

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

факультет «Комп'ютерних технологій і систем»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавра

(ступінь вищої освіти)

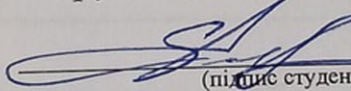
на тему: Оцінка показників надійності пристроїв СЦБ (комплексна)

за освітньою програмою Автоматика та автоматизація на транспорті

зі спеціальності: 151 Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент

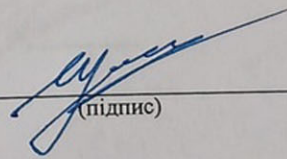
групи: АТ20160


(підпис студента)

/ Сергій МЛАДЗИНОВСЬКИЙ /

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

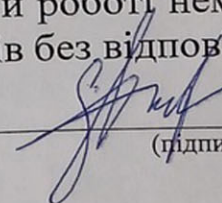

(підпис)

/ доцент Вадим ЩЕКА /

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент


(підпис)

Дніпро – 2023 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty “Computer technologies and systems”

Department “Automatics and Telecommunications”

1

Explanatory Note
to Bachelor’s Thesis

on the topic: SCB devices reliability assessment (comprehensive)

according to educational curriculum Automation and automatization in transport

in the speciality: 151 Automation and computer integrated technologies
(speciality and its code)

Done by the student of the group: AT20160

/ Sergiy MLADZINOVSKY/
(name, surname)

Scientific Supervisor: _____

/ associate professor Vadym SHCHEKA /
(position, name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: КТС

Кафедра: АТ

Рівень вищої освіти: перший

Освітня програма: Системи керування рухом поїздів

Спеціальність: Залізничний транспорт

(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

(підпис)

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Дата _____

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу

бакалавра

(ступінь вищої освіти)

студенту

Сергію Младзіновському

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: Оцінка показників надійності пристроїв СЦБ (комплексна)

Керівник роботи:

Щека Вадим Ігорович, к.т.н., доцент

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від

"25" жовтня 2022 р. № 1093ст

2. Строк подання студентом роботи: 04.06.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Статистичні дані відмов пристроїв СЦБ, принципові та структурні схеми систем залізничної автоматики, довідкові данні, нормативна документація.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: Огляд питання надійності, визначення, нормативна документація, показники надійності та їх оцінка.

4.2 Основна частина: Оцінка показників надійності пристроїв комплексу апаратури ТРК системи автоблокування АБТЦ.

4.3 Охорона праці та захист навколишнього середовища: вимоги безпеки при виконанні робіт на перегоні.

4.4 Економічна частина: розділ не передбачений

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Принципова та структурна схема пристроїв сигнальної точки системи автоблокування АБТЦ; діаграма потоків відмов елементів комплексу апаратури ТРК; графіки залежності коефіцієнта готовності від показників надійності пристроїв СЦБ.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітична частина	30.04.2023	Вик.
2	Основна частина	28.05.2023	Вик.
3	Охорона праці та захист навколишнього середовища	04.06.2023	Вик.
4	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	04.06.2023	Вик.
5	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Експертно-оцінювальної комісії	27.06.2023	

Студент

_____ (підпис) Сергій МЛАДЗИНОВСЬКИЙ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис) Вадим ЩЕКА (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра:
43 сторінки, 11 рисунків, 17 літературних джерел.

Об'єкт дослідження – пристрої СЦБ, зокрема комплекту апаратури ТРК системи автоблокування АБТЦ.

Мета роботи – оцінка показників надійності пристроїв СЦБ, зокрема комплекту апаратури ТРК системи автоблокування АБТЦ.

Методи дослідження – математичне моделювання з використанням математичного пакету Mathcad та Maple, уточнення параметрів моделі шляхом дослідження літературних джерел та нормативних документів.

Найбільші параметри потоку відмов мають колійний генератор ГПУ та колійний приймач ПП. Це зумовлено тим, що вони складаються з електронних компонентів, які мають досить високі параметри потоків відмов відносно, наприклад релейної техніки. Для зменшення параметру потоку відмов комплекту апаратури ТРК можна провести дублювання окремих вузлів ГПУ та ПП чи провести їх повне дублювання.

В роботі приведено розрахунок показників надійності комплекту апаратури ТРК. Визначено загальний параметр потоку відмов, середній наробіток до відмови, дослідження впливу параметру потоку відмов на коефіцієнт готовності та ймовірність знаходження у непрацездатному стані.

З'ясовано, що зростання параметру потоку відмов призводить до зниження коефіцієнта готовності, а зростання потоку відновлення навпаки збільшує коефіцієнт готовності.

Ключові слова: НАДІЙНІСТЬ, ІНТЕНСИВНІСТЬ ВІДМОВ, ПАРАМЕТР ПОТОКУ ВІДМОВ, ПОТІК ВІДНОВЛЕННЯ, КОЕФІЦІЄНТ ГОТОВНОСТІ.

Зміст

Вступ.....	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Визначення надійності.....	9
1.2 Існуючі показники надійності невідновлюваних об'єктів	10
1.3 Показники надійності відновлюваних об'єктів.....	13
1.4 Комплексні показники надійності.....	15
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	18
2.1 Основні методики оцінки надійності.....	18
2.2. Оцінка надійності пристроїв автоблокування з ТРК.....	21
2.2.1 Розрахунок параметру потоку відмов комплекту апаратури ТРК	30
2.2.3 Розрахунок коефіцієнту готовності комплекту апаратури ТРК.....	34
3. Охорона праці та захист навколишнього середовища	38
3.1. Вимоги безпеки при виконанні робіт на перегоні	38
Висновки та рекомендації	41
Перелік посилань.....	43

Вступ

Залізничний транспорт в Україні є стратегічно важливим сектором, а перевезення вантажів цим видом транспорту мають значний обсяг. Для подальшого розвитку руху та експлуатації залізниць найбільш ефективним підходом є використання електрифікованих залізничних ліній, зокрема електротяги змінного струму. Використання цих технологій дозволяє підвищити потужність та швидкість поїздів при мінімізації витрат на кожен пройдений кілометр.

На залізницях України, системи контролю та регулювання руху поїздів ґрунтуються на використанні рейкових колій як основних датчиків. Рейкові кола виконують не тільки функцію передачі сигнального струму, але також забезпечують повернення тягового струму. Фактично, вони разом з контактною мережею утворюють частину тягової системи. Системи автоблокування, побудовані на базі рейкових колій, призначені для забезпечення безпеки руху поїздів і пропускну здатності залізничних ділянок. На багатьох ділянках залізниць України все ще застосовуються застарілі системи автоблокування з числовим кодом, але впровадження ділянок, обладнаних системами автоблокування з тональними рейковими колами набирає обертів.

Таким чином тема дипломної роботи, що присвячена питанню оцінки надійності пристроїв СЦБ є актуальною. Дослідження питання надійності дозволить здійснити оцінку необхідного рівня експлуатаційних витрат, пов'язаних з матеріалами та часом обслуговуючого персоналу.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Визначення надійності

На залізничному транспорті надійність відіграє важливу роль. Вона визначає здатність систем і пристроїв працювати без відмови протягом певного періоду часу і в установлених умовах. В Україні питання надійності регулюється законодавством, і існує низка нормативних документів, зокрема ДСТУ 2860-94 "Надійність техніки. Терміни та визначення". Згідно з цим документом, надійність означає здатність об'єкта зберігати значення всіх параметрів, які визначають його здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування протягом визначеного періоду. Вищезгадане поняття використовується для загального опису цих властивостей, не вказуючи на конкретні кількісні значення.

Надійність представляє собою комплексну властивість, яка залежно від призначення об'єкта і умов його застосування може включати безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збережуваність або їх поєднання. Це комплексний фактор, який властивий всім матеріальним системам і дозволяє встановлювати оптимальну відповідність між робочими процесами і вихідними характеристиками системи з урахуванням її функціонального призначення.

Раніше, технічні пристрої завжди створювалися з метою забезпечити достатній період економічно ефективного використання в практичних цілях. Однак, довгий час надійність не вимірювалася кількісно, що ускладнювало об'єктивну оцінку цієї властивості. Для опису надійності використовувалися загальні терміни, такі як "висока надійність" чи "низька надійність", що мали якісну характеристику. Розвиток наукових методів у галузі дослідження надійності сприяв встановленню кількісних показників надійності, а також розробленню методів їх вимірювання та розрахунку.

У процесі розвитку теорії надійності були вдосконалені імовірнісні методи дослідження. Зокрема, було розроблено методи визначення законів розподілу тривалості роботи до відмови пристроїв, що дозволило більш точно моделювати

їх надійність. Також було розроблено методи розрахунку та випробувань виробів з урахуванням випадкового характеру відмов, що сприяло покращенню оцінки надійності та виявленню можливих проблем у виробах. Ці підходи дозволяють більш об'єктивно оцінювати надійність технічних систем і виробів та забезпечувати їх високу якість та безвідмовну роботу.

1.2 Існуючі показники надійності невідновлюваних об'єктів

Спочатку давайте дамо визначення поняття "показник надійності". Це кількісна характеристика однієї або кількох властивостей, які в сукупності визначають надійність об'єкта. Важливо зауважити, що показник - це кількісна, а не якісна характеристика властивостей об'єкта, а не самого об'єкта. Використання показників залежить від того, чи є об'єкт відновлюваним чи ні. Якщо об'єкт може бути відновленим, тобто його можна відновити або відремонтувати, то він вважається відновлюваним. Розглянемо показники для невідновлюваних і відновлюваних об'єктів окремо.

Імовірність безвідмовної роботи – імовірність того, що протягом заданого наробітку відмова об'єкта не виникне [4]. Звичайно вважають, що на початку інтервалу часу чи наробітку об'єкт у змозі виконувати потрібні функції. Визначається імовірність безвідмовної роботи наступним чином:

$$P(t) = P(\theta_1 \geq t) = \int_t^{\infty} f(t)dt = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt$$

де θ_1 - наробіток об'єкта до відмови (безперервна випадкова величина); $f(t)$ – функція густини розподілу випадкової величини θ_1 ; $F(t)$ – ймовірність відмови (інтегральна функція розподілу випадкової величини θ_1):

$$F(t) = P(\theta_1 < t) = \int_0^t f(t)dt, t > 0$$

Звідки випливає, що $f(t) = -dP(t)/dt = dF(t)/dt$

Так як значення випадкової величини напрацювання завжди є позитивними, її розподіл характеризується наступними характеристиками. [6-8]:

$$\int_0^{\infty} f(t)dt = 1 \text{ — умова нормування;}$$

$$F(b) - F(a) = \int_a^b f(t)dt$$

$$P\{t < \theta_1 < t + \Delta t\} = f(t)dt$$

На графіках, представлених на рисунках 1.1 і 1.2, можна чітко спостерігати ці характеристики. Зі зростанням часу напрацювання ймовірність безвідмовної роботи невідновлюваного об'єкта $P(t)$ поступово зменшується, починаючи з 1 при $t = 0$ і асимптотично наближаючись до 0 при невизначеності часу t . У той же час, ймовірність відмови $F(t)$ зростає від 0 до 1. (рис 1.2).

