

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

Дегтярьова Анастасія Олегівна

УДК 629.3:618.5.01(043)

ДИСЕРТАЦІЯ

**ВИБІР І ОПТИМІЗАЦІЯ НАДІЙНИХ СТРУКТУР ІНФОРМАЦІЙНО-
УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ НА ТРАНСПОРТІ**

05.13.06 – Інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

_____ А.О. Дегтярьова

Науковий керівник
Аль-Амморі Алі Нурддинович
Доктор технічних наук, професор

Ідентичність усіх примірників дисертації
Засвідчую

Вчений секретар

Спеціалізованої вченої ради Д 26.059.01

_____ О.І. Мельниченко

Київ

2021

АНОТАЦІЯ

Дегтярьова А. О., Вибір і оптимізація надійних структур інформаційно-управляючих систем на транспорті. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології» – Національний транспортний університет МОН України, Київ, 2021.

Дисертаційна робота присвячена актуальній науково-технічній задачі вибору і оптимізації надійних структур ІУС на транспорті, з метою підвищення ефективності роботи ІУС сигналізації про пожежу. Вирішення поставлених завдань пропонується з використанням ймовірнісно-статистичних методів прийняття рішення в ОПС.

Проведено аналіз існуючих ІУС сигналізації та визначено основні недоліки. На основі статистичного аналізу визначено, що найнебезпечніші види пожежі, це пожежі всередині авіаційних двигунів і титанові пожежі. Статистична частка пожеж серед інших авіаційних подій характеризується значною величиною (до 12%) і ця частка має стабільний характер. Показано що, система сигналізації про пожежу повітряного судна є критичною з точки зору відмовостійкості, надійності, безпеки польотів та ефективності. Навіть помилкова відмова систем сигналізації про пожежу передбачає зміну плану польоту і відключення працюючого двигуна, що викликає втрату тяги. Тому можна класифікувати пожежі ПС як складні події, які можуть привести до виникнення аварії та катастрофи.

Розроблено інформаційно-математичні моделі підвищення достовірності інформації за допомогою паралельного інформаційного резервування інформаційно-управляючих систем і показано що, спосіб паралельного резервування інформації істотно знижує ймовірність невиявлення ситуації і мало впливає на зниження ймовірності помилкової тривоги. Для одночасного зниження ймовірностей невиявлення і помилкової тривоги, пропонується в роботі застосування принципів мажоритарної логіки. Математична обробка і

схеми вибору компонентів рішення, проводяться за допомогою навчальної програми. Таким чином, для кожної комбінації числа датчиків та числа мажоритарності проводиться вибір складових ймовірностей правильного виявлення, невиявлення і помилкової тривоги.

Розроблено логіко-математичну модель розпізнавання пожеж авіадвигунів на повітряних судах, алгоритм і програму вибору та оптимізації структур локалізації і розпізнавання небезпечних польотних ситуацій. Розроблені алгоритм і програми аналізу, вибору і оптимізації структур системи сигналізації про пожежу та подібних ІУС на транспорті, створюють інформаційну базу для вирішення подібних завдань на всіх етапах життєвого циклу об'єктів нової техніки. Основним критерієм для оптимізації виступає максимізація ймовірності правильного виявлення та мінімізація ймовірностей помилкової тривоги і невиявлення.

Розроблено програму та алгоритм вибору оптимальної структури надійних ІУС з урахуванням реальних надійнісних характеристик датчиків ІУС сигналізації. Наведений аналіз інформаційних структур систем сигналізації про пожежу дозволяє обґрунтовано підійти до формування загальної структури системи, що задовольняє вимогам нормативно-технічних документів по експлуатації, і визначити оптимальні принципи розподілу потоків інформації між автоматикою і екіпажем.

Ключові слова: інформаційні технології, інформаційно-управляючі системи, достовірність інформації, система сигналізації про пожежу, оптимізація структур ІУС, надійність, безпека.

Abstract

Degtiarova A.O., Selection and optimization of reliable structure information control systems in transport. - The manuscript.

Thesis for Candidate of Technical Science degree in the specialty 05.13.06 "Information Technology" - National Transport University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to the actual scientific and technical problem of choice and optimization of reliable structure of information control systems in transport, with aim to increase the work efficiency of information control systems of fire alarm systems. The solution of the set tasks is offered with use of probabilistic and statistical methods of decision-making in special flight situations.

The analysis of the existing alarm information control systems are conducted and the main shortcomings are defined. Based on statistical analysis, it has been determined that the most dangerous types of fires are fires inside aircraft engines and titanium fires. The statistical share of fires among other aviation events is characterized by a significant value (to 12%), unfortunately, this share has stable character. It is shown that the aircraft fire alarm system is critical in terms of fault tolerance, reliability, flight safety and efficiency. Even the erroneous failure of fire alarm systems involves a change of flight plan and shutdown of the running engine, which causes loss of traction. Therefore, aircraft fires can be classified as complex events that can lead to accidents and catastrophes.

Information-mathematical models of information reliability increasing by means of parallel information redundancy of information-control systems are developed and it is shown that the method of parallel information redundancy significantly reduces the probability of non-detection of the situation and has little effect on reducing the probability of false alarm. To simultaneously reduce the probabilities of non-detection and false alarm, it is proposed to apply the principles of majority logic. Mathematical processing and schemes for selecting the components of the solution are carried out using the curriculum. Thus, for each combination of the number of

sensors and the majority number, the choice of the component probabilities of correct detection, non-detection and false alarm is made.

A logical-mathematical model of aircraft engine fire detection on aircraft, algorithm and program for selection and optimization of localization structures and recognition of dangerous flight situations have been developed. Developed algorithm and programs for analysis, selection and optimization of fire alarm system structures and similar information and control systems in transport, create an information base for solving similar problems at all stages of the life cycle of new equipment. The main criterion for optimization is to maximize the probability of correct detection and minimize the probability of false alarms and non-detection.

The program and algorithm for selecting the optimal structure of reliable information and control systems, taking into account the real reliable characteristics of sensors of information and control alarm systems have been developed. The analysis of information structures of fire alarm systems allows to reasonably approach the formation of the overall structure of the system that meets the requirements of technical documentation for operation, and to determine the optimal principles of distribution of information flows between automation and crew.

Keywords: information technologies, information control systems, reliability of information, fire alarm system, optimization of ICS structures, reliability, security.

СПИСОК РОБІТ, ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

**Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені
до міжнародних наукометричних баз**

1. Аль-Аммори Али. Полипараметрический принцип распознавания пожаров авиадвигателей / Али Аль-Аммори, А.О. Дегтярева, А.Е. Ключан, Хафед И.С. Абдулсалам // Systemy i srodki transportu samochodowego. Badania i technologia silnikow spalinowych: wybrane zagadnienia. / Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Lukasiewicza. – Rzeszowska: Transport, 2017. Monografia nr. 9. – С. 7-14.
2. Al-Ammouri, A. Development of a mathematical model of information serial redundancy of management information systems of the aircraft fire alarm / A. Al-Ammouri, P. Dyachenko, A. Degtiarova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 2, Issue 9 (86). – P. 4–10. doi: 10.15587/1729-4061.2017.96296.
3. Al-Ammouri Ali Probabilistic models reliability of information and control systems / Ali Al-Ammouri, H. A. Al-Ammori, A. E. Klochan, A. O. Degtiarova // Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics. – 2018. – № 3(1), P. 60-69. doi:10.14254/jsdtl.2018.3-1.6.
4. Аль-Аммори Али Логико-математические основы создания информационно-факторных технологий как нового вида процессных технологий / Али Аль-Аммори, Х.А. Аль-Аммори, А.О. Дегтярьова, А.Є. Ключан, Я.А. Лудченко // Slovak international scientific journal – Bratislava, 2018. — № 22 Vol. 1. – С. 12 – 17.
5. Дегтярева А.О. Математическая модель распознавания пожаров авиадвигателей/ А.О. Дегтярева // The scientific heritage – 2019. –Hungary, № 34 P.1. – P. 37 – 43.
6. Дегтярева А.О. Анализ структур сигнализации о пожаре внутри авиадвигателей воздушных судов/ А.О. Дегтярьова // Slovak international scientific journal – Bratislava, 2080. — № 47 Vol. 2. – С. 33 – 36.

Статті у наукових фахових виданнях

7. Al-Ammouri Ali Estimation the Information Reservation Effectiveness of Unmanned Aerial Vehicle Information-Control System / Ali Al-Ammouri, A. O. Degtiarova, H.A. Al-Ammori, A. E. Klochan, O.P. Tymchenko // Electronics and control systems. – 2017. – - № 4(54). – P. 18 – 26.

8. Аль-Аммори Х.А. Статистическая оценка технологической сложности особых случаев в полете по сводкам аварийных контрольных карт / Х.А. Аль-Аммори, А.О. Дегтярева, А.Е. Клочан // Вісник Національного транспортного університету. Серія "Технічні науки". Науково-технічний збірник. - К.: НТУ, 2018. - Вип. 1(40). - С. 3-10.

Опубліковані праці апробаційного характеру

9. Дегтярева А.О. Информационные технологии анализа статистических данных о пожарах на борту воздушных судов / А.О. Дегтярева // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. – 2016. – №4. С. 132 – 139.

10. Комп'ютерна програма «Вибір і оптимізація структур інформаційно-резервованої системи первинних датчиків пожежної сигналізації»: А.с. № 80403 від 23.07.2018/ Алі Аль-Амморі, А.О. Дегтярьова, Х.А. Аль-Амморі, А.Є. Клочан, Хафед І.С. Абдулсалам, І.М. Верховецька.

11. Спосіб виявлення пожежі авіадвигуна повітряного судна: пат. 131528 Україна: МПК G08B 19/00 / Аль-Амморі Алі, Клочан А.Є., Аль-Амморі Х.А., Дегтярьова А.О., Верховецька І.М., Хафед І.С. Абдулсалам, Тимченко О.П. - № u201805397; заявл. 15.05.2018; опубл. 25.01.2019, Бюл. № 2 – 4 с.

12. Al-Ammouri A. Optimization Structures of Onboard Aircraft Navigation Systems / Ali Al-Ammouri, A.O. Kasyanenko, H.A. Al-Ammouri, A.O. Degtiarova // Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC): Proceedings of 2016 IEEE 4th International Conference, October, 18-20, 2016, Kyiv, Ukraine / National Aviation University. – Kyiv, 2016. – P. 288-290.

13. Аль-Амморі Алі. Вибір і оптимізація структур інформаційно-управляючих систем на транспорті /Алі Аль-Амморі, Дегтярьова А.О.// LXXIII

наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, 17-19 травня 2017 р., м. Київ: тез. доп. / Національний транспортний університет. – К.: НТУ, 2017. – С. 91

14. Аль-Аммори Алі. Математическая модель параллельного информаци-онного резервирования информационно-управляющих систем / Алі Аль-Аммори, А.О. Дегтярева, А.Е. Клочан, Хафед И.С. Абдулсалам // Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі: Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених, 19-20 квітня 2017 р., М. Чернігів: тези доп. / Чернігівський національний технологічний університет. – Чернігів: Чернігівський національний технологічний університет, 2017. – С. 127-129.

15. Аль-Амморі Алі. Теоретические основы исследования механизма возникновения зон неопределенностей при контроле параметров функционирования информационно-управляющих систем воздушных судов / Алі Аль-Амморі, А.Є. Клочан, А.О. Дегтярьова, Хафед И.С. Абдулсалам // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2017): десята міжнародна науково-практична конференція 16-17 травня 2017 року, м. Київ, Україна: збірка тез. / Національний авіаційний університет. – К.: НАУ, 2017. – С. 38-40.

16. Аль-Аммори Али. Методы информационного резервирования / Али Аль-Аммори, А.О. Дегтярева, И.С. Хафед Абдулсалам // IT-Перспективи: тези доповідей четвертої науково-практичної конференції, 22 квітня 2017 р., Кременчук, Україна / Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2017. – С. 13-15.

17. Al-Ammouri Ali Estimation the Efficiency of Information-Control Systems of UAV / Ali Al-Ammouri, A.O. Degtiarova, A. E. Klochan, H.A. Al-Ammori // Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments

(APUAVD): Proceedings of 2017 IEEE 4th International Conference, October, 17-19, 2017, Kyiv, Ukraine / National Aviation University. – Kyiv, 2017. – P. 200-203.

18. Аль-Аммори Али Механизмы формирования информационных параметров функционирования информационно-управляющих систем воздушных судов / Али Аль-Аммори, А.О. Дегтярева, Х.А. Аль-Аммори // Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали VI міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 12-13 квітня 2018 р., Вінниця, Україна / Вінницький національний технічний університет [та інші]. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – С. 5 – 6.

19. Аль-Амморі Х.А. Оптимізація числа статистичних випробувань байєсівським методом / Х.А. Аль-Амморі, А.О. Дегтярьова // LXXIV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, 16-18 травня 2018 р., м. Київ: тез. доп. / Національний транспортний університет. – К.: НТУ, 2018. – С. 91.

20. Аль-Амморі Х.А. Математична модель послідовного інформаційного резервування інформаційно-управляючих систем пожежної сигналізації повітряних суден / Х.А. Аль-Амморі, А.О. Дегтярьова // LXXIV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, 16-18 травня 2018 р., м. Київ: тез. доп. / Національний транспортний університет. – К.: НТУ, 2018. – С. 91.

21. Аль-Амморі Алі. Математична модель паралельного інформаційного резервування інформаційно-управляючих систем повітряних суден / Алі Аль-Амморі, Х.А. Аль-Амморі, А.О. Дегтярьова // LXXIV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, 16-18 травня 2018 р., м. Київ: тез. доп. / Національний транспортний університет. – К.: НТУ, 2018. – С. 91-92.

22. Al-Ammouri Ali Logic-Mathematical Model for Recognition the Dangerous Flight Events / A. Al-Ammouri, A. Klochan, H. Al-Ammori, A. Degtiarova // Data Stream Mining & Processing (DSMP): Proceedings of IEEE Second International Conference, August 21-25, 2018, Lviv, Ukraine. – Kyiv, 2018. – P.468 – 472.

23. Аль-Аммори Али Оптимизация структур информационного резервирования / Али Аль-Аммори, Х.А. Аль-Аммори, А.О. Дегтярёва // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2017): десята міжнародна науково-практична конференція 22-23 травня 2018 року, м. Київ, Україна: збірка тез. / Національний авіаційний університет. – К.: НАУ, 2018. – С. 65-66.

24. Аль-Амморі Х.А. Інформаційно-факторні технології розгортання прогнозу на етапі експлуатації літаків нового покоління/ Х.А. Аль-Амморі, А.Є. Клочан, А.О. Дегтярьова // LXXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, 15-17 травня 2019 р., м. Київ: тез. доп. / Національний транспортний університет. – К.: НТУ, 2018. – С. 93.

25. Дехтяр М.М. Оцінка інформаційного резервування систем сигналізації небезпечних польотних ситуацій / М.М. Дехтяр, А.О. Дегтярьова, А.О. Семаєва // LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, 15-17 травня 2020 р., м. Київ: тез. доп. / Національний транспортний університет. – К.: НТУ, 2020. – С. 93.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
СПИСОК РОБІТ, ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	6
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	13
ВСТУП	15
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СТРУКТУР ПРОТИПОЖЕЖНИХ СИСТЕМ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ НОВИХ СИСТЕМ НА ПС	24
1.1. Загальні характеристики видів пожеж та класифікація систем пожежогасіння, з урахуванням перших моментів і фаз розвитку пожежі, на ПС	24
1.2. Основні критичні моменти в експлуатації датчиків ССП	34
1.3. Інформаційна модель аналізу пожеж силової установки ПС	43
1.4. Перспективи розвитку бортових систем пожежної сигналізації	56
Висновки по 1 розділу	58
РОЗДІЛ 2 ІНФОРМАЦІЙНО-СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПОЖЕЖНОЇ СИТУАЦІЇ НА ПОВІТРЯНИХ СУДАХ	61
2.1 Інформаційні технології аналізу статистичних даних про пожежі на борту повітряних суден	61
2.2 Аналіз структур сигналізації про пожежу всередині авіадвигунів ПС	73
2.3 Фізичні та інформаційні основи виникнення та розвитку титанових пожеж авіадвигунів	77
2.4. Статистична оцінка технологічної складності особливих випадків в польоті по зведеннях аварійних контрольних карток	86
Висновки по розділу 2.	96
РОЗДІЛ 3 ІНФОРМАЦІЙНО-МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ПАРАЛЕЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО РЕЗЕРВУВАННЯ ІУС ПС	99
3.1 Фізико-інформаційні умови виникнення помилок контролю параметрів функціонування ІУС	99
3.1.1. Основні поняття і види інформаційного резервування ІУС	99
3.1.2. Механізм виникнення помилок контролю параметрів функціонування ІУС	101
3.1.3. Інформаційно-імовірнісна модель функціонування ІУС сигналізації	102
3.1.4 Способи утворення зон невизначеності спрацювання датчиків	105
3.2 Геометричне уявлення системних ймовірностей контролюваного явища в інформаційно-керуючих системах	108

3.3 Логіко-математична модель розпізнавання пожеж авіадвигунів на повітряних судах	113
3.3.1. Система збору інформації з двох ДІ	113
3.3.2. Система збору інформації з трьох ДІ	116
3.3.3. Система збору інформації з чотирьох ДІ	119
3.3.4. Система збору інформації з п'яти ДІ	125
Висновки по розділу 3	140
РОЗДІЛ 4 ВИБІР І ОПТИМІЗАЦІЯ НАДІЙНИХ СТРУКТУР ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ	141
4.1 Оцінка інформаційного резервування інформаційно-керуючих систем сигналізації	141
4.2 Вибір оптимальної структури надійних інформаційно-керуючих систем сигналізації	148
4.3 Розробка математичної моделі вибору і оптимізації структур інформаційно-керуючих систем	155
4.4. Алгоритм визначення типу структури інформаційно-резервованої системи первинних датчиків пожежної сигналізації	157
4.5. Результати розрахунку визначення типу структури інформаційно-резервованої системи сигналізації про пожежу	158
Висновки до розділу 4	166
Список використаних джерел	170
Додаток А	183
Додаток Б	191
Додаток В	204
Додаток Г	215

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АД – авіаційний двигун;
АНТК – авіаційно-науково технічний комплекс;
АК – авіаційна катастрофа;
АКК – аварійна контрольна карта;
АП – авіаційна пригода;
АС – аварійна ситуація;
БГО – багажно-вантажний відсік;
БКУ СПЗ – блок контролю і управління системою пожежного захисту;
БП – безпека польотів;
БПР – бортовий пристрій реєстрації;
БПСК – блок перетворення сигналів і контролю;
БСТО – бортова система технічного обслуговування;
БФІ – багатофункціональний індикатор;
ГТД – газотурбінний двигун;
ДД – датчик диму;
ДІ – джерела інформації;
ДСУ – допоміжна силова установка;
ЕРС – електрорушійна сила;
ЕТХ – експлуатаційно-технічні характеристики;
ЗК СПЗ - запобіжний клапан системи пожежного захисту;
И – інерційний спай;
ИУС – інформаційно-управляюча система;
ІП – іонізаційний проміжок;
ІФА – інформаційно-факторний аналіз;
КВТ – компресор високого тиску;
КІСС – комплексний індикатор систем и сигналізації;
КЛЕ – керівництво з льотної експлуатації;
КНТ – компресор низького тиску;
КОФ – комплекс операцій і функцій;
КПС – командир повітряного судна;
КС – катастрофічна ситуація;
КСЕІС – комплексна система електронної індикації і сигналізації;
ЛАЕК – літаючий автоматизований електронний комп'ютер;
ЛТД – Лінійні теплові датчики;

ЛТХ – льотно-технічні характеристики;
МИ – малоінерційний спай;
МРУ – маршова рухова установка;
МСТВ – малогабаритний сигналізатор тиску вібростійкий;
НЛПЛ – норми льотної придатності літака;
НПС – небезпечна польотна ситуація;
НТД – нормативно-технічна документація;
ПК – пульт контролю;
ПНК – пілотажно-навігаційний комплекс;
ПОС СПЗ – пристрій обробки сигналів системи пожежного захисту;
ППЛС – програма підготовки льотного складу;
ППС – протипожежна система;
ПС – повітряне судно;
РНА – реверсний направляючий апарат;
САС – система аварійної сигналізації;
СД – сигналізатор диму;
СЕИ система електронної індикації;
СПГ – систем пожежогасіння;
СПЗ – система пожежного захисту;
СПС БВВ – система пожежної сигналізації багажно-вантажних відсіків;
СС – складна ситуація;
ССП – система сигналізації про пожежу;
СУ – силова установка;
СУЗЛО – система управління загальнолітаковим обладнанням;
ТД – трубчастий датчик;
ТПАП – технологія процесного аналізу польоту;
УРБП управління ризиками для безпеки польотів;
УСП-2 – універсальний сигналізатор пожежі;
УУП – ускладнення умов польоту;
ФС – функціональна система;
ICAO – International Civil Aviation Organization;
FAR – Federal Aviation Regulations;
MSG – Maintenance Steering Group;
SFP – Standard Flight Procedures;

ВСТУП

Актуальність теми дисертації. В даний час авіація є однією з найбільш результативних галузей сфери транспорту. Однак, відмови функціональних систем і збої авіоніки, а також відмови пов'язані з людським фактором можуть призвести до авіаційних пригод (АП) і авіакатастроф (АК). Ці негативні фактори знижують рівень безпеки польотів (БП) і ефективність експлуатації повітряного судна (ПС). Особливо велике зниження ефективності і БП спостерігається при пожежах ПС коли ситуація стає небезпечною і вимагає термінового втручання екіпажу ПС та прийняття правильних рішень для зупинки розвитку пожежі та її ліквідації. Безумовно, одним з найнебезпечніших видів пожежі на ПС є пожежа авіадвигунів (АД). Тому боротьба з пожежами АД і організація заходів з питань ліквідації пожеж шляхом наукових досліджень є актуальним завданням, яке вимагає спеціального підходу для його вирішення.

За даними міжнародної організації цивільної авіації (International Civil Aviation Organization) ICAO, розподіл АП за причиною виникнення має наступний вид – 20% з вини авіатехніки і 80% – людський чинник. Це стосується і аварійності при пожежах – 80% всіх катастроф так чи інакше пов'язані з діями екіпажу. Таким чином, пожежа – це небезпечна польотна ситуація, яка відноситься до класу проблемних ситуацій. Пожежа як явище для екіпажу є малоймовірним, несподіваним і швидкоплинним. Тому його ліквідація вимагає своєчасного втручання екіпажу. Ці труднощі виникають через невизначеність пожежі як за часом (першого моменту виникнення пожежі), так і за місцем виникнення, а також за видом пожежі (звичайна пожежа всередині двигуна чи титанова пожежа двигуна) [1,2,3,4,5,6,7].

Аналіз світової статистики АП показує, що пожежі в повітрі [8,9,10,11,12,13,14], становлять близько 10% із загальної статистики АП. Відповідно до статистики Transportation Safety Board of Canada, частка пожеж складає 12% з загальної кількості АП за період з 2009 р. по 2019 р. Оскільки

пожежі на ПС, як правило, носять фатальний характер, то така частка пожеж серед статистики АП є дуже високою. Для вирішення такої актуальної проблеми необхідно забезпечити екіпаж достовірною та своєчасною інформацією про стан функціональних систем (ФС) ПС, особливо інформаційно-управляючих систем (ІУС). Ефективність функціонування ІУС істотно залежить від достовірності інформації, що надходить на входи ІУС.

Відомо, що ефективність і якість управління технологічними процесами істотно залежить від достовірності інформації, що надходить на входи управляючих систем, від різного роду датчиків та систем вимірювання, які контролюють стан і хід виконання технологічного процесу. Збої можуть відбуватися як в апаратній частині датчиків, так і в програмному забезпеченні, або в структурі побудови ФС як це сталося з Boeing 737 MAX, польоти яких були припинені в березні 2019 року в зв'язку з тим, що менш ніж за рік розбилися два літаки цього типу. Перший - в Індонезії в жовтні 2018 року, другий - в Ефіопії в березні 2019 року. Загальна кількість осіб, що загинули в двох авіакатастрофах складає 346 осіб [15].

Таким чином, рішення подібних проблем має світовий характер і потребує вирішення за допомогою математико-фізичних методів із залученням сучасних інформаційних технологій.

Реальні датчики характеризуються кінцевою точністю представлення контрольованого ними параметра. При цьому точність і достовірність інформації визначається як конструктивними особливостями, так і технічною надійністю датчиків і, як правило, не задовольняють або слабо задовольняють нормам щодо точності і достовірності інформації, що подається на входи обчислювальних систем управління технологічними процесами.

Відомо, що вимоги нормативно-технічної документації (НТД) з експлуатації ПС і систем, при їх використанні за призначенням, допускають певні рівні виникнення особливої польотної ситуації (ОПС) на годину нальоту [16,17,18,19]:

- ускладнені умови польоту (УУП) $P_{ууп} < 10^{-3} \text{ 1/год};$

- складна ситуація (СС)	$P_{cc} < 10^{-5} \text{ 1/год};$
- аварійна ситуація (АС)	$P_{ac} < 10^{-7} \text{ 1/год};$
- катастрофічна ситуація (КС)	$P_{kc} < 10^{-9} \text{ 1/год};$
- функціональна відмова	$P_{фв} < 10^{-7} \text{ 1/год}.$

Пожежа як небезпечна польотна ситуація, завжди несе максимальне навантаження на екіпаж, а ймовірність небезпеки його появи класифікується як СС яка дуже швидко може переходити в АС і КС. Безумовно, якість системи сигналізації про пожежу (ССП) безпосередньо впливає на рівень безпеки польоту ПС, в тому числі на властивості системи "екіпаж-ПС".

Як правило, з огляду на порівняно невисокий рівень якості ССП і надзвичайно високу складність функції прийняття рішення екіпажем, пожежі двигунів поки що пов'язані з аварійними і катастрофічними ситуаціями. Це викликано тим, що існуючі системи ССП за своєю якістю мають цілий ряд недоліків:

- невисокий рівень надійності;
- висока ймовірність невиявлення і помилкових спрацювань;
- відсутність спеціальних пристроїв розпізнавання пожежі в перший момент її виникнення;
- утворення значних невизначеностей при прийнятті рішення екіпажем.

За даними різних джерел [20,21,22], кількість помилкових спрацювань сигналізації про пожежу перевищило кількість нормальних спрацювань в 3 рази. Таким чином, проблема боротьби з пожежами авіадвигунів і розробка способів підвищення ефективності їх розпізнавання є однією з актуальних проблем, яка вимагає різнобічного підходу до вирішення з використанням математичного моделювання та інформаційних технологій.

Відсутність багаторічного прогресу в її вирішенні, наявність тенденції зростання числа пожеж, показує необхідність створення принципово нового підходу до вирішення цієї проблеми, з новими логічними і теоретичними передумовами.

В даний час вирішено досить багато завдань по оптимізації надійності складних технічних систем: оптимізація елементної надійності, режимної, схемної і структурної надійності, оптимального резервування з залученням теорії і методів технічної кібернетики, експлуатації складних систем, системотехніки, системного аналізу, процесного аналізу, теорії прийняття рішення, інформатики, прикладної математики та елементів інформаційних технологій. Дослідженню вище зазначеної проблеми присвячені роботи Колмогорова А.М., Глушкова В.М., Гнеденка Б.В., Ушакова І.О., Денисова В.Г., Комарова А.О., Ломова Б.Ф., Сіндєєва І.М., Кунцевича В.П., Скурихіна В.І., Анцеловича Л.Л., Буловського П.І, Зайденберга М.Г., Вентцель О.С., Новожилова Г.В., Федорова С.М., Рябініна І.О., Горського Л.К., Волкова Л. І., Райкіна А.Л., Кривенцева В.І., Барлоу Р., Прошан Ф., Дмитриченка М.Ф., Дмитрієва М.М., Данчука В.Д., Соломенцева О.В., Кулика М.С., Корченка О.Г., Снитюка В.Є., Цюцюри М.І., Воробйова В.М., Левковця П.Р., Гамеляка І.П., Прокудина Г.С., Аль-Амморі Алі та інших [23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33]. У той же час, лише невелика кількість робіт присвячена забезпеченню надійності, живучості, ефективності ІУС, які безпосередньо впливають на БП і ефективність експлуатації ПС. Таким чином, завдання залишається актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукові результати роботи отримані при виконанні науково-дослідної теми Національного транспортного університету за темою «Інформаційне і алгоритмічне забезпечення в процесах управління системи організаційного типу»: етапу 4 «Розробка інформаційно-логічних моделей предметної області в процесах управління систем організаційного типу» та етапу 5 «Розробка алгоритмів інформаційного забезпечення в процесах управління систем організаційного типу та їх реалізації». Дисертаційна робота виконана відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року, затвердженої Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р, Дос 10004 ІКАО «Глобальний план забезпечення безпеки

польотів 2017 – 2019 рр.» та Doc 10004 ICAO «Глобальний план забезпечення безпеки польотів 2020 – 2022 рр.»).

Мета дисертаційної роботи полягає у виборі і оптимізації надійних структур інформаційно-управляючих систем сигналізації про пожежу ПС за допомогою інформаційних технологій, з метою підвищення ефективності локалізації і розпізнавання таких небезпечних явищ як пожежа всередині двигуна і титанова пожежа.

Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні завдання:

1. Аналіз існуючих структур систем сигналізації про пожежу, для виявлення основних недоліків цих систем і шляхи їх усунення.

2. Побудова інформаційної моделі аналізу пожежної ситуації силової установки ПС і проведення розслідування катастрофи пов'язаної з пожежною небезпечною ситуацією.

3. Проведення інформаційно-статистичного аналізу і статистичної оцінки технологічної складності функціонування ССП ПС.

4. Розробка інформаційно-математичних моделей підвищення достовірності інформації за допомогою паралельного інформаційного резервування ІУС ПС.

5. Побудова логіко-математичної моделі розпізнавання пожеж авіадвигунів на повітряних судах, алгоритму і програми вибору та оптимізації структур локалізації і розпізнавання небезпечних польотних ситуацій.

6. Вибір оптимальної структури надійної ІУС сигналізації за допомогою розробленої програми з урахуванням реальних надійнісних характеристик датчиків ІУС сигналізації.

Об'єкт дослідження - процес інформаційно-технологічного забезпечення вибору і оптимізації надійних інформаційно-управляючих структур систем сигналізації.

Предметом дослідження є моделі і методи вибору і оптимізації інформаційно-управляючих систем сигналізації літаків різного покоління.

Гіпотеза. Якщо проаналізувати перші моменти виникнення небезпечних польотних ситуацій, відмов і збоїв ІУС ПС, то можна з високою точністю локалізувати і усунути небезпечні польотні ситуації, відмови і збої ІУС ПС, а також підвищити надійність, живучість, ефективність та безпеку польотів.

Методи дослідження засновані на апараті теорії ймовірностей і математичної статистики, теорії інформації, методах оптимізації і алгебри логіки. Реалізація цих підходів в роботі проведена через математичне моделювання процесів визначення ймовірнісних характеристик, зон невизначеностей і помилок при роботі датчиків, розкриття природи відмов в ІУС ССП, інформаційне резервування та інформаційні технології вибору і оптимізації структур ІУС.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

Вперше :

- запропонована математична модель вибору і оптимізації структур ІУС сигналізації як основа для проектування і створення ІУС літаків нового покоління з метою уникнення, так званих, електронних катастроф.

Удосконалено:

- математико-інформаційну модель виникнення зон невизначеностей і помилок контролю параметрів функціонування ІУС та на основі цієї моделі отримане геометричне уявлення системних ймовірностей контролюваного явища в ІУС.

Набуло подальшого розвитку:

- логіко-математична модель розпізнавання пожеж авіадвигунів на повітряних судах, для N-кількості датчиків як для рівноймовірних, так і для різноймовірних характеристик датчиків інформації.

Практична цінність дисертаційної роботи полягає в тому, що запропоновані математичні моделі дозволяють розширити можливості вибору і оптимізації структур ІУС з урахуванням технічних і економічних витрат при їх створенні.

Найбільш вагомі результати для практики:

1. Аналіз існуючих ІУС на основі керівництв з технічної та льотно-технічної експлуатації спрямовані на пошук недоліків і розробку рекомендації, як для конструкторських бюро так і для екіпажів ПС для боротьби з такими небезпечними явищами на повітряному транспорті, як пожежа двигуна і титанова пожежа.

2. Запропонована методика оцінки технологічної складності ІУС сигналізації за допомогою якої можна попередити і мінімізувати ризики виникнення помилок льотних екіпажів в особливих польотних ситуаціях.

3. Проведений статистичний аналіз дозволяє виявити слабкі місця в роботі ІУС сигналізації і надано рекомендації та відповідні рішення для попередження переходу аварійної ситуації в катастрофічну.

4. Розроблені програмні інструменти створюють наукову базу для розробки і вибору оптимальної структури при проектуванні, створенні та використанні ІУС ПС нового покоління.

5. Розроблені моделі можуть бути використані при аналізі пожежних ситуацій на борту ПС, особливо в перші моменти виникнення пожеж, та дозволять надавати екіпажу рекомендації по переходу з монопараметричного до поліпараметричного контролю параметрів для підвищення ефективності ІУС.

6. Результати роботи можна використовувати при підготовці екіпажів для ПС нового покоління, таких як АН-158, АН-178 та ін., а також для сертифікації ІУС ССП і інших інформаційних структур.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати, що виносяться на захист, отримані особисто здобувачем і ґрунтуються на опублікованих наукових результатах. При підготовці публікацій зі співавторами внесок здобувача був визначальним: у [34] проведено аналіз і вибір необхідних параметрів для розпізнавання пожеж авіадвигунів, у [35] розроблено імовірнісну модель розпізнавання ситуації на ПС і побудована структурна схема розпізнавання пожежі, у [36] розроблено теоретичні положення задачі

надійності ІУС та визначено відмову як подію, яка розглядається через її розвиток: ускладнення умов польоту, складна ситуація, аварійна ситуація і катастрофічна ситуація, у [37] розроблено математичну модель на основі інформаційно-факторного аналізу та визначено технології вирішення завдань аналізу небезпечних польотних ситуацій. у [38] розроблено триніоміальну модель імовірнісних характеристик ІУС сигналізації, у [40] проведено обробку керівництв по льотній експлуатації і побудована модель нормування індексу складності стандартних льотних процедур для системи пожежогасіння на літаках АН-74 та АН-148.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дослідження доповідалися й обговорювались на: «Проблеми інформатизації» (Київ, 11-13.12.2014), LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету (Київ, 05.2015), LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету (Київ, 05.2016), “Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC)” (Київ, 18-20.10.2016), «Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі» (Чернігів, 19-20.04.2017), «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2017)» (Київ, 16-17 травня), LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету (Київ, 17-19.05.2017), «Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи)» (Київ, 16-18.05.2017), «Розвиток промисловості та суспільства» (Кривий ріг, 24-26 травня 2017), «ІТ-Перспективи» (Кременчук, 22.04.2017), “Actual problems of unmanned aerial vehicles developments (APUAVD)” (Київ, 17-19.10.2017), LXXIV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету (Київ, 16-18.05.2018), Data Stream Mining & Processing (DSMP) (Львів 21-25.09.2018), «Інформаційні технології та взаємодії» (Київ, 20-21.11.2018), LXXV наукова

конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету (Київ, 15-17.05.2019), LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету (Київ, 15-17.05.2020).

Публікації. По темі дисертаційної роботи опубліковано 25 наукових праць, із них: 1 стаття у виданні, цитованому у науково-метричній базі Scopus; 8 статей у виданнях іноземних держав або у наукових фахових виданнях, що входять до переліку затверджених ДАК України, 19 праць апробаційного характеру, з них 3 цитованих у науково-метричній базі Scopus, 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір і 1 патент на корисну модель.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який містить 127 найменувань, додатків на 37 сторінках, разом з якими її обсяг складає 219 сторінок, робота ілюструється 91 рисунком, містить 32 таблиці.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СТРУКТУР ПРОТИПОЖЕЖНИХ СИСТЕМ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ НОВИХ СИСТЕМ НА ПС

1.1. Загальні характеристики видів пожеж та класифікація систем пожежогашіння, з урахуванням перших моментів і фаз розвитку пожежі, на ПС

Безпека польотів в великій мірі визначається ефективністю захисту ПС від пожеж, оскільки внаслідок особливостей конструкції ПС зберігається ймовірність виникнення пожежі в процесі польоту. Ці особливості обумовлені [41]:

- збільшенням розмірів літаків, дальності і швидкості їхнього польоту, які призводить до необхідності мати на борту додатковий запас палива;
- розміщенням горючих рідин (палива, масел, гідросумішів) по фюзеляжу і крилах літака, їх рухом по трубопроводах, загальна протяжність яких вимірюється від десятків до сотень метрів. Трубопроводи мають велику кількість герметизованих стиків, а гідравлічний тиск в них досягає досить високих значень;
- можливістю короткого замикання при наявності на борту літака безлічі електричних проводів і роз'ємів, що призводить до виділення теплової енергії, а при наявності протікань пального чи мастила - до пожежі;
- зростанням потужності авіадвигунів, що призводить до зростання температури газового середовища в каналах авіаційних двигунів (АД). При цьому ймовірність прогорання камер в процесі експлуатації різко збільшується.

Горіння – це комплекс фізико-хімічних процесів (плавлення, випаровування, іонізації), які швидко протікають та самоприскорюються, а також хімічних реакцій окислення горючої речовини і матеріалу, що супроводжуються, як правило, світловим та тепловим випромінюванням і виділенням диму. В основі горіння лежить взаємодія горючої речовини з окислювачем, переважно з киснем повітря. Однак горіння може здійснюватися без доступу повітря (кисню), якщо до складу горючої маси (середовища)

входить окислювач у вигляді домішок або складової частини молекули. У виробничих умовах авіаційної або ракетної техніки горіння може здійснюватися в атмосфері таких окислюючих газів, як фтор, хлор, оксиди азоту та інші [42, 43].

Пожежа ПС - неконтрольоване горіння, що заподіює матеріальний збиток, шкоду життю і здоров'ю пасажирів і екіпажу.

Для виникнення пожежі необхідні: пальне, окислювач і джерело ініціювання пожежі.

На сучасних літаках є десятки тон палива. При наборі висоти зі зниженням тиску збільшується випаровування палива. В результаті в баках над паливом, майже, завжди існує вибухонебезпечна концентрація суміші (парів палива і повітря). Поряд з цим, на кожному літаку розміщені гідравлічна, масляна і паливна системи, які розподілені по всьому планеру, протяжність яких може досягати до 10 км. Ці системи можуть мати понад 1000 стиків трубопроводів. При існуючій тенденції збільшення робочого тиску в цих системах можливі їх руйнування або порушення герметичності в стиках, тобто поява протікання палива, гідросуміші, масла.

Окислювач в польоті також є в надлишку. На літаках паливні баки через дренажні пристрої з'єднуються з навколишньою атмосферою. Охолодження гарячих поверхонь, як правило, здійснюється набігаючим потоком, який несе велику кількість кисню в відсіки, що захищаються від перегрівання та пожежі, а при виникненні пожежі, тим самим, інтенсифікують реакцію горіння. На всіх висотних літаках є спеціальні кисневі системи зі значним запасом чистого кисню.

Джерелами ініціювання пожежі можуть бути:

а) контакти легкозаймистих рідин з поверхнями, що мають високі робочі температури (елементи конструкції двигунів, агрегати паливної системи, електричні машини, генератори, стартерні пристрої та ін.). Наприклад, в нормальних умовах більшість застосовуваних вуглеводневих палив мають температуру самозаймання приблизно 205 - 210° С. В той же час в силових

установках поверхня в зоні розташування камер згоряння може мати робочу температуру 350 -500° С;

б) різні механічні дії – удар конструкції ВС при зіткненні з перешкодами, при грубій посадці, особливо при посадці з прибраними шасі, руйнування силових установок і їх агрегатів, наприклад лопаток турбін (титанова пожежа) [44, 45, 46, 47], та інші;

в) іскріння і виникнення розрядів внутрішньої і зовнішньої статичної електрики. А велика протяжність електромережі (до декількох сот кілометрів), частина з якої навантажена значними струмами (до 600-700 А, а в пускових режимах ще більше), складність пристроїв і чисельність контактних елементів в контакторах, роз'ємах, програмних механізмах, агрегатах систем управління не дозволяють практично уникнути утворення іскріння;

г) високі робочі температури в елементах, що труться: парах-редуктора, силових пристроях та інших. Так в гальмівних пристроях шасі в фрикційних колодках, особливо при посадці, робоча температура зростає до 300-400° С.

На сучасних ПС існують наступні найбільш пожежонебезпечні відсіки:

- силові установки, так як в них розташовані двигуни, паливні, масляні магістралі високого тиску, електрогенератори і стартери;
- допоміжні силові установки;
- крильові паливні баки;
- електрообладнання;
- багажний відсік;
- шасі, деякі агрегатні та вантажні відсіки;
- опори двигунів, а також відсіки редуктора несучого гвинта на вертольотах.

Для ВС можна класифікувати ці небезпечні явища як це показано на рис.1.1.

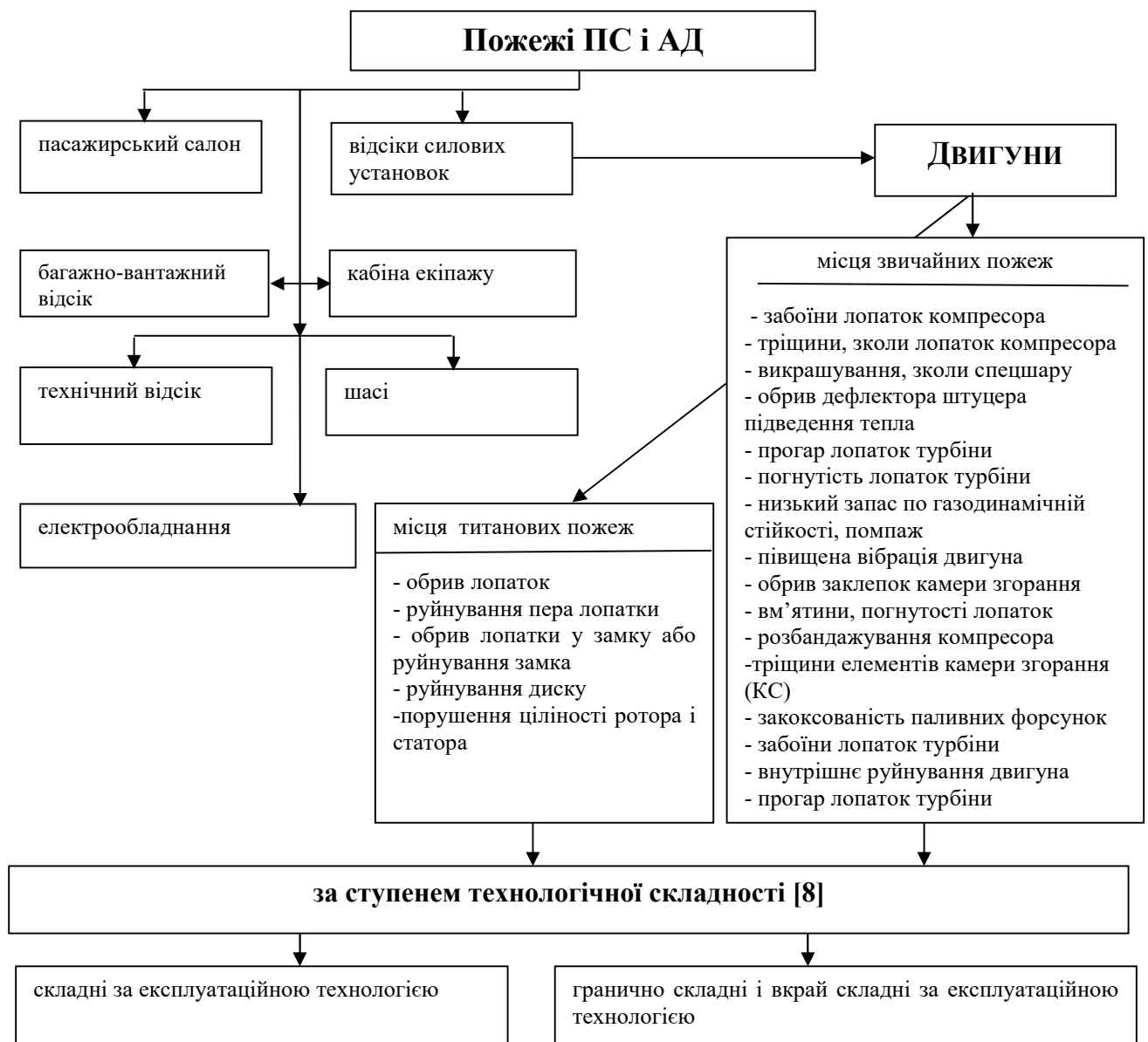


Рисунок 1.1 - Класифікація та місця появи пожеж на ПС

Пожежі в польоті мають ряд характерних особливостей:

- неможливістю раптового припинення польоту для вжиття екстрених заходів гасіння;
- інтенсивним продуванням повітря, що роздуває полум'я;
- недопустимістю залишення пожежі без втручання протипожежної системи або екіпажу;
- неможливістю безпосереднього доступу в зону пожежі з боку екіпажу.

Все це призводить до того, що початкові моменти виникнення пожежі за кілька секунд (макс 3с) перетворюються в осередок високої інтенсивності,

температура в якому досягає більше 1000°C , а ліквідація його представляє вже досить великі труднощі. Таким чином, можна визначити специфіку і часові характеристики пожеж на ПС відповідно до авіаційних правил (АП), норм льотної придатності літаків і міжнародних стандартів International Civil Aviation Organization (ICAO), FAR-25 Federal Aviation Regulations, як це показано на (рис. 1.2) [17, 19, 48].

На сучасних ПС необхідний рівень пожежної безпеки забезпечується широким застосуванням пасивних і активних засобів захисту від пожежі.

Пасивні засоби включають в себе різні конструктивні заходи, спрямовані на недопущення пожежі або його локалізацію:

- розташування силових установок на підвісних пілонах, (з можливістю їх скидання в польоті);
- підвищені вимоги до герметизації всіх видів магістралей;
- удосконалення систем дренажів, застосування систем нейтральних газів, призначених для запобігання вибуху парів і палива у вільному просторі баків в процесі виробітку палива та інші.

Головну роль в процесах пожежогасіння відіграють системи активного захисту. Засоби активного захисту складаються з систем сигналізації про пожежу (ССП) на ПС, такі як ССП-2А, ССП-2АМ, ССП-2І, ССП-2ім, ССП-ФК, ССП-6, ССП-7, ССП-11, ССП-12, ССП-17, 1С7К, 2С7К, ЛС-1, ІС-5М, (ІС-5МГ, ІС-5МГ-1 і систем пожежогасіння.

Основним призначенням ІУС є автоматизований контроль і управління основними і допоміжними технологічними процесами, електронною індикацією та сигналізацією і протипожежним захистом, збір, перетворення і контроль даних від бортового обладнання, контроль параметрів пілотажно-навігаційного комплексу, авіадвигуна і роботи функціональних систем. За своєю специфікою ССП є ІУС [49, 50].



Рисунок 1.2 - Специфіка и характеристики пожеж на ПС

Система сигналізації про пожежу, як ІУС в загальному випадку виконує наступні функції (рис.1.3):

- а) функція реакції на той чи інший фактор, що супроводжує процес горіння (підвищення температури, швидкість наростання температури, дим, вібрація, помпаж двигуна, стружка в маслі та ін.);
- б) функція дистанційного прийомо-контролю за станом датчиків ССП;
- в) функція дистанційного включення протипожежної системи (ППС);
- г) звукова сигналізація і подача світлових, візуальних і звукових сигналів в кабіну екіпажу ПС;
- д) функція візуальної сигналізації.

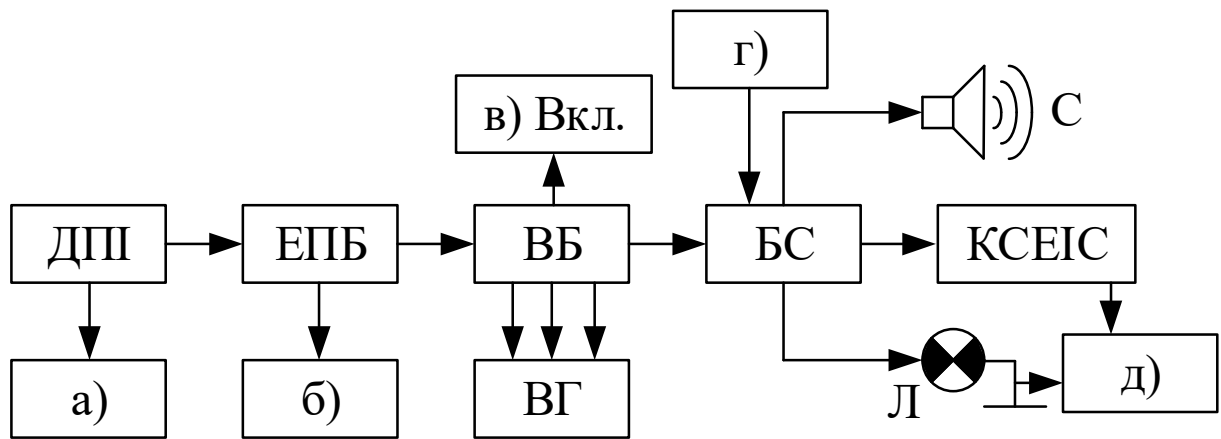


Рисунок 1.3 - Структурна схема і функції блоків системи сигналізації про пожежу: ДПШ-датчик первинної інформації; ЕПБ-електро-підсилювальний блок; ВБ-виконавчий блок; БС – блок сигналізації; ВГ – вогнегасники; КСЕІС - комплексна система електронної індикації та сигналізації, Л – сигнальна лампа; С – сирена. Функції а, б, в, г, д вказані в тексті

Системи сигналізації про пожежу призначені для подачі світлового і звукового сигналів про виникнення пожежі в будь-якому з відсіків ПС, а також для автоматичного включення засобів пожежогасіння. ССП можна класифікувати:

- за принципом дії або характером сприйняття зміни навколишнього середовища;
- по виду енергії, що використовується датчиками;
- по величині охопленої пожежонебезпечної зони і безперервності функціонування (рис.1.4).

За характером сприйняття зміни навколишнього середовища ССП поділяються на теплові, радіаційні, іонізаційні і системи, що реагують на продукти горіння (наприклад, дим). За принципом дії ССП класифікуються на системи максимальної дії (видають сигнал при досягненні певної температури або концентрації диму) і диференціальні (реагують на швидкість зміни параметру, що реєструється). Крім того, можливі комбіновані ССП з одночасним використанням різних принципів (рис.1.4.).

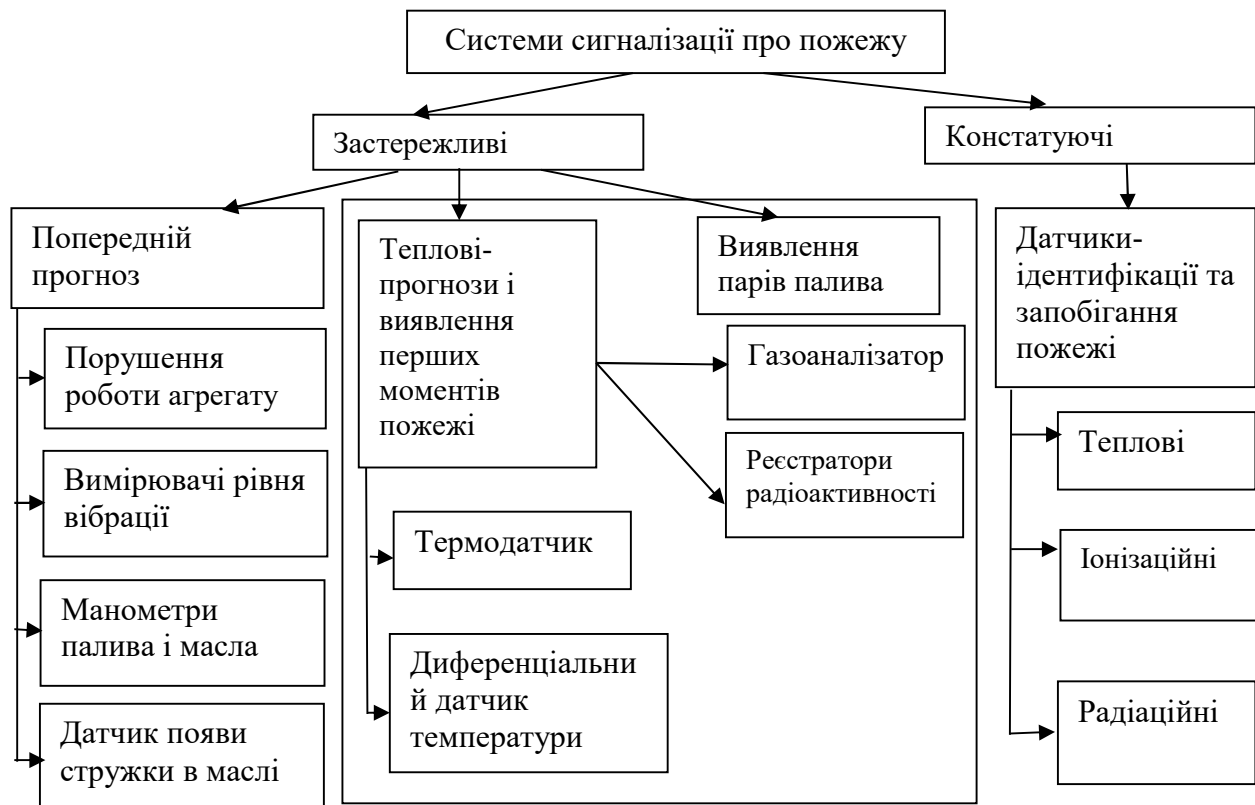


Рисунок 1.4 - Класифікація систем сигналізації про пожежу за функціями попереднього прогнозу пожежі

Найголовніша властивість в ССП – це достовірність інформації про перші моменти виникнення пожежі. При недостовірній інформації про перші моменти пожежної ситуації, льотний екіпаж може прийняти помилкове або неправильне рішення, а функціональні системи (ФС) будуть працювати неефективно [51, 52]. По виду використовуваної датчиками енергії системи можна поділити на теплові, світлові та хімічні (рис.1.5). Кожну з цих груп можна, в свою чергу, розбити на підгрупи, за ознакою виконання чутливого елемента [53, 54].

За величиною зони пожежі, що охоплюється датчиками, ССП діляться на точкові, лінійні і об'ємні. У точкових порівняно невеликий радіус дії чутливого елемента, тому вони вимагають установки великого числа датчиків в пожежонебезпечному відсіку. У лінійних більший об'єм простору, що охоплюється. Радіус дії в поперечному перерізі у них приблизно такий же, як у точкових, але зона охоплення значно більше. Вона визначається довжиною чутливого елемента. Датчики об'ємних систем здатні контролювати великий

простір. Число датчиків на контрольований обсяг визначається кутом огляду чутливого елемента і конфігурацією відсіку, що захищається.

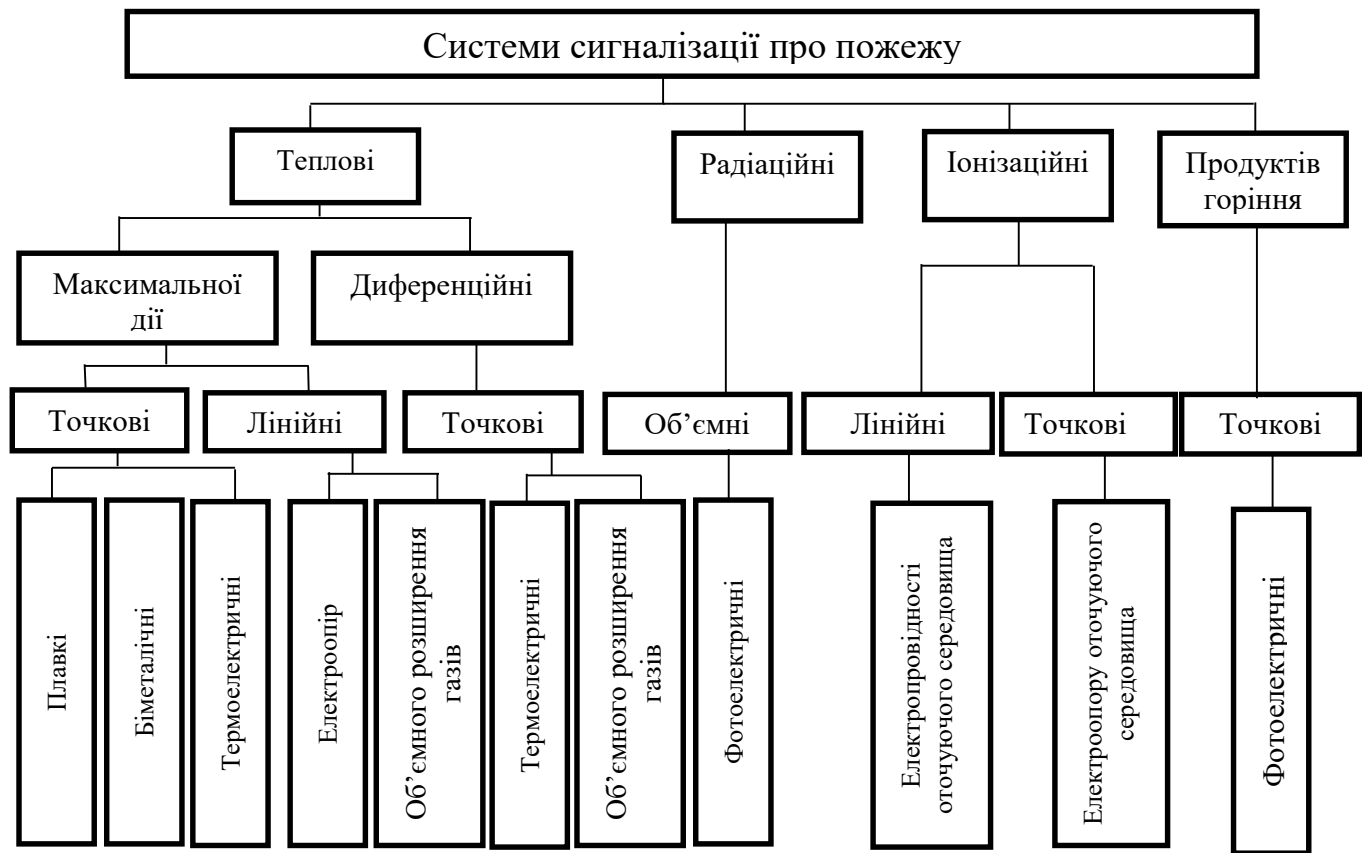


Рисунок 1.5 - Класифікації ССП без урахування перших моментів пожеж

Датчики системи встановлюються прямо в відсіках ПС, що захищаються. Число датчиків визначається їх типом, а також конструктивними особливостями відсіку, що захищається. Виконавчі блоки розташовуються зазвичай поза межами пожежонебезпечного відсіку. Зазвичай це місця, доступні для огляду та перевірки. По-іншому розташовуються сигналізатори диму, у яких підсилювач може бути вмонтований безпосередньо в датчик. Сигнальні та контрольні пристрої встановлюються в кабіні екіпажу.

Розвиток пожежі залежить від багатьох факторів: фізико-хімічних властивостей горючого матеріалу; пожежного навантаження (маса всіх горючих і важко горючих матеріалів, що знаходяться в палаючому приміщенні); швидкості вигорання пожежного навантаження; газообміну вогнища пожежі з навколишнім середовищем і з зовнішньою атмосферою та іншими.

Залежно від середньої швидкості вигорання речовин і матеріалів розвиток пожежі може приймати ту чи іншу динаміку. Загальна схема розвитку пожежі включає кілька фаз: (рис. 1.6).

I фаза—початкова стадія, що включає перехід від загоряння до пожежі та характеризується зростанням зони горіння.

II фаза—стадія об'ємного розвитку пожежі.

III фаза—згасаюча стадія пожежі.

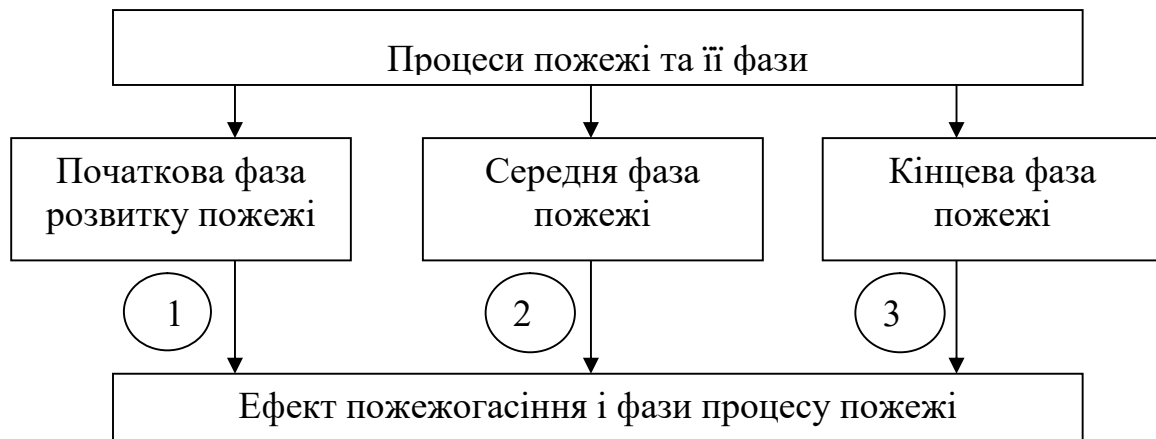


Рисунок 1.6 - Процеси пожежі та її фази

З рис.1.7. видно що при правильному визначенні пожежі в перший момент (1), Крива А, результат ліквідація пожежі буде максимально ефективним $E \rightarrow \max$. Крива Б характеризує ситуацію, коли перший момент пожежі не визначено (немає розпізнавання системою або екіпажем), рішення екіпажу може бути неадекватним або помилковим і пожежа швидко розвивається за наступною структурою: ускладнення умов польоту (УУП) на графіку відповідає зона [0, 1], складна ситуація (СС) відповідає зона [20, 21], аварійна ситуація (АС) відповідає зона [2, 3] і катастрофічна ситуація (КС) відповідає зона > 3 [55, 56, 57, 58].

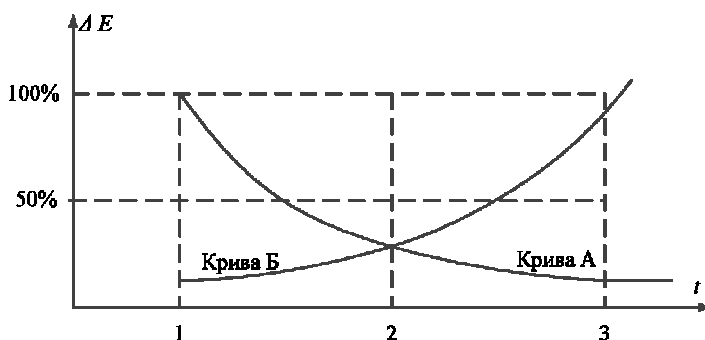


Рисунок 1.7 - Процес розвитку пожежі і його фази

Функції предикат системи "екіпаж-ССП" як логіко-динамічної системи мають вигляд [20,21]:

$$E = \begin{cases} \max & \text{при правильному визначенні пожежі в перший момент} \\ \min & \text{При запізненні в визначенні пожежі} \\ 0 & \text{При пропусканні події (невиявлення пожежі)} \end{cases}$$

До випадкових подій відносяться непередбачувані події, пов'язані з відмовами системи "екіпаж-ССП" (відмови випадкового характеру в діях екіпажу, відмови техніки і комбіновані відмови). Тому доцільно провести розширений аналіз ССП і особливу увагу приділяти питанням функціонування датчиків як первинних джерел інформації в системі "екіпаж-ССП". Так як, оцінка і прийняття рішення екіпажем в небезпечних польотних ситуації залежить від достовірності інформації, що надходить від датчиків систем сигналізації про пожежу [20, 21, 59, 60, 61].

1.2. Основні критичні моменти в експлуатації датчиків ССП

Ефективність систем сигналізації та пожежогасіння залежить від швидкості і достовірності інформації, що надходить в систему (екіпаж-ПС), в перший момент виникнення пожежі. Тому виникають підвищені вимоги до джерел первинної інформації та сигналізаторів пожеж.

Першими ознаками виникнення на ПС пожежі є інтенсивне виділення тепла, іонізація повітря в зоні горіння, поява диму. Ці ознаки визначаються тепловими, іонізаційними та оптичними датчиками [20, 21, 53, 62, 63].

Теплові датчики

В даний час використовуються три типи теплових датчиків: біметалічні мембранні датчики, диференціальні датчики та лінійні теплові датчики.

Біметалічні мембранні датчики (рис.1.8) спрацьовують при певній високій температурі навколишнього середовища. Основним елементом датчика є біметалічна вигнута мембрана 1, пов'язана з електричним контактом 2. При виникненні пожежі і нагріванні мембрани до певної температури вона деформується, замикаючи ланцюг обмотки реле 3, яке своїми контактами 4 включає лампу сигналізації або систему управління засобами пожежогасіння.

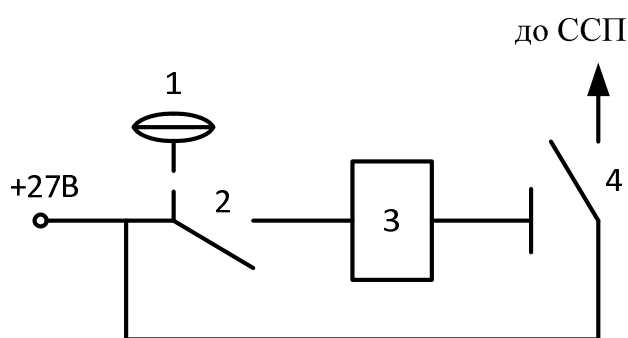


Рисунок 1.8 - Принципова схема біметалічного датчика

Такі датчики порівняно недорогі, прості по конструкції, але характеризуються рядом суттєвих недоліків:

- велика інерційність;
- залежність часу спрацювання від температури навколишнього середовища;
- можливістю помилкових спрацьовувань при трясці і вібрації літака.

Зазначені недоліки обмежують практичне застосування цих датчиків на сучасних літаках.

Диференціальні датчики

Диференціальні датчики (рис.1.9) реагують на швидкість наростання температури у відсіку і тому більш досконалі з інформаційної точки зору, оскільки висока швидкість наростання температури в певній зоні найчастіше зумовлена виникненням там пожежі.

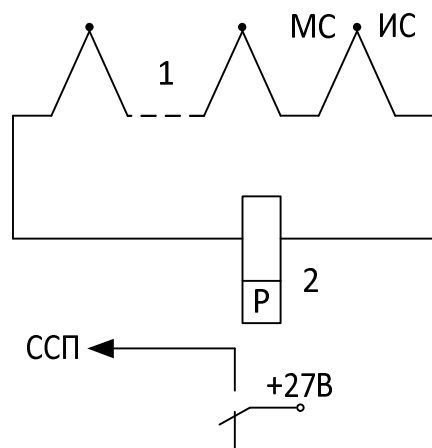


Рисунок 1.9 - Принципова схема диференціального датчика

Чутливим елементом датчика є термобатарея 1, що складається з декількох послідовно з'єднаних хромель-копелевих або хромель-алюмінієвих термопар. Кожна з них має малоінерційний спай (МС), виконаний у вигляді тонкого диска, і інерційний спай (ИС) з кульковим потовщенням.

При повільній зміні температури в зоні встановлення датчика обидва спаї термобатареї встигають нагріватись до однакового рівня і напруга на її виході дорівнює нулю. При виникненні пожежі, яка супроводжується швидким наростанням температури (більше 2° в секунду), малоінерційний спай нагрівається швидше інерційного і на клеммах датчика з'являється термоелектрорушійна сила (ЕРС)

$$e_T = n\alpha(Q_{MC} - Q_{IC}) \quad (1)$$

де α - коефіцієнт термо-ЕРС;

n - число термоелементів батареї;

Q_{MC}, Q_{IC} - температура малоінерційного та інерційного спаїв.

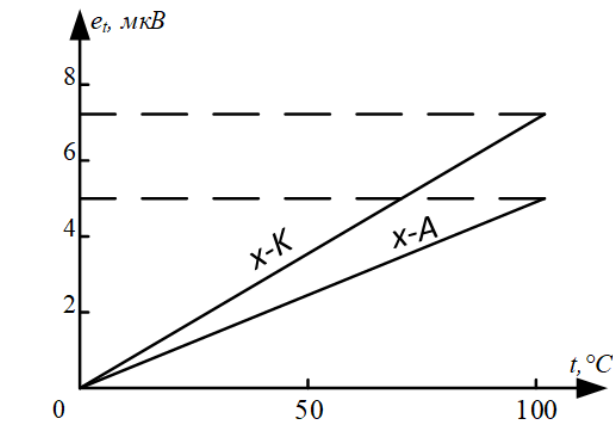


Рисунок 1.10 - Залежність термо-ЕРС від температури

Залежність термо-ЕРС від температури для хромель-копелевих (X-K) і хромель-алюмінієвих термопар (X-A) представлені на рис.1.10. Покажемо, що такий датчик дійсно реагує на швидкість наростання температури [41].

Нехай температура у відсіку збільшується в часі за лінійним законом $Q = kt$ (k - коефіцієнт, який характеризує наростання температури середовища). Якщо вважати, що постійна часу нагріву малоінерційного спаю $T_{MI} = 0$ і постійна часу нагріву інерційного спаю $T_{II} \neq 0$, тоді в умовах швидкого нагріву температура малоінерційного спаю буде рости за законом

$$Q_{MI} = kt, \quad (2)$$

а зміна температури інерційного спаю визначатиметься рівнянням

$$T_{II} = \frac{dQ_{II}}{dt} + Q_{II} = kt.$$

Рішення якого має вигляд

$$Q_{II} = kt - kT_{II}\left(1 - e^{-\frac{t}{T_{II}}}\right). \quad (3)$$

Підставляючи вирази (2) і (3) в формулу (1) отримаємо

$$e_T = n\alpha k T_{II}\left(1 - e^{-\frac{t}{T_{II}}}\right) \quad (4)$$

З виразу (4) видно, що термо-ЕРС датчика пропорційна швидкості наростання температури. Поляризоване реле системи (див. рис. 1.9) спрацює

при деякій напрузі спрацьовування U_{cp} , яка пропорційна термо-ЕРС спрацьовування $e_{T,cp}$. Звідси сигнал про пожежу з'явиться в системі (на табло) через певний час спрацьовування t_{cp} . Знайдемо цей час. З виразу (4) маємо

$$e_{T,cp} = n\alpha k T_{и}(1 - e^{-\frac{t_{cp}}{T_{и}}}), \text{ і оскільки } t_{cp} \ll t_u, \text{ то } e_{T,cp} = n\alpha k t_{cp}, \text{ і тоді } t_{cp} = \frac{e_{Tcc}}{n\alpha k}.$$

Отже, чим більше швидкість наростання температури в зоні пожежі, тим швидше відбудеться спрацювання система сигналізації про пожежу. У сучасних системах цей час дорівнює приблизно (0,5 - 1 сек).

