

Запорізький національний університет
Навчально-науковий інженерний інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Пояснювальна записка
до магістерської роботи

рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

на тему Підвищення ефективності споживання електричної енергії
допоміжним обладнанням прокатного виробництва ПАТ «Запоріжсталь»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1412-2

Юдін А.О.

(прізвище та ініціали) (підпис)

спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

141.00.11 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва)

Керівник

Саблін О.І.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя
2023 рік

Запорізький національний університет

Навчально-науковий інженерний інститут ім. Ю.М. Потебні

(повне найменування вищого навчального закладу)

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень
(повна назва кафедри)


Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва)

Спеціалізація _____
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма 141.00.11 Електроенергетика,
електротехніка
(шифр і назва)
та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., доц.  В.Л. Коваленко
“ 07 ” грудня 2023 року

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Юдін Артем Олегович

1. Тема роботи: Підвищення ефективності споживання електричної енергії допоміжним обладнанням прокатного виробництва ПАТ «Запоріжсталь»

Керівник роботи: Саблін О.І.

затверджені наказом ЗНУ від « 01 » травня 2023 року № 639 - с




2. Строк подання студентом роботи: 01 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: поточний тариф вартості електроенергії; внутрішньозаводські електричні мережі енергопостачання з напругою 6 – 10 кВ; електромеханічне обладнання цехів;

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які рекомендовано розробити): вступ; загальні відомості про підприємство ПАТ «Запоріжсталь»; аналіз існуючих методів визначення розходу електричної енергії на ремонт рухомого складу; побудова імітаційної моделі технологічного процесу ремонту локомотивів

5. Перелік графічного матеріалу: види існуючих моделей; застосування видів імітаційного моделювання; загальний алгоритм побудови імітаційних моделей; адаптований до опису ТП ремонту рухомого складу; співвідношення часток електроенергії, спожитої модельованими ділянками

6. Консультанти розділів дипломної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Саблін О.І., професор		
Розділ 2	Саблін О.І., професор		
Розділ 3	Саблін О.І., професор		
Нормоконтроль	Бандуренко І.І., асистент		

7. Дата видачі завдання

01.06.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітка
1	Аналіз виробничої діяльності ПАТ «Запоріжсталь»	01.10.2023	
2	Аналіз існуючих методів визначення розходу електричної енергії на ремонт рухомого складу	01.11.2023	
3	Побудова імітаційної моделі технологічного процесу ремонту локомотивів	01.12.2023	

Студент



(підпис)

Юдін А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник дипломної роботи



(підпис)

Саблін О.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтролер



(підпис)

Бандуренко І.І.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Виконано аналіз існуючих підходів до визначення обсягів споживання електричної енергії під час проведення ремонтних робіт на рухомому складі. Зазначено можливість використання методу імітаційного моделювання для оцінки обсягів електричної енергії, витраченої на ремонт рухомого складу. Розглянуто імітаційне моделювання активних технологічних процесів. Здійснено оцінку обсягів споживання електричної енергії під час технологічних операцій з ремонту рухомого складу.

Ключові слова: електрична енергія, рухомий склад, технологічні процеси, моделювання, розходи електричної енергії.

ABSTRACT

An analysis of existing approaches to determining the amount of electrical energy consumption during repair work on a rolling stock was performed. The possibility of using the method of simulation modeling to estimate the amount of electrical energy spent on the repair of rolling stock is indicated. Simulation modeling of active technological processes is considered. An assessment of the amount of electrical energy consumption during technological operations for the repair of rolling stock was carried out.

Key words: electric energy, rolling stock, technological processes, modeling, consumption of electric energy.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»	8
2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗХОДУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕМОНТНІ ОПЕРАЦІЇ	19
2.1 Існуючі методи планування витрат електричної енергії	21
2.2 Аналіз можливості застосування методів імітаційного моделювання для опису ремонтних операцій	27
2.3 Застосування методів імітаційного моделювання для оцінки розходу електричної енергії на технологічні операції	35
3 ПОБУДОВА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РЕМОНТНОГО ПРОЦЕСУ	53
3.1 Розробка імітаційної моделі технологічного ремонтного процесу	55
3.2 Оцінка витрат електроенергії на технологічний ремонтний процес	67
3.3 Охорона праці та безпека життєдіяльності	71
ВИСНОВКИ	80
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	81
ДОДАТКИ	83

ВСТУП

Підвищення енергоефективності та раціональне використання ресурсів визнаються як пріоритетні завдання для ПАТ "Запоріжсталь". При цьому застосування раціонального підходу сприяє зменшенню собівартості та енергоємності виробництва, зниженню витрат на енергоносії, а також відповідності екологічним стандартам. Важливою ланкою у забезпеченні цих цілей є логістичне забезпечення, виконуване залізничним цехом. Зазначається, що рухомий склад цього цеху є одним з основних споживачів енергії.

Однак важливо враховувати, що досягнення високої продуктивності та рентабельності транспортних систем вимагає уважного контролю за використанням електроенергії. Виявлення нераціональних витрат електроенергії може відкривати перспективи для підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів.

Найважливішим умовою забезпечення ефективного використання електроенергії є дотримання питомих норм витрати на виробництво одиниці продукції. Але вказується на відсутність таких норм для більшості структурних підрозділів залізничного цеху. Питомі норми, отримані на основі фактичних даних про споживання електроенергії, не завжди можуть достовірно враховувати плановані зміни в організації виробництва.

У даному контексті важливою метою є розробка методу, який дозволить передбачати витрати електроенергії на технологічні процеси при ремонті рухомого складу. Також акцентується на необхідності оцінки ефективності впровадження нових технологій, виявлення ділянок з підвищеними втратами електроенергії та визначення ефективності управлінських заходів для зниження енергоємності основних технологічних процесів. Також вказується на важливість оцінки ефективності заходів щодо наближення графіка навантаження до рівномірного, як на рівень структурних підрозділів, так і на рівень конкретних технологічних процесів.

Мета даної магістерської роботи полягає в проведенні аналізу методу апріорної оцінки витрат електричної енергії на технологічні процеси ремонту рухомого складу з використанням результатів імітаційного моделювання. Основний акцент роботи робиться на визначенні гранично допустимого споживання та отриманні питомих норм витрат електричної енергії на випуск одиниці продукції в межах існуючої організації виробництва.

Об'єктом дослідження є рухомий склад залізничного цеху заводу, а предметом – система ремонту рухомого складу в цьому цеху. Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення наступних завдань:

- розгляд сучасних підходів та методологій, що використовуються для визначення витрат електроенергії в процесі ремонту рухомого складу;
- оцінка розходу електричної енергії на технологічні операції ремонту рухомого складу;
- використання імітаційного моделювання для числового оцінювання витрат електроенергії під час різних технологічних операцій з ремонту.

Дана робота спрямована на розробку ефективного методу, який дозволить апріорно визначати витрати електричної енергії на технологічні процеси ремонту рухомого складу, а також на вдосконалення системи управління енергоефективністю в рамках існуючої виробничої структури.

1 АНАЛІЗ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

На даний момент Публічне акціонерне товариство "Запоріжсталь" виступає п'ятим за обсягами виробництва серед українських виробників сталі. Протягом перших семи місяців 2020 року було виготовлено 2108 тис. тон чавуну, 2274 тис. тон сталі та 1961 тис. тон прокату. Металургійний комбінат володіє інтегрованим виробничим комплексом, який включає в себе виробництво агломерату, передільного чавуну, нерафінованої сталі, напівфабрикатів і готової сталевих продукції [1-4].

Однією з характерних особливостей комбінату є спеціалізація на виробництві високотехнологічних продуктів: тонкого гарячекатаного (Г/к) плоского прокату в рулонах і листах (для трубної та машинобудівної промисловості) та холоднокатаного (Х/к) прокату в рулонах і листах (для автомобільного та машинобудівного секторів).

Попит на продукцію комбінату значний, що відображається в різноманітній географії поставок. Експорт продукції охоплює понад 45 країн світу, включаючи країни Близького і Середнього Сходу, країни Європейського Союзу, Туреччину, Азію, Африку та інші [1].

У 2019 році комбінат виготовив 3311,2 тис. тон чавуну, 3999,7 тис. тон сталі і 3344,3 тис. тон прокату. Напрями та обсяги реалізації продукції підприємства представлені на рисунках 1.1-1.3.

Захоплюючи принципи сталого партнерства з постійними клієнтами та підвищення конкурентоспроможності своєї продукції на глобальних ринках металу, ПАТ "Запоріжсталь" у 2019 році впровадило виробництво сталі із збільшеним гарантованим вмістом алюмінію [1-4].

Нова продукція комбінату відповідає технічним характеристикам, встановленим в європейському стандарті EN 10025-1:200. Розроблені нові марки сталі, що виробляються на підприємстві, знаходять високий попит серед європейських виробників трубної продукції. Застосування цих марок сприяє підвищенню міцності та тривалості трубної продукції, зокрема

оцинкованих труб. Серед ключових споживачів цієї сталі варто відзначити визнану світову компанію Marcegaglia з Італії. Взаємодія з таким великим гравцем на ринку гарантує комбінату стійкість та стабільний попит на їхню продукцію [1-4].

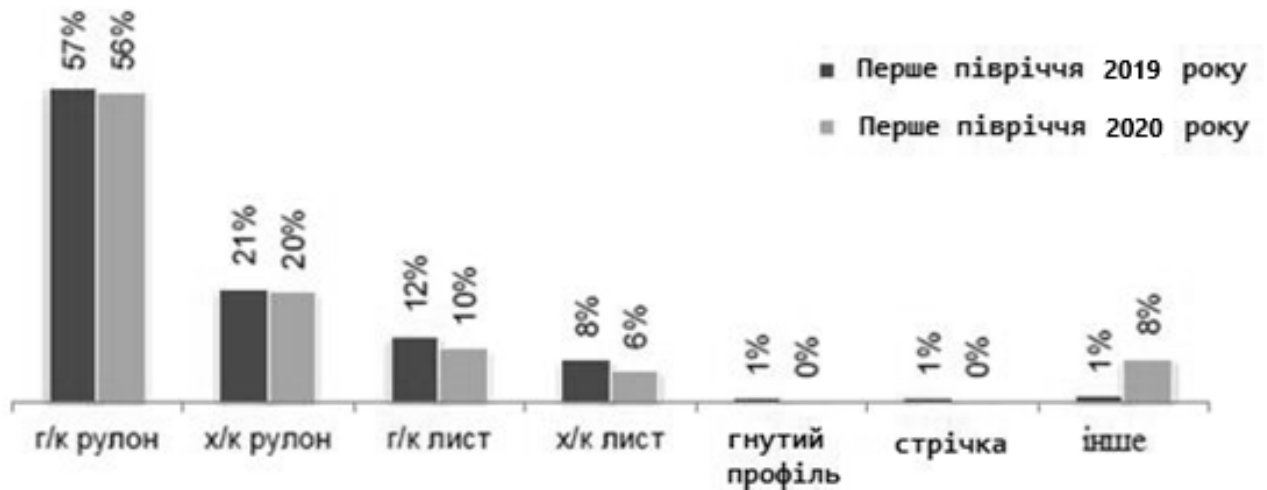


Рисунок 1.1 – Реалізація продукції ПАТ «Запоріжсталь» за часткою за видами продукції