Ймовірність безвідмовної роботи об'єкта протягом інтервалу наробітку $(t, t + \Delta t)$ можна визначити як умовну ймовірність того, що об'єкт буде функціонувати безвідмовно протягом цього інтервалу, за умови, що він залишиться працездатним до початку цього інтервалу (в момент часу t):

$$P(t, t + \Delta t) = P(\theta_1 \geq t + \Delta t | \theta_1 \geq t) = P(A|B) = \frac{P(t + \Delta t)}{P(t)} = \frac{\int_{t+\Delta t}^{\infty} f(t)dt}{\int_t^{\infty} f(t)dt}$$

де $P(B)$ – ймовірність події B , що полягає у працездатності об'єкта на інтервалі напрацювання $(0, t)$ (рис. 5); $P(A|B)$ – умовна ймовірність події A , що перебуває у працездатності об'єкта на інтервалі $(t, t+\Delta t)$, яка визначається за умови реалізації події B ; $P(A \cdot B)$ – ймовірність твору (перетину) випадкових подій A та B , т. є. ймовірність працездатності об'єкта на інтервалі $(0, t+\Delta t)$.

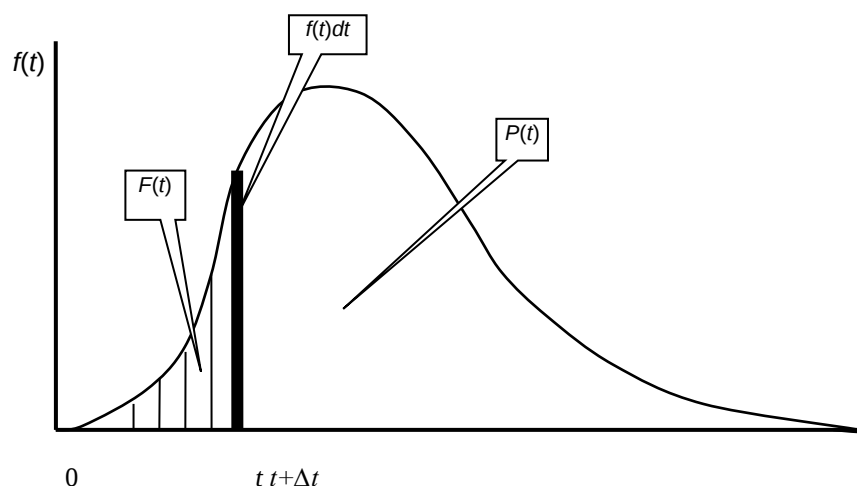


Рисунок 1.1 – Графическая интерпретация вероятностей $F(t)$ и $P(t)$

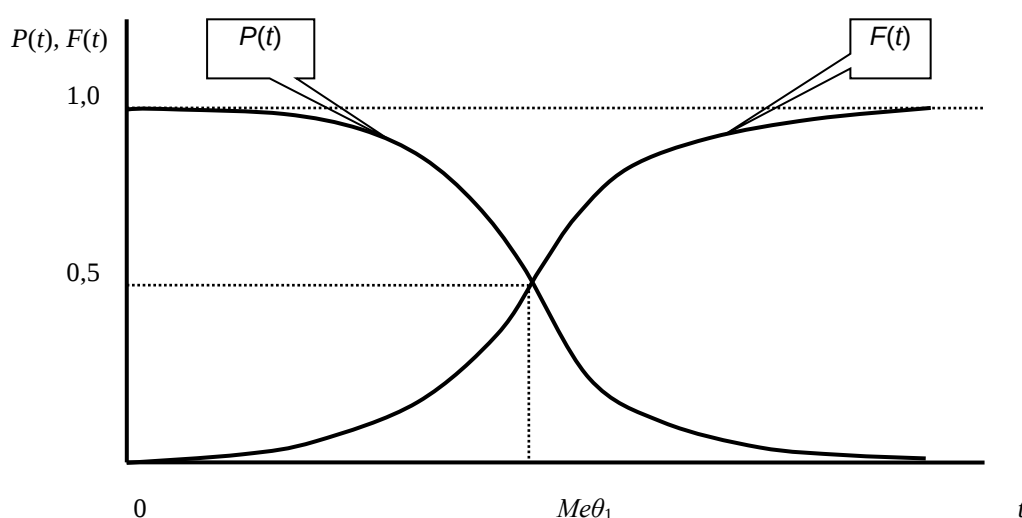


Рисунок 1.2 – Графики изменений во времени вероятностей $F(t)$ и $P(t)$

З першого показника випливає питання про поняття наробітку до відмови - це кількість робочих одиниць, пройдених об'єктом з моменту початку експлуатації до першої відмови. Інший показник - середній наробіток до відмови - представляє собою математичне очікування наробітку об'єкта до виникнення першої відмови. Іншими словами, це центральна тенденція розподілу випадкової величини θ_1 [4-6].

$$\bar{t} = M\theta_1 = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} t dF(t) = \int_0^{\infty} P(t) dt$$

Таким чином, середнє напрацювання дорівнює площі під кривою залежності ймовірності безвідмовної роботи від наробітку об'єкта.

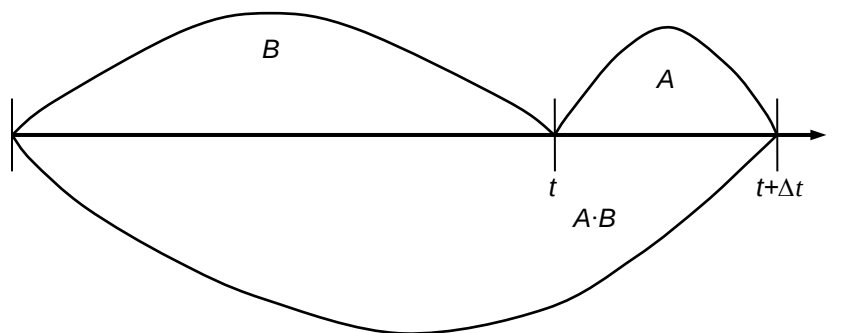


Рисунок 1.3 – Графічна інтерпретація подій А та В у часі

Інтенсивність відмов $\lambda(t)$ – умовна густина імовірності виникнення відмови об'єкта, яка визначається за умови, що до цього моменту відмова не виникла. Інтенсивність відмов є показником безвідмовності неремонтованих і невідновлюваних об'єктів. За визначенням [4-7]:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(\Delta t|t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1 - P(\Delta t|t)}{\Delta t},$$

де $F(\Delta t|t)$ – умовна ймовірність відмови об'єкта на інтервалі Δt , яка визначається за умови, що в момент t об'єкт перебував у працездатному стані; $P(\Delta t|t)$ – відповідна ймовірність безвідмовної роботи.

$$\lambda(t) = -\frac{d}{dt} [\ln P(t)].$$

Інтегруючи, отримуємо $\ln P(t) = \ln P(0) - \int_0^t \lambda(t) dt$, звідки

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

Цю формулу називають основною формулою надійності.

1.3 Показники надійності відновлюваних об'єктів

При оцінці надійності відновлюваних об'єктів можуть використовуватися ті ж показники, що і для невідновлюваних об'єктів, але також можуть бути застосовані специфічні показники.

При розгляді періоду до першої відмови відновлюваного об'єкта можуть використовуватися такі показники, як середнє напрацювання до першої відмови (MTTF - Mean Time To First Failure), середній наробіток до першої відмови (MTBF - Mean Time Between Failures) і ймовірність безвідмовної роботи протягом заданого періоду.

Також можуть бути використані специфічні показники, пов'язані з процесом відновлення об'єкта після відмови, такі як середній час відновлення (MTTR - Mean Time To Repair), імовірність успішного відновлення після відмови, імовірність відмови після відновлення (reliability growth) тощо.

Отже, надійність відновлюваних об'єктів оцінюється з використанням загальних показників, а також специфічних показників, які враховують особливості процесу відновлення після відмови.

Середній наробіток до відмови (MTBF - Mean Time Between Failures) для відновлюваних об'єктів визначається як відношення сумарного напрацювання об'єкта до математичного очікування числа його відмов протягом цього напрацювання.

Іншими словами, MTBF відображає середню тривалість роботи об'єкта між двома послідовними відмовами. Цей показник дозволяє оцінити, наскільки довго об'єкт може працювати без відмови в середньому.

MTBF може бути виміряно в одиницях часу, наприклад, годинах, днях, місяцях тощо, залежно від конкретного контексту. Він є важливим показником при плануванні технічного обслуговування, запасних частин, а також при оцінці надійності системи, що включає відновлювані об'єкти.

Для розрахунку MTBF необхідно враховувати час безвідмовної роботи об'єкта, кількість його відмов та загальний наробіток протягом цих відмов. [10,11].

$$\bar{T} = t / M\{r(t)\}$$

де t – сумарний наробіток об'єкта; $r(t)$ – кількість відмов об'єкта, що настали протягом сумарного наробітку t (кількість відмов – випадкова функція).

Математичне очікування числа відмов об'єкта, що відновлюється, протягом сумарного наробітку t також називають провідною функцією потоку відмов.

$$\Omega(t) = M\{r(t)\}$$

Параметр потоку відмов $Z(t)$ – відношення математичного сподівання кількості відмов відновлюваного об'єкта за досить малий його наробіток до значення цього наробітку [4].

$$Z(t) = d\Omega(t)/dt = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M\{r(t + \Delta t)\} - M\{r(t)\}}{\Delta t}$$

Отже, інтегрування параметра потоку відмов дозволяє нам обчислити математичне сподівання кількості відмов відновлюваного об'єкта при досягненні наробітку t :

$$M\{r(t)\} = \int_0^t Z(t)dt$$

Математичне очікування кількості відмов об'єкта на проміжку наробітку (t_1 , t_2) дорівнює:

$$M\{r(t_1, t_2)\} = \Omega(t_2) - \Omega(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} \omega(t)dt$$

Середній параметр потоку відмов – відношення математичного очікування числа відмов відновлюваного об'єкта за кінцевий напрацювання до значення цього напрацювання:

$$\bar{Z} = \frac{M\{r(t_1, t_2)\}}{t_2 - t_1}$$

1.4 Комплексні показники надійності

Коефіцієнт готовності $K_g(t)$ – імовірність того, що об'єкт виявиться працездатним у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачено [4].

