

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет
Кафедра прикладної радіоелектроніки**

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
В.о. зав. кафедрою
_____ Михайло Степанов
«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології
мікросистемної радіоелектронної техніки»**

**за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» на тему:
«Надійність системи бортового живлення нано- та мікросупутників»**

Виконав
студент 2 курсу, групи РІ-01мп

Сальус Асім Мохаммедович




Керівник:
ст. викладач
Адаменко Володимир Олексійович



Рецензент:
доц., к. т. н.
Бичковський Владислав Олексійович

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент (-ка) _____


Київ – 2021 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Радіотехнічний факультет

Кафедра прикладної радіоелектроніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.зав. кафедрою

_____ Михайло СТЕПАНОВ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

**на магістерську дисертацію студента
Сальуса Асіма Мохаммедовича**

1. Тема дисертації «Надійність системи бортового живлення нано- та мікросупутників»
науковий керівник дисертації ст. викладач, Адаменко Володимир Олексійович,
затверджені наказом по університету від «15» листопада 2021 р. №3744-с
2. Термін подання студентом дисертації 16 грудня 2021 року
3. Об'єкт дослідження _____ Система живлення наносупутника та підвищення надійності методом резервування _____
4. Предмет дослідження _____ Імовірність безвідмовної роботи, час напрацювання на відмову, архітектура системи живлення _____
5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Аналітичний огляд архітектури існуючих систем живлення; 2. Методу підвищення надійності системи;
3. Дослідження параметрів надійності запропонованої системи; _____
4. Аналіз результатів моделювання, висновки та рекомендації; _____

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Мультимедійна презентація

–

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

9. Дата видачі завдання 1 вересня 2021 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз вимог завдання, підбір джерел інформації за темою магістерської дисертації	01.09.2021	
2	Аналітичний огляд джерел інформації	02.09.2021 – 20.09.2021	
3	Розробка методу підвищення надійності системи бортового живлення супутника	21.9.2021 – 30.09.2021	
4	Проведення моделювання, щодо перевірки ефективності розробленого методу	01.10.2021 – 14.10.2021	
5	Оформлення та підготовка до захисту магістерської дисертації	15.10.21 – 16.12.2021	
6	Захист магістерської дисертації	21.12.2021	

Студент

Асім САЛЬУС

Науковий керівник

Володимир АДАМЕНКО

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки становить 56 сторінки, яка включає 12 рисунків, 22 таблиці, 1 додаток, 12 джерел.

Актуальність теми. Порівняно низька вартість виведення супутників формату CubeSat дозволила навчальним закладам та невеликим комерційним організаціям приєднатися до дослідження космосу. Проте для зниження вартості розроблення таких супутників часто використовують не спеціалізовані електронні компоненти, що погано впливає на їх надійність. Статистика свідчить, що в більшості випадках причиною відмови нососупутників є система живлення. Тому розроблення методу підвищення надійності системи живлення є актуальною задачею.

Мета дослідження. Метою роботи є дослідження методу часткового резервування живлення для підвищення її надійності.

Об'єкт дослідження. Системи бортового живлення нано- та мікросупутників.

Предмет дослідження. Підвищення надійності системи живлення шляхом розроблення архітектура системи живлення з введенням резервування.

Методи дослідження. Математичне моделювання і математична статистика для вибору методу підвищення надійності та забезпечення безвідмовної роботи приладу.

Наукова новизна одержаних результатів. Запропоновано методіку розрахунку параметрів надійності системи з урахуванням зміни коефіцієнта навантаження при відмові одного з модулів живлення.

Практичне значення одержаних результатів. Запропонована схема з частковим резервуванням за потужністю дозволяє підвищити надійність системи із збереженням масогабаритних показників системи живлення.

Ключові слова: система бортового живлення, наносупутник, мікросупутник, CubeSat, надійність, резервування.

ABSTRACT

The volume of the explanatory note of the master's dissertation consists of 56 pages, which include 12 figures, 22 tables, 1 attachment, 11 bibliographic references.

Relevance of the research topic. The relatively low cost of launching CubeSat satellites has allowed educational institutions and small businesses to join space exploration. However, non-specialized electronic components are often used to reduce the cost of developing such satellites, which has a negative effect on their reliability. Statistics show that in most cases the reason for the failure of nonosatellites is the power system. Therefore, the development of a method to increase the reliability of the power supply system is an urgent task.

Purpose and tasks. The aim of this work is to study the method of partial redundancy of electric power system to increase its reliability.

Object of research. Onboard power supply systems for nano- and micro-satellites; increase reliability by the use of redundancy.

Subject of research. Improving the reliability of the power system by developing a power system architecture with the use of redundancy.

Research methods. Mathematical modeling and mathematical statistics - to choose a method to increase reliability, to ensure faultless operation of the device.

Scientific novelty of the obtained results. A method for calculating the parameters of system reliability, taking into account the change in the load factor in the event of failure of one of the power modules.

The practical significance of the results obtained. The proposed scheme with partial redundancy for power allows to increase the reliability of the system while maintaining the mass and size of the power system

Key words: onboard electric power system, nanosatellite, microsatellite, CubeSat, reliability, redundancy.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської дисертації

на тему: «Надійність системи бортового живлення нано- та мікросупутників»

Київ – 2021 року

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Огляд існуючих рішень.....	4
1.1 Система бортового живлення EnduroSat EPS	4
1.2 Система живлення NanoAvionics EPS.....	5
1.3 Система живлення GOMspace NanoPower P31u	6
1.4 Одноштинні та двоштинні архітектури системи бортового живлення	7
2 Методи розрахунку надійності системи	10
2.1 Закони розподілу для розрахунку надійності PEA.....	10
2.2 Методи розрахунку надійності системи	12
3 Методи підвищення надійності.....	21
3.1 Інформаційні методи підвищення надійності	21
3.2 Структурні методи підвищення надійності. Резервування.....	22
3.3 Види резервування за способом резерву	23
3.4 Види резервування залежно від режиму роботи резерву	25
4 Проектування системи бортового живлення з підвищенням надійності	27
4.1 Структура системи бортового живлення.....	27
4.2 Розрахунок надійності одного модулю живлення.....	28
4.3 Розрахунок надійності системи бортового живлення з резервуванням.....	30
4.4 Розрахунок надійності з використанням Марківської моделі.....	31
5 Розробка стартап-проекту.....	36
5.1 Опис ідеї проекту	36

5.2	Технологічний аудит ідеї проекту	38
5.3	Аналіз ринкових можливостей запуску проекту	38
5.4	Розроблення ринкової стратегії проекту	45
5.5	Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	48
	Висновки	53
	Перелік джерел посилань	55
	Додаток А. Структурна схема.....	57

ВСТУП

Поява стандарту для мікро- та наносупутників, який за рахунок уніфікації пускового контейнеру дозволив виводити на орбіту супутники у якості додаткового навантаження, що в свою чергу значно здешевило вартість виведення на орбіту, призвела до значної популяризації космічної тематики в навчальних закладах.

Більшість провідних університетів світу займаються розробленням супутників формату CubeSat, що дозволяє порівняно не дорого проводити різноманітні дослідження в космосі та сприяє розвитку різних інженерних напрямів в університеті. Крім того, завдяки CubeSat космос став доступним і малим комерційним фірмам, що в свою чергу стимулює розвиток цього напрямку космічного апаратобудування.

Зрозуміло, що для розроблення нано- та мікросупутників часто використовують доступні та дешеві електронні компоненти. Це робить виготовлення супутнику значно дешевшим, проте їх надійність під великим питанням. Часто відсоток працюючих CubeSat при масовому запуску не перевищує 60% [1]. Причини різні, проте однією з основних причин відмови супутника є система бортового живлення [2]. Таким чином, збільшення терміну служби системи бортового живлення, зберігаючи при цьому процес розробки простим і швидким, є актуальною задачею.

В даній роботі пропонується конфігурація системи бортового живлення з використанням резервування, що допоможе збільшити вірогідність успіху місії нано- чи мікросупутника.

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Джерело живлення — це серце супутника. Тому дуже важливо не йти на компроміс з якістю та надійністю. Зазвичай система живлення проектується спеціально під наносупутник, так як це дозволяє урахувати всі особливості при якому буде використовуватися система живлення. Існує ринок модулів живлення для наносупутників, зазвичай такі системи відрізняються своєю універсальністю, але при цьому і високою ціною. Більш доцільніше спроектувати систему живлення самостійно, тому необхідно розглянути типову структуру джерел живлення наносупутника.

1.1 Система бортового живлення EnduroSat EPS

Система живлення наносупутника EnduroSat EPS, зображено на рис. 1.1:

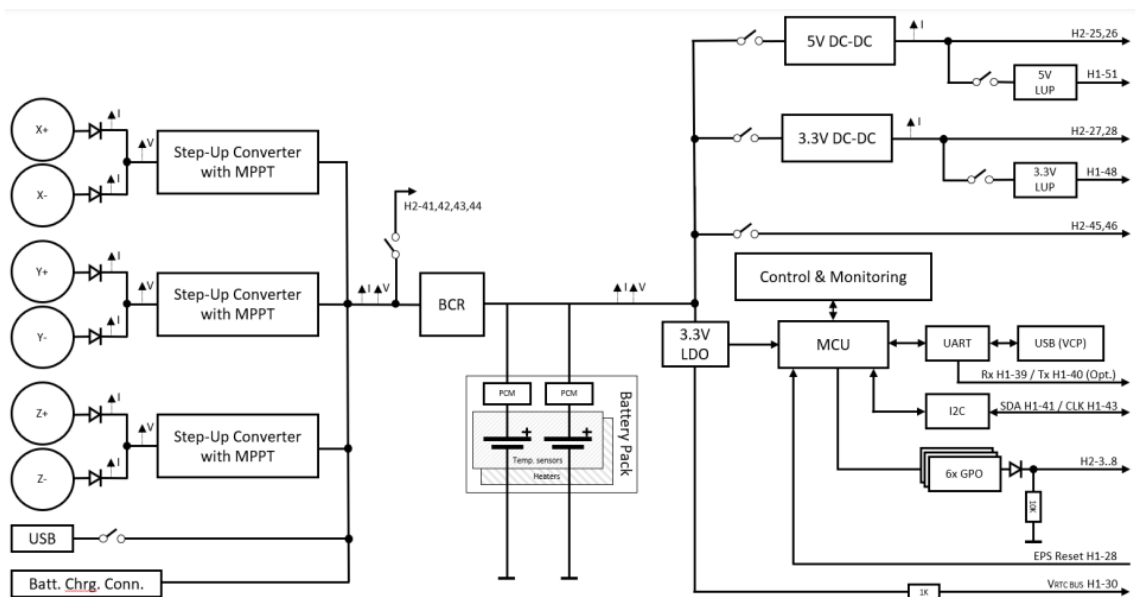


Рисунок 1.1 — Система бортового живлення EnduroSat EPS [3]

Система живлення має три канали для сонячних панелей, по одному для кожної осі. Кожен канал сонячної панелі має підвищувальний DC-DC перетворювач із відстеженням точки максимальної потужності (MPPT). Контролюється вихідна енергія для кожної сонячної панелі. Всі три канали сонячної панелі працюють паралельно і можуть працювати одночасно.