Позитивною якістю даного типу датчиків є і те, що обриви і короткі замикання в їх ланцюгах не викликають помилкових спрацювань системи.

Основні характеристики термоелектричних датчиків ССП ПС наведені в Табл.1.1.

Лінійні теплові датчики

Конструктивно лінійний тепловий датчик (ЛТД) являє собою тонкостінну гнучку металеву трубку діаметром 0,0015-0,0020 м з тонким центральним провідником і напівпровідниковим наповнювачем між ним і трубкою. Наповнювач має негативний температурний коефіцієнт опору. Зазвичай це суміш з кобальтового марганцю і оксиду магнію. Трубки датчиків мають довжину до 10 м і електрично з'єднуються з корпусом літака, Центральний провідник включений на вхід підсилювача, сигнали з якого керують електромагнітним реле системи сигналізації про пожежу. При нормальній температурі датчик має високий внутрішній опір. При підвищенні температури в будь-якій частині трубки до 300-4000°C опір наповнювача значно зменшується, утворюючи провідний ланцюг на вході підсилювача системи сигналізації і викликає його спрацювання.

Таблиця 1.1 - Основні характеристики термоелектричних датчиків ПС [64,65,66,67,68,69,70]

Система	Кількість каналів	Датчик	Кількість датчиків	Блок управління	Температура спрацьовування °С	Напруга спрацьовування мВ	Час затримки спрацьовування сек	Маса комплекту, кг
Теплові системи								
ССП-2А	6	ДСП-1АГ	3	БИ-2АЮ	Не нижче 150	28..65	1	4
ССП-2АМ	6	ДТБГ	3	БИ МП 4508	Не нижче 150	17..22	1	3,9
ССП-2И	6	ДТБГ	3	БИ-2И	Не нижче 200	56..98	1	1,3
ССП-2ИМ	6	ДПС	3	БИ-2ИМ	Не нижче 350	45..80	3	1,5
ССП-ФК	6	ДТБГ	3	ССП-ФК-БИС	Не нижче 180	14..30	1	4
ССП-6	4	ДТБГ	3	ССП-6БИ	Не нижче 180	42..96	1	2
ССП-7	4	ДТБ-2АУ	1	ССП-7БИС	300..500	20..60	2	4
ССП-11	4	ДП-6	3	ССП-11БР	200 -400	24..60	2	3,5
ССП-12	6	ДП-6	1	ССП-12БР	200 - 400	10..40	3	4
ССП-17	4	ДП-17	3	БЧ-06-М	350..750	24..36	3	2,4
1С7К	4	ДП-6	1	1С7КБР	350..550	25..29	3	2,6
2С7К	4	ДП-11	1	2СК7КБР	550..750	38..72	3	4
БКУ-СПЗ	5	801-TRSS	1	БКУ-СПЗ	180-300	38..72	1	3,5
УСП-2	7	801-TRSS	3	БСУ СПЗ	180-330	30-36	1	3,5
ЛС-1	3	ЛДА-390	1	БЛС-1	Не нижче 390	-	7	3,2
Іонізаційні системи								
ИС-5М		-		ИС-5М (ИС-5МГ)	Від полум'я	1250	0,4..0,6	1,3
(ИС-5МГ, ИС-5МГ-1)	-			ИС-5МГ-1	Те ж	3900	1,0..1,2	1,3

Головною перевагою лінійних теплових датчиків є висока достовірність інформації, а їх істотний недолік - велика інерційність спрацьовування, в зв'язку з тим, що необхідний час на прогрів наповнювача становить 6-8 сек. У зв'язку з цим лінійні теплові датчики найчастіше використовуються як датчики дублюючих систем сигналізації, що встановлюються в найбільш пожежонебезпечних відсіках літака (двигунів, шасі, паливних баків, технічних відсіках та інше).

Іонізаційні датчики

Принцип дії іонізаційних датчиків, полягає в використанні електричної провідності полум'я, обумовленої наявністю в ньому вільних електричних зарядів. Самі датчики являють собою ізольовані від корпусу відсіку жаростійкі металеві трубки (рис.1.11).

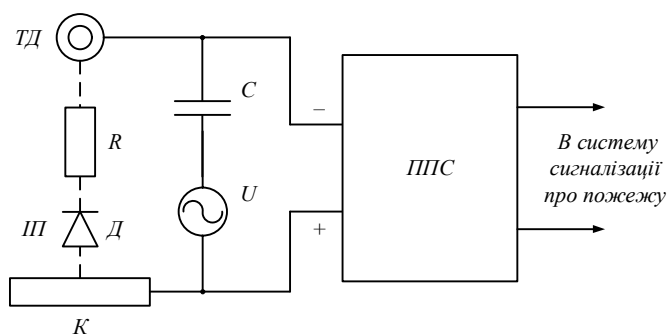


Рисунок 1.11 - Принципова схема іонізаційного датчика

Довжина трубок залежить від розмірів відсіку і досягає одного метра і більше, ширина іонізаційного проміжку між корпусом відсіку і трубкою датчика (П на рис.1.11) – 0,015-0,02 м. Роботу датчика в системі

сигналізації про пожежу розглянемо по рис.1.11.

При наявності полум'я між трубчастим датчиком (ТД) і корпусом (К) проміжок (П) можна представити у вигляді діода (Д) з внутрішнім опором R. Тоді при подачі на конденсатор C (рис.1.11) джерела змінної напруги U і при наявності полум'я електричний ланцюг конденсатора замкнеться і конденсатор зарядиться до деякої напруги U (близько 2 В). Постійна складова цієї напруги як сигнал про пожежу надійде на вхід підсилювача постійного струму.

Іонізаційні датчики характеризуються досить високою швидкістю. Власний час їх спрацьовування - частки секунди. Недоліком датчиків є можливість помилкових спрацьовувань за рахунок природної іонізації повітря на великих висотах польоту і при радіолокаційних опроміненнях літака.

Таким чином, можна скласти наступну класифікацію як показано на рис.1.12.

Особливості ліквідації пожеж на важких багатодвигунних літаках.

Керуючий комплекс засобів пожежогасіння таких ПС складається з трьох і більше автономних систем сигналізації про пожежу, які мають загальну панель управління і налічують в своєму складі до 100 і більше датчиків різних типів, що розміщуються у всіх вразливих, в пожежному розумінні, відсіках літака.

Для забезпечення більшої надійності та достовірності інформації забезпечують виконання наступних вимог:

а) у найбільш пожежонебезпечних і відповідальних місцях встановлюються датчики двох типів (наприклад, диференціальні і лінійні теплові датчики), що працюють паралельно на одні і ті ж блоки кранів, пов'язані з вогнегасниками першої черги, які включаються в роботу автоматично;

б) всі системи сигналізації виводяться на загальне світлове табло "пожежа" з одночасною видачою сигналів про пожежу в блок мовної інформації і в апаратуру реєстрації польотних даних.

Зазвичай сигнал про пожежу свідчить, про виникнення аварійної ситуації. При відсутності методу розпізнавання істинного сигналу про пожежу відбувається необґрунтоване збільшення числа передумов до льотних подій. Для підвищення достовірності розпізнавання сигналів про пожежу цього застосовують комплексні або комбіновані ССП, а також панелі світловодів.

Комплексні ССП з роздільними датчиками реагують на один і той же змінюваний параметр контрольованого середовища, наприклад температуру. Один тип датчиків можна віднести до попереджувальних - виявлення пожежонебезпечних умов («Перегрів»), інший до констатуючим («Пожежа») (рис.1.13):

а) у комплексній ССП для сигналізації про пожежу в кожній СУ є лінійні датчики, що реагують тільки на температуру пожежі (не нижче 560°C), а також аналогічні датчики, що реагують на температуру перегріву (не нижче 430°C);

б) на сучасних літаках в якості попереджувальної сигналізації встановлена лінійна ССП типу ЛС-1 («перегрів»), а в якості констатуючої - система ССП-2А («пожежа»).

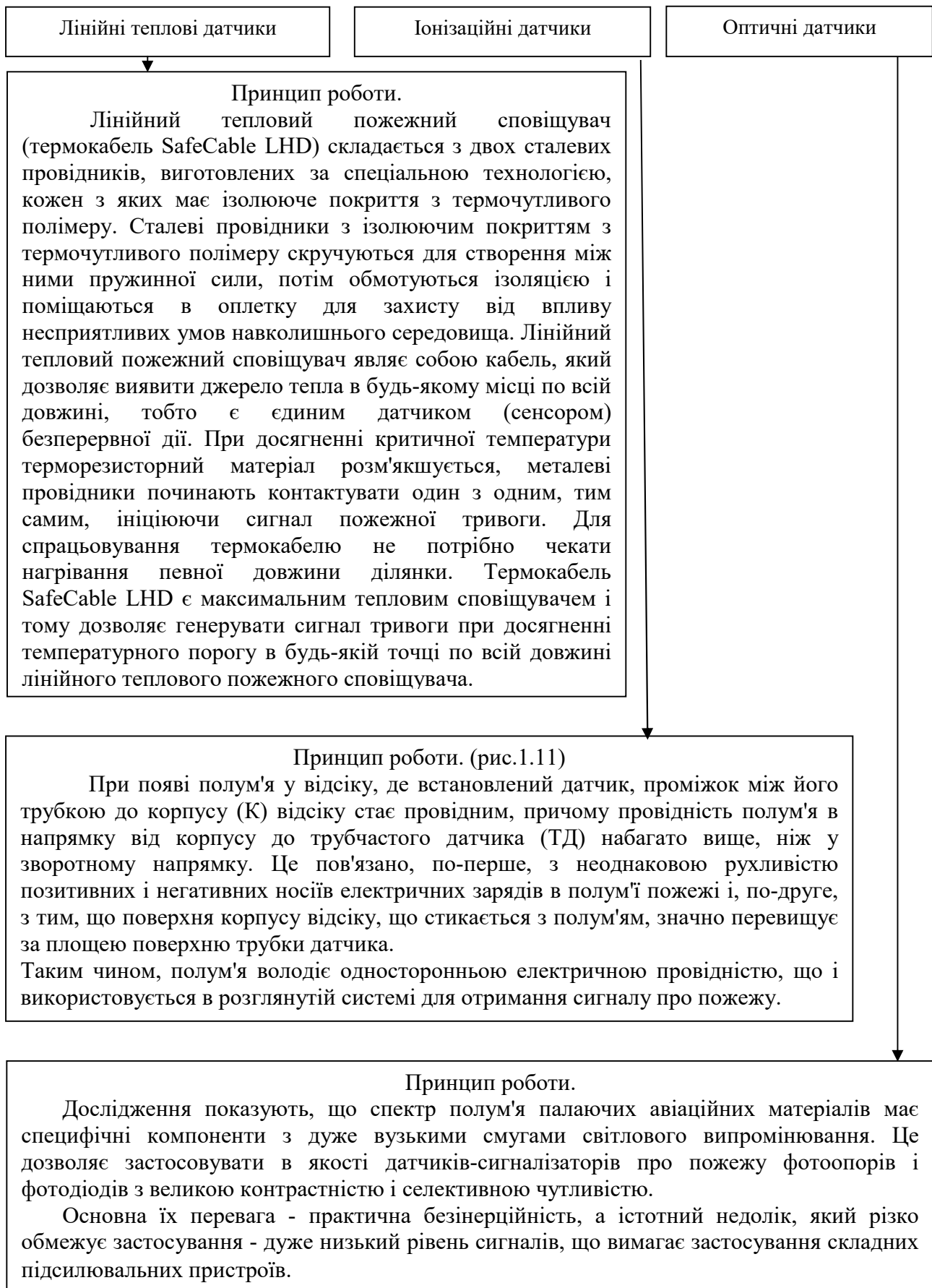


Рисунок 1.12 - Загальна класифікація датчиків

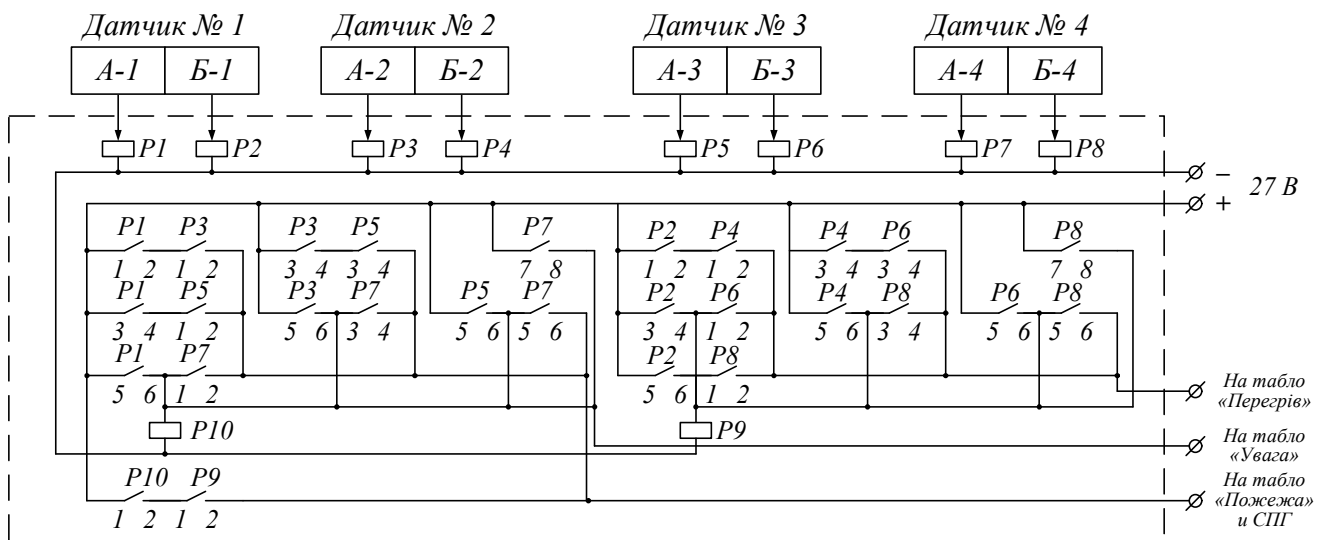


Рисунок 1.13 - Принципова електросхема управління системи сигналізації «Перегрів - Пожежа» [20]

Існуючі термоелектричні ССП використовуються для побудови комплексної системи «перегрів - пожежа». Для виключення помилкових спрацювань таких систем використовуються різні схеми виконавчих блоків-реле. "При спрацюванні, наприклад, тільки одного низькотемпературного каналу Б-1 спрацьовує реле Р2 (рис.1.13). При цьому через його контакти 5-6 живлення надходить тільки на реле Р9. Сигнал в цьому випадку в схему індикації не надходить і класифікується як помилковий. При спрацюванні будь-якого іншого низькотемпературного каналу (Б-2, Б-3 або Б-4) сигнал через замкнуті контакти реле Р4, Р6 або Р8 і Р2 виходить з виконавчого блоку на табло «перегрів». При спрацюванні тільки одного високотемпературного каналу (наприклад, А-1) включається реле Р1 і живлення надходить на Р10. Живлення у цьому випадку на схему індикації не надходить і сигнал розглядається як помилковий (за потреби можливе виведення цього сигналу на окремий світлосигналізатор «Увага»), При одночасному спрацюванні по одному каналу низькотемпературних і високотемпературних датчиків сигнал через замкнуті контакти 1-2 реле Р9 і Р10 надходить з виконавчого блоку на табло «Пожежа» і на автоматичне включення СПГ. Аналогічний сигнал виходить і при одночасному спрацюванні не менше двох каналів високотемпературних датчиків" [20].

У комбінованих ССП з двоканалними датчиками, кожен з каналів реагує на різні фактори зміни контролюваного середовища, наприклад, на температуру і продукти згоряння (дим).

При необхідності в відсіках встановлюються по дві різних ССП. Наприклад, в хвостових ТЕХНІЧНИХ негерметичних відсіках літаків Іл-18 і Іл-62М, АН-24 герметичних багажно-вантажних відсіках літаків Як-12 встановлюються термоелектричні системи ССП-2А або ССП-ФК і сигналізатори диму ДС-3м2.

Загальні характеристики систем сигналізації про пожежу літаків різних покоління показані в таблиці.1.2.

1.3. Інформаційна модель аналізу пожеж силової установки ПС

Функціонування газотурбінного двигуна (ГТД) характеризується складною взаємодією різних його елементів і систем, оцінка стану яких проводиться шляхом контролю і вимірювання великої кількості параметрів.

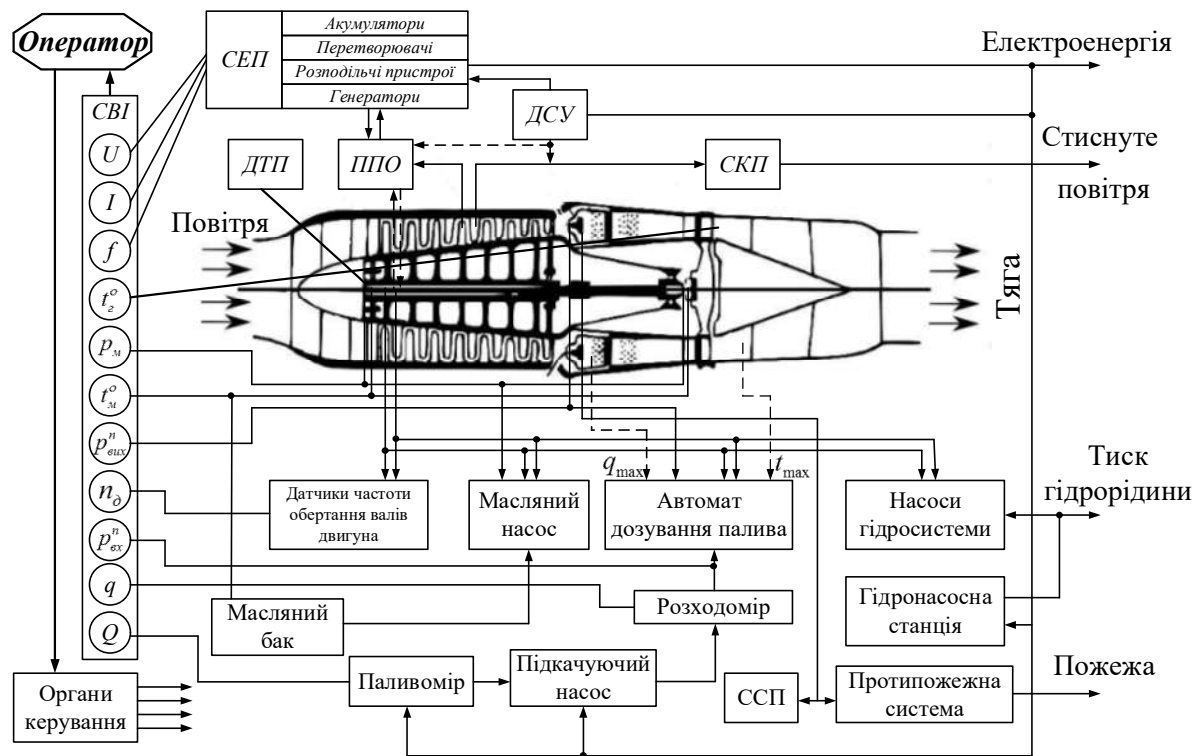
На літаках, які експлуатуються в даний час система контролю силових установок забезпечує отримання інформації з індикаторів і сигналізаторів для оцінки функціонування двигунів і систем силової установки в польоті, а також раннє виявлення несправностей основних вузлів двигуна і систем силової установки. Параметрична інформація, яку одержують з індикаторів, дозволяє екіпажу встановити задані режими роботи двигунів на всіх етапах польоту і контролювати якість їх функціонування при експлуатації літаків в різних умовах, як це показано на рис.1.14.

Таблиця 1.2 - Загальні характеристики систем сигналізації про пожежу літаків різних покоління [66-70]

Найменування системи	Шифр системи	Склад системи	Основні характеристики системи	Причини невиявлення і помилкових спрацьовування
Система пожежної сигналізації	СПС-1	Блок виконавчий БИ-06-СМ 1 Частини ел. з'єднувачів відповіді 4 Сигналізатор СП-1 8 Сигналізатор СП-2 7 Сигналізатор СП-3 8 Запасні частини: Гайки 4-Ц ОСТ 1 33055-80 69 Гайки 5-Ц ОСТ 1 33055-80 69	- напруга живлення ($27^{+2,4}_{-3,0}$) В; - кількість каналів-6; - напруга спрацьовування кожного каналу від 24 до 36 м В; - час спрацьовування від 1 до 4,5 с; - діапазон температур спрацьовування від 200 до 750 °С при швидкості повітряного потоку 2,5-3 м / с; - Сигналізатори витримують температуру 1100 °С протягом 5 хвилин; - маса системи не більше 2,8 кг	- помилкове спрацьовування сигналізації" перегрів гондоли " через відсутність датчика П-77 вар.2. - помилкове спрацьовування ССП-ФК-БИ, внаслідок зниження опору ізоляції проводу СП-93 в правій гондолі; - помилкове спрацьовування ССП-2А через неправильну роботу датчика ДПС-АГ в мотогондолі, викликаній попаданням гарячого повітря з тріщини гофри термокомпенсатора; - помилкове спрацьовування 1-ої черги пожежогасіння в правій мотогондолі через замикання в лампі-кнопці НУ-7200-102.
Система пожежної сигналізації	СПС-3	Блок виконавчий БИ-06 1 Частини ел. з'єднувачів відповіді 4 Сигналізатор УСП - 1 ¹ 6 Сигналізатор УСП - 2 ¹ 6 Сигналізатор УСП-3 ¹ - Сигналізатор УСП-4 ¹ 6 Сигналізатор УСП-5 ¹ -	- напруга живлення ($27^{+2,4}_{-3,0}$) В; - кількість каналів-6; - напруга спрацьовування кожного каналу від 24 до 36 м В; - час спрацьовування не більше 3 с; - діапазон температур спрацьовування від 180 до 570 °С при швидкості повітряного потоку 2,5-3 м / с і швидкості наростання температури ($2 \pm 0,5$) °С / с; - Сигналізатори витримують температуру 1100 °С протягом 5 хвилин; - маса системи не більше 3,0 кг	- помилкове спрацьовування ССП-2А через неправильну роботу датчика ДПС-АГ в мотогондолі, викликаній попаданням гарячого повітря з тріщини гофри термокомпенсатора; - помилкове спрацьовування 1-ої черги пожежогасіння в правій мотогондолі через замикання в лампі-кнопці НУ-7200-102.
Система пожежної сигналізації	СПС-4	Блок виконавчий БИ-06 1 Частини ел. з'єднувачів відповіді 4 Сигналізатор УСПД-1 ¹ 3 Сигналізатор УСПД-2 ¹ 3	- напруга живлення ($27^{+2,4}_{-3,0}$) В; - кількість каналів-6; - напруга спрацьовування кожного каналу від 24 до 36 м В; - час спрацьовування не більше 3 с; - діапазон температур спрацьовування від 200 до 750 °С при швидкості повітряного потоку 2,5-3 м / с і швидкості наростання температури не менше 0,5 °С / с; - Сигналізатори витримують температуру 1100 °С протягом 5 хвилин; - маса системи не більше 3,0 кг	- помилкове спрацьовування ССП-ФІ-БІ через підвищення температури в мотогондолі, викликане вибиванням гарячого повітря через тріщину в гофрі термокомпенсатора і попаданням його на
Система пожежної сигналізації	ССП-2А (комплектация № 1)	Блок виконавчий БИ-2АЮ 1 Частини ел. з'єднувачів відповіді 4 Розетка ССП-2И-РМ 18 Датчик ДПС 18 Запасні частини:	- напруга живлення ($27 \pm 2,7$) В; - кількість каналів-6; - напруга спрацьовування кожного каналу від 28 до 65 м В; - час спрацьовування не більше 2,5 с; - температура спрацьовування не менше 115 °С при швидкості	

		Датчик ДПС	2	повітряного потоку 3-4 м / с і швидкості наростання температури не менше 2 °С / с; - датчики витримують температуру 1100 °С протягом 5 хвилин; - маса системи не більше 4,0 кг	датчик ДПС-1АГ. - помилкове спрацювання сигналізації про пожежу
Система пожежної сигналізації	ССП-2А серія 2	Блок виконавчий БИ-2А серія	2	- напруга живлення (27 ± 2,7) В;	через відмову виконавчого блоку БИ-2ІЖЛ;
		Частини ел. з'єднувачів відповіді	4	- кількість каналів-6;	- помилкове спрацювання пожежної сигналізації через відмову виконавчих блоків
		Розетка ССП-2И-РМ	18	- напруга спрацювання кожного каналу від 47 до 60 мВ;	періодично відбувається на більшості типів ПС
		Датчик ДПС	18	- час спрацювання не більше 2 с;	- відмови протипожежного обладнання викликані помилковим спрацюванням блоку ССП-ФК-БИ 2, в основному через попадання вологи.
		Запасні частини:		- діапазон температур спрацювання від 180 до 400 °С при швидкості повітряного потоку 3-4 м / с і швидкості наростання температури від 2 до 4 °С / с;	- помилкове спрацювання протипожежної системи через відмову блоку ССП-ФК-БИ 2, внаслідок попадання вологи в ШР електроланцюга датчика.
		Датчик ДПС	2	- датчики витримують температуру 1100 °С протягом 5 хвилин; - маса системи не більше 2,9 кг	- помилкове спрацювання протипожежної системи
Система сигналізація про пожежу	ССП-2АМ	Блок виконавчий М11.45.008	1	- напруга живлення (27 ± 2,7) В;	
		Частини ел. з'єднувачів відповіді	4	- кількість каналів-6;	
		Розетка ССП-2И-РМ	18	- напруга спрацювання кожного каналу від 14 до 30 м В;	
		Датчик ДТБГ	18	- час спрацювання не більше 1 с;	
		Запасні частини:		- температура спрацювання не більше 180 °С при швидкості повітряного потоку 3-4 м / с і швидкості наростання температури не менше 2 °С / с;	
		Датчик ДТБГ	2	- датчики витримують вплив відкритого полум'я протягом 20 секунд; - маса системи не більше 3,9 кг	
Система сигналізація про пожежу	ССП-2И	Блок виконавчий БИ-2И	1	- напруга живлення (27 ± 2,7) В;	
		Частини ел. з'єднувачів відповіді	1	- кількість каналів-2;	
		Розетка ССП-2И-РМ	6	- напруга спрацювання кожного каналу від 56 до 98 м В;	
		Датчик ДТБГ	6	- час спрацювання не більше 1 с;	
		Запасні частини:		- температура спрацювання не більше 200 °С при швидкості повітряного потоку 3-4 м / с і наростання температури 3-4 °С / с;	
		Датчик ДТБГ	2	- датчики витримують вплив відкритого полум'я протягом 20 секунд; - маса системи не більше 1,3 кг	

Система сигналізація про пожежу	ССП-2И серія 2	Блок виконавчий БИ-2И серія2 Частини ел. з'єднувачів відповіді Розетка ССП-2И-РМ Датчик ДПС Запасні частини: Датчик ДПС	1 1 6 6 2	- напруга живлення ($27 \pm 2,7$) В; - кількість каналів-2; - напруга спрацювання кожного каналу від 47 до 60 мВ; - час спрацювання не більше 2 с; - діапазон температур спрацювання від 180 до 400 °С при швидкості повітряного потоку 3-4 м / с і наростання температури від 2 до 4 °С / с; - датчики витримують температуру 1100 °С протягом 5 хвилин; - маса системи не більше 1,1 кг	через відмову блоку ССП-ФК-2, внаслідок замикання контактів поляризованого реле ДМ22257-100-01, викликаного попаданням вологи. - помилкове спрацювання протипожежної системи через відмову мікровимикача Д-703 в блоці протипожежних кранів 781100 відсіку головного редуктора. - помилкове спрацювання через ослаблення кріплення вихлопного патрубку викликало сигналізації про пожежу.
Система сигналізація про пожежу	ССП-7	Блок реле ССП-7БИС Частини ел. з'єднувачів відповіді Датчик ДТБ2АУ Запасні частини: Датчик ДТБ2АУ	1 4 4 2	- напруга живлення ($27 \pm 2,7$) В; - кількість каналів-2; - напруга спрацювання кожного каналу від 10 до 26 мВ; - час спрацювання не більше 4 с; - діапазон температур спрацювання від 200 до 500 °С; - маса системи не більше 4,0 кг	- помилкове спрацювання через ослаблення кріплення вихлопного патрубку викликало сигналізації про пожежу.
Система сигналізація про пожежу	ССП-ФК	Блок виконавчий ССП-ФК БИС Частини ел. з'єднувачів відповіді Розетка ССП-2И-РМ Датчик ДТБГ Запасні частини: Датчик ДТБГ	1 4 18 18 2	- напруга живлення ($27 \pm 2,7$) В; - кількість каналів-6; - напруга спрацювання кожного каналу від 14 до 30 м В; - час спрацювання не більше 1 с; - температура спрацювання не більше 180 °С при швидкості повітряного потоку 3-4 м / с і швидкості наростання температури не менше 2 °С / с; - датчики витримують вплив відкритого полум'я протягом 20 секунд; - маса системи не більше 4,0 кг	-помилкове спрацювання сигналізації перегріву підкапотного простору двигуна №1 внаслідок порушення герметичності комунікацій гарячого повітря. Дефект-КПН.
Система сигналізація про пожежу	ССП-ФК серія 2	Блок виконавчий ССП-ФК-БИ серія2 Частини ел. з'єднувачів відповіді Розетка ССП-2И-РМ Датчик ДПС Запасні частини: Датчик ДПС	1 4 18 18 2	- напруга живлення ($27 \pm 2,7$) В; - кількість каналів-6; - напруга спрацювання кожного каналу від 24 до 36 м В; - час спрацювання не більше 2 с; - температура спрацювання не більше 150 °С при швидкості повітряного потоку 3-4 м / с і швидкості наростання температури не менше 2 °С / с; - датчики витримують температуру 1100 °С протягом 5 хвилин; - маса системи не більше 2,9 кг	



СВІ – система відображення інформації, СЕП – система електропостачання, ДТП – датчик температури підшипників, ППО – привід постійних обертів, ДСУ – допоміжна силова установка, СКП – система кондиціонування повітря, ССП – система сигналізації про пожежу, U, I, f – напруга, сила струму та частота живлення системи електропостачання, t_2° – температура вихідних газів, p_m – тиск масла, t_m° – температура масла, $p_{вих}^n$ – тиск палива на виході автомата дозування палива, p_{ex}^n – тиск палива на вході автомата дозування палива, n_∂ – частоти обертання валів двигуна, q – розхід палива, Q – залишок палива.

Рисунок 1.14 - Інформаційна модель силової установки ПС

Можна виділити наступні основні сигналізатори на основі інформації від яких відбувається оцінка стану двигуна і його основних вузлів за ознакою пожежі:

- 1) Сигналізатори небезпечної температури газів, що спрацьовують при порушенні газодинамічної стійкості двигуна і у випадках перевищення температури газів; основними причинами помилкових спрацьовувань є відмова конденсатора температури, перегорання трансформатора напруги ИБ, відмова підсилювача 2УЭ-6В ИБ.

- 2) Сигналізатори небезпечної температури підшипників, що дозволяють виявити руйнування підшипників оборотів турбокомпресора. Основною причиною помилкових спрацьовувань системи СТП-3 є завищення температури навколишнього середовища в районі установки підсилювача УС-3, що

відбувається в результаті негерметичності системи відбору гарячого повітря від двигунів.

3) Сигналізатори стружки в маслі, що дозволяють виявити початок руйнування деталей двигуна. Основними причинами помилкового спрацьовування є попадання волосоподібних металевих частинок, що замикають електроланцюг сигналізації, струмопровідного графіту між пластинками, волога в штепсельних роз'ємах (ШР).

4) Сигналізатори небезпечної вібрації, що дозволяють виявити несправності, пов'язані з механічними ушкодженнями. Основними причинами помилкових сигналів про небезпечну вібрацію є відмови вібродатчиків (заїдання рухомої системи, знос підшипників, осей і обрив обмотки) електронного блоку, потрапляння вологи в штепсельні роз'єми електронного блоку.

5) Сигналізатори пожежі призначені для автоматичної сигналізації про пожежу в будь-якій з гондол і у відсіку ДСУ [51, 71]. Основними причинами помилкових спрацьовувань є:

- зміна чутливості каналу виконавчого блоку;
- замикання в ШР комутаційної системи через попадання вологи;
- електричні наведення в ланцюзі датчиків переважають допустимі значення через порушення в трасуванні електропроводки.

З вище наведеного можна зробити наступні висновки:

1. Недостатній рівень надійності систем сигналізації призводить до помилкового спрацьовування сигналізаторів.

2. Обмежені можливості вбудованих систем контролю справності вимірювальної апаратури і відсутність автоматизованої видачі інформації про відмову систем вимірювання призводять до помилок типу помилкової тривоги при яких екіпаж вимикає справно працюючий двигун.

Кількість передумов АП ПС і АД, коли екіпаж сприймаючи помилкову інформацію за відмову двигуна, вимикає його, становить 70% від їх загальної кількості [72].

Важливе значення у своєчасному розпізнаванні відмов і несправностей силових установок мають системи бортової сигналізації. Для контролю за станом силових установок застосовують такі системи сигналізації: пожежа в двигуні або мотогондолі, небезпечна температура газів, небезпечна температура підшипників, небезпечна вібрація, стружка в маслі, мінімальний тиск масла і палива, мінімальний залишок масла, надлишок масла, засмічення паливного фільтра, положення механізації компресора, положення замка і створів реверсу, обмерзання двигуна та ін.

Системи індикаторів, за якими оцінюється робота двигунів, відхиляються на неоднакові кути, що ускладнює розпізнавання стану відмови двигуна, особливо в умовах дефіциту часу.

Більшість світлосигнальних індикаторів при спрацьовуванні не висвічують номер двигуна, що відмовив або несправного двигуна, в зв'язку з чим в умовах обмеженого часу не виключається можливість помилкового віднесення сигналу відмови до справного двигуна. Невизначеність істинного стану авіадвигуна при наявності ознак відмов або несправностей багато в чому обумовлена імовірнісною природою великої кількості різноманітних технічних причин відмов двигуна і його систем, а також можливістю появи помилкової інформації систем контролю в процесі розпізнавання відмови і прийняття рішення. Ліміт часу на розпізнавання і прийняття рішення, небезпека наслідків раптової відмови двигуна накладають певні обмеження на наявний час виявлення, розпізнавання і локалізації відмови. Відмова двигуна небезпечний своїми наслідками, перш за все, втратою тяги, що особливо небезпечно при зльоті, можливими вторинними руйнуваннями конструкції двигуна, планера або їх систем і це все може супроводжуватися "пожежею", що може створити катастрофічну ситуацію [73, 74].

До небезпечних режимів роботи АД відносяться наступні фактори, які визначають причини пожеж АД ПС, як показано в Таб.1.3. [71, 72]:

Таблиця 1.3 - Фактори, які визначають причини пожеж АД ПС

Опасные режимы АД	признак пожара	не выз. пожар
Мало масла		-
Стружка в маслі	+	
Надлишок масла	+	
Падіння тиску масла. Р масла	+	
Падіння тиску палива. Р палива	+	
Фільтр засмічений	+	
Небезпечна t газів	+	
Зупинка показчика t газів	+	
Небезпечна t підшипників	+	
Віб्राція велика	+	
Клапани перепуску		-
РНА прикритий		-
Замок реверсу. Мимовільне відкриття		-
Стулки реверсу: режим зворотної тяги		-
Пожежа	+	
Помпаж		-

Результати експертної оцінки опитувань пілотів і бортінженерів цивільної авіації, які мають великий досвід рейсів і льотно-випробувальної роботи на літаках з ГТД дозволяє виявити ступінь небезпеки можливих результатів від прийнятих рішень з локалізації відмов двигунів у польоті [71, 75].

Таблиця 1.4 - Ступінь небезпеки відмов двигунів

Можливі результати польоту	Ступінь небезпеки
Невимикання двигуна при істинному сигналі:	
Пожежа в мотогондолі	10.0
Небезпечна t газів (ознака помпажа)	8.5
Небезпечна вібрація	8.2
Перегрів опор двигуна	4.7
Стружка в маслі	4.3
Падіння тиску масла	4.3

Як видно з таблиці 1.4, найбільшу небезпеку при виникненні пожежі в мотогондолі створює ситуація невимикання двигуна при істинному сигналі про відмову. Тому КЛЕ предписує екстрене вимикання двигуна навіть на етапі тривалого зльоту в разі загоряння табло "пожежа" і спрацюванні при цьому першої черги протипожежної системи.

У зв'язку з небезпекою пожежі і наявності безлічі параметрів, за якими можна визначити стан роботи двигуна з однозначним отриманням достовірної інформації необхідно переходити на принципово новий математичний метод розпізнавання проблемних ситуацій, які пов'язані з небезпечними режимами роботи авіадвигуна.

Цим методом може бути інформаційно-факторний аналіз на основі мультиплікативних функцій взаємодія факторів (див.1.15) [39]:

$$S_i = -\prod_{i=1}^n (p_i)_i \log \prod_{i=1}^n (p_i)_i \quad (1.4)$$

де p_i – імовірність появи діючого чинника в системі «екіпаж-ССП».

На основі математичної моделі, отримані графічні залежності які показують, що при збільшенні інформаційного навантаження в системі «екіпаж-ССП» невизначеність функції прийняття рішення стає гранично невизначеною, і при дії одночасно 4 факторів екіпаж виходить поза межні можливостей і не може впоратись з факторною накладкою [76].

Пожежа як складна проблемна ситуація вимагає поліпараметричного контроль параметрів функціонування системи "екіпаж-ССП" при пожежі на ПС для забезпечення безпеки польотів (БП).

Підвищення БП здійснюється шляхом цілеспрямованого впливу на фактори, що впливають на БП. Основним джерелом інформації для оцінки небезпечних факторів є розслідування авіаційних подій (АП та інцидентів).

Прикладом цього може служити АК літака Ту-154 в Красноярському аеропорту 23.12.1984 р [77], де загинуло 104 пасажери і сім членів екіпажу. Політ тривав 8 хвилин 42 с. при аналізі звукового запису і розшифровці польотної інформації отримано графік параметрів польоту і роботи силових установок рис.1.16. З графіків можна побачити, як розвивалися особливі польотні ситуації цієї катастрофи таб.1.5.

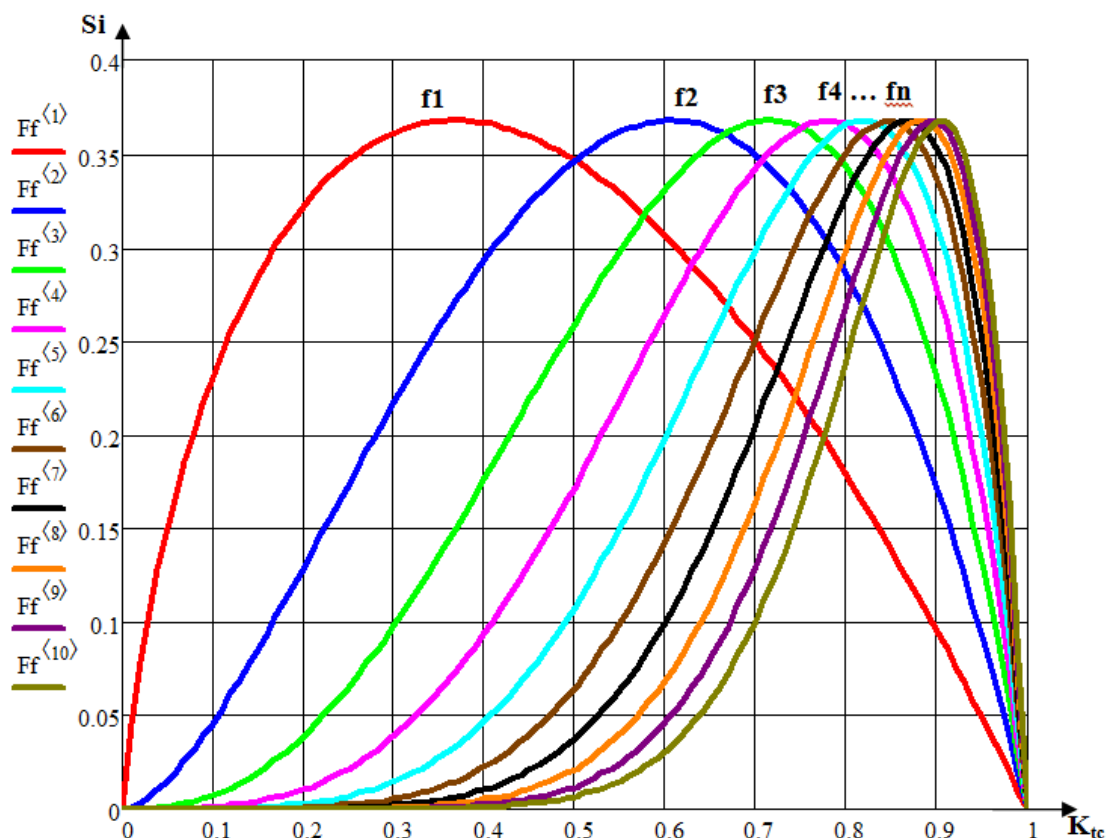


Рисунок 1.15 - Графічні залежності інформаційного навантаження системи "екіпаж-ССП" від кількості взаємодіючих факторів

Таблиця 1.5 - Аналіз причин розвитку ОПС

ОПС	Причина ОПС і її розвитку
УУП	Було чути удар
СС	Спрацювала сигналізація "пожежа в 3-му двигуні" Пожежа-в результаті руйнування трубопроводу і неможливості закриття паливного крану (постійне надходження палива в 3-й двигун)
АС	Всі черги протипожежної системи були застосовані, але пожежа залишилася
КС	Відмова системи управління літаком

При розслідуванні авіакатастрофи необхідно аналізувати весь комплекс причин, який сприяв цій катастрофи, як це показано на рис.1.16. Показані системні заходи які необхідно виконувати в подібних ситуаціях з урахуванням факторів, які впливають на полієргатичну систему "екіпаж-ПС", включаючи, як, производствні так, і експлуатаційні фактори, де оператор є головною ланкою цієї системи в процесах прийняття рішенні і запобігання граничних ситуації.

При проблемному аналізі авіакатастроф, пов'язаних з пожежею двигунів, за методикою інформаційно-факторного аналізу (ІФА) дуже важливо розуміти, що

вся проблемна ситуація, яка потім переходить в катастрофічну, повинна з позиції ІФА розглядатися як ситуація, яка складається з декількох етапів.

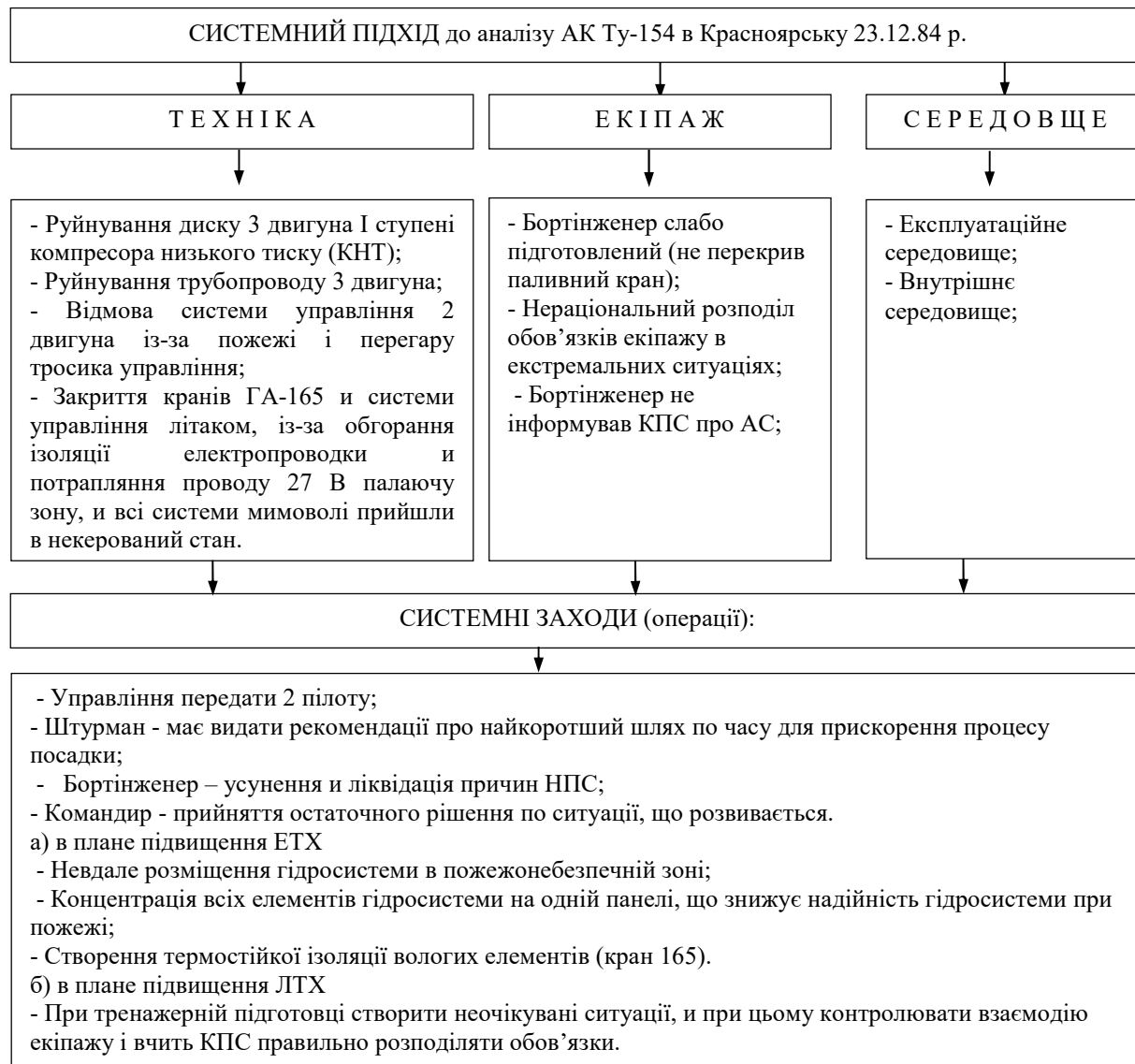


Рисунок 1.16 - Аналіз процесів розвитку ОПС АК Ту-154

Умовно приймаємо, що в початковий момент ситуації всі 3 двигуна створюють $\Delta S_{\max}$ - зону максимальної невизначеності, тому що поява пожежі - вкрай мало ймовірна і абсолютно несподівана подія для екіпажу.

При виключенні двигуна ця невизначеність зникає, тому ми позначимо процес вимкнення двигуна через символ (-): як зняття ΔS .

У таблиці 1.6. наведено аналіз наслідків катастрофи шляхом аналізу появи та зняття ΔS . З таблиці 1.6. і 1.7. видно, що фактично при монопараметричному контролі за роботою двигунів, як було при цій авіакатастрофі 3-й двигун (який горів) був поза контролем екіпажу (число $\Delta S_{\max}$ - 11, закреслений (знятий)- 1),

тобто весь час в максимальній зоні невизначеності. Цю зону максимальної невизначеності можна зняти тільки переходом до поліпараметричного аналізу.

З таблиці видно, що невизначеність ситуації не зменшувалася з третім двигуном, а зростала. Можна виділити 3 критичних моменти, коли ситуація була гранично максимально невизначеною.

Таблиця 1.6 - Перехід від $\Delta S_{\max}$ до $\Delta S_{\min}$

час	$\Delta S_{\max 1}$	$\Delta S_{\max 2}$	$\Delta S_{\max 3}$	Вихідні стани
3.21		+		
3.26		-		
3.31			+	
3.34		+		
3.43	+	+	+	горять всі двигуни
3.55			+	
3.59	-			
4.02			+	
4.03		-	-	
4.12	+	+	+	чи не запускається жоден
4.32.				Запусти хоч один
4.41		-	+	
4.56		-	+	
5.09	-			
5.17		-	+	
5.18	-	-		
5.24	+	+	+	Пожежа горить
6.15	+	+	+	
6.45	+	+	+	
7.07	-		+	
7.09		+		Другий горить

Таким чином, якби в проблемній ситуації з самого початку був забезпечений перехід від (3 $\Delta S_{\max}$ до $\Delta S_{\min}$) - трьох максимумів до мінімуму невизначеності в початковий момент проблемної ситуації за допомогою поліпараметричного розпізнавання ознак пожежі (контролю), то ситуація могла б розвиватися по іншому, оскільки двигуни 1 і 2 могли працювати по іншому.

Тому створення поліпараметричних систем розпізнавання пожеж дає велику можливість в перші моменти зняти максимальну невизначеність ситуації, а в

подальшому не дати їй досягти знову максимуму, як це було 3 рази (3.43; 4.12; 5.24) в Красноярській катастрофі.

З аналізу табл.1.7 можна зробити наступні висновки:

- 1) третій двигун, який горів, був без контролю і весь час в $\Delta S_{\max}$.
- 2) відсутність поліпараметричного контролю в початковий момент проблемної ситуації - головна діюча причина, яка призвела до катастрофи.
- 3) це не просто помилкові дії БІ, а вказівка в технологіях на перехід контролю за поліпараметричним принципом в початковий момент катастрофи.

Таблиця 1.7 - Кількість $S_{\max}$ и $S_{\max}$ зніманих

	$S_{\max}$	$S_{\max}$ зніманих
Д1	6	4
Д2	7	6
Д3	11	1

При аналізі таблиць 1.7 та 1.8 видно, що через відсутність контролю параметрів третього двигуна в проблемній ситуації у екіпажу було три критичні моменти, коли ситуація оцінювалася по третьому ΔS , тобто як гранична ("Горить", "Не запускається ніякий", "Пожежа. Горить"). У міру розвитку проблемної ситуації відбувалося зростання невизначеності ситуації-червона лінія. Зняти це зростання невизначеності можна було тільки переходом від операції "вимкнути Двигун" до технологій поліпараметричного контролю всіх двигунів. Таким чином, можна зробити наступні висновки.

1. Пожежі двигуна являють собою не просто випадкові ситуації, а характеризуються як складні або поліфакторні явища і процеси, які несуть значний ступінь ризику і граничну невизначеність для процесу польоту ПС.

2. Невизначеність початкового моменту виникнення будь-якої пожежі двигуна призводить до того, що функція прийняття рішення КПС і екіпажем стає технологічно і операційно гранично складною, тому навіть прості операції і сенсомоторні руху під час раптового і несподіваного виникнення пожежі виконувати екіпажу досить важко.

3. Всі системи сигналізації про пожежу є складними логіко-динамічними системи, тому необхідно обґрунтувати оптимальні варіанти їх структур і забезпечити їх ергономічну досконалість.

4. Інформаційно-факторна модель створює перспективи більш глибокого аналізу проблемної ситуації при пожежах і дає підставу для переходу від монопараметричного до поліпараметричного контролю параметрів роботи двигуна при пожежі.

1.4. Перспективи розвитку бортових систем пожежної сигналізації

Враховуючи важливість проблем захисту ПС від пожеж, тривають дослідження з підвищення надійності існуючих ССП і створення нових ефективніших ССП на ПС. До перспективних ССП слід віднести пневматичні і радіаційні (оптичні) ССП.

Принцип дії пневматичної системи базується на підвищенні тиску газу в датчику з підвищенням його температури. Датчик представляє собою герметично запаяну капілярну трубку діаметром 1,5 мм, заповнену постійним об'ємом інертного газу - гелію. Усередині трубки знаходиться центральний провідник, що характеризується властивістю виділення великої кількості газу, коли будь-яка його частина нагрівається вище деякої критичної температури. Гелій служить як засіб виявлення перегріву, збільшуючи свій тиск відповідно до рівняння газового стану, і одночасно виконує функцію перевірки герметичності корпусу трубки. Центральний провідник призначений для виявлення пожежі (локального підвищення температури). Газ, що при цьому виділяється відрізняється від гелію, з ним не змішується, хімічно не взаємодіє і поглинається провідником, як тільки нагріта ділянка охолоне нижче критичної температури.

Оскільки процес виділення або поглинання газу оборотний, датчик може бути використаний багаторазово. Конструктивно один кінець трубки заглушений, на іншому кінці встановлено приймально-передавальний пристрій, що складається з пневмореле з електричними контактами. Одне пневмореле замикає електричні контакти при перегріванні або пожежі. Друге пневмореле замикає контакти при перевірці герметичності датчика. Пневматична система відрізняється простотою і надійністю, проте володіє великою інерційністю.

Радіаційна ССП використовує променеву енергію горіння. Відомо, що приблизно 20% всієї енергії, що виділяється при горінні припадає на випромінювання. Спектр його досить широкий: від ультрафіолетового до інфрачервоного випромінювання. Його природа – хіміolumінесцентне випромінювання пов'язане з хімічною реакцією горіння (виділенням вільних фотонів) і обумовлене утворенням в полум'ї вільних радикалів. Спектроскопічне дослідження полум'я показує, що в ньому є компоненти з дуже вузькими смугами випромінювання. Датчики радіаційних систем розраховуються на виявлення випромінювання певної довжини хвилі (певної частини спектра). Щоб уникнути помилкових спрацьовувань датчики повинні володіти високою селективною чутливістю. В якості датчиків в радіаційних ССП застосовуються фотоопори, фотодіоди з великою контрастністю і високим тепловим опором.

ССП на базі світлодіодів вважаються перспективними. У такій ССП, виконаної на базі світловодів, використовуються оптичні властивості кабелю з світлопровідних волокон для реєстрації відкритого полум'я. Це дозволяє візуально виявляти пожежу, що виникла в будь-якому з відсіків, підтверджуючи тим самим достовірність сигналу, отриманого від інших ССП, встановлених в цих же відсіках. Розглянемо більш детально використання сигналізації на світлодіодах, як це показано на рис.1.17.

Перший варіант є найкращим - без застосування будь-яких електронних підсилювачів. В якості «кабелю-джгута» зазвичай використовують кварц-полімер" зі світлопровідними волокнами. У пожежонебезпечній зоні встановлюються оптичні приймачі світлового випромінювання в кількості, достатній для повного «огляду» всього простору відсіку. При цьому повинні бути вжиті заходи щодо попередження попадання відкритого світла (сонячних променів або штучного освітлення) на приймачі освітлення. Контроль за справністю систем світлодіодів може здійснюватися за допомогою контрольної освітлювальної лампи, встановленої у відсіку в полі «зору» оптичного приймача, яка включатиметься з кабіни екіпажу при перевірці.

Розподіл відмов елементів виконавчого блоку БИ-2И показує, що найбільша кількість відмов припадає на пристрій блокування (на транзисторах VT5, VT6), яке служить для стійкості системи до помилкових спрацьовувань.

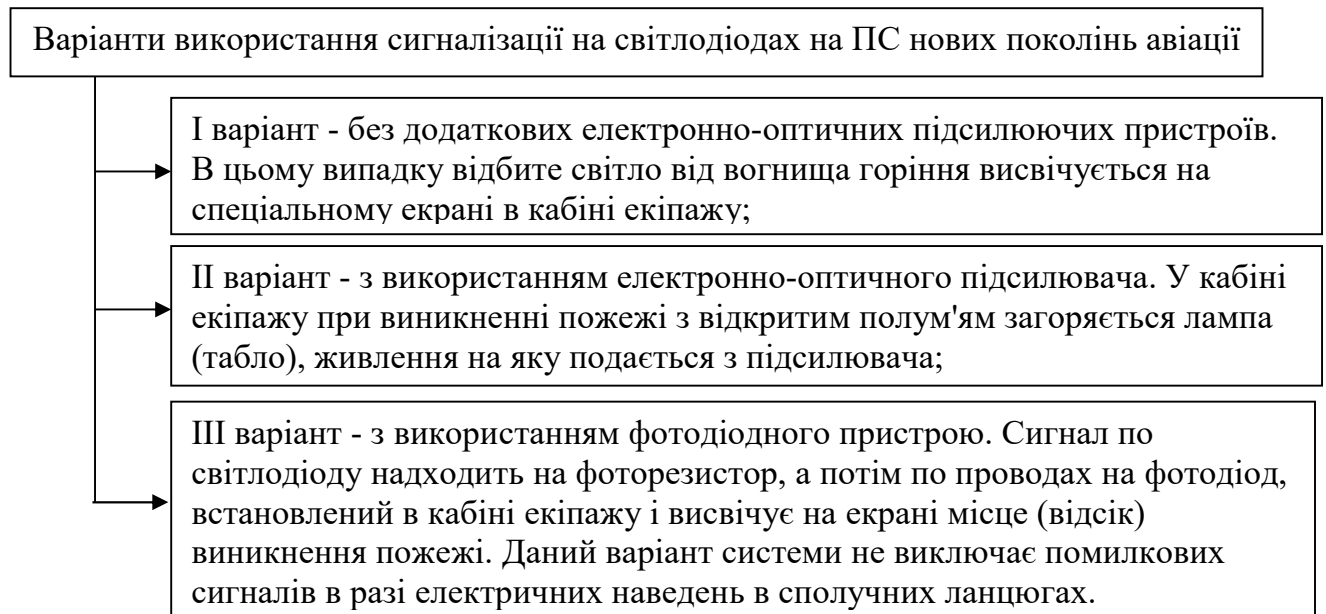


Рисунок 1.17 - Варіанти використання сигналізації на світлодіодах в ПС нових поколінь авіації

Сучасний рівень розвитку авіоніки дозволяє розробити БИ на мікроелектронній базі, що сприяє можливості збільшення резервування елементів структури виявлення небезпечних польотних ситуації (НПС) з необхідною достовірністю для прийняття екіпажем адекватних рішень, і в кінцевому рахунку підвищити рівень безвідмовності пристроїв і безпеку польотів. Крім того використання сучасної авіоніки дозволяє вдосконалювати програмне забезпечення, для підвищення швидкодії обробки інформації, що дозволяє враховувати додаткові фактори при прийнятті рішення про наявність пожежі, помилкове спрацьовування або відсутність пожежі на борту, тим самим зменшувати ймовірності пропуску події і помилкового спрацьовування, а також збільшувати ймовірність виявлення і ліквідації НПС.

Висновки по 1 розділу:

1 - Функціональна структура систем пожежогасіння недосконала в тому відношенні, що в питаннях резервування та зв'язків між датчиками не розглянуті структурні недоліки методів підключення резерву, а також їх ефективності;

- не вирішені питання надійності, а особливо контролювання датчиків під час польоту;

- з моменту зародження авіація допускалися відмови і збої датчиків, через специфіку систем сигналізаторів, де робочі діапазони мали допуски і помилки.

2 - ССП відносяться до просторово-точкових систем сигналізації, тому при конструюванні потрібно було застосовувати не статичні, а динамічні методи конструювання з перетвореннями типу конформного відображення. Тому складно визначити апріорну (розрахункову) ефективності цих систем. Статистика ж авіаційних подій та інцидентів не підтверджує їх високої ефективності.

3. – Датчик ССП-це не точковий датчик, а технічний пристрій сигналізації явища можливих осередків пожежі. Датчик в класичному варіанті-це вимірювач або логічний пристрій в якійсь фіксованій точці простору. Датчик сигналізації про пожежу- досить складний пристрій, який складається з кабелю в кілька метрів і вимірювача (власне датчика). Вимірювання не мають шкали, тільки межі відліку. У цих датчиків існує значна невизначеність і помилкові спрацьовування, а також пропуски явища (пожежі) і збої в роботі виконавчого блоку ССП.

4. Недоліки в роботі датчиків ССП:

- велика інерційність;
- залежність часу спрацьовування від температури навколишнього середовища;
- можливістю помилкових спрацьовувань при наявності вологи, обриві, замиканні, трясці і вібраціях літака.

Недоліком датчиків диму є можливість помилкових спрацьовувань за рахунок природної іонізації повітря на великих висотах польоту і при радіолокаційних опроміненнях літака.

Головним недоліком ССП є великий температурний діапазону, в деяких системах ΔT від 100 до 350 С°. Для датчиків диму температурна складова похибки вимірювання рівня задимленості в такому широкому діапазоні може істотно спотворити реальні значення задимленості, що може привести до помилкового спрацьовування сигналізатора під час польоту.

Так само можуть бути помилкові спрацьовування або відмови сигналізаторів диму (СД):

- запыленість внутрішньої поверхні оптичної частини СД;
- температурні і часові зміни характеристик світлодіодів і фотодіода;
- температурні і часові зміни характеристик підсилювачів і перетворювачів.

5. Для зниження ймовірності виникнення пожеж і катастроф повітряних суден необхідно провести наступні заходи:

- Поліпшити організацію навчання пілотів шляхом збільшення числа відпрацьованих годин практики польоту при навчанні і додати імітацію пожежі;
- Проводити періодично ретельні перевірки технічного стану повітряних суден нормам безпеки та проводити списання застарілих суден та їх капітальний ремонт;
- Технічне удосконалення конструкцій повітряних суден в осередках загорянь, спрямоване на зниження можливості виникнення пожежі.
- Система сигналізації про пожежу повітряного судна є критичною з точки зору відмовостійкості, надійності, безпеки польотів та ефективності. Навіть помилкова відмова ССП передбачає зміну плану польоту і відключення працюючого двигуна і в залежності від ситуації, що склалася за рішенням командир ПС льотний екіпаж проводить посадку в найближчий аеродром або поза аеродромом. Таким чином можна класифікувати пожежу ПС як складну подію яке може швидко перерости в катастрофу.
- З вище сказаного для підвищення рівня безпеки авіаперевезень необхідно підвищити надійність ССП і провести вибір і оптимізацію структур розпізнавання і локалізації небезпечних польотних ситуації (пожежа, обмерзання, стружка в маслі і вібрація). Провести необхідні заходи щодо зниження ризиків виникнення авіаційних подій на борту повітряних суден.

РОЗДІЛ 2

ІНФОРМАЦІЙНО-СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПОЖЕЖНОЇ СИТУАЦІЇ НА ПОВІТРЯНИХ СУДАХ

2.1 Інформаційні технології аналізу статистичних даних про пожежі на борту повітряних суден

Аналіз авіаційних подій цивільних транспортних літаків показав, що 56% катастроф відбувається на етапах зльоту, заходу на посадку і посадки, а дослідження динаміки руйнування літаків при аварії свідчать, що основними факторами, що приводять до жертв при авіаційних подіях транспортних літаків, є сили, які діють при ударі і пожежа.

Статистика авіаційних пожеж показує, що 30% з них виникає в повітрі, а 70% на землі. Пожежі в повітрі можуть статися внаслідок різних конструктивних і технологічних недоліків: несправності системи живлення, протікання баків і інших. Іноді пожежі є наслідком того, що при конструюванні літака не враховуються основні протипожежні вимоги або внаслідок дії поліфакторної накладки на екіпаж, коли екіпаж виходить на інформаційні межі (а це мінімум 4-5 факторів) [24, 76]. Незважаючи на велику статистику по авіаційним пригодам і катастрофам визначення статистичної частки авіаційних пожеж, особливо пожеж авіадвигунів, є дуже складним процесом.

Для всіх типів літаків частка пожеж у світовій статистиці становить 10% у загальній статистиці АП, за період 2001-2018, як це показано на рис.2.1., де N - кількість авіаційних подій (АП) на рік по всьому світу за всіма типами ПС.

Для комерційної авіації АП та АК будуть розподілені як зображено на рис. 2.2 та рис. 2.3. З рис. 2.2. видно що кількість пожеж становлять 7% із загальної статистики АП. Це викликано, тим що авіакомпанії виконують всі вимоги норм льотної придатності, і проводять технічне обслуговування за станом з контролем параметрів надійності відповідно до стратегії MSG-3.

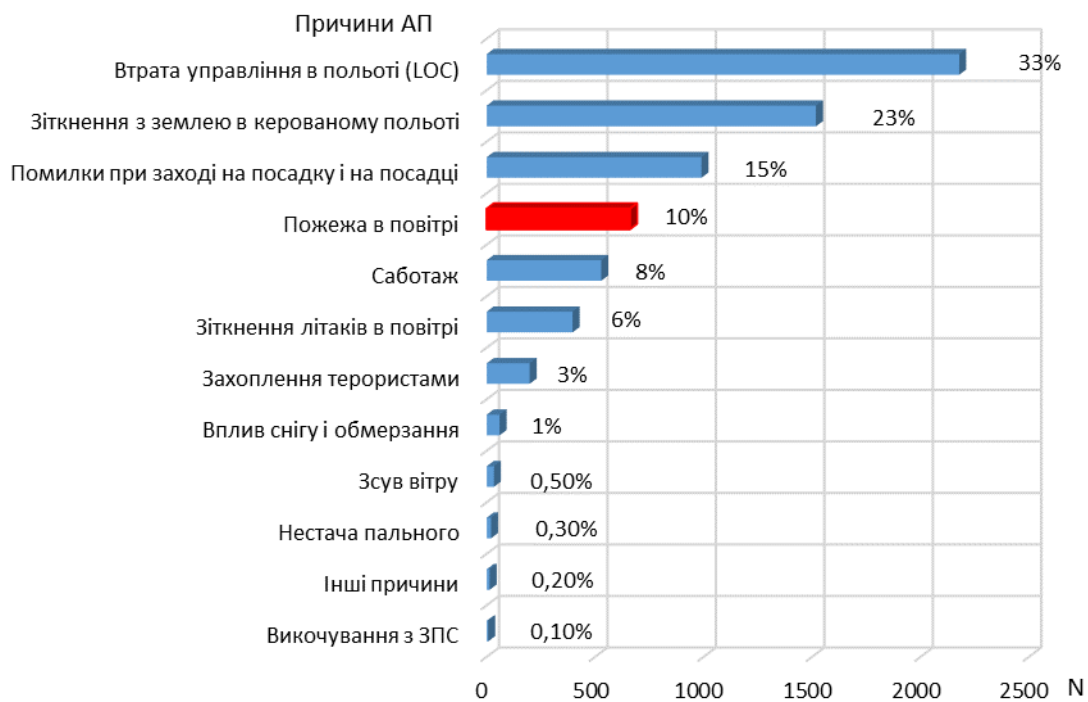


Рисунок 2.1 - Статистика причин АП на літаках всіх типів за період 2001-2018

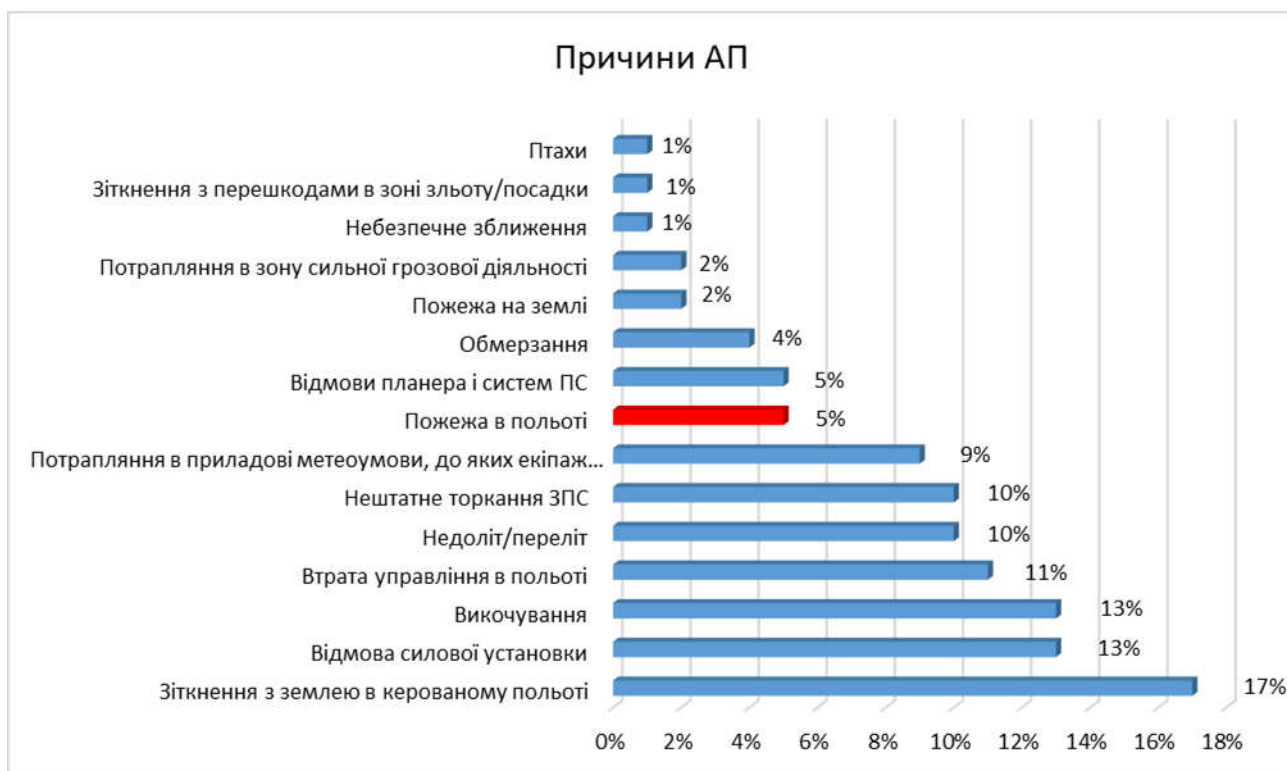


Рисунок 2.2 - Статистика причин АП на комерційній авіації за період 2001-2018



Рисунок 2.3 - Статистика АК за період 2001-2018

З рисунків 2.1 - 2.3, видно що пожежі складають 9-12% від загальної кількості АП та 9% - від загальної кількості АК. Це показує що пожежа є НПС і відразу переходить в катастрофічну ситуацію. Тому актуальним є питання вирішення проблеми боротьби з такими небезпечними ситуаціями як пожежа двигуна, титанова пожежа та інші види.