Коефіцієнт готовності є комплексним показником, що відображає як безвідмовність, так і ремонтпридатність системи. $K_r(t)$ відображає готовність об'єкта до використання згідно з призначенням у будь-який момент часу t . Низькі значення $K_r(t)$ свідчать про те, що заходи з технічного обслуговування не повністю виконують свою роль.

Давайте розглянемо простий відновлюваний об'єкт, який має два технічних стани: 1 - працездатний і 2 - непрацездатний. Перехід між цими станами визначається інтенсивністю відмов λ та інтенсивністю відновлення μ . Припускаємо, що наробіток об'єкта між відмовами є неперервною випадковою величиною, що має експоненціальний розподіл $P(t) = e^{-\lambda t}$, а час відновлення працездатного стану об'єкта також є випадковою величиною з експоненціальним розподілом $P(t_B) = 1 - e^{-\mu t_B}$ [7,9]. Без втрати загальності, ми можемо представити кінцевий результат для коефіцієнта готовності:

$$K_r(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}$$

З часом, другий член правої частини рівняння швидко зменшується, і коефіцієнт готовності наближається асимптотично до стаціонарного значення, яке залишається постійним і не залежить від часу. Це значення називається стаціонарним коефіцієнтом готовності:

$$K_r = \mu / (\lambda + \mu)$$

Оскільки середнє напруження на відмову і середній час відновлення є важливими характеристиками, можна виразити параметри потоку відмов та інтенсивність відновлення через них:

$$\lambda = 1 / \bar{T}; \mu = 1 / \bar{t}_B$$

то

$$K_r = \bar{T} / (\bar{T} + \bar{t}_B)$$

Коефіцієнт оперативної готовності $K_{ог}(t_0, t_1)$ визначається як ймовірність того, що об'єкт буде знаходитись у працездатному стані в довільний момент часу

t_0 , за винятком планованих періодів, коли застосування об'єкта не передбачається, і починаючи з цього моменту, працюватиме безвідмовно впродовж заданого інтервалу часу Δt . [6,7]

За визначенням

$$K_{or}(t_0, t_1) = K_r(t_0)P(t_1|t_0),$$

де $K_r(t_0)$ – коефіцієнт готовності об'єкта, віднесений на момент t_0 , коли виникає необхідність у застосуванні об'єкта за призначенням; $P(t_1|t_0)$ – умовна ймовірність безвідмовної роботи об'єкта на інтервалі (t_0, t_1) , яка визначається за умови, що на момент t_0 об'єкт перебуває у працездатному стані; $t_1 = t_0 + \Delta t$ - момент часу, коли застосування об'єкта за призначенням припиняється.

Коефіцієнт оперативної готовності відображає надійність об'єкта, який потрібно використовувати у будь-який момент часу після виникнення події, за якої необхідна безвідмовна робота протягом певного інтервалу часу.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

Для оцінки показників надійності пристроїв залізничної автоматики використовуються різні методи, включаючи тестування, аналіз статистичних даних про відмови та розрахунки з використанням математичних моделей. Важливим аспектом є визначення тривалості тестування, яка забезпечує достовірні результати. Крім цього, проводиться постійний моніторинг та обслуговування пристроїв з метою запобігання відмовам та забезпечення надійної роботи.

Основною метою оцінки показників надійності пристроїв залізничної автоматики є забезпечення безпеки руху поїздів і ефективної роботи залізничної системи в цілому. Це досягається шляхом розробки надійних пристроїв, використання нормативної бази, систематичного контролю та підтримки надійності протягом усього життєвого циклу пристроїв. Оцінка показників надійності допомагає виявляти потенційні проблеми, вдосконалювати систему та забезпечувати безперебійну та надійну роботу залізничної автоматики.

2.1 Основні методик оцінки надійності

Оцінка надійності систем є важливим кроком у процесі їх проектування, експлуатації та підтримки. Існує кілька основних методик оцінки надійності, які використовуються для визначення ймовірності безвідмовної роботи системи та виявлення потенційних проблем.

1. Аналіз відмов (Failure Analysis): Цей метод включає збір та аналіз даних про відмови системи або її компонентів. Історичні дані про відмови використовуються для визначення ймовірностей відмов та розрахунку показників надійності, таких як середній наробіток до відмови (MTTF - Mean Time To Failure) або ймовірність безвідмовної роботи протягом певного інтервалу.
2. Методи математичного моделювання (Mathematical Modeling): Ці методи використовують математичні моделі для опису системи та її компонентів. На основі цих моделей розраховуються показники

надійності, такі як ймовірність безвідмовної роботи або середній наробіток до відмови. Математичне моделювання може включати в себе методи теорії ймовірностей, теорії черг, теорії надійності та інші.

3. Тестування (Testing): Тестування є важливою частиною оцінки надійності. Шляхом проведення спеціальних тестів на реальних або віртуальних системах можна виміряти їхню надійність та виявити потенційні проблеми. Результати тестування можуть бути використані для вдосконалення системи або для підтвердження відповідності показників надійності вимогам.
4. Аналітичні методи (Analytical Methods): Ці методи базуються на аналітичних підходах до оцінки надійності систем. Наприклад, методи аналізу надійності можуть використовувати розрахунки ймовірностей, моделі надійності компонентів та системи в цілому, а також методи надійності систем залежностей.
5. Метод оцінки надійності з урахуванням розрахунку інтенсивностей відмов є одним з ключових методів аналізу надійності систем. Цей метод базується на розрахунку інтенсивностей відмов компонентів системи та їх взаємодії для визначення загальної надійності системи.

Ці методи можуть використовуватися окремо або комбіновано для проведення аналітичної оцінки надійності систем. Вони дозволяють прогнозувати та покращувати надійність системи, визначати критичні елементи та приймати рішення з метою підвищення надійності та безпеки.

Аналітичні методи оцінки надійності використовують математичні моделі та аналітичні підходи для розрахунку показників надійності систем. Ці методи дозволяють проводити оцінку надійності без необхідності проведення великої кількості тестів або збору даних. Основні аналітичні методи оцінки надійності включають:

- ✓ Методи теорії ймовірностей: Ці методи базуються на математичних моделях ймовірності та статистиці. Вони використовуються для

розрахунку ймовірностей відмов та інших показників надійності систем на основі ймовірнісних розподілів та статистичних даних.

- ✓ Методи теорії черг: Ці методи використовуються для моделювання систем з чергами або потоками, де елементи системи обслуговуються в певному порядку. Вони дозволяють розраховувати ймовірності відмов, середні часи очікування та інші показники надійності.
- ✓ Методи надійності систем залежностей: Ці методи використовуються для моделювання систем, де надійність залежить від взаємодії між компонентами. Вони враховують взаємозв'язки та залежності між компонентами системи для розрахунку ймовірностей відмов та інших показників надійності.
- ✓ Аналіз чутливості: Цей метод використовується для визначення впливу змінних параметрів системи на ймовірність відмов та інші показники надійності. Він дозволяє ідентифікувати критичні компоненти або фактори, які мають найбільший вплив на надійність системи.

Основні кроки методу оцінки надійності з урахуванням розрахунку інтенсивностей відмов включають:

- ✓ Визначення компонентів системи: Спочатку необхідно визначити всі компоненти, які складають систему. Це можуть бути окремі пристрої, модулі або підсистеми, які взаємодіють між собою.
- ✓ Розрахунок інтенсивностей відмов: Для кожного компонента необхідно визначити його інтенсивність відмови, яка вказує на швидкість відмови цього компонента. Інтенсивність відмови може бути визначена експериментально або на основі статистичних даних.
- ✓ Врахування взаємодій: Наступним кроком є врахування взаємодій між компонентами системи. Це означає аналіз взаємодії та залежностей між компонентами, що можуть впливати на їхню надійність. Для цього можуть використовуватися методи теорії систем та теорії черг.
- ✓ Розрахунок загальної надійності системи: Після отримання інтенсивностей відмов компонентів і врахування їхньої взаємодії проводиться

розрахунок загальної надійності системи. Це може бути виконано за допомогою методів теорії надійності, таких як розрахунок середнього часу безвідмовної роботи (MTBF), імовірності безвідмовної роботи (Pof) або інших метрик надійності.

- ✓ Аналіз результатів та прийняття рішень: Оцінка надійності системи дозволяє провести аналіз результатів, виявити критичні компоненти або підсистеми, які можуть впливати на загальну надійність системи. На основі цього аналізу можуть бути прийняті рішення з метою покращення надійності системи, наприклад, шляхом заміни ненадійних компонентів або впровадження додаткових заходів забезпечення надійності.

Метод оцінки надійності з урахуванням розрахунку інтенсивностей відмов є потужним інструментом для аналізу надійності систем. Він дозволяє прогнозувати надійність системи та приймати рішення з метою поліпшення надійності, зменшення витрат та забезпечення безпеки.

2.2. Оцінка надійності пристроїв автоблокування з ТРК

В рамках бакалаврської роботи стоїть завдання оцінки надійності комплекту апаратури ТРК автоблокування АБТЦ та аналіз впливу її надійності на пропускну здатність перегону. Комплекту апаратури ТРК є об'єктом автоматики, який являє собою сукупність окремих елементів автоматики, що виконують спільну функцію з регулювання руху поїздів. Для оцінки надійності комплекту апаратури ТРК, яка є складовою автоматичної системи регулювання руху поїздів, використовується методика розрахунку інтенсивності відмов. Цей метод є широко поширеним і був описаний в попередньому розділі дипломної роботи. Для проведення оцінки необхідно виконати наступні кроки:

- ✓ з'ясувати точний перелік елементів, що використовується в комплекті апаратури ТРК;
- ✓ встановити інтенсивності відмов для кожного окремого елемента в комплекті апаратури ТРК;

- ✓ визначити параметр загальної надійності в комплекті апаратури ТРК на основі встановлених інтенсивностей відмов окремих елементів.

Колійні пристрої АБТЦ включають різні компоненти, які забезпечують правильну роботу рейкових кіл. Серед цих компонентів є приймальна і передаюча апаратура для керування рейковими колами, передаюча апаратура для функціонування частотної системи автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС) і передаюча апаратура для числового кодування АЛС. Так як ми розглядаємо лише комплект ТРК, то обмежимося такими функціональними блоками (див. рис. 2.1.):

- ✓ Колійний генератор з модулятором типу ГПУ, який виробляє потрібні сигнали для передачі по рейковому колу.
- ✓ Колійний трансформатор ПТ типу ПОБС-3А, який забезпечує необхідне живлення системи.
- ✓ Фільтр живлячого кінця рейкового кола ФПМ, який захищає генератор.
- ✓ Колійний приймач типу ПП, який отримує та обробляє сигнали від інших пристроїв.
- ✓ Реле АНШ2-310, яке фіксує зайнятість чи вільність рейкового кола.

