dc})*1/t _{d.c.}
Ситуація 2																	
44	22БП8	P _{cp}	1	2	1	5	0	1	0	0	2	0	0	0	30	22 → 30	P _{cp} *1/t _{c.p.}
60	30БП10	P _{dc}	1	2	1	5	1	1	0	0	2	0	0	0	38	30 → 38	P _{dc} *1/t _{d.c.}
61		1 -P _{dc}	1	2	1	5	2	2	0	0	2	0	0	0	KB4	30 → KB4	(1-P _{dc})*1/t _{d.c.}
Ситуація 3																	
46	23БП8	P _{cp}	1	1	2	5	0	1	0	0	0	0	0	0	31	23 → 31	P _{cp} *1/t _{c.p.}
62	31БП10	P _{dc}	1	1	2	5	1	1	0	0	0	0	0	0	39	31 → 39	P _{dc} *1/t _{d.c.}
63		1 -P _{dc}	1	1	2	5	2	2	0	0	0	0	0	0	KB4	31 → KB4	(1-P _{dc})*1/t _{d.c.}
Ситуація 4																	
48	24БП8	P _{cp}	1	2	2	5	0	1	0	0	2	0	0	0	32	24 → 32	P _{cp} *1/t _{c.p.}
64	32БП10	P _{dc}	1	2	2	5	1	1	0	0	2	0	0	0	40	32 → 40	P _{dc} *1/t _{d.c.}
65		1 -P _{dc}	1	2	2	5	2	2	0	0	2	0	0	0	KB4	32 → KB4	(1-P _{dc})*1/t _{d.c.}

Продовження таблиці Е.8

Ситуація 5																	
66	33БП8	P_{cp}	3	1	1	5	0	1	0	0	0	0	0	0	41	$33 \rightarrow 41$	$P_{cp} * 1 / t_{c.p.}$
82	41БП10	P_{dc}	3	1	1	5	1	1	0	0	0	0	0	0	51	$41 \rightarrow 51$	$P_{dc} * 1 / t_{d.c.}$
83		$1 - P_{dc}$	3	1	1	5	2	2	0	0	0	0	0	0	KB4	$41 \rightarrow KB4$	$(1 - P_{dc}) * 1 / t_{d.c.}$
Ситуація 6																	
68	34БП8	P_{cp}	3	2	1	5	0	1	0	0	2	0	0	0	42	$34 \rightarrow 42$	$P_{cp} * 1 / t_{c.p.}$
84	42БП10	P_{dc}	3	2	1	5	1	1	0	0	2	0	0	0	52	$42 \rightarrow 52$	$P_{dc} * 1 / t_{d.c.}$
85		$1 - P_{dc}$	3	2	1	5	2	2	0	0	2	0	0	0	KB4	$42 \rightarrow KB4$	$(1 - P_{dc}) * 1 / t_{d.c.}$
Ситуація 7																	
70	35БП8	P_{cp}	3	1	2	5	0	1	0	0	0	0	0	0	43	$35 \rightarrow 43$	$P_{cp} * 1 / t_{c.p.}$
86	43БП10	P_{dc}	3	1	2	5	1	1	0	0	0	0	0	0	53	$43 \rightarrow 53$	$P_{dc} * 1 / t_{d.c.}$
87		$1 - P_{dc}$	3	1	2	5	2	2	0	0	0	0	0	0	KB4	$43 \rightarrow KB4$	$(1 - P_{dc}) * 1 / t_{d.c.}$
Ситуація 8																	
72	36БП8	P_{cp}	3	2	2	5	0	1	0	0	2	0	0	0	44	$36 \rightarrow 44$	$P_{cp} * 1 / t_{c.p.}$
88	44БП10	P_{dc}	3	2	2	5	1	1	0	0	2	0	0	0	54	$44 \rightarrow 54$	$P_{dc} * 1 / t_{d.c.}$
89		$1 - P_{dc}$	3	2	2	5	2	2	0	0	2	0	0	0	KB4	$44 \rightarrow KB4$	$(1 - P_{dc}) * 1 / t_{d.c.}$

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БП10

Базова подія 10 відбувається в восьми ситуаціях.

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 29): $(V1=1)$ AND $(V2=1)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=0)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{dc} * 1 / t_{d.c.}$; ПМКВС: $V5:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1 - P_{dc}) * 1 / t_{d.c.}$; ПМКВС: $V5:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 30): $(V1=1)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{dc} * 1 / t_{d.c.}$; ПМКВС: $V5:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1 - P_{dc}) * 1 / t_{d.c.}$; ПМКВС: $V5:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 3: формалізований опис ситуації 31 (вектор стану 31): $(V1=1)$ AND $(V2=1)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=0)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{dc} * 1 / t_{d.c.}$; ПМКВС: $V5:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1 - P_{dc}) * 1 / t_{d.c.}$; ПМКВС: $V5:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 4: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 32): $(V1=1)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{dc} * 1 / t_{d.c.}$; ПМКВС: $V5:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРП: $(1-P_{dc}) * 1/t_{d.c.}$; ПМКВС: $V5:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 5: формалізований опис ситуації 5 (вектор стану 41): $(V1=3)$ AND $(V2=1)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=0)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРП: $P_{dc} * 1/t_{d.c.}$; ПМКВС: $V5:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРП: $(1-P_{dc}) * 1/t_{d.c.}$; ПМКВС: $V5:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 6: формалізований опис ситуації 6 (вектор стану 42): $(V1=3)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРП: $P_{dc} * 1/t_{d.c.}$; ПМКВС: $V5:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРП: $(1-P_{dc}) * 1/t_{d.c.}$; ПМКВС: $V5:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 7: формалізований опис ситуації 7 (вектор стану 43): $(V1=3)$ AND $(V2=1)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=0)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРП: $P_{dc} * 1/t_{d.c.}$; ПМКВС: $V5:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРП: $(1-P_{dc}) * 1/t_{d.c.}$; ПМКВС: $V5:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 8: формалізований опис ситуації 8 (вектор стану 44): $(V1=3)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРП: $P_{dc} * 1/t_{d.c.}$; ПМКВС: $V5:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРП: $(1-P_{dc}) * 1/t_{d.c.}$; ПМКВС: $V5:=2$; $V6:=2$.

Таблиця Е.9 – Сортування станів по базовій події БП11

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
Ситуація 1																	
58	29БП10	P _{dc}	1	1	1	5	1	1	0	0	0	0	0	0	37	29 → 37	P _{dc} *1/t _{d.c.}
74	37БП11	P _{da}	1	3	1	5	1	1	0	0	1	0	0	0	45	37 → 45	P _{da} *1/t _{d.a.}
75		1-P _{da}	1	4	1	5	1	1	0	0	2	0	0	0	46	37 → 46	(1-P _{da})*1/t _{d.a.}
Ситуація 2																	
62	31БП10	P _{dc}	1	1	2	5	1	1	0	0	0	0	0	0	39	31 → 39	P _{dc} *1/t _{d.c.}
78	39БП11	P _{da}	1	3	2	5	1	1	0	0	1	0	0	0	48	39 → 48	P _{da} *1/t _{d.a.}
79		1-P _{da}	1	4	2	5	1	1	0	0	2	0	0	0	49	39 → 49	(1-P _{da})*1/t _{d.a.}

Продовження таблиці Е.9

Ситуація 3																	
82	41БП10	P_{dc}	3	1	1	5	1	1	0	0	0	0	0	0	51	$41 \rightarrow 51$	$P_{dc} * 1/t_{d.c.}$
102	51БП11	P_{da}	3	3	1	5	1	1	0	0	1	0	0	0	61	$51 \rightarrow 61$	$P_{da} * 1/t_{d.a.}$
103		$1-P_{da}$	3	4	1	5	1	1	0	0	2	0	0	0	62	$51 \rightarrow 62$	$(1-P_{da}) * 1/t_{d.a.}$
Ситуація 4																	
86	43БП10	P_{dc}	3	1	2	5	1	1	0	0	0	0	0	0	53	$43 \rightarrow 53$	$P_{dc} * 1/t_{d.c.}$
106	53БП11	P_{da}	3	3	2	5	1	1	0	0	1	0	0	0	64	$53 \rightarrow 64$	$P_{da} * 1/t_{d.a.}$
107		$1-P_{da}$	3	4	2	5	1	1	0	0	2	0	0	0	65	$53 \rightarrow 65$	$(1-P_{da}) * 1/t_{d.a.}$

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БП11

Базова подія 11 відбувається в чотирьох ситуаціях:

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 37): $(V1=1)$ AND $(V2=1)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=1)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=0)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{da} * 1/t_{d.a.}$; ПМКВС: $V2:=3$; $V9:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{da}) * 1/t_{d.a.}$; ПМКВС: $V2:=4$; $V9:=2$.

І вектором стану 39 СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 39): $(V1=1)$ AND $(V2=1)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=0)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{da} * 1/t_{d.a.}$; ПМКВС: $V2:=3$; $V9:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{da}) * 1/t_{d.a.}$; ПМКВС: $V2:=4$; $V9:=2$.

СИТУАЦІЯ 3: формалізований опис ситуації 3 (вектор стану 51): $(V1=3)$ AND $(V2=1)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=1)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=0)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{da} * 1/t_{d.a.}$; ПМКВС: $V2:=3$; $V9:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{da}) * 1/t_{d.a.}$; ПМКВС: $V2:=4$; $V9:=2$.

СИТУАЦІЯ 4: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 43): $(V1=3)$ AND $(V2=1)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=1)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=0)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{da} * 1/t_{d.a.}$; ПМКВС: $V2:=3$; $V9:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{da}) * 1/t_{d.a.}$; ПМКВС: $V2:=4$; $V9:=2$.

Таблиця Е.10 – Сортуння станів по базовій події БП12

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	Ймовірності альтернативного продовження процесу	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
Ситуація 1																	
60	30БП10	P _{dc}	1	2	1	5	1	1	0	0	2	0	0	0	38	30 → 38	P _{dc} *1/t _{d.c.}
76	38БП12	P _{cd}	1	2	1	5	3	1	0	0	2	0	0	0	47	38 → 47	P _{cd} *1/t _{c.d.}
77	38БП12 (ЗБП13)	1-P _{cd}	1	2	1	5	4	2	0	0	2	0	0	0	KB5	38 → KB5	(1-P _{cd})*1/t _{c.d.}
Ситуація 2																	
64	32БП10	P _{dc}	1	2	2	5	1	1	0	0	2	0	0	0	40	32 → 40	P _{dc} *1/t _{d.c.}
80	40БП12	P _{cd}	1	2	2	5	3	1	0	0	2	0	0	0	50	40 → 50	P _{cd} *1/t _{c.d.}
81	40БП12 (ЗБП13)	1-P _{cd}	1	2	2	5	4	2	0	0	2	0	0	0	KB5	40 → KB5	(1-P _{cd})*1/t _{c.d.}
Ситуація 3																	
74	37БП11	P _{da}	1	3	1	5	1	1	0	0	1	0	0	0	45	37 → 45	P _{da} *1/t _{d.a.}
90	45БП12	P _{cd}	1	3	1	5	3	1	0	0	1	0	0	0	55	45 → 55	P _{cd} *1/t _{c.d.}
91	45БП12 (ЗБП13)	1-P _{cd}	1	2	1	5	4	2	0	0	2	0	0	0	KB5	45 → KB5	(1-P _{cd})*1/t _{c.d.}
Ситуація 4																	
75	37БП11	1-P _{da}	1	4	1	5	1	1	0	0	2	0	0	0	46	37 → 46	(1-P _{da})*1/t _{d.a.}
92	46БП12	P _{cd}	1	4	1	5	3	1	0	0	2	0	0	0	56	46 → 56	P _{cd} *1/t _{c.d.}
93	46БП12 (ЗБП13)	1-P _{cd}	1	4	1	5	4	2	0	0	2	0	0	0	KB5	46 → KB5	(1-P _{cd})*1/t _{c.d.}
Ситуація 5																	
78	39БП11	P _{da}	1	3	2	5	1	1	0	0	1	0	0	0	48	39 → 48	P _{da} *1/t _{d.a.}
96	48БП12	P _{cd}	1	3	2	5	3	1	0	0	1	0	0	0	58	48 → 58	P _{cd} *1/t _{c.d.}
97	48БП12 (ЗБП13)	1-P _{cd}	1	3	2	5	4	2	0	0	1	0	0	0	KB5	48 → KB5	(1-P _{cd})*1/t _{c.d.}
Ситуація 6																	
79	39БП11	1-P _{da}	1	4	2	5	1	1	0	0	2	0	0	0	49	39 → 49	(1-P _{da})*1/t _{d.a.}
98	49БП12	P _{cd}	1	4	2	5	3	1	0	0	2	0	0	0	59	49 → 59	P _{cd} *1/t _{c.d.}
99	49БП12 (ЗБП13)	1-P _{cd}	1	4	2	5	4	2	0	0	2	0	0	0	KB5	49 → KB5	(1-P _{cd})*1/t _{c.d.}
Ситуація 7																	
84	42БП10	P _{dc}	3	2	1	5	1	1	0	0	2	0	0	0	52	42 → 52	P _{dc} *1/t _{d.c.}
104	52БП12	P _{cd}	3	2	1	5	3	1	0	0	2	0	0	0	63	52 → 63	P _{cd} *1/t _{c.d.}
105	52БП12 (ЗБП13)	1-P _{cd}	3	2	1	5	4	2	0	0	2	0	0	0	KB5	52 → KB5	(1-P _{cd})*1/t _{c.d.}
Ситуація 8																	
88	44БП10	P _{dc}	3	2	2	5	1	1	0	0	2	0	0	0	54	44 → 54	P _{dc} *1/t _{d.c.}
108	54БП12	P _{cd}	3	2	2	5	3	1	0	0	2	0	0	0	66	54 → 66	P _{cd} *1/t _{c.d.}
109	54БП12 (ЗБП13)	1-P _{cd}	3	2	2	5	4	2	0	0	2	0	0	0	KB5	54 → KB5	(1-P _{cd})*1/t _{c.d.}
Ситуація 9																	
102	51БП11	P _{da}	3	3	1	5	1	1	0	0	1	0	0	0	61	51 → 61	P _{da} *1/t _{d.a.}
122	61БП12	P _{cd}	3	3	1	5	3	1	0	0	1	0	0	0	73	61 → 73	P _{cd} *1/t _{c.d.}
123	61БП12 (ЗБП13)	1-P _{cd}	3	3	1	5	4	2	0	0	1	0	0	0	KB5	61 → KB5	(1-P _{cd})*1/t _{c.d.}
Ситуація 10																	
103	51БП11	1-P _{da}	3	4	1	5	1	1	0	0	2	0	0	0	62	51 → 62	(1-P _{da})*1/t _{d.a.}
124	62БП12	P _{cd}	3	4	1	5	3	1	0	0	2	0	0	0	74	62 → 73	P _{cd} *1/t _{c.d.}
125	62БП12 (ЗБП13)	1-P _{cd}	3	4	1	5	4	2	0	0	2	0	0	0	KB5	62 → KB5	(1-P _{cd})*1/t _{c.d.}
Ситуація 11																	
106	53БП11	P _{da}	3	3	2	5	1	1	0	0	1	0	0	0	64	53 → 64	P _{da} *1/t _{d.a.}
128	64БП12	P _{cd}	3	3	2	5	3	1	0	0	1	0	0	0	76	64 → 76	P _{cd} *1/t _{c.d.}

Продовження таблиці Е.10

129	64БП12 (ЗБП13)	1- P_{cd}	3	3	2	5	4	2	0	0	1	0	0	0	KB5	64 → KB5	$(1-P_{cd}) * 1/t_{c.d.}$
Ситуація 12																	
107	53БП11	1- P_{da}	3	4	2	5	1	1	0	0	2	0	0	0	65	53 → 65	$(1-P_{da}) * 1/t_{d.a.}$
130	65БП12	P_{cd}	3	4	2	5	3	1	0	0	2	0	0	0	77	65 → 77	$P_{cd} * 1/t_{c.d.}$
131	65БП12 (ЗБП13)	1- P_{cd}	3	4	2	5	4	2	0	0	2	0	0	0	KB5	65 → KB5	$(1-P_{cd}) * 1/t_{c.d.}$

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БП12

Базова подія 12 відбувається в дванадцяти ситуаціях.

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 38): $(V1=1)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=0)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: $V5:=3$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{cd}) * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: $V5:=4$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 40): $(V1=1)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=1)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: $V5:=3$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{cd}) * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: $V5:=4$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 3: формалізований опис ситуації 3 (вектор стану 31): $(V1=1)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=1)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: $V5:=3$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{cd}) * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: $V5:=4$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 4: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 46): $(V1=1)$ AND $(V2=4)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=1)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: $V5:=3$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{cd}) * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: $V5:=4$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 5: формалізований опис ситуації 5 (вектор стану 48): $(V1=1)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=1)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: $V5:=3$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{cd}) * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: $V5:=4$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 6: формалізований опис ситуації 6 (вектор стану 49): (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: V5:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{cd}) * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: V5:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 7: формалізований опис ситуації 7 (вектор стану 52): (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: V5:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{cd}) * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: V5:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 8: формалізований опис ситуації 8 (вектор стану 54): (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: V5:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{cd}) * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: V5:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 9: формалізований опис ситуації 9 (вектор стану 61): (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=1) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: V5:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{cd}) * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: V5:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 10: формалізований опис ситуації 10 (вектор стану 62): (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: V5:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{cd}) * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: V5:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 11: формалізований опис ситуації 11 (вектор стану 64): (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=1) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: V5:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{cd}) * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: V5:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 12: формалізований опис ситуації 12 (вектор стану 65): (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: V5:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{cd}) * 1/t_{c.d.}$; ПМКВС: V5:=4; V6:=2.