Система живлення включає програмний та апаратний захист (BCR) акумулятора. Кожен елемент батареї в кожній акумуляторній батареї має вбудований захисний ланцюговий модуль (PCM), який запобігає перенавантаженню за струму, перезарядженню та розряду. Кожен акумулятор має три незалежні нагрівачі, які запобігають заряджанню при температурі нижче 0 °C.

Вхідна потужність разом з енергією акумулятора, використовується для живлення всіх основних шин, два виходи мають захистом від замикання (LUP), викликаного перенавантаженням за струмом.

1.2 Система живлення NanoAvionics EPS

Ще один варіант пристрою який є на ринку Nanoavionics EPS 2SxP, зображено в [4].

NanoAvionics EPS сумісна з різними розмірами та конфігураціями сонячних панелей без будь-яких додаткових конфігурацій апаратного чи програмного забезпечення, оскільки вона оснащена чотирма конвертерами MPPT з вісьмома вхідними каналами сонячних панелей з широким діапазоном вхідної напруги (2,6–18 В) для надійного та гнучкого живлення.

NanoAvionics EPS поставляється з готовими до використання вбудованими літій-іонними акумуляторами з інтегрованою системою керування акумулятором (BMS), які допомагають продовжити термін служби приладу та забезпечують належні умови роботи. NanoAvionics EPS включає акумуляторні нагрівачі, які дозволяють користувачеві керувати процесом обігрівання, встановлювати необхідну температуру, а також вмикати та вимикати нагрівачі акумулятора.

Вбудовані функції моніторингу та реєстрації дозволяють користувачеві легко контролювати роботу EPS у всіх вхідних і вихідних ланцюгах. Усі телеметричні дані та конфігурації EPS зберігаються в надійній, стійкій до випромінювання пам'яті F-RAM.

Чотири вихідні перетворювачі, два з яких можуть бути налаштовані на напругу (3 – 18 В), з десятьма вихідними каналами, які дозволяють підключати велику кількість підсистем до системи живлення і забезпечують надійне розподілення електроенергії завдяки інтегрованому апаратному та програмному захисту від перевантаження.

1.3 Система живлення GOMspace NanoPower P31u

Ще один варіант пристрою який є на ринку GOMspace NanoPower P31u, зображено на рисунку 1.2 [5]:

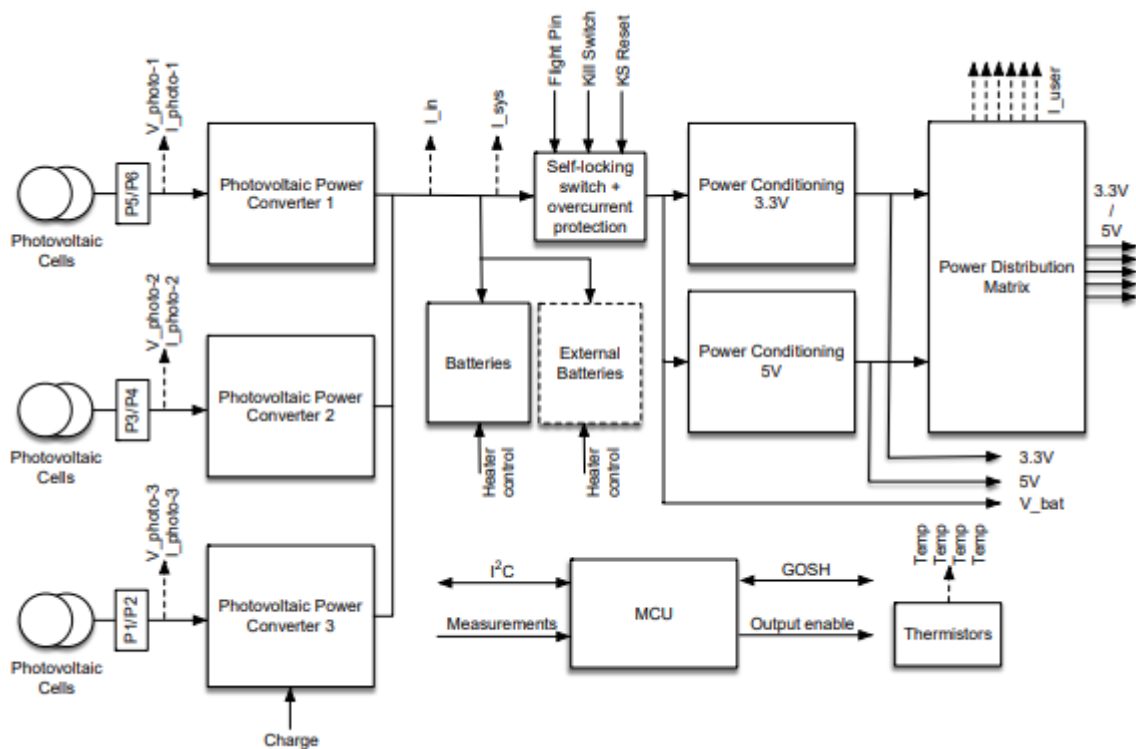


Рисунок 1.2 — Система бортового живлення GOMspace NanoPower P31u

Система живлення NanoPower P31u розроблені для малих недорогих супутників із потребою в потужності від 1 до 30 Вт. NanoPower P31u має три вхідні канали, з високоефективним DC/DC перетворювачем для підтримання їх вихідної потужності для заряджання літій-іонного акумулятора. Вхідна потужність разом з енергією, що зберігається в акумуляторах, використовується для живлення двох понижувальних перетворювачів, які живлять вихідну шину 3,3 В і 5 В, які можуть бути додатково налаштовані. Шість індивідуально керованих вихідних перемикачів із захистом від

перевантаження за струмом та відключенням, кожен окремо налаштовується на вихід 3,3 В або 5 В.

NanoPower P31u оснащений мікроконтролером, який забезпечує можливість відстеження точки максимальної потужності (MPPT), вимірює та реєструє напругу, струм і температуру, дозволяє користувачу взаємодіяти з системою.

1.4 Одношинні та двошинні архітектури системи бортового живлення

Узагальнена архітектура розглянутої одношинної системи живлення показана на рис. 1.3 [6].

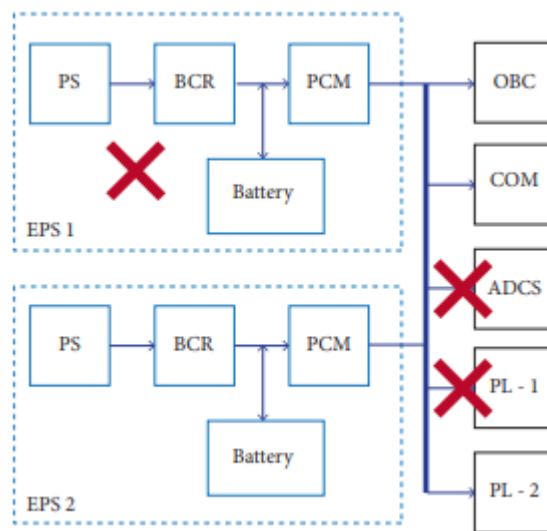


Рисунок 1.3 — Архітектура одношинної системи живлення

Архітектура розбита на дві системи живлення (*EPS 1* і *EPS 2*). У простому випадку обидві системи мають однакову потужність і можуть забезпечити потужність, необхідну для всіх режимів роботи супутника. Однак цей випадок може бути непривабливим через масу та розміри, які впливають із дублювання кожного компонента. Тому інший можливий варіант одношинної архітектури — це зробити модуль живлення *EPS 2* для забезпечення роботи лише основних елементів, необхідних для досягнення мінімального успіху місії.

Супутник може включати резервування підсистем, відмінних від системи живлення, таких як бортовий комп'ютер і модуль комунікації, щоб

збільшити ймовірність успіху місії. Ці додаткові підсистеми не обов'язково ідентичні, щоб уникнути тих самих помилок під час виконання однієї і тієї ж операції.

Архітектура подвійної шини для цього випадку може бути реалізована, як показано на рис. 1.4 [6].

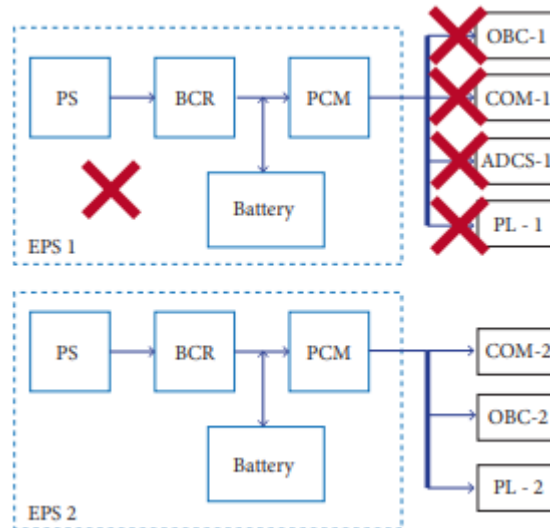


Рисунок 1.4 — Архітектура системи живлення з двома шинами

Тут дві шини живлення розділені. Таким чином, *EPS 2* забезпечує живлення тільки модулю комунікації (*COM-2*), бортовому комп'ютеру (*OBC-2*) і вторинному корисному навантаженню (*PL-2*). Основна причина включення подвійних електричних систем живлення полягає в тому, щоб зменшити рівень відмов всього супутника. Таким чином, супутник повинен мати можливість працювати, коли одна з систем живлення виходить з ладу.

Висновки до розділу

За результатами огляду існуючих рішень визначено типову структуру, бортової системи живлення, проаналізовано їх особливості, з'ясовано що системи живлення мають схожі структури, але мають деякі особливості для підвищення надійності системи, а саме захист від перенавантаження за струмом.

Розглянуто одношинну та двошинну архітектуру системи живлення. Проаналізувавши архітектури, можна зробити висновки, архітектура з

подвійною шиною забезпечує більшу надійність, але основними недоліками такої системи є збільшення маси та габаритів супутника.

2 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ

2.1 Закони розподілу для розрахунку надійності РЕА

Як вихідні дані для розрахунку показників надійності об'єкта використовують встановлений вигляд і значення параметрів закону розподілу (наприклад, у вигляді щільності розподілу ймовірностей). Цей метод застосовується на ранніх етапах проектування для орієнтовної оцінки показників надійності.

Відповідно до ДСТУ 2862-94 для розрахунку надійності РЕА рекомендуються такі розподіли:

1) Експоненційний розподіл — для складних технічних систем та електрорадіовиробів, що не піддаються старінню та зносу;

2) *DN*-розподіл (дифузійний немонотонний розподіл) — для електро-радіо виробів, електронних систем, а також технічних систем, що містять електро-радіо вироби та механічні елементи, переважаючими механізмами відмов яких є процеси старіння, різні електропроцеси, а також процеси втоми.

2.1.1 Експоненційний розподіл

Експоненційний розподіл описує напрацювання до об'єктів, у яких внаслідок контрольних випробувань під час вхідного контролю немає періоду приробітку, а призначений ресурс встановлений до закінчення періоду нормальної експлуатації.