При аналізі статистичної інформації за період 1990-2020 був виявлений наступний розподіл авіаційних подію за причиною виникнення (таблиця 2.1.)

Таблиця 2.1 - Розподілу авіаційних подію за період 1990-2020

	Відмова авіаційної техніки	Людський фактор	Несприятливі зовнішні умови
Аварії	41%	48%	11%
Катастрофи	6%	84%	10%

Слід зазначити, що невизначеність визначення статистичної частки авіаційних пожеж не є виробничим або конструктивним недоліком, а викликана перш за все

тим, що визначення початкової стадії виникнення будь-якої пожежі, особливо пожежі авіадвигуна, являє собою процес зі значним невизначеним початковим моментом.

Невизначеність початкового моменту виникнення пожежі викликана значною складністю його початкової ідентифікації (розпізнавання), багатфакторністю, раптовістю його виникнення, швидкоплинністю, а особливо «титанова пожежа».

Основними джерелами пожежної небезпеки при експлуатації літаків є:

- результати витікання та потрапляння на нагріті елементи конструкції горючих рідин з паливної, масляної і гідравлічної систем;
- руйнування деталей двигуна,
- ураження блискавкою;
- відкрите полум'я;
- поверхні, нагріті до високих температур;
- електричні розряди, що виникають від статичної електрики.
- складність і невизначеність виникнення і розвитку процесів горіння;
- недосконалість конструкції систем датчиків і самих комплексів пожежогасіння;
- множинність місць виникнення і невизначеність локалізації місця виникнення пожежі.

Так, наприклад, в таблиці 2.2 показано 17 місць локалізації можливих передумов до пожеж ПС різних модифікацій.

Аналіз таблиці 2.2. показує неоднорідність виникнення пожеж в різних місцях літака і в конструкції двигуна. Лопатки компресора, робочі лопатки турбіни, підшипники вала турбіни є більш уразливими місцями, оскільки вони знаходяться в постійному русі зі значними швидкостями і являються причинами "титанових" пожеж, які становлять приблизно 55% від усього комплексу відмов АД [85, 86].

Таблиця 2.2 - Можливі передумови до пожеж ВС за 10 років

№	Відмова - причина пожежі	кількість АП
1	Корпус компресора	5

2	Диск компресора	3
3	Робоча лопатка компресора	17
4	Кріплення ротора компресора	2
5	Підшипник вала ротора	7
6	Вал ротора компресора	2
7	Робоче колесо компресора	2
8	Лопатка направляючого апарату компресора	3
9	Кожух (обтічник капот турбіни)	3
10	Лопатка соплового апарату турбіни	5
11	Кріплення лопаток соплового апарату	2
12	Робоча лопатка турбіни	9
13	Вал турбіни	2
14	Масляно-повітряне ущільнення турбіни	8
15	Підшипник вала турбіни	14
16	Вентилятор турбіни	4
17	Замок лопаток соплового апарата	3
18	Витік і потрапляння на нагріті елементи конструкції горючих рідин з паливної, масляної і гідравлічної систем	5
19	Руйнування двигуна	7
20	Розряди статичної електрики всередині паливних баків та ураження блискавкою	3

Це підтверджується даними про характерні відмови двигуна, виявлені за матеріалами п'ятирічної експлуатації пасажирського літака типу А-300.

Пошкодження і відмови, що виникли в найбільш відповідальних вузлах і деталях двигунів, в 60,5% випадків призвели до вимушеної зміни режиму польоту (по висоті і швидкості). Чисельно основні ушкодження припадають [72]:

- 32,5% - на компресор високого тиску
- 9,5% - на підшипники,
- 8,0% - на турбіни низького тиску,
- 5,5% - на камеру згоряння,
- 3,5% - на вентилятор,

- 1,5% - на турбіни високого тиску.

Із загальної кількості пошкоджень компресора високого тиску 11,5% пов'язані із зносом елементів приводу поворотних лопаток і особливо фрикційних кілець механізмів, 15% з поломками робочих лопаток, 4% - з появою тріщини в корпусі компресора за рахунок малоциклової втоми і корозії і близько 5% - з недоліками підшипника.

Основним видом ушкоджень камер згоряння є поява прогарів і тріщин в жарових трубах (5,5% пошкоджень від загального числа).

Поява тріщин на турбінних лопатках становить 1,5% при загальній кількості пошкоджень лопаток 6,5%. Всі ці відмови є причинами виникнення пожежі двигунів.

Авіаційні палива самозагоряються при температурі 230-240°C. Температура горіння палива досягає 1100°C, температура плавлення алюмінієвих сплавів – 650°C, сталі – 1500°C, і в умовах пожежі живучість елементів конструкції не перевищує 1-5 хв. Гасіння пожежі на борту ускладнюється тим, що прямий доступ людини в зону пожежі в багатьох випадках неможливий.

Пожежі літаків на землі найчастіше виникають при їх заправці або запуску двигунів. В середньому 40% пожеж закінчуються різним ступенем ушкодженнями машини. В інших випадках літаки приводяться в повну непридатність.

Розглянемо більш детальну статистику відмов і несправностей, які є передумовами до пожеж для двигунів сімейства "НК" [2, 3, 4]. У таблиці 2.2 показано розподіл видів пошкоджень проточної частини двигунів НК-8-2У ПО. Для двигуна ПС-90А були зафіксовані в період 2002 - 2004 забоїни лопаток компресора Ту-204, Ту-214 і Іл-96-300 які склали 139 пошкоджень.

З даних, наведених у таблиці 2.3 даних та рис.2.4., можна зробити висновок, що велика частина пошкоджень проточної частини двигуна, які призводять до його відмови, припадає на вузол компресора (76%), а майже всі інші - на камеру згоряння і турбіну, які є пожежонебезпечними місцями. Раптові відмови компресора в значній мірі обумовлені потраплянням сторонніх предметів в проточну частину. На відміну від компресора, відмови таких вузлів, як камери

згоряння і турбіни пов'язані, як правило, з розвитком процесів накопичення пошкоджень, які можуть бути основними джерелами "титанових" пожеж [4].

Таблиця 2.3 - Розподіл видів пошкоджень проточної частини двигунів

№	Найменування пошкоджень і несправностей	Кількість пошкоджень
1	Забоїни лапоток компресора	90
2	Вм'ятини, погнутості лопаток	70
3	Тріщини, відколи лопаток компресора	8
4	Розбандажування компресора	7
5	Викришування, відколи спецслою	10
6	Тріщини елементів камери згоряння (КС)	5
7	Обрив дефлектора штуцера підведення тепла	2
8	Закоксованість паливних форсунок	17
9	Прогар лопаток турбіни	5
10	Забоїни лопаток турбіни	15
11	Погнутість лопаток турбіни	2
12	Тріщини, обрив лопаток турбіни	2
13	Низький запас по газодинамічній стійкості, помпаж	5
14	Внутрішнє руйнування двигуна	5
15	Підвищена вібрація двигуна	6
16	Прогар лопаток турбіни	5
17	Обрив заклепок камери згоряння	3

Розглянемо статистику пожеж (1993 - 2015 р.), зібрану з різних матеріалів, як функції від часу, так і за місцем виникнення пожеж [5, 8, 9, 10]. З рисунку 2.5 видно, що статистична частка пожеж авіадвигунів в загальній частці пожеж становить 66%. На рисунку 2.6 показано, що кількість випадків виникнення пожеж монотонно розвивається як лінійна прогресія, тому розгляд всього комплексу питань, пов'язаних з пожежами та виявленню причин, що викликають небезпечні ситуації, є актуальною проблемою для теперішнього та майбутнього авіації.



Рисунок 2.4 - Розподіл видів пошкоджень проточної частини двигунів

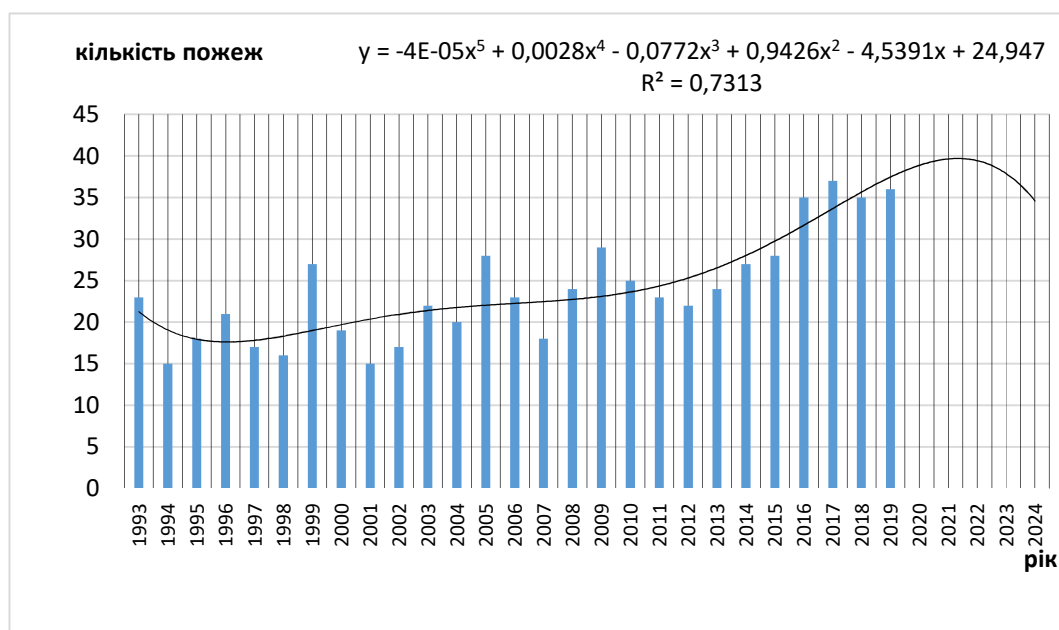


Рисунок 2.6 - Розподіл пожеж та апроксимації за даними зарубіжній пресі



Рисунок 2.5 - Аналіз статистичних даних про пожежі за місцем виникнення

статистикою авіапарків), також зростає кількість пожеж. Це говорить про те, що в області пожежної безпеки ПС, по суті, прогресу немає. На рисунку 2.7 можна

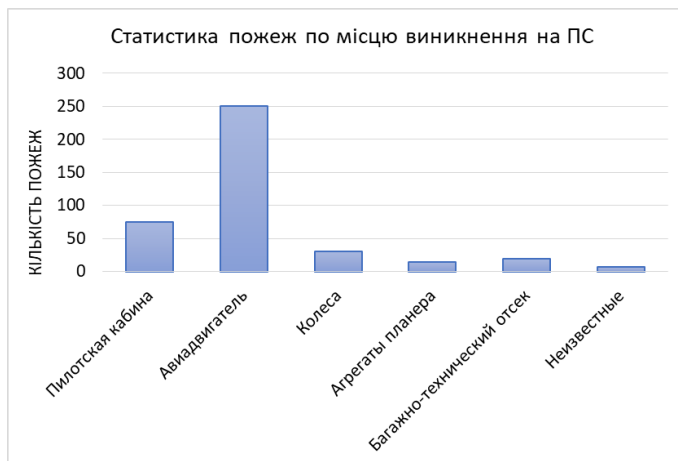


Рисунок 2.7 - Статистика пожеж за місцем виникнення на ПС

- нелокалізоване руйнування двигунів Д-30КУ, Д-30КУ-154, НК-8-2У (3 інциденти);
- титанові пожежі двигунів AI-25 (2 інциденти);
- виключення двигунів Д-36 при зльотах літаків Як-42 з мокрих ЗПС (4 інциденти);
- вимикання двигунів ТВ2-117А вертольотів МІ-8 при попаданні в них снігу і води (5 інцидентів)

При аналізі річної статистики пожеж та проведенні прогнозування, можна побачити, що кількість пожеж ПС, на жаль, зростає. Функція тренду складна, поліноміального характеру з достовірністю $R^2 = 0,7313$.

Цикловий аналіз показав, що зі збільшенням кількості ПС, що експлуатувались з 1993-2020 р. (це підтверджується

побачити статистику пожеж за місцем виникнення на ПС. Незалежно від зменшення кількості ПС, пожежі, все рівно, зберігають тенденцію росту.

До числа найбільш небезпечних відмов двигунів повітряного транспорту відносяться:

При цьому, кількість помилкових спрацьовувань сигналізації "ПОЖЕЖА" перевищила кількість нормальних спрацьовувань в 2.1 рази.

На рисунку 2.8 показано розподіл відмов системи пожежогасіння на літаках ТУ-154, а їх процентна оцінка на рисунку 2.9, яка є доказом того, що, в основному, відмови відбуваються через недосконалість систем сигналізації. Це теж доведено статистикою відмов систем сигналізації про пожежу (ССП) за 10 років, як показано в таб.2.4., 2.5, 2.6.

Таблиця 2.4 - Кількість відмов ССП за різними джерелами друку

Рік	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Кількість	9	7	5	11	10	8	7	9	10	9	9

Таблиця 2.5 - Відмови ССП на ПС, що призвели до авіаційних пригод

Відмов/ рік	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Загальна кількість
МИ-8	1	3	2	3	1	4	2	1	1	17
Ми-24	2	2	2	2	1	2	3	2	1	16
СУ-25	1	1	1	1	0	2	1	0	0	7
Всього	4	6	5	6	2	8	6	3	2	40

Таблиця 2.6 - Відмови ССП, що призвели до авіаційних пригод

Відмови/ рік	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Загальна кількість
ССП-2И сер2	1	1	1	1	0	2	1	0	0	7
ССП-фк сер2	1	0	0	1		1		0	1	4
ССП-1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2
ССП-ФК-БИ сер 2	0	1	0	1	1	0	0	1	1	5
Всього	2	3	1	3	2	1	3	1	2	18

Одна із видів невизначеностей, викликана існуючими дрейфами параметрів датчиків сигналізації про пожежу та елементів виконавчого блоку, в зв'язку з природним старінням елементів ССП. Таким чином з наведених даних можна зробити висновок, що необхідно доопрацювати структур систем розпізнавання пожежі ПС [87].

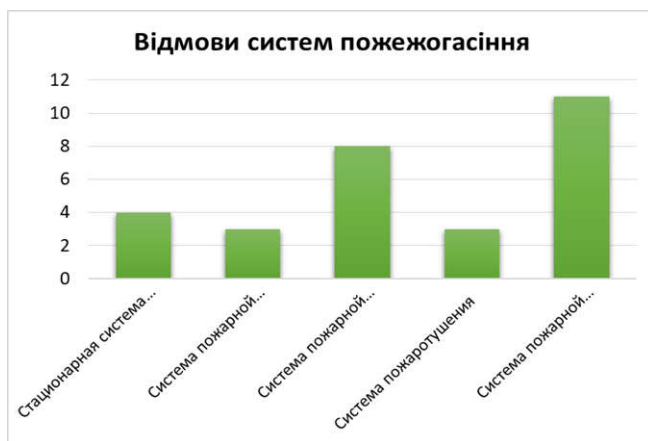


Рисунок 2.8 - Статистична оцінка відмов систем пожежогасіння



Рисунок 2.9 - Процентна статистична

оцінка відмов систем пожежогасіння

включена на автоматичний режим, то одночасно з сигналізацією про пожежу включається перша черга пожежогасіння. Якщо через 10 сек. після включення першої черги вогнегасників табло «Пожежа» продовжує горіти (пожежу не ліквідовано), вручну включається друга черга вогнегасників. Якщо через 10 сек. після включення другої черги вогнегасників табло «Пожежа» продовжує горіти, вручну включається третя черга вогнегасників. Якщо пожежу ліквідовано після включення першої черги або першої і другої черги, систему призводять в початкове положення на випадок повторного застосування.

За принципом дії пожежні системи та ССП на всіх типах ПС практично однакові (рис.2.10). Вони включають систему сигналізації і систему пожежогасіння. Система сигналізації призначена для того, щоб своєчасно виявити пожежу, попередити про її появу екіпаж і автоматично привести в дію першу чергу системи пожежогасіння. Система пожежогасіння необхідна для розміщення потрібної кількості вогнегасної речовини на борту ПС і забезпечення подачі його з балонів до осередку полум'я.

Якщо система пожежогасіння



Рисунок 2.10 - Система пожежогасіння СПГ з точки зору інформаційних процесів і формування команд

З огляду на те, що пожежі є малоймовірними подіями і авіаційні двигуни являють собою високонадійні системи, отримати оптимальну інтервальну оцінку надійності по пожежам в інформаційному аспекті складно. Це говорить про надзвичайну складність локалізації і ліквідації пожеж авіадвигунів особливо для льотного складу.

Таким чином, проблема є актуальною з практичної точки зору і вимагає спеціального аналізу і виведення для процесів проектування, виробництва і експлуатації [1, 2, 3, 4, 5].

Титанові пожежі (як різкий перехід від звичайного пожежі до вибухової ситуації) є наслідком негативних властивостей титанових сплавів, які широко застосовуються в сучасних авіадвигунах, тому необхідно розглянути проблему так званих "титанових пожеж" [2]. Титан має сріблясто-білий колір, щільність =

4,5 гр / см, і має значну корозійну стійкість. Температура плавлення = тисячу шістсот шістьдесят вісім °С. Титанові сплави використовуються для виготовлення обшивки літака, передніх кромek крила і стабілізатора, лонжеронів, нервюр, шпангоутів, протипожежних перегородок, стулок шасі, закрилків, глушників. У двигунах титанові сплави використовуються для виготовлення деталей компресора: лопаток і дисків, капотів, зовнішніх кожухів камер згоряння, реактивних сопел і вихлопних патрубків. Титанові сплави не втрачають своїх робочих властивостей при температурах від 300 ° С до 700 ° С (в залежності від марки сплаву). При певних умовах, які виникають під час пожежі, вони можуть горіти. Температура горіння розвивається до 3500 ° С. Гасіння титанових сплавів, що горять сучасними вогнегасними речовинами не дає бажаного результату.

Титанові сплави марок ВТ-3, ВТ-1, ВТБ-1, ВТ-5, ВТ-6 широко застосовуються в конструкції планера і силових установок (СУ) сучасних ПС. Це обумовлено рядом високих механічних, антикорозійних властивостей, невеликою масою і довговічністю виробів з титанових сплавів. Однак, поряд з позитивними факторами, цим сплавам властива при певних умовах висока хімічна активність. При температурі понад 1200 °С метал вступає в хімічну реакцію з киснем, утворюючи оксид TiO_2 , при цьому температура реакції складає 3093 °С. Реакція окислення відбувається до тих пір, доки є доступ кисню. Механізм розвитку такого роду пожежі, що отримав назву "титанова" пожежа, повністю не вивчений в зв'язку зі складністю проведення вогневих випробувань і швидкоплинності процесу горіння [20, 21].

2.2 Аналіз структур сигналізації про пожежу всередині авіадвигунів ПС

Згідно зі статистичними даними про роботу ССП типу - ССП-2А, ССП-7, 1С7К можна зробити висновок про їх низьку надійність і необхідності їх вдосконалення. Для застосування схеми сигналізації про пожежу з функціональним резервуванням для підвищення надійності ССП всередині двигуна необхідно встановити 3 датчика. Це виключає можливість неспрацьовування системи через обрив в ланцюзі одного датчика. Застосування

трьох датчиків дозволяє здійснити підтвердження істинності сигналу, отриманого з одного датчика, сигналом іншого датчика [88, 89].

Підвищення ймовірності в отриманні сигналу про пожежу можна обґрунтувати формулою ймовірності безвідмовної роботи резервного датчика.

Ймовірність безвідмовної роботи одного датчика виражається формулою:

$$p = e^{-\lambda t}, \quad (2.1)$$

де: p - ймовірність безвідмовної роботи датчика; t - інтервал часу; λ - інтенсивність появи відмови датчика;

При роботі двох паралельно-резервованих датчиків пожежі, враховується, що вони виконують однакові функції, тоді ймовірність безвідмовної роботи ППС виражається формулою:

$$p = 1 - q^2.$$

При роботі трьох паралельно-резервованих датчиків пожежі, враховується, що вони виконують однакові функції, тоді ймовірність безвідмовної роботи ППС виражається формулою:

$$p = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^3. \quad (2.2)$$

Для формування, налагодження і регулювання системи сигналізації про пожежу на задану температуру спрацьовування в схему введені три компаратора (один компаратор на один датчик). Налаштування здійснюється зміною однієї напруги, що подається на компаратор. Реалізація принципу підтвердження сигналу здійснюється логічною схемою, зібраної на елементах "ИЛИ". Схема передбачає вбудований контроль помилкового спрацьовування системи від одного датчика.

Попередньо встановлюємо, що помилкового спрацьовування двох датчиків бути не може. Для визначення помилкового спрацьовування використовується логічний елемент діз'юнктор. При істинному спрацьовуванні системи сигнал формується за допомогою логічного елемента кон'юктора. Напівпровідниковий підсилювач забезпечує посилення сигналу до величини напруги необхідного для спрацювання реле ССП.

Принцип роботи передбачуваної схеми ППС полягає в наступному: при досягненні певної температури середовища, що оточує робочі spaї датчика, або охопленні їх полум'ям, в термобатарей датчика виникає термо-ЕРС. Напруга термо-ЕРС надходить на компаратор. У разі рівного розподілу напружень термо-ЕРС і опорного напруги, компаратор спрацьовує і видає сигнал на логічний пристрій "1". Логічний пристрій працює таким чином: якщо на одному вході існує сигнал логічна одиниця, а на інших нуль, то на виході логічного пристрою "1" будемо мати:

- один вихід - логічний нуль;
- інший вихід - логічна одиниця.

При такому стані логічного елемента "1" логічний елемент "2" буде мати на своєму виході логічну одиницю, логічний елемент "3" - нуль.

Світлове табло "Увага! Помилкове спрацьовування.", який приєднаний до логічного елемента "2", буде горіти. При наявності на вході логічного елемента "1" двох або трьох логічних одиниць на обох виходах цього елемента будуть присутні логічні одиниці. При цьому стані логічного "1", логічний елемент "3" буде мати на своєму виході логічну одиницю. Цей сигнал, що характеризує виникнення пожежі в двигуні надходить на вхід підсилювача потужності. Посилений сигнал надходить на реле сигналізації пожежної системи. Реле спрацьовує. При цьому подаються сигнали:

- на табло льотчиків "ПОЖЕЖА" через датчик імпульсів, на друге реле сигналізації, воно готується до роботи, тобто до автоматичного включення пожежогасіння. З реле сигналізації 2, + 27В надходить на друге табло з жовтим світлофільтром, що вказує, яким пожежним електромагнітним краном необхідно користуватися. З цього ж реле живлення надходить на електромагнітний кран. Він спрацьовує і забезпечує підхід вогнегасної рідини в потрібний двигун. Через замкнуті контакти електромагнітного крана живлення подається на реле включення подачі вогнегасної речовини. Реле включення подачі вогнегасної речовини спрацьовує і через свої замкнуті контакти подає живлення на сигнальну лампу зеленого кольору "Кран відкритий", а також подає живлення через

підготовче реле автоматичного включення пожежогасіння до піропатрона. Останні вибухають і спрацьовують пірозатвори, вогнегасна речовина надходить всередину двигуна, від якого надійшов сигнал. Логічний елемент "2" при стані, коли на його вході є дві логічні одиниці, на виході маємо логічний нуль. Табло "Увага! Помилкове спрацьовування" не горить. Схема має два паралельних канали сигналізації про пожежу. У схемі передбачений вбудований контроль, за допомогою якого подається сигнал на вхід компаратора і перевіряється справність каналу (рис.2.11).

При розрахунку надійності штатної системи сигналізації про пожежу отримана загальна надійність системи пожежогасіння $p_{\text{общ}} = 0,9876$.

Середня інтенсивність відмов системи при даній надійності

$$\text{дорівнює: } \lambda_{\text{ср}} = \frac{\ln p_{\text{общ}}}{T} = -\frac{\ln 0,9876}{1200} = 1,03979 \times 10^{-5} 1/\text{ч}$$

Оцінюючи показники надійності системи з мажоритарною логікою, отримана, надійність всієї системи: $p_{\text{общ}} = 0,99976$.

Середня інтенсивність відмов протипожежної

$$\text{системи } \lambda_{\text{ср}} = \frac{\ln p_{\text{общ}}}{T} = -\frac{\ln 0,99976}{1200} = 2,000024 \times 10^{-7} 1/\text{ч}$$

$$\frac{\lambda_{\text{ср.ст}}}{\lambda_{\text{ср.пр}}} = \frac{E_{\text{пр}}}{E_{\text{ст}}} = \frac{1,03979 \times 10^{-5}}{2,000024 \times 10^{-7}} = 51,983 \approx 52$$

$$E_{\text{пр}} = 51,983 E_{\text{ст}} \approx 52 E_{\text{ст}} \quad (2.3)$$

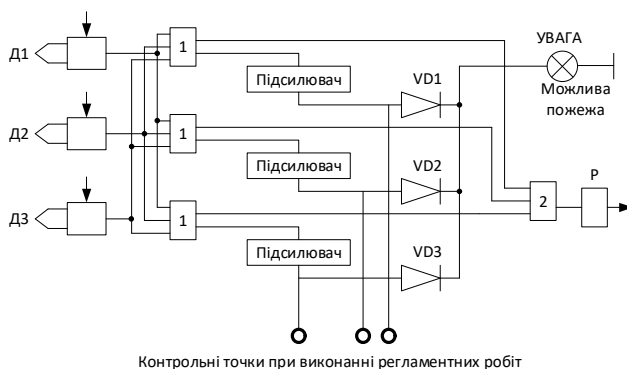


Рисунок 2.11 - Електрична схема ССП

Застосування логічних структур у виконавчому блоці ССП і додавання третього датчика підвищують надійність і ефективність функціонування ССП. (Т для сучасних літаків не менше 80000 годин або 30 років).

2.3 Фізичні та інформаційні основи виникнення та розвитку титанових пожеж авіадвигунів

Однією з найважливіших сторін підвищення безпеки польотів є забезпечення протипожежного та противибухового захисту, що включає взаємопов'язані аспекти розробки та реалізації загальнотехнічних вимог до комплексу засобів захисту, вимог до льотної і технічної експлуатації, їх коригування за даними розслідування авіаційних подій (АП), а також методів випробувань ефективності комплексу засобів захисту в цілому.

Основними напрямками забезпечення пожежної захисту сучасних повітряних суден (ПС) є:

- проведення конструктивних заходів, покликаних унеможливити виникнення і поширення пожежі;
- установка систем сигналізації про пожежу в відсіках ПС і індикації в кабіні екіпажу;
- забезпечення подачі до відсіків засобами пожежогасіння з дистанційним управлінням;
- застосування негорючих матеріалів в конструкції ПС.

Пожежонебезпека відсіків визначається на основі аналізу компонування ПС, режимів і умов роботи систем. Титанові сплави мають такі властивості (див. рис.2.12) [1, 2, 5, 20].

Титанові пожежі є наслідком негативних властивостей титанових сплавів, які широко застосовуються в сучасних авіадвигунах, тому необхідно розглянути проблему так званих "Титанових пожеж". Застосування титанових сплавів в деяких типах авіадвигунів представлено в таблиці 2.7.

Результати аналізу аварійності на авіалініях світу через пожежі двигунів приведені в таб.2.8. Особлива увага приділялася випадкам нелокалізованого руйнування окремих частин двигуна, що супроводжувались пожежею двигуна і як наслідок відмовою систем і агрегатів, розташованих в мотогондолі і в безпосередній близькості від двигуна [4,12,21].

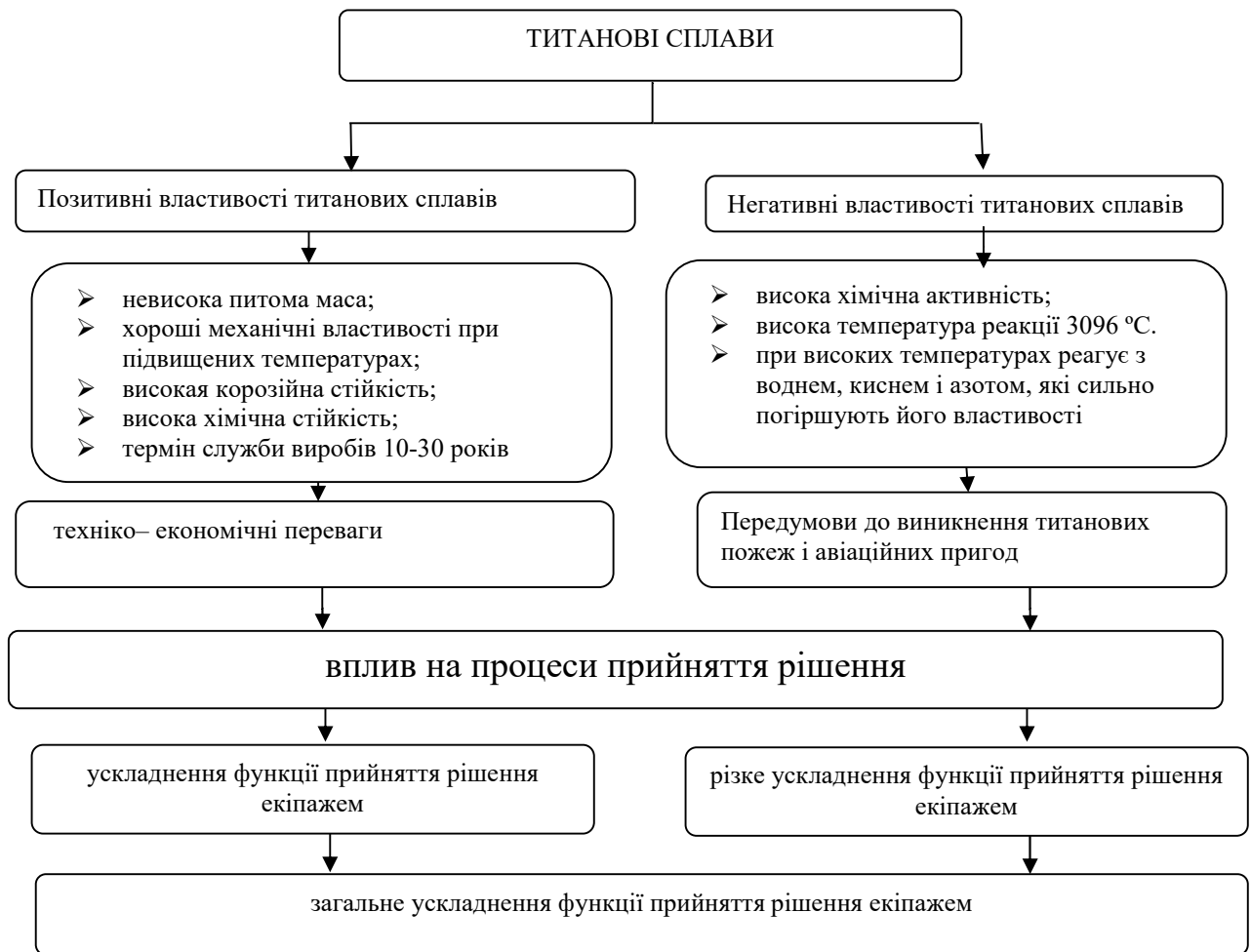


Рисунок 2.12 - Аналіз властивостей титанових сплавів

В результаті проведеного пошуку за період 2005-2015 рр було зареєстровано 39 випадків обриву лопаток компресора високого тиску, 6 з них викликали "титановий пожежа":

- 26 випадків обриву лопаток IV ступені,
- 8 випадків обриву лопаток VII ступені,
- 2 випадки обриву лопаток IX ступені,
- 1 випадок обриву лопаток VI ступені.

На лопатках IV ступеня знаходиться РНА, а над лопатками VII ступені клапани перепуску повітря, тому ці ступені більш напружені і більш чутливі до забоїв. Титанові сплави більш чутливі до концентрацій напружень.

У світовій авіаційній практиці відомо понад 100 випадків пожеж авіаційних двигунів, викликаних самозаймання титанових деталей компресора.

Доступний обсяг аналізу дає наступний розподіл причин, що призвели до загоряння:

- руйнування пера лопатки - 72%;
- обрив лопатки у замку або руйнування замку - 10%;
- руйнування диска - 10%;
- порушення цілісності ротора і статора, що призводять до дотикання деталей ротора і направляючого апарату і до інтенсивного тертя, та інші. - 8%.

Таблиця 2.7 - Застосування титанових сплавів в АТ

Назва двигуна і тип ПС	Частина двигуна, виготовлена із титану і його сплавів
Д-30КУ	В компресорі низького тиску: - лопатки 1-ї ступені (BT3-1) - диски ротора (BT3-1)
Д-30 II серії (Ту-154м, Ил-62м, Ту-134)	В 2-му каскаді компресора низького тиску: - наружне кільце (BT3-1) - направляючі лопатки (BT3-1) - обечайка, фланець, кільця (OT4-1) - лопатки направляючих апаратів (с 1 по 9 ступінь BT3-1) - корпус перепуску повітря - в роторі 2-го каскаду компресора перші 8 дисків 8 ступені (BT3-1)
НК-8-4 (Ил-62)	- направляючий апарат 1-ї ступені (статор) компресора низького тиску - направляючий апарат II и III ступені внутрішнього контуру (BT3-1) та лопатки цих направляючих апаратів (OT4-1) - вхідний направляючий апарат (з лопатками BT-6)
PW 2037 (Boeing 757)	- вентилятор с 36 рабочими лопатками - ротор - лопатки ротора
2500 (A-320)	- вентилятор - вхідний направляючий апарат - передній силовий корпус

Статистика показує, що ймовірність загоряння зростає з підвищенням температури і щільності повітря. Так, в компресорі низького тиску відмічалось близько 15% випадків загоряння, а в компресорі високого тиску (де вище і щільність, і температура повітря) - 85%.

Таблиця 2.8 - Аналіз причин пожеж авіадвигунів

Дата и місце прояву	Тип ПС	Причина
08.07.80 Дюссельдорф	Ту-154	Обрив робочої лопатки VII ступені від забоїни
12.11.81 Аден	Ту-154	Обрив робочої лопатки VII ступені від забоїни
16.12.81 Кемерово	Ту-154	Обрив робочої лопатки VI ступені КВТ з подальшим заклинюванням ротора
26.06.82 Лісабон	Ту-154	Обрив робочої лопатки VIII ступені КВТ з подальшим заклинюванням ротора
19.06.83 Внуково	Ту-154	Обрив робочої лопатки IV ступені від загостреної вхідної кромки з подальшим заклинюванням ротора
30.01.84 Лісабон	А-310	Злив палива і повернення в аеропорт із-за спрацювання сигналізації про перегрів двигуна
13.02.84 Бомбеї	А-310	Механічне пошкодження двигуна і пожежі
22.03.84	В-737-200	Розрушення диску компресора під час розбігу при швидкості 140 км/год, з пошкодженням двигуна, яке супроводжувалося пожежею
01.06.84 Мозанбик	МД-40	Пошкодження гідросистеми і ДСУ в результаті нелокалізованого розрушення турбіни №2
05.06.84 Філадельфія	В-720	Пожежа і проникнення диму в кабінку, обумовлене розрушенням лопатки турбіни двигуна №3
13.06.84	ДС-9	Пожежа ДСУ і пошкодження гідросистеми в результаті нелокалізованого розрушення двигуна
30.08.84 Камерун	В-737	Пожежа в результаті пошкодження паливного баку внаслідок розрушення компресора високого тиску двигуна №2
30.10.84 Дурбан	А-300	Механічне пошкодження і пожежа в двигуні
16.11.84 Данка	В-707	Відмова двигуна №3 і пожежа
18.11.84 Лас Вегас	В-747	Механічне пошкодження і пожежа в двигуні №3
22.08.1985 Манчестер	Boeing 737	В момент взльоту загорівся двигун №1.
25.09.1985 Харків	Ан-12	Із-за витікання палива виникла сильна пожежа в двигуні № 1
02.03.1986 Москва	Ан-24Б	Відбулося самофільне флюгування повітряного винта і виключення двигуна лівої силової установки
08.01.1989	Boeing 737	Після відмови двигуна №1 екіпаж помилково

Кегворт		вимкнув двигун №2.
19.07.1989 Су-Сіті	McDonnell Douglas DC-10	Із-за втоми металу лопатки пошкодженого двигуна розлетілись на високій потужності та пробili наскрізь всі трубки гідравлічної системи
06.03.2003 Таманрасет	Boeing 737	При наборі висоти відмовив двигун.
08.07.2003 Порт-Судан	Boeing 737	Розбився при заході на друге коло аварійної посадки. Відмова двигуна.
2003 Алжир	Boeing-737	Загорання одного двигуна пр зльоті
20.08.2007 Окинава	Boeing 737	Після посадки був пошкоджений паливний насос, паливо потрапило в працюючий двигун.
2007 Бразилія	A-320	Взрив на злітній полосі
2009 Атлантика– Франція	A-330	Взрив двигуна. впав в Атлантичний океан
01.01.2011 Сургуте	Ту-154б	Загорівся один із двигунів. Відбувся взрив паливних баків з розливанням пального
11.07.2011 річка Об	Ан-24	Пожежа лівого двигуна
09.08.2011 Омсукчан	Ан-12А	Пожежа двигуна
21.02.2014 Тунис-Карфаген, м.Громбалія	Ан-26	Із-за неполадок з двигунами
10.08.2014 Мехрабад в Тегерані (Иран)	ІrАн-140	Розбився при взльоті із-за відмови двигуна
2014 Тайвань	ATR-72	Зазнав аварії із-за пожежі двигуна під-час аварійної посадки
17.04.2018 Бернвіль	Boeing 737	Відмова і руйнування двигуна № 1
22.08.2018 Уфа-Сочі	Ту-204	Загорання в лівому двигуні. Відбулося руйнування лопаток компресора високого тиску. Зруйновані деталі лопаток компресора потрапили в проміжок між ротором і статором. Це і призвело до виникнення титанової пожежі
24.11.2019 Гоме	Dornier Do 228	Після взльоту загорівся двигун
2019 Тегеран	Boeing 737-800	Загорання двигуна
18.01.20 Новосибірськ	Airbus 320	Займання топлива, що накопичилось в вихлопній системі силової установки при спробі її запуску, загорівся двигун.
30.05.2020 Нижегородска область	Як-52	Відбулося загорання моторного відсіку
30.05.2020 Шереметьєво	Boeing-777	Загорілась допоміжна силова установка в пасажирському літаку

Загальним підсумком аналізу є висновок, що самозаймання титанових деталей компресора газотурбінного двигуна (ГТД) відбувається виключно в результаті розігрівання металу, що виникає в парах тертя, до деякої критичної температури. Імовірність розігріву до критичної температури зростає зі збільшенням початкової температури металу, тобто загоряння в компресорі високого тиску, де температура вище [90, 91, 92].

Основним критерієм пожежної захисту є живучість конструкції, яка визначається часом з моменту виникнення пожежі до моменту, коли благополучний результат польоту неможливий.

Критерієм критичного розвитку пожежі на ПС є співвідношення [20,90]:

$$k_{\tau} = \frac{\tau_{кр}}{\tau_{снз}} \text{ або } k_{\tau} = \frac{\tau_{кр}}{\tau_{зпс} + \tau_{ре} + \tau_{злп}}$$

де k_{τ} - ефективність бортових засобів пожежного захисту; $\tau_{кр}$ - критичний час розвитку пожежі з виходом його за межі відсіку; $\tau_{снз}$ - час затримки у роботі системи пожежного захисту; $\tau_{зпс}, \tau_{ре}, \tau_{злп}$ - інерційність відповідно: засобів пожежної сигналізації; реакції екіпажу на сигнал "Пожежа"; використання засобів ліквідації пожежі.

Пожежна безпека забезпечується за умови $k_{\tau} \geq 1$. За характером впливу інформації про пожежу на екіпаж і перетворенням її в каналі "датчики первинної інформації → сигнальна апаратура → екіпаж → засоби пожежогасіння", досліджувані системи відносяться до класу логіко-динамічних систем. Вихідний ефект функціонування системи протипожежного захисту визначається як:

$$x = \begin{cases} k_{\tau} \geq 1, & \text{при успішному функціонуванні системи;} \\ k_{\tau} \leq 1, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Титанові сплави марок ВТ-3, ВТ-1, ВТБ-1, ВТ-5, ВТ-6 широко застосовуються в конструкції планера і силових установок сучасних ПС. Це обумовлено рядом високих механічних, антикорозійних властивостей, невеликою масою і довговічністю виробів з титанових сплавів. Однак, поряд з позитивними факторами, цим сплавам властиві, при певних умовах, висока хімічна активність.

При температурі понад 1200C^0 метал вступає в хімічну реакцію з киснем, утворюючи оксид TiO_2 , при цьому температура реакції складає 3093C^0 . Реакція окиснення відбувається до тих пір, доки є доступ до кисню. Механізм розвитку такого роду пожеж, який отримав назву "титанова" пожежа, повністю не вивчений в зв'язку зі складністю проведення випробувань і швидкоплинності процесу горіння [20, 21].

В якості діагностичних ознак пожежі в контурах силової установки (СУ)

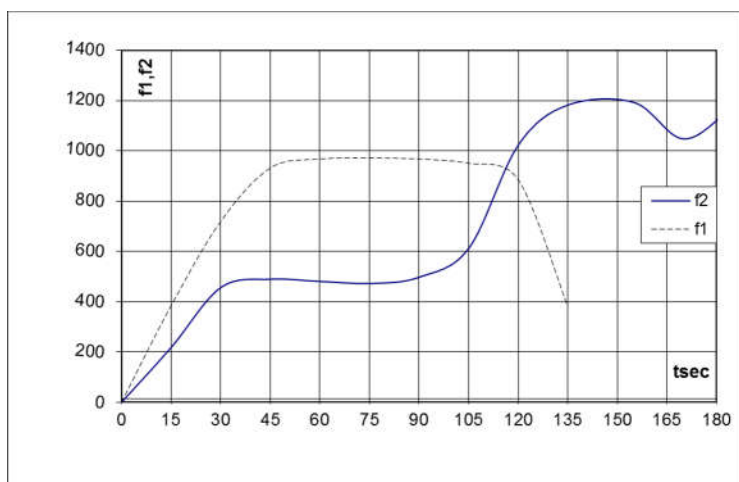


Рисунок 2.13 - Залежність $f_1 = \omega(t)$ и $f_2 = T_{\text{вг}}(t)$ при виникненні пожежі двигуна

використовуються, як правило, функціональні залежності параметрів процесів СУ за умови виникнення пожежі: $w_1 = f(t)$ і $T_{\text{вг}} = f(t)$, де w - частота обертання ротора ГТД, $T_{\text{вг}}$ - температура вихідних газів СУ (рис.2.13).

Найбільш поширений випадок виникнення "титанового" пожежі виникає з наступних причин. При порушенні геометрії робочої лопатки компресора турбореактивного двигуна (ТРД) в результаті забоїн, на вхідний кромці виникає концентрація напружень і розвивається втомна тріщина. При цьому, виявляється можливим руйнування лопатки і заклинювання її частин в статорному контурі компресора. Інтенсивний розігрів частини лопатки, яка заклинила зарахунок тертя з обертовими елементами конструкції ротора в потоці стисненого повітря викликає запалення частини зруйнованої лопатки. Далі процес горіння поширюється на деталі титанового статора компресора. При цьому починається прогар корпусу СУ і полум'я виходить за межі двигуна. Процес розвитку "тютюнової" пожежі і зміна параметрів працюючого ТРД показані на рис.2.10, на якому зображено залежність зміни швидкості обертання ротора двигуна w і температури газів за турбіною $T_{\text{вг}}$.

Точки 1 ... 5 (див. рис. 2.13) на кривій $T_{вг}=f(t)$ характеризують етапи розвитку "титанової" пожежі:

- (0 - 1) - порушення геометрії робочої лопатки компресора;
- (1 - 2) - розвиток втомної тріщини і відрив частини лопатки;
- (2 - 3) - початок інтенсивного розігріву статорної частини компресора;
- (3 - 4) - запалення деталей титанового статора компресора;
- (4 - 5) - включення автоматичної черги системи пожежогасіння;
- (5) - неконтрольований розвиток пожежі.

Прогари і пропали представляють собою найбільшу загрозу для ЛА. І, хоча полум'я від них має обмежені розміри, в силу високої інтенсивності пожежі, його наслідки значні. Пошкоджуваність титанових конструкцій наступна: лист товщиною 0,5 мм пропалюється при $T=2770C^0$ за $t=0,5$ сек. При пожежі в відсіках СУ, його поширення можливо в двох напрямках: в пілон мотогондоли або в фюзеляж без виходу за контури мотогондоли, а також - за зовнішні контури СУ.

У першому випадку, пожежа виходить за межі СУ, при пропалюванні протипожежної перегородки "титановою" пожежею або при її механічному руйнуванні деталями двигуна (дисками, лопатками і ін.). Можливо поширення пожежі в суміжному з СУ відсіку, при цьому $k_{\tau} < 1$ оскільки. $\tau_{кр} \ll \tau_{снз}$.

У другому випадку, пожежа при тривалому впливі теплового потоку на обшивку мотогондоли, виконану з дюралюмінію, виходить за межі контуру мотогондоли силової установки. Такий розвиток подій, як правило, не становить значної загрози для конструкції ПС. Однак, якщо елементи фюзеляжу або крила знаходяться в безпосередній близькості від місця пропалу, наслідки пожежі можуть бути значні. У цьому випадку, за $\tau_{кр}$ приймається час початку руйнування обшивки фюзеляжу або крила від теплового впливу пожежі в відсіку СУ в польоті.

Ефективним засобом запобігання критичних наслідків пожежі (і перш за все "титанового") силових установок ПС є його своєчасне виявлення і ліквідація. На сучасних ПС з цією метою встановлюються системи сигналізації та

пожежогасіння (ССП-2А, ССП-12, ССП-7, ССП-3, ССП-ФК-БІС, 1С7К і ін.), яким притаманні всі основні характерні ознаки складних технічних систем, включаючи:

- наявність єдиної цільової функції запобігання розвитку особливих польотних ситуацій, викликаних виникненням пожежі, з ускладненням умов польоту до аварійної (або катастрофічної) польотної ситуації;

- ієрархічність структури систем, яка виражається в реалізації дворівневої схеми прийняття рішення на ліквідацію пожежі (автоматичні черги і ручне управління засобами пожежогасіння);

- введені в структуру системи різні види резервування, покликані забезпечити необхідний рівень надійності системи.

Значна індивідуальність систем, що розглядаються, обумовлена реалізацією в їх структурах різноманітних конструктивно-виробничих рішень, які ґрунтуються на широкому спектрі фізичних принципів виявлення та ліквідації пожеж.

У той же час, аналіз експлуатаційної надійності сучасних систем сигналізації та пожежогасіння дозволяє виділити найбільш вразливі, в сенсі надійності, аспекти, які найбільш властиві даним системам. До їх числа можна віднести:

- підвищена чутливість систем, що є причиною помилкових спрацьовувань при різких змінах напруги мережі (при запуску СУ від бортових акумуляторів, при відмові струмознвмача протиобліднювальної системи несучого гвинта та з інших причин.);

- відсутність другого сигналу системи про наявність пожежі в результаті вигорання датчиків і як наслідок, сприйняття екіпажем пожежі як "помилкова" тривога;

- підвищена чутливість систем до зменшення зростання температури після початкового спрацьовування автоматичної черги і в результаті відсутність другого сигналу про пожежу при його наявності в дійсності;

- підвищена чутливість систем до зростання температур, викликаних зовнішніми впливами (вихровими потоками вихідних газів СУ), що призводить до помилкових спрацьовувань систем.

Поряд з цим, статистика авіаційних подій [90, 91] свідчить про безпосередній вплив надійності систем сигналізації та пожежогасіння на рівень безпеки польотів сучасних ПС, що обумовлює зростання вимог до надійності цих систем, достовірності інформації, яка від них надходить.

Таким чином, підвищення достовірності одержуваної екіпажем інформації про наявність пожежі в контурах СУ є актуальною науковою проблемою, яка потребує обґрунтованого і чіткого вирішення.

Ця проблема може бути вирішена шляхом подання системи сигналізації (СС) як ПДС - проблемно-динамічних структур (концепція ПДС) і розробкою науково-проблемної класифікації датчиків СС.

2.4. Статистична оцінка технологічної складності особливих випадків в польоті по зведеннях аварійних контрольних карток

Управління безпекою польотів передбачає управління ризиками для безпеки польотів (УРБП) яке включає два етапи - виявлення джерел небезпеки для безпечних польотів і мінімізацію ризиків, тобто апріорних небезпек [94, 95].

Технологічна складність бортового авіаційного обладнання, складність виконання стандартних льотних процедур - Standard flight Procedures (SFP) є одним з головних джерел небезпеки при виконанні польотів в складних умовах. Це призводить до того, що основними проблемами пілотування, як виділяє ІКАО (International civil aviation organization) в своїй статистиці авіапригод та інцидентів, стають втрата управління в польоті LOC (Loss of Control in-Flight), а також проблема зіткнення справного повітряного судна з землею - CFIT (Controlled Flight into Terrain). Ось чому необхідно знайти способи і методи оцінки складності льотних процедур (а відповідно і бортових систем) в очікуваних і неочікуваних умовах експлуатації, використовуючи нормативну документацію для виконання польотів - наприклад, - керівництво з льотної експлуатації (КЛЕ). Для статистичної обробки КЛЕ в 1995 - 2000 рр. була запропонована спеціальна методологія технології процесного аналізу польоту (ТПАП) [28].

Очікувані умови експлуатації, як відомо, включають і особливі ситуації в польоті. Особлива ситуація в польоті є ситуацією, яка виникає в польоті в результаті впливу несприятливих факторів або їх поєднання і яка веде до потенційного зниження рівня безпеки польоту. Особливий випадок в польоті може бути викликаний проявом граничних технологічних норм з аеродинаміки, стійкості, керованості і міцності ПС, відмовою функціональних систем або їх елементів, впливом несприятливих зовнішніх умов, недоліками в наземному забезпеченні польотів, помилками особового складу, порушеннями правил експлуатації авіатехніки та пілотування, різним поєднанням зазначених вище факторів.

До особливих випадках в польоті відносяться:

- 1) потрапляння повітряного судна в небезпечне метеорологічне явище;
- 2) відмова двигуна (двигунів);
- 3) відмова системи (систем) повітряного судна, що приводить до необхідності зміни плану польоту;
- 4) пожежа на повітряному судні;
- 5) втрата стійкості, керованості, порушення міцності;
- 6) втрата радіозв'язку;
- 7) втрата орієнтування;
- 8) незаконне втручання в роботу екіпажу;
- 9) раптове погіршення здоров'я члена екіпажу (пасажира);
- 10) вимушена посадка поза аеродромом;
- 11) застосування парашутів в аварійних випадках.

До особливих випадків в польоті, відповідно до нормативно-технічної документації, норм льотної придатності літака, авіаційних правил, норм Федеральних авіаційних правил (FAR) США і Європейського сертифікаційного базису (CS), льотної придатності повітряних суден ІКАО відносяться [16, 19, 23, 55, 96]:

- ускладнені умови польоту (УУП)

$$P_{ууп} = 10^{-3} \dots 10^{-5} \text{ 1/год} ;$$

- складна ситуація (СС) $P_{CC} = 10^{-5} \dots 10^{-7} \text{ 1/год} ;$
- аварійна ситуація (АС) $P_{AC} = 10^{-7} \dots 10^{-9} \text{ 1/год} ;$
- катастрофічна ситуація (КС) $P_{KC} < 10^{-9} \text{ 1/год} .$

Ускладнення умов польоту - це особлива польотна ситуація, яка характеризується незначним збільшенням психофізіологічного навантаження на екіпаж або незначним погіршенням аеродинамічних характеристик, що впливають на стійкість і керованість ПС. Ускладнення умов польоту не призводять до необхідності негайної або передбаченої заздалегідь зміни плану польоту і не перешкоджає його благополучному завершенню. Складна ситуація - це особлива польотна ситуація, що характеризується помітним підвищенням психофізіологічного навантаження на екіпаж або помітним погіршенням льотних характеристик, стійкості, керованості, а також виходом одного або декількох параметрів польоту за експлуатаційні обмеження, але без досягнення граничних обмежень і розрахункових умов. Запобігання переходу складної ситуації в аварійну або катастрофічну може бути забезпечено своєчасними і правильними діями екіпажу, в тому числі негайною зміною плану, профілю або режиму польоту. Аварійна ситуація - особлива ситуація, що характеризується значним підвищенням психофізіологічного навантаження на екіпаж, погіршенням льотних характеристик, стійкості і керованості і яка веде до досягнення (перевищення) граничних обмежень і розрахункових умов. Катастрофічна ситуація - це особлива ситуація, при виникненні якої запобігання загибелі людей або втраті ПС являється практично неможливим. До цих ситуацій можна віднести потрапляння ПС в небезпечні метеорологічні умови, відмова двигуна (двигунів), відмова системи (систем) ПС, які приводять до необхідності зміни плану польоту. Крім того, пожежа на ПС, втрата стійкості, керованості, порушення міцності, втрата радіозв'язку, втрата орієнтування, поранення або раптове погіршення здоров'я члена екіпажу ПС (пасажирів), і інші.

Пожежа як небезпечна польотна ситуація, завжди несе максимальне навантаження для екіпажу, а ймовірність небезпеки його появи класифікується як СС яка може переходити дуже швидко в АС і КС наступним чином:

Пожар в БВВ $P_{cc} = 10^{-7} \cdot 1/200$

Пожар у відсіку ДСУ $P_{cc} = 10^{-5} \cdot 1/200$

Пожар двигуна $P_{cc} = 10^{-5} \cdot 1/200$.

Інформація про небезпечні випадки в польоті міститься у всіх нормативних документах, таких як, авіаційні правила, настанови з виконання польотів, різних інструкціях, циркулярах. Але, на жаль, загальні методологічні питання, наприклад, переходи від очікуваних умов експлуатації до неочікуваних умов при появі будь-яких випадків в польоті, відмінність помилок льотного складу від стандартних операцій при таких переходах ще не розглядалися. Спроби вирішити такі проблеми, були зроблені рядом дослідників, за допомогою теорії нечітких множин, але вони виявилися невдалими і досить абстрактними.

За останні 10 років ІКАО і ряд інших міжнародних організацій проводило роботу по створенню узагальнюючих посібників і стандартів з управління польотами, в тому числі при особливих польотних ситуаціях. У цьому плані слід відзначити керівництво з управління безпекою польотів (КУБП), які протягом 5-7 років інтенсивно обговорювалися в авіапресі і як підсумок цих дискусій, в яких брали участь всі країни, що входять в ІКАО, в 2013 році з'явився перший інтегральний стандарт - Додаток 19 «Управління безпекою польотів».

На основі аналізу КЛЕ і OSP необхідно розробити методику оцінки технологічної складності по аварійним контрольним карткам (АКК) з обчисленням індексних коефіцієнтів складності, а також оцінити складність окремих систем і комплексів бортового обладнання ПС.

Метою є розгляд питань управління БП з точки зору основних положень Додатку 19 на основі ТПАП - спеціальної методології оцінки технологічної складності стандартних льотних процедур при пожежах двигунів і інших особливих польотних ситуацій за зведеннями аварійних контрольних карток, наявних в КЛЕ всіх повітряних суден. Відразу слід зазначити, що оцінка стандартних льотних процедур (SFP) є одночасно оцінкою складності і самої системи ПС.

Як приклад особливої польотної ситуації розглянемо пожежу авіадвигуна. Основні складності при польотах з пожежами двигунів, які виникають у льотного складу, при їх ліквідації, з урахуванням системного та процесного підходів, розглянуті на рис.2.14. [97].

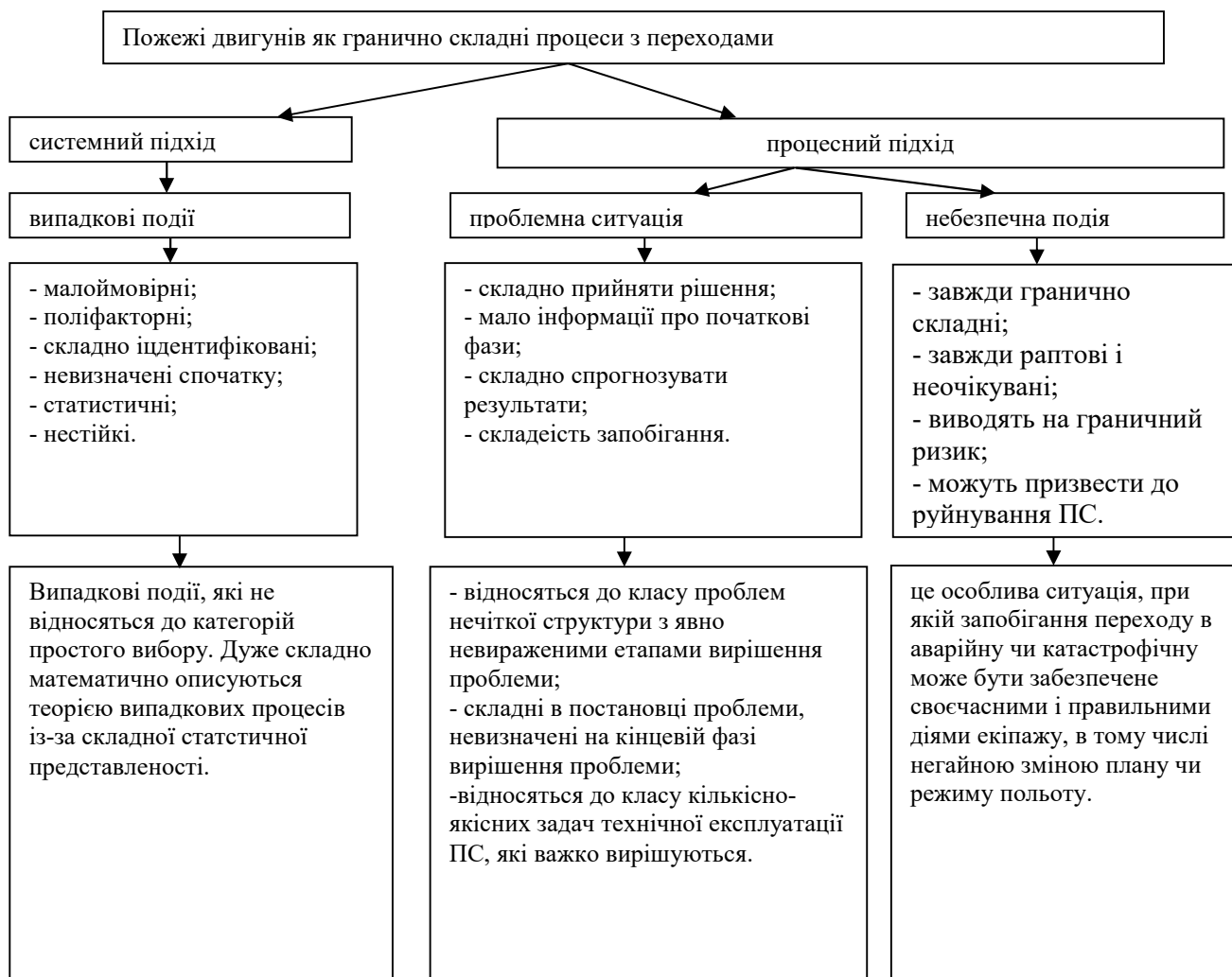


Рисунок 2.14 - Проблемні характеристики пожеж авіадвигунів

Методологія технології процесного аналізу польоту і її етапи показані на рис.2.15. Методологія передбачає сім етапів реалізації поставленого завдання по оцінці технологічної складності SFP і заснована на застосуванні логіки і статистики процесного аналізу, а також ТПАП [97, 98, 99, 100].

Методологія складається з наступних етапів:

I етап - пропонується комплексна інтегрована класифікація діяльності льотного екіпажу, що враховує сенсомоторну діяльність льотного екіпажу, а також функції прийняття рішень.

II етап - проводиться оцінка зведення АКК за новою класифікацією діяльності пілотів.

III етапу - проводиться індексна оцінка по K_{TC} і K_{CM} та запропоновано узагальнення таблиці по K_{TC} та K_{CM} і виконуються ентропійні оцінки складних операцій і систем.

По IV – VI етапах проводиться оцінка SFP АКК за спеціальними статистичними індексам K_{CM} та $K_{ко}$.

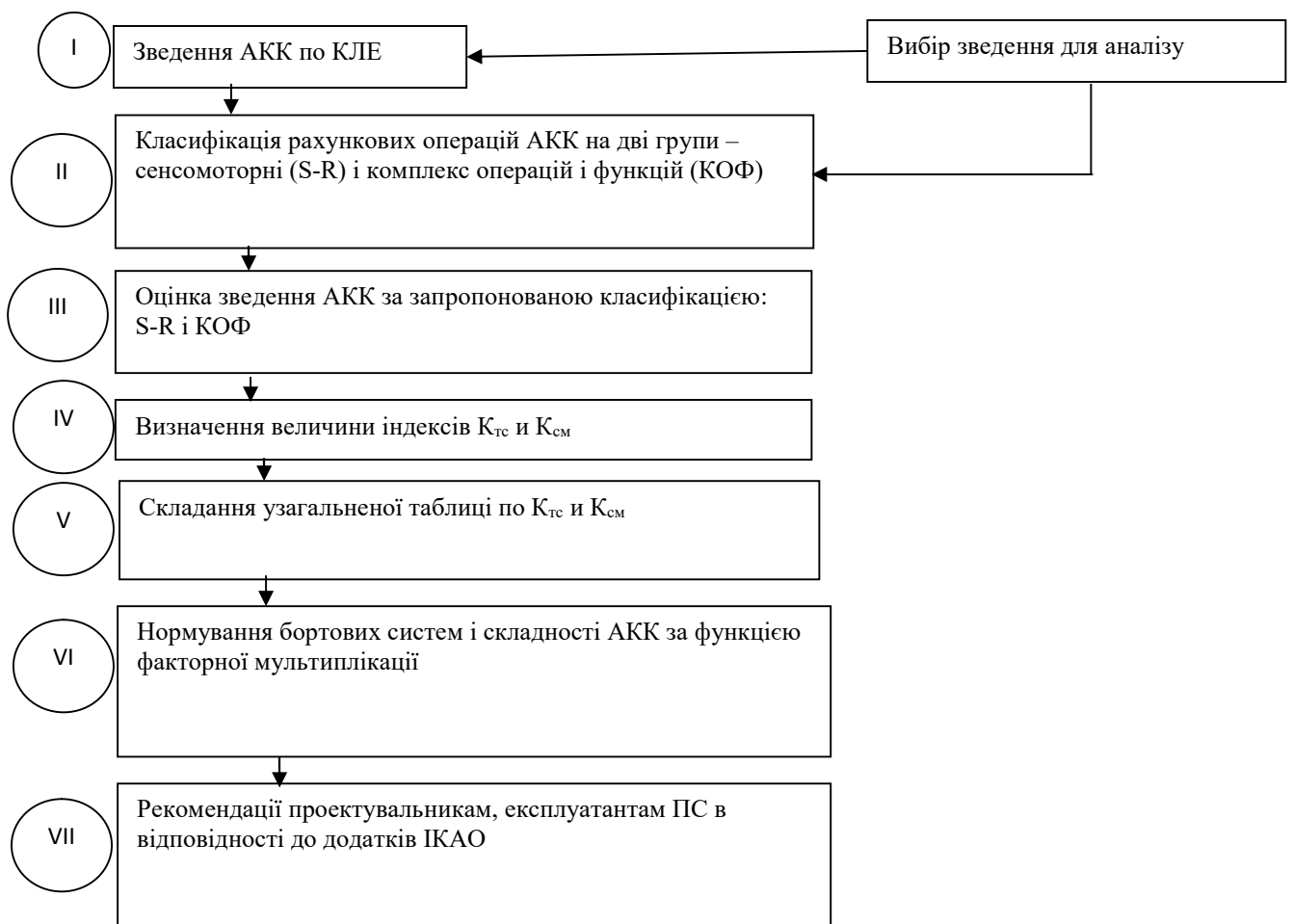


Рисунок 2.15 - Методологія оцінки технологічної складності АКК

Розглянемо більш докладно особливості запропонованого підходу на прикладах обробки АКК повітряних суден АН-74 і АН-148-100 [30, 31].

Як видно з прикладу (рис. 2.18) будь-яка АКК містить сенсомоторні операції і операції по прийняттю рішень. В конструкторських документах, авіаційних правилах (АП), нормах льотної придатності, в програмах підготовки льотного

складу (ППЛС) ці операції розглядають окремо. Особливо це видно при аналізі авіаційних правил [70, 101], де визначено норми по сенсомоторним операціям і немає норм за функціями нормування.

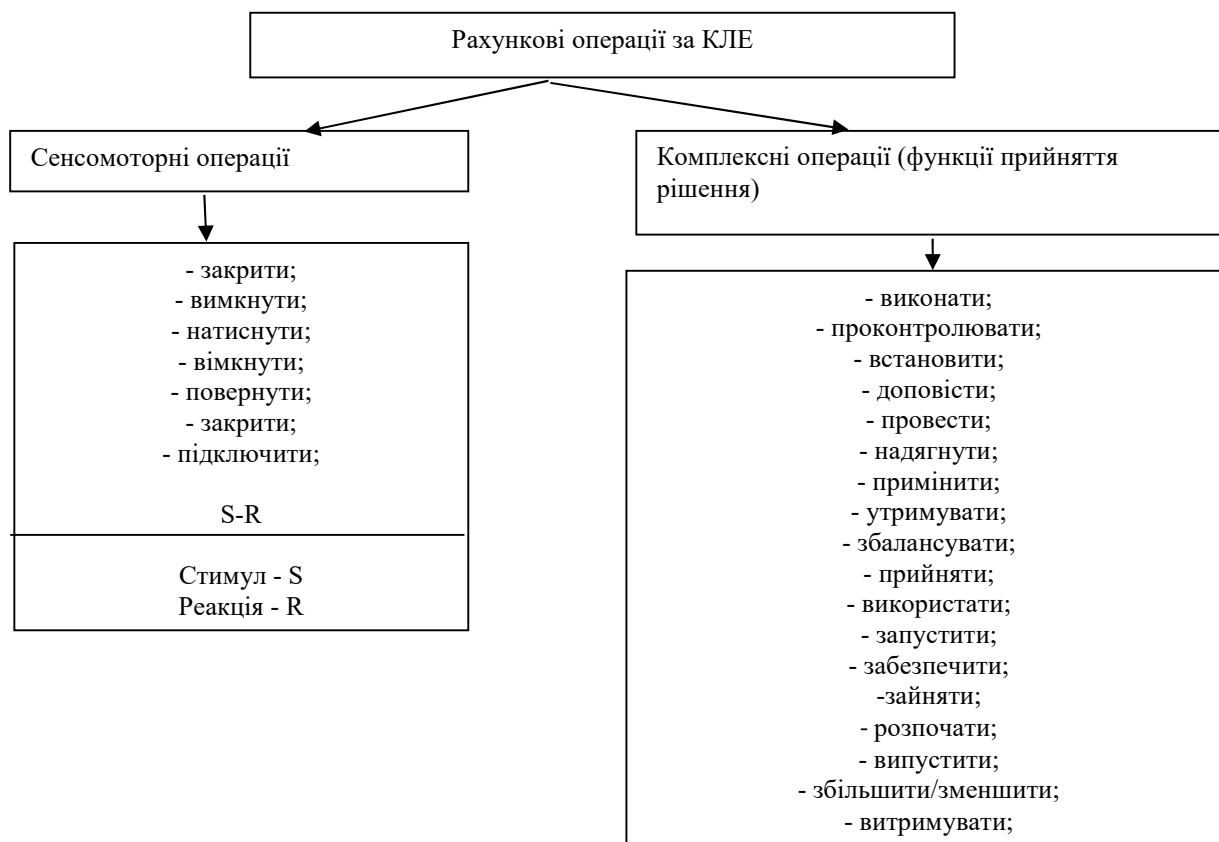


Рисунок 2.16 - Класифікація рахункових операцій по РЛЕ

На рис.2.16. показана запропонована класифікація рахункових операцій КЛЕ - АКК за двома групами СМ і КО, побудована в результаті статистичної обробки всіх АКК повітряних суден АН-74 і АН-148-100. З рис.2.17. видно, що номенклатура комплексу операцій значно більш широка, ніж сенсомоторних операцій [70, 101], що говорить про загальну технологічну складність діяльності екіпажів при ліквідації пожеж ПС.

Розглянемо оцінку технологічної складності на прикладі аварійної контрольній карти «Пожежа в гондолі двигуна (в вентиляторному або газогенераторному відсіку)» літака Ан-74. Інформація за операціями АКК, відповідні рахункові операції та їх виконання зведені в табл. 2.7. За пунктами 4, 5 дамо методичну оцінку технологічної складності:

А) - Визначимо статистичні індекси оцінки технологічної складності за рахунковими граничними операціями КЛЕ за запропонованою класифікацією «сенсомоторні - комплекс операцій (функцій)». Позначення: N_{CM} - кількість сенсомоторних реакцій; N_{KO} - кількість комплексів операцій (функцій); N_o - загальна кількість рахункових операцій по КЛЕ.

Б) - Визначимо статистичні коефіцієнти (індекси) наступним чином: $K_{TC} = \frac{N_{KO}}{N_o}$ -

індекс технологічної складності комплексу операцій.

$$K_{CM} = \frac{N_{CM}}{N_o} \text{ - індекс складності сенсомоторних операцій.}$$

Проведемо нормування складності SFP або бортових систем з використанням функцій факторної мультиплікації. Визначимо чисельні значення для простих, складних і гранично складних SFP як це показано на рис.2.19. Слід зазначити, що нормування бортових систем за критерієм складності функцій факторної мультиплікації проводиться вперше і має велике значення для подальшого вдосконалення норм льотної придатності і авіаційних правил. Таке нормування визначається з урахуванням взаємодії чинників.