Таблиця Е.11 – Сортунання станів по базовій події БП14

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
Ситуація 1																	
76	38БП12	P _{cd}	1	2	1	5	3	1	0	0	2	0	0	0	47	38 → 47	P _{cd} *1/t _{c.d.}
94	47БП14	P _{bd}	1	2	1	5	3	1	1	0	2	0	0	0	57	47 → 57	P _{bd} *1/t _{b.d.}
95	47БП14 (ЗБП15)	1-P _{bd}	1	2	1	5	3	2	2	0	2	0	0	0	KB6	47 → KB6	(1-P _{bd})*1/t _{b.d.}
Ситуація 2																	
80	40БП12	P _{cd}	1	2	2	5	3	1	0	0	2	0	0	0	50	40 → 50	P _{cd} *1/t _{c.d.}
100	50БП14	P _{bd}	1	2	2	5	3	1	1	0	2	0	0	0	60	50 → 60	P _{bd} *1/t _{b.d.}
101	50БП14 (ЗБП15)	1-P _{bd}	1	2	2	5	3	2	2	0	2	0	0	0	KB6	50 → KB6	(1-P _{bd})*1/t _{b.d.}
Ситуація 3																	
90	45БП12	P _{cd}	1	3	1	5	3	1	0	0	1	0	0	0	55	45 → 55	P _{cd} *1/t _{c.d.}
110	55БП14	P _{bd}	1	3	1	5	3	1	1	0	1	0	0	0	67	55 → 67	P _{bd} *1/t _{b.d.}
111	55БП14 (ЗБП15)	1-P _{bd}	1	3	1	5	3	2	2	0	1	0	0	0	KB6	55 → KB6	(1-P _{bd})*1/t _{b.d.}
Ситуація 4																	
92	46БП12	P _{cd}	1	4	1	5	3	1	0	0	2	0	0	0	56	46 → 56	P _{cd} *1/t _{c.d.}
112	56БП14	P _{bd}	1	4	1	5	3	1	1	0	2	0	0	0	68	56 → 68	P _{bd} *1/t _{b.d.}
113	56БП14 (ЗБП15)	1-P _{bd}	1	4	1	5	3	2	2	0	2	0	0	0	KB6	56 → KB6	(1-P _{bd})*1/t _{b.d.}
Ситуація 5																	
96	48БП12	P _{cd}	1	3	2	5	3	1	0	0	1	0	0	0	58	48 → 58	P _{cd} *1/t _{c.d.}
116	58БП14	P _{bd}	1	3	2	5	3	1	1	0	1	0	0	0	70	58 → 70	P _{bd} *1/t _{b.d.}
117	58БП14 (ЗБП15)	1-P _{bd}	1	3	2	5	3	2	2	0	1	0	0	0	KB6	58 → KB6	(1-P _{bd})*1/t _{b.d.}
Ситуація 6																	
98	49БП12	P _{cd}	1	4	2	5	3	1	0	0	2	0	0	0	59	49 → 59	P _{cd} *1/t _{c.d.}
118	59БП14	P _{bd}	1	4	2	5	3	1	1	0	2	0	0	0	71	59 → 71	P _{bd} *1/t _{b.d.}
119	59БП14 (ЗБП15)	1-P _{bd}	1	4	2	5	3	2	2	0	2	0	0	0	KB6	59 → KB6	(1-P _{bd})*1/t _{b.d.}
Ситуація 7																	
104	52БП12	P _{cd}	3	2	1	5	3	1	0	0	2	0	0	0	63	52 → 63	P _{cd} *1/t _{c.d.}
126	63БП14	P _{bd}	3	2	1	5	3	1	1	0	2	0	0	0	75	63 → 75	P _{bd} *1/t _{b.d.}
127	63БП14 (ЗБП15)	1-P _{bd}	3	2	1	5	3	2	2	0	2	0	0	0	KB6	63 → KB6	(1-P _{bd})*1/t _{b.d.}
Ситуація 8																	
108	54БП12	P _{cd}	3	2	2	5	3	1	0	0	2	0	0	0	66	54 → 66	P _{cd} *1/t _{c.d.}
132	66БП14	P _{bd}	3	2	2	5	3	1	1	0	2	0	0	0	78	66 → 78	P _{bd} *1/t _{b.d.}
133	66БП14 (ЗБП15)	1-P _{bd}	3	2	2	5	3	2	2	0	2	0	0	0	KB6	66→KB6	(1-P _{bd})*1/t _{b.d.}
Ситуація 9																	
122	61БП12	P _{cd}	3	3	1	5	3	1	0	0	1	0	0	0	73	61 → 73	P _{cd} *1/t _{c.d.}
146	73БП14	P _{bd}	3	3	1	5	3	1	1	0	1	0	0	0	85	73 → 85	P _{bd} *1/t _{b.d.}
147	73БП14 (ЗБП15)	1-P _{bd}	3	3	1	5	3	2	2	0	1	0	0	0	KB6	73 → KB6	(1-P _{bd})*1/t _{b.d.}

Ситуація 10																	
124	62БП12	P_{cd}	3	4	1	5	3	1	0	0	2	0	0	0	74	$62 \rightarrow 73$	$P_{cd} * 1/t_{c.d.}$
148	74БП14	P_{bd}	3	4	1	5	3	1	1	0	2	0	0	0	86	$74 \rightarrow 86$	$P_{bd} * 1/t_{b.d.}$
149	74БП14 (ЗБП15)	$1-P_{bd}$	3	4	1	5	3	2	2	0	2	0	0	0	KB6	$74 \rightarrow KB6$	$(1-P_{bd}) * 1/t_{b.d.}$
Ситуація 11																	
128	64БП12	P_{cd}	3	3	2	5	3	1	0	0	1	0	0	0	76	$64 \rightarrow 76$	$P_{cd} * 1/t_{c.d.}$
152	76БП14	P_{bd}	3	3	2	5	3	1	1	0	1	0	0	0	88	$76 \rightarrow 88$	$P_{bd} * 1/t_{b.d.}$
153	76БП14 (ЗБП15)	$1-P_{bd}$	3	3	2	5	3	2	2	0	1	0	0	0	KB6	$76 \rightarrow KB6$	$(1-P_{bd}) * 1/t_{b.d.}$
Ситуація 12																	
130	65БП12	P_{cd}	3	4	2	5	3	1	0	0	2	0	0	0	77	$65 \rightarrow 77$	$P_{cd} * 1/t_{c.d.}$
154	77БП14	P_{bd}	3	4	2	5	3	1	1	0	2	0	0	0	89	$77 \rightarrow 89$	$P_{bd} * 1/t_{b.d.}$
155	77БП14 (ЗБП15)	$1-P_{bd}$	3	4	2	5	3	2	2	0	2	0	0	0	KB6	$77 \rightarrow KB6$	$(1-P_{bd}) * 1/t_{b.d.}$

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БП14

Базова подія 14 відбувається в дванадцяти ситуаціях.

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 47): $(V1=1)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРП: $P_{bd} * 1/t_{b.d.}$; ПМКВС: $V7:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРП: $(1-P_{bd}) * 1/t_{b.d.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=2$.

СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 50): $(V1=1)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРП: $P_{bd} * 1/t_{b.d.}$; ПМКВС: $V7:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРП: $(1-P_{bd}) * 1/t_{b.d.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=2$.

СИТУАЦІЯ 3: формалізований опис ситуації 3 (вектор стану 55): $(V1=1)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРП: $P_{bd} * 1/t_{b.d.}$; ПМКВС: $V7:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРП: $(1-P_{bd}) * 1/t_{b.d.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=2$.

СИТУАЦІЯ 4: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 56): $(V1=1)$ AND $(V2=4)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРП: $P_{bd} * 1/t_{b.d.}$; ПМКВС: $V7:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРП: $(1-P_{bd}) * 1/t_{b.d.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=2$.

СИТУАЦІЯ 5: формалізований опис ситуації 5 (вектор стану 58): $(V1=1)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bd} * 1/t_{b,d}$; ПМКВС: $V7:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bd}) * 1/t_{b,d}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=2$.

СИТУАЦІЯ 6: формалізований опис ситуації 6 (вектор стану 59): $(V1=1)$ AND $(V2=4)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bd} * 1/t_{b,d}$; ПМКВС: $V7:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bd}) * 1/t_{b,d}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=2$.

СИТУАЦІЯ 7: формалізований опис ситуації 7 (вектор стану 63): $(V1=3)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bd} * 1/t_{b,d}$; ПМКВС: $V7:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bd}) * 1/t_{b,d}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=2$.

СИТУАЦІЯ 8: формалізований опис ситуації 8 (вектор стану 66): $(V1=3)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bd} * 1/t_{b,d}$; ПМКВС: $V7:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bd}) * 1/t_{b,d}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=2$.

СИТУАЦІЯ 9: формалізований опис ситуації 9 (вектор стану 73): $(V1=3)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bd} * 1/t_{b,d}$; ПМКВС: $V7:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bd}) * 1/t_{b,d}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=2$.

СИТУАЦІЯ 10: формалізований опис ситуації 10 (вектор стану 74): $(V1=3)$ AND $(V2=4)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=0)$ AND $(V8=0)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bd} * 1/t_{b,d}$; ПМКВС: $V7:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bd}) * 1/t_{b,d}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=2$.

СИТУАЦІЯ 11: формалізований опис ситуації 11 (вектор стану 76): (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=1) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bd} * 1/t_{b,d}$; ПМКВС: V7:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bd}) * 1/t_{b,d}$; ПМКВС: V6:=2; V7:=2.

СИТУАЦІЯ 12: формалізований опис ситуації 12 (вектор стану 77): (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bd} * 1/t_{b,d}$; ПМКВС: V7:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bd}) * 1/t_{b,d}$; ПМКВС: V6:=2; V7:=2.

Таблиця Е.12 – Сортунання станів по базовій події БП16

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	Ймовірності альтернативного продовження процесу	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
Ситуація 1																	
94	47БП14	P _{bd}	1	2	1	5	3	1	1	0	2	0	0	0	57	47 → 57	P _{bd} *1/t _{b.d.}
114	57БП16	P _{bld}	1	2	1	5	3	1	1	1	2	0	0	0	69	57 → 69	P _{bld} *1/t _{bl.d.}
115	57БП16 (ЗБП17)	1-P _{bld}	1	2	1	5	3	2	2	2	2	0	0	0	KB7	57 → KB7	(1-P _{bld})*1/t _{bl.d.}
Ситуація 2																	
100	50БП14	P _{bd}	1	2	2	5	3	1	1	0	2	0	0	0	60	50 → 60	P _{bd} *1/t _{b.d.}
120	60БП16	P _{bld}	1	2	2	5	3	1	1	1	2	0	0	0	72	60 → 72	P _{bld} *1/t _{bl.d.}
121	60БП16 (ЗБП17)	1-P _{bld}	1	2	2	5	3	2	1	2	2	0	0	0	KB7	60 → KB7	(1-P _{bld})*1/t _{bl.d.}
Ситуація 3																	
110	55БП14	P _{bd}	1	3	1	5	3	1	1	0	1	0	0	0	67	55 → 67	P _{bd} *1/t _{b.d.}
134	67БП16	P _{bld}	1	3	1	5	3	1	1	1	1	0	0	0	79	67 → 79	P _{bld} *1/t _{bl.d.}
135	67БП16 (ЗБП17)	1-P _{bld}	1	3	1	5	3	2	1	2	1	0	0	0	KB7	67→ KB7	(1-P _{bld})*1/t _{bl.d.}
Ситуація 4																	
112	56БП14	P _{bd}	1	4	1	5	3	1	1	0	2	0	0	0	68	56 → 68	P _{bd} *1/t _{b.d.}
136	68БП16	P _{bld}	1	4	1	5	3	1	1	1	2	0	0	0	80	68 → 80	P _{bld} *1/t _{bl.d.}
137	68БП16 (ЗБП17)	1-P _{bld}	1	4	1	5	3	2	1	2	2	0	0	0	KB7	68 → KB7	(1-P _{bld})*1/t _{bl.d.}
Ситуація 5																	
116	58БП14	P _{bd}	1	3	2	5	3	1	1	0	1	0	0	0	70	58 → 70	P _{bd} *1/t _{b.d.}
140	70БП16	P _{bld}	1	3	2	5	3	1	1	1	1	0	0	0	82	70 → 82	P _{bld} *1/t _{bl.d.}
141	70БП16 (ЗБП17)	1-P _{bld}	1	3	2	5	3	2	1	2	1	0	0	0	KB7	70 → KB7	(1-P _{bld})*1/t _{bl.d.}
Ситуація 6																	
118	59БП14	P _{bd}	1	4	2	5	3	1	1	0	2	0	0	0	71	59 → 71	P _{bd} *1/t _{b.d.}
142	71БП16	P _{bld}	1	4	2	5	3	1	1	1	2	0	0	0	83	71 → 83	P _{bld} *1/t _{bl.d.}
143	71БП16 (ЗБП17)	1-P _{bld}	1	4	2	5	3	2	1	2	2	0	0	0	KB7	71 → KB7	(1-P _{bld})*1/t _{bl.d.}
Ситуація 7																	
126	63БП14	P _{bd}	3	2	1	5	3	1	1	0	2	0	0	0	75	63 → 75	P _{bd} *1/t _{b.d.}
150	75БП16	P _{bld}	3	2	1	5	3	1	1	1	2	0	0	0	87	75 → 87	P _{bld} *1/t _{bl.d.}
151	75БП16 (ЗБП17)	1-P _{bld}	3	2	1	5	3	2	1	2	2	0	0	0	KB7	75 → KB7	(1-P _{bld})*1/t _{bl.d.}

Ситуація 8																	
132	66БП14	P _{bd}	3	2	2	5	3	1	1	0	2	0	0	0	78	66 → 78	P _{bd} *1/t _{b.d.}
156	78БП16	P _{bld}	3	2	2	5	3	1	1	1	2	0	0	0	90	78 → 90	P _{bld} *1/t _{bl.d.}
157	78БП16 (ЗБП17)	1-P _{bld}	3	2	2	5	3	2	1	2	2	0	0	0	KB7	78→ KB7	(1-P _{bld})*1/t _{bl.d.}
Ситуація 9																	
146	73БП14	P _{bd}	3	3	1	5	3	1	1	0	1	0	0	0	85	73 → 85	P _{bd} *1/t _{b.d.}
170	85БП16	P _{bld}	3	3	1	5	3	1	1	1	1	0	0	0	97	85 → 97	P _{bld} *1/t _{bl.d.}
171	85БП16 (ЗБП17)	1-P _{bld}	3	3	1	5	3	2	1	2	1	0	0	0	KB7	85 → KB7	(1-P _{bld})*1/t _{bl.d.}
Ситуація 10																	
148	74БП14	P _{bd}	3	4	1	5	3	1	1	0	2	0	0	0	86	74 → 86	P _{bd} *1/t _{b.d.}
172	86БП16	P _{bld}	3	4	1	5	3	1	1	1	2	0	0	0	98	86 → 98	P _{bld} *1/t _{bl.d.}
173	86БП16 (ЗБП17)	1-P _{bld}	3	4	1	5	3	2	1	2	2	0	0	0	KB7	86 → KB7	(1-P _{bld})*1/t _{bl.d.}
Ситуація 11																	
152	76БП14	P _{bd}	3	3	2	5	3	1	1	0	1	0	0	0	88	76 → 88	P _{bd} *1/t _{b.d.}
176	88БП16	P _{bld}	3	3	2	5	3	1	1	1	1	0	0	0	100	88 → 100	P _{bld} *1/t _{bl.d.}
177	88БП16 (ЗБП17)	1-P _{bld}	3	3	2	5	3	2	1	2	1	0	0	0	KB7	88 → KB7	(1-P _{bld})*1/t _{bl.d.}
Ситуація 12																	
154	77БП14	P _{bd}	3	4	2	5	3	1	1	0	2	0	0	0	89	77 → 89	P _{bd} *1/t _{b.d.}
178	89БП16	P _{bld}	3	4	2	5	3	1	1	1	2	0	0	0	101	89 → 101	P _{bld} *1/t _{bl.d.}
179	89БП16 (ЗБП17)	1-P _{bld}	3	4	2	5	3	2	1	2	2	0	0	0	KB7	89 → KB7	(1-P _{bld})*1/t _{bl.d.}

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БП16

Базова подія 16 відбувається в дванадцяти ситуаціях.

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 57):

$(V1=1) \text{ AND } (V2=2) \text{ AND } (V3=1) \text{ AND } (V4=5) \text{ AND } (V5=3) \text{ AND } (V6=1) \text{ AND } (V7=1) \text{ AND } (V8=0) \text{ AND } (V9=2) \text{ AND } (V10=0).$

Для 1-ої альтернативи ФРП: $P_{bld} * 1/t_{b.l.d.}$; ПМКВС: $V8:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРП: $(1-P_{bld}) * 1/t_{b.l.d.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V8:=2$.

СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 60):

$(V1=1) \text{ AND } (V2=2) \text{ AND } (V3=2) \text{ AND } (V4=5) \text{ AND } (V5=3) \text{ AND } (V6=1) \text{ AND } (V7=1) \text{ AND } (V8=0) \text{ AND } (V9=2) \text{ AND } (V10=0).$

Для 1-ої альтернативи ФРП: $P_{bld} * 1/t_{b.l.d.}$; ПМКВС: $V8:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРП: $(1-P_{bld}) * 1/t_{b.l.d.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V8:=2$.

СИТУАЦІЯ 3: формалізований опис ситуації 3 (вектор стану 67): $(V1=1) \text{ AND } (V2=3) \text{ AND } (V3=1) \text{ AND } (V4=5) \text{ AND } (V5=3) \text{ AND } (V6=1) \text{ AND } (V7=1) \text{ AND } (V8=0) \text{ AND } (V9=1) \text{ AND } (V10=0).$

Для 1-ої альтернативи ФРП: $P_{bld} * 1/t_{b.l.d.}$; ПМКВС: $V8:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРП: $(1-P_{bld}) * 1/t_{b.l.d.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V8:=2$.

СИТУАЦІЯ 4: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 68): (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bld} * 1/t_{bl.d.}$; ПМКВС: V8:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bld}) * 1/t_{bl.d.}$; ПМКВС: V6:=2; V8:=2.

СИТУАЦІЯ 5: формалізований опис ситуації 5 (вектор стану 70): (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=1) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bld} * 1/t_{bl.d.}$; ПМКВС: V8:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bld}) * 1/t_{bl.d.}$; ПМКВС: V6:=2; V8:=2.

СИТУАЦІЯ 6: формалізований опис ситуації 6 (вектор стану 71): (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bld} * 1/t_{bl.d.}$; ПМКВС: V8:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bld}) * 1/t_{bl.d.}$; ПМКВС: V6:=2; V8:=2.

СИТУАЦІЯ 7: формалізований опис ситуації 7 (вектор стану 75): (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bld} * 1/t_{bl.d.}$; ПМКВС: V8:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bld}) * 1/t_{bl.d.}$; ПМКВС: V6:=2; V8:=2.

СИТУАЦІЯ 8: формалізований опис ситуації 8 (вектор стану 78): (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bld} * 1/t_{bl.d.}$; ПМКВС: V8:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bld}) * 1/t_{bl.d.}$; ПМКВС: V6:=2; V8:=2.

СИТУАЦІЯ 9: формалізований опис ситуації 9 (вектор стану 85): (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=1) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bld} * 1/t_{bl.d.}$; ПМКВС: V8:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bld}) * 1/t_{bl.d.}$; ПМКВС: V6:=2; V8:=2.

СИТУАЦІЯ 10: формалізований опис ситуації 10 (вектор стану 86): (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bld} * 1/t_{bld.d.}$; ПМКВС: V8:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bld}) * 1/t_{bld.d.}$; ПМКВС: V6:=2; V8:=2.

СИТУАЦІЯ 11: формалізований опис ситуації 11 (вектор стану 88): (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=1) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bld} * 1/t_{bld.d.}$; ПМКВС: V8:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bld}) * 1/t_{bld.d.}$; ПМКВС: V6:=2; V8:=2.

СИТУАЦІЯ 12: формалізований опис ситуації 12 (вектор стану 89): (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bld} * 1/t_{bld.d.}$; ПМКВС: V8:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bld}) * 1/t_{bld.d.}$; ПМКВС: V6:=2; V8:=2.