Ці об'єкти можна віднести до «нестаріючих», оскільки їх експлуатують лише на ділянці з інтенсивністю відмов $\lambda(t) = const$. Таких об'єктів надзвичайно багато: складні технічні системи з великою кількістю компонентів, засоби обчислювальної техніки, радіоелектронні елементи, системи автоматичного регулювання тощо. Експоненційний розподіл широко застосовують для оцінювання безвідмовності енергетичних об'єктів та елементів елементи літальних апаратів [7].

Експонентний розподіл має такі характеристики:

$$P(t) = e^{-\lambda t}; \quad (2.1)$$

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

$$T_0 = \frac{1}{\lambda}; \quad (2.3)$$

де, $P(t)$ — імовірність безвідмовної роботи ($0 \leq P(t) \leq 1$); $Q(t)$ — імовірність відмови ($0 \leq Q(t) \leq 1$); T_0 — час напрацювання на відмову; λ — інтенсивність відмов, $\lambda \geq 0$.

2.1.2 DN-розподіл

Якщо фізичний процес деградації об'єкта описують випадковим процесом з немонотонними реалізаціями типу моделі, то розподіл відмов буде апроксимуватися дифузійним немонотонним розподілом (DN-розподілом).

Немонотонний характер зміни деяких фізичних параметрів спостерігається у виробках електронної техніки елементи літальних апаратів.

Властивості DN-розподілу [7]:

1) Розподіл має позитивну асиметрію, це свідчить про універсальний характер цього розподілу;

2) інтенсивність відмов DN-розподілу має немонотонний характер, в асимптотиці (при $t \rightarrow \infty$) прагне до кінцевої межі (константи), яка дорівнює $(2v^2\mu)^{-1}$, де v — швидкість зміни визначального параметра; μ — інтенсивність відновлення;

3) параметри DN-розподілу можуть бути оцінені як на підставі статистики відмов, так і на підставі аналізу фізичних процесів деградації, які спричиняють відмови, а також на підставі сумісного використання статистичної інформації обох згаданих типів;

4) суму n випадкових величин, які підпорядковуються DN -розподілу виду $DN(t, \mu, \nu)$, можна описати також DN -розподілом виду $DN(t, n\mu, \nu/\sqrt{n})$;

5) вибіркове середнє $S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$ випадкової величини t з DN -розподілом виду $DN(t, \mu, \nu)$, також можна описати DN -розподілом виду $DN(t, n\mu, \nu/\sqrt{n})$;

6) DN -розподілу притаманна властивість операції згортки розподілів.

Основні характеристики DN -розподілу:

$$Q(t) = DN(t, \mu, \nu) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{\nu\sqrt{\mu t}}\right) + e^{2\nu^2} \Phi\left(-\frac{t + \mu}{\nu\sqrt{\mu t}}\right) \quad (2.4)$$

$$P(t) = \Phi\left(\frac{\mu - t}{\nu\sqrt{\mu t}}\right) - e^{2\nu^2} \Phi\left(-\frac{\mu + t}{\nu\sqrt{\mu t}}\right) \quad (2.5)$$

де, $\Phi(x)$ — інтеграл Лапласа.

2.2 Методи розрахунку надійності системи

За основними принципам розрахунку властивостей, складових надійності, і комплексних показників надійності об'єктів розрізняють методи прогнозування, структурні і фізичні методи розрахунку [8].

2.2.1 Приблизний розрахунок надійності

Приблизний розрахунок дозволяє визначити принципову можливість забезпечення необхідної надійності виробу і ґрунтується на припущенні, що надійність всіх його елементів однакова ($\lambda = const$) [8].

Приблизний розрахунок здійснюється наступними методами:

- при усередненою інтенсивності відмов;
- коефіцієнтним методом;
- за показником надійності.

Розрахунок за усередненою інтенсивності відмов застосовується для оцінки надійності виробу при порівнянні декількох варіантів його функціональних схем, а також для визначення мінімально допустимого рівня надійності елементів виробу, тобто рівня, що забезпечує задану надійність.

Розрахунок проводиться в наступному порядку:

- за довідниками і/або іншої технічної літератури визначається орієнтовна кількість активних елементів (N_a);
- визначається середнє число пасивних елементів, що припадають на один активний прилад (N_n);
- за довідковими даними визначається середнє значення інтенсивності відмов елементів ($\bar{\lambda}$);
- обчислюється загальне число елементів $N = N_a + N_n N_a$ і середня інтенсивність відмов виробу:

$$\lambda_c = \bar{\lambda} N = \bar{\lambda} (N_a + N_n N_a) \quad (2.6)$$

- визначаються середнє напруцювання системи на відмову (2.7) і ймовірність її безвідмовної роботи (2.8):

$$T_0 = 1 / \lambda_c \quad (2.7)$$

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c t} \quad (2.8)$$

Розглянутий метод приблизного розрахунку дозволяє оцінити наближено надійність РЕЗ в лабораторних умовах. У реальних же умовах показники надійності гірше, ніж в лабораторних, через наявність різних дестабілізуючих факторів. Для врахування дії цих факторів і застосовують коефіцієнтний метод розрахунку надійності, що полягає у введенні поправочний коефіцієнт K_λ , що показує у скільки разів збільшується інтенсивність відмов окремих елементів і системи в цілому в реальних умовах в порівнянні з лабораторними.

Для визначення очікуваної середньої інтенсивності відмов елементів в системі, призначеної для роботи в реальних умовах, необхідно середню інтенсивність її відмов в лабораторних умовах помножити на відповідний поправочний коефіцієнт:

$$\lambda_{c.p} = \lambda_c K_\lambda \quad (2.9)$$

Розрахунок за показником надійності дозволяє обчислити параметри системи з неодноразово працюючими елементами, так як показник надійності $A = \lambda t$ враховує не тільки інтенсивність відмов елементів, але і час їх роботи. Даний метод також зручний при розрахунку норм надійності для окремих вузлів і блоків системи при заданій надійності всієї системи.

Цим методом можна вирішити наступне завдання:

1) Система містить N елементів з інтенсивністю відмов відповідно $\lambda_1 \dots \lambda_N$. Елементи працюють неодноразово і час їх роботи $t_1 \dots t_N$. Потрібно визначити ймовірність безвідмовної роботи системи $P_c(t)$, де t - проміжок часу від початку роботи першого елемента до кінця роботи останнього. Розрахунок проводиться в наступному порядку:

– визначаються показники надійності елементів:

$$A_1 = \lambda_1 t_1, \dots, A_N = \lambda_N t_N \quad (2.10)$$

– визначається показник надійності системи:

$$A_c = \sum_{i=1}^N A_i \quad (2.11)$$

– обчислюються ймовірність безвідмовної роботи системи і середній час її напрацювання до першої відмови:

$$P_c(t) = e^{-A_c}$$

$$T_0 = -\frac{\ln(P_c(t))}{t} \quad (2.12)$$

2.2.2 Орієнтовний розрахунок надійності

Орієнтовний метод розрахунку надійності використовується на етапі ескізного проектування після розробки принципової електричної схеми системи. Цей метод дозволяє визначити раціональний склад елементів системи і намітити шляхи підвищення його надійності на стадії ескізного проектування [8].

Орієнтовний розрахунок, який враховує вплив на надійність системи тільки числа і типу застосовуваних елементів, ґрунтується на тих же

припущеннях, що і приблизний, тобто для його проведення досить знати структуру системи, номенклатуру застосованих елементів і їх число.

Орієнтовний розрахунок надійності виконується двома методами:

- по середньогруповим інтенсивностям відмов елементів;
- коефіцієнтним методом.

Розрахунок надійності по середньогруповим інтенсивностям відмов елементів передбачає, що відомі інтенсивності відмов елементів різних типів λ_i число елементів N_i кожного типу, що входять в систему.

Сутність даного методу розрахунку надійності полягає у визначенні основних показників, що характеризують безвідмовність апаратури: напрацювання на відмову T_0 і ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$.

Порядок розрахунку:

1) всі елементи проектованої системи розбиваються на кілька груп з приблизно однаковими інтенсивностями відмов всередині групи і підраховується орієнтовна кількість елементів N_i в кожній з цих груп;

2) за таблицями знаходяться значення інтенсивностей відмов елементів кожної групи λ_i (середнє або крайнє, якщо потрібно визначити максимальні і мінімальні значення показників надійності апаратури);

3) обчислюється добуток $N_i \lambda_i$, який характеризує частку відмов, внесених елементами даної групи в загальну інтенсивність відмов системи;

4) розраховується загальна інтенсивність відмов системи за допомогою підсумовування добутків $N_i \lambda_i$ за всіма k груп елементів:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^k \lambda_i N_i \quad (2.13)$$

5) визначається напрацювання системи на відмову зі співвідношення (2.7);

б) розраховується ймовірність безвідмовної роботи системи (2.8).

Розглянемо коефіцієнтний метод орієнтовного розрахунку надійності, що полягає у використанні при розрахунку показників надійності системи коефіцієнтів, що пов'язують інтенсивності відмов елементів різних типів з

інтенсивністю відмов елемента, характеристики надійності якого достовірно відомі.

Вважається, що інтенсивності відмов елементів всіх типів змінюються в залежності від умов експлуатації однаково, а отже, при різних умовах експлуатації:

$$\frac{\lambda_i}{\lambda_0} = K_i = const, \quad (2.14)$$

де λ_0 — інтенсивність відмов елемента, якісні характеристики якого достовірно відомі; K_i — коефіцієнт надійності i -го елемента.

Елемент з інтенсивністю відмов λ_0 називається основним елементом розрахунку системи.

Основну розрахункову формулу для даного методу отримаємо з виразу для інтенсивності відмов системи, замінивши в ньому λ_i , добутком середньої інтенсивності відмов системи в лабораторних умовах і поправочний коефіцієнт:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^k \lambda_i N_i = \lambda_0 \sum_{i=1}^k K_i N_i. \quad (2.15)$$

Інші показники надійності системи, тобто T_0 і $P(t)$, розраховуються за тим самим відомим формулами.

2.2.3 Остаточний розрахунок надійності

Остаточний розрахунок надійності також називають схемним, так як він виконується по принциповій електричній схемі. Проводиться цей розрахунок на етапі технічного проектування по дослідному зразку виробу для відомих умов експлуатації, режимів роботи всіх елементів і конструктивного оформлення [8].

Для остаточного розрахунку використовуються ті ж формули, що і для орієнтовного, тільки інтенсивності відмов елементів λ_e тут беруться з урахуванням реальних умов експлуатації, тобто вводиться ряд поправкових коефіцієнтів:

$$\lambda_e = \lambda_0 K_p \prod_{i=1}^n K_i \quad (2.16)$$

де, λ_0 — вихідна (базова) інтенсивність відмов електрорадіоелементів; K_p — коефіцієнт режиму роботи, що залежить від коефіцієнта навантаження і (або) температури навколишнього середовища; K_i — коефіцієнти, що враховують зміни експлуатаційної інтенсивності відмов в залежності від різних факторів; n — число чинників, що враховуються.