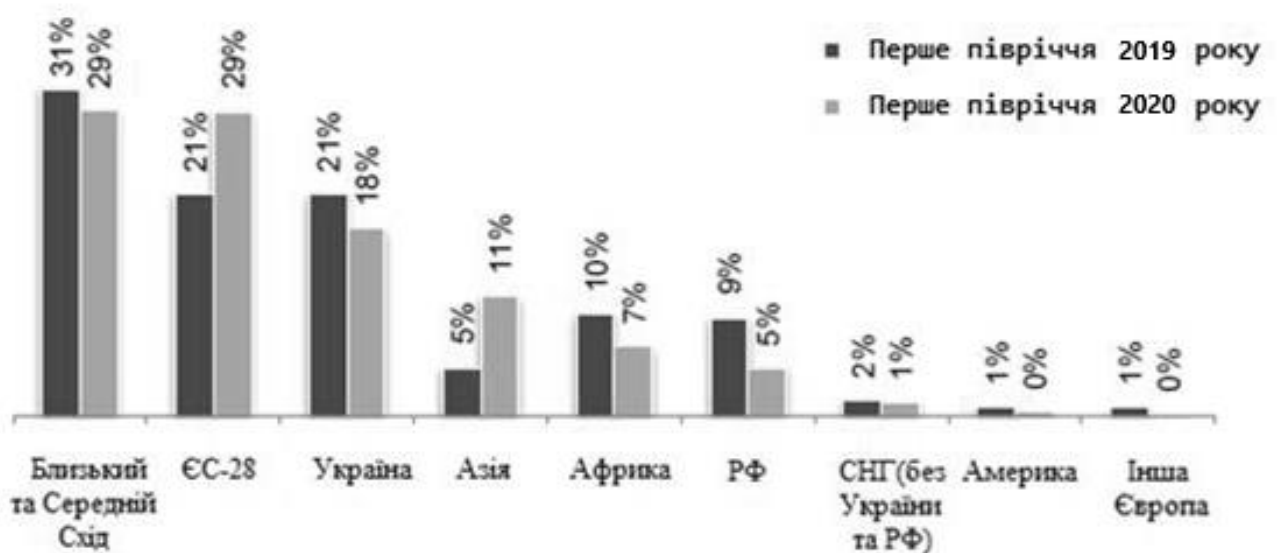


Рисунок 1.2 – Реалізація продукції ПАТ «Запоріжсталь» за часткою за регіонами

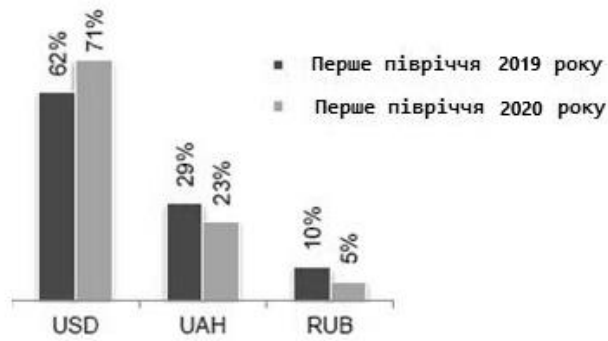


Рисунок 1.3 – Реалізація продукції ПАТ «Запоріжсталь»
за часткою за видами валют

Для досягнення поставлених стратегічних цілей Публічне акціонерне товариство "Запоріжсталь" послідовно реалізує ряд ключових завдань [1, 2]:

1. Вироблення високоякісної металопродукції:

- Спрямовано на задоволення потреб клієнтів через виробництво продукції, яка відповідає високим стандартам якості.

2. Модернізація й реконструкція основних виробничих фондів:

- Проведення масштабних заходів з оновлення та удосконалення обладнання та інфраструктури для підвищення продуктивності та ефективності виробництва.

3. Впровадження передових технологій і інновацій:

- Активна інтеграція новітніх технологій та інновацій для підвищення конкурентоспроможності та оптимізації виробничих процесів.

4. Досягнення лідируючих позицій в галузі виробництва:

- Прагнення стати лідером у виробництві сталевих продукції, ефективного керуванні та організації бізнес-процесів.

5. Забезпечення промислової безпеки, здоровіших і безпечних умов праці:

- Вдосконалення системи безпеки та охорони праці для забезпечення безпеки та здоров'я працівників.

6. Скорочення техногенного впливу на навколишнє середовище:

- Впровадження екологічно чистих технологій та заходів для

зменшення негативного впливу на природне середовище.

На сьогоднішній день підприємство активно здійснює масштабну модернізацію і реконструкцію своїх виробничих потужностей. Структура виробництва "Запоріжсталі" включає агломераційний цех, доменний цех, мартенівський цех, копровий цех, ливарний цех, обжимний цех, цех гарячого прокату тонкого листа та цех холодного прокату (№1 та №3) [1-4].

Процес виробництва на комбінаті ПАТ "Запоріжсталь" починається з залізорудної сировини, яка, після додавання додаткових матеріалів, пройшовши кожен ланку структури виробництва відповідно до заданої послідовності, нарешті, перетворюється у готову продукцію.

1. Агломераційний цех:

- В цьому цеху виготовляється основний залізорудний агломерат, що є ошматкованим рудним концентратом, отриманим в процесі агломерації. Цей агломерат представляє собою спечену в куки дрібну руду розмірами 5–100 мм з незначним вмістом дрібниці. Він використовується як основна залізорудна сировина для виробництва чавуну в доменній печі, і весь процес виробництва агломерату повністю автоматизований [2].

2. Доменне виробництво:

- Це перша ланка технологічного циклу комбінату з повним металургійним циклом. Мета доменного виробництва - виплавка чавуну у доменній печі. Технологія включає підготовку та подачу шихти, плавку та видалення продуктів плавки. Щорічний обсяг виробництва чавуна складає близько 3,5 млн. тонн, з відмінною особливістю в низькому вмісті сірки і фосфору [1-4].

3. Мартенівське виробництво:

- Цей процес включає виробництво сталі в мартенівських печах. Сталь виготовляється шляхом окислювальної плавки залізовмісних матеріалів. Виробництво мартенівського цеху становить приблизно 4,0 млн. тонн сталі на рік. Процес використовує природний газ, а

сталь продувається киснем і аргоном. Отримана сталь розливається в злитки, які використовуються для виробництва листового прокату [1-4].

Цей комплексний технологічний підхід на ПАТ "Запоріжсталь" дозволяє забезпечити високу якість та конкурентоспроможність продукції, зменшуючи вплив на довкілля та підвищуючи ефективність виробництва.

Комбінат "Запоріжсталь" активно впроваджує заходи щодо підвищення енергоефективності та раціонального використання ресурсів, зосереджуючись на пріоритетних напрямках діяльності. Комплексний підхід до управління енергетикою підтверджується сертифікацією системи енергетичного менеджменту за міжнародним стандартом ISO 50001. Це не лише сприяє економії енергоресурсів, а й покращує управлінські практики без значних витрат.

Одним із успішних проєктів є введення в експлуатацію установки вдування пиловугільного палива. Цей крок дозволив повністю відмовитися від споживання природного газу в доменному виробництві, призводячи до істотного зменшення споживання газу на підприємстві. Наприкінці 2015 року споживання природного газу зменшилося на 29%, порівняно з попереднім роком.

Потенційно ще більший енергозберігаючий ефект передбачається при переході від мартенівського способу виплавки сталі на конверторний. Цей спосіб базується на продувці рідкого чавуну киснем, що дозволяє окислити домішки у чавуні. Перехід на конверторний спосіб виплавки сталі обіцяє ще більше зменшення енерговитрат та покращення ефективності виробництва.

Процес конверторного виробництва на МК "Запоріжсталь" характеризується подачею кисню під тиском 0,8-1,2 МПа через охолоджену водою фурму. На початку цього процесу у конвертор завантажують різноманітні матеріали, такі як залізна руда, стальний брухт, вапно і рідкий чавун. Після опускання фурми в конвертор розпочинається продувка киснем. Дія кисню спричиняє окислення домішок у чавуні, що відбувається з

виділенням тепла, що в свою чергу призводить до зниження вмісту домішок у металі та підвищення температури.

Удосконалення раціонального використання енергоресурсів є важливим напрямком діяльності підприємства. Впроваджені енергозберігаючі заходи в різних структурних підрозділах МК "Запоріжсталь" призвели до зменшення споживання природного газу на 18% у першому кварталі 2019 року порівняно з відповідним періодом 2018 року.

Вашій увазі представлені енергозберігаючі заходи, які були впроваджені на ПАТ "Запоріжсталь" у 2017-2019 роках:

1. Подача коксового газу на повітряні нагрівачі доменних печей: використання коксового газу для нагріву повітря допомагає зменшити споживання енергії та ресурсів, таких як природний газ.
2. Подача коксового газу на запальні горни агломашин: застосування коксового газу для запалювання гірок у процесі агломерації сприяє економії енергоресурсів та зменшенню викидів.
3. Впровадження автоматизованої системи комерційного обліку енергетичних ресурсів: автоматизована система дозволяє ефективно відстежувати використання енергії та ресурсів, що допомагає у плануванні та реалізації ефективних заходів щодо їхнього використання.

Щодо структури електроспоживання ПАТ "Запоріжсталь", важливо відзначити, що це велике промислове підприємство, що виготовляє широкий спектр сталевих продукції. Основні напрямки споживання електроенергії, ймовірно, пов'язані з електропостачанням обладнання для різних етапів виробництва, включаючи агломерацію, доменне та мартенівське виробництво, цехи гарячого та холодного прокату.

Якщо у вас є конкретні питання або якісь аспекти, які вас цікавлять, дайте мені знати, і я буду радий допомогти більше.

На жаль, я не можу відобразити графічну інформацію або рисунки, такі як діаграма споживання електричної енергії ПАТ «Запоріжсталь». Тим не

менше, я можу надати загальну інтерпретацію такої інформації та надати вам поради чи відповіді на конкретні питання.

Зважаючи на велику кількість споживаної електроенергії ПАТ «Запоріжсталь» у 2019 році (1090,518 млн. кВт·год), аналіз структури цього споживання може бути ключовим етапом у впровадженні енергоефективних заходів і зниженні собівартості продукції.

Діаграма споживання електричної енергії за структурою виробництва продукції може вказувати на те, які етапи виробництва або підрозділи споживають найбільше електроенергії. Зазвичай технологічні процеси, які вимагають велику кількість енергії, можуть бути ідентифіковані через такий аналіз.

Для зниження собівартості продукції та оптимізації витрат електроенергії, ПАТ «Запоріжсталь» може розглядати енергоефективні заходи, такі як:

1. Модернізація обладнання: застосування сучасних технологій та енергоефективного обладнання.
2. Оптимізація технологічних процесів: аналіз і впровадження оптимальних технологічних рішень для зменшення енергоспоживання.
3. Використання відновлювальних джерел енергії: застосування сонячних батарей, вітряних турбін або інших альтернативних джерел енергії.
4. Енергетичний моніторинг: постійний контроль та аналіз споживання енергії для вчасного реагування на зміни та виявлення енергоефективних можливостей.