Всі ці компоненти разом забезпечують правильну роботу АБТЦ та забезпечують передачу необхідних сигналів для контролю руху поїздів [1,14].

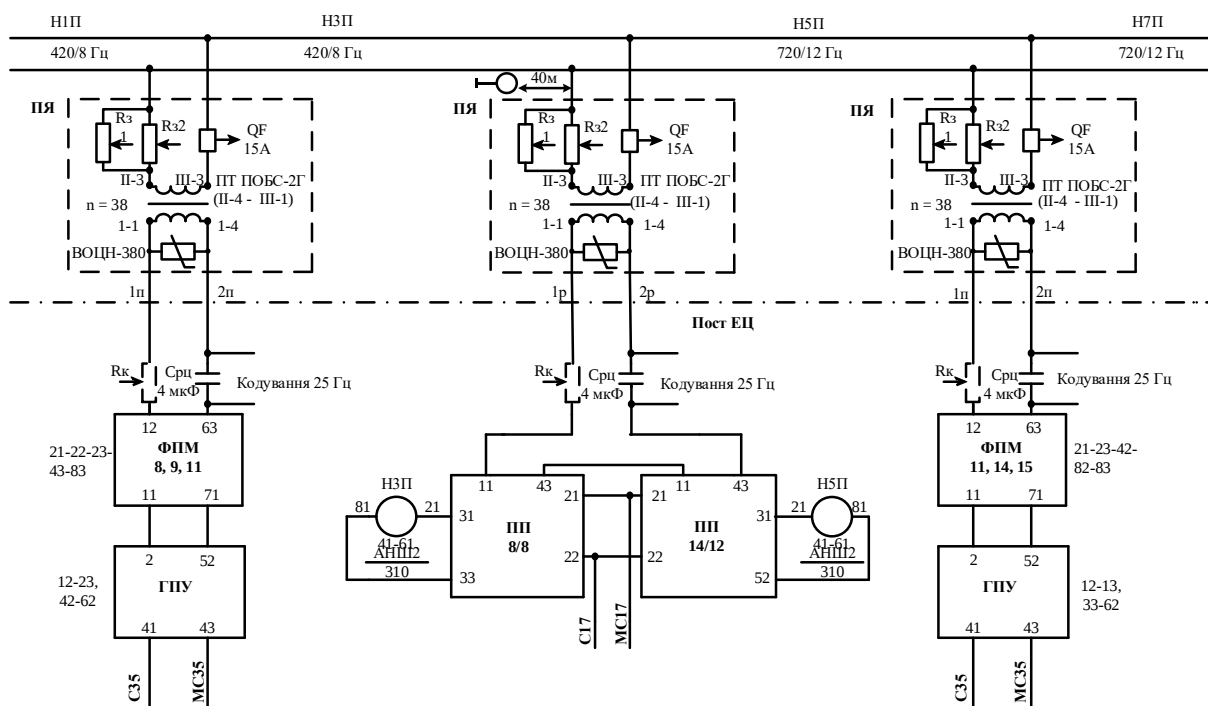


Рисунок 2.1 – Структурна схема рейкових кіл АБТЦ

Колійний генератор універсальний ГПУ (Генератор) призначений для створення і посилення амплітудно-модульованих (АМ) сигналів з частотами від 420 Гц до 5555 Гц. Він використовується в системах контролю рейкових кіл на залізничному транспорті і метрополітені. Генератор монтується на рамах релейних стативів і шаф, підключаючись до реле через розетки НШ.

На рисунку 2.2 представлена електрична принципова схема генератора, яка складається з наступних функціональних вузлів:

1. Джерело живлення: забезпечує електричне живлення генератора і його компонентів.
2. Генератор несучих, модулюючих частот і маніпулятор: відповідає за генерацію несучої частоти, модуляцію сигналу і маніпуляцію його параметрами.
3. Схема скидання: використовується для здійснення скидання сигналу і забезпечення його розмежування.
4. Узгоджувальний каскад: забезпечує узгодження і взаємодію різних частин генератора для отримання стабільного і якісного сигналу.
5. Активний смуговий фільтр: відповідає за фільтрацію сигналу і виділення потрібної смуги частот.
6. Індикатор: використовується для візуального відображення параметрів сигналу чи режиму роботи генератора.
7. Підсилювач потужності: використовується для підсилення сигналу і забезпечення достатньої потужності для подальшого використання в системі контролю.

Ці функціональні вузли разом утворюють електричну принципову схему генератора, яка відіграє важливу роль у формуванні потрібних сигналів для контролю рейкових кіл.

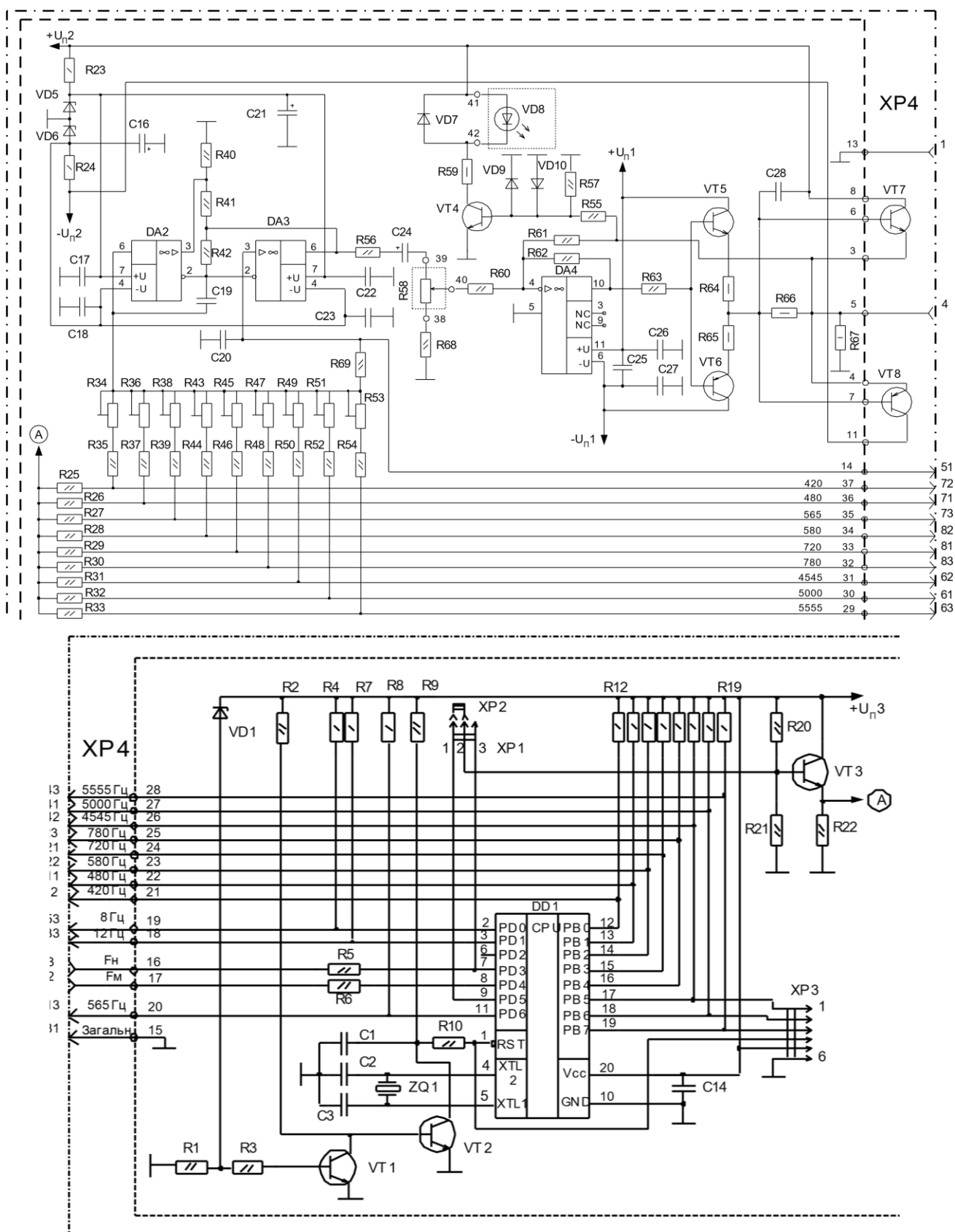
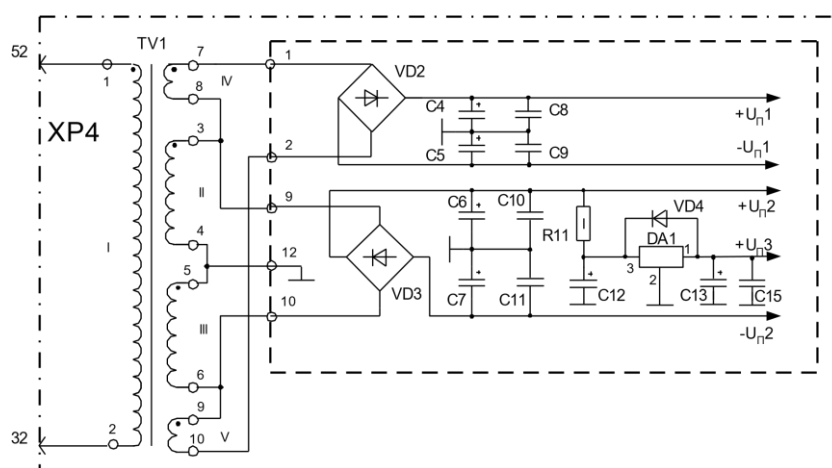


Рисунок 2.2 – Принципова схема ГПУ



Продовження Рисунок 2.2 – Принципова схема ГПУ

Джерело живлення генератора використовує різні компоненти для забезпечення стабільного живлення. Це включає мережний трансформатор TV1, діодні мости VD2 і VD3, діод VD4, стабілітрони VD5 і VD6, а також конденсатори C4 - C13, C15, C16, C21, резистори R11, R23, R24 і мікросхему DA1. Діодна збірка VD3 є двохнапівперіодним випрямлячем, який підключений до II і III обмоток, а точка їхнього з'єднання використовується як загальний вивід. Отримана двополярна напруга фільтрується конденсаторами C6 і C7. Конденсатори C10 і C11 використовуються як блокувальні елементи. Ця напруга служить для живлення вихідних транзисторів підсилювача потужності. Інтегральний стабілізатор DA1, підключений через баластний резистор R11 до позитивного виводу джерела, має фільтруючий конденсатор C13 на виході для забезпечення стабільної роботи.