Таким чином, щоб розрахувати надійність необхідно знати реальні режими роботи всіх елементів електрорадіо виробу, які визначаються коефіцієнтами режиму роботи K_p , залежними від коефіцієнта електричного навантаження K_n і температури t навколишнього середовища. Коефіцієнти електричного навантаження в загальному випадку визначаються за формулою:

$$K_n = \frac{E_p}{E_{доп}}, \quad (2.17)$$

де E_p і $E_{доп}$ — реальне і допустиме значення електричного параметра.

Основні математичні вирази для визначення реальних інтенсивностей відмов і таблиці значень поправочних коефіцієнтів деяких ЕРЕ представлені в [8].

2.2.4 Розрахунок надійності з використанням Марківської моделі

Моделювання Маркова - це метод моделювання, який широко використовується для аналізу надійності складних систем. Він дуже гнучкий щодо типу систем та поведінки системи, які він може моделювати. Ця методика моделювання дуже допомагає в більшості ситуацій. Насправді він широко використовується для аналізу надійності та доступності відповідальної системи з постійними відмовами та вірогідність відновлення роботи [9].

Розглянемо функціонування відновлюваного елемента, при наступних припущеннях: (1) потік відмов елемента — з параметром λ (інтенсивність

відмов); (2) потік відновлень елемента — з параметром μ (інтенсивність відновлення). Припущення (1) і (2) рівносильні припущенням про експоненційний розподіл випадкового часу відмови і відновлення. Елемент може перебувати в двох станах: 1 — справний стан; 2 — стан відмови. Ланцюг Маркова переходу елемента між справним станом і станом відмови показаний на рис.5.1.

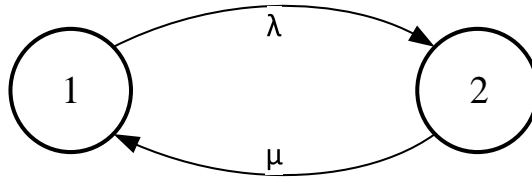


Рисунок 2.1 — Ланцюг Маркова для елемента з двома станами

Позначимо: $P_1(t)$ - ймовірність знаходження елемента в момент часу t в стані 1. $P_2(t)$ - ймовірність знаходження елемента в момент часу t в стані 2. Подія А працездатності елемента (знаходження в стані 1) в момент часу $t + \Delta t$ може статися двома способами. Або відбудеться подія В, що складається в тому, що в момент t елемент вже знаходився в працездатному стані 1 і за час Δt не вийшов з цього стану (відмова за Δt не сталося). Або відбудеться подія С, що складається в тому, що в момент t елемент була в стані відмови 2 і за час Δt перейшов зі стану 2 в стан 1 (працездатність елемента була відновлена за Δt).

Ймовірність події В дорівнює:

$$P(B) = P_1(t)e^{-\lambda\Delta t} \approx P_1(t)(1 - \lambda\Delta t) \quad (2.18)$$

Ймовірність події С дорівнює:

$$P(C) = P_2(t)(1 - e^{-\mu\Delta t}) \approx P_2(t)\mu\Delta t \quad (2.19)$$

Тоді ймовірність події А (працездатності елемента в момент часу $t + \Delta t$), з урахуванням того, що події В і С несумісні, визначається як:

$$P(A) = P_1(t + \Delta t) = P_1(t)(1 - \lambda\Delta t) + P_2(t)\mu\Delta t \quad (2.20)$$

Якщо ми перенесемо $P_1(t)$ в ліву частину рівняння, розділимо отримане приріст функції на приріст аргументу, спрямувавши Δt до нуля, то отримаємо диференціальне рівняння щодо невідомої ймовірності $P_1(t)$:

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = -\lambda P_1(t) + \mu P_2(t) \quad (2.21)$$

Аналогічно розмірковуючи, можна отримати диференціальне рівняння щодо ймовірності $P_2(t)$. Таким чином, ми отримали для ймовірностей $P_1(t)$ і $P_2(t)$ систему звичайних диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dP_1(t)}{dt} = -\lambda P_1(t) + \mu P_2(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda P_1(t) - \mu P_2(t) \end{cases} \quad (2.22)$$

Цю систему рівнянь можна представити у матричному вигляді:

$$\begin{bmatrix} \frac{dP_1(t)}{dt} \\ \frac{dP_2(t)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\lambda & \mu \\ \lambda & -\mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Вирішивши систему диференціальних рівнянь з початковими умовами $P_1(0) = 1; P_2(0) = 0; P_1(t) + P_2(t) = 1$, отримаємо:

$$\begin{cases} P_1 = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \left(1 + \frac{\lambda}{\mu} e^{-(\mu + \lambda)t} \right) \\ P_2 = \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \left(1 - e^{-(\mu + \lambda)t} \right) \end{cases} \quad (2.24)$$

Якщо ми будемо будувати Марківську модель надійності систем, що складаються з декількох елементів, враховувати додаткові чинники, то очевидно, що простір станів моделі буде збільшуватися. Система диференціальних рівнянь щодо $P_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) в загальному вигляді записується як:

$$\begin{aligned} \frac{dP_1(t)}{dt} &= -P_1(t) \sum_{i \in g_1} \lambda_{1i} + \sum_{i \in G_1} P_i(t) \lambda_{i1} \\ &\dots \\ \frac{dP_n(t)}{dt} &= -P_n(t) \sum_{i \in g_n} \lambda_{ni} + \sum_{i \in G_n} P_i(t) \lambda_{in} \end{aligned} \quad (2.25)$$

де g_n — безліч станів, в які можливий безпосередній перехід з даного стану n ; G_n — безліч станів, з яких можливий безпосередній перехід в стан n ; n — кількість станів, в яких може перебувати система.

Імовірність безвідмовної роботи ($P_c(t)$) всієї системи:

$$P_c(t) = \sum_{i=1}^{n-1} P_i(t) \quad (2.26)$$

Висновки

Розглянуто закони розподілу, які використовуються для розрахунку надійності РЕА, проаналізовано їх властивості, та характеристики. З'ясовано, що експоненційний розподіл — це досить грубий метод розрахунку, і не забезпечує високої точності, тому його краще застосовувати при розрахунку показників надійності на початковому етапі проектування, або коли надійність виробу не дуже важлива.

Розглянуто методи розрахунку надійності, проаналізовано їх сильні та слабкі сторони. Визначено, що для розрахунку простої системи, найбільше підходить остаточний розрахунок. Для розрахунку комплексних систем, підходить Марківське моделювання, так як цей метод дозволяє враховувати зміни поведінки системи при виході із ладу частини системи.

3 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ

3.1 Інформаційні методи підвищення надійності

Інформаційні методи в основному застосовують в обчислювальній техніці. Реалізуються вони у вигляді кодів, що коригують. Ці коди призначені для того, щоб виявляти і виправляти помилки в РЕА без переривання їх роботи.

Використання кодів, що коригують, передбачає введення у виріб деякої надмірності. Надмірності, можуть бути тимчасовими і просторовими. Тимчасова надмірність характеризується неодноразовим рішенням задачі. Отримані результати порівнюються, і якщо вони співпадають, то робиться висновок, що завдання вирішене правильно. Тимчасова надмірність вводиться в РЕА програмним шляхом. Просторова надмірність характеризується подовженням кодів чисел, в які вводять додатково контрольні розряди.

Принцип виявлення і виправлення помилок за допомогою кодів, що коригують, полягає в наступному. У кінцевій множині A вихідних слів пристрою виділяють підмножину B дозволених кодових слів (тобто $B \subset A$). Ці слова можуть з'явитися лише у тому випадку, якщо усі арифметичні і логічні операції, виконувані РЕА, здійснюються правильно. Тоді очевидно, що підмножина $B = C(A \setminus B = C)$ характеризуватиме заборонені кодові слова. Останні мають місце тільки за наявності помилок.

Далі усі слова на виході пристрою аналізують, і якщо на виході пристрою з'являється заборонене кодове слово c_i ($c_i \in B$), то це свідчить про наявність помилки, і вона фіксується. Для усунення виявлених таким чином помилок усі заборонені кодові слова розбиваються на групи. Кожній такій групі ставиться у відповідність тільки одне дозволене кодове слово. При декодуванні заборонені кодові слова c_i автоматично замінюються дозволеними кодовими словами з тієї групи, до якої належить c_i . Таким

чином, коди, що коригують, в змозі не лише виявляти помилки, але і усувати їх [10].

3.2 Структурні методи підвищення надійності. Резервування

Забезпечити безвідмовну роботу технічних пристроїв принципово неможливо, а максимально підвищити показники їх надійності реально. Підвищення рівня надійності РЕА досягається, передусім, усуненням причин, що викликають в ній відмови, тобто зведенням до мінімуму конструкторських, технологічних і експлуатаційних помилок.

Значного підвищення надійності РЕА можна досягти створенням нових елементів, застосування інтегральних мікросхем для побудови РЕА привело до значного підвищення надійності апаратури.

Проте підвищенням надійності елементів не вдається повністю розв'язати проблему побудови надійних РЕА, що викликано значним зростанням складності РЕА, що розробляються, великими витратами при отриманні елементів високої надійності, а також існуванням елементів, надійність яких досить низька і важко піддається підвищенню. Тому один з шляхів підвищення надійності РЕА – вступ схемної надмірності [10].

Підвищення надійності РЕА резервуванням. Резервування - це загальноприйнятий підхід для підвищення надійності системи. Додавання резерву збільшує вартість і складність конструкції системи, і завдяки високій надійності сучасних електричних компонентів в багатьох випадках системи не потребують резерву. Однак, якщо вартість відмови досить висока, це може бути правильним рішенням.

Залежно від умов роботи резервних елементів розрізняють [11]:

1) постійний (гарячий) резерв. Цей вид характеризується абсолютно однаковим режимом роботи резервних і основних елементів. Ресурс резервних елементів витрачається з моменту включення в роботу всієї системи;

2) резервування з заміщенням (холодний). Ресурс резервних елементів починає витрачатися з моменту відмови резервної системи;

3) полегшений (теплий) резерв. При цьому ресурс резервованих елементів починає витрачатися з моменту включення всієї системи в роботу, однак ресурс елементів до моменту включення їх замість системи, що відмовила значно нижче, ніж за звичайних робочих умовах.

За способом включення резерву розрізняють:

- 1) роздільне резервування;
- 2) загальне резервування.

3.3 Види резервування за способом резерву

3.3.1 Роздільне резервування

Роздільне резервування (рис. 3.1) — резервуються лише окремі, найменш надійні частини системи. Систему з загальним резервуванням заміщенням можна вважати окремим випадком системи з роздільним резервуванням, що має одну ділянку резервування. Роздільне резервування можливо як для порівняно великих вузлів і блоків системи, так і для окремих її елементів або навіть елементних зв'язків [8].