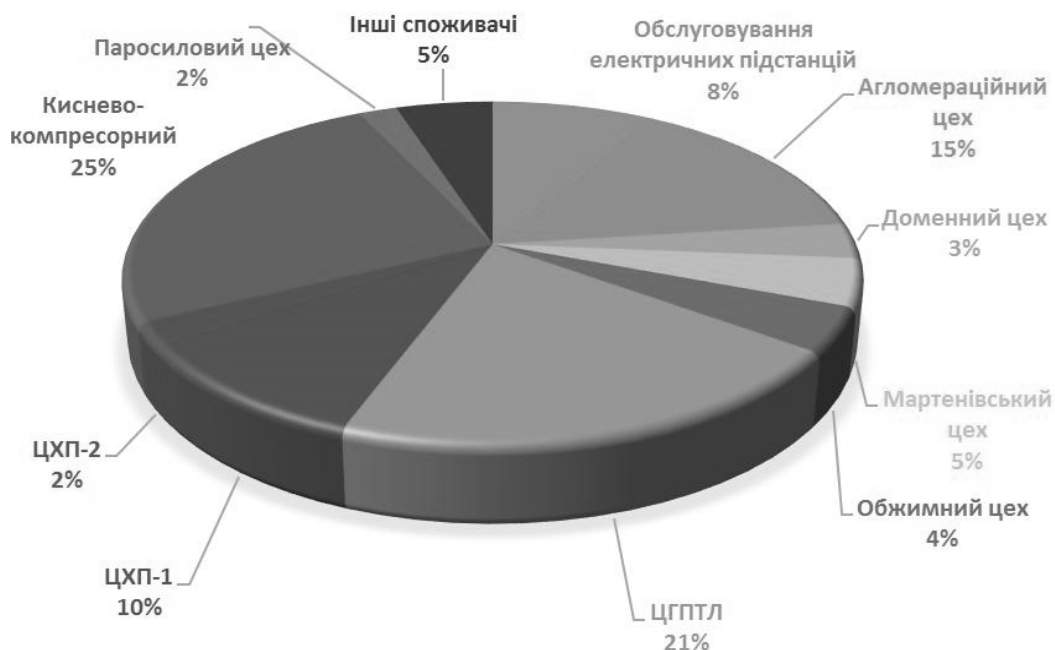


Рисунок 1.4 – Електроспоживання ПАТ «Запоріжсталь» за 2021 рік

Протягом значної кількості років комбінат систематично впроваджував та реалізовував заходи з енергозбереження, спрямовані на оптимізацію споживання електричної енергії. На початку 2018 року показник частки витрат на електроенергію в структурі собівартості вироблених товарів склав 7%.

Аналізуючи представлений графік (рисунок 1.6), можна визначити, що 37% електроенергії споживається в процесі виробництва прокату. Зокрема, 4,2% використовується для обжимання злитків та отримання слябів, що далі використовуються для виготовлення гарячекатаного прокату; 20,67% витрачається на виробництво гарячекатаного рулону та листа; 10% спрямовуються на виготовлення холоднокатаного прокату на Цеху холодного прокату (ЦХП) №1; 2,12% використовується для виготовлення холоднокатаного прокату на ЦХП №3. Зростаючий попит на холоднокатаний прокат високої якості, як підтверджують дані з обсягу виробництва придатного прокату на ПАТ «Запоріжсталь» за період 2011–2017 років (рисунок 1.5), свідчить про важливість цього сегменту ринку.

Серед найбільших споживачів електроенергії на підприємстві

виділяються киснево–компресорний цех (25,2%), агломераційний цех (14,7%), цех газопідймання та транспортування лігатур (ЦГПТЛ) (20,67%) та ЦХП №1 (10%). Ці показники визначають стратегічні точки для впровадження та удосконалення заходів енергозбереження на підприємстві.

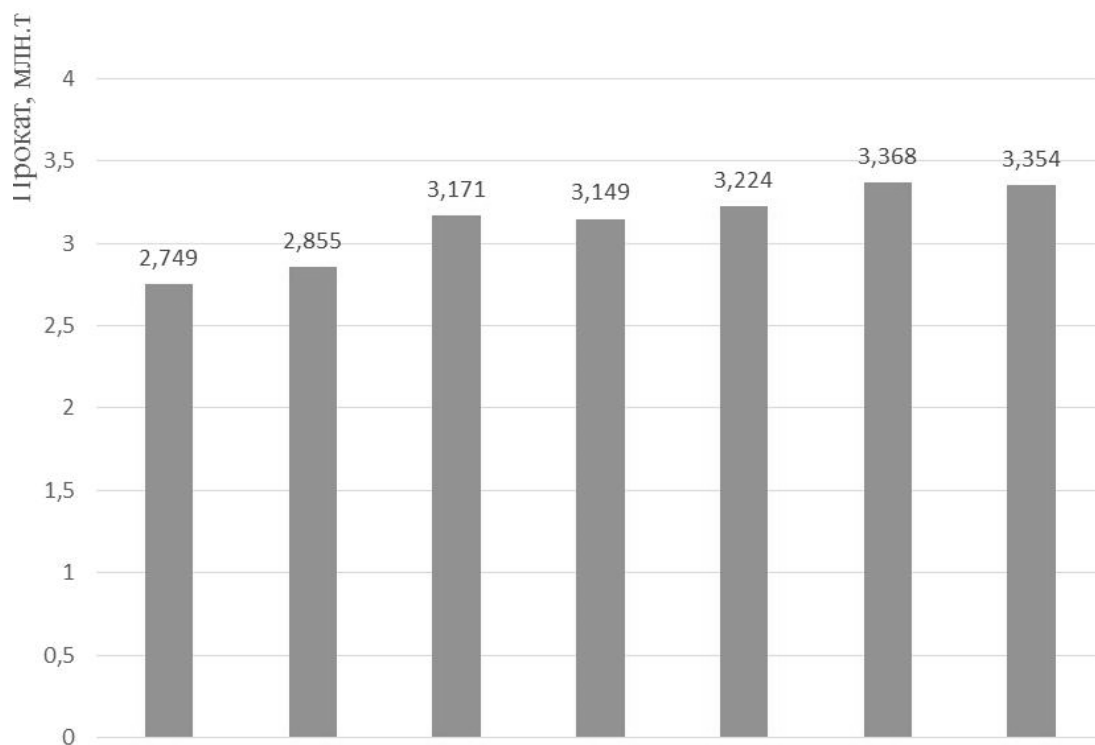


Рисунок 1.5 – Обсяги виробництва прокату за 2015 – 2021 роки на ПАТ «Запоріжсталь»

На сучасному етапі розвитку ПАТ "Запоріжсталь" визнано п'ятим за розміром підприємством серед українських виробників сталі. Його особливістю є спеціалізація на виробництві високотехнологічної продукції, зокрема тонкого гарячекатаного (г/к) плоского прокату в рулонах і листах (для трубної та машинобудівної галузей) та холоднокатаного (х/к) прокату в рулонах і аркушах (для автомобільної та машинобудівної промисловостей) [1, 2].

Виробничі потужності підприємства складаються з восьми цехів. Основними сировинними матеріалами для виробництва чавуну є залізорудна сировина, вапняк, кокс, окатиші, кисень та природний газ. Обсяг виробництва

чавуну в 2018 році становив 3,808 млн тонн. Важливою характеристикою чавуну є його низький вміст сірки і фосфору, що надає конкурентоспроможність продукції на внутрішніх та зовнішніх ринках. Особлива увага приділяється виробництву сталі, яка також користується попитом. Обсяг виробництва сталі у тому ж році склав 3,980 млн тонн (у 2018 році – 3,961 млн тонн).

З роками продовжує зростати обсяг виробництва та збуту продукції на підприємстві. Сортамент продукції залишається незмінним, де переважає гарячекатаний прокат (в загальному обсязі 66%), в той час як холоднокатаний прокат складає менше (в загальному обсязі 34%). Ці продукти експортуються на 82%, при цьому основними регіонами експорту є Близький і Середній Схід (29%) та країни Європейського Союзу (29%). У 2014 році відбулися зміни у структурі ринків збуту комбінату, де найбільш ефективний ринок України зріс, а найменш ефективний ринок Росії зменшився, що призвело до балансування експортних ринків середньої маржинальності.

Підвищення енергоефективності та раціональне використання ресурсів становлять пріоритетний напрямок діяльності ПАТ "Запоріжсталь", приділяється йому належна увага. Доступність системи енергетичного менеджменту дозволяє значно зменшити собівартість та енергоємність продукції, а також витрати на енергоносії. Один із важливих енергозберігаючих проектів, який успішно впроваджено на комбінаті, це введення в експлуатацію установки вдування пиловугільного палива. Цей крок дозволив повністю відмовитися від використання природного газу у доменному виробництві. Споживання природного газу на підприємстві в 2018 році становило 332 млн м³, а в 2019 році вже лише 236 млн м³ [1, 2].

Щодо структури залізничного цеху, інвентарний парк має наступний склад:

- локомотиви - 82 одиниці (29 одиниць тепловозів серії ТЕМ, 53 одиниці ТГМ4);
- крани на залізничному ході - 20 одиниць;

- мотовози - 5 одиниць;
- вантажні дрезини - 7 одиниць;
- колійні машини - 9 одиниць;
- вагони різного призначення - 1495, з них 395 – лізингові.

Зазначений обсяг рухомого складу на залізничному ході є значним, тому важливо знаходити шляхи підвищення енергоефективності ремонту та експлуатації цього складу. Оптимізація процесів ремонту може призвести до значних економій ресурсів, забезпечуючи при цьому менший вплив на собівартість продукції.

2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗХОДУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕМОНТНІ ОПЕРАЦІЇ

Однією з ключових стратегічних мет у транспортній галузі є підвищення продуктивності та рентабельності транспортних систем. Важливо врахувати, що українське виробництво характеризується високою енергоємністю. Енергоємність української продукції становить 3-4 рази більше, ніж у розвинених європейських країнах та США, і в 7 разів більше, ніж в Японії [1]. На жаль, цей показник протягом останніх років погіршується.

Зниження енергоємності виробництва має значний потенціал для підвищення рентабельності транспортних систем. Для досягнення цієї мети важливо підвищувати ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів у великих енергоємних комплексах країни.

Залізничний транспорт, який на сьогоднішній день є основою транспортної системи України і забезпечує найбільшу частку вантажопотоку, також відзначається високою енергоємністю. Цей вид транспорту, як один з найбільш енергоємних комплексів, витрачає до п'яти відсотків виробленої в країні електроенергії.

Таким чином, одним із ключових векторів інвестиційного та інноваційного розвитку залізниці у галузі стаціонарної енергетики є зниження енергоємності основних технологічних процесів на мінімум на 10-15%. Для досягнення цієї мети активно впроваджуються організаційно-технічні заходи та здійснюється значна інвестиційна діяльність у модернізацію виробництва. Окрім того, важливо проводити облік змін у структурі виробництва під час планування електроспоживання для контролю та аналізу електроспоживання, зокрема, розробляти методику отримання питомих норм витрат електричної енергії на виробництво одиниць продукції з урахуванням місцевих особливостей технологічних процесів.

2.1 Існуючі методи планування витрат електричної енергії

Ефективний контроль та аналіз витрат електроенергії, а також точне планування грають важливу роль у зниженні енергоємності основних технологічних процесів. Особливо це актуально в умовах постійного зростання цін на енергоресурси.

Підвищення точності визначення витрати електричної енергії сприяє ефективнішому використанню ресурсів та раціональному розпорядженню грошовими коштами. Важливо зазначити, що перевищення запланованої витрати електроенергії порівняно з фактичною призводить до невикористання грошових коштів, в той час як її недостатній рівень може вимагати додаткових фінансових витрат для забезпечення необхідного обсягу електроенергії.

Багато методів планування витрати електричної енергії враховують різноманітні фактори, що впливають на споживання електроенергії. Серед цих факторів важливо виділити обсяг виробленої продукції, сезонність технологічних процесів, метеоумови, зміни температури навколишнього середовища та інші.