Таблиця 2.9 - Оцінка технологічної складності на прикладі АКК літака АН - 74

Операції АКК	Рахункові операції	Виконавець
* (1) Важіль СТОП ПРАВ (СТОП ЛІВ) палаючого двигуна в положення ВИМИКАННЯ	встановити	КПС, КПС-2П
* (2) Пожежний кран зупиненого двигуна закрити	закрити СМ	КПС
* (3) Здійснити екстренне зниження	виконати КО	КПС
ПОПЕРЕДЖЕННЯ. ДІЇ ПО ПУНКТАМ (4)-(13) ПРОВОДИТИ ОДНОЧАСНО З ЕКСТРЕННИМ ЗНИЖЕННЯМ		
* (4) Підкачуючі насоси палаючого двигуна	вимкнути	2П
* (5) Спрацювання вогнегасників першої черги	проконтролювати	КПС, 2П, БМ
* (6) Якщо автоматичне спрацювання вогнегасника не відбулося – кнопку – табло палаючого відсіку	натиснути	КПС, КПС-БМ
* (7) Секундомір	вимкнути	КПС
* (8) Генератори зупиненого двигуна	відключити	КПС
* (9) Відбір повітря від зупиненого двигуна	відключити	2П
* (10) СКП вантажної кабіни	відключити	2П
(11) Якщо протягом 15 сек пожежа не згасла - кнопку разрядки вогнегасника другої черги	натиснути	КПС, КПС-БМ
(12) Ліквідацію пожежі	проконтролювати	КПС, 2П,

		БМ
(13) Якщо пожежу згасили вогнегасником першої черги – головний перемикач системи в положення ВИКЛ, а потім в положення ГОТОВ	встановити	КПС,КПС-БМ
(14) При повторній пожежі – кнопку разрядки вогнегасника другої черги	натиснути	КПС,КПС-БМ
(15) Якщо пожежу згасили вогнегасником другої черги - головний перемикач системи в положення ВИКЛ, а потім в положення ГОТОВ	встановити	КПС,КПС-БМ
(16) Сигнал лиха	включити	КПС
(17) Диспетчеру УПР	доповісти	КПС-БР(2П)
(18) Посадку на найближчий аеродром	здійснити	КПС, 2П

Оцінка технологічної складності по функції ентропії мультиплікативності взаємодії факторів відбувається за наступною формулою [28]:

$$S_i = -\prod_{i=1}^n (k_{tc})_i \log \prod_{i=1}^n (k_{tc})_i \quad (1.4)$$

де $(k_{tc})_i$ – ймовірність появи індексу події

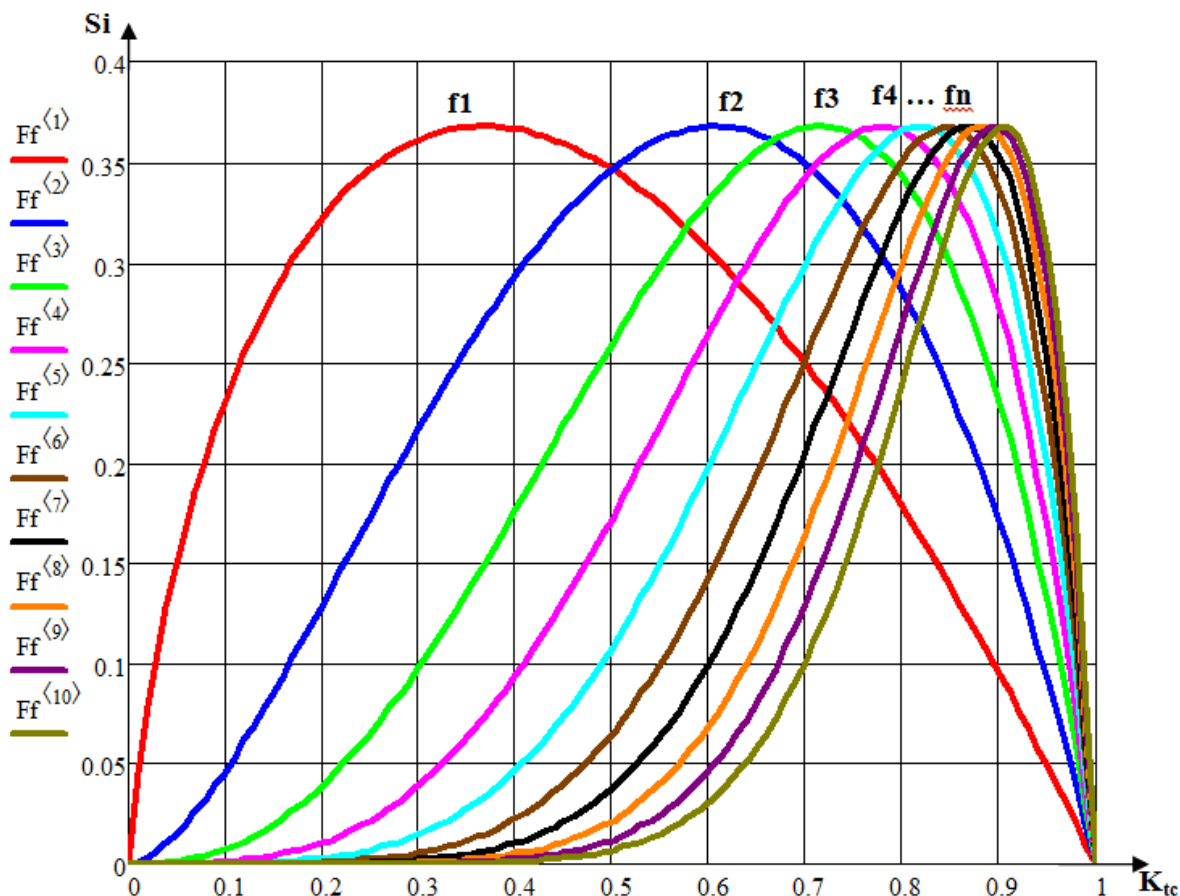


Рисунок 2.18 - Нормування індексів складності SFP для бортових систем з використанням функцій факторної мультиплікації

При цьому визначимо рівні складності SFP:

$K_{TC} = 0,1 \dots 0,3$ прості системи (SFP)

$K_{TC} = 0,3 \dots 0,6$ – системи середньої складності (SFP)

$K_{TC} = 0,6 \dots 0,9$ - системи граничної складності (SFP)

З Аналізу видно:

1. Сумарний коефіцієнт технологічної складності $K_{\Sigma TC} = 0,689$.
2. При нормуванні технологічної складності відповідно до рис.2.14. розглянуті льотні операції по АКК (таблиці 2.10, 2.11) відносяться до класу гранично складних технологічних процесів.

Нормування за рівнем складності - простий, середньої складності, граничної складності відповідають загальним правилам нормування, які використовуються в нормативних документах з охорони виробничих процесів (охорони праці). Таке нормування визначається з урахуванням оцінки взаємодії факторів.

Таблиця 2.10 - Оцінка технологічної складності по K_{TC} і K_{CM} Ан – 74

№	Назва ситуації по КЛЕ	K_{TC}	K_{CM}
1	Пожежа в гондолі двигуна	0,44	0,56
2	Пожежа в відсіку ДСУ	0,5	0,5
3	Пожежа в кабінах	0,47	0,53
4	Віжмова двигуна при обмерзанні	0,59	0,41
5	На зниженні і посадці	0,87	0,13
6	Відмова двох двигунів	0,71	0,29
7	Посадка с несправною (прибраною) передньою опорою	0,72	0,28
8	Посадка с однією невипущеною опорою	0,68	0,32
9	Посадка с невипущеними шасі	0,71	0,29
10	Посадка на фюзеляж	0,69	0,31
11	Відмова двигуна і зниження ефективності обігрівання	0,64	0,36
12	При відмові в крейсерському польоті і на зниженні	0,73	0,27
13	Аварійная посадка на сушу	0,78	0,22
14	Аварійная посадка на воду	0,76	0,24
15	Виконання посадки	0,65	0,35
16	Захід на посадку с відмовами	0,90	0,10
17	Мимовільна подача палаючої речовини	0,87	0,13

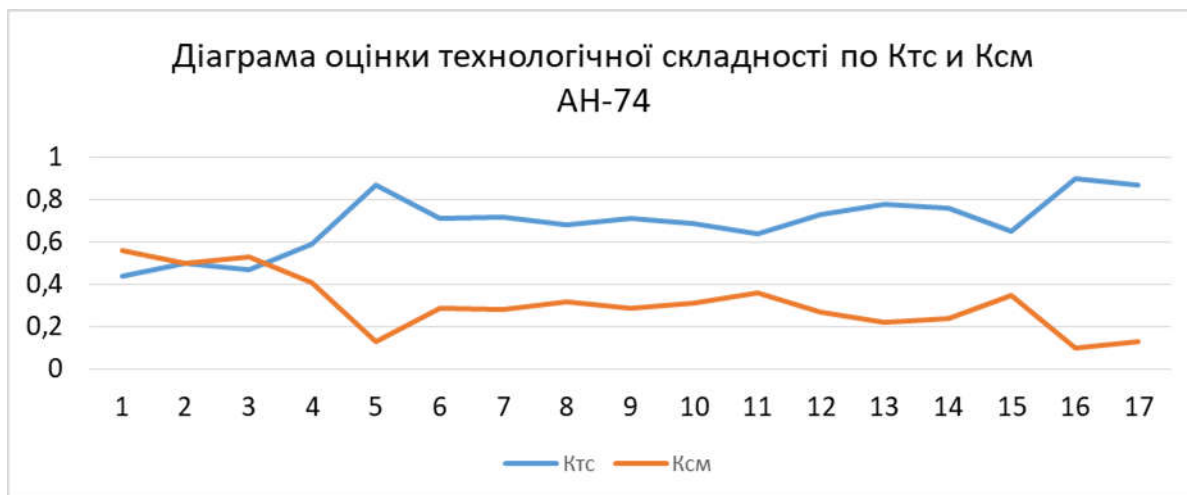


Рисунок 2.19 - Діаграма оцінки технологічної складності по Ктс і КСМ АН-74

Таблиця 2.11 - Порівняльна оцінка АН-74 і АН-148-100 по проблемній ситуації «пожежа» по Ктс

№		АН -74	А4-148-100
1	Пожежа в гондолі двигуна	0,44	0,36
2	Пожежа в відсіку ДСУ	0,5	0,36
3	Пожежа в кабінах:		
	А) в кабіні екіпажу	0,47	0,6
	Б) пасажирському салоні, задньому БВВ, туалеті	0,61	0,69
4	Пожежа в БВВ	0,64	0,7
5	Помилкове спрацювання сигналізації	0,7-0,8	0,8 – 0,9

Висновки по розділу 2.

1. Підвищення достовірності, одержуваної екіпажем інформації про наявність пожежі в контурах СУ є актуальною науковою проблемою, яка потребує обґрунтованого і чіткого вирішення.

2. Висока і своєчасна інформативність контролю необхідна особливо при перших моментах появи пожежі.

3. Висока технічна надійність і економічна ефективність системи сигналізації, обумовлена, перш за все, простотою технічної реалізації на мікропроцесорній основі.

4. Велика ємність інформації контролю завдяки ефективній алгоритмічній обробці, забезпечує екіпажу орієнтування екіпажу в небезпечних польотних ситуаціях.

5. Пожежа двигуна являє собою не просто випадкову подію, а характеризуються як складне або поліфакторне явище і процес, який несе значний ступінь ризику і граничну невизначеність для процесу польоту ПС.

6. Невизначеність початкового моменту виникнення будь-якої пожежі двигуна призводить до того, що функція прийняття рішення КПС і екіпажем стає технологічно і операційно гранично складною, тому навіть прості операції і сенсомоторні руху під час раптового і несподіваного виникнення пожежі виконувати екіпажу вельми важко.

7. Пожежі двигунів не являють собою однорідну групу подій, тому класифікація пожеж двигунів є досить складною, а ознаки класифікації пожеж складно розпізнаються.

8. Статистична частка пожеж серед інших АП характеризується значною величиною (до 40%), відносної багаторічної статистичності, незмінністю цієї частки по роках, а також малою величиною тренда, і малими значеннями коливань і флуктуацій по трендам аналізу і рокам порівняння. Це пояснюється перш за все складністю початкового моменту виникнення пожеж двигунів і граничною технологічною складністю функції прийняття рішень екіпажем.

9. Серед пожеж двигунів найбільш небезпечним різновидом пожеж є "титанова" пожежа, специфіка якої полягає в тому, що її складно усунути та загасити.

10. Всі системи сигналізації про пожежу є складними логіко-динамічними системами (ЛДС), тому необхідно обґрунтувати оптимальні варіанти їх структур і забезпечити їх ергономічну досконалість.

11. Необхідно проводити в процесі експлуатації ряд заходів для усунення причин виникнення "титанової" пожежі і зменшення ймовірності зміни ситуації в сторону розвитку особливих польотних ситуацій (важкі авіаційні події).

12. Монопараметричний контроль при пожежах двигунів повинен бути виключений з огляду на його малу ефективність і замінений поліпараметричним. Підвищення рівня безпеки польотів при пожежах двигунів повинно враховувати інформаційні рівні ПС через інформаційно-факторний аналіз (ІФА).

13. Керівництва з льотної експлуатації є основними технологічними документами, які дозволяють зняти і мінімізувати ризики виникнення помилок льотних екіпажів в особливих польотних ситуаціях.

14. В даний час проектувальники і експлуатанти ПС, в достатній мірі, не використовують методи загальної теорії статистики для статистичної обробки технологічних експлуатаційних документів, а також, посібників з технічної експлуатації, технічних регламентів та інструкцій.

15. Запропонована методологія оцінки технологічної складності АКК, наявних в КЛЕ ПС, дозволяє це зробити.

16. Отримано чисельні значення індексних коефіцієнтів складності для ПС Ан-74 і Ан-148-100 та проведено їх порівняльний аналіз.

17. Отримані результати слід використовувати при створенні КЛЕ нових ПС, а також при складанні програм підготовки льотного складу (ППЛС).

18. На основі проведеного аналізу по аварійним контрольним карткам доведено, що роботу з гасіння пожеж на борту ПС слід вважати гранично складним технологічним процесом, оскільки коефіцієнт технологічної складності $K_{ТС} > 0,6$. Тому при підготовці пілотів по АКК слід акцентувати увагу насамперед на виконання ним функцій прийняття рішень і завдань по комплексним операціями (SFP).

РОЗДІЛ 3

ІНФОРМАЦІЙНО-МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ПАРАЛЕЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО РЕЗЕРВУВАННЯ ІУС ПС

3.1 Фізико-інформаційні умови виникнення помилок контролю параметрів функціонування ІУС

Відомо, що ефективність і якість функціонування ІУС істотно залежить від достовірності інформації, поступаючої на вхід керованих обчислювальних систем, від різного роду вимірювачів (так званих джерел інформації), які контролюють стан і параметри функціонування ІУС.

Реальні ДІ володіють кінцевою точністю уявлення контрольованої ними інформації. При цьому точність і достовірність інформації визначається як конструктивними особливостями, так і технічною надійністю ДІ і, як правило, не задовольняє або не повністю задовольняє вимогам нормативно-технічної документації (НТД) на точність і достовірність інформації, що подається на входи обчислювальних систем автоматизованих ІУС. Відомо, що як точність, так і достовірність контрольованої інформації можна істотно підвищити шляхом статистичної її обробки, якщо подавати на обчислювальні керовані системи інформацію одночасно від декількох ДІ, що підключаються паралельно. Такі способи введення інформації називають паралельним інформаційним резервуванням, які в принципі дозволяють істотно підвищити точність і достовірність контрольованої інформації, яка надходить від неякісних і технічно ненадійних ДІ [102, 103, 104].

3.1.1. Основні поняття і види інформаційного резервування ІУС

Інформаційне резервування є основною умовою забезпечення достовірності даних, отриманих від різних джерел інформації, до яких відносяться контролюючі датчики сигналів і вимірювачі всіляких аналогових величин. Як правило, кожне окреме таке джерело має недостатньо високі характеристики, які оприділяють ступінь достовірності даних, до яких можна віднести ймовірність достовірного

повідомлення про наявність контролюючого явища і ймовірності помилки I і II роду, то є ймовірність помилки не виявлення контрольованого явища, якщо воно в дійсності є або ймовірність помилкової сигналізації про появу контрольованого явища, коли в дійсності його немає [105, 106, 107, 108, 109].

Відмова - випадкова подія, в результаті якої елемент або система перестає (частково або повністю) виконувати задані функції.

Інформаційна відмова - погіршення або повна втрата властивостей процесів зберігання, переробки і передачі інформаційних сигналів "ІУС-оператор" або "оператор-ПС", при цьому можуть бути прийняті неправильні рішення [110,111,113].

Збій - самоусунута відмова або одноразова відмова, усувається незначним втручанням екіпажу [113, 114].

Функціональна відмова - це подія невиконання функціонального завдання внаслідок порушення інформаційного процесу.

Для поліпшення зазначених характеристик застосовується два види інформаційного резервування:

Інформаційне резервування - це спосіб забезпечення ефективності ІУС за рахунок введення резервування по інформаційним ознакам цих систем [114, 115, 116].

Послідовне інформаційне резервування - це спосіб забезпечення ефективності ІУС, при якому одне і те ж джерело інформації запитується n раз, і приймається рішення за таким же принципом " m из n ", якщо на кожні n запитів m раз підтверджується наявність контрольованого явища [35].

Паралельне інформаційне резервування - це спосіб забезпечення ефективності інформаційно-керуючих систем, коли дані надходять від декількох джерел, і приймається рішення про наявність контрольованого параметра за мажоритарним принципом " m из n " , якщо m из n джерел підтверджують факт появи контрольованої ознаки [37, 38, 40].

Комбіноване інформаційне резервування - це спосіб забезпечення ефективності інформаційно-керуючих систем, коли кожен з n джерел інформації

запитується з заданим інтервалом ν раз, і після « k з ν » підтверджень про наявність контрольованого явища застосовується ще й мажоритарний принцип, коли m з n джерел підтверджують наявність контрольованого явища або величини вимірювання.

У даній роботі досліджується принцип паралельного інформаційного резервування за допомогою мажоритарного принципу, в якій рішення про наявність контрольованого явища приймається за критерієм " m из n ". Для визначення імовірнісних характеристик систем сигналізації, більш детально вивчимо процеси появи помилок контрольованих явищ [105, 106, 107].

3.1.2. Механізм виникнення помилок контролю параметрів функціонування ІУС

Припустимо, що система первинної обробки інформації утворена n датчиками.

Позначимо кожне з проявів пожежі через V_i . Тоді принцип роботи реального датчика, що реєструє зміну i -го прояву пожежі V_i , можна записати за допомогою діаграми, представленої на рис.3.1.

Принцип роботи реального джерела інформації можна представити графічно. На рис.3.1. за допомогою кривих $\alpha(t)$, $\beta(t)$, $\gamma(t)$ і $\sigma(t)$ показані можливі зміни одного з параметрів V_i контрольованого процесу (температури, тиску, вібрації, хімічного складу або інших параметрів) в залежності від часу t [102, 103, 104].

На часовому інтервалі Δt_i проводиться контроль параметра $V_i(t)$. Ідеальний ДІ V_i спрацьовує миттєво і з високим ступенем достовірності при його перевищенні порога спрацювання V_{i0} . Причому ДІ спрацює при реалізаціях $\alpha(t)$ і $\beta(t)$ функції $V_i = f(t)$ і не зреагує на реалізації $\gamma(t)$ і $\sigma(t)$.

Реальний ДІ замість ідеального порога має реальну область спрацювання $S = V_{ib} - V_{ia}$, тобто реальний ДІ може спрацювати і на реалізацію $\gamma(t)$, коли функція $V_i = f(t)$ не досягнула ідеального порога V_{i0} контрольованого значення параметра, і це призведе до помилки першого роду "помилкова тривога".

Реальний ДІ може також не спрацювати при реалізації $\beta(t)$ функції $V_i(t)$ на часовому інтервалі $\Delta t_i = [t_i, t_{i+1}]$. При цьому ДІ покаже відсутність сигналу про контрольоване явище, коли в дійсності воно існує, тобто з'явиться помилка другого роду (не виявлення контрольованої події).

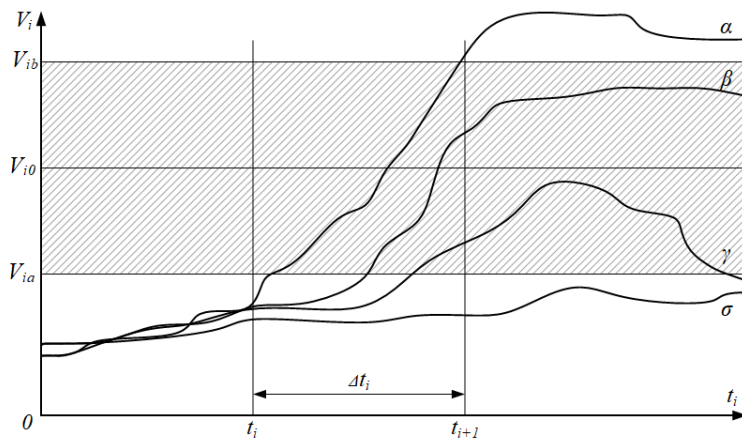


Рисунок 3.1 - Фізичне представлення контролю параметра $V_i(t)$ контрольованого процесу

Для реалізації α зміна V_i на інтервалі Δt реальний датчик спрацює правильно і зафіксує пожежу, яка в дійсності і проявився. Для реалізації σ зміна прояви V_i на інтервалі Δt реальний датчик не спрацює і зафіксує факт відсутності пожежі, якої в дійсності і не було. Таким

чином, тільки для реалізації α і σ зміни прояву V_i реальний датчик видає достовірну інформацію про наявність або відсутність пожежі на інтервал часу.

3.1.3. Інформаційно-імовірнісна модель функціонування ІУС сигналізації

Крім того, треба врахувати, що самі криві функції проявів пожежі є випадковими функціями часу. Отже, інформація від реального датчика завжди надходить з певним ступенем достовірності, яку можна охарактеризувати трьома ймовірними станами: a - ймовірність правильного виявлення події, що складається з наявності або відсутності пожежі або небезпечних польотних ситуації (НПС); b - ймовірність "помилкової" тривоги; d - ймовірність не виявлення пожежі.

Одним з основних методів забезпечення необхідних надійних характеристик систем сигналізації про пожежу, в плані підвищення достовірності переданих повідомлень, є введення інформаційного резервування. Оскільки існують різні способи інформаційного резервування, то для порівняння резервованих систем сигналізації про пожежу в якості основного критерію зазвичай приймається вірогідність виявлення подій, що представляє собою суму ймовірності виявлення

системою пожежі, коли пожежа має місце в дійсності, і ймовірності не виявлення системою пожежі, коли пожежі - немає . Однак, статистика льотної і технічної експлуатації систем сигналізації про пожежу [20, 21, 22] свідчить про значний питомий обсяг серед усього числа функціональних відмов таких систем, так званих "помилкових" тривог. За статистичними даними з 8 зареєстрованих спрацювань сигналізації "Пожежа", 6 з них виявилися помилковими [20, 21, 22]. Причинами помилкових спрацювань, як і раніше, з'явилася недостатня надійність виконавчих блоків і датчиків. У зв'язку з цим, поряд з достовірністю виявлення подій, критерієм якості системи приймається і ймовірність "помилкової" тривоги, тобто ймовірність сигналізації пожежі, коли в дійсності його немає.

Роботу інформаційно-резервованої системи сигналізації про пожежу силових установок ПС, що складається з реальних датчиків, можна описати за допомогою графа, представленого на рис. 3.2. При цьому систему пожежної сигналізації можна уявити як бінарний канал зв'язку з перешкодами [9], коли на стороні якій передається, де розташована інформаційно-резервована система датчиків, може мати місце явище пожежі (подія A) з ймовірністю $p(A) = p$ або відсутність такої (подія B) з ймовірністю $p(B) = q = 1 - p$ [103, 117, 118].

Отримана за допомогою системи з n датчиків інформація про наявність чи відсутність пожежі, передається на приймаючу сторону - систему індикації.

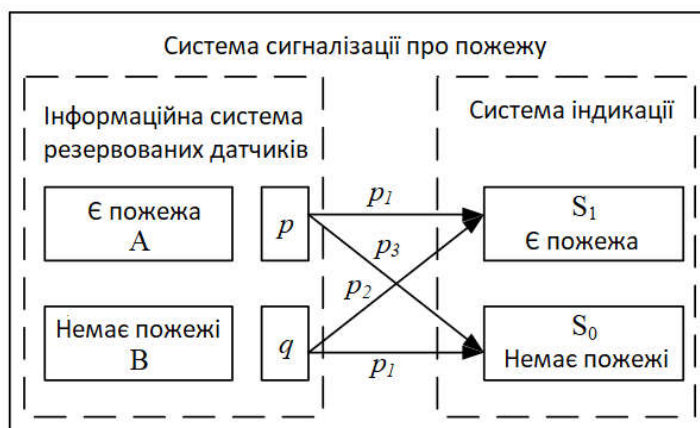


Рисунок 3.2 - Граф станів інформаційної системи сигналізації про пожежу процесу

У процесі функціонування системи пожежної сигналізації можливі наступні незалежні і єдино-можливі події: система виявляє пожежу, що має в дійсності місце (подія AS_1); система видає сигнал про наявність пожежі, якої в дійсності - немає (подія BS_1); система не

видає сигналу про пожежу, яка насправді має місце (подія AS_0); система не видає

сигналу про пожежу, якої в дійсності - немає (подія $B S_0$). При цьому S_1 - подія, що складається у видачі системою сигналу про пожежу, а S_0 - подія, що полягає у відсутності на виході системи сигналу про пожежу.

Зазначені складні події складають повну групу подій, тому сума ймовірностей їх появи дорівнює одиниці:

$$p(A S_1) + p(B S_1) + p(A S_0) + p(B S_0) = 1 \quad (3.1)$$

По теоремі множення ймовірностей маємо:

$$\left. \begin{aligned} p(A S_1) &= p(A) p(S_1/A) \\ p(B S_1) &= p(B) p(S_1/B) \\ p(A S_0) &= p(A) p(S_0/A) \\ p(B S_0) &= p(B) p(S_0/B) \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

де $p(S_1/A)$ - умовна ймовірність видачі системою сигналу про пожежу, при наявності пожежі в дійсності; $p(S_1/B)$ - умовна ймовірність видачі системою сигналу про пожежу, при відсутності пожежі в дійсності; $p(S_0/A)$ - умовна ймовірність відсутності сигналу про пожежу, при наявності пожежі в дійсності; $p(S_0/B)$ - умовна ймовірність відсутності сигналу про пожежу, при відсутності пожежі в дійсності.

Таким чином, вирази, які оцінюють ймовірності правильного виявлення подій p_1 , не виявлення пожежі p_2 і "помилкової" тривоги p_3 можуть бути представлені як:

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= p(S_1/A) + p(S_0/B) \\ p_2 &= p(S_1/B) \\ p_3 &= p(S_0/A) \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

причому

$$p_1 + p_2 + p_3 = 1. \quad (3.4)$$

В системі пожежної сигналізації з резервованими датчиками ймовірності p_1 , p_2 і p_3 функціонально залежать від кількості датчиків n і від їх імовірнісних характеристик a, b і d , тобто .:

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= f_1(n, a, b, d) \\ p_2 &= f_2(n, a, b, d) \\ p_3 &= f_3(n, a, b, d) \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

3.1.4 Способи утворення зон невизначеності спрацювання датчиків

На рис. 3.3. зображена область дії ДІ, яка визначається площею прямокутника $OABC$. Через функцію $y(t)$ позначається функція зміни в часі ознаки контрольованого явища. Інакше кажучи, функція $y(t)$ - це фізичний прояв параметру контрольованого процесу в залежності від часу. Лінія AB визначає те значення функції $y(t)$, при якому ДІ надійно спрацює з ймовірністю 1 [103].

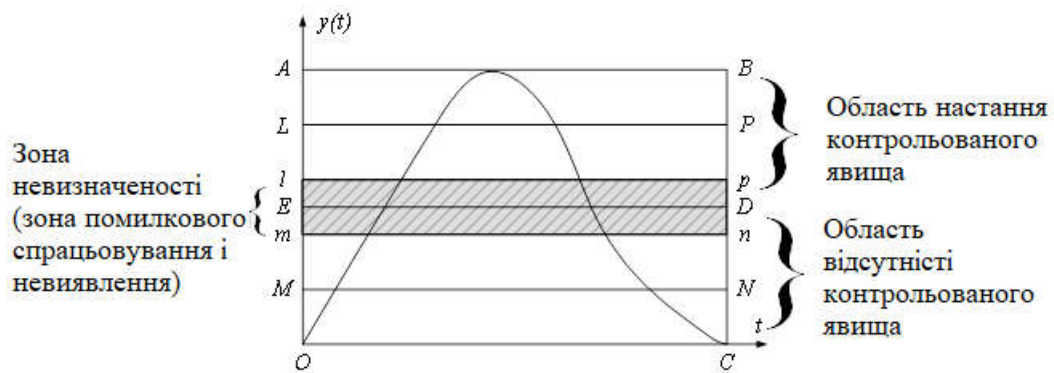


Рисунок 3.3 - Зона невизначеності спрацювання реального ДІ

В ідеальному варіанті область $ABDE$ визначає те значення функції $y(t)$, при якому настає явище контрольованої події, а область $DCOE$ відповідно визначає його відсутність. При цьому поріг спрацювання ДІ визначався б лінією ED .

Реально існує зона $lpnm$, яка визначає ймовірність помилкових спрацювань ДІ або ж не виявлення ним контрольованого явища, яке може мати місце. Величина цієї зони невизначеності оцінюється факторами A і B .

Фактор A визначається гістерезисною властивістю спрацювання ДІ, тобто реальний ДІ спрацює тоді, коли функція ознаки $y(t)$ перевищить поріг lp (а не поріг ED , як це мало б місце для ідеального ДІ). І, навпаки, реальний ДІ видасть сигнал про відсутність контрольованого явища тоді, коли функція $y(t)$ знизиться до рівня, меншого, ніж лінія mn . На відміну від реального ДІ, ідеальний видасть

сигнал про те, що контрольованого явища немає, коли функція $y(t)$ зменшиться до рівня, меншого, ніж рівень, який визначається лінією ED . Таким чином, реальний ДІ спрацьовує з певним ступенем "затримки". Можна показати, що зона $ElpD$ відповідає ймовірності неспрацювання ДІ при наявності контрольованого явища, як це показано на рис.3.4.

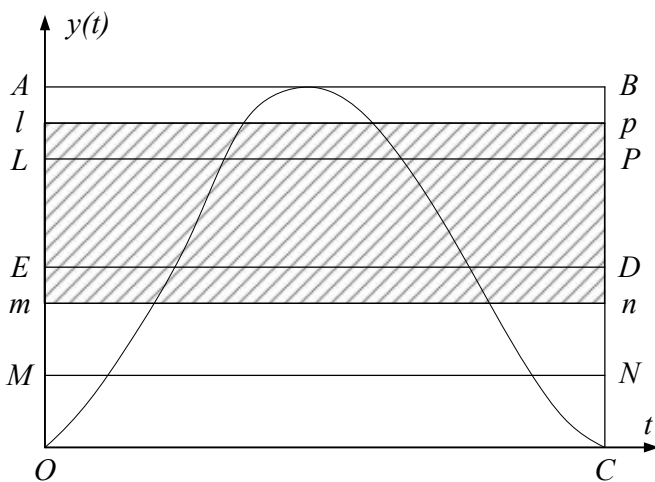


Рисунок 3.4 - Зміна зони невизначеності при паралельному підключенні n ДІ ССП

визначає ймовірність b_a помилкового спрацювання ДІ при відсутності контрольованого явища і дорівнює:

$$b_a = \frac{m_a - k_a}{n_a} \quad (3.7)$$

де m_a - число випадків змін функції $y(t)$, які не виходять із зони $lpnm$.

зона $lABp$ відповідає ймовірності a_a правильного виявлення контрольованого явища і дорівнює:

$$a_a = \frac{n_a - m_a}{n_a} \quad (3.8)$$

Причому, величина $n_a - m_a$ - представляє число випадків перевищення функцією $y(t)$ лінії lp .

На підставі формул (6), (7), (8) можна показати, що

$$a_a + b_a + d_a = 1$$

Ймовірність визначається співвідношенням:

$$d_a = \frac{k_a}{n_a} \quad (3.6)$$

де k_a - число випадків змін функції $y(t)$, що не перевищують поріг lp при наявності події; n_a - загальне число випадків перевищення функцією $y(t)$ порогу mn .

Зона $mEDn$ в свою чергу

Очевидно, що датчик можна регулювати і змінювати характер його гістерезисної зони спрацювання, тобто змінювати його чутливість. При цьому буде змінюватися співвідношення між ймовірностями b_a і d_a . Для більш чутливого датчика ймовірність b_a помилкових спрацювань буде більше, ніж ймовірність d_a не виявлення, а співвідношення $d_a > b_a$ матиме місце для менш чутливих датчиків.

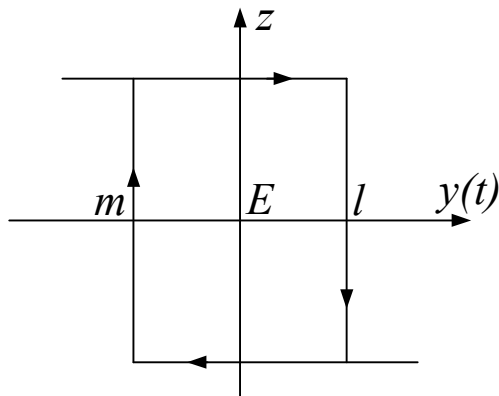


Рисунок 3.5 - Гістерезисна характеристика спрацювання ДІ

Таким чином, фактор A враховує той варіант, коли функція $y(t)$ детермінована, а ДІ має явно виражену Гістерезисну характеристику спрацювання і відпускання (рис.3.5).

Фактор В передбачає, що функція $y(t)$ випадкова, а ДІ - ідеальний, тобто немає явно вираженого характеру гістерезисного спрацювання і відпускання. Спрацювання і відпускання в ДІ відбувається на рівні ED . В цьому випадку зона $ELBD$ відповідає ймовірності b_b помилкової тривоги, тобто враховує ті випадки, коли контрольованого явища немає, а функція $y(t)$ випадково перевищує поріг ED , але не перевищує лінію LP . Це визначається ймовірністю:

$$b_b = (m_b - k_b) / n_b$$

де n_b - загальне число випадків перевищення лінії MN ; k_b - число випадків розподілу випадкової функції $y(t)$ в зоні $MEDN$; m_b - число випадків розподілу випадкової функції $y(t)$ в зоні $ELPD$.

Ймовірність $d_b = k_b / n_b$ враховує випадки розподілу випадкової функції в зоні $MEDN$, коли контрольоване явище є, а випадкова функція $y(t)$ не перевищує порогу ED . Ймовірність $a_b = (n_b - m_b) / n_b$ враховує всі випадки правильного розпізнавання контрольованого явища, коли випадкова функція $y(t)$ знаходиться в зоні $LABP$. При впливі фактора B зниження ймовірностей b_b і d_b не залежить

від якості ДІ, а буде залежати від їх кількості n_b . Очевидно, чим більше число n_b ДІ, тим вища буде достовірність інформації, що оцінюється вірогідністю a_b , b_b і d_b .

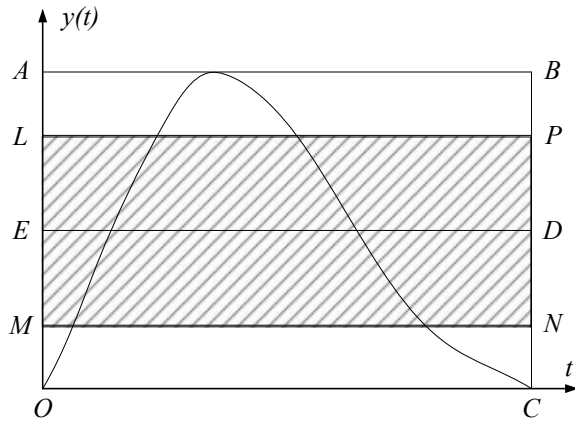


Рисунок 3.6 - Зона невизначеності спрацювання комбінованого ДІ з урахуванням факторів А і В

У реальності обидва факти А і В взаємно накладаються і надають спільний вплив на ймовірності b - "помилкової" тривоги і d - не виявлення пожежі. На основі теореми додавання ймовірностей [103, 119, 120] з урахуванням ймовірності появи хоча б одного з двох спільних подій для ймовірностей b і d матимемо вираз:

$$b = b_a + b_b - b_a b_b$$

$$d = d_a + d_b - d_a d_b$$

Геометричне уявлення ймовірностей a , b і d ілюструє рис.3.6.

3.2 Геометричне уявлення системних ймовірностей контрольованого явища в інформаційно-керуючих системах

Будемо вважати, що ДІ являє собою симетричний канал передачі інформації, тобто ймовірність правильного виявлення наявності і відсутності контрольованого явища дорівнює a [102, 104]. На рис.3.6 ці обидві ймовірності відповідають площам фігур $ABPL$ і $OMNC$, тобто ймовірність, a можна визначити геометрично: $a = S_{ABPL} / S_{MABN} = S_{OMNC} / S_{OLPC}$

Ймовірності b і d визначаються відношенням площ фігур:

$$b = S_{LPDE} / S_{MABN} \quad d = S_{MEDN} / S_{MABN}$$

де S_{ABPL} , S_{MABN} , S_{OMNC} , S_{OLPC} , S_{LPDE} , S_{MABN} , S_{MEDN} , S_{MABN} - площі відповідних прямокутників, зображених на рис.6.

Геометричними співвідношеннями можна уявити і ймовірності правильного виявлення p_1 , не виявлення p_2 і помилкової тривоги p_3 системи з n ДІ. Відповідно, на рис.6, площа фігури $MLPN$ зменшується, а площа фігури

$LABP$ збільшується. Разом з тим ймовірність помилкової тривоги збільшується за рахунок зменшення ймовірності не виявлення p_2 . На рис.6 це відповідає тому, що площа фігури $MEDN$ зменшується при одночасному зменшенні загальної площі фігури $MLPN$.

Для того, щоб ймовірності p_2 і p_3 були рівними і зменшувалися в рівній мірі зі збільшенням числа n , можна "загрубляти" резервовані ДІ, піднявши поріг спрацювання ED на більш високий рівень для кожного ДІ. При цьому поріг спрацювання для комбінованого ДІ, що складається з системи n ДІ, повинен розділити площу фігури $MLPN$ на дві рівновеликі частини і проходити по лінії ED . Рівень підйому порога спрацювання для кожного ДІ визначимо з урахуванням наступних міркувань.

прирівняємо ймовірності p_2 і p_3 , утворивши рівняння ($n = 2$):

$$b^2 - 2bd = d^2$$

Введемо нову змінну $x = b/d$ і вирішимо рівняння:

$$x^2 + 2x - 1 = 0$$

Позитивним рішенням цього рівняння буде:

$$x_2 = \sqrt{2} - 1$$

при $n = 3$ подібним способом складемо кубічне рівняння:

$$x^3 + 2x^2 + 3x - 1 = 0$$

Позитивним рішенням його буде:

$$x_3 = \sqrt[3]{2} - 1$$

при $n = 4$ подібним способом складемо рівняння:

$$x^4 + 4x^3 + 6x^2 + 4x - 1 = 0$$

Позитивним рішенням його буде:

$$x_4 = \sqrt[4]{2} - 1$$

Таким чином, для будь-якого n можна вивести рекурентне співвідношення:

$$x_n = \sqrt[n]{2} - 1 = b/d$$

тобто можна стверджувати, що для будь-якого числа ДІ n існує залежність:

$$b = (\sqrt[n]{2} - 1)d \quad (3.9)$$

при якій ймовірності p_2 і p_3 зменшуватимуться в рівній мірі зі збільшенням n .

Відповідно до виразу (3.9) необхідно підвищувати поріг спрацювання для кожного ДІ в залежності від n для того, щоб ймовірності p_2 і p_3 дорівнювали для даного числа n .

оскільки $b + d = 1 - a$, то можна записати:

$$(\sqrt[n]{2} - 1)d + d = 1 - a$$

звідки можна визначити:

$$d = (1 - a) / \sqrt[n]{2} \quad (3.10)$$

$$b = (1 - a)(\sqrt[n]{2} - 1) / \sqrt[n]{2} \quad (3.11)$$

Вирази (3.10) і (3.11) показують, як треба відрегулювати ДІ шляхом зміни

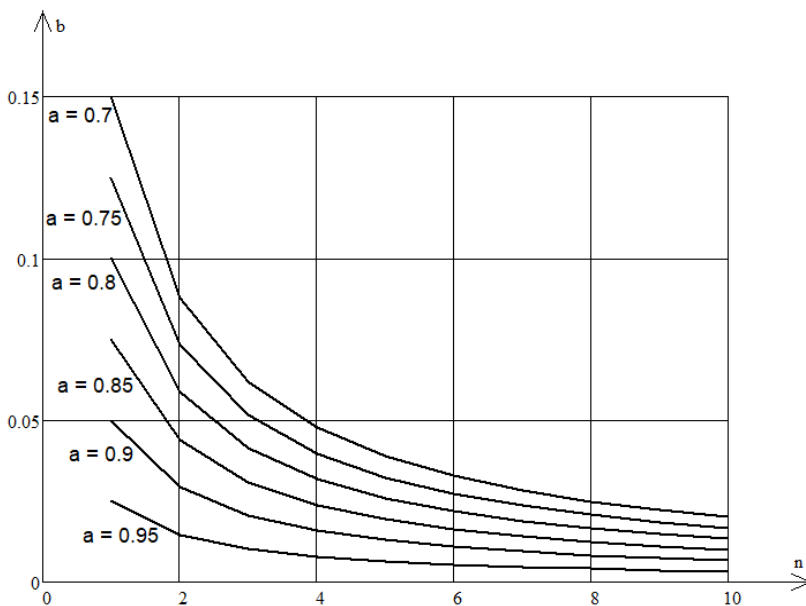


Рисунок 3.7 - Зміна ймовірності помилкової тривоги в залежності від числа ДІ урахуванням факторів А і В

порога спрацювання ED , щоб при заданому n отримати систему, що забезпечує рівний ступінь зниження ймовірностей p_2 і p_3 . Тобто забезпечити рівність $p_2 = p_3$.

З виразів (3.10) і (3.11) можна отримати графічні залежності для ймовірностей помилкової тривоги (рис.3. 7)

і не виявлення (рис.3. 8).

З рисунків 3.7 і 3.8 видно, що з поліпшенням якості датчиків зменшуються ймовірності не виявлення і помилкової тривоги, але також видно, що ймовірність не виявлення зменшується різко, а ймовірність помилкової тривоги досягає рівня допуску датчика і його якості.

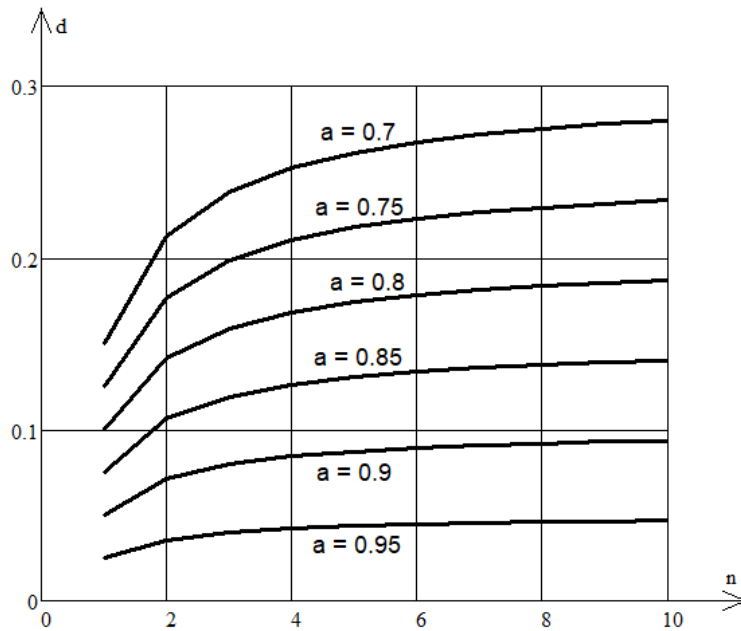


Рисунок 3.8 - Зміна ймовірності невиявлення в залежності від числа ДІ урахуванням факторів А і В

Якщо ж ДІ такий, що $b = d$, то зі збільшенням числа n джерел інформації в системі ймовірності p_3 помилкової тривоги буде збільшуватися так, що співвідношення між вірогідністю p_2 і p_3 буде визначатися формулою:

$$\frac{p_2(n)}{p_3(n)} = 2^n - 1 \quad (3.12)$$

Останнє співвідношення виходить з виразів (3.10) і (3.11).

Як бачимо з (3.12), зі збільшенням n ймовірність помилкової тривоги істотно зростає в порівнянні з ймовірністю $p_2(n)$ не виявлення.

Якщо виконується умова $b = d$, То при великих n з виразів (3.9) і (3.10) неважко знайти співвідношення:

$$\frac{p_1(n)}{p_3(n)} \approx \frac{1}{(1-a)^n} - 1 \quad (3.13)$$

При дотриманні умов (3.10) і (3.11) з урахуванням великого n і малого d то можна записати:

$$\frac{p_1(n)}{p_3(n)} \approx \frac{1}{\left(\left(\sqrt[n]{2} - 1\right) \cdot d + d\right)^n} - 1 \quad (3.14)$$

Аналіз формул (3.13) і (3.14) показує, що при виконанні вимог (3.10) і (3.11) зі збільшенням n ймовірностей $p_1(n)$ правильного повідомлення росте швидше (рис.3.9) в порівнянні з ймовірністю $p_3(n)$, ніж за умови $b = d$.

$$M(n) = \frac{(1-a)^n}{((\sqrt[n]{2}-1)d+d)^n} \quad (3.15)$$

$M(n)$ - коефіцієнт зростання ймовірності $p_1(n)$ порівняно з $p_3(n)$ в залежності від n при виконанні умов (3.9) і (3.10).

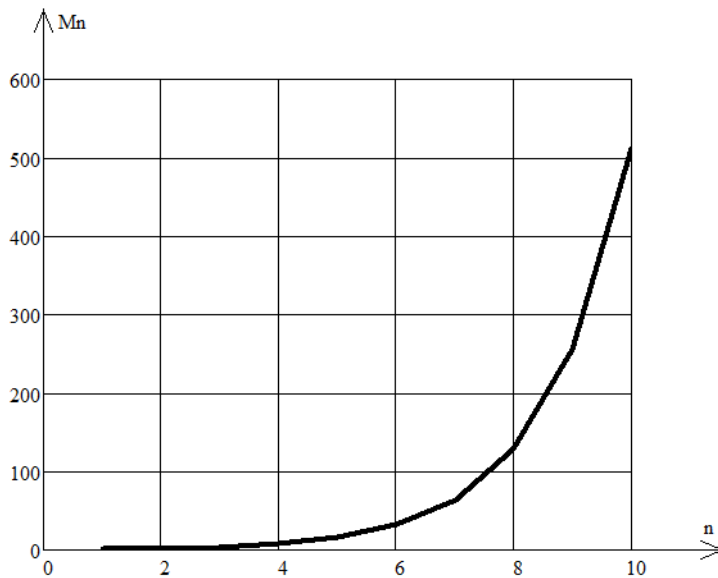


Рисунок 3.9 - Залежність коефіцієнта $M(n)$ зростання ймовірності $p_1(n)$ порівняно з $p_3(n)$ при підвищенні порога спрацювання

Таким чином, іноді в конкретних умовах має сенс загрубляти чутливість ДІ, підвищуючи їх поріг спрацювання з тим, щоб виконувалися вимоги (3.10) і (3.11). При цьому ймовірність $p_2(n)$ не виявлення буде дещо збільшена, однак, як показує аналіз співвідношення (3.14), (3.15), зі збільшенням кількості датчиків n [6] цей недолік можна компенсувати.

З проведеного дослідження можна зробити наступний висновок:

- інформація від реального ДІ завжди надходить з певним ступенем достовірності, яку можна охарактеризувати трьома ймовірними станами [17, 18, 19, 20]:

a - ймовірність правильного виявлення контрольованої події;

b - ймовірність помилкової тривоги;

d - ймовірність не виявлення.

- при збільшенні числа n ДІ можна створити ефективну систему контролю ситуації в функціональному сенсі за допомогою простих по конструкції, технічно надійних і недорогих ДІ.

3.3 Логіко-математична модель розпізнавання пожеж авіадвигунів на повітряних судах

Відповідно до фізичного представлення роботи джерел інформації (ДІ), реальний ДІ може перебувати в одному з трьох несумісних випадкових станів: правильного виявлення, помилкової тривоги і не виявлення, що визначаються, відповідно можливостями a , b і d . Таку систему можна представити за допомогою тріноміального розподілу ймовірностей [103, 117, 119, 120], згідно з яким ймовірність $p(n-m, m-k, k)$ того, що з n ДІ k взагалі не виявить контрольовані явища, $m-k$ ДІ спрацюють з помилковою тривоною, і $n-m$ ДІ подадуть правильну інформацію про контрольоване явище. Ймовірність $p(n-m, m-k, k)$ описується наступним виразом:

$$P_{(n-m, m-k, k)} = C_n^{n-m} a^{n-m} C_m^{m-k} b^{m-k} d^k \quad (3.16)$$

причому $a + b + d = 1$.

Застосування наведених загальних теоретичних посилок можна показати на конкретних прикладах реалізації систем розпізнавання пожеж всередині авіаційних двигунів [20, 21, 72, 73], з залученням елементів електроніки та обчислювальної техніки [121, 122, 123, 124, 125].

3.3.1. Система збору інформації з двох ДІ

Нехай система збору інформації складається з двох ДІ і організована так, що на виході цієї системи з'явиться сигнал тоді, коли спрацює хоча б один з ДІ. Така система має вигляд, зображений на рис.3.10.

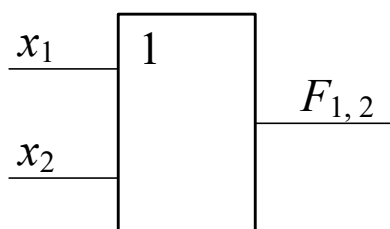


Рисунок 3.10 - Система збору інформації при $Q = 1$

через $F_{Q,n}$ позначена функція реакції системи з n ДІ на сигнали, що поступають x_1, x_2 ; Q - індекс мажоритарності, який показує скільки ДІ n голосує "за".

Достовірність інформації, отриманої за допомогою такої системи, можна також оцінити трьома ймовірними характеристиками, а саме, $p_{no1,2}$ - ймовірність правильного виявлення; $p_{lm1,2}$ - ймовірність помилкової тривоги і $p_{no1,2}$ - ймовірність не виявлення. Зрозуміло, тут і завжди виконується умова $P_{noQ,n} + P_{lmQ,n} + P_{noQ,n} = 1$. Легко показати, що ймовірність $p_{no1,2}$ визначається наступними можливостями: $p(a^2)$ - ймовірність того, що обидва ДІ спрацюють правильно, $p(ab)$ - ймовірність того, що один ДІ спрацює правильно, а другий ДІ дасть неправдиву інформацію і $p(ad)$ - ймовірність того, що один ДІ спрацює правильно, а другий не виявить необхідну інформацію. Аналогічно ймовірність $p_{lm1,2}$, включає в себе ймовірність $p(b^2)$ того, що обидва ДІ дадуть неправдиву інформацію і ймовірність $p(bd)$ того, що один ДІ спрацює помилково, а другий взагалі не спрацює. Нарешті, ймовірність $p_{no1,2}$ для даної схеми оцінюється ймовірністю $p(d^2)$ того, що обидва ДІ не спрацюють.

Для розкриття математичних формул була розроблена програма на мові JAVA, як це показано в додатку (А) [127].

Якщо всі ДІ однакові за своїми характеристиками, то можна отримати наступні залежності:

$$\left. \begin{aligned} P_{no1,2} &= a^2 + 2ab + 2ad; \\ P_{no1,2} &= d^2; \\ P_{lm1,2} &= b^2 + 2bd. \end{aligned} \right\} \quad (3.17)$$

Ймовірнісні характеристики $p_{no1,2}$, $p_{no1,2}$, $p_{lm1,2}$ такої системи, для однакових за характеристиками ДІ можна описати наступними виразами:

$$\left. \begin{aligned} P_{no1,2} &= a_1 a_2 + a_1 b_2 + a_2 b_1 + a_1 d_2 + a_2 d_1; \\ P_{no1,2} &= d_1 d_2; \\ P_{lm1,2} &= b_1 b_2 + b_1 d_2 + b_2 d_1. \end{aligned} \right\}$$

Система збору інформації, що складається з двох ДІ, може бути організована так, що сигнал на виході буде тільки тоді, коли на вході спрацюють обидва ДІ. Така система зображена на рис. 3.11.

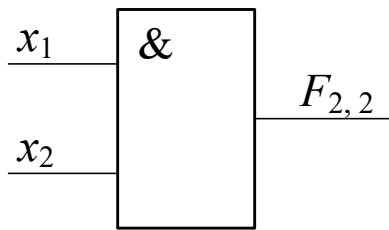


Рисунок 3.11 - Система збору інформації при $Q = 2$

Ймовірнісні характеристики $P_{no2,2}$, $P_{но2,2}$, $P_{лт2,2}$ такої системи, для однакових за характеристиками ДІ можна описати наступними виразами:

$$\left. \begin{aligned} P_{no2,2} &= a^2 + 2ab; \\ P_{но2,2} &= d^2 + 2ad + 2bd; \\ P_{лт2,2} &= b^2. \end{aligned} \right\} \quad (3.18)$$

Ймовірнісні характеристики $p_{no2,2}$, $P_{но2,2}$, $P_{лт2,2}$ такої системи, для різноймовірнісних за характеристиками ДІ можна описати наступними виразами:

$$\left. \begin{aligned} P_{no2,2} &= a_1 a_2 + a_1 b_2 + a_2 b_1; \\ P_{но2,2} &= d_1 d_2 + a_1 d_2 + a_2 d_1 + b_1 d_2 + b_2 d_1; \\ P_{лт2,2} &= b_1 b_2. \end{aligned} \right\}$$

На основі математичної моделі формул (3.17) і (3.18) можна побудувати графічні залежності ймовірнісних характеристик p_{no} , $P_{но}$, $P_{лт}$, які зображені на рис.3.12.

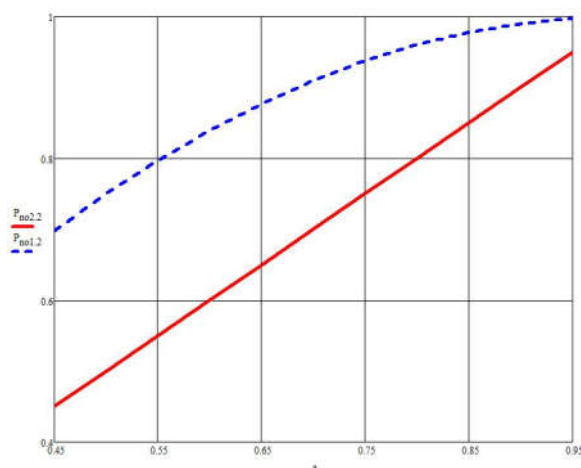


Рисунок 3.12 - Графічні залежності ймовірності правильного виявлення інформаційної системи $Q = 2$

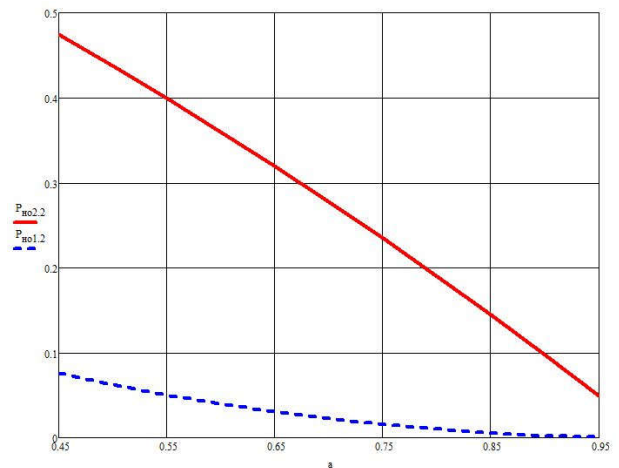


Рисунок 3.13 - Графічні залежності ймовірності невиявлення інформаційної системи $Q = 2$

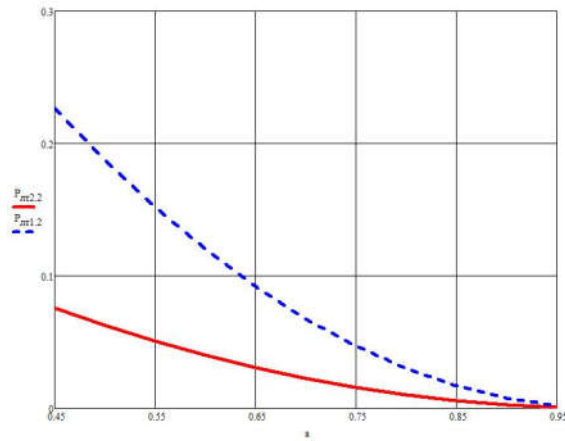


Рисунок 3.14 - Графічні залежності
помилкової тривоги інформаційної
системи $Q = 2$

3.3.2. Система збору інформації з трьох ДІ

Розглянемо тепер систему, що складається з трьох ДІ. Нехай ця інформаційна система буде організована так, що на її виході з'явиться сигнал $F_{1,3}$, коли на виході спрацює хоча б один ДІ. Така система зображена на рис.3.15.

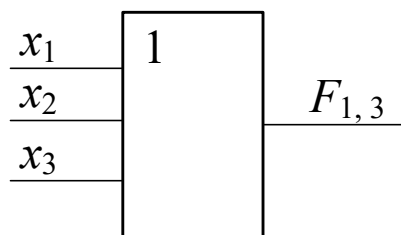


Рисунок 3.15 - Система збору
інформації при $Q = 1$

З урахуванням викладеного для однакових ДІ вирази, що визначають характеристики $P_{no1,3}$, $P_{но1,3}$, $P_{лт1,3}$ для системи з трьох ДІ (рис.4) матиме вигляд:

$$\left. \begin{aligned} P_{no1,3} &= a^3 + 3a^2b + 3a^2d + 3ab^2 + 3ad^2 + 6abd; \\ P_{но1,3} &= d^3; \\ P_{лт1,3} &= b^3 + 3db^2 + 3bd^2. \end{aligned} \right\} \quad (3.19)$$

Ймовірнісні характеристики $P_{no1,3}$, $P_{но1,3}$, $P_{лт1,3}$ такої системи, для різноймовірнісних за характеристиками ДІ можна описати наступними виразами:

$$\left. \begin{aligned}
 P_{no1,3} &= a_1 a_2 a_3 + a_1 a_2 b_3 + a_1 a_3 b_2 + a_2 a_3 b_1 + a_1 a_2 d_3 + a_1 a_3 d_2 + \\
 &+ a_2 a_3 d_1 + a_1 b_2 b_3 + a_2 b_1 b_3 + a_3 b_1 b_2 + a_1 d_2 d_3 + a_2 d_1 d_3 + \\
 &+ a_3 d_1 d_2 + a_1 b_2 d_3 + a_2 b_1 d_3 + a_2 b_1 b_3 + a_1 b_3 d_2 + a_2 b_3 d_1 + a_3 b_2 d_1; \\
 P_{no1,3} &= d_1 d_2 d_3; \\
 P_{lm1,3} &= b_1 b_2 b_3 + b_1 b_2 d_3 + b_2 b_3 d_1 + b_1 b_3 d_2 + b_1 d_2 d_3 + b_2 d_1 d_3 + b_3 d_1 d_2
 \end{aligned} \right\}$$

Нехай інформаційна система, що складається з трьох ДІ буде виконана так, що на її виході з'явиться сигнал $F_{2,3}$, Коли на вході за мажоритарним принципом спрацює не менше двох ДІ. Така система зображена на рис.3.16.

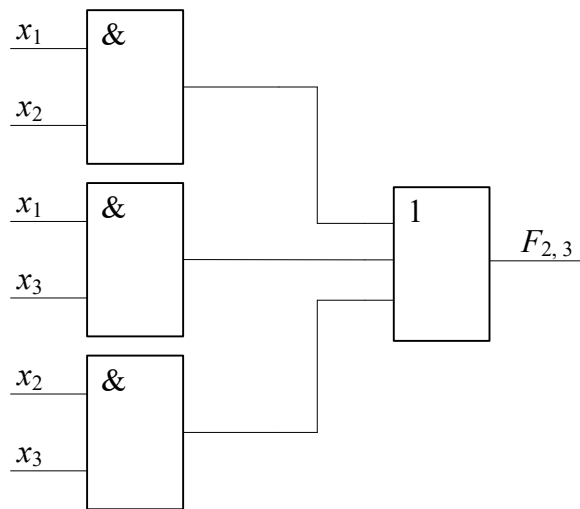


Рисунок 3.16 - Система збору інформації при $Q = 2$

Якщо в системі (рис.3.16) всі ДІ однакові за своїми характеристиками, то формули для визначення ймовірностей $P_{no2,3}$, $P_{no2,3}$, $P_{lm2,3}$ матимуть вигляд:

$$\left. \begin{aligned}
 P_{no2,3} &= a^3 + 3a^2b + 3a^2d + 3ab^2 + 6abd; \\
 P_{no2,3} &= d^3 + 3ad^2 + 3bd^2; \\
 P_{lm2,3} &= b^3 + 3db^2.
 \end{aligned} \right\} \quad (3.20)$$

Ймовірнісні характеристики $P_{no2,3}$, $P_{no2,3}$, $P_{lm2,3}$ такої системи, для різноймовірнісних за характеристиками ДІ можна описати наступними виразами:

$$\left. \begin{aligned}
 P_{no2,3} &= a_1 a_2 a_3 + a_1 a_2 b_3 + a_1 a_3 b_2 + a_2 a_3 b_1 + a_1 a_2 d_3 + a_1 a_3 d_2 + \\
 &+ a_2 a_3 d_1 + a_1 b_2 b_3 + a_2 b_1 b_3 + a_3 b_1 b_2 + a_1 b_2 d_3 + a_2 b_1 d_3 + \\
 &+ a_2 b_1 b_3 + a_1 b_3 d_2 + a_2 b_3 d_1 + a_3 b_2 d_1; \\
 P_{no2,3} &= d_1 d_2 d_3 + a_1 d_2 d_3 + a_2 d_1 d_3 + a_3 d_1 d_2 + b_1 d_2 d_3 + \\
 &+ b_2 d_1 d_3 + b_3 d_1 d_2; \\
 P_{lm2,3} &= b_1 b_2 b_3 + b_1 b_2 d_3 + b_2 b_3 d_1 + b_1 b_3 d_2.
 \end{aligned} \right\}$$

Нехай, система, що складається з трьох ДІ, буде виконана так, що на її виході з'явиться сигнал $F_{2,3}$ тільки тоді, коли на вході спрацьовує не менше трьох ДІ одночасно. Тут принцип мажоритарності полягає в одностайності. Така система зображена на рис.3.17.

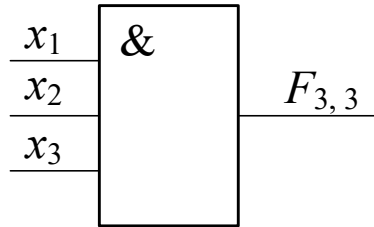


Рисунок 3.17 - Система збору інформації при $Q=3$

Якщо ж в системі (рис.3.17) застосовуються однакові за своїми характеристиками ДІ, то виходять такі розрахункові формули:

$$\left. \begin{aligned} P_{но3,3} &= a^3 + 3a^2b + 3ab^2; \\ P_{но3,3} &= d^3 + 3ad^2 + 3bd^2 + 3db^2 + 3a^2d + 6abd; \\ P_{лт3,3} &= b^3. \end{aligned} \right\} \quad (3.21)$$

Ймовірнісні характеристики $p_{но3,3}$, $P_{но3,3}$, $P_{лт3,3}$ такої системи, для різноймовірнісних за характеристиками ДІ можна описати наступними виразами:

$$\left. \begin{aligned} P_{но3,3} &= a_1a_2a_3 + a_1a_2b_3 + a_1a_3b_2 + a_2a_3b_1 + a_1b_2b_3 + a_2b_1b_3 + a_3b_1b_2; \\ P_{но3,3} &= d_1d_2d_3 + a_1d_2d_3 + a_2d_1d_3 + a_3d_1d_2 + b_1d_2d_3 + b_2d_1d_3 + \\ &+ b_3d_1d_2 + a_1a_2d_3 + a_1a_3d_2 + a_1b_2d_3 + a_2b_1d_3 + a_2b_1b_3 + a_1b_3d_2 + \\ &+ a_2b_3d_1 + a_3b_2d_1 + a_2a_3d_1 + b_1b_2d_3 + b_2b_3d_1 + b_1b_3d_2; \\ P_{лт3,3} &= b_1b_2b_3. \end{aligned} \right\}$$

На основі математичної моделі формул (3.19), (3.20) і (3.21) можна побудувати графічні залежності ймовірнісних характеристик $p_{но}$, $P_{но}$, $P_{лт}$, які зображені на рис.3.23 -3.25.

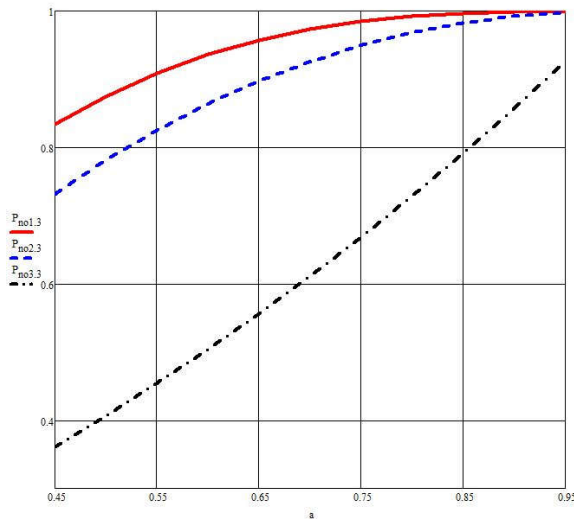


Рисунок 3.23 - Графічні залежності ймовірності правильного виявлення інформаційної системи $Q = 3$

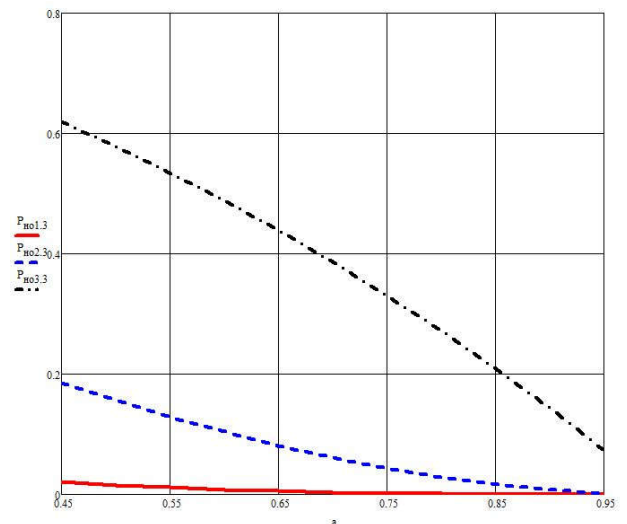


Рисунок 3.24 - Графічні залежності ймовірності невиявлення інформаційної системи $Q = 3$

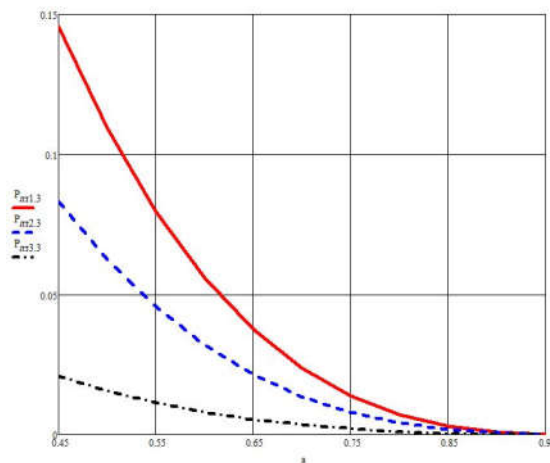


Рисунок 3.25 - Графічні залежності помилкової тривоги інформаційної системи $Q = 3$

3.3.3. Система збору інформації з чотирьох ДІ

Розглянемо тепер інформаційну систему, що складається з 4-х датчиків. Нехай ця система буде виконана так, що на її виході з'явиться сигнал, коли на

виході спрацює хоча б один датчик. Така система зображена на рис.3.26.

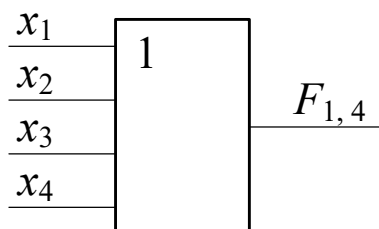


Рисунок 3.26 - Система збору інформації при $Q = 1$

Ймовірнісні характеристики $p_{но1,4}$, $p_{по1,4}$, $p_{лт1,4}$ інформаційної системи зображені на рис.3.26., описуються наступними залежностями:

$$\left. \begin{aligned} P_{no1,4} &= a^4 + 4a^3d + 4ad^3 + 4a^3b + 4ab^3 + 6a^2d^2 + 6a^2b^2 + 12a^2bd + \\ &+ 12ab^2d + 12abd^2; \\ P_{но1,4} &= d^4; \\ P_{лм1,4} &= b^4 + 4db^3 + 4bd^3 + 6b^2d^2. \end{aligned} \right\} \quad (3.22)$$

Якщо всі датчики різні, то ймовірнісні характеристики будуть мати такий вигляд

$$\begin{aligned} P_{no1,4} &= a_1a_2a_3a_4 + a_1a_2a_3d_4 + a_1a_2a_4d_3 + a_1a_3a_4d_2 + a_2a_3a_4d_1 + \\ &+ a_1d_2d_3d_4 + a_2d_1d_3d_4 + a_3d_1d_2d_4 + a_4d_1d_2d_3 + a_1a_2a_3b_4 + a_1a_2a_4b_3 + \\ &+ a_1a_3a_4b_2 + a_2a_3a_4b_1 + a_1b_2b_3b_4 + a_2b_1b_3b_4 + a_3b_1b_2b_4 + a_4b_1b_2b_3 + \\ &+ a_1a_2b_3b_4 + a_1a_3b_2b_4 + a_1a_4b_3b_2 + a_2a_3b_1b_4 + a_2a_4b_1b_3 + a_3a_4b_2b_1 + \\ &+ d_1b_2a_3a_4 + d_1b_3a_2a_4 + d_1b_4a_2a_3 + d_2b_3a_1a_4 + d_2b_4a_1a_3 + d_3b_4a_2a_1 + \\ &+ a_1d_2b_3b_4 + a_1d_3b_2b_4 + a_1d_4b_3b_2 + a_2d_3b_1b_4 + a_2d_4b_1b_3 + a_3d_4b_2b_1 + \\ &+ d_1a_2b_3b_4 + d_1a_3b_2b_4 + d_1a_4b_3b_2 + d_2a_3b_1b_4 + d_2a_4b_1b_3 + d_3a_4b_2b_1 + \\ &+ a_1b_2d_3d_4 + a_1b_3d_2d_4 + a_1b_4d_3d_2 + a_2b_3d_1d_4 + a_2b_4d_1d_3 + a_3b_4d_2d_1 + \\ &+ b_1a_2d_3d_4 + b_1a_3d_2d_4 + b_1a_4d_3d_2 + b_2a_3d_1d_4 + b_2a_4d_1d_3 + b_3a_4d_2d_1 \\ P_{но1,4} &= d_1d_2d_3d_4; \\ P_{лм1,4} &= b_1b_2b_3b_4 + d_1b_2b_3b_4 + d_2b_1b_3b_4 + d_3b_1b_2b_4 + d_4b_1b_2b_3 + \\ &+ b_1d_2d_3d_4 + b_2d_1d_3d_4 + b_3d_1d_2d_4 + b_4d_1d_2d_3 + \\ &+ b_1b_2d_3d_4 + b_1b_3d_2d_4 + b_1b_4d_2d_3 + b_2b_3d_1d_4 + b_2b_4d_1d_3 + b_3b_4d_1d_2. \end{aligned}$$

Нехай інформаційна система з 4-х датчиків буде організована так, що на її виході з'явиться сигнал F2, коли на вході спрацює одночасно за мажоритарним принципом не менше 2-х датчиків. Така система зображена на рис.3.27.