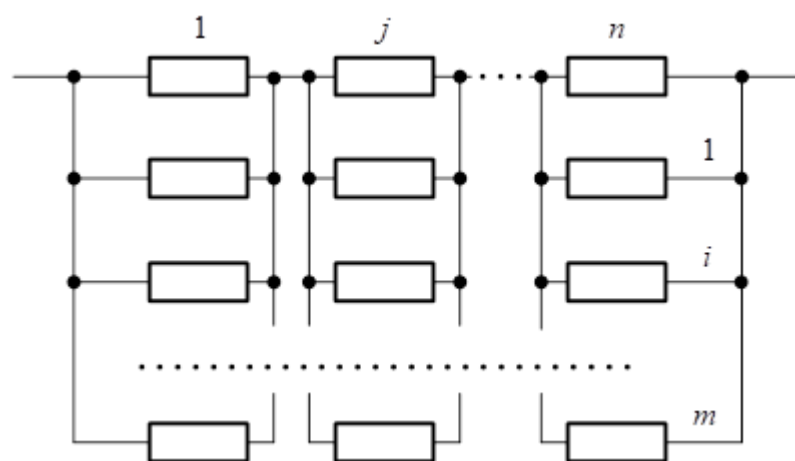


Рисунок 3.1 — Структурна схема системи із загальним резервуванням

Імовірність відмови всіх елементів ланцюга (основних і резервних) визначається за формулою:

$$Q_{\text{ланц}}(t) = \prod_{i=1}^n (1 - P_{ij}(t)). \quad (1.1)$$

де $P_i(t)$ – імовірність безвідмовної роботи елемента i , ланцюга j .

Імовірність безвідмовної роботи системи:

$$P_{\text{розд}}(t) = \prod_{j=1}^n \left(1 - \prod_{i=1}^{m+1} (1 - P_{ij}(t)) \right). \quad (1.2)$$

Якщо елементи однакові, то:

$$Q_{\text{розд}}(t) = 1 - (1 - Q(t)^{m+1})^n, \quad (1.3)$$

$$P_{\text{розд}}(t) = 1 - (1 - P(t)^{m+1})^n. \quad (1.4)$$

Роздільне резервування доцільно застосовувати для елементів, що мають невелику ймовірність безвідмовної роботи.

3.3.2 Загальне резервування

Загальне резервування — це резервування всієї системи в цілому (рис. 1.2). Завдяки своїй простоті цей спосіб резервування найбільш широко поширений, особливо його різновид — дублювання, при якому використовується тільки одна резервна система [8].

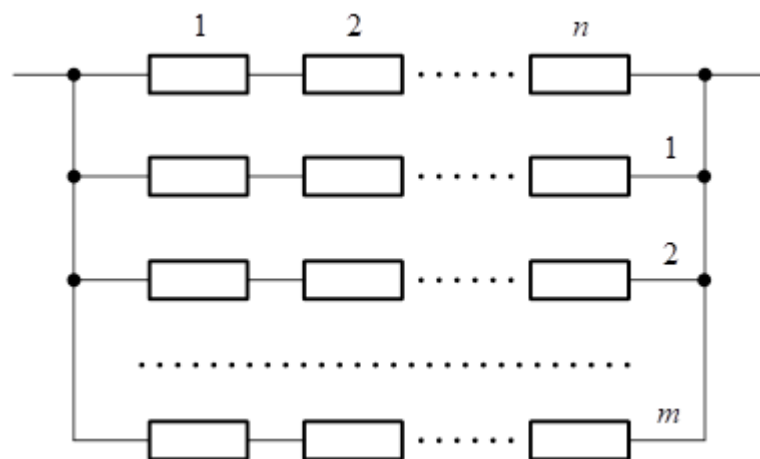


Рисунок 3.2 — Структурна схема системи із загальним резервуванням

Імовірність безвідмовної роботи та імовірність відмов системи визначають за формулами:

$$P_{\text{заг}}(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t); \quad (1.5)$$

$$Q_{заз}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n P_i(t); \quad (1.6)$$

3.4 Види резервування залежно від режиму роботи резерву

3.4.1 Постійне резервування

При постійному включенні резервний елемент включений паралельно основному і працює разом з ним (рис.1.3). При відмові основного елемента установка зберігає працездатність за рахунок резервного елемента, що приймає на себе все навантаження. У цьому випадку немає необхідності включати резервний елемент і відключати відмовив основний, але резервний елемент зношується і витрачає свій ресурс надійності разом з основним.

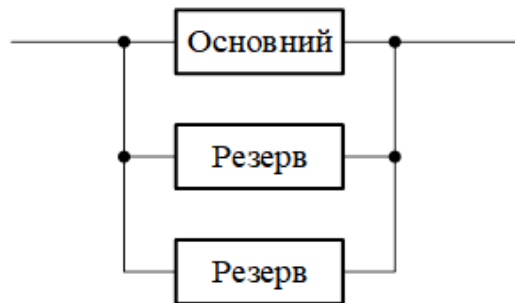


Рисунок 3.3 — Структурна схема системи із постійним включенням резерву

До переваг постійного загального резервування відносяться:

- відносна простота побудови схем;
- відсутність навіть короткочасної перерви в роботі при відмові від одного до іншого елементів системи;
- відсутність додаткових елементів, що підключаються, що знижують загальну надійність схеми.

Недоліки такого методу, крім збільшення габаритів і маси системи є підвищенні витрати енергії, а також те, що резервні елементи «старіють» одночасно з основними елементами системи.

3.4.2 Резервування з заміщенням

Резервування заміщенням (рис. 1.4) має ту перевагу, що в більшості випадків не потрібно регулювання в момент відмови основного і включення

резервного апарату резервний апарат до включення його в роботу може перебувати в теплому або холодному стані (так званий полегшений або ненавантажений резерв), це зберігає ресурс надійності кожного з пристроїв і підвищує загальну надійність всієї системи.

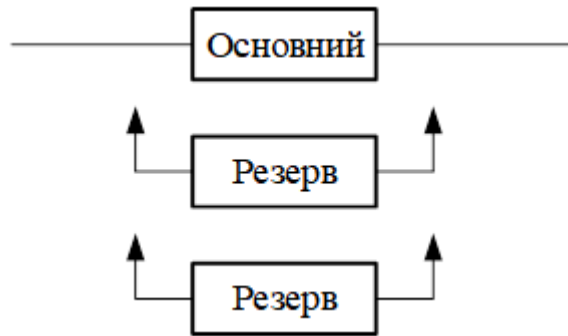


Рисунок 3.4 — Структурна схема системи із постійним включенням резерву

Основні переваги резервування з заміщенням:

1) більший вигаш в надійності в порівнянні з постійним резервуванням (у випадках ненавантаженого і полегшеного резерву);

2) відсутність необхідності додаткового регулювання в разі заміщення основного елемента резервним, так як основний і резервний елементи однакові.

Основні недоліки резервування заміщенням:

1) складність технічної реалізації і пов'язане з цим збільшення маси, габаритів і вартості всього зарезервованого РЕА;

2) перерва в роботі в разі заміщення елемента, що відмовив;

3) необхідність мати перемикаючий пристрій високої надійності.

Висновки

Аналіз методів підвищення надійності, які використовуються в РЕА, показує, що найбільш доцільним способом для підвищення надійності в РЕА є метод резервування. Найбільшим недоліком такого методу є збільшення маси, та габаритів системи. Найбільш перспективним для використання в системі живлення, є загальне постійне резервування, також для системи розподілу живлення наносупутника використати резервування з заміщення.

4 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ БОРТОВОГО ЖИВЛЕННЯ З ПІДВИЩЕННЯМ НАДІЙНОСТІ

4.1 Структура системи бортового живлення

В процесі проектування системи живлення наносупутника в межах виконання наукової теми¹ постала проблема забезпечення надійності системи живлення.

Використання класичних методів резервування, які б дозволили підвищити надійність систем в умовах значних масогабаритних обмежень є не доречним. Тому для підвищення надійності, запропоновано використання системи резервування за допомогою надлишкової потужності в багатоканальній системі.

Система живлення складається з чотирьох незалежних каналів живлення, кожен з яких містить свій набір сонячних панелей, акумуляторів перетворювачів напруги тощо. Ці канали спроектовано як окремі модулі, які можуть бути рознесені в об'ємі супутника, що дозволить більш ефективно розсіювати тепло та буде сприяти підвищенню надійності під час можливих впливів космічної радіації. Наявність саме чотирьох каналів зумовлена конструкцією супутника, яка дозволяє розмістити на ньому чотири окремі модулі із сонячними панелями.

Кожен з модулів живлення, має надлишкову потужність, таке використання дозволить при виході з ладу одного з модулів, перерозподілити потужність між навантаженням, таким чином компенсувати вихід із ладу одного з модулів.

В додатку А наведено загальну структурну схему джерела живлення наносупутника формату Cubesat 12U, який планується використовувати для дистанційного зондування Землі.

¹ Адаптація бортової приймально-передавальної апаратури в наносупутниках (формату Cubesat 12U) дистанційного зондування Землі середньої роздільної здатності та його підготовка до запуску. Договір: № 3-24/20/02070921 від 2020-12-30.

Для зручності на рис. 4.1 наведено спрощену структурну схему, яка демонструє принцип роботи запропонованого методу резервування.

Основним елементом такої системи є блок керування та комутації (БКК), основне завдання якого полягає в контролі працездатності незалежних модулів живлення (МЖ) та в прийнятті рішення щодо перерозподілу потужності між окремими споживачами (Н) в залежності від їх важливості для продовження успішності місії.

Для підтвердження ефективності такого резервування проведемо розрахунки надійності при різних конфігураціях.

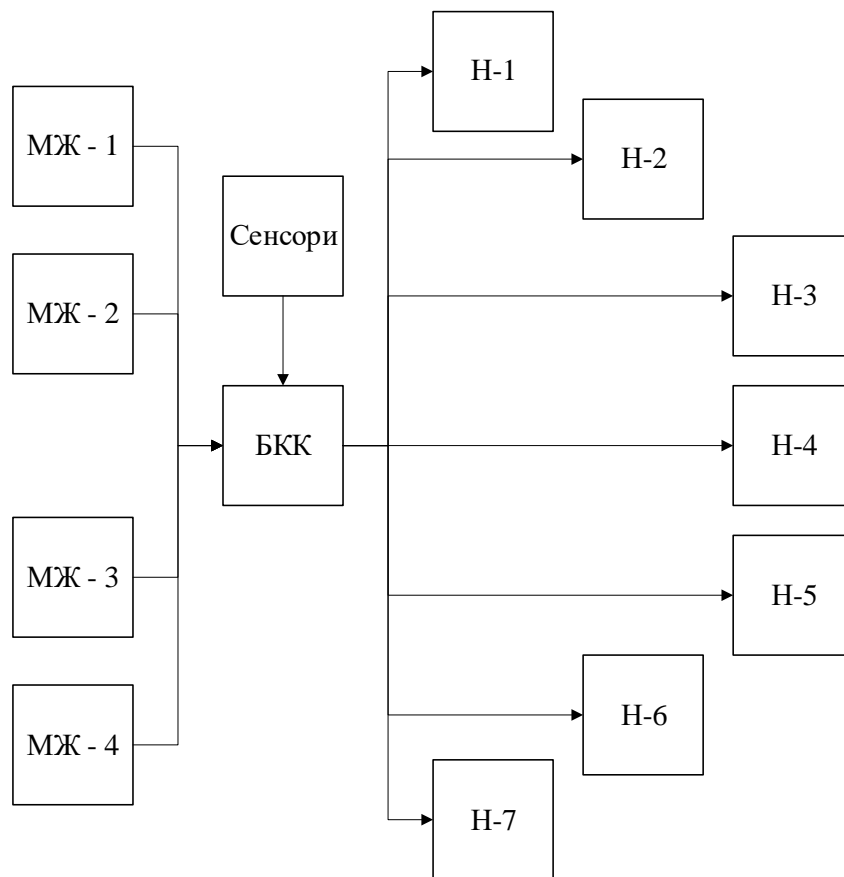


Рисунок 4.1 — Структурна схема бортової системи живлення нано- та мікросупутника

4.2 Розрахунок надійності одного модулю живлення

Для початку нам необхідно визначити надійність окремого модулю живлення. Кожен з модулів живлення (рис. 4.2) складається з: в якості основного джерела живлення, використовується сонячні панелі; вторинним джерелом живлення є блок акумуляторів; для заряджання акумуляторів, є

контролер заряду акумулятора; і підвищуючий DC/DC перетворювач який забезпечуватиме на виході необхідне значення напруги.