Лінійні регресійні моделі та моделі, що розділяють навантаження на базову (регулярну) та залежну від метеоумов, дозволяють більш точно прогнозувати навантаження в різні періоди, враховуючи переходи від робочих днів до вихідних та облік нерегулярних (святкових) днів. Ці моделі показують свою ефективність в прогнозуванні витрати електричної енергії великими енергосистемами, такими як міські енергомережі.

Інший підхід до моделювання процесу споживання електричної енергії полягає в створенні математичної моделі, що враховує багато факторів, не розкриваючи їх впливу в явному вигляді. Один із прикладів такої моделі - трендове регулювання, де процес електроспоживання розділяється на детерміновану (тренд) та стохастичну складові. Далі тренд апроксимується, а стохастична складова враховується за допомогою теорії ймовірностей. Цей

підхід ефективно використовується для прогнозування витрат електричної енергії в ustalених системах.

Проте лінійність розглянутих моделей є їхньою недолікою, оскільки модельовані значення електроспоживання є нелінійними функціями зовнішніх факторів. Тому активно розвиваються методи, що використовують штучні нейронні мережі (ШНМ) та нечітку логіку [5...7].

ШНМ є потужним математичним інструментом, побудованим на засадах біологічних нейронних мереж. Вони базуються на штучних нейронах, які є нелінійними функціями одного аргументу – лінійної комбінації всіх вхідних сигналів [7]. Штучні нейрони з'єднуються в нейронну мережу, об'єднуючи безліч нейронів із зв'язками, обладнаними ваговими коефіцієнтами. Приклад тришарової нейронної мережі даного типу представлений на рисунку 2.1.

Односпрямовані багат шарові мережі прямого поширення набули широкого застосування. Така мережа складається з трьох шарів: вхідного, прихованого і вихідного. Важливим кроком при проектуванні мережі є вибір топології і активаційних функцій, а ваги зв'язків можуть змінюватися під час функціонування мережі. Методи, що базуються на ШНМ, дозволяють більш точно прогнозувати витрати електричної енергії, враховуючи нелінійність впливу зовнішніх факторів.

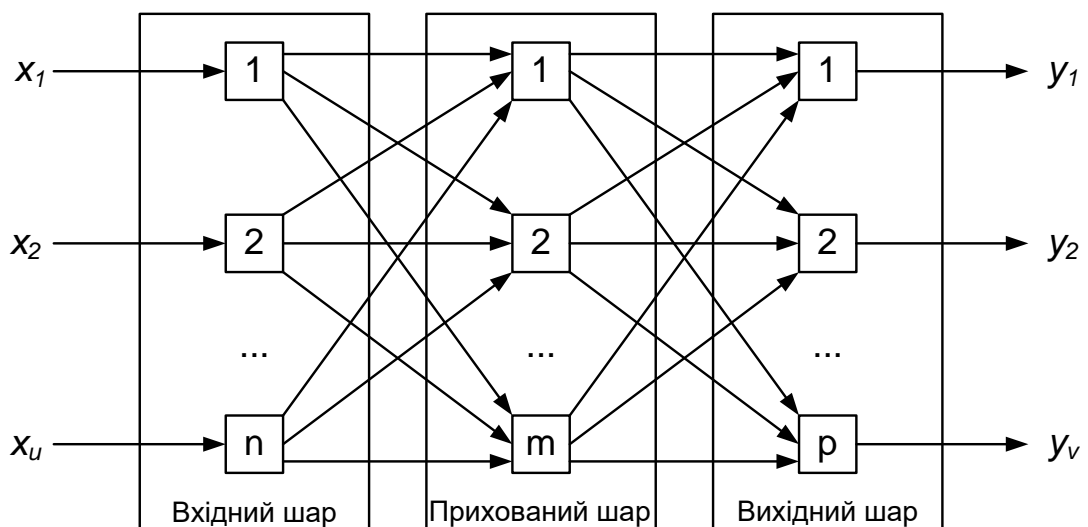


Рисунок 2.1 – Тришарова односпрямована нейронна мережа [6]

Функціональність ШНМ значною мірою ґрунтується на використанні математичного апарату нечіткої логіки [7], яка є розширенням класичної логіки та теорії множин. Апарат ШНМ виявляється корисним для розв'язання різноманітних задач, а його перевагами є здатність системи до самонавчання, можливість обліку безлічі чинників з високим ступенем достовірності та адаптація моделі до внутрішніх змін модельованої системи.

Однак важливо відзначити деякі недоліки моделей, побудованих на основі ШНМ, з точки зору аналізу процесу електроспоживання. Наприклад:

- Ці моделі не дозволяють контролювати структуру електроспоживання.
- При внутрішніх змінах системи вимагається період адаптації.
- Вони не забезпечують можливість апріорно оцінити можливе значення витрати електричної енергії при змінах у виробничому процесі підприємства.

Таким чином, хоча розглянуті методи дозволяють точно прогнозувати витрати електричної енергії, вони обмежують можливості самого електроспоживача для аналізу отриманих результатів та виявлення шляхів підвищення ефективності використання електроенергії.

У структурних підрозділах Укрзалізниці в даний час планування витрат електричної енергії здійснюється від досягнутого рівня, тобто на підставі інформації про витрати електроенергії за минулий період.

Виявлення нераціонального використання електричної енергії може допомогти знизити енергоємність виробництва і підвищити його ефективність. Для цього необхідно впроваджувати системи моніторингу та аналізу електроспоживання, які дозволяють ідентифікувати та усувати проблеми енерговитрат. Однак для досягнення цієї мети необхідно розвивати методології та інструменти, які надають можливість отримання достовірних питомих норм витрат електричної енергії.

Нижче наведено кілька можливих шляхів розвитку та вдосконалення системи контролю та аналізу електроспоживання:

Впровадження Систем Управління Енергоефективністю (СУЕЕ): Розробка та впровадження систем, які дозволяють збирати, аналізувати та візуалізувати дані щодо енергоспоживання. СУЕЕ може виявляти аномалії в енергоспоживанні та рекомендувати заходи для покращення.

Використання систем моніторингу та керування:

- моніторинг електроенергії. Встановлення сучасних приладів обліку електроенергії для стеження за її споживанням в режимі реального часу.
- автоматизація систем. Використання автоматизованих систем для управління освітленням, обігрівом, кондиціонуванням повітря та іншими споживачами енергії.

Впровадження енергоефективних технологій.

- модернізація устаткування. Заміна застарілого устаткування енергоефективнішими аналогами.
- Використання відновлювальних джерел енергії, Застосування сонячних батарей, вітряних турбін тощо для генерації електроенергії.

Створення методів оцінки енергоефективності:

- питомі норми витрат. Розробка методологій для визначення питомих норм витрат електричної енергії в залежності від обсягу робіт і технологічних особливостей.
- Аналіз та оптимізація. Впровадження методів аналізу та оптимізації електроспоживання.

Постійне Вдосконалення:

- штучний інтелект та аналітика даних. Використання інтелектуальних систем для аналізу великих обсягів даних та виявлення паттернів енергоспоживання.
- Заходи по енергозбереженню. Проведення регулярних аудитів та імплементація заходів з енергозбереження.

Ці заходи спрямовані на створення ефективної системи моніторингу, аналізу та управління електроспоживанням, що дозволяє виявляти нераціональні витрати електроенергії та приймати заходи для їх оптимізації.

В даний час в структурних підрозділах залізничного транспорту визначення витрати електричної енергії $W^{\text{план}}$ на планований період здійснюється не за нормами, а на підставі інформації про спожиту електроенергію за минулий період $W^{\text{поперед}}$, з можливим корегуванням за формулою:

$$W^{\text{план}} = k_{\text{рес}} \cdot k_{\text{зм}} \cdot k_{\text{роб}} \cdot W^{\text{поперед}}$$

де $k_{\text{рес}}$ - коефіцієнт, що враховує застосування ресурсозберігаючих технічних засобів і заходів;

$k_{\text{зм}}$ - коефіцієнт, що враховує можливі зміни в складі електроустаткування структурного підрозділу;

$k_{\text{роб}}$ - коефіцієнт, що враховує зміни в обсязі робіт в порівнянні з попереднім періодом, який обчислюють за формулою:

$$k_{\text{роб}} = \frac{N_{\text{план}}}{N_0}$$

де $N_{\text{план}}$ - планований обсяг робіт підприємства;

N_0 - фактичний обсяг робіт за минулий період.

Для більш точного визначення обсягу електричної енергії, необхідного для виконання запланованого обсягу робіт, важливо враховувати вплив різних факторів, зокрема змінної складової електроспоживання. У вас вже є розроблена модель, і тепер можна розглянути врахування змінної складової електроспоживання.

Визначення змінної складової електроспоживання розглядаються характеристики обладнання, режими роботи якого залежать від обсягу виконаних робіт. Визначають, як це обладнання споживає електричну енергію в залежності від обсягу робіт.

Розробка коефіцієнтів впливу. Розглядають різні рівні планування та визначте коефіцієнти впливу різних факторів на споживання електроенергії. Враховується умовно постійну складову та змінну складову електроспоживання.

Модифікація існуючої моделі. Вносяться зміни до існуючої моделі, додаючи розрахунок для змінної складової електроспоживання. Використовують визначені коефіцієнти впливу для кожного рівня планування.

Тестування та калібрування моделі. Проведяться тестування моделі, порівнюючи її прогнози з фактичними даними. Калібрується модель, вносячи корективи на основі результатів тестування.

Оптимізація та аналіз результатів. Використовують модель для оптимізації планів електроспоживання в залежності від різних умов та обсягів робіт. Проводять аналіз результатів, ідентифікують можливості для зниження витрат електричної енергії та підвищення ефективності.

Впровадження та супровід. Запроваджують модель у практиці та слідкуйте за її ефективністю. Забезпечується система супроводу та оновлюється модель при змінах у технологічному процесі.

Цей підхід дозволить більш точно враховувати витрати електричної енергії, пов'язані з різними рівнями виконання робіт, та забезпечить основу для оптимізації споживання енергії в структурних підрозділах залізничного транспорту.

Таким чином, наявність умовно постійної складової вимагає коректування вихідної моделі таким чином:

$$W^{\text{ПЛАН}} = k_{\text{рес}} \cdot k_{\text{зм}} \left(W^{\text{ПОСТ}} + k_{\text{роб}} \cdot W^{\text{ЗМІН}} \right)$$

$W^{\text{ПОСТ}}$ - умовно постійна складова електроспоживання;

$W^{\text{змін}}$ - змінна складова електроспоживання.

Розділити електроспоживання на умовно постійну і змінну складові можна на підставі номінальних потужностей використовуваного обладнання або, що більш коректно, на підставі наведених потужностей електрообладнання. Планований витрата електричної енергії можна визначати за формулою:

$$W^{\text{план}} = \frac{k_c^{\text{план}}}{k_c^{\text{поперед}}} \cdot W^{\text{поперед}} \left(d^{y.n.} \cdot K_{\text{пр}}^{y.n.} \cdot \frac{L^{\text{план}}}{L^{\text{поперед}}} + d^{\text{змін}} \cdot K_{\text{пр}}^{\text{змін}} \cdot \frac{V^{\text{план}}}{V^{\text{поперед}}} \right)$$

де $k_c^{\text{план}}$, $k_c^{\text{поперед}}$ - коефіцієнти сезонності планованого і попереднього періодів відповідно;

$d^{y.n.}$, $d^{\text{поперед}}$ - питомі ваги умовно-постійної і змінної складових витрат електричної енергії відповідно;

$K_{\text{пр}}^{y.n.}$, $K_{\text{пр}}^{\text{змін}}$ - коефіцієнти зміни наведеної потужності з умовно-постійної і змінної складових витрат електричної енергії відповідно;

$L^{\text{план}}$, $L^{\text{поперед}}$ - число робочих днів у планованому і попередньому періодах відповідно;

$V^{\text{план}}$, $V^{\text{поперед}}$ - обсяг робіт в планованому і попередньому періодах відповідно.