Таблиця Е.13 – Сортування станів по базовій події БП18

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
Ситуація 1																	
114	57БП16	P _{bld}	1	2	1	5	3	1	1	1	2	0	0	0	69	57 → 69	P _{bld} *1/t _{bld.d.}
138	69БП18	P _{bc}	1	2	1	5	3	1	3	1	2	0	0	0	81	69 → 81	P _{bc} *1/t _{b.c.}
139	69БП18 (ЗБП19)	1-P _{bc}	1	2	1	5	3	2	4	1	2	0	0	0	KB6	69 → KB6	(1-P _{bc})*1/t _{b.c.}
Ситуація 2																	
120	60БП16	P _{bld}	1	2	2	5	3	1	1	1	2	0	0	0	72	60 → 72	P _{bld} *1/t _{bld.d.}
144	72БП18	P _{bc}	1	2	2	5	3	1	3	1	2	0	0	0	84	72 → 84	P _{bc} *1/t _{b.c.}
145	72БП18 (ЗБП19)	1-P _{bc}	1	2	2	5	3	2	4	1	2	0	0	0	KB6	72 → KB6	(1-P _{bc})*1/t _{b.c.}
Ситуація 3																	
134	67БП16	P _{bld}	1	3	1	5	3	1	1	1	1	0	0	0	79	67 → 79	P _{bld} *1/t _{bld.d.}
158	79БП18	P _{bc}	1	3	1	5	3	1	3	1	1	0	0	0	91	79 → 91	P _{bc} *1/t _{b.c.}
159	79БП18 (ЗБП19)	1-P _{bc}	1	3	1	5	3	2	4	1	1	0	0	0	KB6	79 → KB6	(1-P _{bc})*1/t _{b.c.}
Ситуація 4																	
136	68БП16	P _{bld}	1	4	1	5	3	1	1	1	2	0	0	0	80	68 → 80	P _{bld} *1/t _{bld.d.}
160	80БП18	P _{bc}	1	4	1	5	3	1	3	1	2	0	0	0	92	80 → 92	P _{bc} *1/t _{b.c.}
161	80БП18 (ЗБП19)	1-P _{bc}	1	4	1	5	3	2	4	1	2	0	0	0	KB6	80 → KB6	(1-P _{bc})*1/t _{b.c.}
Ситуація 5																	
140	70БП16	P _{bld}	1	3	2	5	3	1	1	1	1	0	0	0	82	70 → 82	P _{bld} *1/t _{bld.d.}
164	82БП18	P _{bc}	1	3	2	5	3	1	3	1	1	0	0	0	94	82 → 94	P _{bc} *1/t _{b.c.}

Продовження таблиці Е.13

165	82БП18 (ЗБП19)	1-P _{bc}	1	3	2	5	3	2	4	1	1	0	0	0	KB6	82 → KB6	(1-P _{bc})*1/t _{b.c.}
Ситуація 6																	
142	71БП16	P _{bld}	1	4	2	5	3	1	1	1	2	0	0	0	83	71 → 83	P _{bld} *1/t _{bl.d.}
166	83БП18	P _{bc}	1	4	2	5	3	1	3	1	2	0	0	0	95	83 → 95	P _{bc} *1/t _{b.c.}
167	83БП18 (ЗБП19)	1-P _{bc}	1	4	2	5	3	2	4	1	2	0	0	0	KB6	83 → KB6	(1-P _{bc})*1/t _{b.c.}
Ситуація 7																	
150	75БП16	P _{bld}	3	2	1	5	3	1	1	1	2	0	0	0	87	75 → 87	P _{bld} *1/t _{bl.d.}
174	87БП18	P _{bc}	3	2	1	5	3	1	3	1	2	0	0	0	99	87 → 99	P _{bc} *1/t _{b.c.}
175	87БП18 (ЗБП19)	1-P _{bc}	3	2	1	5	3	2	4	1	2	0	0	0	KB6	87 → KB6	(1-P _{bc})*1/t _{b.c.}
Ситуація 8																	
156	78БП16	P _{bld}	3	2	2	5	3	1	1	1	2	0	0	0	90	78 → 90	P _{bld} *1/t _{bl.d.}
180	90БП18	P _{bc}	3	2	2	5	3	1	3	1	2	0	0	0	102	90 → 102	P _{bc} *1/t _{b.c.}
181	90БП18 (ЗБП19)	1-P _{bc}	3	2	2	5	3	2	4	1	2	0	0	0	KB6	90 → KB6	(1-P _{bc})*1/t _{b.c.}
Ситуація 9																	
170	85БП16	P _{bld}	3	3	1	5	3	1	1	1	1	0	0	0	97	85 → 97	P _{bld} *1/t _{bl.d.}
194	97БП18	P _{bc}	3	3	1	5	3	1	3	1	1	0	0	0	109	97 → 109	P _{bc} *1/t _{b.c.}
195	97БП18 (ЗБП19)	1-P _{bc}	3	3	1	5	3	2	4	1	1	0	0	0	KB6	97 → KB6	(1-P _{bc})*1/t _{b.c.}
Ситуація 10																	
172	86БП16	P _{bld}	3	4	1	5	3	1	1	1	2	0	0	0	98	86 → 98	P _{bld} *1/t _{bl.d.}
196	98БП18	P _{bc}	3	4	1	5	3	1	3	1	2	0	0	0	110	98 → 110	P _{bc} *1/t _{b.c.}
197	98БП18 (ЗБП19)	1-P _{bc}	3	4	1	5	3	2	4	1	2	0	0	0	KB6	98 → KB6	(1-P _{bc})*1/t _{b.c.}
Ситуація 11																	
176	88БП16	P _{bld}	3	3	2	5	3	1	1	1	1	0	0	0	100	88 → 100	P _{bld} *1/t _{bl.d.}
200	100БП18	P _{bc}	3	3	2	5	3	1	3	1	1	0	0	0	112	100 → 112	P _{bc} *1/t _{b.c.}
201	100БП18 (ЗБП19)	1-P _{bc}	3	3	2	5	3	2	4	1	1	0	0	0	KB6	100 → KB6	(1-P _{bc})*1/t _{b.c.}
Ситуація 12																	
178	89БП16	P _{bld}	3	4	2	5	3	1	1	1	2	0	0	0	101	89 → 101	P _{bld} *1/t _{bl.d.}
202	101БП18	P _{bc}	3	4	2	5	3	1	3	1	2	0	0	0	113	101 → 113	P _{bc} *1/t _{b.c.}
203	101БП18 (ЗБП19)	1-P _{bc}	3	4	2	5	3	2	4	1	2	0	0	0	KB6	101 → KB6	(1-P _{bc})*1/t _{b.c.}

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БП18

Базова подія 18 відбувається в дванадцяти ситуаціях.

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 69): (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: P_{bc}*1/t_{b.c.}; ПМКВС: V7:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: (1-P_{bc})*1/t_{b.c.}; ПМКВС: V7:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 72): (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: P_{bc}*1/t_{b.c.}; ПМКВС: V7:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: (1-P_{bc})*1/t_{b.c.}; ПМКВС: V7:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 3: формалізований опис ситуації 3 (вектор стану 79): (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=1) AND (V9=1) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bc} * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=3$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bc}) * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=4$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 4: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 80): $(V1=1)$ AND $(V2=4)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=1)$ AND $(V8=1)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bc} * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=3$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bc}) * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=4$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 5: формалізований опис ситуації 5 (вектор стану 82): $(V1=1)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=1)$ AND $(V8=1)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bc} * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=3$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bc}) * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=4$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 6: формалізований опис ситуації 6 (вектор стану 83): $(V1=1)$ AND $(V2=4)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=1)$ AND $(V8=1)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bc} * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=3$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bc}) * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=4$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 7: формалізований опис ситуації 7 (вектор стану 87): $(V1=3)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=1)$ AND $(V8=1)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bc} * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=3$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bc}) * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=4$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 8: формалізований опис ситуації 8 (вектор стану 90): $(V1=3)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=1)$ AND $(V8=1)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bc} * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=3$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bc}) * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=4$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 9: формалізований опис ситуації 9 (вектор стану 97): $(V1=3)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=1)$ AND $(V8=1)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bc} * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=3$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bc}) * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=4$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 10: формалізований опис ситуації 10 (вектор стану 98): $(V1=3)$ AND $(V2=4)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=1)$ AND $(V8=1)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bc} * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=3$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bc}) * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=4$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 11: формалізований опис ситуації 11 (вектор стану 100): $(V1=3)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=1)$ AND $(V8=1)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bc} * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=3$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bc}) * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=4$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 12: формалізований опис ситуації 12 (вектор стану 101): $(V1=3)$ AND $(V2=4)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=1)$ AND $(V8=1)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bc} * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=3$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bc}) * 1/t_{b.c.}$; ПМКВС: $V7:=4$; $V6:=2$.

Таблиця Е.14 – Сортування станів по базовій події БП20

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
Ситуація 1																	
138	69БП18	P _{bc}	1	2	1	5	3	1	3	1	2	0	0	0	81	69 → 81	P _{bc} *1/t _{b.c.}
162	81БП20	P _{blc}	1	2	1	5	3	1	3	3	2	0	0	0	93	81 → 93	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
163	81БП20 (ЗБП21)	1-P _{blc}	1	2	1	5	3	2	3	4	2	0	0	0	KB7	81 → KB7	(1-P _{blc})*1/t _{bl.c.}
Ситуація 2																	
144	72БП18	P _{bc}	1	2	2	5	3	1	3	1	2	0	0	0	84	72 → 84	P _{bc} *1/t _{b.c.}
168	84БП20	P _{blc}	1	2	2	5	3	1	3	3	2	0	0	0	96	84 → 96	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
169	84БП20 (ЗБП21)	1-P _{blc}	1	2	2	5	3	2	3	4	2	0	0	0	KB7	84 → KB7	(1-P _{blc})*1/t _{bl.c.}
Ситуація 3																	
158	79БП18	P _{bc}	1	3	1	5	3	1	3	1	1	0	0	0	91	79 → 91	P _{bc} *1/t _{b.c.}
182	91БП20	P _{blc}	1	3	1	5	3	1	3	3	1	0	0	0	103	91 → 103	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
183	91БП20 (ЗБП21)	1-P _{blc}	1	3	1	5	3	2	3	4	1	0	0	0	KB7	91 → KB7	(1-P _{blc})*1/t _{bl.c.}
Ситуація 4																	
160	80БП18	P _{bc}	1	4	1	5	3	1	3	1	2	0	0	0	92	80 → 92	P _{bc} *1/t _{b.c.}
184	92БП20	P _{blc}	1	4	1	5	3	1	3	3	2	0	0	0	104	92 → 104	P _{blc} *1/t _{bl.c.}

185	92БП20 (ЗБП21)	1-P _{blc}	1	4	1	5	3	2	3	4	2	0	0	0	KB7	92 → KB7	(1-P _{blc})*1/t _{bl.c.}
Ситуація 5																	
164	82БП18	P _{bc}	1	3	2	5	3	1	3	1	1	0	0	0	94	82 → 94	P _{bc} *1/t _{bl.c.}
188	94БП20	P _{blc}	1	3	2	5	3	1	3	3	1	0	0	0	106	94 → 106	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
189	94БП20 (ЗБП21)	1-P _{blc}	1	3	2	5	3	2	3	4	1	0	0	0	KB7	94 → KB7	(1-P _{blc})*1/t _{bl.c.}
Ситуація 6																	
166	83БП18	P _{bc}	1	4	2	5	3	1	3	1	2	0	0	0	95	83 → 95	P _{bc} *1/t _{bl.c.}
190	95БП20	P _{blc}	1	4	2	5	3	1	3	3	2	0	0	0	107	95 → 107	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
191	95БП20 (ЗБП21)	1-P _{blc}	1	4	2	5	3	2	3	4	2	0	0	0	KB7	95 → KB7	(1-P _{blc})*1/t _{bl.c.}
Ситуація 7																	
174	87БП18	P _{bc}	3	2	1	5	3	1	3	1	2	0	0	0	99	87 → 99	P _{bc} *1/t _{bl.c.}
198	99БП20	P _{blc}	3	2	1	5	3	1	3	3	2	0	0	0	111	99 → 111	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
199	99БП20 (ЗБП21)	1-P _{blc}	3	2	1	5	3	2	3	4	2	0	0	0	KB7	99 → KB7	(1-P _{blc})*1/t _{bl.c.}
Ситуація 8																	
180	90БП18	P _{bc}	3	2	2	5	3	1	3	1	2	0	0	0	102	90 → 102	P _{bc} *1/t _{bl.c.}
204	102БП20	P _{blc}	3	2	2	5	3	1	3	3	2	0	0	0	114	102 → 114	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
205	102БП20 (ЗБП21)	1-P _{blc}	3	2	2	5	3	2	3	4	2	0	0	0	KB7	102 → KB7	(1-P _{blc})*1/t _{bl.c.}
Ситуація 9																	
194	97БП18	P _{bc}	3	3	1	5	3	1	3	1	1	0	0	0	109	97 → 109	P _{bc} *1/t _{bl.c.}
218	109БП20	P _{blc}	3	3	1	5	3	1	3	3	1	0	0	0	121	109 → 121	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
219	109БП20 (ЗБП21)	1-P _{blc}	3	3	1	5	3	2	3	4	1	0	0	0	KB7	109 → KB7	(1-P _{blc})*1/t _{bl.c.}
Ситуація 10																	
196	98БП18	P _{bc}	3	4	1	5	3	1	3	1	2	0	0	0	110	98 → 110	P _{bc} *1/t _{bl.c.}
220	110БП20	P _{blc}	3	4	1	5	3	1	3	3	2	0	0	0	122	110 → 122	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
221	110БП20 (ЗБП21)	1-P _{blc}	3	4	1	5	3	2	3	4	2	0	0	0	KB7	110 → KB7	(1-P _{blc})*1/t _{bl.c.}
Ситуація 11																	
200	100БП18	P _{bc}	3	3	2	5	3	1	3	1	1	0	0	0	112	100 → 112	P _{bc} *1/t _{bl.c.}
224	112БП20	P _{blc}	3	3	2	5	3	1	3	3	1	0	0	0	124	112 → 124	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
225	112БП20 (ЗБП21)	1-P _{blc}	3	3	2	5	3	2	3	4	1	0	0	0	KB7	112 → KB7	(1-P _{blc})*1/t _{bl.c.}
Ситуація 12																	
202	101БП18	P _{bc}	3	4	2	5	3	1	3	1	2	0	0	0	113	101 → 113	P _{bc} *1/t _{bl.c.}
226	113БП20	P _{blc}	3	4	2	5	3	1	3	3	2	0	0	0	125	113 → 125	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
227	113БП20 (ЗБП21)	1-P _{blc}	3	4	2	5	3	2	3	4	2	0	0	0	KB7	113 → KB7	(1-P _{blc})*1/t _{bl.c.}

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БП20

Базова подія 20 відбувається в дванадцяти ситуаціях.

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 81):

(V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРП: P_{blc}*1/t_{bl.c.}; ПМКВС: V8:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРП: (1-P_{blc})*1/t_{bl.c.}; ПМКВС: V8:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 84): (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРП: P_{blc}*1/t_{bl.c.}; ПМКВС: V8:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРП: (1-P_{blc})*1/t_{bl.c.}; ПМКВС: V8:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 3: формалізований опис ситуації 3 (вектор стану 91): (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=1) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blc}) * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 4: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 92): (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blc}) * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 5: формалізований опис ситуації 5 (вектор стану 94): (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=1) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blc}) * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 6: формалізований опис ситуації 6 (вектор стану 95): (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blc}) * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 7: формалізований опис ситуації 7 (вектор стану 99): (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blc}) * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 8: формалізований опис ситуації 8 (вектор стану 102): (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blc}) * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 9: формалізований опис ситуації 9 (вектор стану 109): (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=1) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blc}) * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 10: формалізований опис ситуації 10 (вектор стану 110): (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blc}) * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 11: формалізований опис ситуації 11 (вектор стану 112): (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=1) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blc}) * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=4; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 12: формалізований опис ситуації 12 (вектор стану 113): (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=3.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blc}) * 1/t_{bl.c.}$; ПМКВС: V8:=4; V6:=2.

Таблиця Е.15 – Сортування станів по базовій події БП22

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
Ситуація 1																	
162	81БП20	P _{blc}	1	2	1	5	3	1	3	3	2	0	0	0	93	81 → 93	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
186	93БП22	P _{bv}	1	2	1	5	3	1	5	3	2	0	0	0	105	93 → 105	P _{bv} *1/t _{b.v.}
187	93БП22 (ЗБП23)	1-P _{bv}	1	2	1	5	3	2	6	3	2	0	0	0	KB6	93 → KB6	(1-P _{bv})*1/t _{b.v.}
Ситуація 2																	
168	84БП20	P _{blc}	1	2	2	5	3	1	3	3	2	0	0	0	96	84 → 96	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
192	96БП22	P _{bv}	1	2	2	5	3	1	5	3	2	0	0	0	108	96 → 108	P _{bv} *1/t _{b.v.}
193	96БП22 (ЗБП23)	1-P _{bv}	1	2	2	5	3	2	6	3	2	0	0	0	KB6	96→KB6	(1-P _{bv})*1/t _{b.v.}
Ситуація 3																	
182	91БП20	P _{blc}	1	3	1	5	3	1	3	3	1	0	0	0	103	91 → 103	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
206	103БП22	P _{bv}	1	3	1	5	3	1	5	3	1	0	0	0	115	103→115	P _{bv} *1/t _{b.v.}
207	103БП22 (ЗБП23)	1-P _{bv}	1	3	1	5	3	2	6	3	1	0	0	0	KB6	103→KB6	(1-P _{bv})*1/t _{b.v.}

Ситуація 4																	
184	92БП20	P _{blc}	1	4	1	5	3	1	3	3	2	0	0	0	104	92 → 104	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
208	104БП22	P _{bv}	1	4	1	5	3	1	5	3	2	0	0	0	116	104 → 116	P _{bv} *1/t _{b.v.}
209	104БП22 (ЗБП23)	1-P _{bv}	1	4	1	5	3	2	6	3	2	0	0	0	KB6	104 → KB6	(1-P _{bv})*1/t _{b.v.}
Ситуація 5																	
188	94БП20	P _{blc}	1	3	2	5	3	1	3	3	1	0	0	0	106	94 → 106	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
212	106БП22	P _{bv}	1	3	2	5	3	1	5	3	1	0	0	0	118	106 → 118	P _{bv} *1/t _{b.v.}
213	106БП22 (ЗБП23)	1-P _{bv}	1	3	2	5	3	2	6	3	1	0	0	0	KB6	106 → KB6	(1-P _{bv})*1/t _{b.v.}
Ситуація 6																	
190	95БП20	P _{blc}	1	4	2	5	3	1	3	3	2	0	0	0	107	95 → 107	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
214	107БП22	P _{bv}	1	4	2	5	3	1	5	3	2	0	0	0	119	107 → 119	P _{bv} *1/t _{b.v.}
215	107БП22 (ЗБП23)	1-P _{bv}	1	4	2	5	3	2	6	3	2	0	0	0	KB6	107 → KB6	(1-P _{bv})*1/t _{b.v.}
Ситуація 7																	
198	99БП20	P _{blc}	3	2	1	5	3	1	3	3	2	0	0	0	111	99 → 111	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
222	111БП22	P _{bv}	3	2	1	5	3	1	5	3	2	0	0	0	123	111 → 123	P _{bv} *1/t _{b.v.}
223	111БП22 (ЗБП23)	1-P _{bv}	3	2	1	5	3	2	6	3	2	0	0	0	KB6	111 → KB6	(1-P _{bv})*1/t _{b.v.}
Ситуація 8																	
204	102БП20	P _{blc}	3	2	2	5	3	1	3	3	2	0	0	0	114	102 → 114	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
228	114БП22	P _{bv}	3	2	2	5	3	1	5	3	2	0	0	0	126	114 → 126	P _{bv} *1/t _{b.v.}
229	114БП22 (ЗБП23)	1-P _{bv}	3	2	2	5	3	2	6	3	2	0	0	0	KB6	114 → KB6	(1-P _{bv})*1/t _{b.v.}
Ситуація 9																	
218	109БП20	P _{blc}	3	3	1	5	3	1	3	3	1	0	0	0	121	109 → 121	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
242	121БП22	P _{bv}	3	3	1	5	3	1	5	3	1	0	0	0	133	121 → 133	P _{bv} *1/t _{b.v.}
243	121БП22 (ЗБП23)	1-P _{bv}	3	3	1	5	3	2	6	3	1	0	0	0	KB6	121 → KB6	(1-P _{bv})*1/t _{b.v.}
Ситуація 10																	
220	110БП20	P _{blc}	3	4	1	5	3	1	3	3	2	0	0	0	122	110 → 122	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
244	122БП22	P _{bv}	3	4	1	5	3	1	5	3	2	0	0	0	134	122 → 134	P _{bv} *1/t _{b.v.}
245	122БП22 (ЗБП23)	1-P _{bv}	3	4	1	5	3	2	6	3	2	0	0	0	KB6	122 → KB6	(1-P _{bv})*1/t _{b.v.}
Ситуація 11																	
224	112БП20	P _{blc}	3	3	2	5	3	1	3	3	1	0	0	0	124	112 → 124	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
248	124БП22	P _{bv}	3	3	2	5	3	1	5	3	1	0	0	0	136	124 → 136	P _{bv} *1/t _{b.v.}
249	124БП22 (ЗБП23)	1-P _{bv}	3	3	2	5	3	2	6	3	1	0	0	0	KB6	124 → KB6	(1-P _{bv})*1/t _{b.v.}
Ситуація 12																	
226	113БП20	P _{blc}	3	4	2	5	3	1	3	3	2	0	0	0	125	113 → 125	P _{blc} *1/t _{bl.c.}
250	125БП22	P _{bv}	3	4	2	5	3	1	5	3	2	0	0	0	137	125 → 137	P _{bv} *1/t _{b.v.}
251	125БП22 (ЗБП23)	1-P _{bv}	3	4	2	5	3	2	6	3	2	0	0	0	KB6	125 → KB6	(1-P _{bv})*1/t _{b.v.}

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БП22

Базова подія 22 відбувається в дванадцяти ситуаціях.