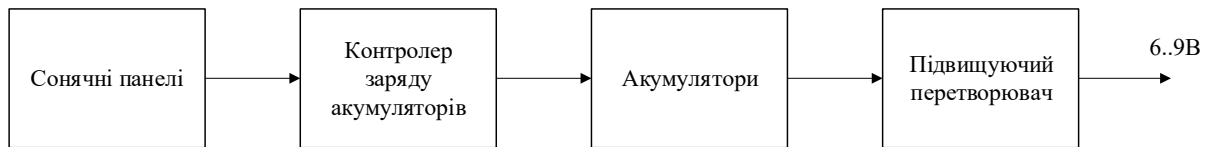


Рисунок 4.2 — Структурна схема окремого модуля живлення

Для розрахунку надійності доцільно використати остаточний розрахунок надійності.

Розрахунок напрацювання на відмову передбачає наступні умови:

– відмова будь-якого елемента пристрою призводить до відмови пристрою загалом;

– відмови елементів — випадкові і взаємнезалежні події;

– інтенсивності відмов (λ_0) або потоки відмов (ω_0) не залежать від часу, тобто $\lambda_0 = \text{const}$ і $\omega_0 = \text{const}$.

Робоча інтенсивність відмов кожного елемента визначається за наступною формулою (2.16), розрахунок коефіцієнта навантаження за формулою (2.17).

Значення інтенсивності відмов та коефіцієнтів наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Значення інтенсивності відмов та поправних коефіцієнтів

Назва елемента	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$	K_n	K_1	K_2	N, шт.	$\lambda_i \cdot 10^{-6}$
Резистори	0,044	0,72	0,6	-	13	0,168
Термістор	0,030	1	0,6	-	1	0,058
Конденсатори керамічні	0,019	0,80	0,7	-	9	0,096
Конденсатори полярні танталові	0,190	0,30	1,0	-	6	0,342
Мікросхеми	0,044	1,0	1,0	1,0	4	1,760
Транзистори біполярні	0,086	0,20	0,7	0,5	1	0,004
Транзистор польові	0,086	0,40	0,7	-	1	0,024
Діод	0,100	0,26	1,0	0,7	1	0,018

Світлодіод	1,5	0,36	-	-	1	0,54
------------	-----	------	---	---	---	------

Розрахувати інтенсивність відмов усього пристрою можна за формулою:

$$\lambda_p = K_E \sum_{i=1}^k \lambda_i, \quad (4.1)$$

де k — кількість елементів; K_E — поправний коефіцієнт, який залежить від умов використання, оскільки прилад відноситься до космічної апаратури поправний коефіцієнт K_E має значення 1000.

Інтенсивність відмов усього пристрою:

$$\lambda_p = K_E \sum_{i=1}^k \lambda_i = 3.011 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год}}.$$

При відомому значенні інтенсивність відмов усього пристрою можна визначити час напрацювання розробленого пристрою на відмову за формулою:

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_p} \approx 332 \text{ год}.$$

Імовірність безвідмовної роботи приладу протягом 500 годин роботи розраховується за формулою:

$$P(t) = e^{-\lambda_p t} = 0,22.$$

4.3 Розрахунок надійності системи бортового живлення з резервуванням

Проведемо розрахунок надійності за умови 100% навантаженості окремого модулю для системи з постійним резервуванням, коли модулі працюють паралельно.

Ймовірність безвідмовної роботи системи з таким резервуванням розраховується за наступною формулою:

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t)), \quad (4.4)$$

де, $P_i(t)$ — імовірність безвідмовної роботи, i -го елемента; n — кількість елементів в системі з резервом.

Так-як, всі модулі живлення ідентичні, формула (4.4) набуває наступний вигляд:

$$P_c(t) = 1 - (1 - P(t))^n. \quad (4.5)$$

Імовірність безвідмовної роботи системи з резервуванням, протягом 500 годин роботи дорівнює:

$$P_c(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^4 = 0,634.$$

Час напрацювання на відмову, для системи з резервуванням та ідентичними модулями, можна розрахувати за наступною формулою :

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_p} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} \approx 692 \text{ год}. \quad (4.6)$$

4.4 Розрахунок надійності з використанням Марківської моделі

Проведемо розрахунок надійності для запропонованої системи з надлишковим резервуванням потужності.

Для того, щоб врахувати зміни коефіцієнта навантаження модулів живлення в залежності від працездатності кожного з них, можна використати модель Маркова. Схема переходу станів (ланцюг Маркова) системи наведена на рис. 4.3.

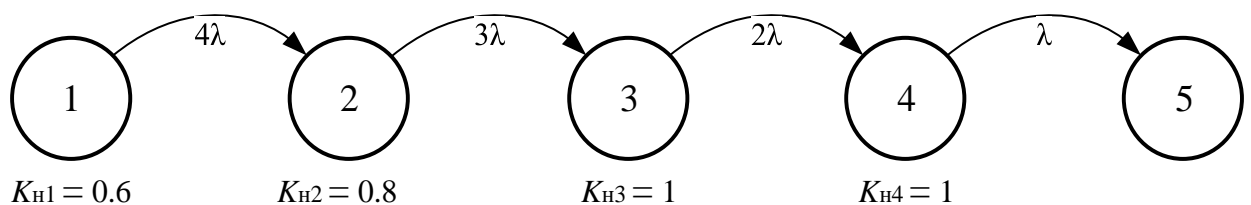


Рисунок 4.3 — Ланцюг Маркова для системи бортового живлення з резервуванням

Система може перебувати у п'яти станах: Стан 1 — всі модулі працездатні, коефіцієнт навантаження джерел живлення $K_n = 0,6$; Стан 2 — один з модулів відмовив, $K_n = 0,8$; Стан 3 — два модулі живлення відмовили, живлення найменш важливих модулів припинено, $K_n = 1$; Стан 4 — лише

один з чотирьох модулів залишився працездатним, живляться лише найважливіші модулі CubeSat, $K_H = 1$; Стан 5 — система живлення відмовила.

Побудуємо систему диференційних рівнянь, використавши формулу (2.25) з наступними початковими умовами:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1(t)}{dt} = -\lambda_1 P_1(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = -\lambda_2 P_2(t) + \lambda_1 P_1(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = -\lambda_3 P_3(t) + \lambda_2 P_2(t) \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = -\lambda_4 P_4(t) + \lambda_3 P_3(t) \\ \frac{dP_5(t)}{dt} = \lambda_4 P_4(t) + P_5(t) \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} P_1(0) = 1 \\ P_2(0) \dots P_5(0) = 0 \end{array} \right.$$

де, λ_i — інтенсивність відмов, у i -му стані, з наступними значеннями:

$$\lambda_1 = 4\lambda K_{H1} = 6,624 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год}}; \lambda_2 = 3\lambda K_{H2} = 7,226 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год}};$$

$$\lambda_3 = 2\lambda K_{H3} = 6,021 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год}}; \lambda_4 = \lambda K_{H4} = 3,011 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год}}.$$

Використаємо до системи диференційних рівнянь перетворення Лапласа, і в результаті отримаємо систему алгебраїчних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1(t)}{dt} = -\lambda_1 P_1(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = -\lambda_2 P_2(t) + \lambda_1 P_1(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = -\lambda_3 P_3(t) + \lambda_2 P_2(t) \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = -\lambda_4 P_4(t) + \lambda_3 P_3(t) \\ \frac{dP_5(t)}{dt} = \lambda_4 P_4(t) + P_5(t) \end{array} \right. \xrightarrow{L} \left\{ \begin{array}{l} sP_1(s) - 1 = -\lambda_1 P_1(s) \\ sP_2(s) = -\lambda_2 P_2(s) + \lambda_1 P_1(s) \\ sP_3(s) = -\lambda_3 P_3(s) + \lambda_2 P_2(s) \\ sP_4(s) = -\lambda_4 P_4(s) + \lambda_3 P_3(s) \\ sP_5(s) = -\lambda_5 P_5(s) + \lambda_4 P_4(s) \end{array} \right.$$

Знайдемо значення $P_1(t)$, для цього перенесемо всі значення з $P_1(s)$, у ліву частину, а всі інші в праву, після чого винесемо $P_1(s)$, і поділимо на $(s + \lambda_1)$:

$$sP_1(s) - 1 = -\lambda_1 P_1(s)$$

$$P_1(s)(s + \lambda_1) = 1$$

$$P_1(s) = \frac{1}{(s + \lambda_1)}$$

Використаємо зворотнє перетворення Лапласа, і отримаємо $P_1(t)$:

$$P_1(t) = e^{-\lambda_1 t}$$

Знайдемо значення $P_2(t)$, підставимо значення $P_1(s)$, далі перенесемо всі значення з $P_2(s)$, у ліву частину, а всі інші в праву, після чого винесемо $P_2(s)$, і поділимо на $(s + \lambda_2)$:

$$sP_2(s) = -\lambda_2 P_2(s) + \lambda_1 P_1(s)$$

$$P_2(s)(s + \lambda_2) = \frac{\lambda_1}{s + \lambda_1}$$

$$P_2(s) = \frac{\lambda_1}{(s + \lambda_1)(s + \lambda_2)}$$

Використаємо метод невизначених коефіцієнтів та розкладемо рівняння на прості дробі:

$$P_2(s) = \frac{\lambda_1}{(s + \lambda_1)(s + \lambda_2)} = \frac{A}{(s + \lambda_1)} + \frac{B}{(s + \lambda_2)}$$

Розрахуємо коефіцієнти A і B :

$$A = P_2(s) \cdot (s + \lambda_1) \Big|_{s=-\lambda_1} = \frac{\lambda_1}{-\lambda_1 + \lambda_2}$$

$$B = P_2(s) \cdot (s + \lambda_2) \Big|_{s=-\lambda_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2}$$

Використаємо зворотнє перетворення Лапласа, і отримаємо $P_1(t)$:

$$P_2(t) = \frac{\lambda_1}{-\lambda_1 + \lambda_2} e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{-\lambda_2 t}$$