Згідно з методикою в постійну складову входять такі групи електрообладнання, як освітлення та вентиляція. Технологічне обладнання повинно бути включено в змінну складову. Виділення частки електроенергії здійснюється на підставі використання наведених потужностей - номінальних потужностей, з коригуванням на час і коефіцієнт використання.

Методика дозволяє планувати витрати електричної енергії для типових об'єктів залізничного транспорту, наказує кожному структурному підрозділу враховувати відповідні зовнішні фактори, що найбільший вплив на рівень

споживання електричної енергії. Серед таких факторів виділені пора року, температура навколишнього повітря, обсяг робіт структурного підрозділу та ін.

Під типовими об'єктами розуміються цеха, відділення або виробничі ділянки структурних підрозділів незалежно від їх приналежності по господарствах залізниці, що характеризуються певним набором електрообладнання, видами виконуваних робіт і режимами роботи.

Так само діюча методика дозволяє враховувати зміни в структурі електроспоживачів, завдяки врахуванню планованого впровадження електрообладнання за допомогою коефіцієнтів зміни наведеної потужності з умовно-постійної і змінної складових електричної енергії.

Проте дана методика є тимчасовим засобом, що використовується для нормування витрат електричної енергії протягом перехідного періоду. До кінця перехідного періоду повинен бути розроблений апарат отримання достовірних, обґрунтованих питомих норм витрат електричної енергії на випуск одиничної продукції за типовими об'єктах залізничного транспорту.

У структурних підрозділах Укрзалізниці впроваджується безліч інноваційних проектів з підвищення виробничих показників. Впровадження здійснюється на підставі перспективних планів і рідко здійснюється на початку року. Для обліку запланованих змін при плануванні витрат електричної енергії необхідна апріорна оцінка зміни її витрати.

Таким чином, для підвищення ефективності використання електричної енергії, апарат розрахунку питомих норм витрат електричної енергії має вирішувати наступні завдання:

- визначення витрати електричної енергії з урахуванням впровадження інноваційних проектів з певного періоду часу;
- оцінка ефективності впровадження нових технологій;
- аналіз процесу електроспоживання ділянок з підвищеними втратами для виявлення способів їх зниження.

Другою важливою проблемою, вирішення якої дозволить підвищити ефективність використання електричної енергії, є опрацювання ефективних

управляючих впливів щодо зниження енергоємності основних технологічних процесів. Для отримання інформації про витрату електричної енергії на технологічні процеси в структурних підрозділах повинні бути впроваджені різні види автоматизованих систем контролю та обліку електроенергії. Проте впровадження обліку є лише першим етапом організованої діяльності з підвищення ефективності використання електричної енергії і дозволяє підвищити достовірність одержуваних даних. Наступним етапом має стати отримання достовірної зворотного зв'язку від технологічних процесів.

Експериментування з технологічними процесами є не можливим, тому що пов'язане з дорогими експериментами, порушенням безперервного характеру роботи структурних підрозділів, вимагає багато часових і трудовитрат для реалізації та оцінки результатів порівняння і т.д.

Виходом в даній ситуації є розробка методу, що дозволяє апріорно визначати вплив керуючих впливів щодо зниження енергоємності основних технологічних процесів на параметри електроспоживання. Відповідно використовується модель ТП повинна адекватно відображати внутрішню структуру досліджуваного об'єкта.

Так само розроблений апарат повинен дозволяти не тільки оцінювати ефективність планованих до впровадження організаційно-технічних заходів зі зниження енергоємності технологічних процесів, а й визначати слабкі місця ТП в плані електроспоживання, вказуючи, де необхідна оптимізація, і яким чином можна домогтися більш ефективного використання електричної енергії.

Серйозною проблемою, вирішення якої дозволить суттєво підвищити ефективність використання електроенергії, є зниження нерівномірності споживання електричної енергії. Суттєве зменшення втрат в електромережах і скорочення плати за електроенергію за рахунок зниження заявленої потужності можливі завдяки зниженню пікових навантажень шляхом отримання графіка навантаження наближеного до рівномірного як по структурним підрозділам, так і по конкретних технологічних процесів. Досягти цього можна завдяки

коригуванню моментів початку робіт на підставі аналізу результатів моделювання та експериментування з моделями ТП.

Для отримання можливості визначення витрати електричної енергії із збереженням інформації про структуру досліджуваної системи в дипломній роботі розглянуто використання методів імітаційного моделювання (ІМ) [9].

2.2 Аналіз можливості застосування методів імітаційного моделювання для опису ремонтних операцій

На рисунку 2.2 показані основні види моделей, що розрізняються розв'язуваними завданнями, способом завдання і роботи з ними [8, 9]. Розглянуті види моделей можуть об'єднуватися, утворюючи більш гнучкі методи опису, завдання, аналізу функціонування досліджуваних систем. Імітаційне моделювання - окремий випадок об'єднання математичного та комп'ютерного моделювання і використовується в тих випадках, коли аналітичний опис досліджуваного об'єкта за якимись причинами не можливо або методи вирішення отриманої таким чином моделі не досить розроблені або їх застосування не є доцільним [9].

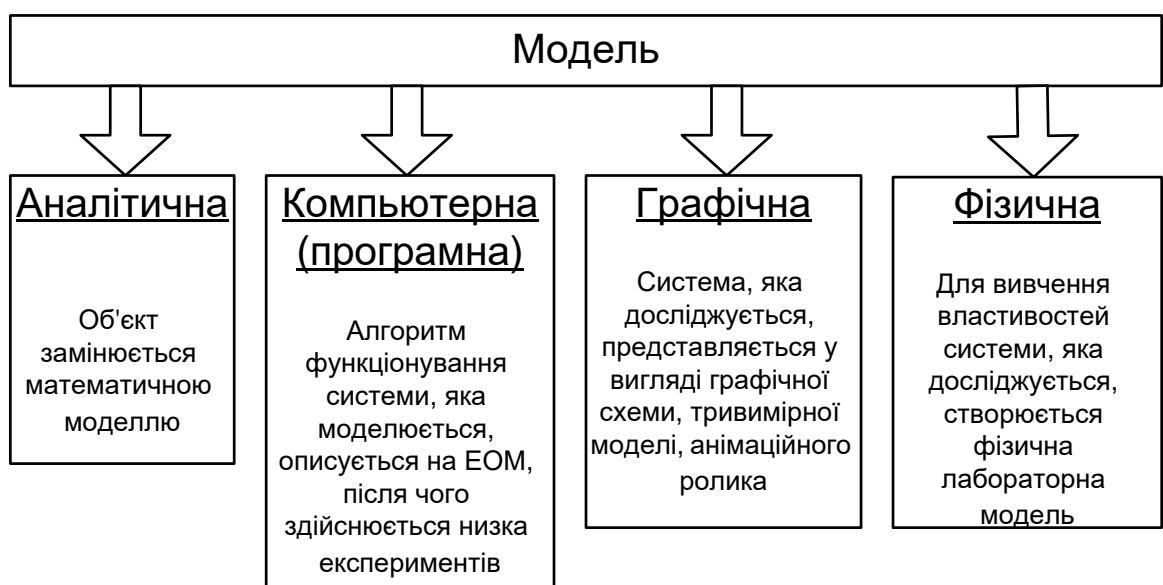


Рисунок 2.2 – Види моделей

Імітаційне моделювання відіграє важливу роль у вирішенні різноманітних завдань у сучасному світі. Давайте розглянемо основні види імітаційного моделювання, зокрема в контексті залізничного транспорту:

1. Моделювання динамічних систем:

- Використовується для аналізу та моделювання руху поїздів, роботи різноманітних технічних систем та пристроїв.
- Програмні продукти, такі як MATLAB Simulink або VinSim, можуть використовуватися для побудови аналітичних та графічних моделей.

2. Дискретно-подієве моделювання:

- Застосовується для вивчення дискретних подій та їх впливу на систему.
- У залізничному транспорті це може бути використано для аналізу розкладів, технічного обслуговування, а також випадків надзвичайних ситуацій.

3. Системна динаміка:

- Базується на графічних діаграмах причинно-наслідкових зв'язків та глобальних впливів в часі.
- Використовується для побудови моделей бізнес-процесів, виробництва, розвитку міста, та інших систем.

4. Агентні моделювання:

- Моделює систему як агентів, що взаємодіють визначеними правилами.
- Може бути застосований для аналізу руху поїздів, поведінки персоналу, та інших аспектів, де важлива взаємодія між окремими сутностями.

Кожен з цих видів імітаційного моделювання має свої переваги та області застосування. У випадку залізничного транспорту, ці методи можуть бути

використані для аналізу та вдосконалення роботи рухомого складу, планування розкладів, та оптимізації використання електричної енергії.

Ваш виклад добре описує різноманітні підходи до імітаційного моделювання та приводить конкретні приклади систем, які підтримують ці підходи. Давайте підсумуємо основні ідеї:

1. Системна динаміка:

- Застосовує графічні діаграми причинно-наслідкових зв'язків.
- Підходить для моделювання довгострокових та стратегічних процесів.
- Використовується для аналізу бізнес-процесів, розвитку міст, виробництва.

2. Агентне моделювання:

- Моделює систему через взаємодію децентралізованих агентів.
- Спирається на активність, автономність та взаємодію агентів.
- Використовується для дослідження поведінки системи на основі індивідуальних взаємодій.

3. Дискретно-подієве моделювання:

- Описує основні події та процеси системи.
- Застосовується для моделювання конкретних подій, таких як обробка замовлення, рух з вантажем тощо.
- Використовується для аналізу в конкретних областях, таких як транспорт, виробництво, бізнес-процеси.

4. Системи імітаційного моделювання:

- Ithink, Powersim, Vensim: Загальні системи імітаційного моделювання, що можуть використовуватися для різноманітних завдань.
- Swarm, Repast, AnyLogic: Спеціалізовані системи для агентного моделювання.
- GPSS, Arena, eMPlant, AutoMod, PROMODHL, Enterprise Dynamics, FlexSim: Системи для дискретно-подієвого моделювання.

Ці підходи і системи надають можливості для детального аналізу та моделювання різних аспектів, включаючи енергоспоживання та технологічні процеси. Процентне співвідношення частоти використання зазначених видів моделювання наведено на рисунку 2.3. При побудові діаграми не розглядалися системи моделювання «фізичного» рівня через суттєві відмінності цілей моделювання та областей застосування від розглянутих видів моделювання.