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 93): (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРП: P_{bv}*1/t_{b.v.}; ПМКВС: V7:=5.

Для 2-ої альтернативи ФРП: (1-P_{bv})*1/t_{b.v.}; ПМКВС: V7:=6; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 96): (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРП: P_{bv}*1/t_{b.v.}; ПМКВС: V7:=5.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bv}) * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=6$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 3: формалізований опис ситуації 3 (вектор стану 103): $(V1=1)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=3)$ AND $(V8=3)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=5$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bv}) * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=6$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 4: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 104): $(V1=1)$ AND $(V2=4)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=3)$ AND $(V8=3)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=5$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bv}) * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=6$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 5: формалізований опис ситуації 5 (вектор стану 106): $(V1=1)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=3)$ AND $(V8=3)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=5$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bv}) * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=6$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 6: формалізований опис ситуації 6 (вектор стану 107): $(V1=1)$ AND $(V2=4)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=3)$ AND $(V8=3)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=5$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bv}) * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=6$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 7: формалізований опис ситуації 7 (вектор стану 111): $(V1=3)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=3)$ AND $(V8=3)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=5$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bv}) * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=6$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 8: формалізований опис ситуації 8 (вектор стану 114): $(V1=3)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=3)$ AND $(V8=3)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=5$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bv}) * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=6$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 9: формалізований опис ситуації 9 (вектор стану 121): $(V1=3)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=3)$ AND $(V8=3)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=5$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bv}) * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=6$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 10: формалізований опис ситуації 10 (вектор стану 122): $(V1=3)$ AND $(V2=4)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=3)$ AND $(V8=3)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=5$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bv}) * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=6$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 11: формалізований опис ситуації 11 (вектор стану 124): $(V1=3)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=3)$ AND $(V8=3)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=5$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bv}) * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=6$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 12: формалізований опис ситуації 12 (вектор стану 125): $(V1=3)$ AND $(V2=4)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=3)$ AND $(V8=3)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=5$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bv}) * 1/t_{b.v.}$; ПМКВС: $V7:=6$; $V6:=2$.

Таблиця Е.16 – Сортуння станів по базовій події БП24

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	Ймовірності альтернативного продовження процесу	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
Ситуація 1																	
186	93БП22	P _{bv}	1	2	1	5	3	1	5	3	2	0	0	0	105	93 → 105	P _{bv} *1/t _{b.v.}
210	105БП24	P _{blv}	1	2	1	5	3	1	5	5	2	0	0	0	117	105 → 117	P _{blv} *1/t _{bl.v.}
211	105БП24 (ЗБП25)	1-P _{blv}	1	2	1	5	3	2	5	6	2	0	0	0	KB7	105 → KB7	(1-P _{blv})*1/t _{bl.v.}
Ситуація 2																	
192	96БП22	P _{bv}	1	2	2	5	3	1	5	3	2	0	0	0	108	96 → 108	P _{bv} *1/t _{b.v.}
216	108БП24	P _{blv}	1	2	2	5	3	1	5	5	2	0	0	0	120	108 → 120	P _{blv} *1/t _{bl.v.}

Продовження таблиці Е.16

217	108БП24 (ЗБП25)	1-P _{blv}	1	2	2	5	3	2	5	6	2	0	0	0	KB7	108 → KB7	(1-P _{blv})*1/t _{bl.v.}
Ситуація 3																	
206	103БП22	P _{bv}	1	3	1	5	3	1	5	3	1	0	0	0	115	103 → 115	P _{bv} *1/t _{b.v.}
230	115БП24	P _{blv}	1	3	1	5	3	1	5	5	1	0	0	0	127	115 → 127	P _{blv} *1/t _{bl.v.}
231	115БП24 (ЗБП25)	1-P _{blv}	1	3	1	5	3	2	5	6	1	0	0	0	KB7	115 → KB7	(1-P _{blv})*1/t _{bl.v.}
Ситуація 4																	
208	104БП22	P _{bv}	1	4	1	5	3	1	5	3	2	0	0	0	116	104 → 116	P _{bv} *1/t _{b.v.}
232	116БП24	P _{blv}	1	4	1	5	3	1	5	5	1	0	0	0	128	116 → 128	P _{blv} *1/t _{bl.v.}
233	116БП24 (ЗБП25)	1-P _{blv}	1	4	1	5	3	2	5	6	1	0	0	0	KB7	116 → KB7	(1-P _{blv})*1/t _{bl.v.}
Ситуація 5																	
212	106БП22	P _{bv}	1	3	2	5	3	1	5	3	1	0	0	0	118	106 → 118	P _{bv} *1/t _{b.v.}
236	118БП24	P _{blv}	1	3	2	5	3	1	5	5	1	0	0	0	130	118 → 130	P _{blv} *1/t _{bl.v.}
237	118БП24 (ЗБП25)	1-P _{blv}	1	3	2	5	3	2	5	6	1	0	0	0	KB7	118 → KB7	(1-P _{blv})*1/t _{bl.v.}
Ситуація 6																	
214	107БП22	P _{bv}	1	4	2	5	3	1	5	3	2	0	0	0	119	107 → 119	P _{bv} *1/t _{b.v.}
238	119БП24	P _{blv}	1	4	2	5	3	1	5	5	2	0	0	0	131	119 → 131	P _{blv} *1/t _{bl.v.}
239	119БП24 (ЗБП25)	1-P _{blv}	1	4	2	5	3	2	5	6	2	0	0	0	KB7	119 → KB7	(1-P _{blv})*1/t _{bl.v.}
Ситуація 7																	
222	111БП22	P _{bv}	3	2	1	5	3	1	5	3	2	0	0	0	123	111 → 123	P _{bv} *1/t _{b.v.}
246	123БП24	P _{blv}	3	2	1	5	3	1	5	5	2	0	0	0	135	123 → 135	P _{blv} *1/t _{bl.v.}
247	123БП24 (ЗБП25)	1-P _{blv}	3	2	1	5	3	2	5	6	2	0	0	0	KB7	123 → KB7	(1-P _{blv})*1/t _{bl.v.}
Ситуація 8																	
228	114БП22	P _{bv}	3	2	2	5	3	1	5	3	2	0	0	0	126	114 → 126	P _{bv} *1/t _{b.v.}
252	126БП24	P _{blv}	3	2	2	5	3	1	5	5	2	0	0	0	138	126 → 138	P _{blv} *1/t _{bl.v.}
253	126БП24 (ЗБП25)	1-P _{blv}	3	2	2	5	3	2	5	6	2	0	0	0	KB7	126 → KB7	(1-P _{blv})*1/t _{bl.v.}
Ситуація 9																	
242	121БП22	P _{bv}	3	3	1	5	3	1	5	3	1	0	0	0	133	121 → 133	P _{bv} *1/t _{b.v.}
266	133БП24	P _{blv}	3	3	1	5	3	1	5	5	1	0	0	0	145	133 → 145	P _{blv} *1/t _{bl.v.}
267	133БП24 (ЗБП25)	1-P _{blv}	3	3	1	5	3	2	5	6	1	0	0	0	KB7	133 → KB7	(1-P _{blv})*1/t _{bl.v.}
Ситуація 10																	
244	122БП22	P _{bv}	3	4	1	5	3	1	5	3	2	0	0	0	134	122 → 134	P _{bv} *1/t _{b.v.}
268	134БП24	P _{blv}	3	4	1	5	3	1	5	5	2	0	0	0	146	134 → 146	P _{blv} *1/t _{bl.v.}
269	134БП24 (ЗБП25)	1-P _{blv}	3	4	1	5	3	2	5	6	2	0	0	0	KB7	134 → KB7	(1-P _{blv})*1/t _{bl.v.}
Ситуація 11																	
248	124БП22	P _{bv}	3	3	2	5	3	1	5	3	1	0	0	0	136	124 → 136	P _{bv} *1/t _{b.v.}
272	136БП24	P _{blv}	3	3	2	5	3	1	5	5	1	0	0	0	148	136 → 148	P _{blv} *1/t _{bl.v.}
273	136БП24 (ЗБП25)	1-P _{blv}	3	3	2	5	3	2	5	6	1	0	0	0	KB7	136 → KB7	(1-P _{blv})*1/t _{bl.v.}
Ситуація 12																	
250	125БП22	P _{bv}	3	4	2	5	3	1	5	3	2	0	0	0	137	125 → 137	P _{bv} *1/t _{b.v.}
274	137БП24	P _{blv}	3	4	2	5	3	1	5	5	2	0	0	0	149	137 → 149	P _{blv} *1/t _{bl.v.}
275	137БП24 (ЗБП25)	1-P _{blv}	3	4	2	5	3	2	5	6	2	0	0	0	KB7	137 → KB7	(1-P _{blv})*1/t _{bl.v.}

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БП24

Базова подія 24 відбувається в дванадцяти ситуаціях.

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 105): (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРП: $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=5.

Для 2-ої альтернативи ФРП: $(1-P_{blv}) * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=6; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 108): (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=5.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blv}) * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=6; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 3: формалізований опис ситуації 3 (вектор стану 115): (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=1) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=5.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blv}) * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=6; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 4: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 116): (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=5.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blv}) * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=6; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 5: формалізований опис ситуації 5 (вектор стану 118): (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=1) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=5.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blv}) * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=6; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 6: формалізований опис ситуації 6 (вектор стану 119): (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=5.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blv}) * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=6; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 7: формалізований опис ситуації 7 (вектор стану 123): (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=5.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blv}) * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=6; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 8: формалізований опис ситуації 8 (вектор стану 126): (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=5.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blv}) * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=6; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 9: формалізований опис ситуації 9 (вектор стану 133): (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=1) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=5.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blv}) * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=6; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 10: формалізований опис ситуації 10 (вектор стану 134): (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=5.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blv}) * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=6; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 11: формалізований опис ситуації 11 (вектор стану 136): (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=1) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=5.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blv}) * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=6; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 12: формалізований опис ситуації 12 (вектор стану 137): (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=5.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{blv}) * 1/t_{bl.v.}$; ПМКВС: V8:=6; V6:=2.

Таблиця Е.17 – Сортування станів по базовій події БП26

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
Ситуація 1																	
210	105БП24	P _{blv}	1	2	1	5	3	1	5	5	2	0	0	0	117	105 → 117	P _{blv} *1/t _{bl.v.}

Продовження таблиці Е.17

234	117БП26	P _{bs}	1	2	1	5	3	1	7	5	2	0	0	0	129	117 → 129	P _{bs} *1/t _{b.s.}
235	117БП26 (ЗБП27)	1-P _{bs}	1	2	1	5	3	2	8	5	2	0	0	0	KB6	117 → KB6	(1-P _{bs})*1/t _{b.s.}
Ситуація 2																	
216	108БП24	P _{blv}	1	2	2	5	3	1	5	5	2	0	0	0	120	108 → 120	P _{blv} *1/t _{b.l.v.}
240	120БП26	P _{bs}	1	2	2	5	3	1	7	5	2	0	0	0	132	120 → 132	P _{bs} *1/t _{b.s.}
241	120БП26 (ЗБП27)	1-P _{bs}	1	2	2	5	3	2	8	5	2	0	0	0	KB6	120 → KB6	(1-P _{bs})*1/t _{b.s.}
Ситуація 3																	
230	115БП24	P _{blv}	1	3	1	5	3	1	5	5	1	0	0	0	127	115 → 127	P _{blv} *1/t _{b.l.v.}
254	127БП26	P _{bs}	1	3	1	5	3	1	7	5	1	0	0	0	139	127 → 139	P _{bs} *1/t _{b.s.}
255	127БП26 (ЗБП27)	1-P _{bs}	1	3	1	5	3	2	8	5	1	0	0	0	KB6	127 → KB6	(1-P _{bs})*1/t _{b.s.}
Ситуація 4																	
232	116БП24	P _{blv}	1	4	1	5	3	1	5	5	1	0	0	0	128	116 → 128	P _{blv} *1/t _{b.l.v.}
256	128БП26	P _{bs}	1	4	1	5	3	1	7	5	1	0	0	0	140	128 → 140	P _{bs} *1/t _{b.s.}
257	128БП26 (ЗБП27)	1-P _{bs}	1	4	1	5	3	2	8	5	1	0	0	0	KB6	128 → KB6	(1-P _{bs})*1/t _{b.s.}
Ситуація 5																	
236	118БП24	P _{blv}	1	3	2	5	3	1	5	5	1	0	0	0	130	118 → 130	P _{blv} *1/t _{b.l.v.}
260	130БП26	P _{bs}	1	3	2	5	3	1	7	5	1	0	0	0	142	130 → 142	P _{bs} *1/t _{b.s.}
261	130БП26 (ЗБП27)	1-P _{bs}	1	3	2	5	3	2	8	5	1	0	0	0	KB6	130 → KB6	(1-P _{bs})*1/t _{b.s.}
Ситуація 6																	
238	119БП24	P _{blv}	1	4	2	5	3	1	5	5	2	0	0	0	131	119 → 131	P _{blv} *1/t _{b.l.v.}
262	131БП26	P _{bs}	1	4	2	5	3	1	7	5	2	0	0	0	143	131 → 143	P _{bs} *1/t _{b.s.}
263	131БП26 (ЗБП27)	1-P _{bs}	1	4	2	5	3	2	7	5	2	0	0	0	KB6	131 → KB6	(1-P _{bs})*1/t _{b.s.}
Ситуація 7																	
246	123БП24	P _{blv}	3	2	1	5	3	1	5	5	2	0	0	0	135	123 → 135	P _{blv} *1/t _{b.l.v.}
270	135БП26	P _{bs}	3	2	1	5	3	1	7	5	2	0	0	0	147	135 → 147	P _{bs} *1/t _{b.s.}
271	135БП26 (ЗБП27)	1-P _{bs}	3	2	1	5	3	2	8	5	2	0	0	0	KB6	135 → KB6	(1-P _{bs})*1/t _{b.s.}
Ситуація 8																	
252	126БП24	P _{blv}	3	2	2	5	3	1	5	5	2	0	0	0	138	126 → 138	P _{blv} *1/t _{b.l.v.}
276	138БП26	P _{bs}	3	2	2	5	3	1	7	5	2	0	0	0	150	138 → 150	P _{bs} *1/t _{b.s.}
277	138БП26 (ЗБП27)	1-P _{bs}	3	2	2	5	3	2	8	5	2	0	0	0	KB6	138 → KB6	(1-P _{bs})*1/t _{b.s.}
Ситуація 9																	
266	133БП24	P _{blv}	3	3	1	5	3	1	5	5	1	0	0	0	145	133 → 145	P _{blv} *1/t _{b.l.v.}
294	145БП26	P _{bs}	3	3	1	5	3	1	7	5	1	0	0	0	157	145 → 157	P _{bs} *1/t _{b.s.}
295	145БП26 (ЗБП27)	1-P _{bs}	3	3	1	5	3	2	8	5	1	0	0	0	KB6	145 → KB6	(1-P _{bs})*1/t _{b.s.}
Ситуація 10																	
268	134БП24	P _{blv}	3	4	1	5	3	1	5	5	2	0	0	0	146	134 → 146	P _{blv} *1/t _{b.l.v.}
296	146БП26	P _{bs}	3	4	1	5	3	1	7	5	2	0	0	0	158	146 → 158	P _{bs} *1/t _{b.s.}
297	146БП26 (ЗБП27)	1-P _{bs}	3	4	1	5	3	2	8	5	2	0	0	0	KB6	146 → KB6	(1-P _{bs})*1/t _{b.s.}
Ситуація 11																	
272	136БП24	P _{blv}	3	3	2	5	3	1	5	5	1	0	0	0	148	136 → 148	P _{blv} *1/t _{b.l.v.}
300	148БП26	P _{bs}	3	3	2	5	3	1	7	5	1	0	0	0	160	148 → 160	P _{bs} *1/t _{b.s.}
301	148БП26 (ЗБП27)	1-P _{bs}	3	3	2	5	3	2	8	5	1	0	0	0	KB6	148 → KB6	(1-P _{bs})*1/t _{b.s.}
Ситуація 12																	
274	137БП24	P _{blv}	3	4	2	5	3	1	5	5	2	0	0	0	149	137 → 149	P _{blv} *1/t _{b.l.v.}
302	149БП26	P _{bs}	3	4	2	5	3	1	7	5	2	0	0	0	161	149 → 161	P _{bs} *1/t _{b.s.}
303	149БП26 (ЗБП27)	1-P _{bs}	3	4	2	5	3	2	8	5	2	0	0	0	KB6	149 → KB6	(1-P _{bs})*1/t _{b.s.}

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БП26

Базова подія 26 відбувається в дванадцяти ситуаціях і представлена вектором стану 117:

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 43):

(V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=5) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V7:=7$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bs}) * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=8$.

СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 120):

$(V1=1) \text{ AND } (V2=2) \text{ AND } (V3=2) \text{ AND } (V4=5) \text{ AND } (V5=3) \text{ AND } (V6=1) \text{ AND } (V7=5) \text{ AND } (V8=5) \text{ AND } (V9=2) \text{ AND } (V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V7:=7$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bs}) * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=8$.

СИТУАЦІЯ 3: формалізований опис ситуації 3 (вектор стану 127): $(V1=1) \text{ AND } (V2=3) \text{ AND } (V3=1) \text{ AND } (V4=5) \text{ AND } (V5=3) \text{ AND } (V6=1) \text{ AND } (V7=5) \text{ AND } (V8=5) \text{ AND } (V9=1) \text{ AND } (V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V7:=7$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bs}) * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=8$.