За таким же принципом, знаходимо значення $P_3(t)$ та $P_4(t)$, і в результаті отримаємо:

$$P_3(t) = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_1 - \lambda_3)} e^{-\lambda_1 t} - \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_2 - \lambda_3)} e^{-\lambda_2 t} + \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} e^{-\lambda_3 t}$$

$$P_4(t) = -\frac{\lambda_1\lambda_2\lambda_3}{(\lambda_1-\lambda_2)(\lambda_1-\lambda_3)(\lambda_1-\lambda_4)}e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1\lambda_2\lambda_3}{(\lambda_1-\lambda_2)(\lambda_2-\lambda_3)(\lambda_2-\lambda_4)}e^{-\lambda_2 t} -$$

$$-\frac{\lambda_1\lambda_2\lambda_3}{(\lambda_1-\lambda_3)(\lambda_2-\lambda_3)(\lambda_3-\lambda_4)}e^{-\lambda_3 t} + \frac{\lambda_1\lambda_2\lambda_3}{(\lambda_1-\lambda_4)(\lambda_2-\lambda_3)(\lambda_3-\lambda_4)}e^{-\lambda_4 t}$$

Так як $\sum P_i(t) = 1$, $P_5(t)$ можна знайти за наступною формулою:

$$P_5(t) = 1 - \sum_{i=1}^{n-1} P_i(t).$$

Імовірність безвідмовної роботи системи з резервуванням, протягом 500 годин роботи дорівнює:

$$P_c(t) = \sum_{i=1}^{n-1} P_i(t) = 0,729.$$

Знаючи вираз імовірності безвідмовної роботи, можемо знайти час напрацювання на відмову системи, для цього скористаємося наступною формулою:

$$T_0 = \int_0^{\infty} P_c(t) dt = \int_0^{\infty} \sum_{i=1}^{n-1} P_i(t) dt \approx 788 \text{ год.} \quad (4.7)$$

Графіки залежності імовірності безвідмовної роботи системи від часу наведено на рисунку 4.4:

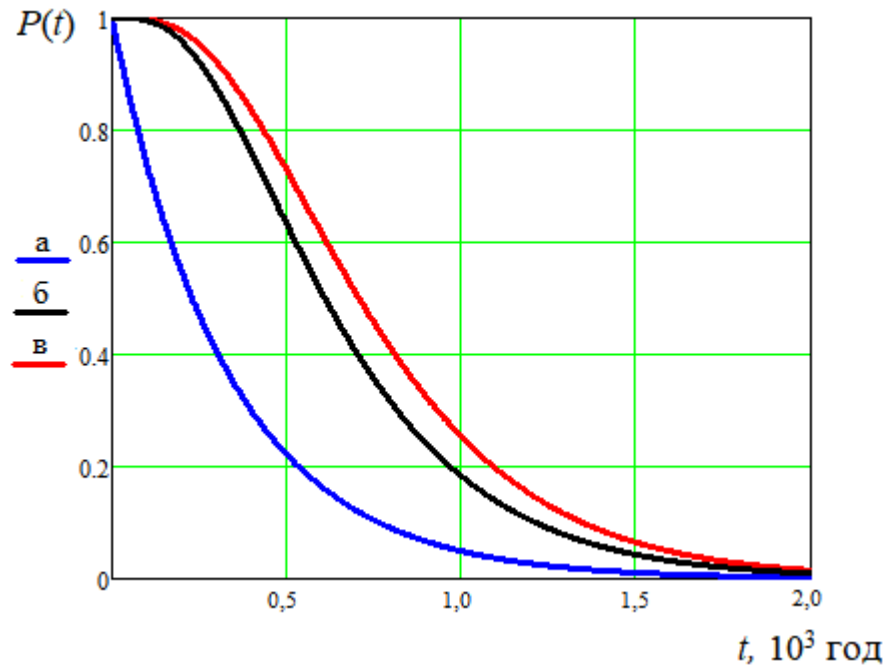


Рисунок 4.4 — Графіки залежності імовірності безвідмовної роботи від часу.
 а) — без резервування (пп.2); б) — з резервуванням (пп.3);
 в) — за надлишковим резервуванням потужності (пп.4)

Як бачимо з наведених графіків використання запропонованої системи резервування підвищує надійність системи

Висновки

Проведено розрахунок надійності системи живлення:

– визначено ймовірність безвідмовної роботи системи без резервування при роботі протягом 500 годин, яка складає: $P(500) = 0,22$.

– ймовірність безвідмовної роботи запропонованого методу протягом 500 годин складає $P_c(500) = 0,729$.

Таким чином, доведено, що запропонований метод дозволив підвищити ймовірність безвідмовної роботи в 3,3 рази.

5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Розробку стартап-проекту виконано за методичними рекомендаціями [12].

5.1 Опис ідеї проекту

Опис ідеї проекту дає цілісне уявлення про його зміст та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1 — Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямок застосування	Вигоди для користувача
Розробка систем живлення з резервуванням для наносупутників.	1. Живлення модулів наносупутника.	Забезпечення безвідмовного живлення модулів наносупутника.
	2. Комутація модулів живлення та навантаження.	Перерозподілення потужності при відмові одного з модулів живлення.
	3. Ранжування споживачів.	Якщо при відмові модулів живлення, почне не вистачати потужності, найменш важливі модулі будуть вимикатися
	4. Моніторинг стану системи	Слідкування за станом модулів живлення, акумуляторів

		та розподілення потужності
--	--	-------------------------------

Наступним кроком є аналіз техніко-економічних переваг ідеї проекту порівняно із пропозиціями конкурентів:

- 1) *Endurosat EPS* [3];
- 2) *The NanoAvionics EPS* [4];
- 3) *GOMspace NanoPower P31u* [5].

Таблиця 5.2 — Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(Потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	1	2	3			
1	Висока продуктивність	+	-	+	-	-	+	-
2	Економічність	+	-	-	-	-	-	+
3	Ранжування споживачів	+	-	-	-	-	-	+
4	Надійність	+	-	-	-	-	-	+
5	Технологічність	+	+	+	+	-	+	-

Порівняння сильних та слабких сторін проекту з конкурентами надають інформацію про можливість виходу продукту на ринок і його конкурентоспроможність в сфері розумних окулярів.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 5.3 — Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Розробка систем живлення з резервуванням для наносупутників	Altium Designer	Наявна	Доступна
2		OrCAD	Наявна	Доступна
3		DipTrace	Наявна	Доступна

Аналіз таблиці вказує, що за наявних технологій на ринку може бути реалізовано всі особливості даного проекту. Додатковою перевагою даного проекту є його невелика вартість виготовлення кінцевого продукту в порівнянні з конкурентами.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску проекту

Даний розділ присвячена визначенню ринкових можливостей (які можна використати під час ринкового впровадження проекту) та ринкових загроз (які можуть перешкодити реалізації проекту), що дозволить спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням потреб потенційних клієнтів, стану ринкового середовища та пропозицій проектів-конкурентів. Першочергово варто провести аналіз ринкового попиту на даний продукт, а саме: наявність попиту, динаміку ринку, можливий обсяг використання продукту.

Таблиця 5.4 — Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, \$/ум.од	~2.3 млрд.
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає

4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Конкуренція
---	--	-------------

Продовження таблиці 5.4

5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Існують
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	7%

Проаналізувавши табл. 5.4 можна відмітити достатньо малу кількість конкурентів та високі показники обсягу продаж, що свідчить про стабільний нормальний ринок для даної продукції. Щодо попиту, який з кожним роком набирає популярності за рахунок розширення сфер промисловості, наявні можливості для розширення ринку продукції та залучення в сферу обслуговування.

Важливим аспектом вдалого залучення продукту на ринок є аналіз потенційних груп клієнтів, їх очікування (вимоги) до товару, адже орієнтуючись на них продукт здобуде свою клієнтську базу

Таблиця 5.5 — Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Висока продуктивність; Економічність; Ранжування споживачів; Надійність;	Компанії; Підприємці; Навчальні заклади; Військові	Аудиторія зацікавлена в використанні наносупутників, та покращенні надійності своїх систем.	Прийнятна цінова політика, висока надійність, та продуктивність.

	Технологічність;			
--	------------------	--	--	--

Потенційними клієнтами можуть стати компанії, навчальні заклади, або військові. Задоволення вимогам таких крупних підприємств є підґрунтя для розширення клієнтської бази.

Для збільшення вірогідності виходу продукції на ринок варто проаналізувати можливі загрози та спираючись на них спланувати шляхи їх уникнення ще на початковому етапі. Всіх факторів врахувати неможливо, але варто бути готовим до тих, які чекають на початковому вході проекту на ринок.

Таблиця 5.6 — Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Нова компанія	Мала кількість клієнтів	Реклама
2	Фінанси	Недостатність коштів	Пошук інвесторів
3	Наявність конкурентів	Витіснення конкурентами, за рахунок кращих пропозицій	Новизна продукції

В таблиці 6 приведено зміст загроз та можливу реакцію компанії на їх виникнення. Визначено фактори загроз які перешкоджають ринковому впровадженню нашого проекту, а також можливу реакцію на фактор щоб звести до мінімуму його вплив.

Важливим фактором залучення товару на ринок є не його вірогідні загрози, а потенційні можливості. Саме вони надають проекту право на життя та конкуренцію серед інших гравців ринку.

Таблиця 5.7 — Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Створення нових технологій	Якісна та доступна продукція	Новизна

Продовження таблиці 5.7

2	Зростання попиту	Можуть з'явитись нові потенційні покупці	Зростання прибутку, можливість подальшого розвитку та вдосконалення
3	Нові потенційні групи клієнтів	Поява нових потенційних груп покупців	Аналіз потреб нової групи покупців

Фактори можливостей вказують на актуальність, конкурентоспроможність та наявність потреби у даному продукті. Орієнтуючись під потреби виробників можливо покращення стійкості продукту на ринку.

Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку.

Таблиця 5.8— Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції: олігополія	Домінує невелика кількість конкуруючих фірм	Підтримка якості продукту та постійні нововведення
2. За рівнем конкурентної боротьби:	Конкуренти з різних країн світу	Адаптація продукту як для вітчизняних так і для зарубіжних клієнтів.

Глобальний		
3. За галузевою ознакою: Міжгалузева	Товар може використовуватись у різноманітних галузях	Індивідуальний підхід до обслуговування, підвищення якості продукту

Продовження таблиці 5.8

4. Конкуренція за видами товарів: Товарно - видова	Конкуренція між товарами одного виду	Створити продукт, врахувавши сильні і слабкі сторони конкурентів.
5. За характером конкурентних переваг: Цінова	Товар має дуже високу ціну	Зниження ціни на продукт та підтримка його якості
6. За інтенсивністю: Марочний	Для споживачів має значення «бренд»	Реклама

На основі аналізу конкуренції, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту, вимог споживачів до товару та факторів маркетингового середовища визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 5.9 — Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна товару	Не завищена, конкурентна ціна
2	Якість товару	Гарантія щодо якості вихідного продукту
3	Адаптивність	Можливість використання системи при

		різноманітних умовах
4	Надійність товару	Висока імовірність безвідмовної роботи

Слідом за визначеними факторами конкурентоспроможності слід провести аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту.