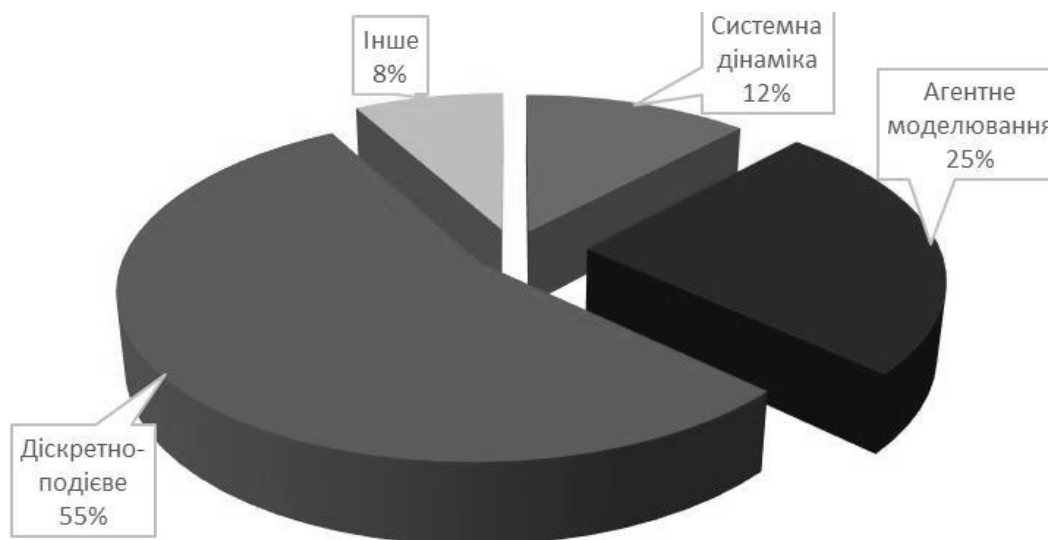


Рисунок 2.3 – Застосовувані види імітаційного моделювання

Для моделювання технологічних процесів ремонту рухомого складу найбільш доцільним є використання методу дискретно-подієвого моделювання. Застосування систем дискретно-подієвого моделювання для опису технологічних процесів ремонту рухомого складу обумовлено наступними факторами:

- Технологічний процес ремонту рухомого складу характеризується жорсткою встановленою структурою виробничого потоку.
- Можливість подання технологічного процесу ремонту рухомого складу у вигляді стохастичної тимчасової мережі Петрі, де окремі технологічні операції є вузлами.
- Представлення технологічних операцій як простих систем масового обслуговування з одним або кількома обслуговуючими пристроями.

- Математичний опис параметрів виконання технологічної операції (таких як тривалість, відносна частота виконання, режими роботи обладнання) за допомогою теорії ймовірностей.

Отже, функціональність систем дискретно-подієвого моделювання є достатньою для адекватного опису технологічних процесів ремонту рухомого складу. Крім того, створення та налаштування моделей за допомогою цього підходу менш трудомістке порівняно з агентним підходом до моделювання.

Щодо математичних основ систем імітаційного моделювання, їх створення та виконання експериментів вимагають використання спеціалізованого програмного забезпечення, що відоме як "система імітаційного моделювання". Цей процес передбачає знання спеціальних алгоритмічних мов, які дозволяють описувати концепції, що використовуються при створенні моделей. На основі систем, які реалізують дискретно-подієве моделювання, лежить математичний апарат стохастичних мереж Петрі. Мережа Петрі є двочастковий орієнтований граф, що складається з вершин двох типів - позицій A та переходів B , які є статичними об'єктами мережі Петрі. Динамічними об'єктами мережі Петрі є мітки (маркери), здатні переміщатися через переходи між позиціями. Приклад мережі Петрі представлений на рисунку 2.4 [11].

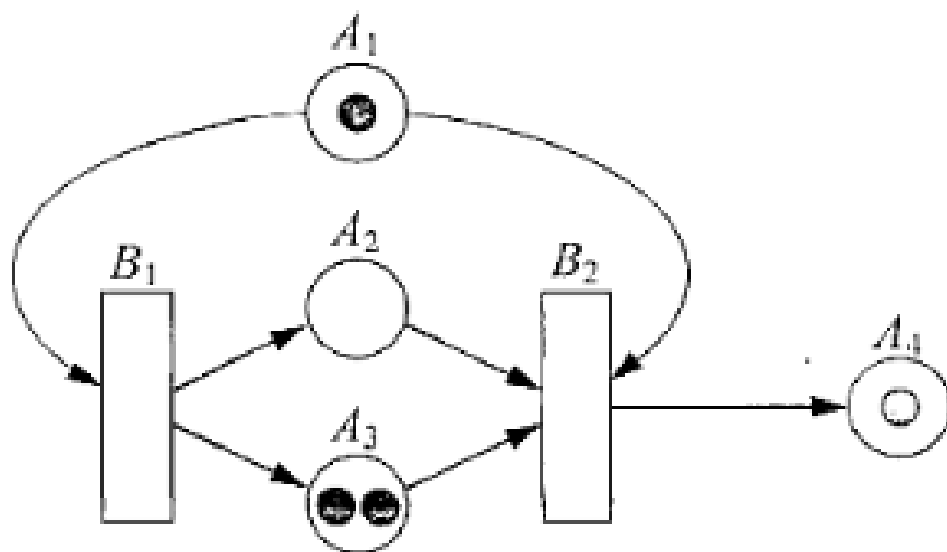


Рисунок 2.4 - Приклад мережі Петрі

Подією називається спрацьовування переходу, при якому мітки з вхідних позицій цього переходу переміщуються у вихідні позиції. Події відбуваються миттєво, різночасно при виконанні заданих умов. На позиції мітка може затримуватися будь-яку кількість часу до виконання заданої умови. У класичній теорії мереж Петрі правило спрацьовування переходів формулюється так: перехід спрацьовує при виконанні умови 1.5 для кожної з його вхідних позицій:

$$N_i \geq K_i$$

де N_i - число маркерів i -ї вхідної позиції;

K_i - кількість дуг, що йдуть від i -ї вхідної позиції до розглянутого переходу.

При спрацьовуванні переходу число маркерів i -ї вхідної позиції зменшується на величину K_i , а в j -й вихідній позиції збільшується на величину M_j , де M_j - число дуг, що пов'язують розглянутий перехід з j -ю позицією.

Маркування визначає поточний стан мережі Петрі. На рисунку 2.5 показаний приклад розподілу маркерів по позиціях. Перед спрацьовуванням маркування мережі записують у вигляді (2,2,3,1). Після спрацьовування переходу маркування приймає вид (1,0,1,4).

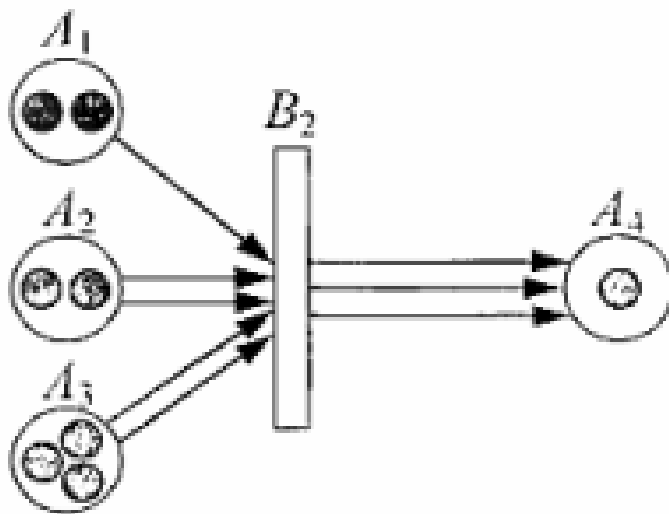


Рисунок 2.5 – Фрагмент мережі Петрі

Метод дискретно-подієвого моделювання включає різні модифікації мереж Петрі, які отримуються шляхом введення додаткових правил і умов в алгоритми функціонування мережі. Введення модельного часу в алгоритми роботи мережі Петрі розширює можливості опису не лише послідовності подій, але й врахування їх прив'язки до часу. З цією метою для кожного переходу призначається вага, що представляє затримку спрацювання. Отримана модель отримує назву тимчасової мережі Петрі, а для її аналізу застосовують відповідні алгоритми.

У випадку стохастичної мережі Петрі вводяться затримки спрацювання, які представлені випадковими величинами, або враховують ймовірності спрацювання порушених переходів. Наприклад, на рисунку 2.6 представлений фрагмент мережі Петрі, що ілюструє конфліктну ситуацію. Маркер в позиції A_2 може ініціювати перехід B_1 або B_2 . У стохастичній мережі Петрі в такій ситуації передбачений ймовірнісний вибір переходу, який спрацює.

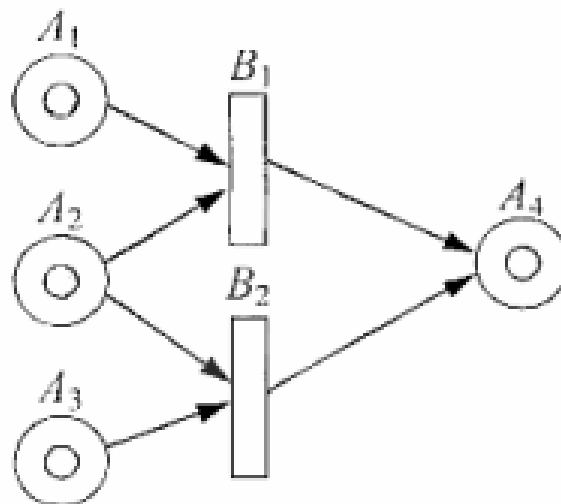


Рисунок 2.6 – Приклад конфліктної ситуації

При використанні мереж Петрі дослідник, як вручну, так і за допомогою обчислювальної техніки та відповідних програмних алгоритмів, забезпечує

функціонування створеної мережі. Він контролює умови виконання переходів і переміщує мітки від позиції до позиції.

Результатом дослідження є аналіз роботи мережі з точки зору поставлених перед дослідником цілей. Цей метод дослідження відомий як статистичне моделювання.

Така методика статистичного моделювання подібна до методу статистичних випробувань Монте-Карло. Вона використовує групу чисельних методів, які базуються на проведенні великої кількості реалізацій стохастичного експерименту. Цей експеримент створюється так, щоб його ймовірнісні характеристики відповідали аналогічним величинам розв'язуваної задачі. Подібність полягає в багаторазовому проведенні випадкових величин та отриманні рішень поставленої задачі на основі статистичної обробки результатів експериментів.

Вищезазначені принципи роботи мереж Петрі та методу статистичного моделювання використовуються при імітаційному моделюванні дискретно-подієвого типу. У цьому випадку динамічні об'єкти, які переходять від одного статичного об'єкта до іншого при виконанні заданих умов, називаються транзактами. Під час моделювання створена мережа функціонує відповідно до заданих законів, і після завершення експерименту збираються дані про її роботу в термінах систем масового обслуговування для подальшого аналізу.

Системи масового обслуговування (СМО) можуть служити універсальним інструментарієм для опису технологічних процесів. При заданні СМО важливо визначити:

- характеристики вхідного потоку вимог;
- дисципліни постановки в чергу та вибору з неї;
- правила обслуговування вимог;
- виходи з обслуговування;
- режим роботи.

Формування вхідного потоку вимог відбувається шляхом задання моментів часу надходження заявок до системи (визначення закону

надходження). Цей закон може бути детермінованим або ймовірнісним, з випадковими інтервалами надходження вимог в другому випадку.

Дисципліни постановки в чергу та вибору з неї визначають алгоритми, які визначають, як вимоги ставляться в чергу при зайнятості обслуговуючого пристрою та як вони вибираються з черги при звільненні пристрою. У випадку ремонту рухомого складу, більшість технологічних операцій керуються принципом "раніше надійшло - раніше обслужено", вимагаючи ставлення в чергу та вибір з неї в порядку надходження.