Між виходом і входом інтегрального стабілізатора DA1 розміщений захисний діод VD4. Напруга, що постачається цим стабілізатором, використовується для живлення генератора несучих, модулюючих частот, маніпулятора, системи скидання при короткочасному провалі напруги живлення та каскаду узгодження. До цього двополярного джерела живлення також підключені два параметричних стабілізатори: стабілізатор +15 В через резистор R23, стабілітрон VD5 та конденсатор C1, і стабілізатор -15 В через резистор R24, стабілітрон VD6 та конденсатор C16. Ця напруга використовується для живлення активного смугового фільтра. До обмотки II мережного трансформатора додана обмотка IV, а до обмотки III - обмотка V. Підвищена змінна напруга випрямляється двохнапівперіодним

Приймач колійний ПП (рис. 2.4) розроблений для використання в системі контролю рейкових кіл з частотами від 420 Гц до 780 Гц. Приймач колійний ПП має компактну моноблочну конструкцію, засновану на платі реле ДСШ. Він призначений для застосування в пристроях магістрального залізничного транспорту. Навантаження приймача складається з реле АНШ2-310 з послідовно з'єднаними обмотками.

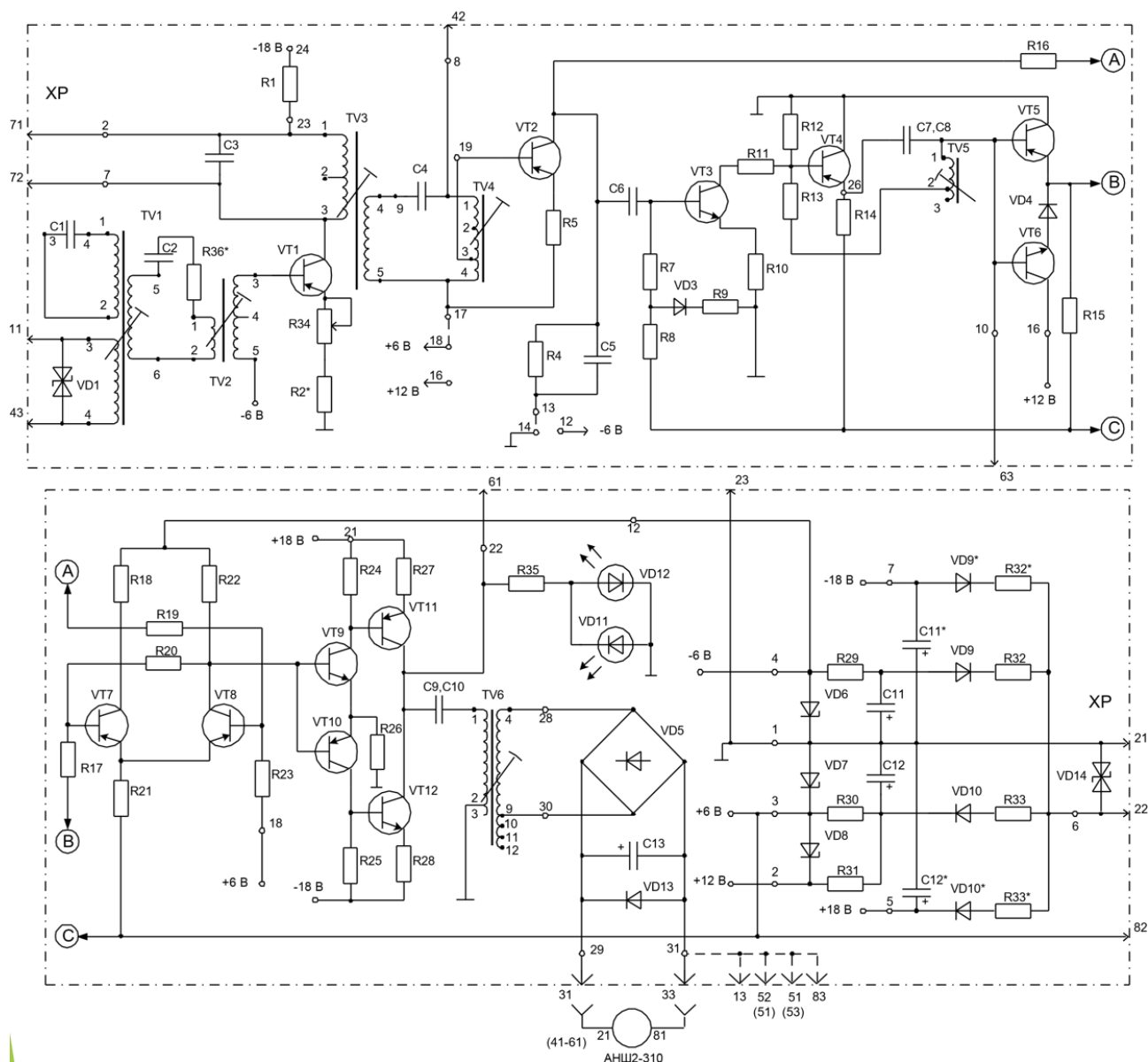


Рисунок 2.4 – Принципова схема ПП

Схема електрична принципова ПП (рис. 2.4) включає наступні функціональні компоненти:

- ✓ Вхідний фільтр, який відповідає за фільтрацію вхідного сигналу.

- ✓ Демодулятор, який виконує процес демодуляції сигналу.
- ✓ Амплітудний обмежувач та підсилювач струму, що забезпечує обмеження амплітуди сигналу і його подальше підсилення.
- ✓ Низькочастотний проміжний фільтр, який відокремлює низькочастотну складову сигналу.
- ✓ Буферний каскад, що служить для підсилення та збереження сигналу.
- ✓ Пороговий пристрій, який визначає поріг сигналу для подальшої обробки.
- ✓ Вихідний підсилювач, який забезпечує підсилення сигналу перед його виводом.
- ✓ Вихідний фільтр з підсилювачем, який забезпечує фільтрацію і підсилення вихідного сигналу.
- ✓ Вторинне джерело живлення постійного струму, яке забезпечує живлення компонентів схеми.

Вхідний фільтр використовує смуговий фільтр для виділення несучої частоти та бічних частот АМ сигналу, а також для приглушення частот сусідніх каналів рейкового кола, АЛС і гармонік тягового струму. Вхідний фільтр складається з двох систем спарених контурів, які базуються на трансформаторах TV1 - TV4 та конденсаторах C1 - C4. Зв'язок між спареними контурами (між першим і другим, третім і четвертим контурами) здійснюється через трансформатори і забезпечує задану ширину смуги пропускання фільтра, перевищуючи критичне значення.

Зв'язок між спареними системами встановлюється за допомогою підсилювача, що знаходиться на транзисторі VT1 та працює за схемою з загальним емітером. Резистори R2 та R34 в емітерному колі цього транзистора забезпечують зворотний зв'язок за струмом і визначають коефіцієнт підсилення каскаду. Через контакти колійного реле, паралельно до резистора R2, може підключатися резистор R3 для зниження коефіцієнта повернення приймача.

Для захисту вхідного фільтра від перенапруг, які можуть виникнути на вході приймача з боку рейкової лінії, до вхідної обмотки трансформатора TV1 підключені зустрічно з'єднані стабілітрони VD1 і VD2 або один обмежувач напруги.

Вхідний сигнал, виділений вхідним фільтром, отримується з частини обмотки трансформатора TV4 четвертого контуру і подається на вхід демодулятора.

Демодулятор виконаний за схемою підсилювача з загальним емітером на транзисторі VT2. Низькочастотний сигнал знімається з навантаження підсилювача (R4, C5), яке знаходиться в колекторному колі транзистора. Напруга цього сигналу, а також чутливість всього приймача, регулюються резистором R34, що знаходиться в емітерному колі транзистора VT1. Після демодулятора сигнал проходить через амплітудний обмежувач.

Амплітудний обмежувач побудований на транзисторі VT3 і виконує функцію підсилювача за схемою з загальним емітером. Він обмежує амплітуду низькочастотного сигналу при великих рівнях сигналу, щоб захистити наступні каскади від перевантаження. Сигнал з амплітудного обмежувача потім подається на вхід підсилювача. Підсилювач струму виконаний на транзисторі VT4, що працює за схемою з загальним колектором, і служить для підсилення низькочастотного сигналу за струмом. Навантаженням підсилювача є низькочастотний фільтр.

Низькочастотний проміжний фільтр, що складається з LC-контуру на дроселі TV5 та конденсаторах C7, C8, настроюється на власну частоту модуляції і виконує функцію виділення і пропускання власної частоти модуляції приймача, а також приглушення сигналів з частотами, що знаходяться поза смугою пропускання фільтра (такі як сигнали модуляції сусіднього каналу, пульсації випрямленої напруги тощо). Частотний сигнал, виділений фільтром, через буферний каскад, який складається з транзисторів VT5 і VT6, знаходиться в колекторному колі, і потім надходить на вхід симетричного тригера.

Симетричний тригер побудований на транзисторах VT7, VT8, резисторах R17 - R23, і виконує функції порогового елемента та формувача шпаруватості вихідного сигналу. Сигнал з виходу симетричного тригера надходить на вихідний підсилювач.

Вихідний підсилювач представляє собою двокаскадний двотактний підсилювач потужності з двополярним живленням і використовується для підсилення сформованого симетричним тригером прямокутного сигналу частоти модуляції.

Перший каскад підсилення виконується на транзисторах VT9, VT10, які працюють за схемою з загальним емітером. Другий каскад підсилення виконується на транзисторах VT11 і VT12, також за схемою з загальним емітером.

Значення опору R26, підключеного на виході першого каскаду, визначає величину струму в базовому колі транзисторів VT11 і VT12, необхідну для їхньої роботи в ключовому режимі.

Вихідний фільтр використовує трансформатор TV6 і конденсатори C9, C10. Цей фільтр виконує аналогічні функції низькочастотного фільтра (TV5, C7, C8). Частотний сигнал, виділений фільтром, випрямляється випрямлячем VD5 і надходить на вихід для живлення навантаження - реле АНШ2-310 з послідовно включеними обмотками.