Таблиця 5.10— Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «назва проекту»

№ п/ п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Бали 1-20 Конкурента	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з SmartGlasses							
				-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
1	Ціна товару	20	10								+
2	Якість товару	19	19				+				
3	Адаптивність	17	10								+
4	Надійність товару	20	14								+

Аналіз сильних та слабких сторін показує, що за факторами конкурентоспроможності продукт має переваги у більшості показників. Це вказує на перевагу над іншими продуктами і тому проект може стати конкурентоспроможним на ринку приладів неруйнівного контролю.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT- аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін. Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища.

Таблиця 5.11 — SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
Висока надійність	Невідомий бренд

Висока якість	Малий стартовий капітал
Відносно доступна ціна	Слабкий маркетинг, мала кількість реклами
Універсальність приладу	Пошук та оплата праці робітників

Продовження таблиці 5.11

Можливості:	Загрози:
Залучення інвесторів	Товари-замінники
Вихід на міжнародний ринок:	Нові товари на ринку
Пошук міжнародних партнерів	Активність конкурентів
Задоволення міжнародних потреб щодо стандартизації	Економічний спад
Пошук міжнародних партнерів	Незацікавленість товаром
Залучення постачальників	

На основі SWOT-аналізу розроблено альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Таблиця 5.12 — Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Середня	1 рік
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу	Середня	1,5 роки

Проводимо аналіз розроблених нами альтернатив ринкового впровадження із зазначених альтернатив обираємо ту яка має найбільшу ймовірність отримання ресурсів, а також є найшвидшою в реалізації. Отже обираємо стратегію нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу наявними ринковими можливостями.

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 5.13 — Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Малі приватні підприємства	Середня	Середній	Мала	Висока
2	Великі підприємства	Високий	Високий	Середня	Середня
3	Університети	Середня	Середній	Середня	Середня
4	Військові	Високий	Високий	Мала	Висока
Цільова група: Військові; Великі підприємства; Університети					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати свою програму для оптимізації робочих центрів та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із конкретним сегментом, розробляючи для нього програму ринкового впливу. Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформуванати базову стратегію розвитку.

Таблиця 5.14 — Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Встановлення нищої ціни на товар, покращення функціоналу, та дизайну для залучення більшої кількості покупців	Стратегія диференційованого маркетингу	Зниження собівартості, підвищення функціональних параметрів	Стратегія диференціації

За базову стратегію розвитку обрано стратегію диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від конкурентів. Мета тут полягає в задоволенні потреб вибраного цільового сегменту краще, ніж конкуренти. Така стратегія може спиратися як на диференціацію, так і на лідерство по витратах, або і на те, і на інше, але тільки у рамках цільового сегменту.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки.

Таблиця 5.15 — Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Проект не є першопрохідцем на ринку	Пошук нових користувачів із невеликою часткою залучення існуючих	Компанія частково копіює характеристики товару конкурента: - Архітектура	Стратегія за-няття конкурентної ніші

За основу для стратегії конкурентної поведінки обрано стратегію заняття конкурентної ніші, що визначає, що компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів. Головна особливість – малий розмір сегменту. Ця конкурентна стратегія являється похідною від такої базової стратегії компанії, як концентрація. Головне завдання компанії при цьому – це постійна турбота про підтримку і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 5.16 — Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до	Базова страте-	Ключові конку-	Вибір асоціацій, які
---	-----------	----------------	----------------	----------------------

п/п	товару ці- льової аудиторії	гія розвитку	рентоспроможні позиції власного стартап-проекту	мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Надійність, низька ціна, якість, простота, функціонал	Стратегія диференціації	Висока якість за кращою ціною	Якість виконання Надійність Адаптивність Функціональність Низька ціна

Компанія за стратегію розвитку обрала диференціацію, і за цільові групи було обрано людей зацікавлених в товарі, та компанії, за рахунок нової технології компанія буде забирати клієнтів у конкурентів, і проводити підтримку та реалізовувати розвиток своєї конкурентної переваги.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком під час розроблення маркетингової програми є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач.

Таблиця 5.17 — Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Оновлення	Розширення функціоналу	Покращення структури для нової продукції вказує на якість наданих послуг та підвищує довіру з боку покупця

Продовження таблиці 6.17

2	Дизайн	Вибір дизайну, зручність	
3	Надійність	Збільшення надійності	

Маючи низку ключових переваг товару і стратегії диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей за меншою ціною ніж у конкурентів буде розроблено маркетингову програму стартап-проекту.

Таблиця 5.18 — Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Система живлення наносупутника, яка використовує резервування для підвищення надійності системи.
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	1. Живлення модулів наносупутника 2. Комутація модулів живлення та навантаження 3. Ранжування споживачів.
	Якість: нормативи, параметри тестування, табличні дані
	Пакування: Картонна коробка із торгівельною маркою, назвою продукту і технічними характеристиками
	Марка: Cubesat EPS
III. Товар із підкріпленням	Рекламування

Продовження таблиці 5.18

	Вдосконалення існуючих приладів з урахуванням потреб покупців
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Товар буде патентно захищений	

У трьох рівневій маркетинговій моделі товару вказано основні складові продукту, що входить до стартового пакета та яким чином відбуватиметься захист продукту від копіювання.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар, яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субституту, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів.

Таблиця 5.19 — Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари замітники	Рівень цін на товари аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	200\$	800\$	Середній	400 – 600\$

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення:

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);

- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;

Таблиця 5.20 — Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Роздрібний продаж.	Доставка товару покупцю.	Канал нульового	Власна система збуту.

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає

товар клієнту через торгівлю у фірмових магазинах або інтернет магазині. Також заглибину каналу збуту було обрано канал нульового рівня, тому що компанія хоче мати тісні контакти із споживачами на обмеженому цільовому каналі.

Таблиця 5.21 — Концепція маркетингових комунікацій [12]

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Зацікавленість компаній в використанні спутникових технологій	Електронна пошта та стільниковий зв'язок, виставки, рекламні статті.	Підвищення надійності супутника	Надання інформації про товар та встановлення потенційних договорів про співпрацю	Донесення вигоди від підвищення надійності спутникових систем
2	Зацікавленість університетів в використанні супутників у науково/дослідницькій сфері				
3	Зацікавленість військових в використанні спутникових технологій				

Комунікація з клієнтом є залогом встановлення довіри до виробника, рекламування продукції та складення договорів про купівлю або співпрацю. Сучасна тенденція рекламування продукту передбачає розміщення інформації у інтернет ресурсах, таким чином надаючи доступ для всіх бажаних та зацікавлених у продукті потенційних клієнтів. З метою покращення зворотного зв'язку з клієнтами варто передбачити сервіси які нададуть можливість клієнтові задати питання, надати пропозиції або залишити відгук про надані послуги.

Висновки

Проведено аналіз ринку та розроблено стартап-проект. Визначено, що поріг входження на ринок не високий, так як конкуренція серед аналогів не є суттєвою, а на внутрішньому ринку зовсім відсутня. Тому можна зробити висновок, що даний проект можливо реалізувати, так як існує попит на дану продукцію

ВИСНОВКИ

1. За результатами огляду існуючих рішень визначено типову структуру, бортової системи живлення, проаналізовано їх переваги та недоліки. Аналізовано одно- та двошинну архітектуру системи живлення показав, що двошинна архітектура забезпечує більшу надійність, але основними недоліками такої системи є збільшення маси та габаритів супутника.

2. Розглянуто закони розподілу, які використовуються для розрахунку надійності РЕА, проаналізовано їх властивості, та характеристики. З'ясовано, що експоненційний розподіл — це досить грубий метод розрахунку і не забезпечує високої точності, тому його краще застосовувати при розрахунку показників надійності на початковому етапі проектування, або коли надійність виробу не дуже важлива.

3. Проаналізовано методи розрахунку надійності та визначено, що для розрахунку простої системи, найбільше підходить остаточний розрахунок. А для розрахунку комплексних систем підходить Марківське моделювання, так як цей метод дозволяє враховувати зміни поведінки системи при виході із ладу частини системи.

4. Запропоновано рішення для підвищення надійності системи шляхом розроблення незалежних каналів живлення з надлишковою потужністю кожного з них, що дозволить динамічно перерозподіляти потужність в залежності від умов експлуатації та працездатності окремих каналів живлення.

5. Проведено розрахунок надійності системи живлення:

– визначено ймовірність безвідмовної роботи системи без резервування при роботі протягом 500 годин, яка складає: $P(500) = 0,22$.

– ймовірність безвідмовної роботи запропонованого методу протягом 500 годин складає $P_c(500) = 0,729$.

Таким чином, доведено, що запропонований метод дозволить підвищити ймовірність безвідмовної роботи системи живлення мікросупутника в 3,3 рази.

б. Аналіз ринку показав, що конкуренція серед аналогів не суттєва, а на внутрішньому ринку зовсім відсутня. Тому практична реалізація запропонованих в проекті рішень дозволить розробити конкурентоздатний, як мінімум на внутрішньому ринку, продукт.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Stephen A. Jacklin Small-Satellite Mission Failure Rates // NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20190002705/downloads/20190002705.pdf>.
2. Linger M., Bouwmeester J. Reliability of CubeSats – Statistical Data, Developers' Beliefs and the Way Forward // AIAA/USU Conference on Small Satellites, 30th; (2016) [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/306058388_Reliability_of_CubeSats_-_Statistical_Data_Developers'_Beliefs_and_the_Way_Forward.
3. ENDUROSAT EPS – POWER MODULE (INCL. BATTERY PACK) [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.endurosat.com/cubesat-store/cubesat-power-modules/eps-power-module/?change-currency-usd=1590667566628> — Назва з екрана.
4. The NanoAvionics EPS [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://nanoavionics.com/cubesat-components/cubesat-electrical-power-system-eps/> — Назва з екрана.
5. GOMspace NanoPower P31u Datasheet [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://gomspace.com/UserFiles/Subsystems/datasheet/gs-ds-nanopower-p31u-29.pdf>.
6. Gonzalez-Llorente J., Lidtke AA., Hurtado R., Okuyama K. Single-Bus and Dual-Bus Architectures of Electrical Power Systems for Small Spacecraft / J Aersp Technol Manag, 11: e4419 (2019). [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://doi.org/10.5028/jatm.v1>.
7. Нечипоренко Е. Н. Основы надежности летательных аппаратов. Учебное пособие с грифом МОН. – К.: НТУУ «КПИ», 2012. – 246 с.
8. Ямпурин Н. П. Основы надежности электронных средств : учеб, пособие для студ. высш. учеб, заведений / Н. П. Ямпурин, А. В. Баранова ; под ред. Н.П.Ямпурин. — М. : Издательский центр «Академия», 2010. — с. 59-65.

9. Викторова В.С.. Модели и методы расчета надежности технических систем // А.С. Степанянц — Москва, 2013. — с. 125-156 .
10. Ольшевський С.В. Конструювання радіоелектронних засобів / Ольшевський С. — Київ : КНУ ім. Тараса Шевченка, 2014р. — с. 36 - 40 .
11. Клімов Р.О. Конспект лекцій по дисципліні «Надійність теплоенергетичного обладнання» для магістрів денної та заочної форм навчання за спеціальністю 144 Теплоенергетика / Укл. Клімов Р.О., – Кам’янське: ДДТУ, 2016. – с. 42.
12. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016.