При моделюванні технологічних процесів ремонту рухомого складу важливими характеристиками правил обслуговування є тривалість обслуговування, кількість одночасно обслуговуваних вимог та дисципліна обслуговування. Важливе значення має можливість ймовірнісного задання цих характеристик, що дозволяє враховувати випадковість. "Ручне" моделювання таких СМО демонструється графічно на рисунку 2.7.

Під час моделювання збирається статистична інформація про роботу моделі, таку як розмір черги, час очікування, завантаження пристрою та інші параметри, що є важливими для аналізу.

Таблиця 2.1 – Часові характеристики даної системи

№ вимог	1	2	3	4	5	6	7
Інтервал надходження,	1	2	4	1	1	2	1
Тривалість обслуговування,	3	2	3	3	2	1	3

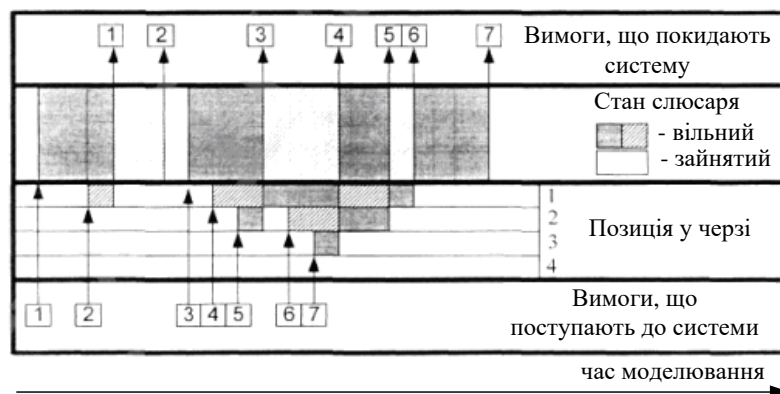


Рисунок 2.7 - «Ручне» моделювання одноканальної СМО

Для моделювання технологічних процесів ремонту рухомого складу ефективно використовувати концепцію мережі систем масового обслуговування (СМО). Загальний вигляд такої мережі можна виразити через ймовірнісну мережу Петрі, де позиції представлені одноканальними та багатоканальними СМО.

Розрахунки для таких мереж проводяться за допомогою теорії ймовірнісних мереж, але важливо враховувати, що більшість результатів застосовні лише в умовах експоненційного розподілу параметрів СМО. При великій кількості вузлів в мережі застосовуються чисельні методи наближеного обчислення.

Використання операційного аналізу дозволяє встановлювати прості залежності між параметрами та показниками роботи системи, враховуючи логіку її функціонування. Спеціалізовані машинні алгоритми дозволяють моделювати складні СМО та отримувати значення величин за лічені секунди.

Програмні алгоритми, що реалізують роботу СМО, базуються на взаємодії підпрограм генерації транзактів, їх імітації обслуговування, знищення транзактів та управління процесом моделювання. Такий підхід дозволяє отримати швидкі та точні результати при моделюванні складних технологічних процесів.

2.3 Застосування методів імітаційного моделювання для оцінки розходу електричної енергії на технологічні операції

У сфері контролю та аналізу витрат електричної енергії на технологічні процеси ремонту рухомого складу постає актуальна проблема — неможливість отримання обґрунтованих питомих норм витрат з урахуванням реальної організації виробництва. У дипломній роботі вирішується ця проблема, використовуючи методи дискретно-подієвого імітаційного моделювання для опису технологічних процесів ремонту рухомого складу. Це дозволяє апіорно

визначати витрату електричної енергії з урахуванням планованих змін у виробництві та оцінювати ефективність запланованих заходів щодо підвищення використання електроенергії.

В цьому розділі представлений розроблений метод апріорної оцінки витрат електричної енергії на технологічні процеси ремонту рухомого складу, використовуючи результати імітаційних експериментів. Також розглянуті особливості використання методів дискретно-подієвого моделювання для опису технологічних процесів ремонту рухомого складу.

Будування імітаційних моделей — це процес, який можна піддати алгоритмізації. Структура імітаційної моделі визначається особливостями функціонування об'єкта, а також особливостями мислення програміста, що реалізує модель. При цьому одна і та ж послідовність дій об'єкта може бути змодельована різними послідовностями команд. Однак загальний підхід і послідовність дій для створення моделі залишаються сталими.

Загальна мета моделювання, яка впливає з поставлених завдань, та подібність досліджуваних об'єктів у сфері залізничного транспорту дозволяють конкретизувати загальний алгоритм і адаптувати його для побудови імітаційних моделей технологічних процесів ремонту рухомого складу. Адаптація алгоритму побудови імітаційних моделей до опису технологічних процесів ремонту рухомого складу може значно зменшити обсяг робіт з підготовки до моделювання і скоротити час побудови імітаційної моделі.

Адаптація алгоритму побудови імітаційних, технологічних процесів ремонту рухомого складу. Загальний підхід і послідовність дій, які треба зробити для створення моделі, описуються алгоритмом, графічна схема якого зображена на рисунку 2.8.

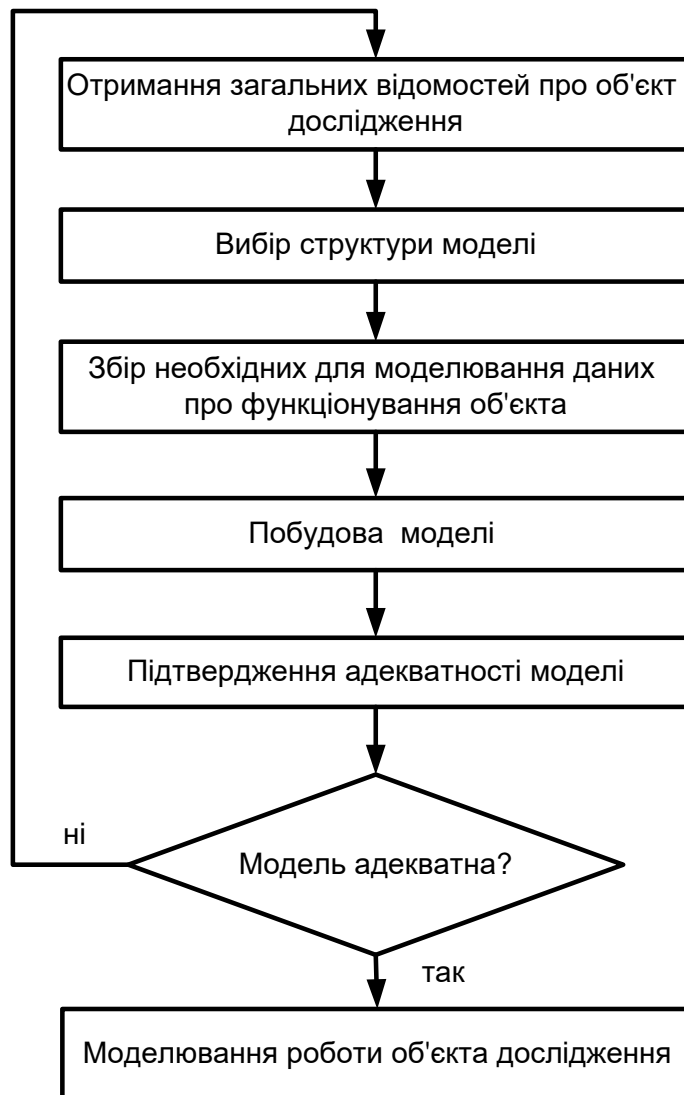


Рисунок 2.8 – Загальний алгоритм побудови імітаційних моделей

Процес вибору структури моделі передбачає ряд кроків, які визначаються завданнями конкретного об'єкта моделювання. Зокрема, цей процес включає в себе:

Визначення складу динамічних об'єктів:

- определения тих об'єктів, які проявляють зміни часу, таких як технологічні процеси, системи обслуговування тощо.

Визначення складу статичних об'єктів:

- визначення постійних елементів системи, які залишаються незмінними протягом тривалого періоду, наприклад, обладнання, зберігаючі пристрої тощо.

Визначення зв'язків між об'єктами:

- встановлення взаємодії та взаємозв'язків між розглянутими об'єктами, що визначає, як вони впливають один на одного.

Побудова структурно-алгоритмічної моделі:

- створення моделі на основі отриманих даних, що визначає порядок виконання операцій та логіку взаємодії між об'єктами.

Цей алгоритм є загальним для моделювання будь-яких об'єктів, і його деталізація залежить від конкретного завдання. Для дослідження об'єктів залізничного транспорту, таких як технологічні процеси ремонту рухомого складу, вказана загальна мета моделювання дозволяє адаптувати алгоритм до унікальних особливостей цих об'єктів та враховувати їх при модифікації даного алгоритму.

Виконання блоків "Отримання загальних відомостей про об'єкт дослідження" та "Вибір структури моделі" включає в себе наступні етапи: складання переліку технологічних операцій: формування докладного переліку технологічних операцій, який віддзеркалює всі етапи процесу ремонту рухомого складу.

Визначення обслуговуваних одиниць: вказівка конкретних об'єктів, що піддаються обслуговуванню, для кожної технологічної операції.

Встановлення внутрішніх структурних, логічних і транспортних зв'язків: розробка чітких та взаємодіючих зв'язків між різними етапами та об'єктами для точного відтворення технологічного процесу. Побудова структурно-алгоритмічної моделі: створення докладної моделі, яка інтегрує усі аспекти технологічного процесу ремонту рухомого складу.

Для успішного моделювання необхідно мати в наявності характеристики технологічних операцій, які дозволять адекватно відтворити електроспоживання на кожному етапі та врахувати вплив їх результатів на інші операції.

Зараз існує відсутність універсального методу підтвердження адекватності моделі, і в основному використовується перевірка вибірок відгуків моделі та порівняння їх з характеристиками досліджуваної системи в розрізі генеральних середніх та дисперсій.

Запропонована трирівнева перевірка адекватності моделі ремонту рухомого складу включає експертну оцінку структурно-алгоритмічної моделі, перевірку її коректності розробником, а також підтвердження адекватності на основі вибірових відгуків моделі та досліджуваної системи.

Помилки, виявлені під час перевірок, вимагають відповідних корекцій та повторного аналізу моделі, що підвищить її точність та адекватність. Таким чином, адаптований до опису ТП ремонту рухомого складу алгоритм побудови імітаційних моделей зображений на рисунку 2.9.

Визначення необхідного рівня деталізації та створення структурно-алгоритмічної моделі технологічного процесу (ТП) є важливим етапом досліджень, враховуючи складність об'єкта та поставлені завдання. Критерії вибору рівня деталізації визначаються наступними факторами:

- завдання моделювання: спрямованість на конкретні аспекти ТП ремонту рухомого складу, такі як енергетичний, технологічний, матеріально-технічний.

Рівень агрегації опису ТП: урахування ступеня деталізації загального опису ТП ремонту рухомого складу.

З урахуванням основного завдання моделювання витрат електричної енергії на ТП ремонту рухомого складу, розумно обмежитися описом лише тих технологічних операцій, для яких виконання або впливає на споживання електроенергії, або має взаємовплив на інші технологічні операції.

Якщо ТП включає велику кількість різноманітних технологічних операцій, розбиття його на частини або перехід до укрупнених об'єктів моделювання відповідно до рівня агрегації може бути виправданим. Варто

врахувати, що невелика кількість деталізованих моделей може бути ефективною для представлення складних систем.