2.2.1 Розрахунок параметру потоку відмов комплекту апаратури ТРК

Комплект апаратури ТРК в справному стані і є працездатним за умови, що всі елементи автоматики, які встановлені в ньому знаходяться в справному стані. Отже для справної роботи комплекту апаратури ТРК необхідно, щоб всі елементи, що описані вище були в справному стані, бо вихід з ладу одного з елементів призведе до відмови. Таким чином комплекту апаратури ТРК як система має логічно послідовне з'єднання елементів. В такому випадку параметр потоку відмов комплекту апаратури ТРК як системи буде визначатися за формулою 2.3 [5-7]:

$$z_c = \sum z_e = z_{ГПУ} + z_{КЯ} + z_{ФПМ} + z_{ПП} + z_{АНШ}$$

де $z_{ГПУ}$ – параметр потоку відмов колійного генератора ГПУ;

$z_{КЯ}$ – параметр потоку відмов кабельного ящика;

$z_{ФПМ}$ – параметр потоку відмов фільтру живлячого кінця ФПМ;

$z_{ПП}$ – параметр потоку відмов колійного приймачу типу ПП;

$z_{АНШ}$ – параметр потоку відмов колійного реле АНШ2-310.

Колійний генератор ГПУ (рис. 2.2) складається з цифрової мікросхеми CPU, 3 аналогових операційних підсилювачів, 8 транзисторів, 69 резисторів, 26

конденсаторів, з яких 7 електролітичні, 13 діодів, 2 стабілітрони, 1 світлодіоду, трансформатора TV1. Для справної роботи ГПУ необхідно, щоб всі перераховані вище елементи були функціональними, оскільки несправність хоча б одного з них може призвести до відмови всього ГПУ. Отже, ГПУ як система передбачає логічно послідовне з'єднання цих елементів. Розрахуємо його параметр потоку відмов, скориставшись довідниковими даними значень потоків відмов окремих елементів [5-7]:

$$z_{ГПУ} = \sum z_e = z_{CPU} + 3 \cdot z_{OP} + 8 \cdot z_{VT} + 69 \cdot z_R + 19 \cdot z_C + 7 \cdot z_{Ce} + 13 \cdot z_{VD} + 2 \cdot z_{Cm} + z_{LED} + z_{TV1} = 1 \cdot 10^{-6} + 3 \cdot 0,45 \cdot 10^{-6} + 8 \cdot 0,29 \cdot 10^{-6} + 69 \cdot 0,01 \cdot 10^{-6} + 19 \cdot 0,01 \cdot 10^{-6} + 7 \cdot 0,07 \cdot 10^{-6} + 13 \cdot 0,26 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 0,07 \cdot 10^{-6} + 0,19 \cdot 10^{-6} + 0,11 \cdot 10^{-6} = 9,86 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

Кабельний ящик КЯ містить у собі трансформатор ПТ типу ПОБС-3А, який має параметр потоку відмов $z_{ПТ} = 0,057 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$. Крім того у КЯ знаходиться ВОЦШ-220, АВМ-1 та два резистора. В цю групу елементів також включимо кабельний резистор та конденсатор для подання кодів в рейкові кола, які не знаходяться у КЯ, але й не відносяться до інших груп. Розрахуємо параметр потоку відмов КЯ, скориставшись довідниковими даними значень потоків відмов окремих елементів [5-7]:

$$z_{КЯ} = \sum z_e = z_{КЯ'} + z_{ПТ} + z_{ВОЦ} + z_{АВМ} + 3 \cdot z_R + 7 \cdot z_{Ce} = 0,05 \cdot 10^{-6} + 0,057 \cdot 10^{-6} + 0,57 \cdot 10^{-6} + 0,08 \cdot 10^{-6} + 3 \cdot 0,01 \cdot 10^{-6} + 0,07 \cdot 10^{-6} = 0,857 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

де $z_{КЯ'}$ – параметр потоку відмов самого КЯ як елемента.

Фільтр живлячого кінця рейкового кола ФПМ (рис. 2.3) складається з 10 конденсаторів, 2 резисторів та трансформатора Т1. Розрахуємо його параметр потоку відмов по аналогії з ГПУ, скориставшись довідниковими даними значень потоків відмов окремих елементів [5-7]:

$$z_{ФПМ} = \sum z_e = 10 \cdot z_C + 2 \cdot z_R + z_{T1} = 10 \cdot 0,01 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 0,01 \cdot 10^{-6} + 0,11 \cdot 10^{-6} = 0,23 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

Колійний приймач типу ПП (рис. 2.4) складається з 12 транзисторів, 35 резисторів, 13 конденсаторів з яких 5 електролітичних, 11 діодів, 7 стабілітронів, 2 світлодіодів, 6 трансформаторів. Розрахуємо його параметр потоку відмов по

аналогії з ГПУ, скориставшись довідниковими даними значень потоків відмов окремих елементів [5-7]:

$$z_{\text{ПП}} = \sum z_e = 12 \cdot z_{VT} + 35 \cdot z_R + 8 \cdot z_C + 5 \cdot z_{Ce} + 11 \cdot z_{VD} + 7 \cdot z_{Cm} + 2 \cdot z_{LED} + 6 \cdot z_{TV1} = \\ = 12 \cdot 0,29 \cdot 10^{-6} + 35 \cdot 0,01 \cdot 10^{-6} + 8 \cdot 0,01 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 0,07 \cdot 10^{-6} + 11 \cdot 0,26 \cdot 10^{-6} + \\ + 7 \cdot 0,07 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 0,19 \cdot 10^{-6} + 6 \cdot 0,11 \cdot 10^{-6} = 8,65 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

Колійне реле АНШ2-310 має параметр потоку відмов $z_{\text{АНШ}} = 0,06 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

Після отримання всіх даних про параметри потоків відмов елементів комплекту апаратури ТРК, ми проведемо їх аналіз. У таблиці 2.1 зібрані всі параметри потоків відмов елементів комплекту апаратури ТРК. За даними з таблиці 2.1 ми побудували діаграму (рис. 2.5).

Таблиця 2.1 – Параметри потоків відмов елементів сигнальної точки

№	Елемент	Параметр потоку відмов, $z \cdot 10^{-6}$ [1/год]
1	Колійний генератор ГПУ	9,86
2	Колійний трансформатор ПТ	0,057
3	Колійний приймач ПП	8,65
4	Колійне реле АНШ2-310	0,06
5	Фільтр ФПМ	0,23
6	Кабельний ящик	0,857

На рис. 2.5 зображена діаграма потоків відмов елементів комплекту апаратури ТРК. З діаграми видно, що найбільші параметри потоків відмов мають ГПУ та ПП. Це зумовлено тим, що вони складаються з електронних компонентів, які мають досить високі параметри потоків відмов відносно, наприклад релейної техніки. Але при цьому електронні компоненти значно менші за розмірами, дешеві та мають більшу швидкодію. Для зменшення параметру потоку відмов комплекту апаратури ТРК можна провести дублювання окремих вузлів ГПУ та ПП чи провести їх повне дублювання.

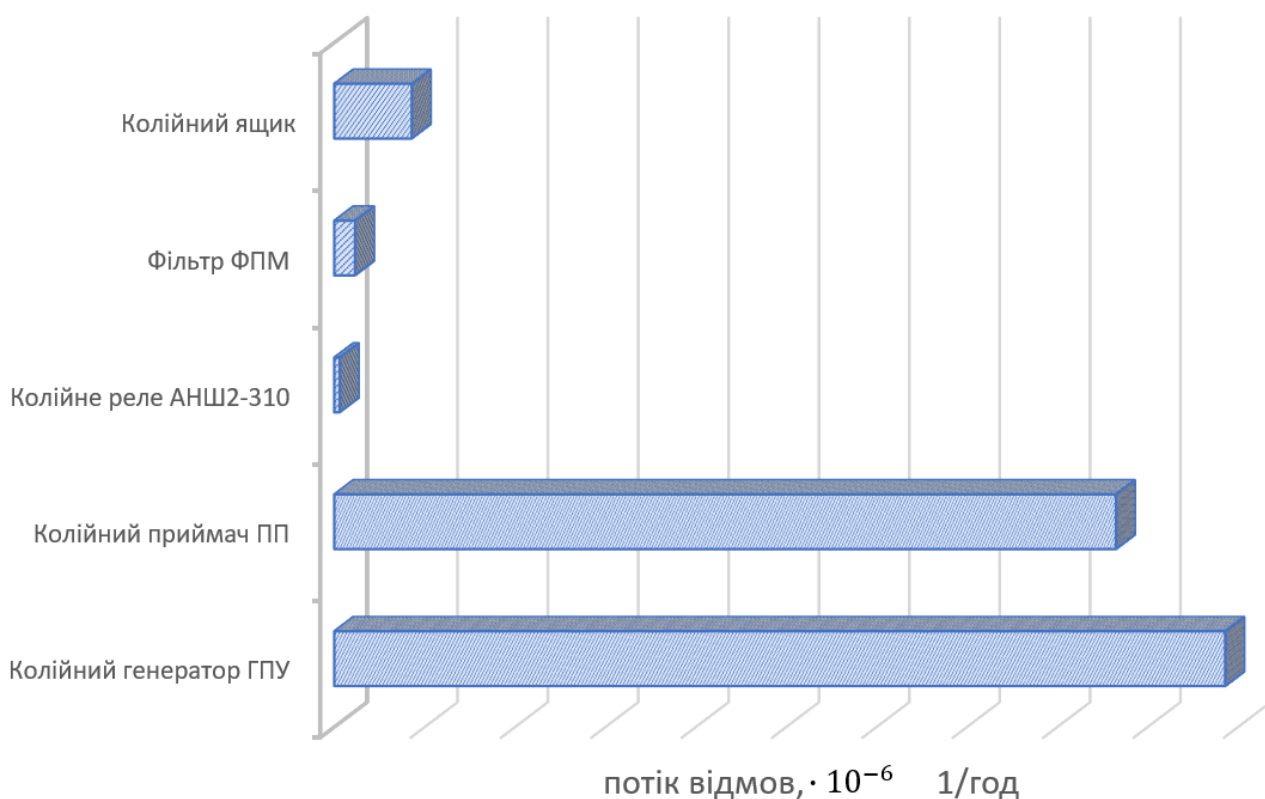


Рисунок 2.5 – Діаграма потоків відмов комплекту апаратури ТРК

Далі визначимо параметр потоку відмов комплекту апаратури ТРК в цілому:

$$z_C = \sum z_e = z_{ГПУ} + z_{КЯ} + z_{ФПМ} + z_{ПП} + z_{АНШ} = 9,86 \cdot 10^{-6} + 0,857 \cdot 10^{-6} + 0,23 \cdot 10^{-6} + 8,65 \cdot 10^{-6} + 0,06 \cdot 10^{-6} = 19,657 \cdot 10^{-6} \text{ [1/год]}$$

Окремо можна сказати, що отримане значення параметру потоку відмов сигнальної точки не включає в себе параметри потоку відмов таких елементів:

- запобіжників (до $0,1 \cdot 10^{-6}$),
- кабелю (до $1,6 \cdot 10^{-6}$ на 1 км.),
- кабельних муфт (до $0,6 \cdot 10^{-6}$),
- баласту (до $7,5 \cdot 10^{-6}$).