Ймовірнісні характеристики $P_{но2,4}$, $P_{но2,4}$, $P_{лм2,4}$ інформаційної системи, зображеної на рис.3.27, можна описати наступними формулами:

$$\left. \begin{aligned} P_{но2,4} &= a^4 + 4a^3d + 4a^3b + 4ab^3 + 6a^2d^2 + 6a^2b^2 + 12a^2bd + \\ &+ 12ab^2d + 12abd^2; \\ P_{но2,4} &= d^4 + 4bd^3 + 4ad^3; \\ P_{лм2,4} &= b^4 + 4db^3 + 6b^2d^2. \end{aligned} \right\} \quad (3.23)$$

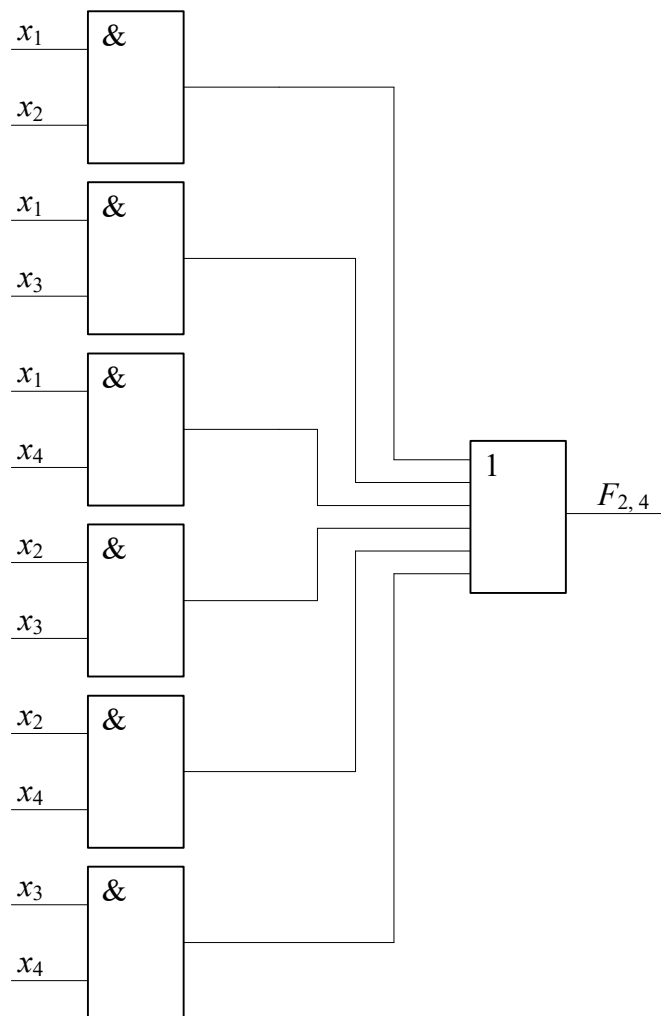


Рисунок 3.27 - Система збору інформації при $Q = 2$

Якщо датчики мають різні характеристики, то ймовірності подій можна описати наступними виразами

$$\begin{aligned}
 P_{no2,4} = & a_1 a_2 a_3 a_4 + a_1 a_2 a_3 d_4 + a_1 a_2 a_4 d_3 + a_1 a_3 a_4 d_2 + a_2 a_3 a_4 d_1 + \\
 & + a_1 a_2 a_3 b_4 + a_1 a_2 a_4 b_3 + a_1 a_3 a_4 b_2 + a_2 a_3 a_4 b_1 + \\
 & + a_1 b_2 b_3 b_4 + a_2 b_1 b_3 b_4 + a_3 b_1 b_2 b_4 + a_4 b_1 b_2 b_3 + \\
 & + a_1 a_2 b_3 b_4 + a_1 a_3 b_2 b_4 + a_1 a_4 b_3 b_2 + a_2 a_3 b_1 b_4 + a_2 a_4 b_1 b_3 + a_3 a_4 b_2 b_1 + \\
 & + a_1 a_2 d_3 d_4 + a_1 a_3 d_2 d_4 + a_1 a_4 d_3 b_2 + a_2 a_3 d_1 d_4 + a_2 a_4 d_1 d_3 + a_3 a_4 d_2 d_1 + \\
 & + b_1 d_2 a_3 a_4 + b_1 d_3 a_2 a_4 + b_1 d_4 a_2 a_3 + b_2 d_3 a_1 a_4 + b_2 d_4 a_1 a_3 + b_3 d_4 a_2 a_1 + \\
 & + d_1 b_2 a_3 a_4 + d_1 b_3 a_2 a_4 + d_1 b_4 a_2 a_3 + d_2 b_3 a_1 a_4 + d_2 b_4 a_1 a_3 + d_3 b_4 a_2 a_1 + \\
 & + a_1 d_2 b_3 b_4 + a_1 d_3 b_2 b_4 + a_1 d_4 b_3 b_2 + a_2 d_3 b_1 b_4 + a_2 d_4 b_1 b_3 + a_3 d_4 b_2 b_1 + \\
 & + d_1 a_2 b_3 b_4 + d_1 a_3 b_2 b_4 + d_1 a_4 b_3 b_2 + d_2 a_3 b_1 b_4 + d_2 a_4 b_1 b_3 + d_3 a_4 b_2 b_1 + \\
 & + a_1 b_2 d_3 d_4 + a_1 b_3 d_2 d_4 + a_1 b_4 d_3 d_2 + a_2 b_3 d_1 d_4 + a_2 b_4 d_1 d_3 + a_3 b_4 d_2 d_1 + \\
 & + b_1 a_2 d_3 d_4 + b_1 a_3 d_2 d_4 + b_1 a_4 d_3 d_2 + b_2 a_3 d_1 d_4 + b_2 a_4 d_1 d_3 + b_3 a_4 d_2 d_1
 \end{aligned}$$

$$P_{но2,4} = d_1 d_2 d_3 d_4 + a_1 d_2 d_3 d_4 + a_2 d_1 d_3 d_4 + a_3 d_1 d_2 d_4 + a_4 d_1 d_2 d_3 + \\ + b_1 d_2 d_3 d_4 + b_2 d_1 d_3 d_4 + b_3 d_1 d_2 d_4 + b_4 d_1 d_2 d_3;$$

$$P_{лт2,4} = b_1 b_2 b_3 b_4 + d_1 b_2 b_3 b_4 + d_2 b_1 b_3 b_4 + d_3 b_1 b_2 b_4 + d_4 b_1 b_2 b_3 + \\ + b_1 b_2 d_3 d_4 + b_1 b_3 d_2 d_4 + b_1 b_4 d_2 d_3 + b_2 b_3 d_1 d_4 + b_2 b_4 d_1 d_3 + b_3 b_4 d_1 d_2.$$

Нехай інформаційна система з 4-х датчиків буде організована так, що на її виході з'явиться сигнал $F_{3,4}$, коли на вході спрацюють не менше 3-х датчиків одночасно за мажоритарним принципом. Така інформаційна система буде мати вигляд, зображений на рис.3.28.

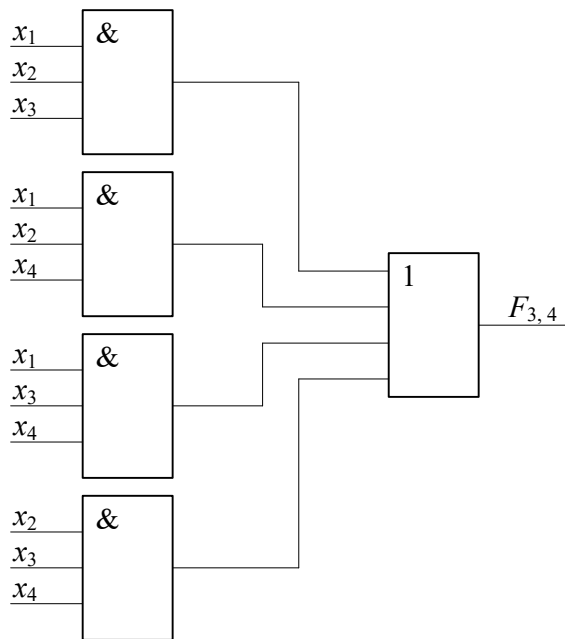


Рисунок 3.28 - Система збору інформації при $Q = 3$

Ймовірнісні характеристики інформаційної системи, зображеної на рис.3.28, можуть бути описані наступними виразами:

$$\left. \begin{aligned} P_{но3,4} &= a^4 + 4a^3d + 4a^3b + 4ab^3 + 6a^2b^2 + 12a^2bd + \\ &+ 12ab^2d; \\ P_{но3,4} &= d^4 + 4bd^3 + 6b^2d^2 + 4ad^3 + 6a^2d^2 + 12abd^2; \\ P_{лт3,4} &= b^4 + 4db^3. \end{aligned} \right\} \quad (3.24)$$

Якщо датчики різні, то можемо скласти наступні формули:

$$\begin{aligned}
P_{но3,4} = & a_1 a_2 a_3 a_4 + a_1 a_2 a_3 d_4 + a_1 a_2 a_4 d_3 + a_1 a_3 a_4 d_2 + a_2 a_3 a_4 d_1 + \\
& + a_1 a_2 a_3 b_4 + a_1 a_2 a_4 b_3 + a_1 a_3 a_4 b_2 + a_2 a_3 a_4 b_1 + \\
& + a_1 b_2 b_3 b_4 + a_2 b_1 b_3 b_4 + a_3 b_1 b_2 b_4 + a_4 b_1 b_2 b_3 + \\
& + a_1 a_2 b_3 b_4 + a_1 a_3 b_2 b_4 + a_1 a_4 b_3 b_2 + a_2 a_3 b_1 b_4 + a_2 a_4 b_1 b_3 + a_3 a_4 b_2 b_1 + \\
& + b_1 d_2 a_3 a_4 + b_1 d_3 a_2 a_4 + b_1 d_4 a_2 a_3 + b_2 d_3 a_1 a_4 + b_2 d_4 a_1 a_3 + b_3 d_4 a_2 a_1 + \\
& + d_1 b_2 a_3 a_4 + d_1 b_3 a_2 a_4 + d_1 b_4 a_2 a_3 + d_2 b_3 a_1 a_4 + d_2 b_4 a_1 a_3 + d_3 b_4 a_2 a_1 + \\
& + a_1 d_2 b_3 b_4 + a_1 d_3 b_2 b_4 + a_1 d_4 b_3 b_2 + a_2 d_3 b_1 b_4 + a_2 d_4 b_1 b_3 + a_3 d_4 b_2 b_1 + \\
& + d_1 a_2 b_3 b_4 + d_1 a_3 b_2 b_4 + d_1 a_4 b_3 b_2 + d_2 a_3 b_1 b_4 + d_2 a_4 b_1 b_3 + d_3 a_4 b_2 b_1 \\
P_{но3,4} = & d_1 d_2 d_3 d_4 + a_1 d_2 d_3 d_4 + a_2 d_1 d_3 d_4 + a_3 d_1 d_2 d_4 + a_4 d_1 d_2 d_3 + \\
& + b_1 d_2 d_3 d_4 + b_2 d_1 d_3 d_4 + b_3 d_1 d_2 d_4 + b_4 d_1 d_2 d_3 + a_1 a_2 d_3 d_4 + a_1 a_3 d_2 d_4 + \\
& + a_1 a_4 d_3 b_2 + a_2 a_3 d_1 d_4 + a_2 a_4 d_1 d_3 + a_3 a_4 d_2 d_1 + \\
& + b_1 b_2 d_3 d_4 + b_1 b_3 d_2 d_4 + b_1 b_4 d_2 d_3 + b_2 b_3 d_1 d_4 + b_2 b_4 d_1 d_3 + b_3 b_4 d_1 d_2 + \\
& + a_1 b_2 d_3 d_4 + a_1 b_3 d_2 d_4 + a_1 b_4 d_3 d_2 + a_2 b_3 d_1 d_4 + a_2 b_4 d_1 d_3 + a_3 b_4 d_2 d_1 + \\
& + b_1 a_2 d_3 d_4 + b_1 a_3 d_2 d_4 + b_1 a_4 d_3 d_2 + b_2 a_3 d_1 d_4 + b_2 a_4 d_1 d_3 + b_3 a_4 d_2 d_1; \\
P_{лт3,4} = & b_1 b_2 b_3 b_4 + d_1 b_2 b_3 b_4 + d_2 b_1 b_3 b_4 + d_3 b_1 b_2 b_4 + d_4 b_1 b_2 b_3.
\end{aligned}$$

Інформаційна система з 4 - х датчиків може бути організована і так, що на виході з'явиться сигнал F_4 лише тоді, коли на вході спрацюють не менше 4-х датчиків. Така інформаційна система зображена на рис.3.29

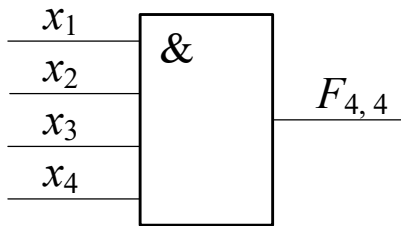


Рисунок 3.29 - Система збору інформації при $Q = 4$

Ймовірнісні характеристики $P_{но4,4}$, $P_{лт4,4}$ інформаційної системи, зображеної на рис.3.29, описуються наступними залежностями:

$$\left. \begin{aligned}
P_{но4,4} &= a^4 + 4a^3b + 4ab^3 + 6a^2b^2; \\
P_{но4,4} &= d^4 + 4bd^3 + 4a^3d + 4db^3 + 6b^2d^2 + 4ad^3 + 6a^2d^2 + \\
&+ 12a^2bd + 12ab^2d + 12abd^2; \\
P_{лт4,4} &= b^4.
\end{aligned} \right\} \quad (3.25)$$

Для датчиків, різних за характеристиками, матимуть місце такі ймовірнісні формули:

$$\begin{aligned}
P_{no4,4} = & a_1 a_2 a_3 a_4 + a_1 a_2 a_3 b_4 + a_1 a_2 a_4 b_3 + a_1 a_3 a_4 b_2 + a_2 a_3 a_4 b_1 + \\
& + a_1 b_2 b_3 b_4 + a_2 b_1 b_3 b_4 + a_3 b_1 b_2 b_4 + a_4 b_1 b_2 b_3 + \\
& + a_1 a_2 b_3 b_4 + a_1 a_3 b_2 b_4 + a_1 a_4 b_3 b_2 + a_2 a_3 b_1 b_4 + a_2 a_4 b_1 b_3 + a_3 a_4 b_2 b_1 \\
P_{но4,4} = & d_1 d_2 d_3 d_4 + a_1 d_2 d_3 d_4 + a_2 d_1 d_3 d_4 + a_3 d_1 d_2 d_4 + a_4 d_1 d_2 d_3 + \\
& + b_1 d_2 d_3 d_4 + b_2 d_1 d_3 d_4 + b_3 d_1 d_2 d_4 + b_4 d_1 d_2 d_3 + a_1 a_2 d_3 d_4 + a_1 a_3 d_2 d_4 + \\
& + a_1 a_4 d_3 b_2 + a_2 a_3 d_1 d_4 + a_2 a_4 d_1 d_3 + a_3 a_4 d_2 d_1 + \\
& + a_1 a_2 a_3 d_4 + a_1 a_2 a_4 d_3 + a_1 a_3 a_4 d_2 + a_2 a_3 a_4 d_1 + \\
& + b_1 d_2 a_3 a_4 + b_1 d_3 a_2 a_4 + b_1 d_4 a_2 a_3 + b_2 d_3 a_1 a_4 + b_2 d_4 a_1 a_3 + b_3 d_4 a_2 a_1 + \\
& + d_1 b_2 a_3 a_4 + d_1 b_3 a_2 a_4 + d_1 b_4 a_2 a_3 + d_2 b_3 a_1 a_4 + d_2 b_4 a_1 a_3 + d_3 b_4 a_2 a_1 + \\
& + a_1 d_2 b_3 b_4 + a_1 d_3 b_2 b_4 + a_1 d_4 b_3 b_2 + a_2 d_3 b_1 b_4 + a_2 d_4 b_1 b_3 + a_3 d_4 b_2 b_1 + \\
& + d_1 a_2 b_3 b_4 + d_1 a_3 b_2 b_4 + d_1 a_4 b_3 b_2 + d_2 a_3 b_1 b_4 + d_2 a_4 b_1 b_3 + d_3 a_4 b_2 b_1 + \\
& + b_1 b_2 d_3 d_4 + b_1 b_3 d_2 d_4 + b_1 b_4 d_2 d_3 + b_2 b_3 d_1 d_4 + b_2 b_4 d_1 d_3 + b_3 b_4 d_1 d_2 + \\
& + a_1 b_2 d_3 d_4 + a_1 b_3 d_2 d_4 + a_1 b_4 d_3 d_2 + a_2 b_3 d_1 d_4 + a_2 b_4 d_1 d_3 + a_3 b_4 d_2 d_1 + \\
& + b_1 a_2 d_3 d_4 + b_1 a_3 d_2 d_4 + b_1 a_4 d_3 d_2 + b_2 a_3 d_1 d_4 + b_2 a_4 d_1 d_3 + b_3 a_4 d_2 d_1 + \\
& + d_1 b_2 b_3 b_4 + d_2 b_1 b_3 b_4 + d_3 b_1 b_2 b_4 + d_4 b_1 b_2 b_3; \\
P_{лт4,4} = & b_1 b_2 b_3 b_4.
\end{aligned}$$

На основі математичної моделі формул (3.23), (3.24) і (3.25) можна побудувати графічні залежності імовірнісних характеристик p_{no} , $P_{но}$, $P_{лт}$, які зображені на рис.3.30-3.32.

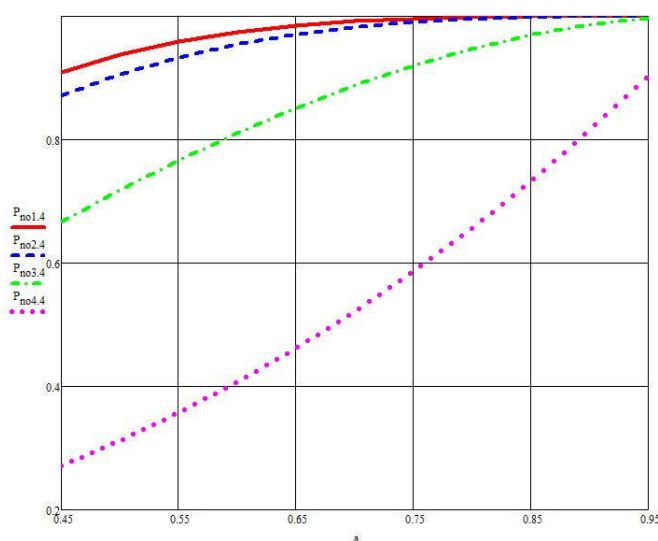


Рисунок 3.30 - Графічні залежності ймовірності правильного виявлення інформаційної системи $Q = 4$

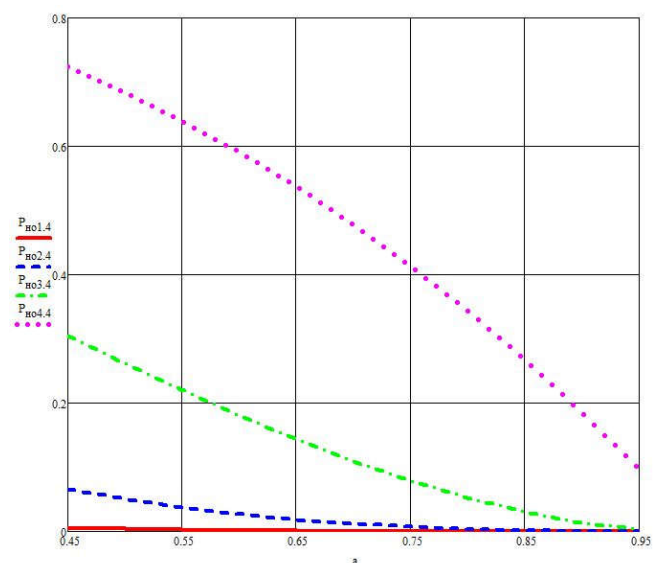


Рисунок 3.31 - Графічні залежності ймовірності невиявлення інформаційної системи $Q = 4$

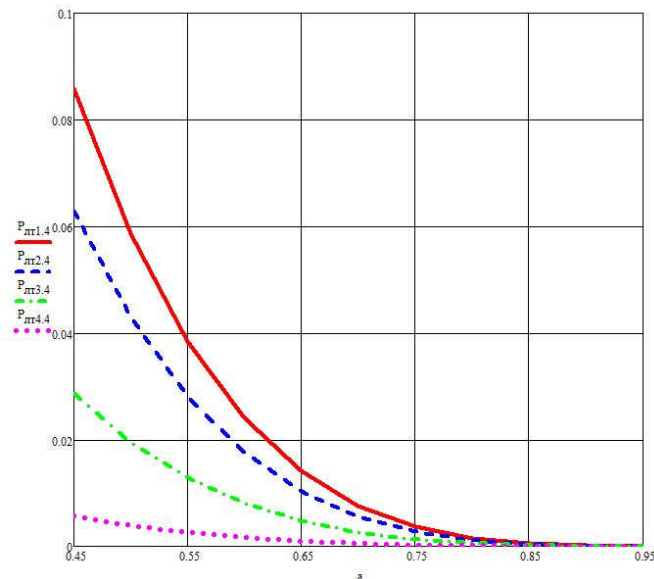


Рисунок 3.32 - Графічні залежності помилкової тривоги інформаційної системи $Q = 4$

3.3.4. Система збору інформації з п'яти ДІ

Розглянемо тепер інформаційну систему, що складається з 5 датчиків. Нехай ця система буде виконана так, що на її виході з'явиться сигнал, коли на виході спрацює хоча б один датчик. Така система зображена на рис.3.33.

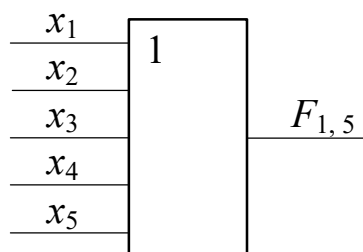


Рисунок 3.33 - Система збору інформації при $Q = 1$

Ймовірнісні характеристики $p_{но1,5}$, $p_{лп1,5}$ інформаційної системи зображені на рис.3.33., описуються наступними залежностями:

$$P_a = a^5 + 5a^4b + 5a^4d + 10a^3b^2 + 20a^3bd + 10a^3d^2 + 10a^2b^3 + 30a^2b^2d + 30a^2bd^2 + 10a^2d^3 + 5ab^4 + 20ab^3d + 30ab^2d^2 + 20abd^3 + 5ad^4; \quad (3.26)$$

$$P_b = b^5 + 5b^4d + 10b^3d^2 + 10b^2d^3 + 5bd^4;$$

$$P_d = d^5;$$

Ймовірнісні характеристики $p_{но1,5}$, $p_{но1,5}$, $p_{лп1,5}$ Для датчиків, різних за характеристиками, матимуть місце такі ймовірнісні формули:

$$\begin{aligned}
P_a = & a1a2a3a4a5 + b1a2a3a4a5 + a1b2a3a4a5 + a1a2b3a4a5 + a1a2a3b4a5 + \\
& a1a2a3a4b5 + d1a2a3a4a5 + a1d2a3a4a5 + a1a2d3a4a5 + a1a2a3d4a5 + a1a2a3a4d5 \\
& + a1a2a3b4b5 + a1a2b3b4a5 + a1b2a3b4a5 + b1a2a3b4a5 + a1b2a3a4b5 + a1a2b3a4b5 \\
& + b1a2a3a4b5 + a1b2b3a4a5 + b1a2b3a4a5 + b1b2a3a4a5 + a1a2a3b4d5 + a1a2a3d4b5 \\
& + a1a2b3a4d5 + a1a2b3d4a5 + a1a2d3a4b5 + a1a2d3b4a5 + a1b2a3a4d5 + a1b2a3d4a5 \\
& + a1b2d3a4a5 + a1d2a3a4b5 + a1d2a3b4a5 + b1a2a3a4d5 + d1b2a3a4a5 + d1a2b3a4a5 \\
& + a1d2b3a4a5 + b1a2d3a4a5 + d1a2a3a4b5 + d1a2a3b4a5 + b1a2a3d4a5 + b1d2a3a4a5 \\
& + a1a2d3a4d5 + d1d2a3a4a5 + a1d2a3d4a5 + a1d2a3a4d5 + a1d2d3a4a5 + d1a2a3d4a5 \\
& + a1a2d3d4a5 + a1a2a3d4d5 + d1a2a3a4d5 + d1a2d3a4a5 + a1a2b3b4b5 + a1b2a3b4b5 \\
& + a1b2b3a4b5 + a1b2b3b4a5 + b1a2a3b4b5 + b1a2b3a4b5 + b1a2b3b4a5 + \\
& b1b2a3a4b5 + b1b2a3b4a5 + b1b2b3a4a5 + a1a2b3b4d5 + a1a2b3d4b5 + a1a2d3b4b5 \\
& + a1b2a3b4d5 + a1b2a3d4b5 + a1b2b3a4d5 + a1b2b3d4a5 + a1b2d3a4b5 + \\
& a1b2d3b4a5 + a1d2a3b4b5 + a1d2b3a4b5 + a1d2b3b4a5 + b1a2a3b4d5 + b1a2a3d4b5 \\
& + b1a2b3a4d5 + b1a2b3d4a5 + b1a2d3a4b5 + b1a2d3b4a5 + b1b2a3a4d5 + \\
& b1b2a3d4a5 + b1b2d3a4a5 + b1d2a3a4b5 + b1d2a3b4a5 + b1d2b3a4a5 + d1a2a3b4b5 \\
& + d1a2b3a4b5 + d1a2b3b4a5 + d1b2a3b4a5 + d1b2a3a4b5 + d1b2b3a4a5 + \\
& a1a2b3d4d5 + a1a2d3b4d5 + a1a2d3d4b5 + a1b2a3d4d5 + a1b2d3a4d5 + a1b2d3d4a5 \\
& + a1d2a3b4d5 + a1d2b3a4d5 + a1d2b3d4a5 + a1d2d3a4b5 + a1d2a3d4b5 + \\
& a1d2d3b4a5 + b1a2a3d4d5 + b1a2d3a4d5 + b1a2d3d4a5 + b1d2a3a4d5 + b1d2a3d4a5 \\
& + d1a2a3b4d5 + d1a2a3d4b5 + d1a2b3a4d5 + d1a2b3d4a5 + d1a2d3b4a5 + \\
& d1b2a3a4d5 + d1d2a3a4b5 + d1d2a3b4a5 + d1d2b3a4a5 + b1d2d3a4a5 + d1a2d3a4b5 \\
& + d1b2a3d4a5 + d1b2d3a4a5 + d1d2d3a4a5 + a1a2d3d4d5 + a1d2a3d4d5 + \\
& a1d2d3a4d5 + a1d2d3d4a5 + d1a2a3d4d5 + d1a2d3a4d5 + d1a2d3d4a5 + d1d2a3a4d5 \\
& + d1d2a3d4a5 + a1b2b3b4b5 + b1a2b3b4b5 + b1b2a3b4b5 + b1b2b3a4b5 + \\
& b1b2b3b4a5 + a1b2b3b4d5 + a1d2b3b4b5 + b1b2a3b4d5 + b1b2b3d4a5 + b1b2d3a4b5 \\
& + b1b2d3b4a5 + b1d2a3b4b5 + b1d2b3b4a5 + a1b2b3d4b5 + d1a2b3b4b5 + \\
& d1b2a3b4b5 + d1b2b3a4b5 + d1b2b3b4a5 + b1d2b3a4b5 + a1b2d3b4b5 + b1a2b3b4d5 \\
& + b1a2b3d4b5 + b1a2d3b4b5 + b1b2a3d4b5 + b1b2b3a4d5 + a1b2b3d4d5 + \\
& a1b2d3b4d5 + a1b2d3d4b5 + a1d2b3b4d5 + a1d2b3d4b5 + a1d2d3b4b5 + b1a2b3d4d5 \\
& + b1a2d3b4d5 + b1a2d3d4b5 + b1b2a3d4d5 + b1b2d3a4d5 + b1b2d3d4a5 + \\
& b1d2a3b4d5 + b1d2a3d4b5 + b1d2b3a4d5 + b1d2b3d4a5 + b1d2d3a4b5 + b1d2d3b4a5 \\
& + d1a2b3b4d5 + d1a2b3d4b5 + d1a2d3b4b5 + d1b2a3b4d5 + d1b2a3d4b5 + \\
& d1b2b3a4d5 + d1b2b3d4a5 + d1b2d3a4b5 + d1b2d3b4a5 + d1d2a3b4b5 + d1d2b3a4b5 \\
& + d1d2b3b4a5 + d1d2d3b4a5 + d1d2d3a4b5 + d1d2b3d4a5 + a1b2d3d4d5 + \\
& a1d2b3d4d5 + a1d2d3b4d5 + a1d2d3d4b5 + b1a2d3d4d5 + b1d2a3d4d5 + b1d2d3d4a5 \\
& + d1a2b3d4d5 + d1a2d3b4d5 + d1a2d3d4b5 + d1b2a3d4d5 + d1b2d3a4d5 + \\
& d1b2d3d4a5 + d1d2a3b4d5 + d1d2a3d4b5 + d1d2b3a4d5 + b1d2d3a4d5 + a1d2d3d4d5 \\
& + d1a2d3d4d5 + d1d2a3d4d5 + d1d2d3a4d5 + d1d2d3d4a5
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_b = & b1b2b3b4b5 + d1b2b3b4b5 + b1d2b3b4b5 + b1b2d3b4b5 + b1b2b3d4b5 + \\
& b1b2b3b4d5 + b1b2b3d4d5 + b1b2d3b4d5 + b1b2d3d4b5 + b1d2b3b4d5 + b1d2b3d4b5 \\
& + b1d2d3b4b5 + d1b2b3d4b5 + d1b2d3b4b5 + d1d2b3b4b5 + d1b2b3b4d5 + \\
& d1d2d3b4b5 + d1d2b3b4d5 + d1d2b3d4b5 + b1b2d3d4d5 + b1d2b3d4d5 + b1d2d3d4b5
\end{aligned}$$

$$+ d1b2b3d4d5 + d1b2d3b4d5 + d1b2d3d4b5 + b1d2d3b4d5 + b1d2d3d4d5 + \\ d1b2d3d4d5 + d1d2b3d4d5 + d1d2d3b4d5 + d1d2d3d4b5$$

$$P_d = d1d2d3d4d5$$

Нехай інформаційна система з 5 датчиків буде організована так, що на її виході з'явиться сигнал $F_{2,5}$, коли на вході спрацює одночасно за мажоритарним принципом не менше 2-х датчиків. Така система зображена на рис.3.34.

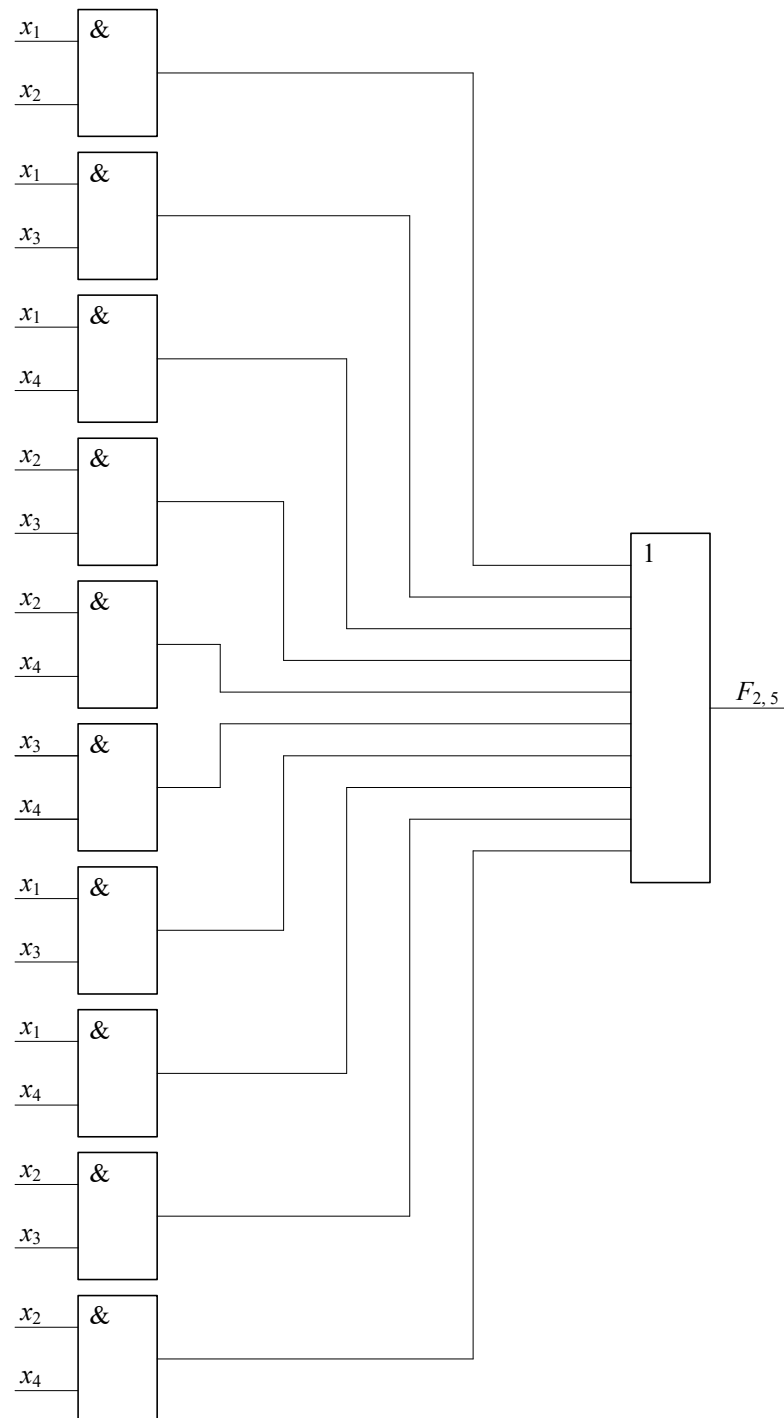


Рисунок 3.34 - Система збору інформації при $Q = 2$

Ймовірнісні характеристики $P_{но2,5}$, $P_{но2,5}$, $P_{лт2,5}$ інформаційної системи, зображеної на рис.3.34, можна описати наступними формулами:

$$\begin{aligned} P_a &= a^5 + 5a^4b + 5a^4d + 10a^3b^2 + 20a^3bd + 10a^3d^2 + 10a^2b^3 + 30a^2b^2d + 30a^2bd^2 + \\ &10a^2d^3 + 5ab^4 + 20ab^3d + 30ab^2d^2 + 20abd^3; \\ P_b &= b^5 + 5b^4d + 10b^3d^2 + 10b^2d^3; \\ P_d &= d^5 + 5bd^4 + 5ad^4; \end{aligned} \quad (3.27)$$

Ймовірнісні характеристики $P_{но2,5}$, $P_{но2,5}$, $P_{лт2,5}$ Для датчиків, різних за характеристиками, матимуть місце такі ймовірнісні формули:

$$\begin{aligned} P_a &= a_1a_2a_3a_4a_5 + b_1a_2a_3a_4a_5 + a_1b_2a_3a_4a_5 + a_1a_2b_3a_4a_5 + a_1a_2a_3b_4a_5 + \\ &a_1a_2a_3a_4b_5 + d_1a_2a_3a_4a_5 + a_1d_2a_3a_4a_5 + a_1a_2d_3a_4a_5 + a_1a_2a_3d_4a_5 + a_1a_2a_3a_4d_5 + \\ &a_1a_2a_3b_4b_5 + a_1a_2b_3b_4a_5 + a_1b_2a_3b_4a_5 + b_1a_2a_3b_4a_5 + a_1b_2a_3a_4b_5 + a_1a_2b_3a_4b_5 + \\ &b_1a_2a_3a_4b_5 + a_1b_2b_3a_4a_5 + b_1a_2b_3a_4a_5 + b_1b_2a_3a_4a_5 + a_1a_2a_3b_4d_5 + a_1a_2a_3d_4b_5 + \\ &a_1a_2b_3a_4d_5 + a_1a_2b_3d_4a_5 + a_1a_2d_3a_4b_5 + a_1a_2d_3b_4a_5 + a_1b_2a_3a_4d_5 + a_1b_2a_3d_4a_5 + \\ &a_1b_2d_3a_4a_5 + a_1d_2a_3a_4b_5 + a_1d_2a_3b_4a_5 + b_1a_2a_3a_4d_5 + d_1b_2a_3a_4a_5 + d_1a_2b_3a_4a_5 + \\ &a_1d_2b_3a_4a_5 + b_1a_2d_3a_4a_5 + d_1a_2a_3a_4b_5 + d_1a_2a_3b_4a_5 + b_1a_2a_3d_4a_5 + b_1d_2a_3a_4a_5 + \\ &a_1a_2d_3a_4d_5 + d_1d_2a_3a_4a_5 + a_1d_2a_3d_4a_5 + a_1d_2a_3a_4d_5 + a_1d_2d_3a_4a_5 + d_1a_2a_3d_4a_5 + \\ &a_1a_2d_3d_4a_5 + a_1a_2a_3d_4d_5 + \\ &d_1a_2a_3a_4d_5 + d_1a_2d_3a_4a_5 + a_1a_2b_3b_4b_5 + a_1b_2a_3b_4b_5 + a_1b_2b_3a_4b_5 + a_1b_2b_3b_4a_5 + \\ &b_1a_2a_3b_4b_5 + b_1a_2b_3a_4b_5 + b_1a_2b_3b_4a_5 + b_1b_2a_3a_4b_5 + b_1b_2a_3b_4a_5 + b_1b_2b_3a_4a_5 + \\ &+ a_1a_2b_3b_4d_5 + a_1a_2b_3d_4b_5 + a_1a_2d_3b_4b_5 + a_1b_2a_3b_4d_5 + a_1b_2a_3d_4b_5 + \\ &a_1b_2b_3a_4d_5 + a_1b_2b_3d_4a_5 + a_1b_2d_3a_4b_5 + a_1b_2d_3b_4a_5 + a_1d_2a_3b_4b_5 + a_1d_2b_3a_4b_5 + \\ &+ a_1d_2b_3b_4a_5 + b_1a_2a_3b_4d_5 + b_1a_2a_3d_4b_5 + b_1a_2b_3a_4d_5 + b_1a_2b_3d_4a_5 + \\ &b_1a_2d_3a_4b_5 + b_1a_2d_3b_4a_5 + b_1b_2a_3a_4d_5 + b_1b_2a_3d_4a_5 + b_1b_2d_3a_4a_5 + b_1d_2a_3a_4b_5 + \\ &+ b_1d_2a_3b_4a_5 + b_1d_2b_3a_4a_5 + d_1a_2a_3b_4b_5 + d_1a_2b_3a_4b_5 + d_1a_2b_3b_4a_5 + \\ &d_1b_2a_3b_4a_5 + d_1b_2a_3a_4b_5 + d_1b_2b_3a_4a_5 + a_1a_2b_3d_4d_5 + a_1a_2d_3b_4d_5 + a_1a_2d_3d_4b_5 + \\ &+ a_1b_2a_3d_4d_5 + a_1b_2d_3a_4d_5 + a_1b_2d_3d_4a_5 + a_1d_2a_3b_4d_5 + a_1d_2b_3a_4d_5 + \\ &a_1d_2b_3d_4a_5 + a_1d_2d_3a_4b_5 + a_1d_2a_3d_4b_5 + a_1d_2d_3b_4a_5 + b_1a_2a_3d_4d_5 + b_1a_2d_3a_4d_5 + \\ &+ b_1a_2d_3d_4a_5 + b_1d_2a_3a_4d_5 + b_1d_2a_3d_4a_5 + d_1a_2a_3b_4d_5 + d_1a_2a_3d_4b_5 + \\ &d_1a_2b_3a_4d_5 + d_1a_2b_3d_4a_5 + d_1a_2d_3b_4a_5 + d_1b_2a_3a_4d_5 + d_1d_2a_3a_4b_5 + d_1d_2a_3b_4a_5 + \\ &+ d_1d_2b_3a_4a_5 + b_1d_2d_3a_4a_5 + d_1a_2d_3a_4b_5 + d_1b_2a_3d_4a_5 + d_1b_2d_3a_4a_5 + \\ &d_1d_2d_3a_4a_5 + a_1a_2d_3d_4d_5 + a_1d_2a_3d_4d_5 + a_1d_2d_3a_4d_5 + a_1d_2d_3d_4a_5 + d_1a_2a_3d_4d_5 + \\ &+ d_1a_2d_3a_4d_5 + d_1a_2d_3d_4a_5 + d_1d_2a_3a_4d_5 + d_1d_2a_3d_4a_5 + a_1b_2b_3b_4b_5 + \\ &b_1a_2b_3b_4b_5 + b_1b_2a_3b_4b_5 + b_1b_2b_3a_4b_5 + b_1b_2b_3b_4a_5 + a_1b_2b_3b_4d_5 + a_1d_2b_3b_4b_5 + \\ &+ b_1b_2a_3b_4d_5 + b_1b_2b_3d_4a_5 + b_1b_2d_3a_4b_5 + b_1b_2d_3b_4a_5 + b_1d_2a_3b_4b_5 + \\ &b_1d_2b_3b_4a_5 + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& a1b2b3d4b5 + d1a2b3b4b5 + d1b2a3b4b5 + d1b2b3a4b5 + d1b2b3b4a5 + b1d2b3a4b5 \\
& + a1b2d3b4b5 + b1a2b3b4d5 + b1a2b3d4b5 + b1a2d3b4b5 + b1b2a3d4b5 + \\
& b1b2b3a4d5 + a1b2b3d4d5 + a1b2d3b4d5 + a1b2d3d4b5 + a1d2b3b4d5 + a1d2b3d4b5 \\
& + a1d2d3b4b5 + b1a2b3d4d5 + b1a2d3b4d5 + b1a2d3d4b5 + b1b2a3d4d5 + \\
& b1b2d3a4d5 + b1b2d3d4a5 + b1d2a3b4d5 + b1d2a3d4b5 + b1d2b3a4d5 + b1d2b3d4a5 \\
& + b1d2d3a4b5 + b1d2d3b4a5 + d1a2b3b4d5 + d1a2b3d4b5 + d1a2d3b4b5 + \\
& d1b2a3b4d5 + d1b2a3d4b5 + d1b2b3a4d5 + d1b2b3d4a5 + d1b2d3a4b5 + d1b2d3b4a5 \\
& + d1d2a3b4b5 + d1d2b3a4b5 + d1d2b3b4a5 + d1d2d3b4a5 + d1d2d3a4b5 + \\
& d1d2b3d4a5 + a1b2d3d4d5 + a1d2b3d4d5 + a1d2d3b4d5 + a1d2d3d4b5 + b1a2d3d4d5 \\
& + b1d2a3d4d5 + b1d2d3d4a5 + d1a2b3d4d5 + d1a2d3b4d5 + d1a2d3d4b5 + \\
& d1b2a3d4d5 + d1b2d3a4d5 + d1b2d3d4a5 + d1d2a3b4d5 + d1d2a3d4b5 + d1d2b3a4d5 \\
& + b1d2d3a4d5
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_b = & b1b2b3b4b5 + d1b2b3b4b5 + b1d2b3b4b5 + b1b2d3b4b5 + b1b2b3d4b5 + \\
& b1b2b3b4d5 + b1b2b3d4d5 + b1b2d3b4d5 + b1b2d3d4b5 + b1d2b3b4d5 + b1d2b3d4b5 \\
& + b1d2d3b4b5 + d1b2b3d4b5 + d1b2d3b4b5 + d1d2b3b4b5 + d1b2b3b4d5 + \\
& d1d2d3b4b5 + d1d2b3b4d5 + d1d2b3d4b5 + b1b2d3d4d5 + b1d2b3d4d5 + b1d2d3d4b5 \\
& + d1b2b3d4d5 + d1b2d3b4d5 + d1b2d3d4b5 + b1d2d3b4d5
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_d = & d1d2d3d4d5 + b1d2d3d4d5 + d1b2d3d4d5 + d1d2b3d4d5 + d1d2d3b4d5 + \\
& d1d2d3d4b5 + a1d2d3d4d5 + d1a2d3d4d5 + d1d2a3d4d5 + d1d2d3a4d5 + d1d2d3d4a5
\end{aligned}$$

Нехай інформаційна система з 5 датчиків буде організована так, що на її виході з'явиться сигнал $F_{3,5}$, коли на вході спрацюють не менше 3-х датчиків одночасно за мажоритарним принципом. Така інформаційна система буде мати вигляд, зображений на рис.3.35.

Ймовірнісні характеристики $P_{но3,5}$, $P_{но3,5}$, $P_{лт3,5}$ інформаційної системи, зображеної на рис.3.35, можна описати наступними формулами:

$$\begin{aligned}
P_a = & a^5 + 5a^4b + 5a^4d + 10a^3b^2 + 20a^3bd + 10a^3d^2 + 10a^2b^3 + 30a^2b^2d + 30a^2bd^2 + 5ab^4 \\
& + 20ab^3d + 30ab^2d^2;
\end{aligned}$$

$$P_b = b^5 + 5b^4d + 10b^3d^2; \quad (3.28)$$

$$P_d = d^5 + 5bd^4 + 10b^2d^3 + 5ad^4 + 20abd^3 + 10a^2d^3;$$

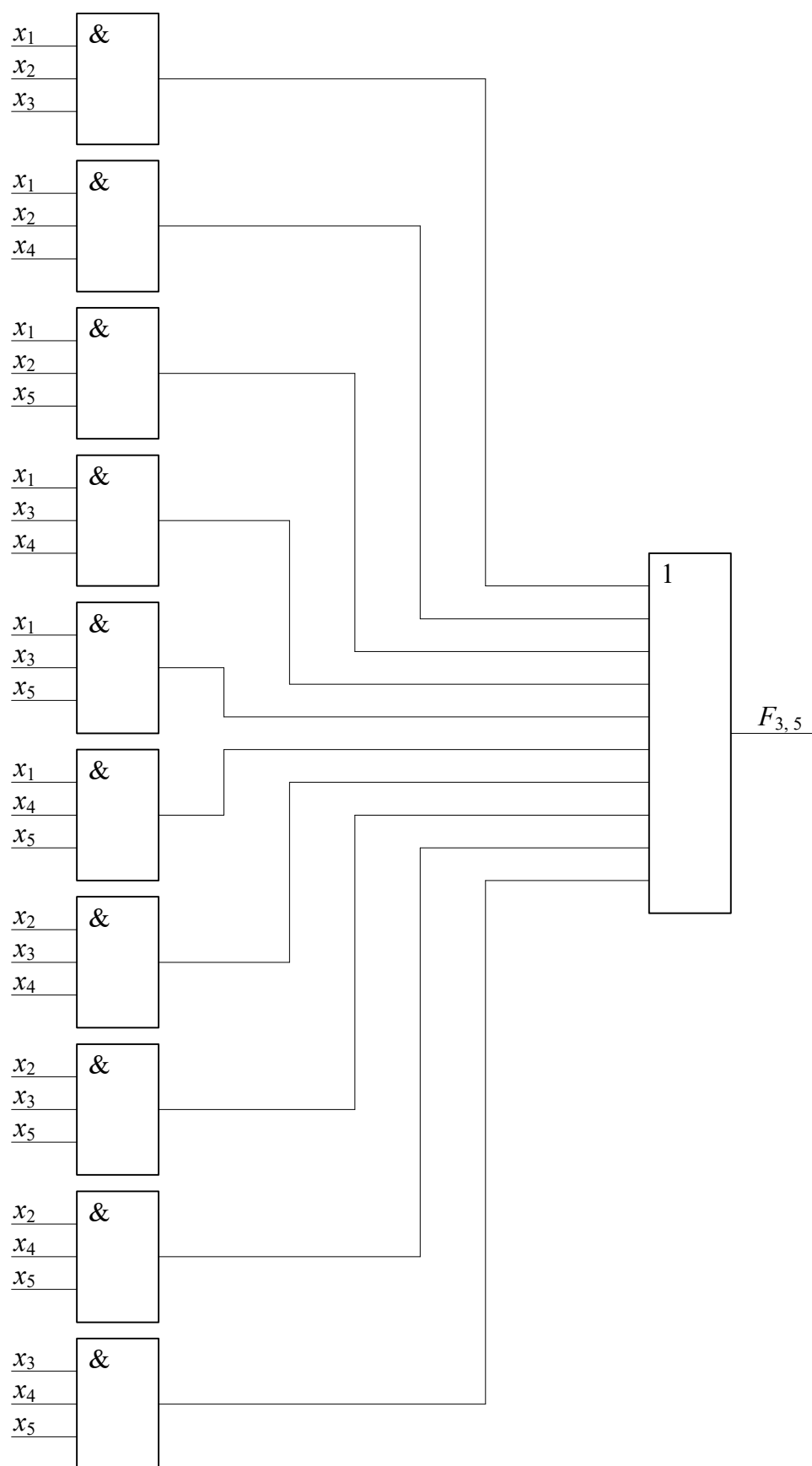


Рисунок 3.35 - Система збору інформації при $Q=3$

Ймовірнісні характеристики $P_{но3,5}$, $P_{но3,5}$, $P_{лт3,5}$ Для датчиків, різних за характеристиками, матимуть місце такі ймовірнісні формули:

$$P_a = a_1a_2a_3a_4a_5 + b_1a_2a_3a_4a_5 + a_1b_2a_3a_4a_5 + a_1a_2b_3a_4a_5 + a_1a_2a_3b_4a_5 + a_1a_2a_3a_4b_5 + d_1a_2a_3a_4a_5 + a_1d_2a_3a_4a_5 + a_1a_2d_3a_4a_5 + a_1a_2a_3d_4a_5 + a_1a_2a_3a_4d_5 + a_1a_2a_3b_4b_5 + a_1a_2b_3b_4a_5 + a_1b_2a_3b_4a_5 + b_1a_2a_3b_4a_5 + a_1b_2a_3a_4b_5 + a_1a_2b_3a_4b_5 + b_1a_2a_3a_4b_5 + a_1b_2b_3a_4a_5 + b_1a_2b_3a_4a_5 + b_1b_2a_3a_4a_5 + a_1a_2a_3b_4d_5 + a_1a_2a_3d_4b_5 + a_1a_2b_3a_4d_5 + a_1a_2b_3d_4a_5 + a_1a_2d_3a_4b_5 + a_1a_2d_3b_4a_5 + a_1b_2a_3a_4d_5 + a_1b_2a_3d_4a_5 + a_1b_2d_3a_4a_5 + a_1d_2a_3a_4b_5 + a_1d_2a_3b_4a_5 + b_1a_2a_3a_4d_5 + d_1b_2a_3a_4a_5 + d_1a_2b_3a_4a_5 + a_1d_2b_3a_4a_5 + b_1a_2d_3a_4a_5 + d_1a_2a_3a_4b_5 + d_1a_2a_3b_4a_5 + b_1a_2a_3d_4a_5 + a_1a_2d_3a_4d_5 + a_1a_2a_3d_4d_5 + d_1a_2a_3a_4d_5 + d_1a_2a_3d_4a_5 + a_1a_2d_3d_4a_5 + a_1a_2a_3d_4d_5 + d_1a_2a_3a_4d_5 + d_1a_2a_3d_4a_5 + a_1a_2b_3b_4b_5 + a_1b_2a_3b_4b_5 + a_1b_2b_3a_4b_5 + a_1b_2b_3b_4a_5 + b_1a_2a_3b_4b_5 + b_1a_2b_3a_4b_5 + b_1a_2b_3b_4a_5 + b_1b_2a_3a_4b_5 + b_1b_2a_3b_4a_5 + b_1b_2b_3a_4a_5 + a_1a_2b_3b_4d_5 + a_1a_2b_3d_4b_5 + a_1a_2d_3b_4b_5 + a_1b_2a_3b_4d_5 + a_1b_2a_3d_4b_5 + a_1b_2b_3a_4d_5 + a_1b_2b_3d_4a_5 + a_1b_2d_3a_4b_5 + a_1b_2d_3b_4a_5 + a_1d_2a_3b_4b_5 + a_1d_2b_3a_4b_5 + a_1d_2b_3b_4a_5 + b_1a_2a_3b_4d_5 + b_1a_2a_3d_4b_5 + b_1a_2b_3a_4d_5 + b_1a_2b_3d_4a_5 + b_1b_2a_3a_4d_5 + b_1b_2a_3d_4a_5 + b_1b_2d_3a_4a_5 + b_1d_2a_3a_4b_5 + b_1d_2a_3b_4a_5 + b_1d_2b_3a_4a_5 + d_1a_2a_3b_4b_5 + d_1a_2b_3a_4b_5 + d_1a_2b_3b_4a_5 + d_1b_2a_3a_4b_5 + d_1b_2a_3a_4b_5 + d_1b_2b_3a_4a_5 + a_1a_2b_3d_4d_5 + a_1a_2d_3b_4d_5 + a_1a_2d_3d_4b_5 + a_1b_2a_3d_4d_5 + a_1b_2d_3a_4d_5 + a_1b_2d_3d_4a_5 + a_1d_2a_3b_4d_5 + a_1d_2b_3a_4d_5 + a_1d_2b_3d_4a_5 + a_1d_2d_3a_4b_5 + a_1d_2a_3d_4b_5 + a_1d_2d_3b_4a_5 + b_1a_2a_3d_4d_5 + b_1a_2d_3a_4d_5 + b_1a_2d_3d_4a_5 + b_1d_2a_3a_4d_5 + b_1d_2a_3d_4a_5 + d_1a_2a_3b_4d_5 + d_1a_2a_3d_4b_5 + d_1a_2b_3a_4d_5 + d_1a_2b_3d_4a_5 + d_1a_2d_3b_4a_5 + d_1b_2a_3a_4d_5 + d_1d_2a_3a_4b_5 + d_1d_2a_3b_4a_5 + d_1d_2b_3a_4a_5 + b_1d_2d_3a_4a_5 + d_1a_2d_3a_4b_5 + d_1b_2a_3d_4a_5 + d_1b_2d_3a_4a_5$$

$$P_b = b_1b_2b_3b_4b_5 + d_1b_2b_3b_4b_5 + b_1d_2b_3b_4b_5 + b_1b_2d_3b_4b_5 + b_1b_2b_3d_4b_5 + b_1b_2b_3b_4d_5 + b_1b_2b_3d_4d_5 + b_1b_2d_3b_4d_5 + b_1b_2d_3d_4b_5 + b_1d_2b_3b_4d_5 + b_1d_2b_3d_4b_5 + b_1d_2d_3b_4b_5 + d_1b_2b_3d_4b_5 + d_1b_2d_3b_4b_5 + d_1b_2b_3b_4d_5$$

$$P_d = d_1d_2d_3d_4d_5 + b_1d_2d_3d_4d_5 + d_1b_2d_3d_4d_5 + d_1d_2b_3d_4d_5 + d_1d_2d_3b_4d_5 + d_1d_2d_3d_4b_5 + d_1d_2d_3b_4b_5 + d_1d_2b_3b_4d_5 + d_1d_2b_3d_4b_5 + b_1b_2d_3d_4d_5 + b_1d_2b_3d_4d_5 + b_1d_2d_3d_4b_5 + d_1b_2b_3d_4d_5 + d_1b_2d_3b_4d_5 + d_1b_2d_3d_4b_5 + b_1d_2d_3b_4d_5 + a_1d_2d_3d_4d_5 + d_1a_2d_3d_4d_5 + d_1d_2a_3d_4d_5 + d_1d_2d_3a_4d_5 + d_1d_2d_3d_4a_5 + d_1d_2d_3b_4a_5 + d_1d_2d_3a_4b_5 + d_1d_2b_3d_4a_5 + a_1b_2d_3d_4d_5 + a_1d_2b_3d_4d_5 + a_1d_2d_3b_4d_5 + a_1d_2d_3d_4b_5 + b_1a_2d_3d_4d_5 + b_1d_2a_3d_4d_5 + b_1d_2d_3d_4a_5 + d_1a_2b_3d_4d_5 + d_1a_2d_3b_4d_5 + d_1a_2d_3d_4b_5 + d_1b_2a_3d_4d_5 + d_1b_2d_3a_4d_5 + d_1b_2d_3d_4a_5 + d_1d_2a_3b_4d_5 + d_1d_2a_3d_4b_5 + d_1d_2b_3a_4d_5 + b_1d_2d_3a_4d_5 + d_1d_2d_3a_4a_5 + a_1a_2d_3d_4d_5 + a_1d_2a_3d_4d_5 + a_1d_2d_3a_4d_5 + a_1d_2d_3d_4a_5 + d_1a_2a_3d_4d_5 + d_1a_2d_3a_4d_5 + d_1a_2d_3d_4a_5 + d_1d_2a_3a_4d_5 + d_1d_2a_3d_4a_5$$

Нехай інформаційна система з 5 датчиків буде організована так, що на її виході з'явиться сигнал $F_{4,5}$, Коли на вході спрацюють не менше 4-х датчиків одночасно за мажоритарним принципом. Така інформаційна система буде мати вигляд, зображений на рис.3.36.

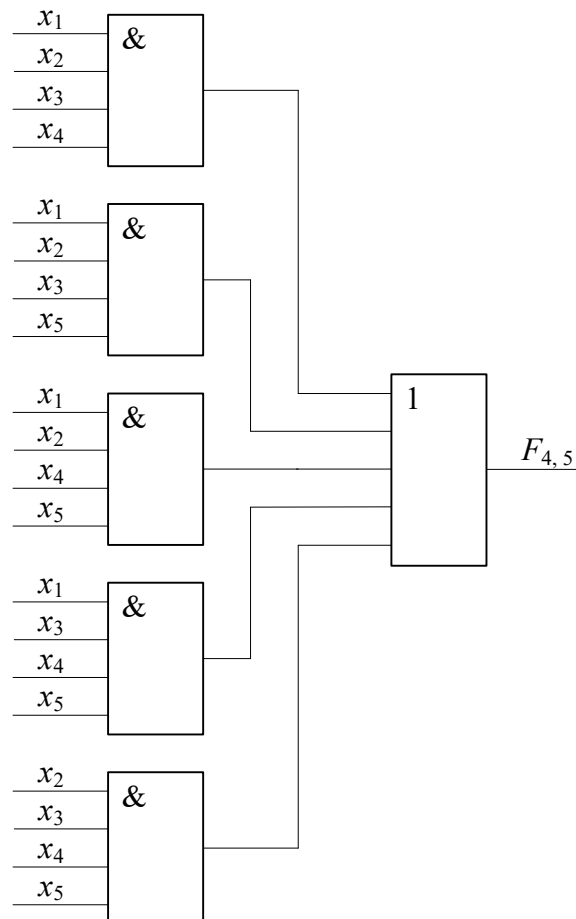


Рисунок 3.36 - Система збору інформації при $Q = 4$

Ймовірнісні характеристики $p_{но4,5}$, $p_{но4,5}$, $p_{лт4,5}$ інформаційної системи, зображеної на рис.3.36, можна описати наступними формулами:

$$P_a = a^5 + 5a^4b + 5a^4d + 10a^3b^2 + 20a^3bd + 10a^2b^3 + 30a^2b^2d + 5ab^4 + 20ab^3d;$$

$$P_b = b^5 + 5b^4d; \quad (3.29)$$

$$P_d = d^5 + 5bd^4 + 10b^2d^3 + 10b^3d^2 + 5ad^4 + 20abd^3 + 30ab^2d^2 + 10a^2d^3 + 30a^2bd^2 + 10a^3d^2;$$

Ймовірнісні характеристики $p_{но4,5}$, $p_{но4,5}$, $p_{лт4,5}$ Для датчиків, різних за характеристиками, матимуть місце такі ймовірнісні формули:

$$\begin{aligned}
P_a = & a_1a_2a_3a_4a_5 + b_1a_2a_3a_4a_5 + a_1b_2a_3a_4a_5 + a_1a_2b_3a_4a_5 + a_1a_2a_3b_4a_5 + \\
& a_1a_2a_3a_4b_5 + d_1a_2a_3a_4a_5 + a_1d_2a_3a_4a_5 + a_1a_2d_3a_4a_5 + a_1a_2a_3d_4a_5 + a_1a_2a_3a_4d_5 + \\
& a_1a_2a_3b_4b_5 + a_1a_2b_3b_4a_5 + a_1b_2a_3b_4a_5 + b_1a_2a_3b_4a_5 + a_1b_2a_3a_4b_5 + a_1a_2b_3a_4b_5 + \\
& b_1a_2a_3a_4b_5 + a_1b_2b_3a_4a_5 + b_1a_2b_3a_4a_5 + b_1b_2a_3a_4a_5 + a_1a_2a_3b_4d_5 + a_1a_2a_3d_4b_5 + \\
& a_1a_2b_3a_4d_5 + a_1a_2b_3d_4a_5 + a_1a_2d_3a_4b_5 + a_1a_2d_3b_4a_5 + a_1b_2a_3a_4d_5 + a_1b_2a_3d_4a_5 + \\
& a_1b_2d_3a_4a_5 + a_1d_2a_3a_4b_5 + a_1d_2a_3b_4a_5 + b_1a_2a_3a_4d_5 + d_1b_2a_3a_4a_5 + d_1a_2b_3a_4a_5 + \\
& a_1d_2b_3a_4a_5 + b_1a_2d_3a_4a_5 + d_1a_2a_3a_4b_5 + d_1a_2a_3b_4a_5 + b_1a_2a_3d_4a_5 + b_1d_2a_3a_4a_5 + \\
& a_1a_2b_3b_4b_5 + a_1b_2a_3b_4b_5 + a_1b_2b_3a_4b_5 + a_1b_2b_3b_4a_5 + b_1a_2a_3b_4b_5 + b_1a_2b_3a_4b_5 + \\
& b_1a_2b_3b_4a_5 + b_1b_2a_3a_4b_5 + b_1b_2a_3b_4a_5 + b_1b_2b_3a_4a_5 + a_1a_2b_3b_4d_5 + \\
& a_1a_2b_3d_4b_5 + a_1a_2d_3b_4b_5 + a_1b_2a_3b_4d_5 + a_1b_2a_3d_4b_5 + a_1b_2b_3a_4d_5 + a_1b_2b_3d_4a_5 + \\
& + a_1b_2d_3a_4b_5 + a_1b_2d_3b_4a_5 + a_1d_2a_3b_4b_5 + a_1d_2b_3a_4b_5 + a_1d_2b_3b_4a_5 + \\
& b_1a_2a_3b_4d_5 + b_1a_2a_3d_4b_5 + b_1a_2b_3a_4d_5 + b_1a_2b_3d_4a_5 + b_1a_2d_3a_4b_5 + b_1a_2d_3b_4a_5 + \\
& + b_1b_2a_3a_4d_5 + b_1b_2a_3d_4a_5 + b_1b_2d_3a_4a_5 + b_1d_2a_3a_4b_5 + b_1d_2a_3b_4a_5 + \\
& b_1d_2b_3a_4a_5 + d_1a_2a_3b_4b_5 + d_1a_2b_3a_4b_5 + d_1a_2b_3b_4a_5 + d_1b_2a_3b_4a_5 + d_1b_2a_3a_4b_5 + \\
& + d_1b_2b_3a_4a_5 + a_1b_2b_3b_4b_5 + b_1a_2b_3b_4b_5 + b_1b_2a_3b_4b_5 + b_1b_2b_3a_4b_5 + \\
& b_1b_2b_3b_4a_5 + a_1b_2b_3b_4d_5 + a_1d_2b_3b_4b_5 + b_1b_2a_3b_4d_5 + b_1b_2b_3d_4a_5 + b_1b_2d_3a_4b_5 + \\
& + b_1b_2d_3b_4a_5 + b_1d_2a_3b_4b_5 + b_1d_2b_3b_4a_5 + a_1b_2b_3d_4b_5 + d_1a_2b_3b_4b_5 + \\
& d_1b_2a_3b_4b_5 + d_1b_2b_3a_4b_5 + d_1b_2b_3b_4a_5 + b_1d_2b_3a_4b_5 + a_1b_2d_3b_4b_5 + b_1a_2b_3b_4d_5 + \\
& + b_1a_2b_3d_4b_5 + b_1a_2d_3b_4b_5 + b_1b_2a_3d_4b_5 + b_1b_2b_3a_4d_5
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_b = & b_1b_2b_3b_4b_5 + d_1b_2b_3b_4b_5 + b_1d_2b_3b_4b_5 + b_1b_2d_3b_4b_5 + b_1b_2b_3d_4b_5 + \\
& b_1b_2b_3b_4d_5
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_d = & d_1d_2d_3d_4d_5 + b_1d_2d_3d_4d_5 + d_1b_2d_3d_4d_5 + d_1d_2b_3d_4d_5 + d_1d_2d_3b_4d_5 + \\
& d_1d_2d_3d_4b_5 + d_1d_2d_3b_4b_5 + d_1d_2b_3b_4d_5 + d_1d_2b_3d_4b_5 + b_1b_2d_3d_4d_5 + b_1d_2b_3d_4d_5 + \\
& + b_1d_2d_3d_4b_5 + d_1b_2b_3d_4d_5 + d_1b_2d_3b_4d_5 + d_1b_2d_3d_4b_5 + b_1d_2d_3b_4d_5 + \\
& b_1b_2b_3d_4d_5 + b_1b_2d_3b_4d_5 + b_1b_2d_3d_4b_5 + b_1d_2b_3b_4d_5 + b_1d_2b_3d_4b_5 + b_1d_2d_3b_4b_5 + \\
& + d_1b_2b_3d_4b_5 + d_1b_2d_3b_4b_5 + d_1d_2b_3b_4b_5 + d_1b_2b_3b_4d_5 + a_1d_2d_3d_4d_5 + \\
& d_1a_2d_3d_4d_5 + d_1d_2a_3d_4d_5 + d_1d_2d_3a_4d_5 + d_1d_2d_3d_4a_5 + d_1d_2d_3b_4a_5 + d_1d_2d_3a_4b_5 + \\
& + d_1d_2b_3d_4a_5 + a_1b_2d_3d_4d_5 + a_1d_2b_3d_4d_5 + a_1d_2d_3b_4d_5 + a_1d_2d_3d_4b_5 + \\
& b_1a_2d_3d_4d_5 + b_1d_2a_3d_4d_5 + b_1d_2d_3d_4a_5 + d_1a_2b_3d_4d_5 + d_1a_2d_3b_4d_5 + d_1a_2d_3d_4b_5 + \\
& + d_1b_2a_3d_4d_5 + d_1b_2d_3a_4d_5 + d_1b_2d_3d_4a_5 + d_1d_2a_3b_4d_5 + d_1d_2a_3d_4b_5 + \\
& d_1d_2b_3a_4d_5 + b_1d_2d_3a_4d_5 + a_1b_2b_3d_4d_5 + a_1b_2d_3b_4d_5 + a_1b_2d_3d_4b_5 + a_1d_2b_3b_4d_5 + \\
& + a_1d_2b_3d_4b_5 + a_1d_2d_3b_4b_5 + b_1a_2b_3d_4d_5 + b_1a_2d_3b_4d_5 + b_1a_2d_3d_4b_5 + \\
& b_1b_2a_3d_4d_5 + b_1b_2d_3a_4d_5 + b_1b_2d_3d_4a_5 + b_1d_2a_3b_4d_5 + b_1d_2a_3d_4b_5 + b_1d_2b_3a_4d_5 + \\
& + b_1d_2b_3d_4a_5 + b_1d_2d_3a_4b_5 + b_1d_2d_3b_4a_5 + d_1a_2b_3b_4d_5 + d_1a_2b_3d_4b_5 + \\
& d_1a_2d_3b_4b_5 + d_1b_2a_3b_4d_5 + d_1b_2a_3d_4b_5 + d_1b_2b_3a_4d_5 + d_1b_2b_3d_4a_5 + d_1b_2d_3a_4b_5 + \\
& + d_1b_2d_3b_4a_5 + d_1d_2a_3b_4b_5 + d_1d_2b_3a_4b_5 + d_1d_2b_3b_4a_5 + d_1d_2d_3a_4a_5 + \\
& a_1a_2d_3d_4d_5 + a_1d_2a_3d_4d_5 + a_1d_2d_3a_4d_5 + a_1d_2d_3d_4a_5 + d_1a_2a_3d_4d_5 + d_1a_2d_3a_4d_5 + \\
& + d_1a_2d_3d_4a_5 + d_1d_2a_3a_4d_5 + d_1d_2a_3d_4a_5 + a_1a_2b_3d_4d_5 + a_1a_2d_3b_4d_5 + \\
& a_1a_2d_3d_4b_5 + a_1b_2a_3d_4d_5 + a_1b_2d_3a_4d_5 + a_1b_2d_3d_4a_5 + a_1d_2a_3b_4d_5 + a_1d_2b_3a_4d_5 + \\
& + a_1d_2b_3d_4a_5 + a_1d_2d_3a_4b_5 + a_1d_2a_3d_4b_5 + a_1d_2d_3b_4a_5 + b_1a_2a_3d_4d_5 + \\
& b_1a_2d_3a_4d_5 + b_1a_2d_3d_4a_5 + b_1d_2a_3a_4d_5 + b_1d_2a_3d_4a_5 + d_1a_2a_3b_4d_5 + d_1a_2a_3d_4b_5 + \\
& + d_1a_2b_3a_4d_5 + d_1a_2b_3d_4a_5 + d_1a_2d_3b_4a_5 + d_1b_2a_3a_4d_5 + d_1d_2a_3a_4b_5 +
\end{aligned}$$

$$d1d2a3b4a5 + d1d2b3a4a5 + b1d2d3a4a5 + d1a2d3a4b5 + d1b2a3d4a5 + d1b2d3a4a5 + \\ + a1a2d3a4d5 + d1d2a3a4a5 + a1d2a3d4a5 + a1d2a3a4d5 + a1d2d3a4a5 + d1a2a3d4a5 + \\ + a1a2d3d4a5 + a1a2a3d4d5 + d1a2a3a4d5 + d1a2d3a4a5$$

Інформаційна система з 5 датчиків може бути організована і так, що на виході з'явиться сигнал F_5 лише тоді, коли на вході спрацюють не менше 5-х датчиків. Така інформаційна система зображена на рис. 3.37.