СИТУАЦІЯ 4: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 128): $(V1=1) \text{ AND } (V2=4) \text{ AND } (V3=1) \text{ AND } (V4=5) \text{ AND } (V5=3) \text{ AND } (V6=1) \text{ AND } (V7=5) \text{ AND } (V8=5) \text{ AND } (V9=2) \text{ AND } (V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V7:=7$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bs}) * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=8$.

СИТУАЦІЯ 5: формалізований опис ситуації 5 (вектор стану 130): $(V1=1) \text{ AND } (V2=3) \text{ AND } (V3=2) \text{ AND } (V4=5) \text{ AND } (V5=3) \text{ AND } (V6=1) \text{ AND } (V7=5) \text{ AND } (V8=5) \text{ AND } (V9=1) \text{ AND } (V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V7:=7$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bs}) * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=8$.

СИТУАЦІЯ 6: формалізований опис ситуації 6 (вектор стану 131): $(V1=1) \text{ AND } (V2=4) \text{ AND } (V3=2) \text{ AND } (V4=5) \text{ AND } (V5=3) \text{ AND } (V6=1) \text{ AND } (V7=5) \text{ AND } (V8=5) \text{ AND } (V9=2) \text{ AND } (V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V7:=7$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bs}) * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=8$.

СИТУАЦІЯ 7: формалізований опис ситуації 7 (вектор стану 135): $(V1=3) \text{ AND } (V2=2) \text{ AND } (V3=1) \text{ AND } (V4=5) \text{ AND } (V5=3) \text{ AND } (V6=1) \text{ AND } (V7=5) \text{ AND } (V8=5) \text{ AND } (V9=2) \text{ AND } (V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V7:=7$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bs}) * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=8$.

СИТУАЦІЯ 8: формалізований опис ситуації 8 (вектор стану 138): $(V1=3)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=5)$ AND $(V8=5)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V7:=7$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bs}) * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=8$.

СИТУАЦІЯ 9: формалізований опис ситуації 9 (вектор стану 145): $(V1=3)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=5)$ AND $(V8=5)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V7:=7$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bs}) * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=8$.

СИТУАЦІЯ 10: формалізований опис ситуації 10 (вектор стану 146): $(V1=3)$ AND $(V2=4)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=5)$ AND $(V8=5)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V7:=7$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bs}) * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=8$.

СИТУАЦІЯ 11: формалізований опис ситуації 11 (вектор стану 148): $(V1=3)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=5)$ AND $(V8=5)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V7:=7$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bs}) * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=8$.

СИТУАЦІЯ 12: формалізований опис ситуації 12 (вектор стану 149): $(V1=3)$ AND $(V2=4)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=5)$ AND $(V8=5)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V7:=7$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bs}) * 1/t_{b.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V7:=8$.

Таблиця Е.18 – Сортуння станів по базовій події БП28

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	Ймовірності альтернативного продовження процесу	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
Ситуація 1																	
234	117БП26	P _{bs}	1	2	1	5	3	1	7	5	2	0	0	0	129	117 → 129	P _{bs} *1/t _{b.s.}
258	129БП28	P _{bls}	1	2	1	5	3	1	7	7	1	0	0	0	141	129 → 141	P _{bls} *1/t _{bl.s.}
259	129БП28 (ЗБП29)	1-P _{bls}	1	2	1	5	3	2	7	8	1	0	0	0	KB7	129 → KB7	(1-P _{bls})*1/t _{bl.s.}
Ситуація 2																	
240	120БП26	P _{bs}	1	2	2	5	3	1	7	5	2	0	0	0	132	120 → 132	P _{bs} *1/t _{b.s.}
264	132БП28	P _{bls}	1	2	2	5	3	1	7	7	2	0	0	0	144	132 → 144	P _{bls} *1/t _{bl.s.}
265	132БП28 (ЗБП29)	1-P _{bls}	1	2	2	5	3	2	7	8	2	0	0	0	KB7	132 → KB7	(1-P _{bls})*1/t _{bl.s.}
Ситуація 3																	
254	127БП26	P _{bs}	1	3	1	5	3	1	7	5	1	0	0	0	139	127 → 139	P _{bs} *1/t _{b.s.}
278	139БП28	P _{bls}	1	3	1	5	3	1	7	7	1	0	0	0	151	139 → 151	P _{bls} *1/t _{bl.s.}
279	139БП28 (ЗБП29)	1-P _{bls}	1	3	1	5	3	2	7	8	1	0	0	0	KB7	139 → KB7	(1-P _{bls})*1/t _{bl.s.}
Ситуація 4																	
256	128БП26	P _{bs}	1	4	1	5	3	1	7	5	1	0	0	0	140	128 → 140	P _{bs} *1/t _{b.s.}
280	140БП28	P _{bls}	1	4	1	5	3	1	7	7	1	0	0	0	152	140 → 152	P _{bls} *1/t _{bl.s.}
281	140БП28 (ЗБП29)	1-P _{bls}	1	4	1	5	3	2	7	8	1	0	0	0	KB7	140 → KB7	(1-P _{bls})*1/t _{bl.s.}
Ситуація 5																	
260	130БП26	P _{bs}	1	3	2	5	3	1	7	5	1	0	0	0	142	130 → 142	P _{bs} *1/t _{b.s.}
286	142БП28	P _{bls}	1	3	2	5	3	1	7	7	1	0	0	0	154	142 → 154	P _{bls} *1/t _{bl.s.}
287	142БП28 (ЗБП29)	1-P _{bls}	1	3	2	5	3	2	7	8	1	0	0	0	KB7	142 → KB7	(1-P _{bls})*1/t _{bl.s.}
Ситуація 6																	
262	131БП26	P _{bs}	1	4	2	5	3	1	7	5	2	0	0	0	143	131 → 143	P _{bs} *1/t _{b.s.}
288	143БП28	P _{bls}	1	4	2	5	3	1	7	7	2	0	0	0	155	143 → 155	P _{bls} *1/t _{bl.s.}
289	143БП28 (ЗБП29)	1-P _{bls}	1	4	2	5	3	2	7	8	2	0	0	0	KB7	143 → KB7	(1-P _{bls})*1/t _{bl.s.}
Ситуація 7																	
270	135БП26	P _{bs}	3	2	1	5	3	1	7	5	2	0	0	0	147	135 → 147	P _{bs} *1/t _{b.s.}
298	147БП28	P _{bls}	3	2	1	5	3	1	7	7	2	0	0	0	159	147→ 159	P _{bls} *1/t _{bl.s.}
299	147БП28 (ЗБП29)	1-P _{bls}	3	2	1	5	3	2	7	8	2	0	0	0	KB7	147 → KB7	(1-P _{bls})*1/t _{bl.s.}
Ситуація 8																	
276	138БП26	P _{bs}	3	2	2	5	3	1	7	5	2	0	0	0	150	138 → 150	P _{bs} *1/t _{b.s.}
304	150БП28	P _{bls}	3	2	2	5	3	1	7	7	2	0	0	0	162	150→ 162	P _{bls} *1/t _{bl.s.}

305	150БП28 (ЗБП29)	$1-P_{bls}$	3	2	2	5	3	2	7	8	2	0	0	0	KB7	$150 \rightarrow KB7$	$(1-P_{bls}) * 1/t_{bl.s.}$
Ситуація 9																	
294	145БП26	P_{bs}	3	3	1	5	3	1	7	5	1	0	0	0	157	$145 \rightarrow 157$	$P_{bs} * 1/t_{b.s.}$
326	157БП28	P_{bls}	3	3	1	5	3	1	7	7	1	0	0	0	171	$157 \rightarrow 171$	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$
327	157БП28 (ЗБП29)	$1-P_{bls}$	3	3	1	5	3	2	7	8	1	0	0	0	KB7	$157 \rightarrow KB7$	$(1-P_{bls}) * 1/t_{bl.s.}$
Ситуація 10																	
296	146БП26	P_{bs}	3	4	1	5	3	1	7	5	2	0	0	0	158	$146 \rightarrow 158$	$P_{bs} * 1/t_{b.s.}$
328	158БП28	P_{bls}	3	4	1	5	3	1	7	7	2	0	0	0	172	$158 \rightarrow 172$	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$
329	158БП28 (ЗБП29)	$1-P_{bls}$	3	4	1	5	3	2	7	8	2	0	0	0	KB7	$158 \rightarrow KB7$	$(1-P_{bls}) * 1/t_{bl.s.}$
Ситуація 11																	
300	148БП26	P_{bs}	3	3	2	5	3	1	7	5	1	0	0	0	160	$148 \rightarrow 160$	$P_{bs} * 1/t_{b.s.}$
334	160БП28	P_{bls}	3	3	2	5	3	1	7	7	1	0	0	0	174	$160 \rightarrow 174$	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$
335	160БП28 (ЗБП29)	$1-P_{bls}$	3	3	2	5	3	2	7	8	1	0	0	0	KB7	$160 \rightarrow KB7$	$(1-P_{bls}) * 1/t_{bl.s.}$
Ситуація 12																	
302	149БП26	P_{bs}	3	4	2	5	3	1	7	5	2	0	0	0	161	$149 \rightarrow 161$	$P_{bs} * 1/t_{b.s.}$
336	161БП28	P_{bls}	3	4	2	5	3	1	7	7	2	0	0	0	175	$161 \rightarrow 175$	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$
337	161БП28 (ЗБП29)	$1-P_{bls}$	3	4	2	5	3	2	7	8	2	0	0	0	KB7	$161 \rightarrow KB7$	$(1-P_{bls}) * 1/t_{bl.s.}$

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БП28

Базова подія 28 відбувається в дванадцяти ситуаціях.

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 129): ($V1=1$) AND ($V2=2$) AND ($V3=1$) AND ($V4=5$) AND ($V5=3$) AND ($V6=1$) AND ($V7=7$) AND ($V8=5$) AND ($V9=2$) AND ($V10=0$).

Для 1-ої альтернативи ФРП: $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V8:=7$;

Для 2-ої альтернативи ФРП: $(1-P_{bls}) * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V8:=8$.

СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 132): ($V1=1$) AND ($V2=2$) AND ($V3=2$) AND ($V4=5$) AND ($V5=3$) AND ($V6=1$) AND ($V7=7$) AND ($V8=5$) AND ($V9=2$) AND ($V10=0$).

Для 1-ої альтернативи ФРП: $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V8:=7$;

Для 2-ої альтернативи ФРП: $(1-P_{bls}) * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V8:=8$.

СИТУАЦІЯ 3: формалізований опис ситуації 3 (вектор стану 139): ($V1=1$) AND ($V2=3$) AND ($V3=1$) AND ($V4=5$) AND ($V5=3$) AND ($V6=1$) AND ($V7=7$) AND ($V8=5$) AND ($V9=1$) AND ($V10=0$).

Для 1-ої альтернативи ФРП: $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V8:=7$;

Для 2-ої альтернативи ФРП: $(1-P_{bls}) * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V8:=8$.

СИТУАЦІЯ 4: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 140): ($V1=1$) AND ($V2=4$) AND ($V3=1$) AND ($V4=5$) AND ($V5=3$) AND ($V6=1$) AND ($V7=7$) AND ($V8=5$) AND ($V9=2$) AND ($V10=0$).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V8:=7$;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bls}) * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V8:=8$.

СИТУАЦІЯ 5: формалізований опис ситуації 5 (вектор стану 142): $(V1=1)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=7)$ AND $(V8=5)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V8:=7$;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bls}) * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V8:=8$.

СИТУАЦІЯ 6: формалізований опис ситуації 6 (вектор стану 143): $(V1=1)$ AND $(V2=4)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=7)$ AND $(V8=5)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V8:=7$;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bls}) * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V8:=8$.

СИТУАЦІЯ 7: формалізований опис ситуації 7 (вектор стану 147): $(V1=3)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=7)$ AND $(V8=5)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V8:=7$;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bls}) * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V8:=8$.

СИТУАЦІЯ 8: формалізований опис ситуації 8 (вектор стану 150): $(V1=3)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=7)$ AND $(V8=5)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V8:=7$;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bls}) * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V8:=8$.

СИТУАЦІЯ 9: формалізований опис ситуації 9 (вектор стану 157): $(V1=3)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=7)$ AND $(V8=5)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V8:=7$;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bls}) * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V8:=8$.

СИТУАЦІЯ 10: формалізований опис ситуації 10 (вектор стану 158): $(V1=3)$ AND $(V2=4)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=7)$ AND $(V8=5)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V8:=7$;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bls}) * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V8:=8$.

СИТУАЦІЯ 11: формалізований опис ситуації 11 (вектор стану 160): $(V1=3)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=7)$ AND $(V8=5)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V8:=7$;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bls}) * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V8:=8$.

СИТУАЦІЯ 12: формалізований опис ситуації 12 (вектор стану 161): $(V1=3)$ AND $(V2=4)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=7)$ AND $(V8=5)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V8:=7$;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{bls}) * 1/t_{bl.s.}$; ПМКВС: $V6:=2$; $V8:=8$.

Таблиця Е.19 – Сортування станів по базовій події БП30

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
Ситуація 1																	
258	129БП28	P _{bls}	1	2	1	5	3	1	7	7	1	0	0	0	141	129 → 141	P _{bls} *1/t _{bl.s.}
282	141БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	2	1	5	3	1	7	7	1	1	1	1	153	141 → 153	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/t _{in}
283		1-P _{in}	1	2	1	5	3	2	7	7	1	2	1	1	KB8	141 → KB8	(1-P _{in})*1/t _{in}
284		P _{in} (1-P _{bl})	1	2	1	5	3	2	7	7	1	1	2	1	KB8	141 → KB8	P _{in} (1-P _{bl})*1/t _{in}
285		P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})	1	2	1	5	3	2	7	7	1	1	1	2	KB8	141 → KB8	P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})*1/t _{in}
Ситуація 2																	
264	132БП28	P _{bls}	1	2	2	5	3	1	7	7	2	0	0	0	144	132 → 144	P _{bls} *1/t _{bl.s.}
290	144БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	2	2	5	3	1	7	7	2	1	1	1	156	144 → 156	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/t _{in}
291		1-P _{in}	1	2	2	5	3	2	7	7	2	2	1	1	KB8	144 → KB8	(1-P _{in})*1/t _{in}
292		P _{in} (1-P _{bl})	1	2	2	5	3	2	7	7	2	1	2	1	KB8	144 → KB8	P _{in} (1-P _{bl})*1/t _{in}
293		P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})	1	2	2	5	3	2	7	7	2	1	1	2	KB8	144 → KB8	P _{in} P _{bl} (1-P _{r.c.})*1/t _{in}
Ситуація 3																	
278	139БП28	P _{bls}	1	3	1	5	3	1	7	7	1	0	0	0	151	139 → 151	P _{bls} *1/t _{bl.s.}
306	151БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	3	1	5	3	1	7	7	1	1	1	1	163	151 → 163	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/t _{in}
307		1-P _{in}	1	3	1	5	3	2	7	7	1	2	1	1	KB8	151 → KB8	(1-P _{in})*1/t _{in}
308		P _{in} (1-P _{bl})	1	3	1	5	3	2	7	7	1	1	2	1	KB8	151 → KB8	P _{in} (1-P _{bl})*1/t _{in}

309		$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.})$	1	3	1	5	3	2	7	7	1	1	1	2	KB8	151 → KB8	$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.}) * 1/t_{in}$
Ситуація 4																	
280	140БП28	P_{bls}	1	4	1	5	3	1	7	7	1	0	0	0	152	140 → 152	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$
310	152БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.}$	1	4	1	5	3	1	7	7	1	1	1	1	164	152 → 164	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.} * 1/t_{in}$
311		$1-P_{in}$	1	4	1	5	3	2	7	7	1	2	1	1	KB8	152 → KB8	$(1-P_{in}) * 1/t_{in}$
312		$P_{in} (1-P_{bl})$	1	4	1	5	3	2	7	7	1	1	2	1	KB8	152 → KB8	$P_{in} (1-P_{bl}) * 1/t_{in}$
313		$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.})$	1	4	1	5	3	2	7	7	1	1	1	2	KB8	152 → KB8	$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.}) * 1/t_{in}$
Ситуація 5																	
286	142БП28	P_{bls}	1	3	2	5	3	1	7	7	1	0	0	0	154	142 → 154	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$
316	154БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.}$	1	3	2	5	3	1	7	7	1	1	1	1	167	154 → 167	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.} * 1/t_{in}$
317		$1-P_{in}$	1	3	2	5	3	2	7	7	1	2	1	1	KB8	154 → KB8	$(1-P_{in}) * 1/t_{in}$
318		$P_{in} (1-P_{bl})$	1	3	2	5	3	2	7	7	1	1	2	1	KB8	154 → KB8	$P_{in} (1-P_{bl}) * 1/t_{in}$
319		$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.})$	1	3	2	5	3	2	7	7	1	1	1	2	KB8	154 → KB8	$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.}) * 1/t_{in}$
Ситуація 6																	
288	143БП28	P_{bls}	1	4	2	5	3	1	7	7	2	0	0	0	155	143 → 155	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$
320	155БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.}$	1	4	2	5	3	1	7	7	2	1	1	1	168	155 → 168	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.} * 1/t_{in}$
321		$1-P_{in}$	1	4	2	5	3	2	7	7	2	2	1	1	KB8	155 → KB8	$(1-P_{in}) * 1/t_{in}$
322		$P_{in} (1-P_{bl})$	1	4	2	5	3	2	7	7	2	1	2	1	KB8	155 → KB8	$P_{in} (1-P_{bl}) * 1/t_{in}$
323		$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.})$	1	4	2	5	3	2	7	7	2	1	1	2	KB8	155 → KB8	$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.}) * 1/t_{in}$
Ситуація 7																	
298	147БП28	P_{bls}	3	2	1	5	3	1	7	7	2	0	0	0	159	147 → 159	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$
330	159БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.}$	3	2	1	5	3	1	7	7	2	1	1	1	173	159 → 173	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.} * 1/t_{in}$
331		$1-P_{in}$	3	2	1	5	3	2	7	7	2	2	1	1	KB8	159 → KB8	$(1-P_{in}) * 1/t_{in}$
332		$P_{in} (1-P_{bl})$	3	2	1	5	3	2	7	7	2	1	2	1	KB8	159 → KB8	$P_{in} (1-P_{bl}) * 1/t_{in}$
333		$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.})$	3	2	1	5	3	2	7	7	2	1	1	2	KB8	159 → KB8	$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.}) * 1/t_{in}$
Ситуація 8																	
304	150БП28	P_{bls}	3	2	2	5	3	1	7	7	2	0	0	0	162	150 → 162	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$
338	162БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.}$	3	2	2	5	3	1	7	7	2	1	1	1	176	162 → 176	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.} * 1/t_{in}$
339		$1-P_{in}$	3	2	2	5	3	2	7	7	2	2	1	1	KB8	162 → KB8	$(1-P_{in}) * 1/t_{in}$
340		$P_{in} (1-P_{bl})$	3	2	2	5	3	2	7	7	2	1	2	1	KB8	162 → KB8	$P_{in} (1-P_{bl}) * 1/t_{in}$
341		$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.})$	3	2	2	5	3	2	7	7	2	1	1	2	KB8	162 → KB8	$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.}) * 1/t_{in}$
Ситуація 9																	
326	157БП28	P_{bls}	3	3	1	5	3	1	7	7	1	0	0	0	171	157 → 171	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$
354	171БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.}$	3	3	1	5	3	1	7	7	1	1	1	1	189	171 → 189	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.} * 1/t_{in}$
355		$1-P_{in}$	3	3	1	5	3	2	7	7	1	2	1	1	KB8	171 → KB8	$(1-P_{in}) * 1/t_{in}$
356		$P_{in} (1-P_{bl})$	3	3	1	5	3	2	7	7	1	1	2	1	KB8	171 → KB8	$P_{in} (1-P_{bl}) * 1/t_{in}$
357		$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.})$	3	3	1	5	3	2	7	7	1	1	1	2	KB8	171 → KB8	$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.}) * 1/t_{in}$
Ситуація 10																	
328	158БП28	P_{bls}	3	4	1	5	3	1	7	7	2	0	0	0	172	158 → 172	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$
358	172БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.}$	3	3	1	5	3	1	7	7	2	1	1	1	190	172 → 190	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.} * 1/t_{in}$
359		$1-P_{in}$	3	3	1	5	3	2	7	7	2	2	1	1	KB8	172 → KB8	$(1-P_{in}) * 1/t_{in}$
360		$P_{in} (1-P_{bl})$	3	3	1	5	3	2	7	7	2	1	2	1	KB8	172 → KB8	$P_{in} (1-P_{bl}) * 1/t_{in}$
361		$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.})$	3	3	1	5	3	2	7	7	2	1	1	2	KB8	172 → KB8	$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.}) * 1/t_{in}$
Ситуація 11																	
334	160БП28	P_{bls}	3	3	2	5	3	1	7	7	1	0	0	0	174	160 → 174	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$
364	174БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.}$	3	3	2	5	3	1	7	7	1	1	1	1	193	174 → 193	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.} * 1/t_{in}$
365		$1-P_{in}$	3	3	2	5	3	2	7	7	1	2	1	1	KB8	174 → KB8	$(1-P_{in}) * 1/t_{in}$
366		$P_{in} (1-P_{bl})$	3	3	2	5	3	2	7	7	1	1	2	1	KB8	174 → KB8	$P_{in} (1-P_{bl}) * 1/t_{in}$
367		$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.})$	3	3	2	5	3	2	7	7	1	1	1	2	KB8	174 → KB8	$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.}) * 1/t_{in}$
Ситуація 12																	
336	161БП28	P_{bls}	3	4	2	5	3	1	7	7	2	0	0	0	175	161 → 175	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$
368	175БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.}$	3	4	2	5	3	1	7	7	2	1	1	1	194	175 → 194	$P_{in} P_{bl} P_{r.c.} * 1/t_{in}$
369		$1-P_{in}$	3	4	2	5	3	2	7	7	2	2	1	1	KB8	175 → KB8	$(1-P_{in}) * 1/t_{in}$
370		$P_{in} (1-P_{bl})$	3	4	2	5	3	2	7	7	2	1	2	1	KB8	175 → KB8	$P_{in} (1-P_{bl}) * 1/t_{in}$
371		$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.})$	3	4	2	5	3	2	7	7	2	1	1	2	KB8	175 → KB8	$P_{in} P_{bl} (1-P_{r.c.}) * 1/t_{in}$