Врахування вище перелічених елементів дозволить оцінити параметр потоку відмов автоблокування в цілому, з урахуванням кількості рейкових кіл та довжини перегону.

Після отримання параметру потоку відмов комплекту апаратури ТРК, ми можемо розрахувати інші показники надійності, такі як ймовірність безвідмовної

роботи, ймовірність відмови і час наробітку до відмови. Ці показники, які оцінюються за певний період часу, будуть визначені для проміжку, що дорівнює одному року ($t=8670$ год).

$$p(t)=e^{-z(t) \cdot t} = e^{-19,657 \cdot 10^{-6} \cdot 8670} = 0,842;$$

$$q(t)=1-e^{-z(t) \cdot t} = 1 - 0,842 = 0,158;$$

$$T_c = \frac{1}{z_c} = \frac{1}{19,657 \cdot 10^{-6}} = 50870 \text{ год.}$$

2.2.3 Розрахунок коефіцієнту готовності комплексу апаратури ТРК

Система, яка не має резервування і може відновлюватися, може перебувати в одному з двох станів - працездатному або непрацездатному - в будь-який момент часу. Перехід з працездатного стану до непрацездатного стану відбувається внаслідок відмов з певною інтенсивністю λ , а з непрацездатного стану до працездатного - через процес відновлення з інтенсивністю z . Далі будемо припускати, що потоки відмов і відновлення є простими, тобто $\lambda = \text{const}$ та $z = \text{const}$. Останнє рівняння означає, що продуктивність ремонтника є постійною і не залежить від часу. Тому час відновлення має експоненціальний розподіл $S(t) = 1 - e^{-zt}$. [4,7,11].

Ключовими показниками надійності нерезервованої системи, яка може відновлюватися, є коефіцієнт готовності k_r та ймовірність перебування у непрацездатному стані P_v . Згідно ДСТУ 2860-94 "Надійність техніки. Терміни та визначення", коефіцієнт готовності означає ймовірність того, що об'єкт буде працездатним у будь-який момент часу, за винятком запланованих періодів, коли використання об'єкта не передбачено. Водночас скорочення часу відновлення призводить до збільшення коефіцієнта готовності, але не впливає на безвідмовність системи.

$$k_r = \frac{\mu}{z + \mu}$$

$$P_v = \frac{z}{z + \mu}$$

При використанні експоненційного розподілу для часу наробітку та часу відновлення, випадковий процес роботи системи, що відновлюється, стабілізується після певного часу, і ймовірність знайти систему працездатною у будь-який момент часу залишається постійною. Система з такою властивістю називається ергодичною, а сам процес вважається марковським випадковим процесом.

Величина потоку відновлення залежить від продуктивності обслуговуючого персоналу та може змінюватись на різних постах експлуатаційних центрів (ЕЦ), але в рамках одного поста ЕЦ вона є приблизно постійною. Задаймося невеликим незмінним потоком відновлення і проведемо дослідження впливу параметру потоку відмов на коефіцієнт готовності та ймовірність знаходження у непрацездатному стані.

$$k_r(z) = \frac{\mu}{z + \mu} \quad (2.4)$$

$$Pv(z) = \frac{z}{z + \mu} \quad (2.5)$$

Для дослідження припустимо, що параметру потоку відмов змінюється від 0 до 1 [1/год.], тоді за формулами (2.4) та (2.5) $k_r(0) \rightarrow 1$, $k_r(1) \rightarrow 0$, $Pv(0) \rightarrow 0$, $Pv(1) \rightarrow 1$. При цьому характер залежності буде мати експоненційний вид.

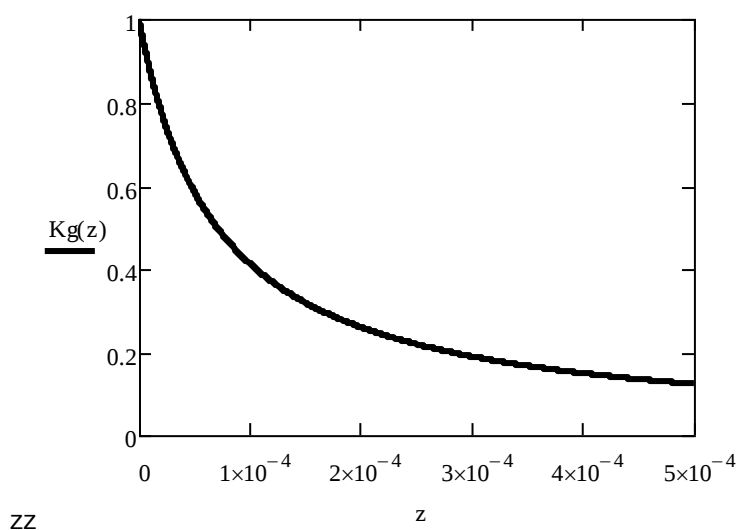


Рисунок 2.6 – Залежність коефіцієнту готовності від параметру потоку відмов

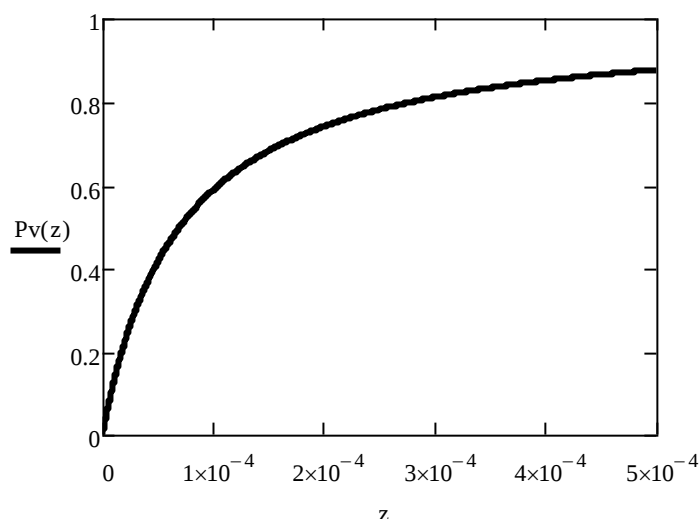


Рисунок 2.7 – Залежність ймовірності знаходження у непрацездатному стані від параметру потоку відмов

Рисунки 2.6 та 2.7 ілюструють лише ділянку, де параметру потоку відмов змінюється від 0 до $5 \cdot 10^{-4}$ [1/год]. У залежності (2.4) відмітимо характерні точки, де k_r приймає наступні значення: 0,9; 0,95; 0,99; 0,999; 0,9999 і для них визначимо параметр потоку відмов, отримані дані представлені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Аналіз впливу потоку відновлення на коефіцієнт готовності

№	Параметр потоку відмов, $z \cdot 10^{-6}$ [1/год]	Коефіцієнт готовності, k_r	Ймовірність знаходження у непрацездатному стані, P_v
1	7,761	0,9	0,1
2	3,682	0,95	0,05
3	0,706	0,99	0,01
4	0,0697	0,999	0,001
5	0,01	0,9999	0,0001

З приведеної табл. 2.2. видно, що для досягнення коефіцієнту готовності комплексу апаратури ТРК 0,9999 необхідно, щоб параметр потоку відмов складав $0,01 \cdot 10^{-6}$, що є досить важко досяжною цифрою.

Оскільки коефіцієнт готовності є комплексним показником надійності дослідимо його детальніше. На рисунку 2.8 приведено залежність коефіцієнту готовності від параметру потоку відмов та потоку відновлення. З рисунку видно, що зростання параметру потоку відмов призводить до зниження коефіцієнта

готовності, а зростання потоку відновлення навпаки збільшує коефіцієнт готовності. Таким чином, з використанням цього графіки можна виходячи з наявного (розрахованого чи експериментально встановленого) параметру потоку відмов та бажаного коефіцієнта готовності визначити необхідний потік відновлення, а як наслідок – прийняти відповідні рішення щодо штату обслуговуючого персоналу, закупки необхідних запасних частин та ремонтного обладнання, встановлення інформаційних діагностичних систем тощо.

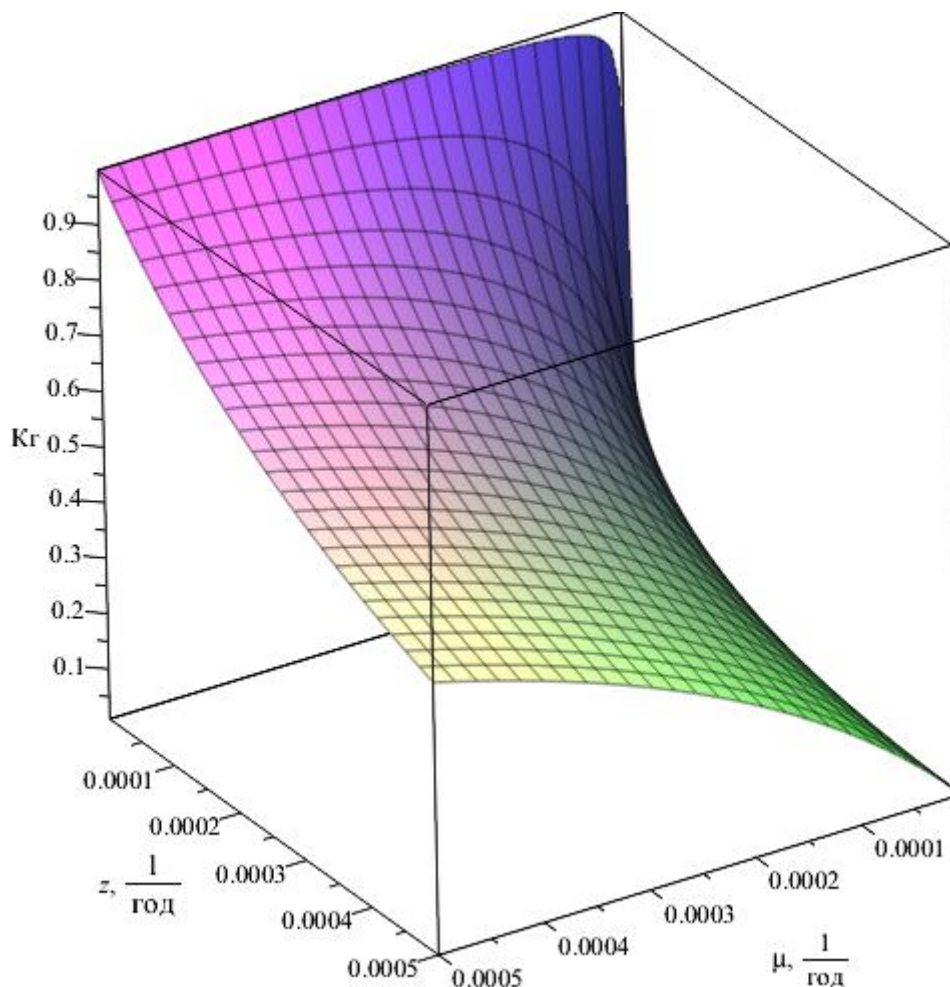


Рисунок 2.8 – Залежність коефіцієнту готовності від параметру потоку відмов та потоку відновлення

3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

3.1. Вимоги безпеки при виконанні робіт на перегоні

Під час виконання обслуговування та ремонту пристроїв СЦБ на перегонах необхідно дотримуватись особливої обережності. Рекомендується проходити уздовж колій за кюветом, а прохід по узбіччю збоку від колій допускається лише у випадках гострої потреби, зберігаючи відстань не менше 2 метрів від крайньої рейки. При переході по двоколійних лініях слід йти в напрямку руху поїздів, регулярно оглядаючись і переконуючись у відсутності наближаючих поїздів навпроти.