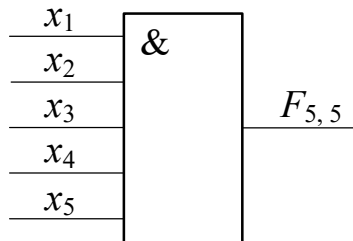


Рисунок 3.37 - Система збору інформації при $Q=5$

Ймовірнісні характеристики $P_{по5,5}$, $P_{но5,5}$, $P_{лт5,5}$ інформаційної системи, зображеної на рис.3.37, можна описати наступними формулами:

$$P_a = a^5 + 5a^4b + 10a^3b^2 + 10a^2b^3 + 5ab^4;$$

$$P_b = b^5 + 5b^4d;$$

$$P_d = d^5 + 5bd^4 + 10b^2d^3 + 10b^3d^2 + 5ad^4 + 20abd^3 + 30ab^2d^2 + 20ab^3d + 10a^2d^3 + 30a^2bd^2 + \\ + 30a^2b^2d + 10a^3d^2 + 20a^3bd + 5a^4d; \quad (3.30)$$

Ймовірнісні характеристики $P_{по5,5}$, $P_{но5,5}$, $P_{лт5,5}$ Для датчиків, різних за характеристиками, матимуть місце такі ймовірнісні формули:

$$P_a = a1a2a3a4a5 + b1a2a3a4a5 + a1b2a3a4a5 + a1a2b3a4a5 + a1a2a3b4a5 + \\ + a1a2a3a4b5 + a1a2a3b4b5 + a1a2b3b4a5 + a1b2a3b4a5 + b1a2a3b4a5 + a1b2a3a4b5 + \\ + a1a2b3a4b5 + b1a2a3a4b5 + a1b2b3a4a5 + b1a2b3a4a5 + b1b2a3a4a5 + a1a2b3b4b5 + \\ + a1b2a3b4b5 + a1b2b3a4b5 + a1b2b3b4a5 + b1a2a3b4b5 + b1a2b3a4b5 + b1a2b3b4a5 + \\ + b1b2a3a4b5 + b1b2a3b4a5 + b1b2b3a4a5 + a1b2b3b4b5 + b1a2b3b4b5 + \\ + b1b2a3b4b5 + b1b2b3a4b5 + b1b2b3b4a5$$

$$P_b = b1b2b3b4b5$$

$$P_d = d1d2d3d4d5 + b1d2d3d4d5 + d1b2d3d4d5 + d1d2b3d4d5 + d1d2d3b4d5 + \\ + d1d2d3d4b5 + d1d2d3b4b5 + d1d2b3b4d5 + d1d2b3d4b5 + b1b2d3d4d5 + b1d2b3d4d5 + \\ + b1d2d3d4b5 + d1b2b3d4d5 + d1b2d3b4d5 + d1b2d3d4b5 + b1d2d3b4d5 + \\ + b1b2b3d4d5 + b1b2d3b4d5 + b1b2d3d4b5 + b1d2b3b4d5 + b1d2b3d4b5 + b1d2d3b4b5 + \\ + d1b2b3d4b5 + d1b2d3b4b5 + d1d2b3b4b5 + d1b2b3b4b5 + d1b2b3b4b5 +$$

$b1d2b3b4b5 + b1b2d3b4b5 + b1b2b3d4b5 + b1b2b3b4d5 + a1d2d3d4d5 + d1a2d3d4d5$
 $+ d1d2a3d4d5 + d1d2d3a4d5 + d1d2d3d4a5 + d1d2d3b4a5 + d1d2d3a4b5 +$
 $d1d2b3d4a5 + a1b2d3d4d5 + a1d2b3d4d5 + a1d2d3b4d5 + a1d2d3d4b5 + b1a2d3d4d5$
 $+ b1d2a3d4d5 + b1d2d3d4a5 + d1a2b3d4d5 + d1a2d3b4d5 + d1a2d3d4b5 +$
 $d1b2a3d4d5 + d1b2d3a4d5 + d1b2d3d4a5 + d1d2a3b4d5 + d1d2a3d4b5 + d1d2b3a4d5$
 $+ b1d2d3a4d5 + a1b2b3d4d5 + a1b2d3b4d5 + a1b2d3d4b5 + a1d2b3b4d5 +$
 $a1d2b3d4b5 + a1d2d3b4b5 + b1a2b3d4d5 + b1a2d3b4d5 + b1a2d3d4b5 + b1b2a3d4d5$
 $+ b1b2d3a4d5 + b1b2d3d4a5 + b1d2a3b4d5 + b1d2a3d4b5 + b1d2b3a4d5 +$
 $b1d2b3d4a5 + b1d2d3a4b5 + b1d2d3b4a5 + d1a2b3b4d5 + d1a2b3d4b5 + d1a2d3b4b5$
 $+ d1b2a3b4d5 + d1b2a3d4b5 + d1b2b3a4d5 + d1b2b3d4a5 + d1b2d3a4b5 +$
 $d1b2d3b4a5 + d1d2a3b4b5 + d1d2b3a4b5 + d1d2b3b4a5 + a1b2b3b4d5 + a1d2b3b4b5$
 $+ b1b2a3b4d5 + b1b2b3d4a5 + b1b2d3a4b5 + b1b2d3b4a5 + b1d2a3b4b5 +$
 $b1d2b3b4a5 + a1b2b3d4b5 + d1a2b3b4b5 + d1b2a3b4b5 + d1b2b3a4b5 + d1b2b3b4a5$
 $+ b1d2b3a4b5 + a1b2d3b4b5 + b1a2b3b4d5 + b1a2b3d4b5 + b1a2d3b4b5 +$
 $b1b2a3d4b5 + b1b2b3a4d5 + d1d2d3a4a5 + a1a2d3d4d5 + a1d2a3d4d5 + a1d2d3a4d5$
 $+ a1d2d3d4a5 + d1a2a3d4d5 + d1a2d3a4d5 + d1a2d3d4a5 + d1d2a3a4d5 +$
 $d1d2a3d4a5 + a1a2b3d4d5 + a1a2d3b4d5 + a1a2d3d4b5 + a1b2a3d4d5 + a1b2d3a4d5$
 $+ a1b2d3d4a5 + a1d2a3b4d5 + a1d2b3a4d5 + a1d2b3d4a5 + a1d2d3a4b5 +$
 $a1d2a3d4b5 + a1d2d3b4a5 + b1a2a3d4d5 + b1a2d3a4d5 + b1a2d3d4a5 + b1d2a3a4d5$
 $+ b1d2a3d4a5 + d1a2a3b4d5 + d1a2a3d4b5 + d1a2b3a4d5 + d1a2b3d4a5 +$
 $d1a2d3b4a5 + d1b2a3a4d5 + d1d2a3a4b5 + d1d2a3b4a5 + d1d2b3a4a5 + b1d2d3a4a5$
 $+ d1a2d3a4b5 + d1b2a3d4a5 + d1b2d3a4a5 + a1a2b3b4d5 + a1a2b3d4b5 +$
 $a1a2d3b4b5 + a1b2a3b4d5 + a1b2a3d4b5 + a1b2b3a4d5 + a1b2b3d4a5 + a1b2d3a4b5$
 $+ a1b2d3b4a5 + a1d2a3b4b5 + a1d2b3a4b5 + a1d2b3b4a5 + b1a2a3b4d5 +$
 $b1a2a3d4b5 + b1a2b3a4d5 + b1a2b3d4a5 + b1a2d3a4b5 + b1a2d3b4a5 + b1b2a3a4d5$
 $+ b1b2a3d4a5 + b1b2d3a4a5 + b1d2a3a4b5 + b1d2a3b4a5 + b1d2b3a4a5 +$
 $d1a2a3b4b5 + d1a2b3a4b5 + d1a2b3b4a5 + d1b2a3b4a5 + d1b2a3a4b5 + d1b2b3a4a5$
 $+ a1a2d3a4d5 + d1d2a3a4a5 + a1d2a3d4a5 + a1d2a3a4d5 + a1d2d3a4a5 + d1a2a3d4a5$
 $+ a1a2d3d4a5 + a1a2a3d4d5 + d1a2a3a4d5 + d1a2d3a4a5 + a1a2a3b4d5 + a1a2a3d4b5$
 $+ a1a2b3a4d5 + a1a2b3d4a5 + a1a2d3a4b5 + a1a2d3b4a5 + a1b2a3a4d5 + a1b2a3d4a5$
 $+ a1b2d3a4a5 + a1d2a3a4b5 + a1d2a3b4a5 + b1a2a3a4d5 + d1b2a3a4a5 + d1a2b3a4a5$
 $+ a1d2b3a4a5 + b1a2d3a4a5 + d1a2a3a4b5 + d1a2a3b4a5 + b1a2a3d4a5 + b1d2a3a4a5$
 $+ d1a2a3a4a5 + a1d2a3a4a5 + a1a2d3a4a5 + a1a2a3d4a5 + a1a2a3a4d5$

На основі математичної моделі формул (3.26) - (30) можна побудувати графічні залежності імовірнісних характеристик p_{no} , $p_{но}$, $p_{лт}$, які зображені на рис.3.38.

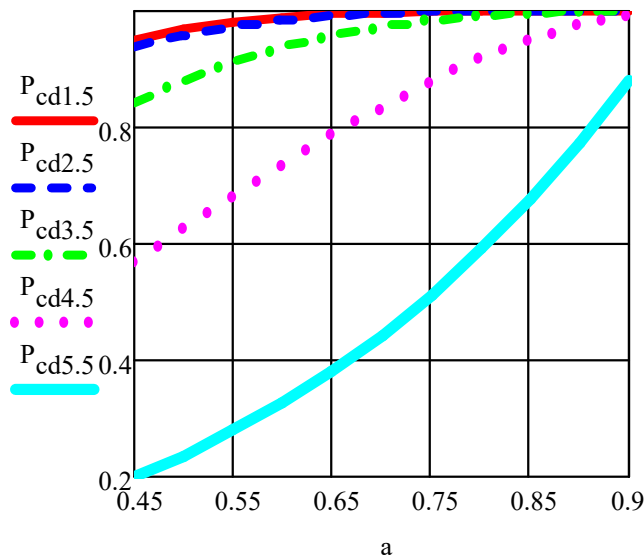


Рисунок 3.38 - Графічні залежності імовірності правильного виявлення інформаційної системи $Q = 5$

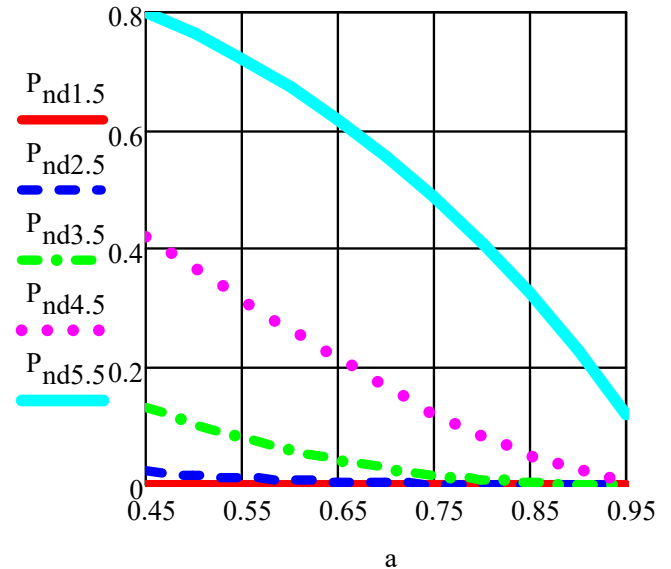


Рисунок 3.39 - Графічні залежності імовірності невиявлення інформаційної системи

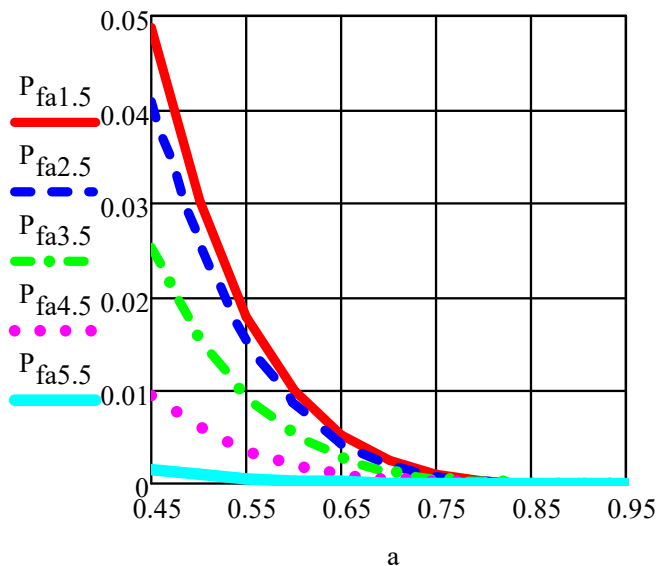


Рисунок 3.40 - Графічні залежності помилкової тривоги інформаційної системи

Виходячи з практично нескладно реалізованих структур систем з мажоритарною логікою, наприклад, структури рис.3.28. і при підвищенні вимоги до датчиків (порогу спрацювання за рахунок використання компараторів і "відновлення" рівня параметричного резервування в експлуатації) можна значно підвищити ймовірність правильного виявлення p_{no} і

помилкової тривоги $p_{лт}$. Так, при $a = 0.9$; $b = 0.05$; $d = 0.05$ отримуємо:
 $p_{no} = 0.994$, $p_{но} = 0.003$; $p_{лт} = 0.003$, а при $a = 0.95$; $b = d = 0.0025$ ймовірність

правильного виявлення пожежі має три дев'ятки, при подальшому зниженні p_{no} і $p_{лт}$.

Відповідно до математичних формул була розроблена програма в середовищі JAVA і результати розрахунку наведених ймовірнісних характеристик p_{no} , $p_{но}$, $p_{лт}$ показані в табл.1.1, 1.2, 1.3.

Аналіз ймовірнісних характеристик $p_{no}(Q,n)$, $p_{но}(Q,n)$, $p_{лт}(Q,n)$, що визначаються формулами (3.17) ... (3.30) дозволяє зробити наступні висновки:

1. Підвищити якість інформаційних систем, що складаються з n ДІ, в сенсі підвищення достовірності інформації можна принаймні трьома способами, а саме:

- збільшенням числа n джерел інформації;
- поліпшенням характеристик a_i, b_i, d_i самих джерел інформації;
- вибором оптимальної інформаційної структури, зокрема, вибором правильного індексу мажоритарності Q .

2. Для інформаційних систем, виконаних з n джерел інформації з ідентичними ймовірнісними характеристиками, найбільш прийнятною буде така структура, коли індекс мажоритарності $Q = n/2$;

b=d=0,25

	F1,2	F2,2	F1,3	F2,3	F3,3	F1,4	F2,4	F3,4	F4,4	F1,5	F2,5	F3,5	F4,5	F5,5
Pcd	0,75	0,5	0,875	0,78125	0,40625	0,9375	0,90625	0,71875	0,6835938	0,96875	0,9589844	0,880859	0,6269531	0,2363281
Pnd	0,0625	0,4375	0,015625	0,15625	0,578125	0,00390625	0,0507813	0,2617188	0,3125	0,0009766	0,015625	0,103516	0,3671875	0,7626953
Pfa	0,1875	0,0625	0,109375	0,0625	0,015625	0,0585938	0,0429688	0,0195313	0,00390625	0,0302734	0,0253906	0,015625	0,005859375	0,00097656

b=d=0,2

	F1,2	F2,2	F1,3	F2,3	F3,3	F1,4	F2,4	F3,4	F4,4	F1,5	F2,5	F3,5	F4,5	F5,5
Pcd	0,84	0,6	0,936	0,864	0,504	0,9744	0,9552	0,8112	0,408	0,98976	0,98496	0,93696	0,73536	0,32736
Pnd	0,04	0,36	0,008	0,104	0,488	0,0016	0,0272	0,1808	0,5904	0,00032	0,00672	0,05792	0,26272	0,67232
Pfa	0,12	0,04	0,056	0,032	0,008	0,024	0,0176	0,008	0,0016	0,00992	0,00832	0,00512	0,00192	0,00032

b=d=0,15

	F1,2	F2,2	F1,3	F2,3	F3,3	F1,4	F2,4	F3,4	F4,4	F1,5	F2,5	F3,5	F4,5	F5,5
Pcd	0,91	0,7	0,973	0,92575	0,61075	0,9919	0,98245	0,88795	0,5215	0,99757	0,9957981	0,972173	0,8347544	0,4436294
Pnd	0,0225	0,2775	0,003375	0,06075	0,385875	0,00050625	0,0119813	0,1095188	0,4779937	0,00007594	0,0022275	0,026612	0,16479	0,5562947
Pfa	0,0675	0,0225	0,023625	0,0135	0,003375	0,00759375	0,00556875	0,00253125	0,00050625	0,002354063	0,001974375	0,001215	0,000455625	0,00007594

b=d=0,1

	F1,2	F2,2	F1,3	F2,3	F3,3	F1,4	F2,4	F3,4	F4,4	F1,5	F2,5	F3,5	F4,5	F5,5
Pcd	0,96	0,8	0,992	0,968	0,728	0,9984	0,9952	0,9472	0,656	0,99968	0,99928	0,99128	0,91848	0,59048
Pnd	0,01	0,19	0,0001	0,028	0,271	0,00001	0,0037	0,0140187	0,3439	0,000001	0,00046	0,00856	0,08146	0,40951
Pfa	0,03	0,01	0,007	0,004	0,0001	0,0015	0,0011	0,0005	0,00001	0,00031	0,00026	0,00016	0,00006	0,000001

b=d=0,05

	F1,2	F2,2	F1,3	F2,3	F3,3	F1,4	F2,4	F3,4	F4,4	F1,5	F2,5	F3,5	F4,5	F5,5
Pcd	0,99	0,9	0,999	0,99225	0,85725	0,9999	0,99945	0,98595	0,8145	0,99999	0,9999619	0,998837	0,9774056	0,7737806
Pnd	0,0025	0,0975	0,000125	0,00725	0,142625	0,00000625	0,00048125	0,0140187	0,1854937	0,00000031	0,00003	0,001158	0,0225925	0,2262191
Pfa	0,0075	0,0025	0,000875	0,0005	0,000125	0,00009375	0,00006875	0,00003125	0,00000625	0,000009688	0,000008125	0,000005	0,000001875	0,00000031

a=0,5 b=0,333 d=0,167

	F1,2	F2,2	F1,3	F2,3	F3,3	F1,4	F2,4	F3,4	F4,4	F1,5	F2,5	F3,5	F4,5	F5,5
Pcd	0,75	0,5833	0,875	0,833	0,542	0,9375	0,928	0,831	0,47	0,96875	0,9668	0,9398	0,78935	0,39776
Pnd	0,0278	0,3056	0,0046	0,074	0,421	0,00077	0,016	0,132	0,5177	0,00013	0,0034	0,0355	0,19624	0,59812
Pfa	0,2222	0,1111	0,1204	0,093	0,037	0,06173	0,056	0,037	0,0123	0,03112	0,0298	0,0247	0,01441	0,00412

a=0,6 b=0,267 d=0,133

	F1,2	F2,2	F1,3	F2,3	F3,3	F1,4	F2,4	F3,4	F4,4	F1,5	F2,5	F3,5	F4,5	F5,5
Pcd	0,84	0,68	0,936	0,904	0,632	0,9744	0,969	0,896	0,559	0,98976	0,9888	0,9727	0,86034	0,4876
Pnd	0,0178	0,2489	0,00237	0,0486	0,349	0,0003	0,008	0,089	0,436	0,00004	0,0014	0,0192	0,13494	0,511
Pfa	0,1422	0,0711	0,06163	0,0474	0,019	0,0253	0,023	0,015	0,005	0,0102	0,0098	0,0081	0,00472	0,0014

a=0,7 b=0,2 d=0,1

	F1,2	F2,2	F1,3	F2,3	F3,3	F1,4	F2,4	F3,4	F4,4	F1,5	F2,5	F3,5	F4,5	F5,5
Pcd	0,91	0,77	0,973	0,952	0,721	0,9919	0,9891	0,9429	0,6545	0,99757	0,99722	0,98952	0,91742	0,59017
Pnd	0,01	0,19	0,001	0,028	0,271	0,0001	0,0037	0,0523	0,3439	0,00001	0,00046	0,00856	0,08146	0,40951
Pfa	0,08	0,04	0,026	0,02	0,008	0,008	0,0072	0,0048	0,0016	0,00242	0,00232	0,00192	0,00112	0,00032

a=0,8 b=0,133 d=0,067

	F1,2	F2,2	F1,3	F2,3	F3,3	F1,4	F2,4	F3,4	F4,4	F1,5	F2,5	F3,5	F4,5	F5,5
Pcd	0,96	0,8533	0,992	0,98133	0,811	0,9984	0,9975	0,9747	0,7585	0,99968	0,9996	0,99708	0,96104	0,708204
Pnd	0,0044	0,1289	0,0003	0,01274	0,187	0,00002	0,0011	0,02435	0,2412	0,000001	0,00009	0,00267	0,03881	0,291754
Pfa	0,0356	0,0178	0,0077	0,00593	0,002	0,00158	0,0014	0,00095	0,0003	0,000319	0,00031	0,00025	0,00015	0,000042

a=0,9 b=0,067 d=0,033

	F1,2	F2,2	F1,3	F2,3	F3,3	F1,4	F2,4	F3,4	F4,4	F1,5	F2,5	F3,5	F4,5	F5,5
Pcd	0,99	0,93	0,999	0,996	0,903	0,9999	0,99977	0,99357	0,87317	0,99999	0,999985	0,99964	0,9896067	0,844079
Pnd	0,0011	0,0656	0,000037	0,00326	0,0967	0,000001	0,00014	0,00637	0,12681	0,00000004	0,000006	0,00035	0,0103887	0,15592
Pfa	0,0089	0,0044	0,000963	0,00074	0,0003	0,000099	0,00009	0,00006	0,00002	0,00000996	0,000009	0,00001	0,0000046	0,000001

Висновки по розділу 3:

1. Сформульовано поняття відмови функціональної системи як випадкової абстрактної події для авіаційного устаткування і ПС в цілому, і узгодженням його з вимогою норм технічної документації з виробництва польотів в очікуваних і екстремальних умовах експлуатації.

2. Розроблено геометрично-імовірнісну модель відмови, яка дозволяє виділити зони не визначеності для аналізу помилок контролю ситуації з пожежею на повітряному судні як не виявлення і помилкового спрацювання.

3. Запропонована ймовірнісно-математична модель функціонування системи датчиків інформації, застосування якої дозволяє істотно зменшити негативні впливи фізичних вад окремих джерел інформації на якість функціонування систем сигналізації про пожежу на повітряних суднах.

4. Спосіб паралельного резервування інформації істотно знижує ймовірність не виявлення і помилкової тривоги ситуації або контрольованого параметра.

5. Застосування принципів мажоритарної логіки, дозволяє знижувати ймовірність помилкової тривоги, але при цьому необхідно збільшувати число паралельних каналів, що пов'язано з економічними обмеженнями.

6. Імовірність помилкової тривоги можна знизити способом "загрублення" (зниження чутливості шляхом підвищення порога спрацювання) окремих джерел інформації, при цьому збільшення їх числа компенсує нестачу цього методу.

РОЗДІЛ 4

ВИБІР І ОПТИМІЗАЦІЯ НАДІЙНИХ СТРУКТУР ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ

4.1 Оцінка інформаційного резервування інформаційно-керуючих систем сигналізації

До числа інформаційно-керуючих систем авіоніки, що роблять істотний вплив на безпеку польоту і ефективність виконання процесу польоту, відносяться системи сигналізації та пожежогасіння для своєчасного виявлення відмов, пожежі і видачі екіпажу достовірної інформації про його наявність [126].

Одним з основних методів забезпечення необхідних надійнісних характеристик систем сигналізації про пожежу, в плані підвищення достовірності переданих повідомлень, є введення інформаційного резервування. Оскільки існують різні способи інформаційного резервування, то для порівняння резервованих систем сигналізації про пожежу в якості основного критерію зазвичай приймається вірогідність виявлення подій, що представляє собою суму ймовірності виявлення системою пожежі, коли пожежа має місце в дійсності, і ймовірності невиявлення системою пожежі, коли пожежі - немає. Однак статистика льотної і технічної експлуатації систем сигналізації про пожежу [20, 22] свідчить про значний питомий об'єм серед усього числа функціональних відмов таких систем у вигляді помилкових тривог. У зв'язку з цим, поряд з достовірністю виявлення подій, критерієм якості системи приймається ймовірність помилкової тривоги, то є ймовірність сигналізації про пожежу, коли в дійсності її немає.

Роботу інформаційно-резервованої системи сигналізації про пожежу силових установок повітряних суден, що складається з датчиків, можна описати за допомогою графа, як це було представлено на рис.3.2.

При цьому, систему пожежної сигналізації можна уявити як бінарний канал зв'язку з перешкодами [102,104,118], коли на стороні, що передає, де розташована інформаційно-резервована система датчиків, може мати місце явище пожежі (подія A) з ймовірністю $p(A) = p$ або відсутність такого (подія B) з ймовірністю $p(B) = q = 1 - p$.

Отримана за допомогою системи з датчиків інформація про наявність чи відсутність пожежі передається на приймаючу сторону - систему індикації.

В системі пожежної сигналізації з резервованими датчиками ймовірності p_{cd}, p_{fa}, p_{nd} , відповідно, ймовірності правильного виявлення, помилкової тривоги і невиявлення події функціонально залежать від кількості датчиків і від їх ймовірнісних характеристик датчиків a, b, d , а саме, a - ймовірності правильного виявлення пожежі; b - ймовірності помилкової тривоги; d - ймовірності невиявлення пожежі.

$$\left. \begin{aligned} p_{cd} &= f_1(n, a, b, d) \\ p_{fa} &= f_2(n, a, b, d) \\ p_{nd} &= f_2(n, a, b, d) \end{aligned} \right\}$$

причому, $p_{cd} + p_{fa} + p_{nd} = 1$

Оскільки досліджувана система пожежної сигналізації робить помилки першого роду і другого роду, то матимуть місце додаткові конструктивні витрати, пов'язані з цими помилками, які можна уявити матрицею витрат

$$E = \begin{vmatrix} 0 & e_{01} \\ e_{10} & 0 \end{vmatrix}$$

де e_{01}, e_{10} - додаткові конструктивні витрати, пов'язані з помилками першого і другого роду, відповідно.

Середні додаткові конструктивні витрати, при цьому, визначаються байєсовським ризиком B [9,10], вираженим як

$$B = p_{cd} \cdot e_{01} \cdot p_{fa} + (1 + p_{cd}) \cdot e_{10} \cdot p_{nd}$$

З огляду на матеріальні витрати на реалізацію системи сигналізації з n резервованих датчиків, які визначаються вартістю (C) одного датчика і числом n , можна отримати остаточний вираз, що визначає середній ризик $B(n)$:

$$B(n) = p_{cd} \cdot e_{01} \cdot p_{fa} + (1 + p_{cd}) \cdot e_{10} \cdot p_{nd} + C \cdot n \quad (4.1)$$

Оскільки сума перших двох доданків у виразі (1) є монотонно-спадною функцією n (в іншому випадку немає сенсу здійснювати резервування), а останній доданок того ж виразу є монотонно зростаючою функцією n , то функція $B(n)$ має глобальний мінімум, який визначає оптимальне число n_{opt} резервних датчиків.

Оскільки завжди апіорна ймовірність p виникнення пожежі, як правило, є невідомою, то тут прийнятно допущення $p = 0.5$ [10].

Точне визначення додаткових конструктивних витрат e_{01}, e_{10} є досить складною самостійною задачею. Виходячи з припущення, що для більшості випадків помилкова тривога і невиявлення пожежі (особливо "титанової") є небезпечним в рівній мірі, можна в першому наближенні прийняти $e_{01} = e_{10} = E$. З огляду на це, вираз (4.1) можна спростити:

$$B^*(n) = p_{fa} + p_{nd} + C_1 \cdot n \quad (4.2)$$

де $C_1 = 2 \cdot C / E$.

Аналізуючи вираз (4.2), можна зробити наступні висновки.

Якщо витрати на створення інформаційної системи істотно менше витрат, обумовлених помилками першого і другого роду, тобто $C \ll E$ і більше значень p_{fa} і p_{nd} ймовірностей помилок, обумовлених низькою якістю датчиків, то величина n_{opt} буде досить великою. В цьому випадку необхідно застосувати велику кількість резервованих датчиків низької якості, щоб забезпечити малі ймовірності помилок першого і другого роду.

Якщо витрати на створення інформаційної системи (C) сумірні з конструктивними витратами E , що, в принципі, може бути обумовлено

високою точністю системи і малими значеннями ймовірностей p_{fa} і p_{nd} , то оптимальне число n_{opt} резервованих датчиків, буде невеликим.

Одним з видів резервування систем є інформаційне резервування за принципом мажоритарної логіки, згідно з якою система сигналізації видає сигнал про пожежу тоді, коли цей сигнал видають не менше Q датчиків з n . Причому, величина Q може змінюватися від $[1..n]$. Якщо $Q=1$, то схема резервування має вигляд, зображений на рис.4.1.

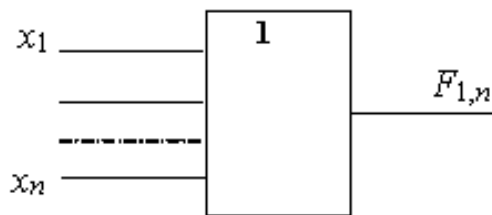


Рисунок 4.1 - Схема інформаційного резервування системи (ИЛИ)

Згідно рис.4.1, всі n датчиків об'єднуються за схемою ИЛИ. Сигнал $F_{1,n}$ про пожежу на виході системи з'явиться тоді, коли спрацює хоча б один датчик з n . Якщо $Q=n$, то схема резервування буде мати вигляд,

зображений на рис.4.2., На якому всі датчики об'єднуються за схемою И. Сигнал $F_{n,n}$ про пожежу на виході цієї системи з'явиться тоді, коли спрацюють всі датчики одночасно.

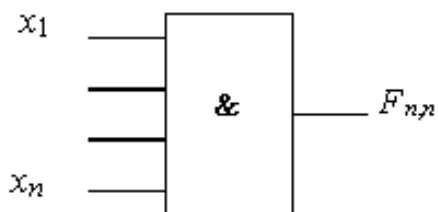


Рисунок 4.2 – Схема інформаційного резервування системи (И)

Якщо Q змінюється в межах $1 < Q < n$, то схема з'єднання датчиків має вигляд, зображений на рис.4.3, при якому резервовані датчики групами об'єднуються за схемою И. Число датчиків в кожній групі дорівнює Q , і

кожна група датчиків відрізняється від попередньої хоча б одним датчиком. Число таких груп дорівнює числу сполучень n по Q , а всі ці групи по Q датчиків в кожній об'єднуються за схемою ИЛИ. Сигнал $F_{Q,n}$ на виході схеми (рис.4.3.) з'явиться тільки тоді, коли буде сигнал на виході хоча б однієї з груп. Сигнал на виході кожної групи з'являється тільки тоді, коли є сигнали від всіх датчиків, об'єднаних в цю групу.

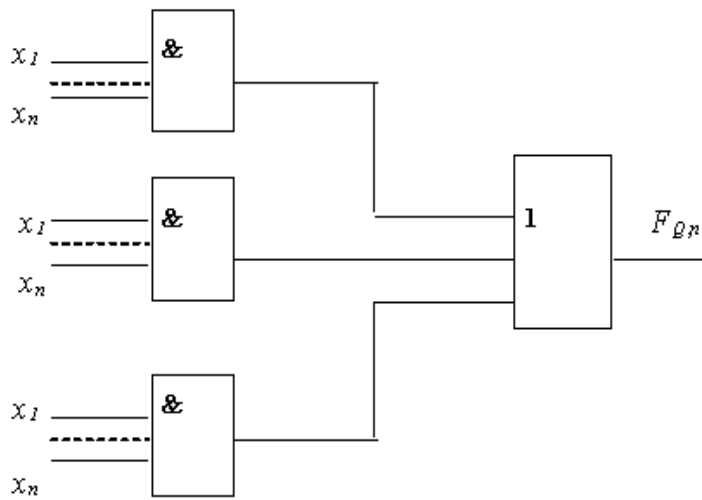


Рисунок 4.3 - Схема інформаційного резервування системи (І і ІЛИ)

Існуючі інформаційні системи сигналізації, датчики первинної інформації мають нечіткий поріг спрацювання. Внаслідок цього інформація від реального датчика завжди надходить з певним ступенем достовірності, яку можна охарактеризувати трьома ймовірнісними станами

[117,119,120]: a - ймовірність правильного виявлення події; b - ймовірність помилкової тривоги; d - ймовірність невиявлення події.

Така система ймовірнісних станів досить повно описується поліноміальним розподілом [117,119,120], яке є розширенням біномного розподілу. Ймовірнісні характеристики a_n , b_n і d_n для n паралельно зарезервованих джерел інформації можна визначити з поліноміального розподілу.

$$\left. \begin{aligned} p_{cd} &= \sum_{m=0}^{n-q} C_n^{n-m} a^{n-m} \cdot (b+d)^m \\ p_{fa} &= \sum_{m=0}^n C_n^{n-m} a^{n-m} \cdot (b+d)^m - \sum_{m=0}^{n-q} C_n^{n-m} a^{n-m} \cdot (b+d)^m - \\ &\quad - \sum_{m=0}^{q-1} C_n^{n-m} d^{n-m} \cdot (a+b)^m \\ p_{nd} &= \sum_{m=0}^{q-1} C_n^{n-m} d^{n-m} \cdot (a+b)^m \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

$$\text{причому } p_{cd} + p_{fa} + p_{nd} = 1 \quad (4.4)$$

Вирази (4.3) визначають ймовірнісні характеристики p_{cd} , p_{fa} , p_{nd} , відповідно, для систем резервування датчиків пожежної сигналізації з мажоритарною логікою. Типові структурні схеми таких систем резервування

наведені на рис.4.1, 4.2, 4.3. Вид такої структурної схеми однозначно визначається параметром Q , який представляє необхідну кількість датчиків, одночасно "які проголосували" за наявність події (пожежі). По суті, схема резервування, зображена на рис.4.3, є універсальною для систем резервування датчиків за принципом мажоритарної логіки, так як можна цю структуру трансформувати в будь-яку іншу структуру інформаційного резервування. Схеми резервування, зображені на рис.4.1 і 4.2, представляють виражені граничні варіанти схеми на рис.4.3, коли параметр Q дорівнює 1 або n . Таким чином, коли мова йде про резервування за принципом мажоритарної логіки, то мається на увазі схема резервування, зображена на рис.4.3. Звідси випливає, що резервування за принципом мажоритарної логіки не є зручним варіантом, оскільки воно не включає в себе всі можливі варіанти схем резервування, засновані на комбінації різних способів підключення логічних елементів **И** і **ИЛИ**.

Оскільки всі можливі варіанти схеми резервування, зображені на рис.4.3, однозначно визначаються параметром Q , то процес вибору оптимальної різновидності схеми резервування на рис.4.3, зводиться до процедури визначення максимального значення ймовірності p_{cd} , яка визначається виразом (4.3), і залежно від змінної Q , змінною в межах від 1 до n ($Q \leq [1..n]$), тим самим ймовірності p_{cd}, p_{nd} , будуть мінімальними. Згідно з виразом (4.3) максимальне значення ймовірності p_{cd} обумовлює мінімум функції ризику $B(n)$, що визначає ефективність системи резервування датчиків пожежної сигналізації, вона залежить не тільки від кількості датчиків n , але й від їх ймовірнісних характеристик, a, b, d , але і від варіанту структурної схеми резервування (рис.4.3), що визначається параметром Q . Для вибору оптимальної структури інформаційної системи, в сенсі мінімуму параметра Q , був розроблений алгоритм моделювання вибору структур ІУС.

Результати рішення задачі оптимізації, тобто мінімізації параметра Q , показали, що для будь-якого значення n і для будь-яких значень імовірнісних характеристик датчиків a, b, d оптимальним варіантом структури інформаційної системи груп резервованих датчиків за принципом мажоритарної логіки є схема, зображена на рис. 4.3, для якої $Q = 1$ (граничний випадок).

Таким чином, об'єднання резервованих датчиків за схемою ІЛИ (за принципом спрацювання хоча б одного датчика) є найкращим з усіх варіантів схем (рис.4.3) резервування датчиків за принципом мажоритарної логіки, оскільки ймовірність p_{cd} правильного виявлення пожежі є максимальною для цього варіанту при будь-якому числі n датчиків і при будь-яких імовірнісних характеристиках датчиків a, b, d .

На жаль, величина ймовірності p_{fa} (помилкової тривоги) при $Q = 1$ є також максимальною, хоча бейсовський ризик $B(n)$ відповідно до виразу (4.2) буде при цьому мати мінімальне значення, оскільки мінімальна сума перших 2-х доданків в цьому виразі $(p_{fa} + p_{nd})$. Це можна легко показати на підставі рівності (4.1).

Однак не можна стверджувати, що мінімум функції (4.1) ризику $B(n)$, який визначається варіантом схеми (рис.4.2), є глобальним, оскільки дана схема входить в клас схем (рис.4.3) резервування датчиків за принципом мажоритарної логіки, і цей клас схем є тільки частиною безлічі всіх можливих варіантів схем резервування датчиків, що об'єднуються за допомогою всіляких комбінацій логічних схем І і ІЛИ. Існують і інші способи резервування датчиків, що об'єднуються за допомогою різних комбінацій логічних схем І і ІЛИ, зокрема, існує принцип послідовного резервування датчиків [5], згідно з яким, наприклад, в тій же схемі (рис.4.1) датчики з низькими точнісними ймовірнісними характеристиками a, b, d замінюються комбінаціями датчиків, що об'єднуються за допомогою логічних схем І і ІЛИ. При цьому, ймовірнісні характеристики таких комбінацій можуть бути краще і, представляючи такі комбінації датчиків як окремі датчики з більш кращими точнісними

характеристиками, можна їх застосовувати, наприклад, в тій же схемі (рис.4.3.). Таким чином, завдання визначення оптимальної схеми резервування датчиків, в глобальному сенсі, є актуальною і вимагає постійного розвитку.

Як уже згадувалося, досліджувана оптимальна схема (рис.4.3.), в сенсі резервування датчиків за принципом мажоритарної логіки, має один істотний недолік: для цієї схеми ймовірність помилкової тривоги p_{fa} має також максимальне значення. Зменшити ймовірність p_{fa} для цієї схеми можна двома способами:

- поліпшенням точнісних ймовірнісних характеристик a, b, d резервуємих датчиків;
- збільшенням числа n резервних датчиків.

Питання вибору таких оптимальних структур, а також обґрунтованого забезпечення ІУС сигналізації інформаційним резервуванням, є актуальними при створенні і експлуатації літаків нового покоління.

Ефективність такого поліпшення ймовірності p_{fa} на конкретних прикладах буде показана нижче, за допомогою розроблених алгоритмів і програми (Додаток Б).

4.2 Вибір оптимальної структури надійних інформаційно-керуючих систем сигналізації

Для оптимальної схеми резервування (рис.4.3) були обчислені ймовірності p_{cd} , p_{fa} , p_{nd} . Результати зведені в таблицю 4.1. Причому, ймовірнісні характеристики b і d задавалися таким співвідношенням $b = d = (1 - a)/2$.

Таблиця 4.1 - Кількісні характеристики ймовірнісних оцінок подій ІУС сигналізації

n	a	P_{cd}	P_{nd}	P_{fa}
3	0,3	0,657	0,04287	0,3
	0,4	0,78399	0,027	0,189
	0,5	0,875	0,015625	0,1093
	0,6	0,93599	0,00799	0,05599
	0,7	0,97299	0,00338	0,02363
4	0,3	0,7599	0,015	0,22509
	0,4	0,870399	0,0081	0,1215
	0,5	0,9375	0,003906	0,05859
	0,6	0,97439	0,001599	0,02399
	0,7	0,9919	0,0005062	0,0075937
5	0,3	0,83192	0,005252	0,1628178
	0,4	0,922239	0,00243	0,075331
	0,5	0,96875	0,00097656	0,0302734
	0,6	0,989759	0,00031999	0,00991999
	0,7	0,997569	0,00007593	0,00235406
6	0,3	0,882351	0,00183826	0,11581072
	0,4	0,95334398	0,000729	0,045927
	0,5	0,984375	0,00024414	0,0153808
	0,6	0,995904	0,00006399	0,00403199
	0,7	0,9992709	0,00001139	0,0007176
7	0,3	0,91764569	0,00064339	0,08171089
	0,4	0,97200638	0,0002187	0,02777749
	0,5	0,9921875	0,000061035	0,0077514648
	0,6	0,9983615	0,000012799	0,001625599
	0,7	0,9997813	0,0000017085	0,00021699
8	0,3	0,9423519	0,00022518	0,05742281
	0,4	0,9832038	0,00006561	0,01673055
	0,5	0,99609375	0,000015258	0,00389099
	0,6	0,99934464	0,000002559	0,000652799
	0,7	0,9999343	0,000000256	0,0000653537

У таблиці 4.1 через n позначено кількість структурно резервованих датчиків, через a - ймовірність правильного виявлення одним датчиком.

Обчислені за даними таблиці 4.1 величини $\Delta P = p_{nd} + p_{fa}$ і середній ризик $B_1(n)$ і $B_2(n)$ за формулою (2) для наведених вартісних коефіцієнтів $C_1 = 0,00125$ і $C_2 = 0,000125$ відповідно, наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Ймовірнісні оцінки середнього ризику інформаційної первинної системи

n	a	$\Delta P = p_{nd} + p_{fa}$	$B_1(n)$	$B_2(n)$
3	0,6	0,064	0,06775	0,064375
	0,7	0,027	0,03075	0,027375
	0,8	0,008	0,01175	0,008375
4	0,6	0,0256	0,0306	0,0261
	0,7	0,0081	0,0131	0,0086
	0,8	0,0016	0,0066	0,0021
5	0,6	0,01024	0,01649	0,010865
	0,7	0,00243	0,00868	0,003055
	0,8	0,00032	0,00657	0,000945
6	0,6	0,004096	0,0116	0,004846
	0,7	0,000729	0,00822	0,001479
	0,8	0,000064	0,007564	0,000814
7	0,6	0,0016384	0,01039	0,0025134
	0,7	0,0002187	0,0089687	0,0010937
	0,8	0,0000128	0,0087628	0,0008878
8	0,6	0,00065536	0,01066	0,0016554
	0,7	0,00006561	0,01000656	0,0010656
	0,8	0,00000256	0,0100026	0,00100256
9	0,6	0,00026214	0,011512	0,00138714
	0,7	0,00001968	0,0112697	0,00114468
	0,8	0,00000051	0,0112505	0,00112551

За даними таблиць 4.1 і 4.2 побудовані графічні залежності рис.4.4,4.5, 4.6. З графіка (рис.4.4) видно, яку велику роль в підвищенні якості

функціонування системи сигналізації грає підвищення числа резервованих датчиків, а також підвищення якості самих датчиків.

Цікаво відзначити, що зміна співвідношення між ймовірнісними характеристиками b і d не впливає на ймовірність p_{cd} правильного виявлення для будь-якого числа n . Це визначається симетричністю тріноміального розподілу, як окремий випадок поліноміального розподілу.

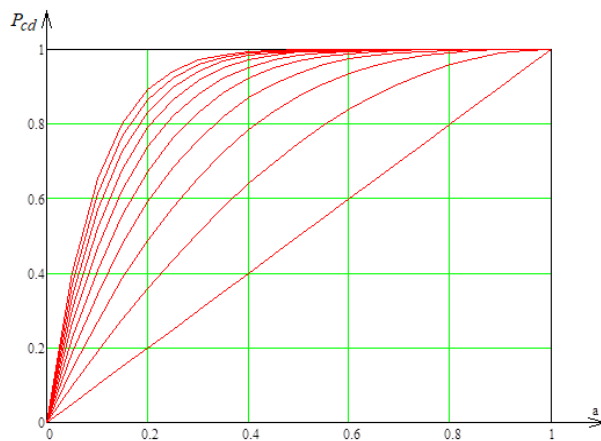


Рисунок 4.4 - Залежності $P_{cd} = f(a)$
при $n=1...10$

ймовірність невиявлення, так і ймовірність помилкової тривоги. При цьому дана система пригнічує ймовірність невиявлення більше ніж ймовірність помилкової тривоги.

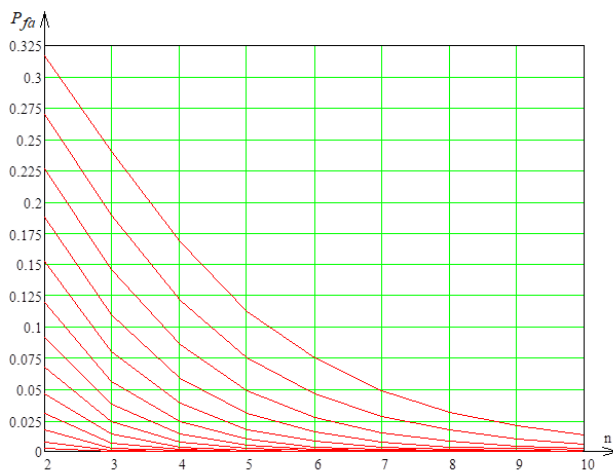


Рисунок 4.5 - Залежності $P_{fa} = f(n)$,
при $a=0...1$

На рис.4.5 наведені графічні залежності ймовірності помилкової тривоги P_{fa} і ймовірності невиявлення p_{nd} від числа n резервованих датчиків і якості самих датчиків. З графіків (рис.4.5, 4.6) видно, що при збільшенні кількості n резервованих датчиків і якості самих датчиків зменшується одночасно як

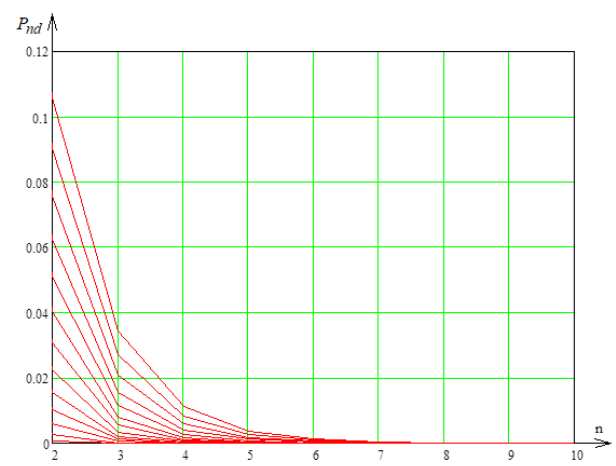


Рис.4.6. Залежності $P_{nd} = f(n)$
при $a=0...1$

На рис.4.7 наведені графічні залежності ефективності резервування $B_1(n)$ і $B_2(n)$ датчиків пожежної сигналізації за принципом мажоритарної

логіки, побудовані за даними таблиці 4.2. Функції $B_1(n)$ і $B_2(n)$ обчислювалися відповідно до виразу (2). Функція $B_1(n)$ характеризує датчики дорожчі (коефіцієнт відносної вартості $C_1 = 0,00125$). Функція $B_2(n)$ відповідає датчикам в 10 разів дешевших (коефіцієнт відносної вартості $C_2 = 0,000125$).

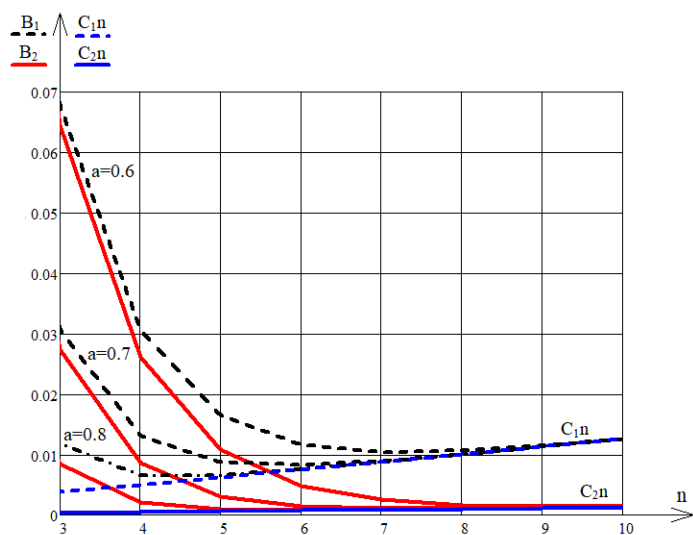


Рисунок 4.7 - Залежності $B_1 = f(n)$,
 $B_2 = f(n)$ при $a = 0,1 \dots 1$

високої точності $a = 0,7$, отже, більш дорогі (коефіцієнт відносної вартості $C_1 = 0,00125$), тому оптимальне число таких датчиків відносно невелике $n_{opt} = 6$, як це видно з рис.4.7. Функція $B_2(n)$ представляє датчики з зниженою точністю $a = 0,6$ і в 10 разів більш дешевих (коефіцієнт відносної вартості $C_2 = 0,000125$), тому оптимальне число таких датчиків в заданих межах обчислень не визначене. На графіку (рис.4.4, 4.7) це число не більше 8.

Проведені оцінки з даного класу структурно-резервованих схем стверджують, що ефективність функціонування структур ІУС істотно залежить від числа резервованих датчиків, від їх імовірнісних характеристик і від виду структурної схеми резервування. Останній спосіб підвищення якості резервування заслуговує на особливу увагу, оскільки вдала структурна схема резервування дозволяє істотно скоротити число резервованих датчиків і знизити вимоги до якості (точності), досягаючи високої ефективності функціонування.

На рис.4.7 наведені графічні залежності ефективності резервування $B_1(n)$ і $B_2(n)$ датчиків пожежної сигналізації за принципом мажоритарної логіки, побудовані за даними таблиці 4.2. Функції $B_1(n)$ і $B_2(n)$ обчислювалися відповідно до виразу (4.2). функція $B_1(n)$ характеризує датчики більш

У зв'язку з вище зазначеним, певний науково-практичний інтерес представляє рішення наступних завдань:

1. Розробка алгоритму оцінки ефективності функціонування інформаційних систем з датчиками з різними імовірнісними характеристиками.
2. Дослідження ширшого класу схем структурно-резервованих інформаційних систем для визначення оптимальної схеми підвищення якості резервування в глобальному масштабі.
3. Подальше продовження досліджень оціночних характеристик інформаційного рівня резервування датчиків за допомогою статистичного моделювання.

На основі математичних формул (4.2, 4.3), була розроблена програма розрахунку і побудовані графічні залежності імовірнісних характеристик P_{cd} , P_{nd} , P_{fa} з урахуванням індекса мажоритарності ІУС сигналізації, як це показано на рис.4.8.

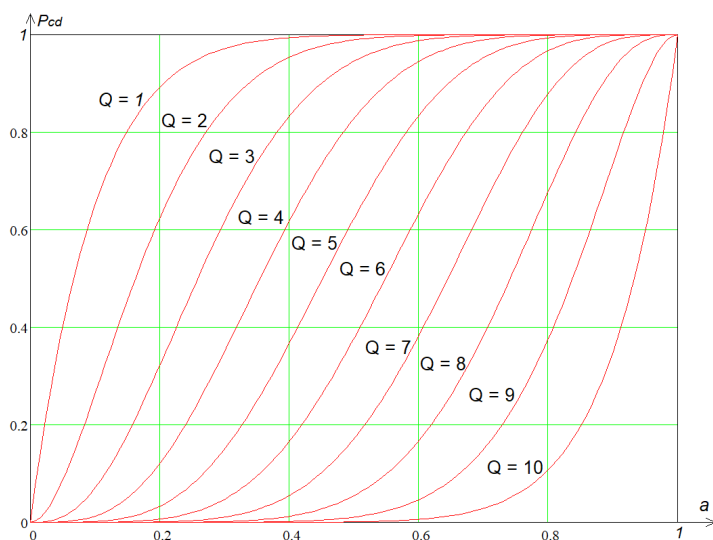


Рисунок 4.8 - Номограма ймовірності правильного виявлення з урахуванням індекса мажоритарності

Аналіз графіків показує, що при збільшенні індекса мажоритарності, необхідно збільшити якість датчиків для того щоб отримати високу ймовірність виявлення події, тобто від 0,9 до 0,999. При ймовірності $P = 0,8$ для $Q = 1$ буде $a = 0,18$; для $Q = 5$ буде $a = 0,59$; для $Q = 10$ буде $a = 0,98$. Це накладає великі витрати, як

конструктивні, так і економічні. Так як питання стосується безпеки людей то без умовно цей метод можна вважати ефективним для забезпечення надійності та відмовостійкості систем «Екіпаж-ПС» в цілому.

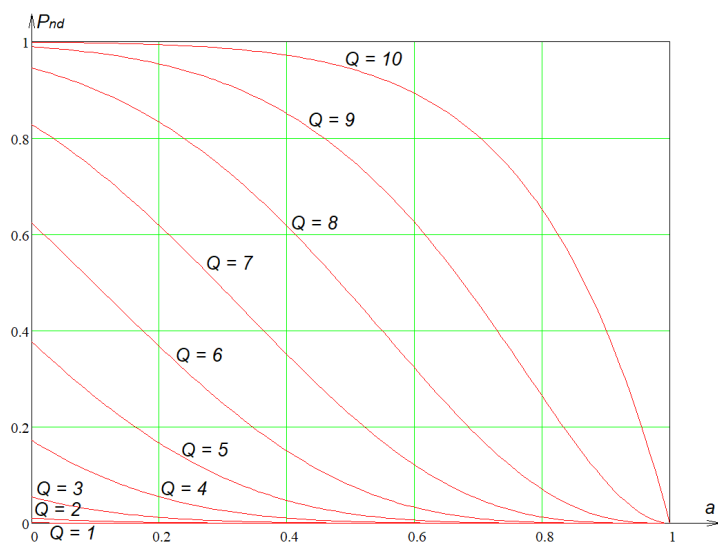


Рисунок 4.9 - Номограма ймовірності P_{nd} невиявлення з урахуванням індекса мажоритарності

Аналіз графіків (рис.4.9) функції ймовірностей невиявлення показує, що при $a \rightarrow 0$, то ймовірність невиявлення прагне до максимуму $p_{nd} \rightarrow \max$ і навпаки. При $a = 0,8$, то ймовірність невиявлення максимально при $Q = 10$ і становить $p_{nd} = 0,63$.

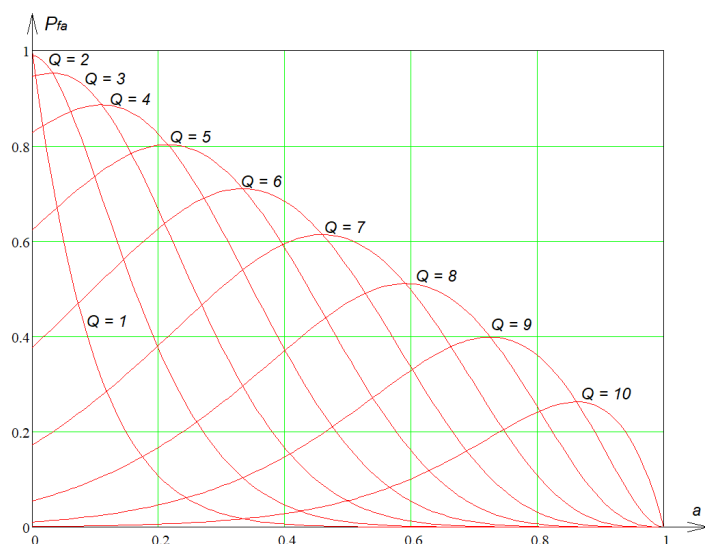


Рисунок 4.10 - Номограма ймовірності помилкової тривоги з урахуванням індекса мажоритарності

Аналіз графіків (4.10) функції ймовірностей P_{fa} помилкової тривоги показує, що при збільшенні a якості датчика ймовірність P_{fa} помилкової тривоги істотно зменшується, тобто при $Q \rightarrow \max$, $p_{nd} \rightarrow \min$. Тому для пригнічення, ймовірності помилкової тривоги, доцільно застосувати принцип

мажоритарності.

Для вибору оптимальної структури необхідно приймати принцип мажоритарності з урахуванням мінімально - допустимої достовірності події в ІУС структурно-резервованих систем, як це проводиться в наступному параграфі.

4.3 Розробка математичної моделі вибору і оптимізації структур інформаційно-керуючих систем

Вибір і оптимізація надійних структур ІУС є одною зі складних завдань, яке вимагає застосування спеціальних підходів і програм вибору цих структур з урахуванням критерій, що ймовірності помилкової тривоги і невиявлення, прямувала до нуля, а ймовірність правильного виявлення прямувала до 1. У застосуванні до систем пожежної сигналізації забезпечення інформаційним резервуванням передбачає збільшення достовірності розпізнавання подій інформаційно-резервованою структурою системи в порівнянні зі структурою, яка має мінімально-допустиму (МД) достовірність для правильного функціонування системи.

Таким чином, завдання забезпечення інформаційного резервування системи первинних датчиків пожежної сигналізації передбачає виконання двох основних етапів:

1. Визначення структури інформаційної системи сигналізації про пожежу, яка має мінімально-допустимі для правильного функціонування системи достовірністю розпізнавання подій (тобто ймовірнісними характеристиками $(p'_{no}, p_{лт}, p_{но})^{мд}$.

2. Власне забезпечення інформаційного резервування системи, тобто вибір структури системи первинних датчиків з кращою, в порівнянні з мінімально-допустимою структурою системи, достовірністю розпізнавання подій, тобто ймовірнісними характеристиками $-(p'_{no}, p_{лт}, p_{но})^{ип}$.

Детально розглянемо зміст кожного етапу.

На підставі викладених в параграфі 4.1. припущень, зроблено висновок про те, що вид структури системи сигналізації (рис.4.1, 4.2, 4.3) однозначно визначаємо парою (n, Q) структурних параметрів такої системи, де n - кількість рівноймовірнісних (тобто з однаковими значеннями a, b і d , датчиків, що складають систему, Q - значення індексу мажоритарної системи).

Постановка задачі. У зв'язку з цим, завдання визначення виду структури системи сигналізації про пожежу, яка має мінімально-допустиму для правильного функціонування системи достовірністю розпізнавання подій, може бути інтерпретована наступним чином.

Є датчики з рівноймовірнісними характеристиками a, b і d та вартістю одного датчика C .

Потрібно визначити вид оптимальної, в сенсі мінімуму n числа використовуваних датчиків, структури ССП (тобто пару (n, Q)), для якої ймовірність правильного виявлення пожежі (p'_{no}) була б не нижче заданої $(p'_{no})^{zp}$, тобто $(p'_{no}) \geq (p'_{no})^{zp}$, а ймовірність "помилкової" тривоги $p_{лт}$ - не перевищувала б заданого значення $p_{лт}^{zp}$, тобто $p_{лт} < p_{лт}^{zp}$.

Оскільки задаваємо нормативно-технічною документацією значення ймовірностей правильного виявлення пожежі $(p'_{no})_{нтд}^{zp}$ і "помилкової" тривоги $(p'_{лт})_{нтд}^{zp}$ визначені для призначеного значення ймовірності виникнення пожежі $p(A)_{нтд} = p_{нтд}$, відповідно, $p(B)_{нтд} = 1 - p(A)_{нтд} = 1 - p_{нтд} = q_{нтд}$, то обчислення граничних значень $(p'_{no})^{zp}$ і $p_{лт}^{zp}$ для довільно призначаємої ймовірності виникнення пожежі $p(A) = p$ здійснюється за формулами:

$$(p'_{no})^{zp} = \frac{p}{p_{нтд}} (p'_{no})_{нтд}^{zp} ; (p'_{лт})^{zp} = \frac{p}{p_{нтд}} (p_{лт})_{нтд}^{zp} .$$

Для вирішення поставленого завдання проведено обчислювальний експеримент визначення ймовірнісних характеристик $p'_{no}, p_{лт}, p_{но}$ для структур ССП, що визначаються парами (n, Q) , де значення числа використаних в ССП датчиків n варіювалося в діапазоні $n \in [1, N^{zp}]$, а значення індексу мажоритарності (для кожного фіксованого n_i) - в діапазоні $Q \in [1, N_i]$. Зауважимо, що граничне значення N^{zp} числа датчиків може бути як завгодно великим і визначається, виходячи з умов граничної конструктивної, або

економічної реалізованості такого числа датчиків на об'єкті їх монтажу (в даному випадку - контурі силової установки). Вибір значення здійснюється в залежності від відносної вартості одного датчика з умови мінімуму середнього ризику $B^*(n)$.

Процедура вибору проілюстрована на рис. 4.7. Результати розрахунку для структур ССП з ідентичними датчиками при різних значеннях параметра Q , проведеного відповідно до розробленої програми, наведені в (додатку А).

4.4. Алгоритм визначення типу структури інформаційно-резервованої системи первинних датчиків пожежної сигналізації

Крок 1. Задати значення наступних параметрів:

N - кількість датчиків,

P - ймовірність виникнення пожежі,

P_{11gr} - граничне значення ймовірності правильного виявлення пожежі,

a, b, d - ймовірнісні характеристики датчиків.

Крок 2. Обчислити значення додаткових характеристик:

$$Q = 1 - P, P_{11gr} = P_{11gr} \cdot P, a_1 = 0,3, a_2 = 0,9,$$

$$de = 0,1, C_1 = 0,00125, C_2 = 0,000125.$$

Крок 3. Обчислити кількість можливих комбінацій датчиків.

Крок 4. Для певної комбінації датчиків обчислити ймовірності: P_2 - виникнення «помилкової» тривоги, P_3 - невиявлення пожежі.

Крок 5. Обчислити ймовірності правильного виявлення пожежі P_{11} та правильного виявлення відсутності пожежі P_{12} .

Крок 6. Якщо розглянуті всі комбінації датчиків, то перейти на крок 8, інакше - перейти на крок 4.

Крок 7. Вивести результати, отримані на кроках 4-6, на друк.

Крок 8. Для різних значень параметрів датчиків визначити індекс мажоритарності Q , яким володіє структура з найбільшою достовірністю розпізнавання подій.

Крок 9. Обчислити параметри структури СПД (a, q) , для якої

ймовірність виникнення «помилкової» тривоги мінімальна, а ймовірність правильного виявлення пожежі P_{11} не менше свого граничного значення P_{11gr} .

Крок 10. Вивести результати, отримані на кроках 8 і 9, на друк.