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БП30

Базова подія 30 відбувається в дванадцяти ситуаціях.

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 141): (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=7) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * P_{bl} * Pr.c.$; ПМКВС: V7:=9; V8:=9; V10:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $1 - P_{in}$; ПМКВС: V7:=10; V8:=9; V19:=1.

Для 3-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * (1 - P_{bl})$; ПМКВС: V7:=9; V8:=10; V10:=1.

Для 4-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * P_{bl} * (1 - P_{r.c.})$; ПМКВС: V7:=9; V8:=9; V10:=2; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 144): (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=7) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * P_{bl} * Pr.c.$; ПМКВС: V7:=9; V8:=9; V10:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $1 - P_{in}$; ПМКВС: V7:=10; V8:=9; V19:=1.

Для 3-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * (1 - P_{bl})$; ПМКВС: V7:=9; V8:=10; V10:=1.

Для 4-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * P_{bl} * (1 - P_{r.c.})$; ПМКВС: V7:=9; V8:=9; V10:=2; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 3: формалізований опис ситуації 3 (вектор стану 151): (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=7) AND (V9=1) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * P_{bl} * Pr.c.$; ПМКВС: V7:=9; V8:=9; V10:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $1 - P_{in}$; ПМКВС: V7:=10; V8:=9; V19:=1.

Для 3-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * (1 - P_{bl})$; ПМКВС: V7:=9; V8:=10; V10:=1.

Для 4-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * P_{bl} * (1 - P_{r.c.})$; ПМКВС: V7:=9; V8:=9; V10:=2; V6:=2.

СИТУАЦІЯ 4: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 152): (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=7) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * P_{bl} * Pr.c.$; ПМКВС: V7:=9; V8:=9; V10:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $1 - P_{in}$; ПМКВС: V7:=10; V8:=9; V19:=1.

Для 3-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * (1 - P_{bl})$; ПМКВС: V7:=9; V8:=10; V10:=1.

Для 4-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * P_{bl} * (1 - P_{r.c.})$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=9$; $V10:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 5: формалізований опис ситуації 5 (вектор стану 154): $(V1=1)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=7)$ AND $(V8=7)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * P_{bl} * P_{r.c.}$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=9$; $V10:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $1 - P_{in}$; ПМКВС: $V7:=10$; $V8:=9$; $V19:=1$.

Для 3-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * (1 - P_{bl})$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=10$; $V10:=1$.

Для 4-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * P_{bl} * (1 - P_{r.c.})$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=9$; $V10:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 6: формалізований опис ситуації 6 (вектор стану 155): $(V1=1)$ AND $(V2=4)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=7)$ AND $(V8=7)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * P_{bl} * P_{r.c.}$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=9$; $V10:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $1 - P_{in}$; ПМКВС: $V7:=10$; $V8:=9$; $V19:=1$.

Для 3-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * (1 - P_{bl})$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=10$; $V10:=1$.

Для 4-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * P_{bl} * (1 - P_{r.c.})$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=9$; $V10:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 7: формалізований опис ситуації 7 (вектор стану 159): $(V1=3)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=7)$ AND $(V8=7)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * P_{bl} * P_{r.c.}$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=9$; $V10:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $1 - P_{in}$; ПМКВС: $V7:=10$; $V8:=9$; $V19:=1$.

Для 3-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * (1 - P_{bl})$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=10$; $V10:=1$.

Для 4-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * P_{bl} * (1 - P_{r.c.})$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=9$; $V10:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 8: формалізований опис ситуації 8 (вектор стану 162): $(V1=3)$ AND $(V2=2)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=7)$ AND $(V8=7)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} * P_{bl} * P_{r.c.}$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=9$; $V10:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $1-P_{in}$; ПМКВС: $V7:=10$; $V8:=9$; $V19:=1$.

Для 3-ої альтернативи ФРІП: $P_{in}*(1-P_{bl})$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=10$; $V10:=1$.

Для 4-ої альтернативи ФРІП: $P_{in}*P_{bl}*(1-P_{r.c.})$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=9$; $V10:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 9: формалізований опис ситуації 9 (вектор стану 171): $(V1=3)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=7)$ AND $(V8=7)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{in}*P_{bl}*Pr.c.$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=9$; $V10:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $1-P_{in}$; ПМКВС: $V7:=10$; $V8:=9$; $V19:=1$.

Для 3-ої альтернативи ФРІП: $P_{in}*(1-P_{bl})$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=10$; $V10:=1$.

Для 4-ої альтернативи ФРІП: $P_{in}*P_{bl}*(1-P_{r.c.})$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=9$; $V10:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 10: формалізований опис ситуації 10 (вектор стану 172): $(V1=3)$ AND $(V2=4)$ AND $(V3=1)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=7)$ AND $(V8=7)$ AND $(V9=2)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{in}*P_{bl}*Pr.c.$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=9$; $V10:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $1-P_{in}$; ПМКВС: $V7:=10$; $V8:=9$; $V19:=1$.

Для 3-ої альтернативи ФРІП: $P_{in}*(1-P_{bl})$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=10$; $V10:=1$.

Для 4-ої альтернативи ФРІП: $P_{in}*P_{bl}*(1-P_{r.c.})$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=9$; $V10:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 11: формалізований опис ситуації 11 (вектор стану 174): $(V1=3)$ AND $(V2=3)$ AND $(V3=2)$ AND $(V4=5)$ AND $(V5=3)$ AND $(V6=1)$ AND $(V7=7)$ AND $(V8=7)$ AND $(V9=1)$ AND $(V10=0)$.

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{in}*P_{bl}*Pr.c.$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=9$; $V10:=1$.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $1-P_{in}$; ПМКВС: $V7:=10$; $V8:=9$; $V19:=1$.

Для 3-ої альтернативи ФРІП: $P_{in}*(1-P_{bl})$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=10$; $V10:=1$.

Для 4-ої альтернативи ФРІП: $P_{in}*P_{bl}*(1-P_{r.c.})$; ПМКВС: $V7:=9$; $V8:=9$; $V10:=2$; $V6:=2$.

СИТУАЦІЯ 12: формалізований опис ситуації 12 (вектор стану 175): (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=7) AND (V9=2) AND (V10=0).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} \cdot P_{bl} \cdot P_{r.c.}$; ПМКВС: V7:=9; V8:=9; V10:=1.

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $1 - P_{in}$; ПМКВС: V7:=10; V8:=9; V19:=1.

Для 3-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} \cdot (1 - P_{bl})$; ПМКВС: V7:=9; V8:=10; V10:=1.

Для 4-ої альтернативи ФРІП: $P_{in} \cdot P_{bl} \cdot (1 - P_{r.c.})$; ПМКВС: V7:=9; V8:=9; V10:=2; V6:=2.

Таблиця Е.20 – Сортуння станів по базовій події БПЗ4

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
Ситуація 1																	
282	141БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	2	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	153	141 → 153	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/t _{in}
314	153БП34	P _{dt}	1	5	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	165	153 → 165	P _{dt} *1/t _{d.t.}
315		1 -P _{dt}	1	6	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	166	153 → 166	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
Ситуація 2																	
290	144БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	2	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	156	144 → 156	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/t _{in}
324	156БП34	P _{dt}	1	5	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	169	156 → 169	P _{dt} *1/t _{d.t.}
325		1 -P _{dt}	1	6	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	170	156 → 170	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
Ситуація 3																	
306	151БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	3	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	163	151 → 163	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/t _{in}
342	163БП34	P _{dt}	1	5	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	177	163 → 177	P _{dt} *1/t _{d.t.}
343		1 -P _{dt}	1	6	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	178	163 → 178	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
Ситуація 4																	
310	152БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	4	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	164	152 → 164	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/t _{in}
344	164БП34	P _{dt}	1	5	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	179	164 → 179	P _{dt} *1/t _{d.t.}
345		1 -P _{dt}	1	6	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	180	164 → 180	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
Ситуація 5																	
316	154БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	3	2	5	3	1	9	9	1	1	1	1	167	154 → 167	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/t _{in}
348	167БП34	P _{dt}	1	5	2	5	3	1	9	9	1	1	1	1	183	167 → 183	P _{dt} *1/t _{d.t.}
349		1 -P _{dt}	1	6	2	5	3	1	9	9	1	1	1	1	184	167 → 184	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
Ситуація 6																	
320	155БП30 (ЗБП31, ЗБП32, ЗБП33)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	1	4	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	168	155 → 168	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/t _{in}
350	168БП34	P _{dt}	1	5	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	185	168 → 185	P _{dt} *1/t _{d.t.}

351		1 -P _{dt}	1	6	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	186	168 → 186	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
Ситуація 7																	
330	159БПЗ0 (ЗБПЗ1, ЗБПЗ2, ЗБПЗ3)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	3	2	1	5	3	1	9	9	2	1	1	1	173	159 → 173	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/t _{in}
362	173БПЗ4	P _{dt}	3	5	1	5	3	1	9	9	2	1	1	1	191	173 → 191	P _{dt} *1/t _{d.t.}
363		1 -P _{dt}	3	6	1	5	3	1	9	9	2	1	1	1	192	173 → 192	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
Ситуація 8																	
338	162БПЗ0 (ЗБПЗ1, ЗБПЗ2, ЗБПЗ3)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	3	2	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	176	162 → 176	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/t _{in}
372	176БПЗ4	P _{dt}	3	5	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	195	176 → 195	P _{dt} *1/t _{d.t.}
373		1 -P _{dt}	3	6	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	196	176 → 196	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
Ситуація 9																	
354	171БПЗ0 (ЗБПЗ1, ЗБПЗ2, ЗБПЗ3)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	3	3	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	189	171 → 189	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/t _{in}
382	189БПЗ4	P _{dt}	3	5	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	205	189 → 205	P _{dt} *1/t _{d.t.}
383		1 -P _{dt}	3	6	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	206	189 → 206	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
Ситуація 10																	
358	172БПЗ0 (ЗБПЗ1, ЗБПЗ2, ЗБПЗ3)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	3	3	1	5	3	1	9	9	2	1	1	1	190	172 → 190	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/t _{in}
384	190БПЗ4	P _{dt}	3	5	1	5	3	1	9	9	2	1	1	1	207	190 → 207	P _{dt} *1/t _{d.t.}
385		1 -P _{dt}	3	6	1	5	3	1	9	9	2	1	1	1	208	190 → 208	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
Ситуація 11																	
364	174БПЗ0 (ЗБПЗ1, ЗБПЗ2, ЗБПЗ3)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	3	3	2	5	3	1	9	9	1	1	1	1	193	174 → 193	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/t _{in}
388	193БПЗ4	P _{dt}	3	5	2	5	3	1	9	9	1	1	1	1	211	193 → 211	P _{dt} *1/t _{d.t.}
389		1 -P _{dt}	3	6	2	5	3	1	9	9	1	1	1	1	212	193 → 212	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
Ситуація 12																	
368	175БПЗ0 (ЗБПЗ1, ЗБПЗ2, ЗБПЗ3)	P _{in} P _{bl} P _{r.c.}	3	4	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	194	175 → 194	P _{in} P _{bl} P _{r.c.} *1/t _{in}
390	194БПЗ4	P _{dt}	3	5	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	213	194 → 213	P _{dt} *1/t _{d.t.}
391		1 -P _{dt}	3	6	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	214	194 → 214	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БПЗ4

Базова подія 34 відбувається в дванадцяти ситуаціях.

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 153): (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1).

Для 1-ої альтернативи ФРП: P_{dt}*1/t_{d.t.}; ПМКВС: V2:=5;

Для 2-ої альтернативи ФРП: (1-P_{dt})*1/t_{d.t.}; ПМКВС: V2:=6.

СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 156): (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1).

Для 1-ої альтернативи ФРП: P_{dt}*1/t_{d.t.}; ПМКВС: V2:=5;

Для 2-ої альтернативи ФРП: (1-P_{dt})*1/t_{d.t.}; ПМКВС: V2:=6.

163 СИТУАЦІЯ 3: формалізований опис ситуації 3 (вектор стану 163): (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1).

Для 1-ої альтернативи ФРП: P_{dt}*1/t_{d.t.}; ПМКВС: V2:=5;

Для 2-ої альтернативи ФРП: (1-P_{dt})*1/t_{d.t.}; ПМКВС: V2:=6.

СИТУАЦІЯ 4: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 164): (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V2:=5;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{dt}) * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V2:=6.

СИТУАЦІЯ 5: формалізований опис ситуації 5 (вектор стану 167): (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V2:=5;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{dt}) * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V2:=6.

СИТУАЦІЯ 6: формалізований опис ситуації 6 (вектор стану 168): (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V2:=5;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{dt}) * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V2:=6.

СИТУАЦІЯ 7: формалізований опис ситуації 7 (вектор стану 173): (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V2:=5;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{dt}) * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V2:=6.

СИТУАЦІЯ 8: формалізований опис ситуації 8 (вектор стану 176): (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V2:=5;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{dt}) * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V2:=6.

СИТУАЦІЯ 9: формалізований опис ситуації 9 (вектор стану 189): (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V2:=5;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{dt}) * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V2:=6.

СИТУАЦІЯ 10: формалізований опис ситуації 10 (вектор стану 190): (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V2:=5;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{dt}) * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V2:=6.

СИТУАЦІЯ 11: формалізований опис ситуації 11 (вектор стану 193): (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V2:=5;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{dt}) * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V2:=6.

СИТУАЦІЯ 12: формалізований опис ситуації 12 (вектор стану 194): (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1).

Для 1-ої альтернативи ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V2:=5;

Для 2-ої альтернативи ФРІП: $(1-P_{dt}) * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V2:=6.

Таблиця Е.21 – Сортуння станів по базовій події БП35

№ шага	Попередній стан, що розглядається, і актуальна БП	ЙАПП	Стани об'єкта дослідження												№ стану	Перехід з стану в стан	ФРІП
			V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12			
Ситуація 1																	
314	153БП34	P _{dt}	1	5	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	165	153 → 165	P _{dt} *1/t _{d.t.}
346	165БП35	P _{su}	1	5	1	5	3	0	9	9	1	1	1	1	181	165 → 181	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 2																	
315	153БП34	1 -P _{dt}	1	6	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	166	153 → 166	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
347	166БП35	P _{su}	1	6	1	5	3	0	9	9	1	1	1	1	182	166 → 182	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 3																	
324	156БП34	P _{dt}	1	5	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	169	156 → 169	P _{dt} *1/t _{d.t.}
352	169БП35	P _{su}	1	5	2	5	3	0	9	9	2	1	1	1	187	169 → 187	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 4																	
325	156БП34	1 -P _{dt}	1	6	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	170	156 → 170	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
353	170БП35	P _{su}	1	6	2	5	3	0	9	9	2	1	1	1	188	170 → 188	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 5																	
342	163БП34	P _{dt}	1	5	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	177	163 → 177	P _{dt} *1/t _{d.t.}
374	177БП35	P _{su}	1	5	1	5	3	0	9	9	1	1	1	1	197	177 → 197	P _{su} *1/t _{p.d.}