Ходити по шпалах між рейками можна лише у разі гострої необхідності, коли прохід по узбіччю неможливий, проте слід бути особливо уважним. При наближенні поїзда, дрезини або іншого рухомого складу, слід заздалегідь зійти з колій на узбіччя і перебувати на відстані не менше 5 метрів від колії, по якій рухається поїзд. Заборонено переходити на сусідню колію для уступу поїзду.

Необхідно зберігати особливу уважність та обережність при поганій видимості, такій як туман, а також взимку, коли головні убори можуть зменшити чутливість до сигналів і шуму рухомого складу, відчепів та локомотивів.

У випадках, коли відсутні пішохідні мости, тунелі або настилі, переходити колії слід лише під прямим кутом після переконання, що на перехресті колій немає наближаючого рухомого складу.

Заборонено переходити або перебігати колії перед рухомим поїздом або локомотивом. При переході за кінцем проїжджої частини поїзда слід переконатися, що немає штовхача або дрезини й не наближається поїзд на сусідній колії.

При переході через колії заборонено ставити ногу або сідати на кришки колійних коробок, дроселів-трансформаторів, кабельних муфт, електрозамків та інші колійні пристрої.

Під час перерви в роботі, що виконується на коліях, необхідно зійти з них на узбіччя, зберігаючи відстань не менше 2 метрів від крайньої рейки. При наближенні рухомого складу до місця роботи працівники повинні: негайно припинити

всі роботи; забрати всі інструменти, матеріали й запасні частини в межах габариту; відійти до безпечного місця.

Усі роботи заборонено: залишати незакриті ями, котловани і траншеї на ніч або під час перерв; класти інструмент на головки рейок та порушувати габаритні обмеження будівель. Крім того, матеріали й обладнання повинні бути розміщені в міжколійському просторі так, щоб відстань від найближчої рейки до розташованих матеріалів і обладнання становила не менше 1 метра при висоті до 200 мм над головою рейки, 1,2 метра при висоті 1,2 метра та 1,7 метра при висоті понад 1,2 метра.

Не пізніше, ніж за 10 хвилин до приблизного проходу швидкісного поїзда, необхідно припинити всі роботи, а матеріали й інструменти повинні бути віддалені на відстань не менше 2 метрів від найближчої рейки. Не пізніше, ніж за 5 хвилин до приблизного проходу швидкісного поїзда, необхідно відійти від колії на відстань не менше 5 метрів. Якщо проводяться роботи на суміжній колії, по якій має проїхати швидкісний поїзд, роботи на цій колії також повинні бути припинені заздалегідь таким чином, щоб за 5 хвилин до приблизного проходу поїзда ніхто не залишався на колії, а всі працюючі перебували на відстані не менше 5 метрів від цієї колії. [11]

Перевірка устаткування, яке перебуває під напругою, повинна проводитися під керівництвом відповідального працівника, який має кваліфікацію з охорони праці не нижче IV групи. Якщо робота виконується у кілька змін, то в кожній зміні повинен бути призначений керівник.

Усі працівники, які здійснюють перевірку устаткування під напругою, повинні мати посвідчення, яке підтверджує їх кваліфікаційну групу з охорони праці.

Перед початком робіт керівник зобов'язаний перевірити термін дії кваліфікаційного посвідчення кожного працівника й, надаючи завдання, враховувати кваліфікаційну групу працівника.

Уся бригада, яка займається перевіркою устаткування під напругою, повинна мати монтерський інструмент з ізольованими ручками.

Усі електричні вимірювання повинні виконуватися виключно спеціальними приладами, які мають ізолювані відводи з наконечниками для підключення до контактів устаткування.

При випробуванні ізоляції кабелів, проводів і окремих частин пристроїв мегометром необхідно відключити випробовуваний об'єкт від інших пристроїв.

Перевірка устаткування, що перебуває під напругою, в колійних ящиках повинна проводитися з використанням відповідних ізолюючих захисних засобів. Усі працівники бригади, яка здійснює перевірку устаткування під напругою, повинні навчитися надавати першу допомогу при нещасних випадках. [13]

Для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу й інших осіб на електрифікованих дорогах, конструкції й пристрої повинні бути заземлені таким чином, що забезпечує режим короткого замикання. [11]

Заземленню підлягають всі металеві частини конструкцій і пристроїв, які доступні для дотику людини й не мають інших засобів захисту, що забезпечують безпеку від електричного струму.

Матеріал, конструкція, розміри заземлювача й заземлюючих провідників, а також їхні з'єднання повинні забезпечувати достатню стійкість до механічних, термічних і корозійних впливів.

Контури заземлення й заземлюючі провідники, переважно, виготовляються зі сталі з діаметром проводу не менше 10 мм; також допускається використання сталь-алюмінієвих проводів для групових заземлень і мідних проводів для робочих заземлень.

Висновки та рекомендації

Дослідження надійності відіграють важливу роль у розробці нових продуктів та автоматизованих систем. Вони дозволяють виявляти потенційні проблеми та вдосконалювати конструкцію, компоненти та процеси. Це сприяє стимулюванню інновацій, покращенню якості та впровадженню нових технічних рішень. Крім того, у багатьох галузях існують стандарти, норми та правила, які встановлюють певний рівень надійності.

Дослідження надійності допомагають перевірити відповідність цим стандартам, нормам та правилам, а також впроваджувати необхідні заходи для їх виконання. Усі ці аспекти підкреслюють важливість дослідження надійності як інструменту для забезпечення безпеки, якості та ефективності роботи автоматизованих систем, зокрема залізничної автоматики.

В результаті виконання роботи розглянуто різні методики оцінки надійності, з яких для застосування обрана методика оцінки надійності з урахуванням розрахунку інтенсивностей відмов, яка базується на розрахунку інтенсивностей відмов компонентів системи та їх взаємодії для визначення загальної надійності системи.

Проведено оцінку надійності комплекти апаратури ТРК. Виявлено, що у комплекти апаратури ТРК найбільші параметри потоку відмов мають ГПУ та ПП. Це зумовлено тим, що вони складаються з електронних компонентів, які мають досить високі параметри потоків відмов відносно, наприклад релейної техніки. Але при цьому електронні компоненти значно менші за розмірами, дешевші та мають більшу швидкодію. Для зменшення параметру потоку відмов комплекту апаратури ТРК можна провести дублювання окремих вузлів ГПУ та ПП чи провести їх повне дублювання.

Визначено основні показники надійності комплекту апаратури ТРК.

Отримано залежність коефіцієнту готовності від параметру потоку відмов та потоку відновлення. З'ясовано, що зростання параметру потоку відмов

призводить до зниження коефіцієнта готовності, а зростання потоку відновлення навпаки збільшує коефіцієнт готовності.

Таким чином, з використанням цього графіки можна виходячи з наявного (розрахованого чи експериментально встановленого) параметру потоку відмов та бажаного коефіцієнта готовності визначити необхідний потік відновлення, а як наслідок – прийняти відповідні рішення щодо штату обслуговуючого персоналу, закупки необхідних запасних частин та ремонтного обладнання, встановлення інформаційних діагностичних систем тощо.

Перелік посилань

1. Дмитриев В.С., Минин В. Новые системы автоблокировки. – М.: Транспорт. 1992. – 182 с.
2. Федоров Н.Е. Современные системы автоблокировки с тональными рельсовыми цепями: Учебное пособие.-Самара:СамГАПС,2004.
3. Кулик П.Д., Ивакин Н.С., Удовиков А.А. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей.-2003.
4. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення.
5. Канарчук В.С., Полянський С.К., Дмитрієв М.М. Надійність машин: Підручник. – Либідь, 2003 – 424 с
6. Кустов В.Ф. Основы теории надёжности та функційної безпечності систем залізничної автоматики: Навчальний посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. - 218 с.
7. Заміховський Л.М. Основы теории надёжности і технічної діагностики систем: Навчальний посібник./ Л.М. Заміховський, В.П. Калявін.– Івано-Франківськ: Вид-во “Полум’я”, 2019.– 360 с.
8. Сеньо, П. С. Теорія ймовірностей та математична статистика : підручник / П. С. Сеньо. - К. : Знання, 2007. - 556 с.
9. Лозинський О., Щербовських С. Розрахунок параметра потоку відмов відновлюваного об’єкта з урахуванням тривалості ремонтів / О. Лозинський, С. Щербовських. – Львів, 2008. – с. 92-101.
10. MIL-HDBK-217F. Military handbook. Reliability prediction of electronic equipment. Department of defense Washington DC 20301, 1991. – 205 p.
11. NSWC-11. Handbook of reliability prediction procedures for mechanical equipment. - USA: CARDEROC DIV, 2011. - 522 p.
12. Hongzhou, Wang Reliability and optimal maintenance / Wang Hongzhou, Hoang Pham. — London: Springer-Verlag, 2006. — 345 p.

13. Аркатов В. С., Кравцов Ю. А., Степенский Б. М. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание. – М.: Транспорт, 1990. – 295 с.
14. Казаков, А. А., Казаков, Е. А., Бубнов, В. Д. Системы интервального регулирования движения поездов.-М: Транспорт - 1986.
15. Правила технічної експлуатації залізниць України, 2002 р.
16. «Інструкції з забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні робіт з технічного обслуговування та ремонту пристроїв сигналізації, централізації та блокування на залізницях України»
17. ЦШ 0060 «Інструкції з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ)».