4.5. Результати розрахунку визначення типу структури інформаційно-резервованої системи сигналізації про пожежу

Кількість датчиків СПД $n = 10$

Ймовірність виникнення пожежі $pp = 0,10$

Таблиця. 4.3. Результати розрахунку визначення ймовірнісних характеристик і типу структури інформаційно-резервованої системи сигналізації про пожежу

Q	a	b	d	P_1	P_{12}	P_{11}	P_2	P_3
1	0,30	0,35	0,35	0,112114	0,012116	0,099997	0,887884	0,000003
1	0,40	0,30	0,30	0,125422	0,025423	0,099999	0,874577	0,000001
1	0,50	0,25	0,25	0,150682	0,050682	0,100000	0,849318	0,000000
1	0,60	0,20	0,20	0,196637	0,096637	0,100000	0,803363	0,000000
1	0,70	0,15	0,15	0,277187	0,177187	0,100000	0,722813	0,000000
1	0,80	0,10	0,10	0,413811	0,313811	0,100000	0,586189	0,000000
1	0,90	0,05	0,05	0,638863	0,538863	0,100000	0,361137	0,000000
2	0,30	0,35	0,35	0,177305	0,077359	0,099946	0,822641	0,000054
2	0,40	0,30	0,30	0,234363	0,134378	0,099986	0,765623	0,000014
2	0,50	0,25	0,25	0,319620	0,219623	0,999997	0,680377	0,000003
2	0,60	0,20	0,20	0,438228	0,338229	0,100000	0,561771	0,000000
2	0,70	0,15	0,15	0,589870	0,489870	0,100000	0,410130	0,000000
2	0,80	0,10	0,10	0,762489	0,662489	0,100000	0,237511	0,000000
2	0,90	0,05	0,05	0,922476	0,822475	0,100000	0,077524	0,000000
3	0,30	0,35	0,35	0,334965	0,235447	0,099518	0,664553	0,000482
3	0,40	0,30	0,30	0,444345	0,344505	0,099841	0,555496	0,000159
3	0,50	0,25	0,25	0,572992	0,473034	0,099958	0,426966	0,000042
3	0,60	0,20	0,20	0,710012	0,610020	0,099992	0,289980	0,000008

3	0,70	0,15	0,15	0,838176	0,738177	0,999999	0,161823	0,000001
3	0,80	0,10	0,10	0,936828	0,836828	0,100000	0,063172	0,000000
3	0,90	0,05	0,05	0,989647	0,889647	0,100000	0,010353	0,000000
4	0,30	0,35	0,35	0,559842	0,462444	0,097398	0,437556	0,002602
4	0,40	0,30	0,30	0,683590	0,584650	0,098941	0,315350	0,001059
4	0,50	0,25	0,25	0,797937	0,698288	0,099649	0,201712	0,000351
4	0,60	0,20	0,20	0,891127	0,791214	0,099914	0,108786	0,000086
4	0,70	0,15	0,15	0,955014	0,855027	0,099987	0,044973	0,000013
4	0,80	0,10	0,10	0,988483	0,888484	0,099999	0,011516	0,000001
4	0,90	0,05	0,05	0,999074	0,899074	0,100000	0,000926	0,000000
5	0,30	0,35	0,35	0,766853	0,676346	0,090507	0,223654	0,009493
5	0,40	0,30	0,30	0,860024	0,764759	0,095265	0,135242	0,004735
5	0,50	0,25	0,25	0,927713	0,829686	0,098027	0,070314	0,001973
5	0,60	0,20	0,20	0,969849	0,870486	0,099363	0,029514	0,000637
5	0,70	0,15	0,15	0,990975	0,891113	0,099862	0,008887	0,000138
5	0,80	0,10	0,10	0,998514	0,898529	0,099985	0,001471	0,000015
5	0,90	0,05	0,05	0,999942	0,899943	0,100000	0,000057	0,000000
6	0,30	0,35	0,35	0,889709	0,814559	0,075150	0,085441	0,024850
6	0,40	0,30	0,30	0,942359	0,857386	0,084973	0,042614	0,015027
6	0,50	0,25	0,25	0,974432	0,882245	0,092187	0,017755	0,007813
6	0,60	0,20	0,20	0,990988	0,894268	0,096721	0,005732	0,003279
6	0,70	0,15	0,15	0,997768	0,898755	0,099013	0,001245	0,000987
6	0,80	0,10	0,10	0,999704	0,899868	0,099837	0,000132	0,000163
6	0,90	0,05	0,05	0,999991	0,899998	0,099994	0,000002	0,000006
7	0,30	0,35	0,35	0,927961	0,876578	0,051383	0,023422	0,048617
7	0,40	0,30	0,30	0,955428	0,890467	0,064961	0,009533	0,035039
7	0,50	0,25	0,25	0,974432	0,896845	0,077588	0,003155	0,022412
7	0,60	0,20	0,20	0,987135	0,899222	0,087913	0,000778	0,012087
7	0,70	0,15	0,15	0,994882	0,899879	0,095003	0,000121	0,004997
7	0,80	0,10	0,10	0,998712	0,899992	0,098720	0,000008	0,001280
7	0,90	0,05	0,05	0,999897	0,900000	0,099897	0,000000	0,000103
8	0,30	0,35	0,35	0,921822	0,895661	0,026161	0,004339	0,073839
8	0,40	0,30	0,30	0,936847	0,898569	0,038278	0,001431	0,061722
8	0,50	0,25	0,25	0,952185	0,899626	0,052559	0,000374	0,047441
8	0,60	0,20	0,20	0,967710	0,899930	0,067780	0,000070	0,032220
8	0,70	0,15	0,15	0,982012	0,899992	0,082020	0,000008	0,017980

8	0,80	0,10	0,10	0,992981	0,900000	0,092981	0,000000	0,007019
8	0,90	0,05	0,05	0,998850	0,900000	0,098850	0,000000	0,001150
9	0,30	0,35	0,35	0,908110	0,899514	0,008595	0,000486	0,091405
9	0,40	0,30	0,30	0,914801	0,899871	0,014931	0,000129	0,085069
9	0,50	0,25	0,25	0,924376	0,899973	0,024403	0,000027	0,075597
9	0,60	0,20	0,20	0,937577	0,899996	0,037581	0,000004	0,062419
9	0,70	0,15	0,15	0,954430	0,900000	0,054430	0,000000	0,045570
9	0,80	0,10	0,10	0,973610	0,900000	0,073610	0,000000	0,026390
9	0,90	0,05	0,05	0,991386	0,900000	0,091386	0,000000	0,008614
10	0,30	0,35	0,35	0,901321	0,899975	0,001346	0,000025	0,098654
10	0,40	0,30	0,30	0,902819	0,899995	0,002825	0,000005	0,097175
10	0,50	0,25	0,25	0,905630	0,899999	0,005631	0,000001	0,094369
10	0,60	0,20	0,20	0,910737	0,900000	0,010737	0,000000	0,089263
10	0,70	0,15	0,15	0,919687	0,900000	0,019687	0,000000	0,080313
10	0,80	0,10	0,10	0,934868	0,900000	0,034868	0,000000	0,065132
10	0,90	0,05	0,05	0,959874	0,900000	0,059874	0,000000	0,040126

При $n = 10$ найбільшою вірогідністю розпізнавання подій має структура, у якій:

для $a = 0,30$	$b = d = 0,35$	індекс мажоритарности $Q = 7$
для $a = 0,40$	$b = d = 0,30$	індекс мажоритарности $Q = 7$
для $a = 0,50$	$b = d = 0,25$	індекс мажоритарности $Q = 6$
для $a = 0,60$	$b = d = 0,20$	індекс мажоритарности $Q = 6$
для $a = 0,70$	$b = d = 0,15$	індекс мажоритарности $Q = 6$
для $a = 0,80$	$b = d = 0,10$	індекс мажоритарности $Q = 6$
для $a = 0,90$	$b = d = 0,05$	індекс мажоритарности $Q = 6$

Пошук параметрів структури СПД, для якої P_2 - мінімальна, а P_{11} не менше свого граничного значення

для $a = 0,30$	$q = 10$	$P_{11} = 0,001346$	$P_2 = 0,000025$
для $a = 0,40$	$q = 10$	$P_{11} = 0,002825$	$P_2 = 0,000005$
для $a = 0,50$	$q = 10$	$P_{11} = 0,005631$	$P_2 = 0,000001$
для $a = 0,60$	$q = 10$	$P_{11} = 0,010737$	$P_2 = 0,000000$
для $a = 0,70$	$q = 10$	$P_{11} = 0,019687$	$P_2 = 0,000000$
для $a = 0,80$	$q = 10$	$P_{11} = 0,034868$	$P_2 = 0,000000$
для $a = 0,90$	$q = 10$	$P_{11} = 0,059874$	$P_2 = 0,000000$

Q	A	B	D	DP	B_1	B_2
1	0,30	0,35	0,35	0,887886	0,900386	0,889136
1	0,40	0,30	0,30	0,874578	0,887078	0,875828
1	0,50	0,25	0,25	0,849318	0,861818	0,850568
1	0,60	0,20	0,20	0,803363	0,815863	0,804613
1	0,70	0,15	0,15	0,722813	0,735313	0,724063
1	0,80	0,10	0,10	0,586189	0,598689	0,587439
1	0,90	0,05	0,05	0,361137	0,373637	0,362387
2	0,30	0,35	0,35	0,822695	0,835195	0,823945
2	0,40	0,30	0,30	0,765637	0,778137	0,766887
2	0,50	0,25	0,25	0,680380	0,692880	0,681630
2	0,60	0,20	0,20	0,561772	0,574272	0,563022
2	0,70	0,15	0,15	0,410130	0,422630	0,411380
2	0,80	0,10	0,10	0,237511	0,250011	0,238761
2	0,90	0,05	0,05	0,077524	0,090024	0,078774
3	0,30	0,35	0,35	0,665035	0,677535	0,666285
3	0,40	0,30	0,30	0,555655	0,568155	0,556905
3	0,50	0,25	0,25	0,427008	0,439508	0,428258
3	0,60	0,20	0,20	0,289988	0,302488	0,291238
3	0,70	0,15	0,15	0,161824	0,174324	0,163074
3	0,80	0,10	0,10	0,063172	0,075672	0,064422
3	0,90	0,05	0,05	0,010353	0,022853	0,011603
4	0,30	0,35	0,35	0,440158	0,452658	0,441408
4	0,40	0,30	0,30	0,316410	0,328910	0,317660
4	0,50	0,25	0,25	0,202063	0,214563	0,203313
4	0,60	0,20	0,20	0,108873	0,121373	0,110123
4	0,70	0,15	0,15	0,044986	0,057486	0,046236
4	0,80	0,10	0,10	0,011517	0,024017	0,012767
4	0,90	0,05	0,05	0,000926	0,013426	0,002176
5	0,30	0,35	0,35	0,233147	0,245647	0,234397
5	0,40	0,30	0,30	0,139976	0,152476	0,141226
5	0,50	0,25	0,25	0,072287	0,084787	0,073537
5	0,60	0,20	0,20	0,030151	0,042651	0,031401
5	0,70	0,15	0,15	0,009025	0,021525	0,010275
5	0,80	0,10	0,10	0,001486	0,013986	0,002736
5	0,90	0,05	0,05	0,000058	0,012558	0,001308
6	0,30	0,35	0,35	0,110291	0,122791	0,111541
6	0,40	0,30	0,30	0,057641	0,070141	0,058891
6	0,50	0,25	0,25	0,025568	0,038068	0,026818
6	0,60	0,20	0,20	0,009012	0,021512	0,010262
6	0,70	0,15	0,15	0,002232	0,014732	0,003482
6	0,80	0,10	0,10	0,000296	0,012796	0,001546
6	0,90	0,05	0,05	0,000009	0,012509	0,001259
7	0,30	0,35	0,35	0,072039	0,084539	0,073289
7	0,40	0,30	0,30	0,044572	0,057072	0,045822
7	0,50	0,25	0,25	0,025568	0,038068	0,026818
7	0,60	0,20	0,20	0,012865	0,025365	0,014115
7	0,70	0,15	0,15	0,005118	0,017618	0,006368
7	0,80	0,10	0,10	0,001288	0,013788	0,002538
7	0,90	0,05	0,05	0,000103	0,012603	0,001353
8	0,30	0,35	0,35	0,078178	0,090678	0,079428
8	0,40	0,30	0,30	0,063153	0,075653	0,064403
8	0,50	0,25	0,25	0,047815	0,060315	0,049065
8	0,60	0,20	0,20	0,032290	0,044790	0,033540
8	0,70	0,15	0,15	0,017988	0,030488	0,019238

8	0,80	0,10	0,10	0,007019	0,019519	0,008269
8	0,90	0,05	0,05	0,001150	0,013650	0,002400
9	0,30	0,35	0,35	0,091890	0,104390	0,093140
9	0,40	0,30	0,30	0,085199	0,097699	0,086449
9	0,50	0,25	0,25	0,075624	0,088124	0,076874
9	0,60	0,20	0,20	0,062423	0,074923	0,063673
9	0,70	0,15	0,15	0,045570	0,058070	0,046820
9	0,80	0,10	0,10	0,026390	0,038890	0,027640
9	0,90	0,05	0,05	0,008614	0,021114	0,009864
10	0,30	0,35	0,35	0,098679	0,111179	0,099929
10	0,40	0,30	0,30	0,097181	0,109681	0,098431
10	0,50	0,25	0,25	0,094370	0,106870	0,095620
10	0,60	0,20	0,20	0,089263	0,101763	0,090513
10	0,70	0,15	0,15	0,080313	0,092813	0,081563
10	0,80	0,10	0,10	0,065132	0,077632	0,066382
10	0,90	0,05	0,05	0,040126	0,052626	0,041376

Таким чином, в результаті обчислювального експерименту отримано безліч L кортежів $(p'_{no}, p_{лт}, p_{но})$, кожен з яких однозначно відповідає єдиній парі (n, Q) , тобто єдино-можливій структурі ССП. Очевидно, що кількість елементів l множини L визначається як $l = \sum_{n=1}^{N^{2p}} n$.

Зробимо розбиття отриманої множини L на сукупність непересічних підмножин H_n за ознакою збігу значень n з пар (n, Q) , однозначно відповідних кожному кортежу $(p'_{no}, p_{лт}, p_{но})$ множини L . Очевидно, що кількість підмножин H_n дорівнює значенню N^{2p} , а кількість елементів кожного з підмножин H_n визначається значенням n з пар (n, Q) , що відповідають елементам підмножин H_n .

У кожному з виділених підмножин H_n знайдемо такий кортеж $(p'_{no}, p_{лт}, p_{но})^{\min}$, для якого виконувалася б умова $-p'_{no} \geq (p'_{но})^{2p}$, і значення $p_{лт}$ було б мінімально-можливим. Очевидно, що для кожного з підмножин H_n такий кортеж $(p'_{но}, p_{лт}, p_{но})^{\min}$ - єдиний.

Створений, таким чином, множині A , елементами якої є виділені кортежі $(p'_{no}, p_{лт}, p_{но})^{\min}$, однозначно відповідає множині B , елементами якої є пари $(n, Q)^{\min}$.

Побудуємо номограму в координатах площини, де вісь абсцис відповідає кількості датчиків n , що утворюють ССП, а вісь ординат - значень ймовірнісних характеристик ССП - $p_{лт}$, (рис. 4.11, 4.12).

Нанесемо на побудовану координатну площину точки, ординати яких відповідають значенням $p_{лт}$ елементів множини A , а абсциси - значенням n елементів множини B . На тій же системі координат площині виділимо область C , для множини точок якої виконується умова $p_{лт} < p_{лт}^{zp}$. З рис. 4.12 можна зробити висновок, що множина B розпадається на дві непересічні підмножини B_1 і B_2 так, що умова $p_{лт} < p_{лт}^{zp}$ виконується тільки для точок, що відповідають елементам множини B_2 .

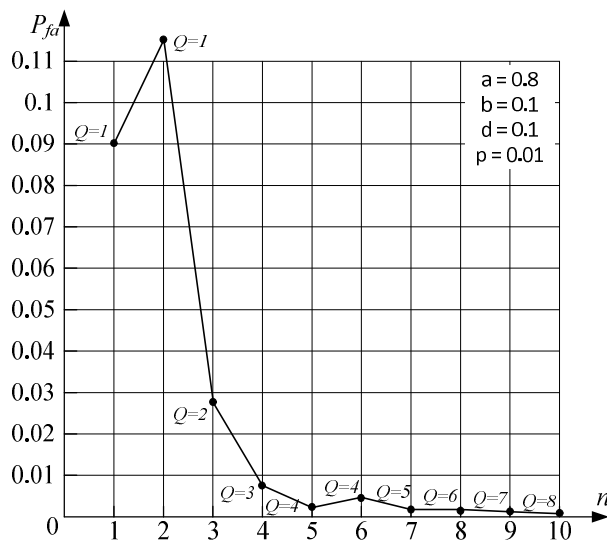


Рисунок 4.11 - Вибір структури $S(n, Q)$ інформаційно-резервованої ССП

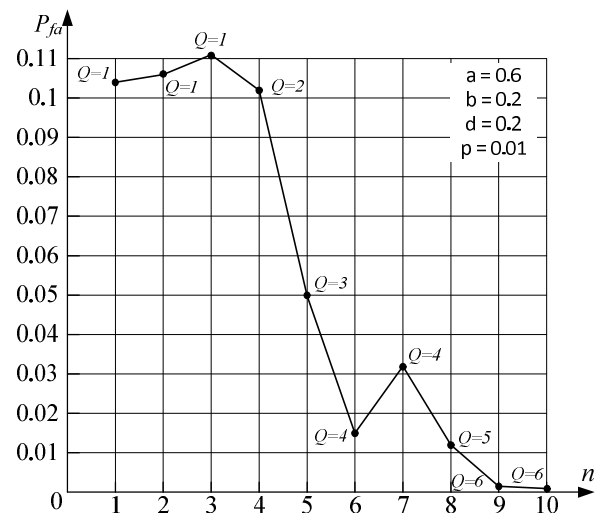


Рисунок 4.12 - Вибір структури $S(n, Q)$ інформаційно-резервованої ССП

Таким чином, виділено множину пар (n, Q) , а значить і визначено множину структур ССП, складених з рівноймовірнісних датчиків з характеристиками a, b, d , для яких $p'_{no} \geq (p'_{no})^{zp}$ і $p_{лт} < p_{лт}^{zp}$.

З множини пар (n, Q) , виділимо таку єдину пару $(n, Q)^{md}$, для якої значення n - кількість використаних в структурі ССП, мінімальне. Можна стверджувати, що структура ССП, для якої значення n і Q визначені парою $(n, Q)^{md}$, є шуканою структурою, яка має мінімально-допустиму для правильного функціонування системи достовірністю розпізнавання пожежі при призначених раніше вихідних даних і обмеженнях.

Так, наприклад, якщо ССП утворена датчиками, ймовірнісні характеристики яких, $a = 0.8, b = d = 0.1$, ймовірність виникнення пожежі $p = 0.01, (p'_{no})_{ntd}^{cp} = 0.9$ і $(p'_{лт})_{ntd}^{cp} = 0.01$ (відповідно, $(p'_{no})^{cp} = 0.01 \times 0.9 = 0.009$, $p_{лт}^{cp} = 0.99 \times 0.01 = 0.0099$, то згідно рис. 4.12, парою $(n, Q)^{md}$ для такої ССП є пара (4, 3).

Процедура власного забезпечення інформаційного резервування ССП полягає у виборі з множини B_2 такої структури, для якої $p_{лт}^{up} < p_{лт}^{md}$. Представивши множину $B_2 = M \cup I$, де M - множина, єдиним елементом якого є пара $(n, Q)^{md}$, робимо висновок, що для будь-якої пари $(n, Q)^{up}$ множини I умова $p_{лт}^{up} < p_{лт}^{md}$ - виконується. Для оцінки рівнів інформаційного резервування ССП, введемо кількісну шкалу рівнів резервування. Для цього зробимо розбиття області S для підмножини точок якої виконується умова $p_{лт} < p_{лт}^{cp}$ на три рівні непересічні підобласті C_1, C_2, C_3 так, що $C_1 \in]p_{лт}^{cp}; 2p_{лт}^{cp}/3]$, $C_2 \in]2p_{лт}^{cp}/3; p_{лт}^{cp}/3]$, $C_3 \in]p_{лт}^{cp}/3; 0]$. Таке розбиття представить множину I пар $(n, Q)^{up}$, як $I = I_1 \cup I_2 \cup I_3$. Структура системи, що визначається парою $(n, Q)^{up} \in I_1$, забезпечена першим рівнем інформаційного резервування, парою $(n, Q)^{up} \in I_2$ - другим рівнем і парою $(n, Q)^{up} \in I_3$ - третім рівнем інформаційного резервування. Для розглянутого прикладу, коли ССП утворена датчиками з характеристиками, $a = 0.8, b = d = 0.1$ пар, що

відповідають першому рівню ($[0.0099; 0.0066]$), немає; другий рівнем інформаційного резервування ($[0.0066; 0.0033]$) має структуру системи, яка визначається парою (4, 3); третьому рівню ($[0.0033; 0]$), відповідають пари - (5; 4), (6; 4), (7; 5) і т.д.

Для більш детального аналізу можна побудувати графічні залежності рис. 4.13. де, можна комплексно отримати відразу дані по всіх параметрах структури, а саме: a , b , d , n, Q , p_{cd} , p_{fa} , p_{nd} з урахуванням рівня резервування структур ІУС.

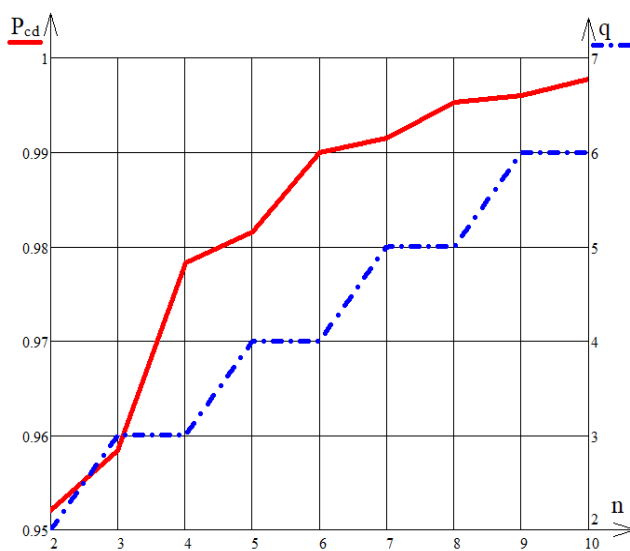


Рисунок 4.13 - Номограма залежності P_{cd} і q від n

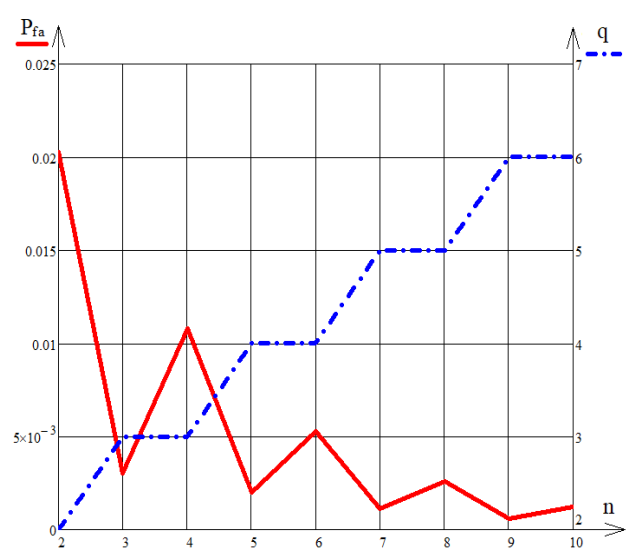


Рисунок 4.14 - Номограма залежності P_{fa} і q від n

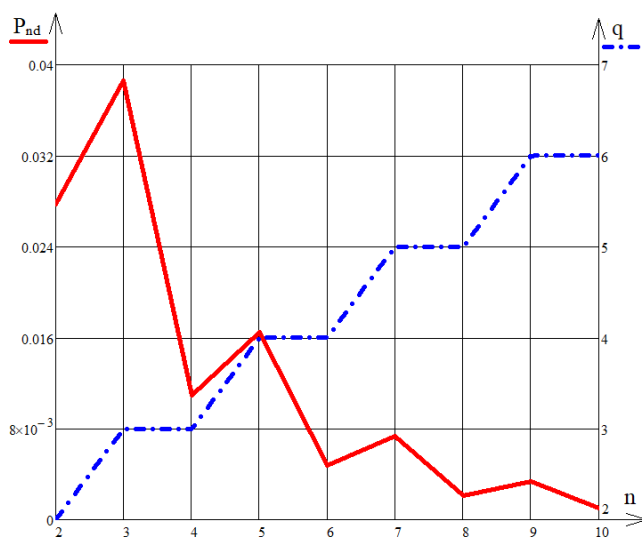


Рисунок 4.15 - Номограма залежності P_{nd} і q від n

Алгоритм вибору структури за допомогою номограми має наступний вигляд:

1. Вибір датчиків інформації з певними ймовірнісними характеристиками a , b , d . Для прикладу були взяті датчики з $a = 0,9$, $b = d = 0,05$.

2. За вимогами нормативно-технічної

документації визначаємо ймовірність правильного виявлення системи P_{cd} .

3. За номограмою вибираємо структуру $[P_{cd}, n, q]$ для якої $P_{cd} \geq P_{cd}^{HTD}$.

4. Визначаємо коефіцієнт мажоритарності для обраної структури в такий спосіб: n - координата по осі абсцис, q - координата по осі ординат для обраної на графіку точки P_{cd} .

5. За номограмами для параметрів P_{nd} і P_{fa} визначаємо ймовірність невиявлення P_{nd} і помилкової тривоги P_{fa} для обраної структури.

Процедура вибору структури за допомогою номограми може бути також виконана за наведеним алгоритмом при наявності обмежень по ймовірності невиявлення або ймовірності помилкової тривоги в нормативно-технічній документації.

Висновки до розділу 4:

1. Введене таким чином поняття рівня інформаційного резервування, являє собою характеристику якості інформаційного резервування структур ССП, що дозволяє проводити порівняння ССП різних за структурою і якістю використаних датчиків.

2. Зі збільшенням рівня інформаційного резервування зростає кількість використовуваних в ССП датчиків, що накладає на процедуру резервування додаткові обмеження конструктивного і економічного характеру.

3. Наведений аналіз інформаційних структур систем сигналізації про пожежу дозволяє обґрунтовано підійти до формування загальної структури системи, що задовольняє вимогам НТД по експлуатації ПС, і визначити раціональні принципи розподілу потоків інформації між автоматикою і екіпажем. Крім того, дані досліджень представляють інтерес для локалізації особливо небезпечного виду пожежі авіадвигунів, званого титановим.

4. Розроблені алгоритм і програми аналізу, вибору і оптимізації структур ССП і подібних ІУС на транспорті, створюють інформаційну базу для вирішення завдань проектування, виробництва і експлуатація об'єктів нової техніки.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз існуючих ІУС сигналізації та виявлено основні недоліки:

- великий температурний діапазон, від 100 до 350⁰C. Для датчиків диму температурна складова похибки вимірювання рівня задимленості в такому широкому діапазоні може істотно спотворити реальні значення задимленості, що може привести до помилкового спрацьовування сигналізатора під час польоту;
- велика інерційність;
- залежність часу спрацьовування від температури навколишнього середовища;
- можливістю помилкових спрацьовувань при наявності вологи, обриві, замиканні, трясці і вібраціях літака.
- система сигналізації про пожежу повітряного судна є критичною з точки зору відмовостійкості, надійності, безпеки польотів та ефективності.

2. Побудована інформаційна модель аналізу пожежної ситуації силової установки ПС і визначені з її допомогою основні сигналізатори по спрацюванню яких оцінюється стан двигуна і його основних вузлів за ознакою можливості виникнення і наявності пожежі: сигналізатори небезпечної температури газів, сигналізатори частоти обертання ротора АД, сигналізатори небезпечної температури підшипників турбокомпресора, сигналізатори стружки в олії двигуна, сигналізатори небезпечної вібрації, сигналізатори диму і пожежі.

При аналізі роботи датчиків і ССП визначені основні причини невиявлення і помилкових спрацювань ССП:

- відмова датчика або попадання гарячого повітря з тріщини гофри термокомпенсатора;
- зниження опору ізоляції проводу мотогондоли двигуна;
- відмова виконавчого блоку ССП;

- відмова блоку ССП, внаслідок замикання контактів поляризованого реле, викликаного попаданням вологи;

Проведено розслідування катастрофи пов'язаної з пожежною небезпечною ситуацією і показані основні причини ОПС і її розвитку від УУП до АК. При цьому можна зробити висновок що:

- пожежі двигуна являють собою не просто випадкові ситуації, а характеризуються як складне або поліфакторне явище і процес, який несе значний ступінь ризику, небезпеки і граничну невизначеність для процесу польоту ПС;

- обмежені можливості вбудованих систем контролю справності вимірювальної апаратури і відсутність автоматизованої видачі інформації про відмову систем вимірювання призводять до помилок типу помилкової тривоги при яких екіпаж вимикає справний працюючий двигун.

3. Проведено інформаційно-статистичний аналіз і статистичну оцінку технологічної складності функціонування ССП ПС. Статистична частка пожеж серед інших АП характеризується значною величиною (до 12%) відносної багаторічної статистики, незмінністю цієї частки по роках, а також малою величиною тренду. Це пояснюється перш за все складністю початкового моменту виникнення пожеж двигунів і граничною технологічною складністю функції прийняття рішень екіпажем. Серед пожеж двигунів найбільш небезпечним різновидом пожеж є "титанова" пожежа, специфіка якої полягає в тому, що її складно усунути. При цьому необхідно проводити в процесі експлуатації ряд заходів для усунення причин виникнення "титанової" пожежі і зменшення ймовірності зміни ситуації в сторону розвитку небезпечних польотних ситуацій.

4. Розроблено інформаційно-математичні моделі підвищення достовірності інформації за допомогою паралельного інформаційного резервування ІУС ПС і показано що, спосіб паралельного резервування інформації істотно знижує ймовірність невиявлення ситуації і мало впливає на зниження ймовірності помилкової тривоги. Для зниження ймовірності

помилкової тривоги, пропонується застосування принципів мажоритарної логіки, але при цьому необхідно збільшувати число паралельних каналів, що пов'язано з економічними обмеженнями. Математична обробка і схеми вибору компонентів рішення, проводяться за допомогою навчальної програми.

Виходячи з практично нескладно реалізованих структур систем з мажоритарною логікою, наприклад, при підвищенні вимоги до датчиків, можна значно підвищити ймовірність правильного виявлення p_{cd} і знизити ймовірність помилкової тривоги P_{fa} і невиявлення P_{nd} . Так, при $a = 0,9$; $b = d = 0,05$ отримуємо: $P_{cd} = 0,994$; $P_{nd} = 0,003$; $P_{fa} = 0,003$, а при $a = 0,95$; $b = d = 0,025$ ймовірності правильного виявлення пожежі має три дев'ятки, при подальшому зниженні P_{nd} і P_{fa} .

5. Побудовано логіко-математичну модель розпізнавання пожеж авіадвигунів на повітряних суднах на основі якої розроблено алгоритм і програму аналізу, вибору і оптимізації структур локалізації і розпізнавання небезпечних польотних ситуацій. Розроблені інформаційні технології вибору і оптимізації структур ССП і подібних ІУС на транспорті, створюють інформаційну базу для вирішення подібних завдань на етапах життєвого циклу об'єктів нової техніки. Основним критерієм для оптимізації виступає максимізація ймовірність правильного виявлення ($P_{cd} \rightarrow \max$) та мінімізація ймовірностей невиявлення та помилкової тривоги ($\Delta P = P_{fa} + P_{nd} \rightarrow \min$).

6. Вибір оптимальної структури надійних ІУС сигналізації проводиться за допомогою розробленої програми з урахуванням реальних надійнісних характеристик датчиків ІУС сигналізації. Наведений аналіз інформаційних структур систем сигналізації про пожежу дозволяє обґрунтовано підійти до формування загальної структури системи, що задовольняє вимогам НТД по експлуатації ПС, і визначити раціональні принципи розподілу потоків інформації між автоматикою і екіпажем. Крім того, дані досліджень представляють інтерес для локалізації особливо небезпечного виду пожежі авіадвигунів – титанової пожежі.

СПИСОК ВИКОРИСТОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аветисян В.Г. Організація аварійно-рятувальних робіт на авіаційному транспорті: навч. посіб. / В.Г. Аветисян, Ю.М. Сенчихін, Д.В. Ораєвський. – Х. : НУЦЗУ, 2012. – 108 с.
2. Пожаротушение на транспорте: учеб. пособие / В.В. Терещенков, Н.С. Артемьев, А.В. Подгрушный и др.; под общ. ред. М.М. Верзилина. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2014. – 340 с.
3. Оценка пожаробезопасности полимерных материалов авиационного назначения: анализ состояния, методы испытания, перспективы развития, методические особенности / С.Л. Барботько, О.С. Вольный, О.А. Кириенко, Е.Н. Шурков; под общ. ред. Е.Н. Каблова. – М. : ВИАМ, 2018. – 424 с.
4. Пожаробезопасные титановые сплавы и особенности их применения / Н.А. Ночовная, Е.Б. Алексеев, А.Ю. Изотова, А.В. Новак / ВИАМ/2012-206003. - Режим доступа: www.viam.ru/public.
5. Барботько С.Л. Пожарная безопасность, возможные методы оценки и требования к полимерным материалам для изготовления внешнего контура авиационной техники / С.Л. Барботько // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2014. - Выпуск 4 (13). - С. 6-15.
6. Анцелович Л.Л. Надежность, безопасность и живучесть самолета / Л.Л. Анцелович. - М. : Машиностроение, 1985. - 296 с.
7. Федоров С.М. Бортовые информационно-управляющие системы / С.М. Федоров, О.И. Михайлов, Н.Н. Сухих; под ред. С.М. Федорова. - М. : Транспорт, 1994. - 262 с.
8. Transportation Safety Board of Canada. Statistical Summary. Air Occurrences in 2018. - Режим доступа: URL: <https://bst-tsb.gc.ca/eng/stats/aviation/2018/ssea-ssao-2018.pdf> . (дата звернення 06.11.2020).
9. Aviation Safety Performance Reports and Statistics. - Режим доступа: https://www.skybrary.aero/index.php/Aviation_Safety_Performance_Reports_and_Statistics.

10. Safety Assessment of a Powerplant - "Titanium Fire". - Режим доступа: <http://pitottupu.blogspot.com/2019/01/safety-assessment-of-powerplant.html>.
11. Aeroengine Safety. Institute of Thermal Turbomachinery and Machine Dynamics. Graz University of Technology. - Режим доступа: <https://aeroenginesafety.tugraz.at/doku.php?id=9:91:912:912#prettyPhoto>.
12. EASA. Annual Safety Review. 2019 Edition. - Режим доступа: URL: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Annual%20Safety%20Review%202019.pdf>.
13. IATA. Safety Report 2016. Issued April 2017. Edition 53. - Режим доступа: URL: <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/3875.pdf> . (дата звернення 21.08.2020).
14. ICAO. Safety Report. 2020 Edition. - Режим доступа: URL: https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_SR_2020_final_web.pdf
15. Мир в панике: Европа запрещает Boeing. - Режим доступа: <https://www.gazeta.ru/business/2019/03/12/12238261.shtml>.
16. Циркуляр 216-AN/131. Человеческий фактор : сб. матер. №1. Фундаментальные концепции человеческого фактора / Междунар. орг. гражд. авиации. – Монреаль : ИКАО, 1989. – 34 с.
17. Дос. 422-AN/923. Руководство по предотвращению аварийных происшествий / Междунар. орг. гражд. авиации. – Монреаль : ИКАО, 1984. – 138 с.
18. Циркуляр 229-AN/137. Человеческий фактор : сб. материалов N4. Отчет о работе семинара ИКАО по человеческому фактору / Междунар. орг. гражд. авиации. – Монреаль : ИКАО, 1990. - 647 с.
19. Дос. 9156-AN/900. Руководство по предоставлению данных об авиационных происшествиях (инцидентах) : (Руководство ADREP) / Междунар. орг. гражд. авиации. – 2-е изд. – Монреаль : ИКАО, 1987 - 94 с.
20. Лужецкий В.К. Противопожарная защита самолетов гражданской авиации / В.К. Лужецкий.- Москва : Транспорт, 1987.-144 с.

21. Мещерякова Т.П. Проектирование систем защиты самолетов и вертолетов / Т.П. Мещерякова. - М. : Машиностроение, 1977. - 239 с.
22. Козырев С.А. Тенденции развития мониторинга бортовых подсистем воздушных судов / С.А. Козырев // Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии. УлГУ. Электрон. журн. – 2017. - № 1.- С. 34-41.
23. Новожилов Г.В. Безопасность полета самолета. Концепция и технология / Г.В. Новожилов, М.С. Неймарк, Л.Г. Цесарский. - М. : Машиностроение, 2003. - 144 с.
24. Основи теорії надійності, експлуатації та ремонту радіоелектронної апаратури / О.В. Соломенцев, Ю.М. Хмелько, І.К. Жаров та ін.; Нац. авіац. ун-т. – К., 2007. – 108 с.
25. Барлоу Р. Статистическая теория надежности и испытание на безотказность / Р. Барлоу, Ф. Прошан. – М. : Наука, 1984. - 328 с.
26. Надійність та експлуатація систем та комплексів авіаційного обладнання. Терміни та визначення. ДСТУ 3589-97. – К. : Держстандарт, 1997.
27. Техническая эксплуатация авиационного оборудования / В.Г. Воробьев, В.Д. Константинов, В.Г. Денисов и др. - М. : Транспорт, 1990.- 296 с.
28. Бурлаков В.І. Надійність авіаційної техніки / В.І. Бурлаков, І.М. Новіков, В.В. Порва / Київ. міжнар. ун-т цивільної авіації. – К., 2000. – 116 с.
29. Дмитриченко М.Ф. Надійність конструкцій дорожнього одягу : навч. посібник / М.Ф. Дмитриченко, М.М. Дмитрієв, І.П. Гамеляк, В.Ф. Райковський, Я.М. Якименко. – К. : НТУ. – 2012. – 206 с.
30. Ушаков И.А. Надёжность: прошлое, настоящее, будущее / И.А. Ушаков // Reliability: Theory & Applications. – 2006. – January, № 1. – С. 17-27.
31. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов : учеб. пособие / Г.Н. Черкесов. – СПб. : Питер, 2005. – 479 с.
32. Гнатієнко Г.М., Снитюк В.Є. Експертні технології прийняття рішень: Монографія. – К.: ТОВ «Маклаут», 2008. – 444 с.
33. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем / И.А. Рябинин. - СПб. : Политехника, 2000. - 248 с.

34. Аль-Аммори Али. Полипараметрический принцип распознавания пожаров авиадвигателей / Али Аль-Аммори, А.О. Дегтярева, А.Е. Ключан, Хафед И.С. Абдулсалам // Systemy i srodki transportu samochodowego. Badania i technologia silnikow spalinowych: wybrane zagadnienia ; Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Lukaszewicza. – Rzeszowska : Transport, 2017. Monografia nr. 9. – С. 7-14.

35. Al-Ammouri, A. Development of a mathematical model of information serial redundancy of management information systems of the aircraft fire alarm [Text] / A. Al-Ammouri, P. Dyachenko, A. Degtiarova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 2, Issue 9 (86). – P. 4–10. doi: 10.15587/1729-4061.2017.96296.

36. Аль-Амморі Алі. Вибір оптимальної завантажки мікропроцесора в комплексних системах обробки інформації / Алі Аль-Амморі, А.Є. Ключан, Х.А. Аль-Амморі, А.О. Дегтярьова // Slovak international scientific journal. – Bratislava, 2018. — № 14, Vol. 1. – С. 43- 48.

37. Al-Ammouri Ali. Estimation the Information Reservation Effectiveness of Unmanned Aerial Vehicle Information-Control System / Ali Al-Ammouri, A.O. Degtiarova, H.A. Al-Ammori, A.E. Klochan, O.P. Tymchenko // Electronics and control systems. – 2017. – № 4(54). – P. 18–26.

38. Al-Ammouri Ali. Probabilistic models reliability of information and control systems / Ali Al-Ammouri, H.A. Al-Ammori, A.E. Klochan, A.O. Degtiarova // Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics. – 2018. – № 3(1). – P. 60-69. doi:10.14254/jsdtl.2018.3-1.6.

39. Аль-Аммори Х.А. Статистическая оценка технологической сложности особых случаев в полете по сводкам аварийных контрольных карт / Х.А. Аль-Амморі, А.О. Дегтярева, А.Е. Ключан // Вісник Національного транспортного університету : науково-технічний збірник. Серія "Технічні науки". - К. : НТУ, 2018. - Вип. 1(40). - С. 3-10.

40. Аль-Аммори Али. Логико-математические основы создания информационно-факторных технологий как нового вида процессных

технологий / Али Аль-Аммори, Х.А. Аль-Аммори, А.О. Дегтярова, А.Є. Ключан, Я.А. Лудченко // Slovak international scientific journal. – Bratislava, 2018. – № 22, Vol. 1. – С. 12–17.

41. Синдеев И.М. Электрооборудование летательных аппаратов / И.М. Синдеев, Ю.Е. Воскресенский, В.И. Блинов. – Даугавпилс : ДВВАИУ им Яна Фабрициуса, 1984. - 396 с.

42. Скрипец А.В., Єгоров С.Г., Белов М.А., Яппаров А.Н., Тризна О.О. Регіональний/магістральний літак та його авіоніка.: Навчальний посібник /За заг. ред. А.В. Скрипця – К.: НАУ, 2016. – 300 с 3.1.3.

43. AIRCRAFT Maintenance Manual 737-300/400/500. - Seattle, Washington, USA: Boeing commercial Airplanes group, 1999 – 5417 p.

44. Fundamentals of the Starting of Metal Fires Using Titanium Fires as an Example// Aeroengine Safety, Institute of Thermal Turbomachinery and Machine Dynamics. Graz University of Technology// <https://aeroenginesafety.tugraz.at/doku.php?id=9:91:911:911>.

45. Aeroengine Safety: Damages from Metal Fires. - Режим доступа: <https://aeroenginesafety.tugraz.at/doku.php?id=9:91:912:912#prettyPhoto>.

46. Engine Fire Detection Systems and Fire Zones - Aircraft Engine Fire Protection Systems. - Режим доступа: <https://www.aircraftsystemstech.com/p/engine-fire-detection-systems.html>.

47. Titanium Fire in jet engines. - Режим доступа: <https://www.fire.tc.faa.gov/pdf/fsr-0457.pdf/>

48. Авиационные правила. Ч. 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории / Межгос. авиац. комитет. – М., 1994. – 332 с.

49. Кучерявый А.А. Бортовые информационные системы : курс лекций / А.А. Кучерявый; под ред. В.А. Мишина и Г.И. Ключева. – 2-е изд. перераб. и доп. – Ульяновск : УЛГТУ, 2004. – 504 с.

50. Гвоздева В.А. Основы построения автоматизированных информационных систем / В.А. Гвоздева, И.Ю Лаврентьева. - М. : ИД "Форум"–Инфра, 2007. - 318 с.

51. Ильинский В.М. Системы контроля авиационных силовых установок / В.М. Ильинский. – М. : Транспорт, 1980. – 85 с.
52. Давиденко М.Ф. Летная эксплуатация силовых установок и систем воздушных судов : учебное пособие / М.Ф. Давиденко. – Киев : КИИГА, 1986. – 144 с.
53. Системы оборудования летательных аппаратов : учебник для студентов втузов / М.Г. Акопов, В.И. Бекасов, А.С. Евсеев и др.; под ред. А.М. Матвеевко и В.И. Бекасова. – М. : Машиностроение, 1986. – 368 с.
54. Єгоров С.Г., Белов М.А. Датчики авіоніки. Контроль параметрів роботи двигуна: Конспект лекцій / За заг.ред. А.В.Скрипця. – К.: НАУ, 2007. – 60 с.
55. В.Е. Снитюк, А.О. Биченко. Аспекты нечеткости при моделировании процессов распространения пожара на особо опасных объектах // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2006. – Вып. 134. – С.89-93.
56. Надёжность и безопасность информационно-управляющих систем (методы оценивания и контроля) / Ю.В. Антонов, В.П. Белов, А.Д. Голяков и др. - СПб. : ОАО "НИИ ТМ", 2004. - 326 с.
57. Безопасность полетов / под ред. Р.В. Сакача. - М. : Транспорт, 1989. – 240 с.
58. Биковцев І.С. Якість та ефективність системи організації повітряного руху / І.С. Биковцев, В.С. Дем'янчук, В.О. Клименко / Мін-во транспорту та зв'язку України. – К. : НТУ, 2010. – 316 с.
59. Бабуров В.И. Принципы интегрированной бортовой авионики / В.И. Бабуров, Б.В. Пономаренко. – СПб : Агентство «РДК-Принт», 2005. – 448 с.
60. Воробьев В.Г. Авиационные приборы, информационно измерительные системы и комплексы : учебник для ВУЗов / В.Г. Воробьев, В.В. Глухов, И.К. Кадышев. - М. : Транспорт, 1992. — 399 с.

61. Браславский Д.А. Авиационные приборы и автоматы / Д.А. Браславский, С.С. Логунов, Д.С. Пельпор. - 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1978. — 432 с.
62. Виглеб Г. Датчики: устройство и применение / Г. Виглеб; пер с нем. — М. : Мир, 1989. — 196 с.
63. Датчики: [справочник] / З.Ю. Готра, Л.Я. Ильницкий, Е.С. Полищук и др.; под ред. З.Ю. Готры, О.И. Чайковского. — Львов : Каменяр, 1995. — 312 с.
64. Авиационное оборудование самолетов ТУ-154А, ТУ-154Б.-4.1 / В.Е. Коваленко, П.А. Иванов, Ю.В. Анпилогов, Е.Е. Бойков. - М. : Машиностроение, 1984. - 380 с.
65. Устройство эксплуатации силовых установок самолетов Ил-96-300, Ту-204, Ил-114 : учебное пособие для вузов / Б.А. Соловьев, А.А. Иноземцев, А.А. Куландин и др.; под ред. Б.А. Соловьева. - М. : Транспорт, 1993. - 171с.
66. Самолет ИЛ-96-300 / под ред. В.Г. Воробьева и Д.В. Лещинера. — Москва : МИИГА — 1989. - 183 с.
67. Среднемагистральный транспортный самолет Ан-70-100 = Antonov An-70-100 medium transport aircraft // Гражданская авиация России. — М. : Военный парад, 2004. - С. 77 : ил.
68. Среднемагистральный реактивный многоцелевой самолет Ан-74 = Antonov An-74 medium-range multipurpose jet airliner // Гражданская авиация России. — М. : Военный парад, 2004. - С. 78-79 : ил.
69. Ближнемагистральный самолет Ан-140-100 = Antonov An-140-100 short-range airliner // Гражданская авиация России. — М. : Военный парад, 2004. - С. 76 : ил.
70. Региональный самолет Ан-148-100 = An-148-100 regional airliner // Гражданская авиация России. — М. : Военный парад, 2004. - С. 81 : ил.
71. Кулик Н.С. (ред.) Энциклопедия безопасности авиации. Киев, Техника, 2008 - 1000 с.

72. Косточкин В.В. Надежность авиационных двигателей и силовых установок : учебник для студентов авиационных специальностей вузов / В.В. Косточкин. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1988. — 272 с.

73. Лозицкий Л.П. Летная эксплуатация двигателя НК-8-2У и его функциональные системы : учебное пособие / Л.П. Лозицкий и др. — Киев : КИИГА, 1988. — 88 с.

74. Авиационные двухконтурные двигатели Д-30КУ и Д-30КП (конструкция, надежность и опыт эксплуатации) / Л.П. Лозицкий, М.Д. Авдошко, В.Ф. Березлев и др. - М. : Машиностроение, 1988. — 228 с.

75. Нападов К.А. Анализ надёжности системы самолёта на этапе проектирования / К.А. Нападов. — Самара, 2010. — 19 с.

76. Авторский процессный подход (авторский взгляд на первое десятилетие внедрения процессного подхода в глобальном масштабе: 1995-2005гг.). А.п. № 16117. Украина / Е.М. Хохлов, Али Аль-Аммори; заявл. 04.04.06; опубл. 15.07.06; Авторське право і суміжні права; Бюл. № 9. - 174 с.

77. Безопасность полетов. Исследование развития особой ситуации. — Киев, 1993. - 20 с.

78. Челюканов И.П. Противопожарные системы фирмы "Боинг" / И.П. Челюканов. — Киев : КМУГА, 1996. — 30 с.

79. Пассажирский самолет Боинг-757. - М. : ЦАГИ, 1987. — 76 с.

80. Руководство по летной эксплуатации самолета Боинг 747-400: В 2-х ч. Ч. I-II. - 1988.

81. Патент №38271А, Украина. Система пожарной сигнализации, Гапич В.В., Будко В.Г., Дашковский А.А., Дремлюга В.Я. и др. — 2001 г. — Бюл. № 4.

82. Самолет АН-140. Руководство по технической эксплуатации. 026. пожарное оборудование, 028. топливная система, 049. вспомогательная силовая установка. - Киев. - 312 с.

83. Самолет АН-140. Руководство по технической эксплуатации. - Киев. - 489 с.

84. Анализ состояния безопасности полетов в гражданской авиации Российской Федерации в 2018 году. – Москва, 2019. - 89 с.
85. Кулик Н.С. Параметрические методы оценки технического состояния авиационных ГТД в эксплуатации / Н.С. Кулик. – Киев : КИИГА, 1993. – 139 с.
86. Дмитриев С.А. Диагностирование проточной части газотурбинных двигателей на переходных режимах работы / С.А. Дмитриев. – Киев : КМУГА, 1996. – 120 с.
87. Богданович А.А. Обеспечение отказоустойчивости систем сигнализации о пожаре самолетов третьего поколения / А.А. Богданович, А.А. Шейников // Сборник научных статей по материалам IV Всероссийской научно-практической конференции «Академические Жуковские чтения», 23–24 ноября 2016 г. - С. 24-29.
88. Герасимова Д.С. Резервирование элементов как способ повышения надежности / Д.С. Герасимова, А.А. Палухин // Эксплуатация и надежность авиационной техники. – 2017. - С. 431-433.
89. Воробьев В.Г. Надежность и эффективность авиационного оборудования / В.Г. Воробьев, В.Д. Константинов.- М.: Транспорт, 1995.- 245 с.
90. Лужецкий В.К. Критерии эффективности бортовых средств противопожарной защиты пассажирских самолетов / В.К. Лужецкий // Труды ГосНИИГА. – 1984. - Вып. 230. – С. 76-80.
91. Барботько С.Л. Требования авиационных норм и методы оценки пожарной безопасности авиационных материалов: история, современное состояние и перспективы развития / С.Л. Барботько // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. - 2014. - Выпуск 3(12). - С. 23-33.
92. Mouritz A.P. Fire Properties of Polymer Composite Materials / A.P. Mouritz, A.G. Gibson. - Springer, Dordrecht, The Netherlands. – 2006. – 398 p.
93. ATS 1000.001. Technical Specification. Fire-Smoke Test Specification. - Airbus Industrie, 1979. – 54 p.

94. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). Doc 9859. AN/474. - 3-е изд. – Монреаль : ИКАО, 2013. - 300 с.

95. Аналіз стану безпеки польотів за результатами розслідування авіаційних подій та інцидентів з цивільними повітряними суднами України та суднами іноземної реєстрації, що стались в 2019 році. - Режим доступу : <http://nbaai.gov.ua/wp-content/uploads/2020/05/analysis2019.pdf> (дата звернення 28.12.2020).

96. Безопасность полетов летательных аппаратов: методические основы / А.И. Стариков, В.Я. Зачеса, Н.Н. Зинковский и др.; под ред. А.И. Старикова. - М. : Транспорт, 1988. - 159 с.

97. Аль-Аммори Али. Анализ путей перехода от системной к процессной эффективности перспективных информационно-управляющих систем воздушных судов нового поколения / Али Аль-Аммори // Проблемы безопасности полетов : науч.-техн. журн. / ВИНТИ. - М., 2007. - № 8. - С. 3-13.

98. Системная эффективность программированной эксплуатации объектов новой техники. Теоретические основы и методы повышения системной эффективности авиационного оборудования / В.И. Гриценко, В.М. Воробьев, А.А. Тимченко, П.Р. Левковец, Али Аль-Аммори. - (Препринт / НАН Украины. Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова, 96-6). – Киев, 1996. - 30 с.

99. Системная эффективность программированной эксплуатации объектов новой техники. Реализация системной эффективности логико-динамических комплексов воздушных судов на базе раскрытия их внутренних свойств на жизненном цикле / В.М. Воробьев, А.А. Тимченко, П.Р. Левковец, А.Д. Киселев и др. - (Препринт / АН УССР. Ин-т Кибернетики им. В.М. Глушкова, 91-36). - Киев, 1991 - 28 с.

100. Цюцюра С. В. Теоретичні основи та сутність управлінських рішень. моделі прийняття управлінських рішень / Цюцюра С. В. , Криворучко О. В., Цюцюра М. І. // Управління розвитком складних систем. – К.: 2012 . віп. 9. - С. 50-58.

101. Самолет АН-74Т-100. Руководство по летной эксплуатации //

Гражданская авиация России. – М. : Военный парад, 2004. – 570 с.

102. Темников Ф.Е. Теоретические основы информационной техники / Ф.Е. Темников, В.А. Афонин, В.И. Дмитриев. - М. :Энергия, 1971. - 410 с.

103. Абезгаус Т.Т. Справочник по вероятностным расчетам / Т.Т. Абезгаус, А.П. Тронь и др. - М. : Воениздат, 1989. - 656 с.

104. Левин Б.Р. Теоретические основы статической радиотехники / Б.Р. Левин. - М. : Сов. радио, 1975. - 390 с.

105. Ширяев А.Н. Вероятностно-статистические методы в теории принятия решений / А.Н. Ширяев. - 2-е изд., новое. — М. : МЦНМО, 2014. — 144 с.

106. Данчук В.Д. Компьютерные и информационные технологии : учебн. пособ. / В.Д. Данчук, Али Аль-Аммори, Е.П.Тимченко, А.Е. Клочан, Х.А. Аль-Аммори. – К. : НТУ, 2018. – 154 с.

107. Методи, моделі і алгоритми розв'язання задач теорії ігор : навчальний посібник / В.Д Данчук, Г.С. Прокудін, О.І. Цуканов, А. Аль-Амморі. – К. : НТУ, 2018. – 334 с.

108. Цюцюра М. І. Структура інформаційних потоків в інформаційній системі виробничого підприємства / Цюцюра М. І. , Криворучко О. В. , Мединська Т. М. // Управління розвитком складних систем. – К.: 2019 . вип. 37. - С. 205-208.

109. Nisan N. Algorithmic Game Theory / N. Nisan, T. Roughgarden, E. Tardos, V.V. Vazirany. - Cambridge University Press, 2007.– 754 с.

110. Корченко А.Г. Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и практические решения / А.Г. Корченко. – К. : МК-Прес, 2006. – 320 с.

111. Аль-Амморі А. Інформаційна технологія дослідження ймовірнісної моделі надійності складних систем / А. Аль-Амморі, О.І. Цуканов // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. – К. : НТУ – 2016. – Вип. 4. – С. 3-16.

112. Аль-Амморі Алі. Елементи теорії надійності комп'ютеризованих систем : навч. посібник з розв'язанням задач у Mathcad / Алі Аль-Амморі. – К. : НТУ, 2016. – 238 с.

113. Al-Ammouri Ali. Effectiveness of the Information Redundancy System under Real Technical Reliability / Ali Al-Ammouri, O. Melnichenko, V. Mironova, V. Tscvetkov // Proceedings of the Section of Young Researchers and Scientists (SYRAS) on the 10th International Conference on Digital Technologies, 2014, University of Zilina in Zilina, Slovakia, 2014, P. 1-4.

114. Дмитрієв М.М. Реалізація стохастичної моделі надійності систем засобами інформаційних технологій / М.М. Дмитрієв, Алі Аль-Амморі, І.М. Цуканов // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. – К. : НТУ, 2015. – Вип. 3. - С. 16-25.

115. Al-Ammouri Ali. Methods for improving the data reliability in information and control systems / Ali Al-Ammouri, H.A. Al-Ammori, A.E. Klochan, O.P. Tymchenko, A. Al-Ahmad // Electronics and control systems. – 2018. — № 4(58). – P. 107–114.

116. Дмитриев С.П. Информационная надежность, контроль и диагностика навигационных систем / С.П. Дмитриев. - Санкт-Петербург, 2004.- 206 с.

117. Колемаев В.А. Теория вероятностей и математическая статистика : учебник / В.А. Колемаев, В.Н. Калинина. – Москва : Юнити, 2015. – 352 с.

118. Новиков В.С. Техническая эксплуатация авиационного радиоэлектронного оборудования / В.С. Новиков. - М. : Транспорт, 1987. – 261 с.

119. Вентцель Е.С. Теория вероятности и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А Овчаров. - М. : Наука, 1988. - 480 с.

120. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А Овчаров. - М. : Наука, 1991. - 384 с.

121. Балашов Е.П. Микропроцессоры и микропроцессорные системы / Е.П. Балашов, Д.В. Пузанков. - М. : Радио и связь, 1988. -368 с.

122. Каган Б.М. Основы проектирования микропроцессорных устройств автоматики / Б.М. Каган, В.В. Сташин. - М. : Энергоиздат, 1987. - 304 с.

123. Гусев В.Г. Электроника / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. - М. : Высш шк., 1991. - 622 с.

124. Основы промышленной электроники / В.Г. Герасимов, О.М. Князьков, А.Е. Краснопольский и др.; под ред. В.Г. Герасимова. - М. : Высш. шк., 1986. – 336 с.

125. Токхейм Р. Основы цифровой электроники / Р. Токхейм; пер. с англ. - М. : Мир, 1988. - 392 с.

126. Спосіб виявлення пожежі авіадвигуна повітряного судна : пат. 131528 Україна: МПК G08B 19/00 / Алі Аль-Амморі, А.Є. Ключан, Х.А. Аль-Амморі, А.О. Дегтярьова, І.М. Верховецька, І.С. Абдулсалам Хафед, О.П. Тимченко. - № u201805397; заявл. 15.05.2018; опубл. 25.01.2019, Бюл. № 2.- 4 с.

127. Комп'ютерна програма «Вибір і оптимізація структур інформаційно-резервованої системи первинних датчиків пожежної сигналізації» : А.с. № 80403 від 23.07.2018 / Алі Аль-Амморі, А.О. Дегтярьова, Х.А. Аль-Амморі, А.Є. Ключан, Хафед І.С. Абдулсалам, І.М. Верховецька.

Додаток А

Навчальна програма розкриття ймовірнісних подій

```

package domain;
import java.util.ArrayList;
import java.util.Arrays;
public class Polinome {
    /*
    * */
    private static String input;
    private static ArrayList<String> element = new ArrayList<>();
    private static ArrayList<String> operator = new ArrayList<>();
    private static ArrayList<Integer> koeficient = new ArrayList<>();
    private static String result;
    private static Integer power;
    public Polinome(){}
    public Polinome(String input, Integer power) {
        this.input = input;
        this.power = power;
    }
    public ArrayList<String> getElement() {
        return element;
    }
    public void setElement(ArrayList<String> element) {
        this.element = element;
    }
    public ArrayList<String> getOperator() {
        return operator;
    }
    public void setOperator(ArrayList<String> operator) {
        this.operator = operator;
    }
    public ArrayList<Integer> getKoefficient() {
        return koeficient;
    }
    public void setKoefficient(ArrayList<Integer> koeficient) {
        this.koeficient = koeficient;
    }
    public static String getResult() {
        return result;
    }
    public static void setResult(String result) {
        Polinome.result = result;
    }
}

```

```

public static Integer getPower() {
    return power;
}
public static void setPower(Integer power) {
    Polinome.power = power;
}
@Override
public String toString() {
    final StringBuilder sb = new StringBuilder("domain.Polinome{");
    sb.append("result=").append(result).append("\n");
    sb.append('}');
    return sb.toString();
}
private static void precalculation() {
    String polynom = new String(input.replaceAll("[^+-A-Za-z]", ""));
    System.out.println(polynom);
    String[] elementArr = polynom.split("\\+|\\-");
    String[] operatorArr = polynom.split("[A-Za-z]");
    System.out.println(Arrays.toString(elementArr));
    System.out.println(Arrays.toString(operatorArr));
    for(int i=0;i<elementArr.length;i++){
        if(operatorArr[i].equals("")){
            operator.add("+");
        }
        else {
            operator.add(operatorArr[i].substring(0,1));
        }
    }
    for(int i=0;i<elementArr.length;i++){
        if(elementArr[i]!="") {
            element.add(elementArr[i]);
        }
    }
}
public static void run(){
    precalculation();
}
}
package domain;
public class ResultElement {
    private int aPower;
    private int bPower;
    private int dPower;
    private int fPower;
    public ResultElement() {}
}

```



```

public ResultElement(int aPower, int bPower, int dPower, int fPower) {
    this.aPower = aPower;
    this.bPower = bPower;
    this.dPower = dPower;
    this.fPower = fPower;
}
public int getaPower() {
    return aPower;
}
public void setaPower(int aPower) {
    this.aPower = aPower;
}
public int getbPower() {
    return bPower;
}
public void setbPower(int bPower) {
    this.bPower = bPower;
}
public int getdPower() {
    return dPower;
}
public void setdPower(int dPower) {
    this.dPower = dPower;
}
public int getfPower() {
    return fPower;
}
public void setfPower(int fPower) {
    this.fPower = fPower;
}
@Override
public String toString() {
    final StringBuilder sb = new StringBuilder();
    if(aPower > 1){
        sb.append("a^").append(aPower);
    }
    else if(aPower == 1){
        sb.append("a");
    }
    if(bPower > 1){
        sb.append("b^").append(bPower);
    }
    else if(bPower == 1){
        sb.append("b");
    }
}

```

```

        if(dPower > 1){
            sb.append("d^").append(dPower);
        }
        else if(dPower == 1){
            sb.append("d");
        }
        if(fPower > 1){
            sb.append("f^").append(fPower);
        }
        else if(fPower == 1){
            sb.append("f");
        }
        return sb.toString();
    }
}

package model;
import domain.Polinome;
import domain.ResultElement;
import java.io.FileWriter;
import java.io.IOException;
import java.util.ArrayList;
import java.util.Calendar;
import java.util.Scanner;
public class Calculation {
    static String polynome;
    static int power;
    static ArrayList<String> baseOperator = new ArrayList<>();
    static ArrayList<String> baseElement = new ArrayList<>();
    static Polinome polinome;
    static FileWriter reportWriter;
    public static void main(String[] args) {
        Scanner scanner = new Scanner(System.in);
        System.out.println("Введіть вираз для піднесення в степінь
(ВИКОРИСТОВУЙТЕ ЛІТЕРИ \"a\", \"b\", \"d\", \"f\")");
        polynome=scanner.next();
        System.out.println("Введіть степінь до якого потрібно піднести поліном");
        power = scanner.nextInt();
        polinome = new Polinome(polynome,power);
        polinome.run();
        baseElement = listCopy(polinome.getElement());
        baseOperator = listCopy(polinome.getOperator());
        calculation();
        differentcalculation();
    }
}
// метод розрахунку для однакових датчиків

```

```

private static void calculation(){
    for(int k = 1; k<polinome.getPower();k++){
        ArrayList<String> midlResult = new ArrayList<>();
        ArrayList<String> operator = new ArrayList<>();
        for(int i = 0; i<baseElement.size(); i++){
            for(int j = 0; j<polinome.getElement().size(); j++){
                midlResult.add(baseElement.get(i)+polinome.getElement().get(j));
operator.add(operatorCheck(baseOperator.get(i),polinome.getOperator().get(j)));
            }
        }
        polinome.setElement(midlResult);
        polinome.setOperator(operator);
    }
    System.out.println(polinome.getElement());
    System.out.println(polinome.getOperator());
    try {
        prepearPrint();
        printResult();
    } catch (IOException e) {
        e.printStackTrace();
    }
}

// метод розрахунку для різних датчиків
private static void differentcalculation(){
    ArrayList<ArrayList<String>> polinomes = difrent();
    baseElement = polinomes.get(0);
    for(int k = 1; k<polinome.getPower();k++){
        ArrayList<String> midlResult = new ArrayList<>();
        ArrayList<String> operator = new ArrayList<>();
        ArrayList<Integer> koeficient = new ArrayList<>();
        for(int i = 0; i<baseElement.size(); i++){
            for(int j = 0; j<polinomes.get(k).size(); j++){
                midlResult.add(baseElement.get(i)+polinomes.get(k).get(j));

operator.add(operatorCheck(baseOperator.get(j),polinome.getOperator().get(i)));
                koeficient.add(1);
            }
        }
        baseElement = listCopy(midlResult);
        polinome.setElement(baseElement);
        polinome.setOperator(operator);
        polinome.setKoeficient(koeficient);
    }
    System.out.println(polinome.getElement());
    System.out.println(polinome.getOperator());
}

```

```

    try {
        printResult();
    } catch (IOException e) {
        e.printStackTrace();
    }
}

// метод копіювання масива елементів
private static ArrayList<String> listCopy(ArrayList<String> base){
    ArrayList<String> temp = new ArrayList<>();
    for(String el: base){
        temp.add(el);
    }
    return temp;
}

// метод визначення знаку елементу
private static String operatorCheck(String el1, String el2){
    if(el1.equals(el2)){
        return "+";
    }
    else{
        return "-";
    }
}

//метод підготовки даних до друку (визначення степенів та зведення подібних доданків)
private static void prepearPrint(){
    ArrayList<String> elements = new ArrayList<>();
    ArrayList<Integer> koeficient = new ArrayList<>();
    int aPower = 0;
    int bPower = 0;
    int dPower = 0;
    int fPower = 0;

//    частина коду яка відповідає за визначення степенів складових (a b d f)
    for(String element: polinome.getElement()){
        aPower = 0;
        bPower = 0;
        dPower = 0;
        fPower = 0;
        for(char elementChar: element.toCharArray()){
            if(elementChar == 'a'){
                aPower++;
            }
            else if(elementChar == 'b'){
                bPower++;
            }
        }
    }
}

```

```

        else if (elementChar == 'd'){
            dPower++;
        }
        else if (elementChar == 'f'){
            fPower++;
        }
    }
    ResultElement temp = new ResultElement(aPower,bPower,dPower, fPower);
    elements.add( temp.toString());
}
// частина коду, яка відповідає за зведення подібних доданків
for(int i = 0; i<elements.size(); i++){
    int elementKoefficient = 1;
    for (int j = elements.size()-1; j>i; j--){
        if(elements.get(i).equals(elements.get(j))){
            if(polinome.getOperator().get(i).equals(polinome.getOperator().get(j))){
                elementKoefficient++;
            }
            else{
                elementKoefficient--;
            }
            elements.remove(j);
            polinome.getOperator().remove(j);
        }
    }
    koefficient.add(elementKoefficient);
}
polinome.setKoefficient(koefficient);
polinome.setElement(elements);
}
private static void printResult() throws IOException {
    reportWriter = new FileWriter("tip" + power + " " +
Calendar.getInstance().getTime() + ".dat");
    StringBuilder sb = new StringBuilder();
    int temp = 1;
    if(polinome.getOperator().get(0).equals("+")){
        sb.append(" " + printElement(polinome.getElement().get(0),
polinome.getKoefficient().get(0)));
    }
    else{
        sb.append(polinome.getOperator().get(0)+printElement(polinome.getElement().get(0)
, polinome.getKoefficient().get(0)));
    }
    for (int i = 1; i<polinome.getElement().size(); i++){
        temp++;
    }
}

```

```

        sb.append(" " + polinome.getOperator().get(i) + " "+
printElement(polinome.getElement().get(i), polinome.getKoefficient().get(i)));
        if(temp==10){
            temp=0;
            System.out.println(sb.toString());
            reportWriter.write(sb.toString() + "\n");
            reportWriter.flush();
            sb = new StringBuilder();
        }
    }
    reportWriter.write(sb.toString() + "\n");
    reportWriter.flush();
    System.out.println(sb.toString());
}

// метод виведення окремого елемента многочлена (елемент з коефіцієнтом 1
виводяться без цифри 1)
private static String printElement(String element, int koefficient){
    if(koefficient == 1){
        return element;
    }
    else {
        return koefficient + element;
    }
}

// метод формування многочлена для різних датчиків
public static ArrayList<ArrayList<String>> difrent(){
    ArrayList<ArrayList<String>> polinomes=new ArrayList<>();
    for(int i =0; i<power; i++){
        ArrayList<String> temp = new ArrayList<>();
        for(int j=0; j<baseOperator.size(); j++){
            temp.add(baseElement.get(j)+(i+1));
        }
        polinomes.add(temp);
    }
    return polinomes;
} }

```

Додаток Б

Програма, алгоритм і результати розрахунку визначення типу структури інформаційно-резервованої системи сигналізації про пожежу

REM Програма визначення типу структури інформаційно-резервованої системи
сигналізації про пожежу

REM резервованої системи первинних датчиків пожежної сигналізації

REM Позначення:

REM P1 - ймовірність правильного виявлення події;

REM P2 - ймовірність виникнення "помилковою" тривоги;

REM P3 - ймовірність невиявлення пожежі;

REM P11 - ймовірність правильного виявлення наявності пожежі;

REM P12 - ймовірність правильного виявлення відсутності пожежі;

REM n - кількість датчиків;

REM q - індекс мажоритарності;

REM a, b, d - імовірнісні характеристики датчиків.

import java.io.FileWriter;

import java.io.IOException;

import java.util.Scanner;

public class Dissertation {

static double C1 = 0.00125;

static double C2 = 0.000125;

static double DP [][] = **new double** [20][10];

static double B1 [][] = **new double** [20][10];

static double B2 [][] = **new double** [20][10];

static double P2 [][] = **new double** [20][10];

```
static double P3 [][] = new double [20][10];
```

```
static FileWriter writer1;
```

```
static FileWriter writer2;
```

```
static double a = 0;
```

```
static double d;
```

```
static double b;
```

```
static int N;
```

```
public static void main(String[] args) throws IOException {
```

```
    Scanner scan = new Scanner(System.in);
```

```
    System.out.println("Введіть загальну кількість датчиків n (максимум 20)");
```

```
    int N = 10; //scan.nextInt();
```

```
    System.out.println("Введіть ймовірність виникнення пожежі pp ");
```

```
    double pp = 0.10; //scan.nextInt();
```

```
    System.out.println("Введіть абсолютне граничне значення ймовірності правильного виявлення пожежі ");
```

```
    double P11gr = 0.1; //scan.nextInt();
```

```
    double qq = 1 - pp;
```

```
    P11gr = P11gr * pp;
```

```
    double a1 = 0.3;
```

```
    double a2 = 0.9;
```

```
    double dela = 0.1;
```

```
    double max;
```

```
    double maxq = 0;
```



```

writer1 = new FileWriter("tip" + N + ".dat");
writer2 = new FileWriter("tipD" + N + ".dat");

writer2.write("Q A B D DP B1 B2\n");

int c [][] = new int [20][20];
double P1 [][] = new double [20][10];

double P11 [][] = new double [20][10];
double P12 [][] = new double [20][10];

// Визначення кількості комбінацій з i по j
for (int i = 1; i <= N; i++){
    c[i][0] = 1;
    c[i][1] = i;
    c[i][i] = 1;
    c[i][i - 1] = i;
}

for (int i = 4; i <= N; i++){
    for (int j = 2; j <= i - 2; j++){
        c[i][j] = c[i - 1][j - 1] + c[i - 1][j];
    }
}

// Визначення ймовірностей P1, P2, P3
writer1.write("Кількість датчиків СПД n = ");
writer1.write(String.valueOf(N)+'\n');
writer1.write("Ймовірність виникнення Пожежі pp =");
writer1.write(String.valueOf(pp)+'\n');

```

metod26();

writer1.write("Q a b d P1 P12 P11 P2 P3\n");

metod26();

int ii1 = (**int**)((a2 - a1 + 0.001)/dela) + 1;

for (**int** i = 1; i <= N; i++) {

for (**int** j = 1; j <= ii1; j++) {

$a = a1 + (j - 1) * dela;$

double d = (1 - a) / 2;

double b = d;

double s = 0;

for (**int** k = 0; k <= N - i; k++) {

$s = s + c[N][N - k] * \text{Math.pow}(b, N - k) * \text{Math.pow}(a + d, k);$

 }

$P2[i][j] = s * qq;$

s = 0;

for (**int** k = 0; k <= i - 1; k++) {

$s = s + c[N][N - k] * (\text{Math.pow}(d, N - k)) * \text{Math.pow}(a + b, k);$

 }

$P3[i][j] = s * pp;$

metod100(i, j);

$P1[i][j] = 1 - P2[i][j] - P3[i][j];$

```

s = 0;
for (int k = i; k <= N; k++) {
    s = s + c[N][N - k] * (Math.pow(d, N - k)) * Math.pow(a + b, k);
}
P11[i][j] = s * pp;

```

```

s = 0;
for (int k = N - i + 1; k <= N; k++) {
    s = s + c[N][N - k] * (Math.pow(b, N - k)) * Math.pow(a + d, k);
}
P12[i][j] = s * qq;

```

```

System.out.println(i);
System.out.println(a);
System.out.println(b);
System.out.println(d);
System.out.println(P1[i][j]);
System.out.println(P12[i][j]);
System.out.println(P11[i][j]);
System.out.println(P2[i][j]);
System.out.println(P3[i][j]);

```

```

writer1.write(String.valueOf(i)+' ');
writer1.write(String.format("%.2f", a)+' ');
writer1.write(String.format("%.2f", b)+' ');
writer1.write(String.format("%.2f", d)+' ');
writer1.write(String.format("%.6f", P1[i][j])+' ');
writer1.write(String.format("%.6f", P12[i][j])+' ');
writer1.write(String.format("%.6f", P11[i][j])+' ');
writer1.write(String.format("%.6f", P2[i][j])+' ');

```

```

        writer1.write(String.format("%.6f", P3[i][j]) + '\n');
    }
    writer1.write('\n');
}
metod26();

//Пошук максимального значення P1 для ідентичних a.b.d.
System.out.print(" При n=" + N + " найбільшою вірогідністю
розпізнавання подій має структура, у якій: ");
System.out.println(" ");
writer1.write(" При n=" + N + " найбільшою вірогідністю розпізнавання
подій має структура, у якій: ");
for (int j = 1; j <= ii1; j++) {
    a = a1 + (j - 1) * dela;
    max = 0;

    for (int i = 1; i <= N; i++) {
        if (P1[i][j] > max) {
            max = P1[i][j];
            maxq = i;
        }
    }
}
System.out.println(" для a=" + a);
System.out.println("b=d=" + (1 - a) / 2);
System.out.println("Індекс мажоритарності Q =" + maxq);

writer1.write(" для a=" + String.format("%.2f", a));
writer1.write(" b=d=" + String.format("%.2f", ((1 - a) / 2)));
writer1.write("(" + "Індекс мажоритарності Q =" + String.format("%d",
(int)maxq) + '\n');

```

```

}
writer1.write("Пошук параметрів структури СПД для якої:");
System.out.print("Пошук параметрів структури СПД для якої:");
writer1.write("P2-мінімальна, а P11 не менш свого граничного значення
\n" );
System.out.println("P2-мінімальна, а P11 не менш свого граничного
значення \n" );

```

```

for (int j = 1; j <= ii1; j++){
    a = a1 + (j - 1) * dela;
    for (int i = 1; i <= N; i++){
        if (P11[i][j] < P11gr) {
            writer1.write(" для a =" + String.format("%.2f", a));
            System.out.print(" для a =" + String.format("%.2f", a));
            writer1.write(" q = " + String.format("%.2f", (double)(i - 1)));
            System.out.print(" q = " + String.format("%.2f", (double)(i - 1)));
            writer1.write(" P11 = " + String.format("%.6f", P11[i - 1][j]));
            System.out.print(" P11 = " + String.format("%.6f", P11[i - 1][j]));
            writer1.write(" P2 = " + String.format("%.6f", P2[i - 1][j])+'\n');
            System.out.println(" P2 = " + String.format("%.6f", P2[i - 1][j])+'\n');
            //break;
        }
    }
}
writer1.close();
writer2.close();
}

```

```

private static void metod100(int i, int j) throws IOException {
    DP[i][j] = P2[i][j] + P3[i][j];
}