Ситуація 6																	
343	163БПЗ4	1 -P _{dt}	1	6	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	178	163 → 178	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
375	178БПЗ5	P _{su}	1	6	1	5	3	0	9	9	1	1	1	1	198	178 → 198	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 7																	
344	164БПЗ4	P _{dt}	1	5	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	179	164 → 179	P _{dt} *1/t _{d.t.}
376	179БПЗ5	P _{su}	1	5	1	5	3	0	9	9	1	1	1	1	199	179 → 199	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 8																	
345	164БПЗ4	1 -P _{dt}	1	6	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	180	164 → 180	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
377	180БПЗ5	P _{su}	1	6	1	5	3	0	9	9	1	1	1	1	200	180 → 200	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 9																	
348	167БПЗ4	P _{dt}	1	5	2	5	3	1	9	9	1	1	1	1	183	167 → 183	P _{dt} *1/t _{d.t.}
378	183БПЗ5	P _{su}	1	5	2	5	3	0	9	9	1	1	1	1	201	183 → 201	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 10																	
349	167БПЗ4	1 -P _{dt}	1	6	2	5	3	1	9	9	1	1	1	1	184	167 → 184	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
379	184БПЗ5	P _{su}	1	6	2	5	3	0	9	9	1	1	1	1	202	184 → 202	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 11																	
350	168БПЗ4	P _{dt}	1	5	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	185	168 → 185	P _{dt} *1/t _{d.t.}
380	185БПЗ5	P _{su}	1	5	2	5	3	0	9	9	2	1	1	1	203	185 → 203	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 12																	
351	168БПЗ4	1 -P _{dt}	1	6	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	186	168 → 186	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
381	186БПЗ5	P _{su}	1	6	2	5	3	0	9	9	2	1	1	1	204	186 → 204	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 13																	
362	173БПЗ4	P _{dt}	3	5	1	5	3	1	9	9	2	1	1	1	191	173 → 191	P _{dt} *1/t _{d.t.}
386	191БПЗ5	P _{su}	3	5	1	5	3	0	9	9	2	1	1	1	209	191 → 209	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 14																	
363	173БПЗ4	1 -P _{dt}	3	6	1	5	3	1	9	9	2	1	1	1	192	173 → 192	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
387	192БПЗ5	P _{su}	3	6	1	5	3	0	9	9	2	1	1	1	210	192 → 210	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 15																	
372	176БПЗ4	P _{dt}	3	5	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	195	176 → 195	P _{dt} *1/t _{d.t.}
392	195БПЗ5	P _{su}	3	5	2	5	3	0	9	9	2	1	1	1	215	195 → 215	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 16																	
373	176БПЗ4	1 -P _{dt}	3	6	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	196	176 → 196	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
393	196БПЗ5	P _{su}	3	6	2	5	3	0	9	9	2	1	1	1	216	196 → 216	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 17																	
382	189БПЗ4	P _{dt}	3	5	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	205	189 → 205	P _{dt} *1/t _{d.t.}
394	205БПЗ5	P _{su}	3	5	1	5	3	0	9	9	1	1	1	1	217	205 → 217	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 18																	
383	189БПЗ4	1 -P _{dt}	3	6	1	5	3	1	9	9	1	1	1	1	206	189 → 206	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
395	206БПЗ5	P _{su}	3	6	1	5	3	0	9	9	1	1	1	1	218	206 → 218	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 19																	
384	190БПЗ4	P _{dt}	3	5	1	5	3	1	9	9	2	1	1	1	207	190 → 207	P _{dt} *1/t _{d.t.}
396	207БПЗ5	P _{su}	3	5	1	5	3	0	9	9	2	1	1	1	219	207 → 219	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 20																	
385	190БПЗ4	1 -P _{dt}	3	6	1	5	3	1	9	9	2	1	1	1	208	190 → 208	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
397	208БПЗ5	P _{su}	3	6	1	5	3	0	9	9	2	1	1	1	220	208 → 220	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 21																	
388	193БПЗ4	P _{dt}	3	5	2	5	3	1	9	9	1	1	1	1	211	193 → 211	P _{dt} *1/t _{d.t.}
398	211БПЗ5	P _{su}	3	5	2	5	3	0	9	9	1	1	1	1	221	211 → 221	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 22																	
389	193БПЗ4	1 -P _{dt}	3	6	2	5	3	1	9	9	1	1	1	1	212	193 → 212	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
399	212БПЗ5	P _{su}	3	6	2	5	3	0	9	9	1	1	1	1	222	212 → 222	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 23																	
390	194БПЗ4	P _{dt}	3	5	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	213	194 → 213	P _{dt} *1/t _{d.t.}
400	213БПЗ5	P _{su}	3	5	2	5	3	0	9	9	2	1	1	1	223	213 → 223	P _{su} *1/t _{p.d.}
Ситуація 24																	
391	194БПЗ4	1 -P _{dt}	3	6	2	5	3	1	9	9	2	1	1	1	214	194 → 214	(1-P _{dt})*1/t _{d.t.}
401	214БПЗ5	P _{su}	3	6	2	5	3	0	9	9	2	1	1	1	224	214 → 224	P _{su} *1/t _{p.d.}

Визначення компонент структурно-автоматної моделі для БПЗ5

Базова подія 35 відбувається в двадцяти чотирьох ситуаціях.

СИТУАЦІЯ 1: формалізований опис ситуації 1 (вектор стану 165): $(V1=1) \text{ AND } (V2=5) \text{ AND } (V3=1) \text{ AND } (V4=5) \text{ AND } (V5=3) \text{ AND } (V6=1) \text{ AND } (V7=9) \text{ AND } (V8=9) \text{ AND } (V9=2) \text{ AND } (V10=1)$.

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: $V6:=0$.

СИТУАЦІЯ 2: формалізований опис ситуації 2 (вектор стану 166): $(V1=1) \text{ AND } (V2=6) \text{ AND } (V3=1) \text{ AND } (V4=5) \text{ AND } (V5=3) \text{ AND } (V6=1) \text{ AND } (V7=9) \text{ AND } (V8=9) \text{ AND } (V9=2) \text{ AND } (V10=1)$.

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: $V6:=0$.

СИТУАЦІЯ 3: формалізований опис ситуації 3 (вектор стану 169): $(V1=1) \text{ AND } (V2=5) \text{ AND } (V3=2) \text{ AND } (V4=5) \text{ AND } (V5=3) \text{ AND } (V6=1) \text{ AND } (V7=9) \text{ AND } (V8=9) \text{ AND } (V9=2) \text{ AND } (V10=1)$.

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: $V6:=0$.

СИТУАЦІЯ 4: формалізований опис ситуації 4 (вектор стану 170): $(V1=1) \text{ AND } (V2=6) \text{ AND } (V3=2) \text{ AND } (V4=5) \text{ AND } (V5=3) \text{ AND } (V6=1) \text{ AND } (V7=9) \text{ AND } (V8=9) \text{ AND } (V9=2) \text{ AND } (V10=1)$.

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: $V6:=0$.

СИТУАЦІЯ 5: формалізований опис ситуації 5 (вектор стану 177): $(V1=1) \text{ AND } (V2=5) \text{ AND } (V3=1) \text{ AND } (V4=5) \text{ AND } (V5=3) \text{ AND } (V6=1) \text{ AND } (V7=9) \text{ AND } (V8=9) \text{ AND } (V9=1) \text{ AND } (V10=1)$.

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: $V6:=0$.

СИТУАЦІЯ 6: формалізований опис ситуації 6 (вектор стану 178): $(V1=1) \text{ AND } (V2=6) \text{ AND } (V3=1) \text{ AND } (V4=5) \text{ AND } (V5=3) \text{ AND } (V6=1) \text{ AND } (V7=9) \text{ AND } (V8=9) \text{ AND } (V9=1) \text{ AND } (V10=1)$.

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: $V6:=0$.

СИТУАЦІЯ 7: формалізований опис ситуації 7 (вектор стану 179): $(V1=1) \text{ AND } (V2=5) \text{ AND } (V3=1) \text{ AND } (V4=5) \text{ AND } (V5=3) \text{ AND } (V6=1) \text{ AND } (V7=9) \text{ AND } (V8=9) \text{ AND } (V9=2) \text{ AND } (V10=1)$.

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: $V6:=0$.

СИТУАЦІЯ 8: формалізований опис ситуації 8 (вектор стану 180): (V1=1) AND (V2=6) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1).

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V6:=0.

СИТУАЦІЯ 9: формалізований опис ситуації 9 (вектор стану 183): (V1=1) AND (V2=5) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1).

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V6:=0.

СИТУАЦІЯ 10: формалізований опис ситуації 10 (вектор стану 184): (V1=1) AND (V2=6) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1).

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V6:=0.

СИТУАЦІЯ 11: формалізований опис ситуації 11 (вектор стану 185): (V1=1) AND (V2=5) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1).

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V6:=0.

СИТУАЦІЯ 12: формалізований опис ситуації 12 (вектор стану 186): (V1=1) AND (V2=6) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1).

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V6:=0.

СИТУАЦІЯ 13: формалізований опис ситуації 13 (вектор стану 191): (V1=3) AND (V2=5) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1).

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V6:=0.

СИТУАЦІЯ 14: формалізований опис ситуації 14 (вектор стану 192): (V1=3) AND (V2=6) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1).

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V6:=0.

СИТУАЦІЯ 15: формалізований опис ситуації 15 (вектор стану 195): (V1=3) AND (V2=5) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1).

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V6:=0.

СИТУАЦІЯ 16: формалізований опис ситуації 16 (вектор стану 196): (V1=3) AND (V2=6) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1).

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V6:=0.

СИТУАЦІЯ 17: формалізований опис ситуації 17 (вектор стану 205): (V1=3) AND (V2=5) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1).

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V6:=0.

СИТУАЦІЯ 18: формалізований опис ситуації 18 (вектор стану 206): (V1=3) AND (V2=6) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1).

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V6:=0.

СИТУАЦІЯ 19: формалізований опис ситуації 19 (вектор стану 207): (V1=3) AND (V2=5) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1).

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V6:=0.

СИТУАЦІЯ 20: формалізований опис ситуації 20 (вектор стану 208): (V1=3) AND (V2=6) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1).

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V6:=0.

СИТУАЦІЯ 21: формалізований опис ситуації 21 (вектор стану 211): (V1=3) AND (V2=5) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1)

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V6:=0.

СИТУАЦІЯ 22: формалізований опис ситуації 22 (вектор стану 212): (V1=3) AND (V2=6) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1).

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V6:=0.

СИТУАЦІЯ 23: формалізований опис ситуації 23 (вектор стану 213): (V1=3) AND (V2=5) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1).

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V6:=0.

СИТУАЦІЯ 24: формалізований опис ситуації 24 (вектор стану 214): (V1=3) AND (V2=6) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1).

ФРІП: $P_{dt} * 1/t_{d.t.}$; ПМКВС: V6:=0.

ДОДАТОК Ж.
СТРУКТУРНО-АВТОМАТНА МОДЕЛЬ

Таблиця Ж.1 – Структурно-автоматна модель у вигляді опорного графа станів моделі функціональної поведінки медичного пристрою

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРІП	ПМКВС
БП1 ЗБП2	1) (V1=0) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{sst} * 1/t_{s.t.}$	V1:=1
		(1- $P_{sst})*1/t_{s.t.}$	V1:=2; V6:=0
БП3	1) (V1=2) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=0) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{sst} * 1/t_{s.t.}$	V1:=3; V6:=1
		(1- $P_{sst})*1/t_{s.t.}$	V1:=4; V6:=2
БП4	1) (V1=1) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{ao} * 1/t_{b.a.}$	V3:=1
		(1- $P_{ao})*1/t_{b.a.}$	V3:=2
	2) (V1=3) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{ao} * 1/t_{b.a.}$	V3:=1
		(1- $P_{ao})*1/t_{b.a.}$	V3:=2
БП5	1) (V1=1) AND (V2=0) AND (V3=1) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{dt} * 1/t_{d.t.}$	V2:=1
		(1- $P_{dt})*1/t_{d.t.}$	V2:=2; V9:=2
	2) (V1=1) AND (V2=0) AND (V3=2) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{dt} * 1/t_{d.t.}$	V2:=1
		(1- $P_{dt})*1/t_{d.t.}$	V2:=2; V9:=2
	3) (V1=3) AND (V2=0) AND (V3=1) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{dt} * 1/t_{d.t.}$	V2:=1
		(1- $P_{dt})*1/t_{d.t.}$	V2:=2; V9:=2
	4) (V1=3) AND (V2=0) AND (V3=2) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{dt} * 1/t_{d.t.}$	V2:=1
		(1- $P_{dt})*1/t_{d.t.}$	V2:=2; V9:=2
БП6	1) (V1=1) AND (V2=1) AND (V3=1) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{ce} * 1/t_{c.e.}$	V4:=1
		(1- $P_{ce})*1/t_{c.e.}$	V4:=2; V6:=2
	2) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{ce} * 1/t_{c.e.}$	V4:=1
		(1- $P_{ce})*1/t_{c.e.}$	V4:=2; V6:=2

Продовження таблиці Ж.1

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРПІ	ПМКВС
	3) (V1=1) AND (V2=1) AND (V3=2) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{ce} * 1/t_{c.e.}$	V4:=1
		(1- P_{ce})*1/ $t_{c.e.}$	V4:=2; V6:=2
	4) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{ce} * 1/t_{c.e.}$	V4:=1
		(1- P_{ce})*1/ $t_{c.e.}$	V4:=2; V6:=2
	5) (V1=3) AND (V2=1) AND (V3=1) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{ce} * 1/t_{c.e.}$	V4:=1
		(1- P_{ce})*1/ $t_{c.e.}$	V4:=2; V6:=2
	6) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{ce} * 1/t_{c.e.}$	V4:=1
		(1- P_{ce})*1/ $t_{c.e.}$	V4:=2; V6:=2
	7) (V1=3) AND (V2=1) AND (V3=2) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{ce} * 1/t_{c.e.}$	V4:=1
		(1- P_{ce})*1/ $t_{c.e.}$	V4:=2; V6:=2
	8) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=0) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{ce} * 1/t_{c.e.}$	V4:=1
		(1- P_{ce})*1/ $t_{c.e.}$	V4:=2; V6:=2
БП7 ЗБП9	1) (V1=1) AND (V2=1) AND (V3=1) AND (V4=1) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{pp} * 1/t_{p.p.}$	V4:=3
		(1- P_{pp})*1/ $t_{p.p.}$	V4:=4; V6:=2
	2) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=1) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{pp} * 1/t_{p.p.}$	V4:=3
		(1- P_{pp})*1/ $t_{p.p.}$	V4:=4; V6:=2
	3) (V1=1) AND (V2=1) AND (V3=2) AND (V4=1) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{pp} * 1/t_{p.p.}$	V4:=3
		(1- P_{pp})*1/ $t_{p.p.}$	V4:=4; V6:=2
	4) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=1) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{pp} * 1/t_{p.p.}$	V4:=3
		(1- P_{pp})*1/ $t_{p.p.}$	V4:=4; V6:=2
	5) (V1=3) AND (V2=1) AND (V3=1) AND (V4=1) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{pp} * 1/t_{p.p.}$	V4:=3
		(1- P_{pp})*1/ $t_{p.p.}$	V4:=4; V6:=2
	6) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=1) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{pp} * 1/t_{p.p.}$	V4:=3
		(1- P_{pp})*1/ $t_{p.p.}$	V4:=4; V6:=2
	7) (V1=3) AND (V2=1) AND (V3=2) AND (V4=1) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{pp} * 1/t_{p.p.}$	V4:=3
		(1- P_{pp})*1/ $t_{p.p.}$	V4:=4; V6:=2

Продовження таблиці Ж.1

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРП	ПМКВС
	8) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=1) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{pp} * 1/t_{p.p.}$	V4:=3
		(1- P_{pp})*1/ $t_{p.p.}$	V4:=4; V6:=2
БП8 ЗБП9	1) (V1=1) AND (V2=1) AND (V3=1) AND (V4=3) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{cp} * 1/t_{c.p.}$	V4:=5
	2) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=3) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	(1- P_{cp})*1/ $t_{c.p.}$	V4:=6; V6:=2
		$P_{cp} * 1/t_{c.p.}$	V4:=5
	3) (V1=1) AND (V2=1) AND (V3=2) AND (V4=3) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	(1- P_{cp})*1/ $t_{c.p.}$	V4:=6; V6:=2
		$P_{cp} * 1/t_{c.p.}$	V4:=5
	4) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=3) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	(1- P_{cp})*1/ $t_{c.p.}$	V4:=6; V6:=2
		$P_{cp} * 1/t_{c.p.}$	V4:=5
	5) (V1=3) AND (V2=1) AND (V3=1) AND (V4=3) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	(1- P_{cp})*1/ $t_{c.p.}$	V4:=6; V6:=2
		$P_{cp} * 1/t_{c.p.}$	V4:=5
	6) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=3) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	(1- P_{cp})*1/ $t_{c.p.}$	V4:=6; V6:=2
		$P_{cp} * 1/t_{c.p.}$	V4:=5
	7) (V1=3) AND (V2=1) AND (V3=2) AND (V4=3) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	(1- P_{cp})*1/ $t_{c.p.}$	V4:=6; V6:=2
		$P_{cp} * 1/t_{c.p.}$	V4:=5
	8) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=3) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	(1- P_{cp})*1/ $t_{c.p.}$	V4:=6; V6:=2
		$P_{cp} * 1/t_{c.p.}$	V4:=5
БП10	1) (V1=1) AND (V2=1) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	$P_{dc} * 1/t_{d.c.}$	V5:=1
	2) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	(1- P_{dc})*1/ $t_{d.c.}$	V5:=2; V6:=2
		$P_{dc} * 1/t_{d.c.}$	V5:=1
	3) (V1=1) AND (V2=1) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	(1- P_{dc})*1/ $t_{d.c.}$	V5:=2; V6:=2
		$P_{dc} * 1/t_{d.c.}$	V5:=1
	4) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	(1- P_{dc})*1/ $t_{d.c.}$	V5:=2; V6:=2
		$P_{dc} * 1/t_{d.c.}$	V5:=1

Продовження таблиці Ж.1

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРІП	ПМКВС	
	5) (V1=3) AND (V2=1) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	P _{dc} *1/t _{d.c.}	V5:=1	
		(1-P _{dc})*1/t _{d.c.}	V5:=2; V6:=2	
	6) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	P _{dc} *1/t _{d.c.}	V5:=1	
		(1-P _{dc})*1/t _{d.c.}	V5:=2; V6:=2	
	7) (V1=3) AND (V2=1) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	P _{dc} *1/t _{d.c.}	V5:=1	
		(1-P _{dc})*1/t _{d.c.}	V5:=2; V6:=2	
	8) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	P _{dc} *1/t _{d.c.}	V5:=1	
		(1-P _{dc})*1/t _{d.c.}	V5:=2; V6:=2	
	БП11	1) (V1=1) AND (V2=1) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)	P _{da} *1/t _{d.a.}	V2:=3; V9:=1
			(1-P _{da})*1/t _{d.a.}	V2:=4; V9:=2
2) (V1=1) AND (V2=1) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)		P _{da} *1/t _{d.a.}	V2:=3; V9:=1	
		(1-P _{da})*1/t _{d.a.}	V2:=4; V9:=2	
3) (V1=3) AND (V2=1) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)		P _{da} *1/t _{d.a.}	V2:=3; V9:=1	
		(1-P _{da})*1/t _{d.a.}	V2:=4; V9:=2	
4) (V1=3) AND (V2=1) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=0) AND (V10=0)		P _{da} *1/t _{d.a.}	V2:=3; V9:=1	
		(1-P _{da})*1/t _{d.a.}	V2:=4; V9:=2	
БП12 ЗБП13	1) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=0) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	P _{cd} *1/t _{c.d.}	V5:=3	
		(1-P _{cd})*1/t _{c.d.}	V5:=4; V6:=2	
	2) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	P _{cd} *1/t _{c.d.}	V5:=3	
		(1-P _{cd})*1/t _{c.d.}	V5:=4; V6:=2	
	3) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=1) AND (V10=0)	P _{cd} *1/t _{c.d.}	V5:=3	
		(1-P _{cd})*1/t _{c.d.}	V5:=4; V6:=2	
	4) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	P _{cd} *1/t _{c.d.}	V5:=3	
		(1-P _{cd})*1/t _{c.d.}	V5:=4; V6:=2	