```

$$B1[i][j] = P3[i][j] + P2[i][j] + C1 * N;$$

$$B2[i][j] = P3[i][j] + P2[i][j] + C2 * N;$$

```

writer2.write(i);
writer2.write(String.valueOf(a)+' ');
writer2.write(String.valueOf(b)+' ');
writer2.write(String.valueOf(d)+' ');
writer2.write(String.valueOf(DP[i][j])+' ');
writer2.write(String.valueOf(B1[i][j])+' ');
writer2.write(String.valueOf(B2[i][j])+'\n');
}

```

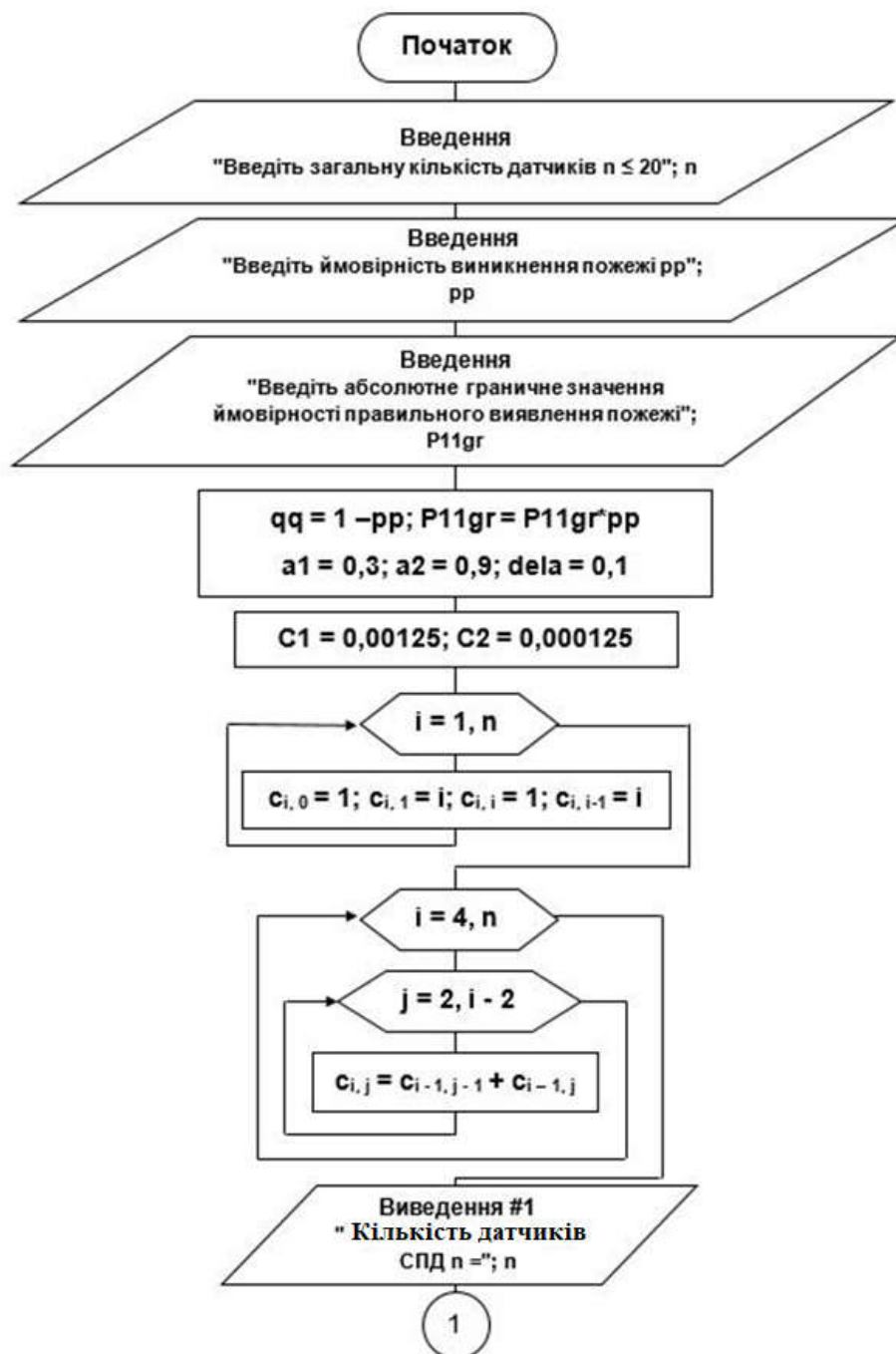
private static void metod26() throws IOException {

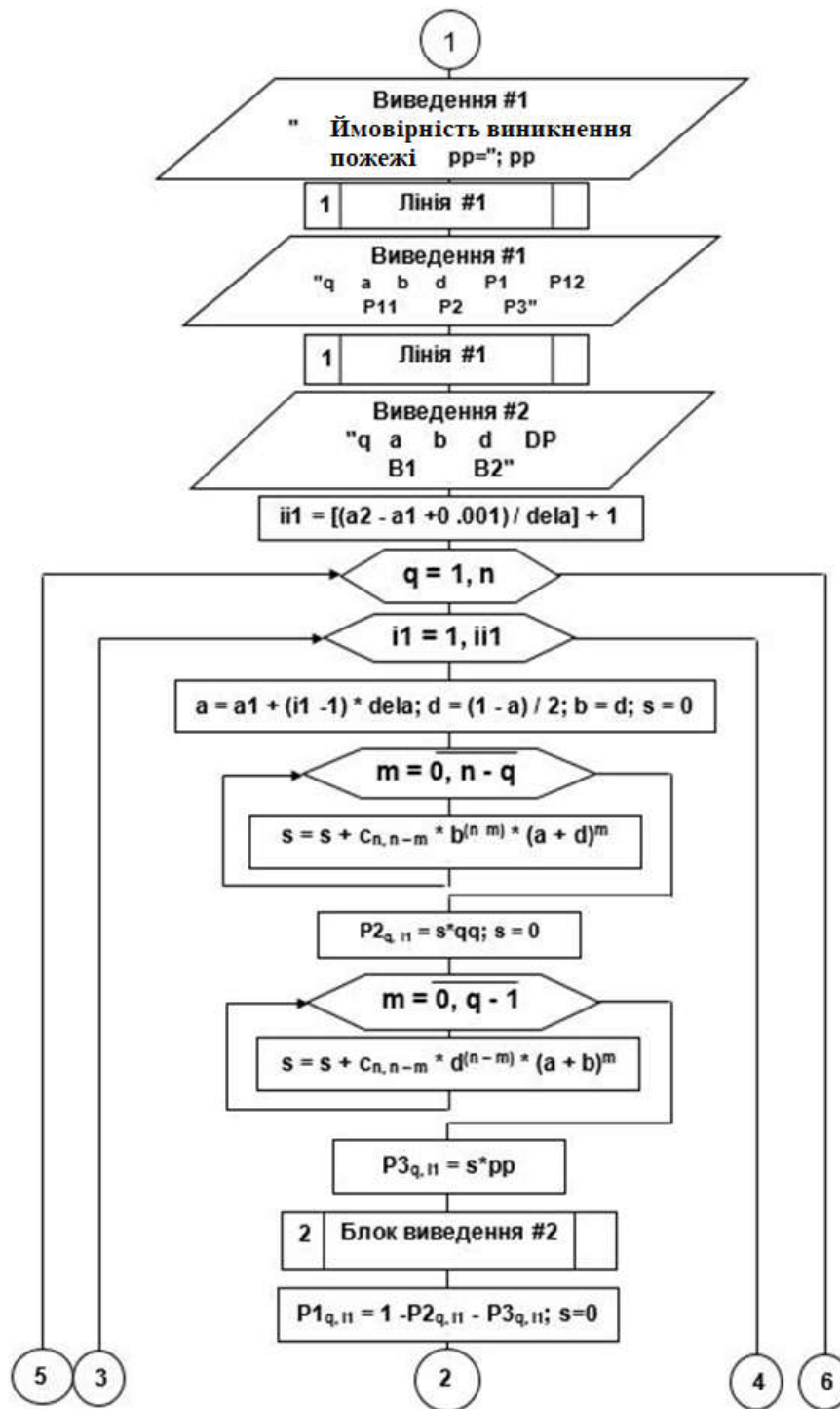
```

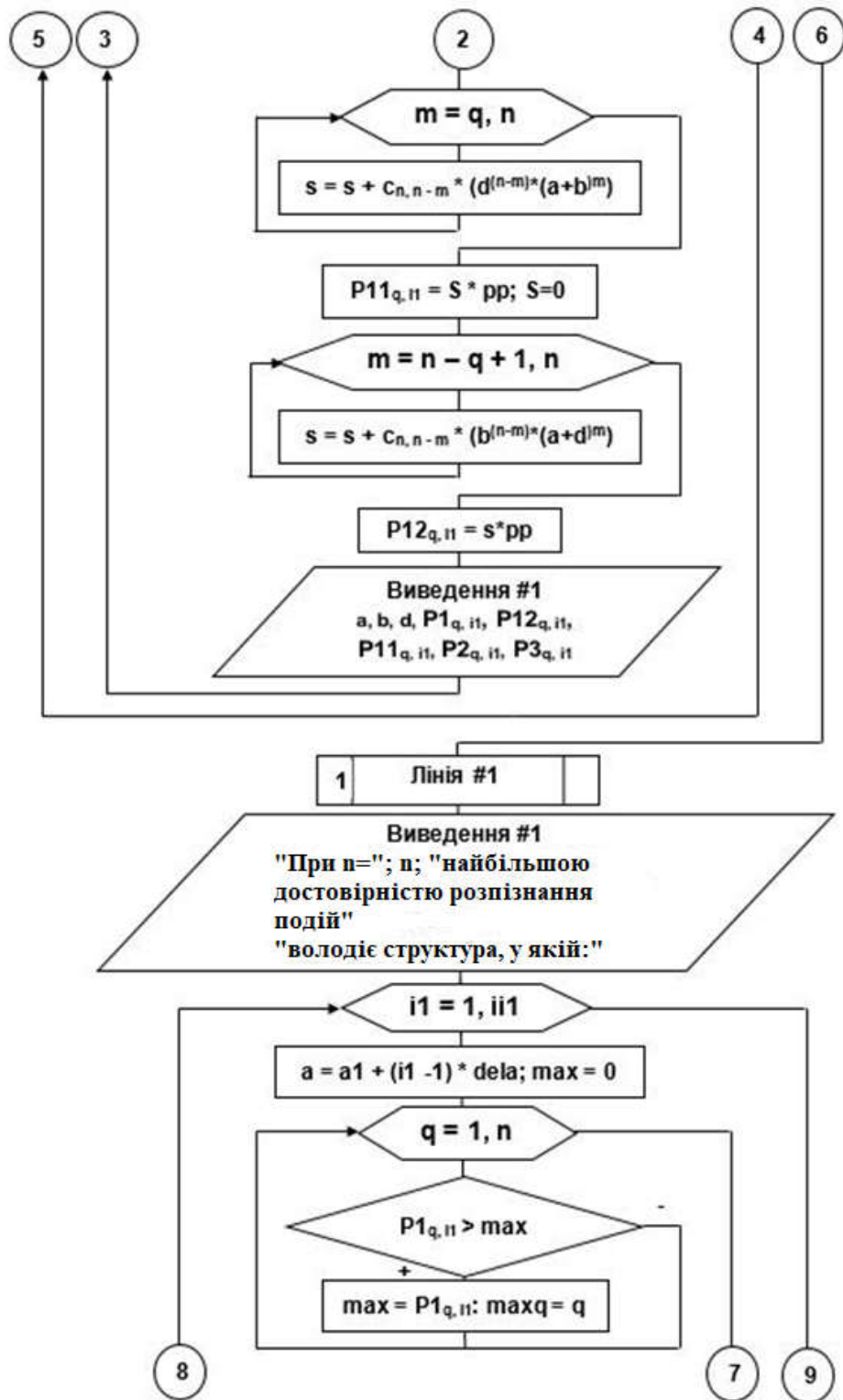
writer1.write("_____
_____\\n");
}
}

```

Блок-схема







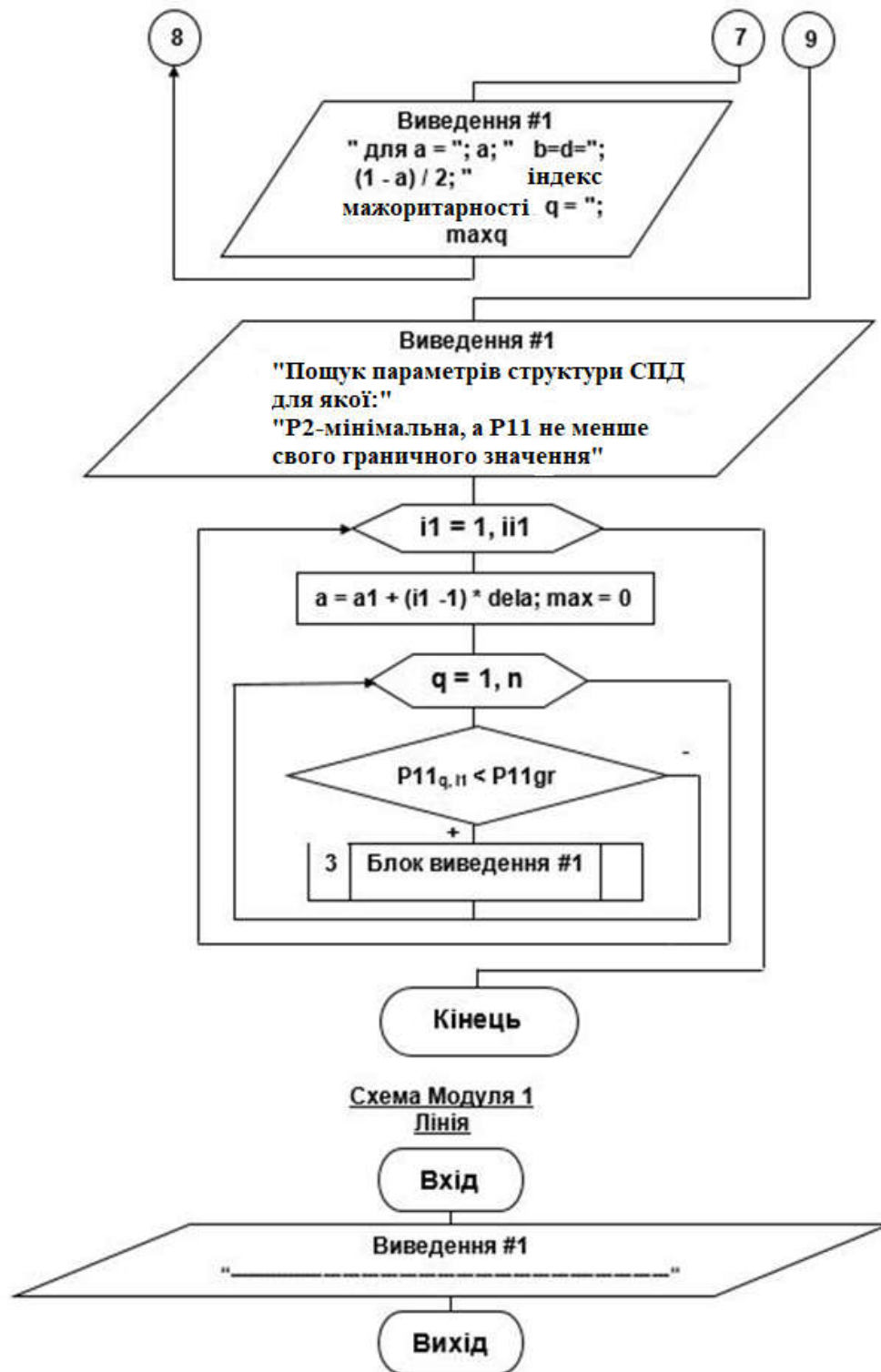


Схема Модуля 2
Блок виведення #2

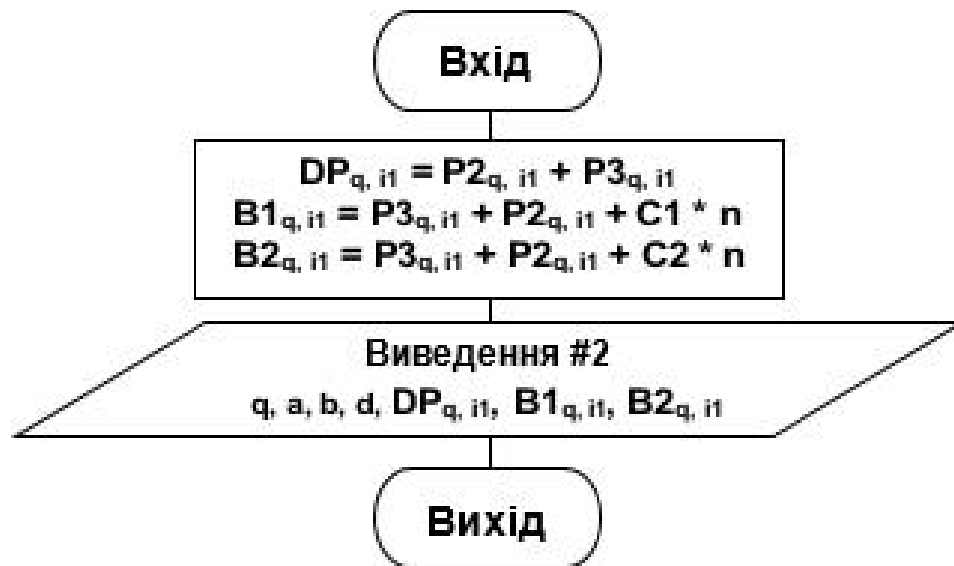
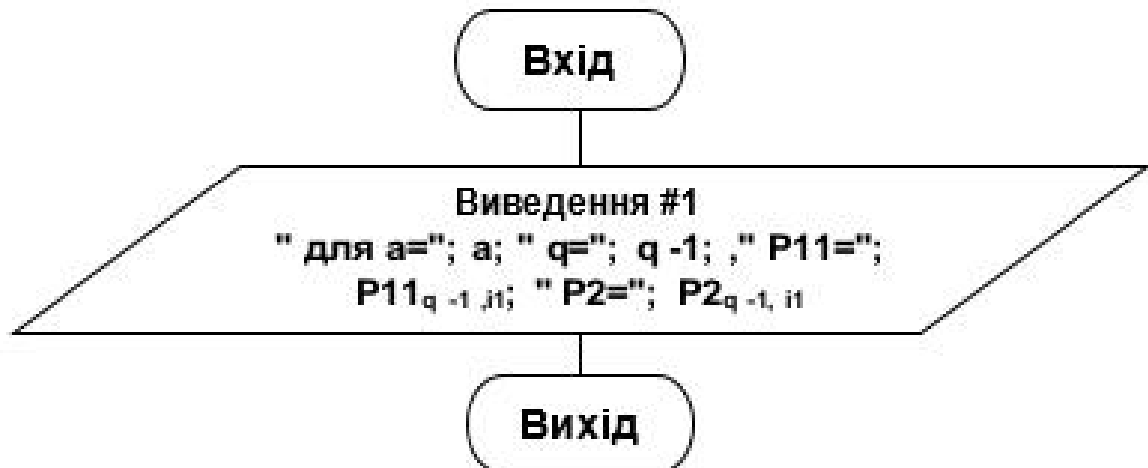


Схема Модуля 3
Блок виведення #1



Додаток В

Результати роботи програми

Кількість датчиків СПД $n = 3$

Ймовірність виникнення Пожежі $pp = 0,1$

Q	a	b	d	P1	P12	P11	P2	P3
01	0,30	0,35	0,35	0,342875	0,027463	0,095713	0,652838	0,004288
01	0,40	0,30	0,30	0,406000	0,034300	0,097300	0,591300	0,002700
01	0,50	0,25	0,25	0,478125	0,042188	0,098438	0,520313	0,001563
01	0,60	0,20	0,20	0,560000	0,051200	0,099200	0,439200	0,000800
01	0,70	0,15	0,15	0,652375	0,061413	0,099663	0,347288	0,000338
01	0,80	0,10	0,10	0,756000	0,072900	0,099900	0,243900	0,000100
01	0,90	0,05	0,05	0,871625	0,085738	0,099988	0,128363	0,000012
02	0,30	0,35	0,35	0,718250	0,071825	0,071825	0,253575	0,028175
02	0,40	0,30	0,30	0,784000	0,078400	0,078400	0,194400	0,021600
02	0,50	0,25	0,25	0,843750	0,084375	0,084375	0,140625	0,015625
02	0,60	0,20	0,20	0,896000	0,089600	0,089600	0,093600	0,010400
02	0,70	0,15	0,15	0,939250	0,093925	0,093925	0,054675	0,006075
02	0,80	0,10	0,10	0,972000	0,097200	0,097200	0,025200	0,002800
02	0,90	0,05	0,05	0,992750	0,099275	0,099275	0,006525	0,000725
03	0,30	0,35	0,35	0,888875	0,095713	0,027463	0,038588	0,072538
03	0,40	0,30	0,30	0,910000	0,097300	0,034300	0,024300	0,065700
03	0,50	0,25	0,25	0,928125	0,098438	0,042188	0,014063	0,057813
03	0,60	0,20	0,20	0,944000	0,099200	0,051200	0,007200	0,048800
03	0,70	0,15	0,15	0,958375	0,099663	0,061413	0,003038	0,038588
03	0,80	0,10	0,10	0,972000	0,099900	0,072900	0,000900	0,027100
03	0,90	0,05	0,05	0,985625	0,099988	0,085738	0,000113	0,014263

При $n = 3$ найбільшою вірогідністю розпізнавання подій володіє структура, у якій:

для $a = 0,30$	$b = d = 0,35$	індекс мажоритарності $Q = 3$
для $a = 0,40$	$b = d = 0,30$	індекс мажоритарності $Q = 3$
для $a = 0,50$	$b = d = 0,25$	індекс мажоритарності $Q = 3$
для $a = 0,60$	$b = d = 0,20$	індекс мажоритарності $Q = 3$
для $a = 0,70$	$b = d = 0,15$	індекс мажоритарності $Q = 3$
для $a = 0,80$	$b = d = 0,10$	індекс мажоритарності $Q = 2$
для $a = 0,90$	$b = d = 0,05$	індекс мажоритарності $Q = 2$

Пошук параметрів структури СПД для якої:

$P2$ -мінімальна, а $P11$ не менше свого граничного значення

для $a = 0,30$	$q = 02$	$P11 = 0,071825$	$P2 = 0,253575$
для $a = 0,40$	$q = 02$	$P11 = 0,078400$	$P2 = 0,194400$
для $a = 0,50$	$q = 02$	$P11 = 0,084375$	$P2 = 0,140625$
для $a = 0,60$	$q = 03$	$P11 = 0,051200$	$P2 = 0,007200$
для $a = 0,70$	$q = 03$	$P11 = 0,061413$	$P2 = 0,003038$
для $a = 0,80$	$q = 03$	$P11 = 0,072900$	$P2 = 0,000900$
для $a = 0,90$	$q = 03$	$P11 = 0,085738$	$P2 = 0,000113$

Кількість датчиків СПД $n = 8$

Ймовірність виникнення Пожежі $pp = 0,1$

Q	a	b	d	P1	P12	P11	P2	P3
01	0,30	0,35	0,35	0,128656	0,003186	0,099977	0,871322	0,000023
01	0,40	0,30	0,30	0,151877	0,005765	0,099993	0,848117	0,000007
01	0,50	0,25	0,25	0,190100	0,010011	0,099998	0,809898	0,000002
01	0,60	0,20	0,20	0,250995	0,016777	0,100000	0,749005	0,000000
01	0,70	0,15	0,15	0,345241	0,027249	0,100000	0,654759	0,000000
01	0,80	0,10	0,10	0,487420	0,043047	0,100000	0,512580	0,000000
01	0,90	0,05	0,05	0,697078	0,066342	0,100000	0,302922	0,000000
02	0,30	0,35	0,35	0,251857	0,016913	0,099643	0,747786	0,000357
02	0,40	0,30	0,30	0,329639	0,025530	0,099871	0,670232	0,000129
02	0,50	0,25	0,25	0,430334	0,036708	0,099962	0,569627	0,000038
02	0,60	0,20	0,20	0,552976	0,050332	0,099992	0,447015	0,000008
02	0,70	0,15	0,15	0,691464	0,065718	0,099999	0,308535	0,000001
02	0,80	0,10	0,10	0,831794	0,081310	0,100000	0,168206	0,000000
02	0,90	0,05	0,05	0,948480	0,094276	0,100000	0,051520	0,000000
03	0,30	0,35	0,35	0,482501	0,042781	0,097468	0,514968	0,002532
03	0,40	0,30	0,30	0,595467	0,055177	0,098871	0,403404	0,001129
03	0,50	0,25	0,25	0,710266	0,067854	0,099577	0,289311	0,000423
03	0,60	0,20	0,20	0,817103	0,079692	0,099877	0,182774	0,000123
03	0,70	0,15	0,15	0,905284	0,089479	0,099976	0,094691	0,000024
03	0,80	0,10	0,10	0,965715	0,096191	0,099998	0,034283	0,000002
03	0,90	0,05	0,05	0,994791	0,099421	0,100000	0,005209	0,000000
04	0,30	0,35	0,35	0,725150	0,070640	0,089391	0,264241	0,010609
04	0,40	0,30	0,30	0,819509	0,080590	0,094203	0,174694	0,005797
04	0,50	0,25	0,25	0,894836	0,088618	0,097270	0,102434	0,002730
04	0,60	0,20	0,20	0,948306	0,094372	0,098959	0,050653	0,001041
04	0,70	0,15	0,15	0,980497	0,097865	0,099715	0,019217	0,000285
04	0,80	0,10	0,10	0,995435	0,099498	0,099957	0,004522	0,000043
04	0,90	0,05	0,05	0,999664	0,099963	0,099998	0,000335	0,000002
05	0,30	0,35	0,35	0,875158	0,089391	0,070640	0,095482	0,029360
05	0,40	0,30	0,30	0,928419	0,094203	0,080590	0,052171	0,019410
05	0,50	0,25	0,25	0,964050	0,097270	0,088618	0,024568	0,011382
05	0,60	0,20	0,20	0,985006	0,098959	0,094372	0,009366	0,005628
05	0,70	0,15	0,15	0,995296	0,099715	0,097865	0,002568	0,002135
05	0,80	0,10	0,10	0,999109	0,099957	0,099498	0,000388	0,000502
05	0,90	0,05	0,05	0,999949	0,099998	0,099963	0,000014	0,000037
06	0,30	0,35	0,35	0,919996	0,097468	0,042781	0,022786	0,057219
06	0,40	0,30	0,30	0,945014	0,098871	0,055177	0,010163	0,044823
06	0,50	0,25	0,25	0,964050	0,099577	0,067854	0,003804	0,032146
06	0,60	0,20	0,20	0,978584	0,099877	0,079692	0,001108	0,020308
06	0,70	0,15	0,15	0,989261	0,099976	0,089479	0,000218	0,010521
06	0,80	0,10	0,10	0,996170	0,099998	0,096191	0,000021	0,003809
06	0,90	0,05	0,05	0,999421	0,100000	0,099421	0,000000	0,000579
07	0,30	0,35	0,35	0,913699	0,099643	0,016913	0,003214	0,083087
07	0,40	0,30	0,30	0,924369	0,099871	0,025530	0,001161	0,074470
07	0,50	0,25	0,25	0,936365	0,099962	0,036708	0,000343	0,063292
07	0,60	0,20	0,20	0,950256	0,099992	0,050332	0,000076	0,049668
07	0,70	0,15	0,15	0,965708	0,099999	0,065718	0,000011	0,034282
07	0,80	0,10	0,10	0,981310	0,100000	0,081310	0,000001	0,018690
07	0,90	0,05	0,05	0,994276	0,100000	0,094276	0,000000	0,005724

08	0,30	0,35	0,35	0,902984	0,099977	0,003186	0,000203	0,096814
08	0,40	0,30	0,30	0,905706	0,099993	0,005765	0,000059	0,094235
08	0,50	0,25	0,25	0,909998	0,099998	0,010011	0,000014	0,089989
08	0,60	0,20	0,20	0,916775	0,100000	0,016777	0,000002	0,083223
08	0,70	0,15	0,15	0,927249	0,100000	0,027249	0,000000	0,072751
08	0,80	0,10	0,10	0,943047	0,100000	0,043047	0,000000	0,056953
08	0,90	0,05	0,05	0,966342	0,100000	0,066342	0,000000	0,033658

При $n = 8$ найбільшою вірогідністю розпізнавання подій володіє структура, у якій:

для $a = 0,30$	$b = d = 0,35$	індекс мажоритарності $Q = 6$
для $a = 0,40$	$b = d = 0,30$	індекс мажоритарності $Q = 6$
для $a = 0,50$	$b = d = 0,25$	індекс мажоритарності $Q = 5$
для $a = 0,60$	$b = d = 0,20$	індекс мажоритарності $Q = 5$
для $a = 0,70$	$b = d = 0,15$	індекс мажоритарності $Q = 5$
для $a = 0,80$	$b = d = 0,10$	індекс мажоритарності $Q = 5$
для $a = 0,90$	$b = d = 0,05$	індекс мажоритарності $Q = 5$

Пошук параметрів структури СПД для якої:
P2-мінімальна, а P11 не менше свого граничного значення

для $a = 0,30$	$q = 05$	$P11 = 0,070640$	$P2 = 0,095482$
для $a = 0,40$	$q = 06$	$P11 = 0,055177$	$P2 = 0,010163$
для $a = 0,50$	$q = 06$	$P11 = 0,067854$	$P2 = 0,003804$
для $a = 0,60$	$q = 07$	$P11 = 0,050332$	$P2 = 0,000076$
для $a = 0,70$	$q = 07$	$P11 = 0,065718$	$P2 = 0,000011$
для $a = 0,80$	$q = 07$	$P11 = 0,081310$	$P2 = 0,000001$
для $a = 0,90$	$q = 08$	$P11 = 0,066342$	$P2 = 0,000000$

Кількість датчиків СПД $n = 9$
Ймовірність виникнення Пожежі $pp = 0,1$

Q	a	b	d	P1	P12	P11	P2	P3
01	0,30	0,35	0,35	0,118633	0,002071	0,099992	0,881359	0,000008
01	0,40	0,30	0,30	0,136316	0,004035	0,099998	0,863682	0,000002
01	0,50	0,25	0,25	0,167576	0,007508	0,100000	0,832424	0,000000
01	0,60	0,20	0,20	0,220796	0,013422	0,100000	0,779204	0,000000
01	0,70	0,15	0,15	0,308455	0,023162	0,100000	0,691545	0,000000
01	0,80	0,10	0,10	0,448678	0,038742	0,100000	0,551322	0,000000
01	0,90	0,05	0,05	0,667224	0,063025	0,100000	0,332776	0,000000
02	0,30	0,35	0,35	0,208837	0,012109	0,099860	0,791023	0,000140
02	0,40	0,30	0,30	0,276360	0,019600	0,099957	0,723597	0,000043
02	0,50	0,25	0,25	0,370294	0,030034	0,099989	0,629695	0,000011
02	0,60	0,20	0,20	0,492585	0,043621	0,099998	0,507413	0,000002
02	0,70	0,15	0,15	0,639531	0,059948	0,100000	0,360469	0,000000
02	0,80	0,10	0,10	0,797357	0,077484	0,100000	0,202643	0,000000
02	0,90	0,05	0,05	0,935910	0,092879	0,100000	0,064090	0,000000
03	0,30	0,35	0,35	0,402428	0,033727	0,098882	0,596454	0,001118
03	0,40	0,30	0,30	0,516119	0,046283	0,099571	0,483452	0,000429
03	0,50	0,25	0,25	0,640475	0,060068	0,099866	0,359390	0,000134

03	0,60	0,20	0,20	0,764346	0,073820	0,099969	0,235622	0,000031
03	0,70	0,15	0,15	0,873227	0,085915	0,099995	0,126768	0,000005
03	0,80	0,10	0,10	0,952325	0,094703	0,100000	0,047675	0,000000
03	0,90	0,05	0,05	0,992475	0,099164	0,100000	0,007525	0,000000
04	0,30	0,35	0,35	0,642646	0,060889	0,094641	0,351995	0,005359
04	0,40	0,30	0,30	0,754164	0,072966	0,097471	0,243307	0,002529
04	0,50	0,25	0,25	0,849847	0,083427	0,099001	0,149153	0,000999
04	0,60	0,20	0,20	0,922616	0,091436	0,099693	0,077078	0,000307
04	0,70	0,15	0,15	0,969398	0,096607	0,099937	0,030538	0,000063
04	0,80	0,10	0,10	0,992496	0,099167	0,099994	0,007498	0,000006
04	0,90	0,05	0,05	0,999422	0,099936	0,100000	0,000578	0,000000
05	0,30	0,35	0,35	0,828281	0,082828	0,082828	0,154547	0,017172
05	0,40	0,30	0,30	0,901191	0,090119	0,090119	0,088928	0,009881
05	0,50	0,25	0,25	0,951073	0,095107	0,095107	0,044035	0,004893
05	0,60	0,20	0,20	0,980419	0,098042	0,098042	0,017623	0,001958
05	0,70	0,15	0,15	0,994371	0,099437	0,099437	0,005066	0,000563
05	0,80	0,10	0,10	0,999109	0,099911	0,099911	0,000802	0,000089
05	0,90	0,05	0,05	0,999967	0,099997	0,099997	0,000030	0,000003
06	0,30	0,35	0,35	0,912660	0,094641	0,060889	0,048229	0,039111
06	0,40	0,30	0,30	0,950201	0,097471	0,072966	0,022765	0,027034
06	0,50	0,25	0,25	0,974432	0,099001	0,083427	0,008995	0,016573
06	0,60	0,20	0,20	0,988676	0,099693	0,091436	0,002760	0,008564
06	0,70	0,15	0,15	0,996036	0,099937	0,096607	0,000571	0,003393
06	0,80	0,10	0,10	0,999109	0,099994	0,099167	0,000058	0,000833
06	0,90	0,05	0,05	0,999935	0,100000	0,099936	0,000001	0,000064
07	0,30	0,35	0,35	0,923663	0,098882	0,033727	0,010064	0,066273
07	0,40	0,30	0,30	0,942421	0,099571	0,046283	0,003862	0,053717
07	0,50	0,25	0,25	0,958859	0,099866	0,060068	0,001208	0,039932
07	0,60	0,20	0,20	0,973537	0,099969	0,073820	0,000282	0,026180
07	0,70	0,15	0,15	0,985873	0,099995	0,085915	0,000042	0,014085
07	0,80	0,10	0,10	0,994700	0,100000	0,094703	0,000003	0,005297
07	0,90	0,05	0,05	0,999164	0,100000	0,099164	0,000000	0,000836
08	0,30	0,35	0,35	0,910852	0,099860	0,012109	0,001257	0,087891
08	0,40	0,30	0,30	0,919211	0,099957	0,019600	0,000390	0,080400
08	0,50	0,25	0,25	0,929938	0,099989	0,030034	0,000096	0,069966
08	0,60	0,20	0,20	0,943604	0,099998	0,043621	0,000017	0,056379
08	0,70	0,15	0,15	0,959946	0,100000	0,059948	0,000002	0,040052
08	0,80	0,10	0,10	0,977484	0,100000	0,077484	0,000000	0,022516
08	0,90	0,05	0,05	0,992879	0,100000	0,092879	0,000000	0,007121
09	0,30	0,35	0,35	0,902000	0,099992	0,002071	0,000071	0,097929
09	0,40	0,30	0,30	0,904018	0,099998	0,004035	0,000018	0,095965
09	0,50	0,25	0,25	0,907505	0,100000	0,007508	0,000003	0,092492
09	0,60	0,20	0,20	0,913421	0,100000	0,013422	0,000000	0,086578
09	0,70	0,15	0,15	0,923162	0,100000	0,023162	0,000000	0,076838
09	0,80	0,10	0,10	0,938742	0,100000	0,038742	0,000000	0,061258
09	0,90	0,05	0,05	0,963025	0,100000	0,063025	0,000000	0,036975

При $n = 9$ найбільшою вірогідністю розпізнавання подій
володіє структура, у якій:

для $a = 0,30$ $b = d = 0,35$ індекс мажоритарності $Q = 7$
 для $a = 0,40$ $b = d = 0,30$ індекс мажоритарності $Q = 6$
 для $a = 0,50$ $b = d = 0,25$ індекс мажоритарності $Q = 6$
 для $a = 0,60$ $b = d = 0,20$ індекс мажоритарності $Q = 6$
 для $a = 0,70$ $b = d = 0,15$ індекс мажоритарності $Q = 6$
 для $a = 0,80$ $b = d = 0,10$ індекс мажоритарності $Q = 5$
 для $a = 0,90$ $b = d = 0,05$ індекс мажоритарності $Q = 5$

Пошук параметрів структури СПД для якої:

P2-мінімальна, а P11 не менше свого граничного значення

для $a = 0,30$ $q = 06$ $P11 = 0,060889$ $P2 = 0,048229$
 для $a = 0,40$ $q = 06$ $P11 = 0,072966$ $P2 = 0,022765$
 для $a = 0,50$ $q = 07$ $P11 = 0,060068$ $P2 = 0,001208$
 для $a = 0,60$ $q = 07$ $P11 = 0,073820$ $P2 = 0,000282$
 для $a = 0,70$ $q = 08$ $P11 = 0,059948$ $P2 = 0,000002$
 для $a = 0,80$ $q = 08$ $P11 = 0,077484$ $P2 = 0,000000$
 для $a = 0,90$ $q = 09$ $P11 = 0,063025$ $P2 = 0,000000$

Кількість датчиків СПД $n = 11$

Ймовірність виникнення Пожежі $pp = 0,1$

Q	a	b	d	P1	P12	P11	P2	P3
01	0,30	0,35	0,35	0,107875	0,000875	0,099999	0,892124	0,000001
01	0,40	0,30	0,30	0,117796	0,001977	0,100000	0,882204	0,000000
01	0,50	0,25	0,25	0,138012	0,004224	0,100000	0,861988	0,000000
01	0,60	0,20	0,20	0,177309	0,008590	0,100000	0,822691	0,000000
01	0,70	0,15	0,15	0,250609	0,016734	0,100000	0,749391	0,000000
01	0,80	0,10	0,10	0,382430	0,031381	0,100000	0,617570	0,000000
01	0,90	0,05	0,05	0,611920	0,056880	0,100000	0,388080	0,000000
02	0,30	0,35	0,35	0,154503	0,006058	0,099979	0,845476	0,000021
02	0,40	0,30	0,30	0,201686	0,011299	0,099995	0,798309	0,000005
02	0,50	0,25	0,25	0,277387	0,019710	0,099999	0,722612	0,000001
02	0,60	0,20	0,20	0,389910	0,032212	0,100000	0,610090	0,000000
02	0,70	0,15	0,15	0,542967	0,049219	0,100000	0,457033	0,000000
02	0,80	0,10	0,10	0,727621	0,069736	0,100000	0,272379	0,000000
02	0,90	0,05	0,05	0,908295	0,089811	0,100000	0,091705	0,000000
03	0,30	0,35	0,35	0,279912	0,020013	0,099796	0,719884	0,000204
03	0,40	0,30	0,30	0,381409	0,031274	0,099942	0,618534	0,000058
03	0,50	0,25	0,25	0,509668	0,045520	0,099987	0,490319	0,000013
03	0,60	0,20	0,20	0,655659	0,061740	0,099998	0,344339	0,000002
03	0,70	0,15	0,15	0,800931	0,077881	0,100000	0,199069	0,000000
03	0,80	0,10	0,10	0,919394	0,091044	0,100000	0,080606	0,000000
03	0,90	0,05	0,05	0,986288	0,098476	0,100000	0,013712	0,000000
04	0,30	0,35	0,35	0,481771	0,042555	0,098776	0,517005	0,001224
04	0,40	0,30	0,30	0,612177	0,056956	0,099571	0,387394	0,000429
04	0,50	0,25	0,25	0,741855	0,071330	0,099881	0,258026	0,000119
04	0,60	0,20	0,20	0,854951	0,083886	0,099976	0,145025	0,000024
04	0,70	0,15	0,15	0,937497	0,093056	0,099997	0,062500	0,000003
04	0,80	0,10	0,10	0,983319	0,098147	0,100000	0,016681	0,000000
04	0,90	0,05	0,05	0,998603	0,099845	0,100000	0,001397	0,000000

05 0,30 0,35 0,35 0,696466 0,066831 0,094986 0,298520 0,005014
 05 0,40 0,30 0,30 0,808564 0,078970 0,097838 0,189274 0,002162
 05 0,50 0,25 0,25 0,896080 0,088537 0,099244 0,103164 0,000756
 05 0,60 0,20 0,20 0,954435 0,094959 0,099803 0,045369 0,000197
 05 0,70 0,15 0,15 0,985668 0,098411 0,099968 0,014300 0,000032
 05 0,80 0,10 0,10 0,997522 0,099725 0,099998 0,002476 0,000002
 05 0,90 0,05 0,05 0,999899 0,099989 0,100000 0,000101 0,000000

06 0,30 0,35 0,35 0,851316 0,085132 0,085132 0,133815 0,014868
 06 0,40 0,30 0,30 0,921775 0,092178 0,092178 0,070402 0,007822
 06 0,50 0,25 0,25 0,965672 0,096567 0,096567 0,030895 0,003433
 06 0,60 0,20 0,20 0,988346 0,098835 0,098835 0,010489 0,001165
 06 0,70 0,15 0,15 0,997343 0,099734 0,099734 0,002391 0,000266
 06 0,80 0,10 0,10 0,999704 0,099970 0,099970 0,000266 0,000030
 06 0,90 0,05 0,05 0,999994 0,099999 0,099999 0,000005 0,000001

07 0,30 0,35 0,35 0,921703 0,094986 0,066831 0,045128 0,033169
 07 0,40 0,30 0,30 0,959512 0,097838 0,078970 0,019457 0,021030
 07 0,50 0,25 0,25 0,981732 0,099244 0,088537 0,006805 0,011463
 07 0,60 0,20 0,20 0,993190 0,099803 0,094959 0,001769 0,005041
 07 0,70 0,15 0,15 0,998121 0,099968 0,098411 0,000290 0,001589
 07 0,80 0,10 0,10 0,999704 0,099998 0,099725 0,000021 0,000275
 07 0,90 0,05 0,05 0,999989 0,100000 0,099989 0,000000 0,000011

08 0,30 0,35 0,35 0,931537 0,098776 0,042555 0,011018 0,057445
 08 0,40 0,30 0,30 0,953094 0,099571 0,056956 0,003862 0,043044
 08 0,50 0,25 0,25 0,970261 0,099881 0,071330 0,001069 0,028670
 08 0,60 0,20 0,20 0,983674 0,099976 0,083886 0,000212 0,016114
 08 0,70 0,15 0,15 0,993031 0,099997 0,093056 0,000025 0,006944
 08 0,80 0,10 0,10 0,998145 0,100000 0,098147 0,000001 0,001853
 08 0,90 0,05 0,05 0,999845 0,100000 0,099845 0,000000 0,000155

09 0,30 0,35 0,35 0,918178 0,099796 0,020013 0,001835 0,079987
 09 0,40 0,30 0,30 0,930754 0,099942 0,031274 0,000520 0,068726
 09 0,50 0,25 0,25 0,945407 0,099987 0,045520 0,000114 0,054480
 09 0,60 0,20 0,20 0,961723 0,099998 0,061740 0,000017 0,038260
 09 0,70 0,15 0,15 0,977880 0,100000 0,077881 0,000001 0,022119
 09 0,80 0,10 0,10 0,991044 0,100000 0,091044 0,000000 0,008956
 09 0,90 0,05 0,05 0,998476 0,100000 0,098476 0,000000 0,001524

10 0,30 0,35 0,35 0,905872 0,099979 0,006058 0,000186 0,093942
 10 0,40 0,30 0,30 0,911256 0,099995 0,011299 0,000043 0,088701
 10 0,50 0,25 0,25 0,919702 0,099999 0,019710 0,000007 0,080290
 10 0,60 0,20 0,20 0,932211 0,100000 0,032212 0,000001 0,067788
 10 0,70 0,15 0,15 0,949219 0,100000 0,049219 0,000000 0,050781
 10 0,80 0,10 0,10 0,969736 0,100000 0,069736 0,000000 0,030264
 10 0,90 0,05 0,05 0,989811 0,100000 0,089811 0,000000 0,010189

11 0,30 0,35 0,35 0,900866 0,099999 0,000875 0,000009 0,099125
 11 0,40 0,30 0,30 0,901976 0,100000 0,001977 0,000002 0,098023
 11 0,50 0,25 0,25 0,904223 0,100000 0,004224 0,000000 0,095776
 11 0,60 0,20 0,20 0,908590 0,100000 0,008590 0,000000 0,091410
 11 0,70 0,15 0,15 0,916734 0,100000 0,016734 0,000000 0,083266
 11 0,80 0,10 0,10 0,931381 0,100000 0,031381 0,000000 0,068619
 11 0,90 0,05 0,05 0,956880 0,100000 0,056880 0,000000 0,043120

При $n = 11$ найбільшою вірогідністю розпізнавання подій володіє структура, у якій:

для $a = 0,30$	$b = d = 0,35$	індекс мажоритарності $Q = 8$
для $a = 0,40$	$b = d = 0,30$	індекс мажоритарності $Q = 7$
для $a = 0,50$	$b = d = 0,25$	індекс мажоритарності $Q = 7$
для $a = 0,60$	$b = d = 0,20$	індекс мажоритарності $Q = 7$
для $a = 0,70$	$b = d = 0,15$	індекс мажоритарності $Q = 7$
для $a = 0,80$	$b = d = 0,10$	індекс мажоритарності $Q = 7$
для $a = 0,90$	$b = d = 0,05$	індекс мажоритарності $Q = 6$

Пошук параметрів структури СПД для якої:

P2-мінімальна, а P11 не менше свого граничного значення

для $a = 0,30$	$q = 11$	$P11 = 0,000875$	$P2 = 0,000009$
для $a = 0,40$	$q = 11$	$P11 = 0,001977$	$P2 = 0,000002$
для $a = 0,50$	$q = 11$	$P11 = 0,004224$	$P2 = 0,000000$
для $a = 0,60$	$q = 11$	$P11 = 0,008590$	$P2 = 0,000000$
для $a = 0,70$	$q = 11$	$P11 = 0,016734$	$P2 = 0,000000$
для $a = 0,80$	$q = 11$	$P11 = 0,031381$	$P2 = 0,000000$
для $a = 0,90$	$q = 11$	$P11 = 0,056880$	$P2 = 0,000000$

Кількість датчиків СПД $n = 12$

Ймовірність виникнення Пожежі $pp = 0,1$

Q	a	b	d	P1	P12	P11	P2	P3

01	0,30	0,35	0,35	0,105119	0,000569	0,100000	0,894881	0,000000
01	0,40	0,30	0,30	0,112457	0,001384	0,100000	0,887543	0,000000
01	0,50	0,25	0,25	0,128509	0,003168	0,100000	0,871491	0,000000
01	0,60	0,20	0,20	0,161848	0,006872	0,100000	0,838152	0,000000
01	0,70	0,15	0,15	0,228018	0,014224	0,100000	0,771982	0,000000
01	0,80	0,10	0,10	0,354187	0,028243	0,100000	0,645813	0,000000
01	0,90	0,05	0,05	0,586324	0,054036	0,100000	0,413676	0,000000
02	0,30	0,35	0,35	0,138189	0,004244	0,099992	0,861803	0,000008
02	0,40	0,30	0,30	0,176521	0,008503	0,099998	0,823477	0,000002
02	0,50	0,25	0,25	0,242543	0,015838	0,100000	0,757456	0,000000
02	0,60	0,20	0,20	0,347390	0,027488	0,100000	0,652610	0,000000
02	0,70	0,15	0,15	0,499114	0,044346	0,100000	0,500886	0,000000
02	0,80	0,10	0,10	0,693102	0,065900	0,100000	0,306898	0,000000
02	0,90	0,05	0,05	0,893476	0,088164	0,100000	0,106524	0,000000
03	0,30	0,35	0,35	0,236074	0,015129	0,099915	0,763841	0,000085
03	0,40	0,30	0,30	0,327513	0,025282	0,099979	0,672466	0,000021
03	0,50	0,25	0,25	0,451604	0,039068	0,099996	0,548392	0,000004
03	0,60	0,20	0,20	0,602511	0,055835	0,100000	0,397489	0,000000
03	0,70	0,15	0,15	0,762236	0,073582	0,100000	0,237764	0,000000
03	0,80	0,10	0,10	0,900217	0,088913	0,100000	0,099783	0,000000
03	0,90	0,05	0,05	0,982389	0,098043	0,100000	0,017611	0,000000
04	0,30	0,35	0,35	0,411426	0,034665	0,099439	0,588013	0,000561
04	0,40	0,30	0,30	0,543095	0,049252	0,099831	0,456736	0,000169
04	0,50	0,25	0,25	0,683862	0,064878	0,099961	0,316099	0,000039
04	0,60	0,20	0,20	0,815106	0,079457	0,099994	0,184888	0,000006
04	0,70	0,15	0,15	0,917014	0,090779	0,099999	0,082986	0,000001

04	0,80	0,10	0,10	0,976926	0,097436	0,100000	0,023074	0,000000
04	0,90	0,05	0,05	0,997987	0,099776	0,100000	0,002013	0,000000
05	0,30	0,35	0,35	0,622460	0,058335	0,097449	0,374989	0,002551
05	0,40	0,30	0,30	0,750341	0,072366	0,099051	0,248710	0,000949
05	0,50	0,25	0,25	0,857843	0,084236	0,099722	0,141879	0,000278
05	0,60	0,20	0,20	0,934642	0,092744	0,099942	0,065300	0,000058
05	0,70	0,15	0,15	0,978463	0,097608	0,099993	0,021530	0,000007
05	0,80	0,10	0,10	0,996103	0,099567	0,100000	0,003896	0,000000
05	0,90	0,05	0,05	0,999834	0,099982	0,100000	0,000166	0,000000
06	0,30	0,35	0,35	0,800075	0,078726	0,091537	0,191462	0,008463
06	0,40	0,30	0,30	0,890076	0,088215	0,096140	0,106064	0,003860
06	0,50	0,25	0,25	0,949613	0,094560	0,098575	0,048962	0,001425
06	0,60	0,20	0,20	0,982145	0,098059	0,099610	0,017465	0,000390
06	0,70	0,15	0,15	0,995755	0,099536	0,099933	0,004177	0,000067
06	0,80	0,10	0,10	0,999508	0,099946	0,099995	0,000487	0,000005
06	0,90	0,05	0,05	0,999990	0,099999	0,100000	0,000010	0,000000
07	0,30	0,35	0,35	0,902558	0,091537	0,078726	0,076169	0,021274
07	0,40	0,30	0,30	0,953474	0,096140	0,088215	0,034741	0,011785
07	0,50	0,25	0,25	0,981732	0,098575	0,094560	0,012828	0,005440
07	0,60	0,20	0,20	0,994547	0,099610	0,098059	0,003513	0,001941
07	0,70	0,15	0,15	0,998931	0,099933	0,099536	0,000605	0,000464
07	0,80	0,10	0,10	0,999901	0,099995	0,099946	0,000045	0,000054
07	0,90	0,05	0,05	0,999998	0,100000	0,099999	0,000000	0,000001
08	0,30	0,35	0,35	0,935378	0,097449	0,058335	0,022957	0,041665
08	0,40	0,30	0,30	0,963825	0,099051	0,072366	0,008540	0,027634
08	0,50	0,25	0,25	0,981732	0,099722	0,084236	0,002503	0,015764
08	0,60	0,20	0,20	0,992221	0,099942	0,092744	0,000523	0,007256
08	0,70	0,15	0,15	0,997543	0,099993	0,097608	0,000065	0,002392
08	0,80	0,10	0,10	0,999564	0,100000	0,099567	0,000003	0,000433
08	0,90	0,05	0,05	0,999982	0,100000	0,099982	0,000000	0,000018
09	0,30	0,35	0,35	0,929616	0,099439	0,034665	0,005049	0,065335
09	0,40	0,30	0,30	0,947729	0,099831	0,049252	0,001522	0,050748
09	0,50	0,25	0,25	0,964525	0,099961	0,064878	0,000352	0,035122
09	0,60	0,20	0,20	0,979401	0,099994	0,079457	0,000056	0,020543
09	0,70	0,15	0,15	0,990774	0,099999	0,090779	0,000005	0,009221
09	0,80	0,10	0,10	0,997436	0,100000	0,097436	0,000000	0,002564
09	0,90	0,05	0,05	0,999776	0,100000	0,099776	0,000000	0,000224
10	0,30	0,35	0,35	0,914366	0,099915	0,015129	0,000763	0,084871
10	0,40	0,30	0,30	0,925096	0,099979	0,025282	0,000186	0,074718
10	0,50	0,25	0,25	0,939034	0,099996	0,039068	0,000034	0,060932
10	0,60	0,20	0,20	0,955831	0,100000	0,055835	0,000004	0,044165
10	0,70	0,15	0,15	0,973582	0,100000	0,073582	0,000000	0,026418
10	0,80	0,10	0,10	0,988913	0,100000	0,088913	0,000000	0,011087
10	0,90	0,05	0,05	0,998043	0,100000	0,098043	0,000000	0,001957
11	0,30	0,35	0,35	0,904173	0,099992	0,004244	0,000071	0,095756
11	0,40	0,30	0,30	0,908489	0,099998	0,008503	0,000014	0,091497
11	0,50	0,25	0,25	0,915836	0,100000	0,015838	0,000002	0,084162
11	0,60	0,20	0,20	0,927488	0,100000	0,027488	0,000000	0,072512
11	0,70	0,15	0,15	0,944346	0,100000	0,044346	0,000000	0,055654
11	0,80	0,10	0,10	0,965900	0,100000	0,065900	0,000000	0,034100

11	0,90	0,05	0,05	0,988164	0,100000	0,088164	0,000000	0,011836
12	0,30	0,35	0,35	0,900566	0,100000	0,000569	0,000003	0,099431
12	0,40	0,30	0,30	0,901384	0,100000	0,001384	0,000000	0,098616
12	0,50	0,25	0,25	0,903168	0,100000	0,003168	0,000000	0,096832
12	0,60	0,20	0,20	0,906872	0,100000	0,006872	0,000000	0,093128
12	0,70	0,15	0,15	0,914224	0,100000	0,014224	0,000000	0,085776
12	0,80	0,10	0,10	0,928243	0,100000	0,028243	0,000000	0,071757
12	0,90	0,05	0,05	0,954036	0,100000	0,054036	0,000000	0,045964

При $n = 12$ найбільшою вірогідністю розпізнавання подій володіє структура, у якій:

для $a = 0,30$	$b = d = 0,35$	індекс мажоритарності $Q = 8$
для $a = 0,40$	$b = d = 0,30$	індекс мажоритарності $Q = 8$
для $a = 0,50$	$b = d = 0,25$	індекс мажоритарності $Q = 8$
для $a = 0,60$	$b = d = 0,20$	індекс мажоритарності $Q = 7$
для $a = 0,70$	$b = d = 0,15$	індекс мажоритарності $Q = 7$
для $a = 0,80$	$b = d = 0,10$	індекс мажоритарності $Q = 7$
для $a = 0,90$	$b = d = 0,05$	індекс мажоритарності $Q = 7$

Пошук параметрів структури СПД для якої:

P2-мінімальна, а P11 не менше свого граничного значення

для $a = 0,30$	$q = 08$	$P11 = 0,058335$	$P2 = 0,022957$
для $a = 0,40$	$q = 08$	$P11 = 0,072366$	$P2 = 0,008540$
для $a = 0,50$	$q = 09$	$P11 = 0,064878$	$P2 = 0,000352$
для $a = 0,60$	$q = 10$	$P11 = 0,055835$	$P2 = 0,000004$
для $a = 0,70$	$q = 10$	$P11 = 0,073582$	$P2 = 0,000000$
для $a = 0,80$	$q = 11$	$P11 = 0,065900$	$P2 = 0,000000$
для $a = 0,90$	$q = 12$	$P11 = 0,054036$	$P2 = 0,000000$

Кількість датчиків СПД $n = 13$

Ймовірність виникнення Пожежі $pp = 0,1$

Q	a	b	d	P1	P12	P11	P2	P3
01	0,30	0,35	0,35	0,103327	0,000370	0,100000	0,896673	0,000000
01	0,40	0,30	0,30	0,108720	0,000969	0,100000	0,891280	0,000000
01	0,50	0,25	0,25	0,121382	0,002376	0,100000	0,878618	0,000000
01	0,60	0,20	0,20	0,149478	0,005498	0,100000	0,850522	0,000000
01	0,70	0,15	0,15	0,208815	0,012091	0,100000	0,791185	0,000000
01	0,80	0,10	0,10	0,328768	0,025419	0,100000	0,671232	0,000000
01	0,90	0,05	0,05	0,562008	0,051334	0,100000	0,437992	0,000000
02	0,30	0,35	0,35	0,126617	0,002958	0,099997	0,873380	0,000003
02	0,40	0,30	0,30	0,157302	0,006367	0,100000	0,842697	0,000000
02	0,50	0,25	0,25	0,214035	0,012671	0,100000	0,785965	0,000000
02	0,60	0,20	0,20	0,310282	0,023365	0,100000	0,689718	0,000000
02	0,70	0,15	0,15	0,458449	0,039828	0,100000	0,541551	0,000000
02	0,80	0,10	0,10	0,659210	0,062134	0,100000	0,340790	0,000000
02	0,90	0,05	0,05	0,878119	0,086458	0,100000	0,121881	0,000000
03	0,30	0,35	0,35	0,201837	0,011319	0,099965	0,798128	0,000035
03	0,40	0,30	0,30	0,282223	0,020248	0,099993	0,717770	0,000007

03	0,50	0,25	0,25	0,399340	0,033260	0,099999	0,600658	0,000001
03	0,60	0,20	0,20	0,551487	0,050165	0,100000	0,448513	0,000000
03	0,70	0,15	0,15	0,722768	0,069196	0,100000	0,277232	0,000000
03	0,80	0,10	0,10	0,879506	0,086612	0,100000	0,120494	0,000000
03	0,90	0,05	0,05	0,977943	0,097549	0,100000	0,022057	0,000000
04	0,30	0,35	0,35	0,350196	0,027827	0,099749	0,649553	0,000251
04	0,40	0,30	0,30	0,478480	0,042061	0,099935	0,521455	0,000065
04	0,50	0,25	0,25	0,625815	0,058425	0,099987	0,374173	0,000013
04	0,60	0,20	0,20	0,772590	0,074732	0,099998	0,227408	0,000002
04	0,70	0,15	0,15	0,893797	0,088200	0,100000	0,106202	0,000000
04	0,80	0,10	0,10	0,969255	0,096584	0,100000	0,030745	0,000000
04	0,90	0,05	0,05	0,997207	0,099690	0,100000	0,002793	0,000000
05	0,30	0,35	0,35	0,549195	0,050050	0,098743	0,449548	0,001257
05	0,40	0,30	0,30	0,688479	0,065431	0,099597	0,311118	0,000403
05	0,50	0,25	0,25	0,814467	0,079396	0,099901	0,185434	0,000099
05	0,60	0,20	0,20	0,910766	0,090087	0,099983	0,089218	0,000017
05	0,70	0,15	0,15	0,969250	0,096584	0,099998	0,030748	0,000002
05	0,80	0,10	0,10	0,994186	0,099354	0,100000	0,005814	0,000000
05	0,90	0,05	0,05	0,999742	0,099971	0,100000	0,000258	0,000000
06	0,30	0,35	0,35	0,739683	0,071589	0,095380	0,255697	0,004620
06	0,40	0,30	0,30	0,849320	0,083460	0,098178	0,148858	0,001822
06	0,50	0,25	0,25	0,927244	0,091979	0,099435	0,072191	0,000565
06	0,60	0,20	0,20	0,972844	0,096996	0,099875	0,027032	0,000125
06	0,70	0,15	0,15	0,993204	0,099247	0,099984	0,006780	0,000016
06	0,80	0,10	0,10	0,999171	0,099908	0,099999	0,000828	0,000001
06	0,90	0,05	0,05	0,999982	0,099998	0,100000	0,000018	0,000000
07	0,30	0,35	0,35	0,870532	0,087053	0,087053	0,116521	0,012947
07	0,40	0,30	0,30	0,937625	0,093762	0,093762	0,056138	0,006238
07	0,50	0,25	0,25	0,975710	0,097571	0,097571	0,021861	0,002429
07	0,60	0,20	0,20	0,992996	0,099300	0,099300	0,006303	0,000700
07	0,70	0,15	0,15	0,998732	0,099873	0,099873	0,001141	0,000127
07	0,80	0,10	0,10	0,999901	0,099990	0,099990	0,000089	0,000010
07	0,90	0,05	0,05	0,999999	0,100000	0,100000	0,000001	0,000000
08	0,30	0,35	0,35	0,930008	0,095380	0,071589	0,041581	0,028411
08	0,40	0,30	0,30	0,967060	0,098178	0,083460	0,016401	0,016540
08	0,50	0,25	0,25	0,986894	0,099435	0,091979	0,005084	0,008021
08	0,60	0,20	0,20	0,995875	0,099875	0,096996	0,001121	0,003004
08	0,70	0,15	0,15	0,999101	0,099984	0,099247	0,000146	0,000753
08	0,80	0,10	0,10	0,999901	0,099999	0,099908	0,000007	0,000092
08	0,90	0,05	0,05	0,999998	0,100000	0,099998	0,000000	0,000002
09	0,30	0,35	0,35	0,938734	0,098743	0,050050	0,011317	0,049950
09	0,40	0,30	0,30	0,961803	0,099597	0,065431	0,003628	0,034569
09	0,50	0,25	0,25	0,978506	0,099901	0,079396	0,000890	0,020604
09	0,60	0,20	0,20	0,989938	0,099983	0,090087	0,000149	0,009913
09	0,70	0,15	0,15	0,996570	0,099998	0,096584	0,000014	0,003416
09	0,80	0,10	0,10	0,999354	0,100000	0,099354	0,000000	0,000646
09	0,90	0,05	0,05	0,999971	0,100000	0,099971	0,000000	0,000029
10	0,30	0,35	0,35	0,925564	0,099749	0,027827	0,002263	0,072173
10	0,40	0,30	0,30	0,941474	0,099935	0,042061	0,000587	0,057939
10	0,50	0,25	0,25	0,958312	0,099987	0,058425	0,000114	0,041575

10 0,60 0,20 0,20 0,974718 0,099998 0,074732 0,000014 0,025268
 10 0,70 0,15 0,15 0,988199 0,100000 0,088200 0,000001 0,011800
 10 0,80 0,10 0,10 0,996584 0,100000 0,096584 0,000000 0,003416
 10 0,90 0,05 0,05 0,999690 0,100000 0,099690 0,000000 0,000310

11 0,30 0,35 0,35 0,911006 0,099965 0,011319 0,000313 0,088681
 11 0,40 0,30 0,30 0,920182 0,099993 0,020248 0,000065 0,079752
 11 0,50 0,25 0,25 0,933250 0,099999 0,033260 0,000010 0,066740
 11 0,60 0,20 0,20 0,950164 0,100000 0,050165 0,000001 0,049835
 11 0,70 0,15 0,15 0,969196 0,100000 0,069196 0,000000 0,030804
 11 0,80 0,10 0,10 0,986612 0,100000 0,086612 0,000000 0,013388
 11 0,90 0,05 0,05 0,997549 0,100000 0,097549 0,000000 0,002451

12 0,30 0,35 0,35 0,902931 0,099997 0,002958 0,000027 0,097042
 12 0,40 0,30 0,30 0,906362 0,100000 0,006367 0,000004 0,093633
 12 0,50 0,25 0,25 0,912670 0,100000 0,012671 0,000001 0,087329
 12 0,60 0,20 0,20 0,923365 0,100000 0,023365 0,000000 0,076635
 12 0,70 0,15 0,15 0,939828 0,100000 0,039828 0,000000 0,060172
 12 0,80 0,10 0,10 0,962134 0,100000 0,062134 0,000000 0,037866
 12 0,90 0,05 0,05 0,986458 0,100000 0,086458 0,000000 0,013542

13 0,30 0,35 0,35 0,900369 0,100000 0,000370 0,000001 0,099630
 13 0,40 0,30 0,30 0,900969 0,100000 0,000969 0,000000 0,099031
 13 0,50 0,25 0,25 0,902376 0,100000 0,002376 0,000000 0,097624
 13 0,60 0,20 0,20 0,905498 0,100000 0,005498 0,000000 0,094502
 13 0,70 0,15 0,15 0,912091 0,100000 0,012091 0,000000 0,087909
 13 0,80 0,10 0,10 0,925419 0,100000 0,025419 0,000000 0,074581
 13 0,90 0,05 0,05 0,951334 0,100000 0,051334 0,000000 0,048666

При $n = 13$ найбільшою вірогідністю розпізнавання подій володіє структура, у якій:

для $a = 0,30$	$b = d = 0,35$	індекс мажоритарності $Q = 9$
для $a = 0,40$	$b = d = 0,30$	індекс мажоритарності $Q = 8$
для $a = 0,50$	$b = d = 0,25$	індекс мажоритарності $Q = 8$
для $a = 0,60$	$b = d = 0,20$	індекс мажоритарності $Q = 8$
для $a = 0,70$	$b = d = 0,15$	індекс мажоритарності $Q = 8$
для $a = 0,80$	$b = d = 0,10$	індекс мажоритарності $Q = 7$
для $a = 0,90$	$b = d = 0,05$	індекс мажоритарності $Q = 7$

Пошук параметрів структури СПД для якої:

P_2 -мінімальна, а P_{11} не менше свого граничного значення

для $a = 0,30$ $q = 09$ $P_{11} = 0,050050$ $P_2 = 0,011317$
 для $a = 0,40$ $q = 09$ $P_{11} = 0,065431$ $P_2 = 0,003628$
 для $a = 0,50$ $q = 10$ $P_{11} = 0,058425$ $P_2 = 0,000114$
 для $a = 0,60$ $q = 11$ $P_{11} = 0,050165$ $P_2 = 0,000001$
 для $a = 0,70$ $q = 11$ $P_{11} = 0,069196$ $P_2 = 0,000000$
 для $a = 0,80$ $q = 12$ $P_{11} = 0,062134$ $P_2 = 0,000000$
 для $a = 0,90$ $q = 13$ $P_{11} = 0,051334$ $P_2 = 0,000000$

Додаток Г

Акти впровадження, свідоцтво авторського права і патент





НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ПРОЦЕСНОГО АНАЛІЗУ

№ 23/20

16 вересня 2020

АКТ

щодо впровадження результатів дисертаційної роботи Дегтярьової Анастасії Олегівни, здобувача Національного транспортного університету за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології» на тему «Вибір та оптимізація структур інформаційно-управляючих систем на транспорті» в науково-дослідній діяльності центру.

Цим актом підтверджується, що результати дисертаційної роботи Дегтярьової Анастасії Олегівни, які представлені в вигляді процесної методології забезпечення регулярності та безпеки процесів польоту, впроваджені в наступному вигляді:

- метод поліпшення якості виконання польотів повітряних суден;
- методи підвищення якості впровадження процесного підходу ISO з врахуванням авторських розробок в цій області;
- статистична оцінка технологічної складності особливих випадків у польоті по зведенню аварійних контрольних карт
- засоби підвищення ефективності взаємодії «пілот-літак» з врахуванням розроблених методів і моделей забезпечення достовірності інформації в інформаційно-керуючих системах повітряних суден.

Президент Науково-методологічного
центру процесного аналізу (НМЦПА)



Є.М. Хохлов

АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
**«Вибір і оптимізація надійних структур інформаційно-управляючих систем
на транспорті»**

Дегтярьової Анастасії Олегівни

на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.13.06 - інформаційні технології

Цим актом підтверджуємо, що результати дисертаційної роботи Дегтярьової Анастасії Олегівни за темою: «Вибір і оптимізація надійних структур інформаційно-управляючих систем на транспорті», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології» впроваджені в циклі підготовки і перепідготовки льотних екіпажів, а саме:

- внесені зміни до процесу навчання та тренування льотних екіпажів із врахуванням природи найбільш поширених помилок екіпажів, які досліджені в дисертації Дегтярьової А.О.;

- для підвищення безпеки польотів і попередження виникнення помилок при підготовці і перепідготовці льотних екіпажів для розпізнавання пожежної ситуації на борту повітряного судна використовується методика оцінки впливу інформаційного резервування, розробленої в дисертації Дегтярьової А.О.;

- з метою попередження помилкових дій екіпажу при контурних переходах під час тренажерної підготовки льотного складу і для врахування факторного переходу від планової до аварійної експлуатації використовується методика аналізу дій екіпажу в складних польотних ситуаціях.

Впровадження вказаних розробок дозволяє підвищити рівень безпеки польотів та забезпечити зниження помилок екіпажів під час тренажерних занять та навчальних польотів. Додатковою перевагою, слід вважати скорочення часу підготовки льотних фахівців.

Начальник відділу забезпечення
екологічної безпеки в цивільній авіації
Державної авіаційної служби України



Світлана МАРУНИЧ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної роботи
Національного транспортного
університету
к.т.н., професор

 О.К. Гришук
« 18 »  2021 р.

Акт

впровадження результатів дисертаційної роботи Дегтярьової Анастасії Олегівни «Вибір і оптимізація надійних структур інформаційно-управляючих систем на транспорті», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології» в навчальний процес кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки Національного транспортного університету.

Комісія у складі: голова комісії: зав. кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки д.т.н., проф. Аль-Амморі А.Н.,

члени комісії: к.т.н., доц., професор кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки Кривенко В.І., к.ф.-м.н., доц., доцент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки Садовенко В.С. склали наступний акт в тому, що результати кандидатської дисертаційної роботи Дегтярьової А.О. впроваджені в навчальний процес кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, а саме:

- матеріали використовуються в дипломному проектуванні по розробці інформаційно-керуючих систем, а також при дослідженні та оптимізації структур інформаційно-керуючих систем;
- в розробці алгоритмів підвищення достовірності інформації в інформаційно-керуючих системах та в комп'ютеризованих системах по курсу «Забезпечення надійності функціонування комп'ютеризованих систем».

Голова комісії:

зав. кафедри інформаційно-аналітичної діяльності
та інформаційної безпеки, д.т.н., професор

 А.Н. Аль-Амморі

Члени комісії:

к.т.н., доц., доцент кафедри інформаційно-аналітичної
діяльності та інформаційної безпеки

 В.І. Кривенко

к.ф.-м.н., доц., доцент кафедри інформаційно-аналітичної
діяльності та інформаційної безпеки

 В.С. Садовенко