Продовження таблиці Ж.1

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРІП	ПМКВС
	5) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{cd} * 1/t_{c.d.}$	V5:=3
		(1- $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$	V5:=4; V6:=2
	6) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{cd} * 1/t_{c.d.}$	V5:=3
		(1- $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$	V5:=4; V6:=2
	7) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{cd} * 1/t_{c.d.}$	V5:=3
		(1- $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$	V5:=4; V6:=2
	8) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{cd} * 1/t_{c.d.}$	V5:=3
		(1- $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$	V5:=4; V6:=2
	9) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{cd} * 1/t_{c.d.}$	V5:=3
		(1- $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$	V5:=4; V6:=2
	10) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{cd} * 1/t_{c.d.}$	V5:=3
		(1- $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$	V5:=4; V6:=2
	11) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{cd} * 1/t_{c.d.}$	V5:=3
		(1- $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$	V5:=4; V6:=2
	12) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=1) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{cd} * 1/t_{c.d.}$	V5:=3
		(1- $P_{cd} * 1/t_{c.d.}$	V5:=4; V6:=2
БП14 ЗБП15	1) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bd} * 1/t_{b.d.}$	V7:=1
		(1- $P_{bd} * 1/t_{b.d.}$	V6:=2; V7:=2
	2) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bd} * 1/t_{b.d.}$	V7:=1
		(1- $P_{bd} * 1/t_{b.d.}$	V6:=2; V7:=2
	3) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bd} * 1/t_{b.d.}$	V7:=1
		(1- $P_{bd} * 1/t_{b.d.}$	V6:=2; V7:=2
	4) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bd} * 1/t_{b.d.}$	V7:=1
		(1- $P_{bd} * 1/t_{b.d.}$	V6:=2; V7:=2
	5) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bd} * 1/t_{b.d.}$	V7:=1
		(1- $P_{bd} * 1/t_{b.d.}$	V6:=2; V7:=2

Продовження таблиці Ж.1

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРІП	ПМКВС
	6) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bd} * 1 / t_{b.d.}$	V7:=1
		(1- $P_{bd} * 1 / t_{b.d.}$	V6:=2; V7:=2
	7) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bd} * 1 / t_{b.d.}$	V7:=1
		(1- $P_{bd} * 1 / t_{b.d.}$	V6:=2; V7:=2
	8) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bd} * 1 / t_{b.d.}$	V7:=1
		(1- $P_{bd} * 1 / t_{b.d.}$	V6:=2; V7:=2
	9) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bd} * 1 / t_{b.d.}$	V7:=1
		(1- $P_{bd} * 1 / t_{b.d.}$	V6:=2; V7:=2
	10) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bd} * 1 / t_{b.d.}$	V7:=1
		(1- $P_{bd} * 1 / t_{b.d.}$	V6:=2; V7:=2
	11) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bd} * 1 / t_{b.d.}$	V7:=1
		(1- $P_{bd} * 1 / t_{b.d.}$	V6:=2; V7:=2
	12) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=0) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bd} * 1 / t_{b.d.}$	V7:=1
		(1- $P_{bd} * 1 / t_{b.d.}$	V6:=2; V7:=2
БП16 ЗБП17	1) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V8:=1
		(1- $P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V6:=2; V8:=2
	2) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V8:=1
		(1- $P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V6:=2; V8:=2
	3) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V8:=1
		(1- $P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V6:=2; V8:=2
	4) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V8:=1
		(1- $P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V6:=2; V8:=2
	5) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V8:=1
		(1- $P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V6:=2; V8:=2
	6) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V8:=1
		(1- $P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V6:=2; V8:=2

Продовження таблиці Ж.1

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРІП	ПМКВС
	7) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V8:=1
		(1- $P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V6:=2; V8:=2
	8) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V8:=1
		(1- $P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V6:=2; V8:=2
	9) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V8:=1
		(1- $P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V6:=2; V8:=2
	10) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V8:=1
		(1- $P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V6:=2; V8:=2
	11) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V8:=1
		(1- $P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V6:=2; V8:=2
	12) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=0) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V8:=1
		(1- $P_{bld} * 1 / t_{bl.d.}$	V6:=2; V8:=2
БП18 ЗБП19	1) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bc} * 1 / t_{b.c.}$	V7:=3
		(1- $P_{bc} * 1 / t_{b.c.}$	V6:=2; V7:=4
	2) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bc} * 1 / t_{b.c.}$	V7:=3
		(1- $P_{bc} * 1 / t_{b.c.}$	V6:=2; V7:=4
	3) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=1) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bc} * 1 / t_{b.c.}$	V7:=3
		(1- $P_{bc} * 1 / t_{b.c.}$	V6:=2; V7:=4
	4) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bc} * 1 / t_{b.c.}$	V7:=3
		(1- $P_{bc} * 1 / t_{b.c.}$	V6:=2; V7:=4
	5) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=1) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bc} * 1 / t_{b.c.}$	V7:=3
		(1- $P_{bc} * 1 / t_{b.c.}$	V6:=2; V7:=4
	6) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bc} * 1 / t_{b.c.}$	V7:=3
		(1- $P_{bc} * 1 / t_{b.c.}$	V6:=2; V7:=4
	7) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bc} * 1 / t_{b.c.}$	V7:=3
		(1- $P_{bc} * 1 / t_{b.c.}$	V6:=2; V7:=4

Продовження таблиці Ж.1

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРІП	ПМКВС
	8) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bc} * 1/t_{b.c.}$	V7:=3
		(1- $P_{bc} * 1/t_{b.c.}$	V6:=2; V7:=4
	9) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=1) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bc} * 1/t_{b.c.}$	V7:=3
		(1- $P_{bc} * 1/t_{b.c.}$	V6:=2; V7:=4
	10) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bc} * 1/t_{b.c.}$	V7:=3
		(1- $P_{bc} * 1/t_{b.c.}$	V6:=2; V7:=4
	11) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=1) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bc} * 1/t_{b.c.}$	V7:=3
		(1- $P_{bc} * 1/t_{b.c.}$	V6:=2; V7:=4
	12) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=1) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bc} * 1/t_{b.c.}$	V7:=3
		(1- $P_{bc} * 1/t_{b.c.}$	V6:=2; V7:=4
БП20 ЗБП21	1) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V8:=3
		(1- $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V6:=2; V8:=4
	2) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V8:=3
		(1- $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V6:=2; V8:=4
	3) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V8:=3
		(1- $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V6:=2; V8:=4
	4) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V8:=3
		(1- $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V6:=2; V8:=4
	5) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V8:=3
		(1- $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V6:=2; V8:=4
	6) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V8:=3
		(1- $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V6:=2; V8:=4
	7) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V8:=3
		(1- $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V6:=2; V8:=4
	8) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V8:=3
		(1- $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V6:=2; V8:=4

Продовження таблиці Ж.1

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРІП	ПМКВС
	9) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V8:=3
		(1- $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$)	V6:=2; V8:=4
	10) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V8:=3
		(1- $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$)	V6:=2; V8:=4
	11) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V8:=3
		(1- $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$)	V6:=2; V8:=4
	12) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=1) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$	V8:=3
		(1- $P_{blc} * 1/t_{bl.c.}$)	V6:=2; V8:=4
	1) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bv} * 1/t_{b.v.}$	V7:=5
		(1- $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$)	V6:=2; V7:=6
БП22 ЗБП23	2) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bv} * 1/t_{b.v.}$	V7:=5
		(1- $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$)	V6:=2; V7:=6
	3) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=3) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bv} * 1/t_{b.v.}$	V7:=5
		(1- $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$)	V6:=2; V7:=6
	4) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bv} * 1/t_{b.v.}$	V7:=5
		(1- $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$)	V6:=2; V7:=6
	5) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=3) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bv} * 1/t_{b.v.}$	V7:=5
		(1- $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$)	V6:=2; V7:=6
	6) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bv} * 1/t_{b.v.}$	V7:=5
		(1- $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$)	V6:=2; V7:=6
	7) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bv} * 1/t_{b.v.}$	V7:=5
		(1- $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$)	V6:=2; V7:=6
	8) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bv} * 1/t_{b.v.}$	V7:=5
		(1- $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$)	V6:=2; V7:=6
	9) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=3) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bv} * 1/t_{b.v.}$	V7:=5
		(1- $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$)	V6:=2; V7:=6

Продовження таблиці Ж.1

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРІП	ПМКВС
	10) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bv} * 1/t_{b.v.}$	V7:=5
		(1- $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$	V6:=2; V7:=6
	11) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=3) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bv} * 1/t_{b.v.}$	V7:=5
		(1- $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$	V6:=2; V7:=6
	12) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=3) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bv} * 1/t_{b.v.}$	V7:=5
		(1- $P_{bv} * 1/t_{b.v.}$	V6:=2; V7:=6
БП24 ЗБП25	1) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V8:=5
		(1- $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V6:=2; V8:=6
	2) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V8:=5
		(1- $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V6:=2; V8:=6
	3) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V8:=5
		(1- $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V6:=2; V8:=6
	4) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V8:=5
		(1- $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V6:=2; V8:=6
	5) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V8:=5
		(1- $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V6:=2; V8:=6
	6) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V8:=5
		(1- $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V6:=2; V8:=6
	7) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V8:=5
		(1- $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V6:=2; V8:=6
	8) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V8:=5
		(1- $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V6:=2; V8:=6
	9) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V8:=5
		(1- $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V6:=2; V8:=6
	10) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V8:=5
		(1- $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V6:=2; V8:=6

Продовження таблиці Ж.1

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРІП	ПМКВС
	11) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V8:=5
		(1- $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V6:=2; V8:=6
	12) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=3) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V8:=5
		(1- $P_{blv} * 1/t_{bl.v.}$	V6:=2; V8:=6
БП26 ЗБП27	1) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=5) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V7:=7
		(1- $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V6:=2; V7:=8
	2) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=5) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V7:=7
		(1- $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V6:=2; V7:=8
	3) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=5) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V7:=7
		(1- $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V6:=2; V7:=8
	4) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=5) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V7:=7
		(1- $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V6:=2; V7:=8
	5) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=5) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V7:=7
		(1- $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V6:=2; V7:=8
	6) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=5) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V7:=7
		(1- $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V6:=2; V7:=8
	7) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=5) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V7:=7
		(1- $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V6:=2; V7:=8
	8) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=5) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V7:=7
		(1- $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V6:=2; V7:=8
	9) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=5) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V7:=7
		(1- $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V6:=2; V7:=8
	10) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=5) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V7:=7
		(1- $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V6:=2; V7:=8
	11) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=5) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V7:=7
		(1- $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V6:=2; V7:=8

Продовження таблиці Ж.1

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРІП	ПМКВС
	12) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=5) AND (V8=5) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V7:=7
		(1- $P_{bs} * 1/t_{b.s.}$	V6:=2; V7:=8
БП28 ЗБП29	1) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=5) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V8:=7
		(1- $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V6:=2; V8:=8
	2) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=5) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V8:=7
		(1- $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V6:=2; V8:=8
	3) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=5) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V8:=7
		(1- $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V6:=2; V8:=8
	4) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=5) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V8:=7
		(1- $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V6:=2; V8:=8
	5) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=5) AND (V9=1) AND (V10=0).	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V8:=7
		(1- $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V6:=2; V8:=8
	6) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=5) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V8:=7
		(1- $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V6:=2; V8:=8
	7) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=5) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V8:=7
		(1- $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V6:=2; V8:=8
	8) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=5) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V8:=7
		(1- $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V6:=2; V8:=8
	9) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=5) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V8:=7
		(1- $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V6:=2; V8:=8
	10) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=5) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V8:=7
		(1- $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V6:=2; V8:=8
	11) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=5) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V8:=7
		(1- $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V6:=2; V8:=8
	12) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=5) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V8:=7
		(1- $P_{bls} * 1/t_{bl.s.}$	V6:=2; V8:=8

Продовження таблиці Ж.1

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРІП	ПМКВС
БП31 ЗБП32 ЗБП33 ЗБП34	1) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=7) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{in} * P_{bl} * P_{r.c.} * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=1
		$(1-P_{in}) * 1/t_{in}$	V7:=10; V8:=9; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * (1-P_{bl}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=10; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * P_{bl} * (1-P_{r.c.}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=2; V6:=2
	2) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=7) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{in} * P_{bl} * P_{r.c.} * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=1
		$(1-P_{in}) * 1/t_{in}$	V7:=10; V8:=9; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * (1-P_{bl}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=10; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * P_{bl} * (1-P_{r.c.}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=2; V6:=2
	3) V1=1) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=7) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{in} * P_{bl} * P_{r.c.} * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=1
		$(1-P_{in}) * 1/t_{in}$	V7:=10; V8:=9; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * (1-P_{bl}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=10; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * P_{bl} * (1-P_{r.c.}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=2; V6:=2
	4) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=7) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{in} * P_{bl} * P_{r.c.} * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=1

Продовження таблиці Ж.1

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРІП	ПМКВС
		$(1-P_{in}) * 1/t_{in}$	V7:=10; V8:=9; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * (1-P_{bl}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=10; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * P_{bl} * (1-P_{r.c.}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=2; V6:=2
	5) V1=1) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=7) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{in} * P_{bl} * P_{r.c.} * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=1
		$(1-P_{in}) * 1/t_{in}$	V7:=10; V8:=9; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * (1-P_{bl}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=10; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * P_{bl} * (1-P_{r.c.}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=2; V6:=2
	6) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=7) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{in} * P_{bl} * P_{r.c.} * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=1
		$(1-P_{in}) * 1/t_{in}$	V7:=10; V8:=9; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * (1-P_{bl}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=10; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * P_{bl} * (1-P_{r.c.}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=2; V6:=2
	7) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=7) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{in} * P_{bl} * P_{r.c.} * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=1
		$(1-P_{in}) * 1/t_{in}$	V7:=10; V8:=9; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * (1-P_{bl}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=10; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * P_{bl} * (1-P_{r.c.}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=2; V6:=2
	8) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=7) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{in} * P_{bl} * P_{r.c.} * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=1
		$(1-P_{in}) * 1/t_{in}$	V7:=10; V8:=9; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * (1-P_{bl}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=10; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * P_{bl} * (1-P_{r.c.}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=2; V6:=2
	9) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=7) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{in} * P_{bl} * P_{r.c.} * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=1
		$(1-P_{in}) * 1/t_{in}$	V7:=10; V8:=9; V10:=1; V6:=2

Продовження таблиці Ж.1

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРІП	ПМКВС
		$P_{in} * (1 - P_{bl}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=10; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * P_{bl} * (1 - P_{r.c.}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=2; V6:=2
	10) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=7) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{in} * P_{bl} * P_{r.c.} * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=1
		$(1 - P_{in}) * 1/t_{in}$	V7:=10; V8:=9; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * (1 - P_{bl}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=10; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * P_{bl} * (1 - P_{r.c.}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=2; V6:=2
	11) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=7) AND (V9=1) AND (V10=0)	$P_{in} * P_{bl} * P_{r.c.} * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=1
		$(1 - P_{in}) * 1/t_{in}$	V7:=10; V8:=9; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * (1 - P_{bl}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=10; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * P_{bl} * (1 - P_{r.c.}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=2; V6:=2
	12) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=7) AND (V9=2) AND (V10=0)	$P_{in} * P_{bl} * P_{r.c.} * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=1
		$(1 - P_{in}) * 1/t_{in}$	V7:=10; V8:=9; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * (1 - P_{bl}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=10; V10:=1; V6:=2
		$P_{in} * P_{bl} * (1 - P_{r.c.}) * 1/t_{in}$	V7:=9; V8:=9; V10:=2; V6:=2
БП35	1) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1/t_{d.t.}$	V2:=5
		$(1 - P_{dt}) * 1/t_{d.t.}$	V2:=6
	2) (V1=1) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1/t_{d.t.}$	V2:=5
		$(1 - P_{dt}) * 1/t_{d.t.}$	V2:=6

Продовження таблиці Ж.1

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРІП	ПМКВС
	3) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1/t_{d.t.}$	V2:=5
		(1- P_{dt})*1/ $t_{d.t.}$	V2:=6
	4) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1/t_{d.t.}$	V2:=5
		(1- P_{dt})*1/ $t_{d.t.}$	V2:=6
	5) (V1=1) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1/t_{d.t.}$	V2:=5
		(1- P_{dt})*1/ $t_{d.t.}$	V2:=6
	6) (V1=1) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1/t_{d.t.}$	V2:=5
		(1- P_{dt})*1/ $t_{d.t.}$	V2:=6
	7) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1/t_{d.t.}$	V2:=5
		(1- P_{dt})*1/ $t_{d.t.}$	V2:=6
	8) (V1=3) AND (V2=2) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1/t_{d.t.}$	V2:=5
		(1- P_{dt})*1/ $t_{d.t.}$	V2:=6
БП36	9) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1/t_{d.t.}$	V2:=5
		(1- P_{dt})*1/ $t_{d.t.}$	V2:=6
	10) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1/t_{d.t.}$	V2:=5
		(1- P_{dt})*1/ $t_{d.t.}$	V2:=6
	11) (V1=3) AND (V2=3) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1/t_{d.t.}$	V2:=5
		(1- P_{dt})*1/ $t_{d.t.}$	V2:=6
	12) (V1=3) AND (V2=4) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1/t_{d.t.}$	V2:=5
		(1- P_{dt})*1/ $t_{d.t.}$	V2:=6
	1) (V1=1) AND (V2=5) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1/t_{d.t.}$	V6:=0
БП36	2) (V1=1) AND (V2=6) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1/t_{d.t.}$	V6:=0
	3) (V1=1) AND (V2=5) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1/t_{d.t.}$	V6:=0

Продовження таблиці Ж.1

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРІП	ПМКВС
	4) (V1=1) AND (V2=6) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt}^*1/t_{d.t.}$	V6:=0
	5) (V1=1) AND (V2=5) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1)	$P_{dt}^*1/t_{d.t.}$	V6:=0
	6) (V1=1) AND (V2=6) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=7) AND (V8=7) AND (V9=1) AND (V10=1)	$P_{dt}^*1/t_{d.t.}$	V6:=0
	7) (V1=1) AND (V2=5) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt}^*1/t_{d.t.}$	V6:=0
	8) (V1=1) AND (V2=6) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt}^*1/t_{d.t.}$	V6:=0
	9) (V1=1) AND (V2=5) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1)	$P_{dt}^*1/t_{d.t.}$	V6:=0
	10) (V1=1) AND (V2=6) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1)	$P_{dt}^*1/t_{d.t.}$	V6:=0
	11) (V1=1) AND (V2=5) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt}^*1/t_{d.t.}$	V6:=0
	12) (V1=1) AND (V2=6) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt}^*1/t_{d.t.}$	V6:=0
	13) (V1=3) AND (V2=5) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt}^*1/t_{d.t.}$	V6:=0
	14) (V1=3) AND (V2=6) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt}^*1/t_{d.t.}$	V6:=0
	15) (V1=3) AND (V2=5) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt}^*1/t_{d.t.}$	V6:=0
	16) (V1=3) AND (V2=6) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt}^*1/t_{d.t.}$	V6:=0
	17) (V1=3) AND (V2=5) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1)	$P_{dt}^*1/t_{d.t.}$	V6:=0
	18) (V1=3) AND (V2=6) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1)	$P_{dt}^*1/t_{d.t.}$	V6:=0

Продовження таблиці Ж.1

БП	Опис ситуацій, в яких відбуваються БП	ФРІП	ПМКВС
	19) (V1=3) AND (V2=5) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$	V6:=0
	20) (V1=3) AND (V2=6) AND (V3=1) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$	V6:=0
	21) (V1=3) AND (V2=5) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$	V6:=0
	22) (V1=3) AND (V2=6) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=1) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$	V6:=0
	23) (V1=3) AND (V2=5) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$	V6:=0
	24) (V1=3) AND (V2=6) AND (V3=2) AND (V4=5) AND (V5=3) AND (V6=1) AND (V7=9) AND (V8=9) AND (V9=2) AND (V10=1)	$P_{dt} * 1 / t_{d.t.}$	V6:=0