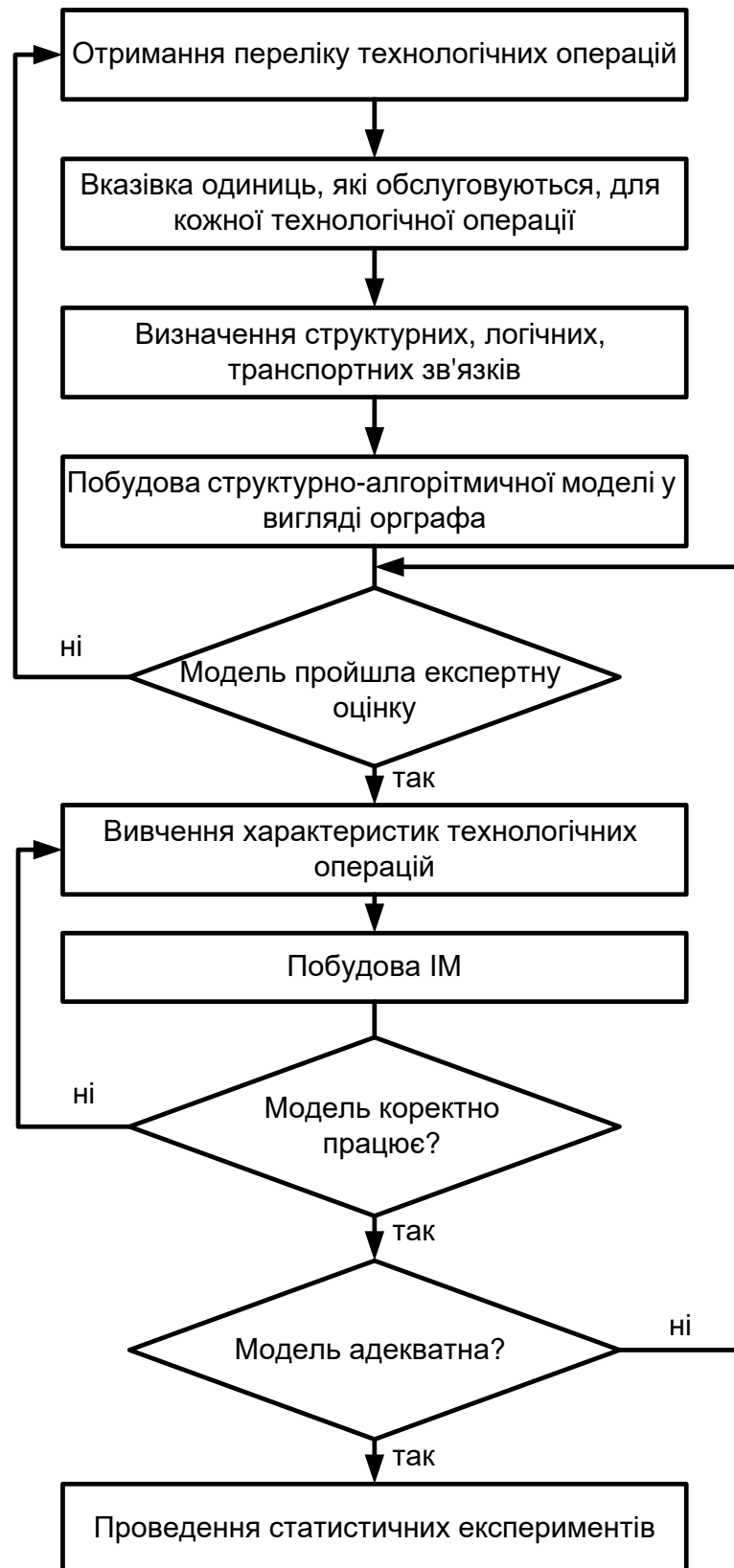


Рисунок 2.9 – Адаптований до опису ТП ремонту рухомого складу алгоритм побудови імітаційних моделей

Технологічні процеси, які дозволяють високий рівень деталізації, можуть бути характерні для цехів з обмеженою кількістю обладнання або для виробничих ділянок із невеликою кількістю технологічних операцій. Такий підхід дозволяє отримати точні імітаційні моделі, які адекватно відтворюють всі необхідні параметри досліджуваного процесу.

При моделюванні обширних технологічних процесів, що розподілені в часі та просторі, рекомендується обмежити обсяг отримуваних даних від моделі. Це можна досягти шляхом розгляду системи як сукупності компонентів, а також, можливо, переходу від моделювання кожного окремого технічного засобу до моделювання більших агрегатів. Прикладом такого обширного технологічного процесу може служити поточний ремонт локомотивів у масштабі ПР-3.

Після визначення рівня деталізації основних компонентів моделі, необхідно створити структурно-алгоритмічну модель на основі обробки мережевого графа розглянутого технологічного процесу.

Технологічний процес ремонту рухомого складу супроводжується технологічною картою, де детально описана послідовність операцій, необхідних для виконання. Аналіз таких технологічних карт дозволяє побудувати мережевий графік, який ілюструє структуру технологічного процесу. Мережевий граф супроводжується визначником робіт.

Застосування програмного комплексу з мережевого планування в організації ремонту рухомого складу дозволяє ефективно оптимізувати технологічні процеси, підвищуючи продуктивність праці технологів завдяки автоматизації обчислювальних операцій. Роботу машинних оптимізаційних алгоритмів слід поєднати з ручною роботою, забезпечуючи необхідну гнучкість програмного комплексу.

Наявність мережного графіка дозволяє значно прискорити процес створення структурно-алгоритмічної моделі, яка будується у вигляді орієнтованого графа вигляду:

$$(G^P, G^T, F^G)$$

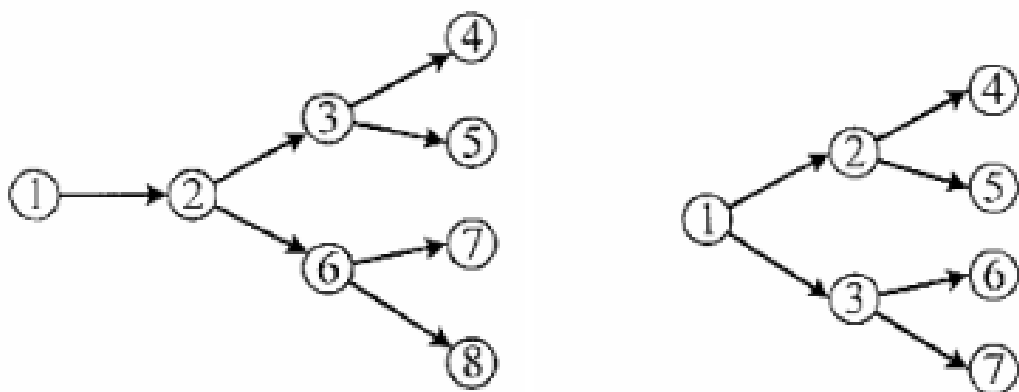
де G^P - безліч статичних об'єктів, кожен з яких відображає відповідне обслуговує пристрій;

G^T - безліч переходів між статичними об'єктами;

F^G - функція інцидентності орграфу.

У моделі технологічного процесу, обслуговуючі пристрої розташовані в вузлах орграфу, представляють позиції технологічного процесу, на яких виконуються відповідні роботи. Переходи, які з'єднують вузли, відображають потоки об'єктів, що піддаються обробці.

На різних ділянках моделі в потоці можуть брати участь різні об'єкти. Наприклад, при моделюванні технологічного процесу розбирання вагона, на початковому етапі моделі об'єктом обслуговування є сам вагон, який переміщується від однієї позиції до іншої. Після виконання робіт з від'єднання, викатки і подальшого розбирання, об'єктами-учасниками виробничого процесу стають кузов вагона, колісні пари, рами візків і так далі. Кожна одиниця рухається по своєму шляху і піддається відповідним технологічним операціям. Після збирання вагона на позиції, куди повинні прийти всі об'єкти, що виникли в результаті розбирання, об'єктом обслуговування стає весь вагон. Приклад мережевого графіка і отриманої на його основі структурно-алгоритмічної моделі ділянки ТП капітального ремонту тепловозу зображений на рисунку 2.10, а відповідний їм визначник робіт представлений у таблиці 2.2. Отримана структурно-алгоритмічна модель повинна супроводжуватися відповідним визначником робіт, який містить найменування робіт, вироблених на кожній позиції ТП. Для кожної технологічної операції, що моделюється, визначається використовуване технологічне обладнання, його параметри і режим використання.



а) мережвий графік; б) структурно-алгоритмічна модель

Рисунок 2.10 – Приклад мережного графіка і структурно-алгоритмічної моделі ділянки технологічного процесу

Таблиця 2.2 – Визначник робіт ділянки технологічного процесу

Номер роботи з мережевого графіку	Номер роботи по структурно-алгоритмічній моделі	Найменування роботи
1-2	1	Викочування візка
2-3	2	Розбір візка
3-4	4	Мийка рами візка
3-5	5	Розбір колісно-моторного блоку
2-6	3	Демонтаж даху тепловоза
6-7	6	Ремонт даху тепловоза
6-8	7	Демонтаж допоміжних машин

Наприклад, при позиції "підняття кузова тепловоза" використовуються електродомкрати. Оскільки головною метою моделювання є визначення витрат електричної енергії, ключовим параметром обладнання є його номінальна потужність. Режим використання електродомкратів передбачає їхню роботу

протягом усього часу виконання технологічної операції "підняття кузова тепловоза".

Застосування імітаційного моделювання має невідомі переваги для обґрунтованого визначення витрат електричної енергії, оскільки воно дозволяє відтворити випадковість технологічних операцій. Оскільки час виконання кожної операції є випадковою величиною, необхідно визначити можливі межі її зміни.

Для визначення тимчасових характеристик використовується хронометраж з використанням лічильників часу. Для отримання достовірної оцінки необхідно провести серію вимірів тривалості виконання операції, кількість яких залежить від особливостей технологічної операції та має забезпечувати адекватну оцінку тривалості виконання операції. У випадку значного розкиду значень результатів вимірів, кількість вимірювань слід збільшити.

Для отримання середньої тривалості виконання роботи можна скористатися емпіричною формулою:

$$t_{cp} = \frac{2t_{\max} + 3t_{\min}}{5} \quad (2.2)$$

де t_{cp} - очікувана тривалість виконання роботи;

t_{\max} - максимальна оцінка тривалості виконання роботи;

t_{\min} - мінімальна оцінка тривалості виконання роботи.

Якщо відсутня можливість встановлення закону розподілу тривалості виконання технологічної операції, то при моделюванні ТП допускається прийняти рівномірний закон розподілу за умови обов'язкового підтвердження адекватності отриманої моделі. Медіана тривалості виконання технологічної операції повинна бути зміщена в бік мінімальної оцінки. Таким чином, використовувана при моделюванні функція розподілу буде мати вигляд, що відрізняється від стандартної функції рівномірного розподілу.

Стандартна функція рівномірного розподілу і функція розподілу, яка може бути використана при моделюванні ТП ремонту рухомого складу, представлені на рисунку 2.11. Тут тривалість виконання технологічної операції знаходиться в межах $(t_1; t_2)$. Але медіана t_{cp1} зміщується в бік меншої оцінки, на відміну від медіани стандартного рівномірного розподілу t_{cp2} .

При визначенні структури модельованого ТП особливу увагу слід приділяти опису робіт, ймовірність виконання яких відрізняється від одиниці.

Як правило, це роботи, необхідність виконання яких визначається станом обслуговується об'єкта, що може бути оцінений на позиціях дефектоскопії або візуального огляду. Для таких технологічних операцій визначаються умови, при яких вони будуть виконуватися, після чого повинна бути проаналізована інформація про частоту виникнення цих ситуацій.

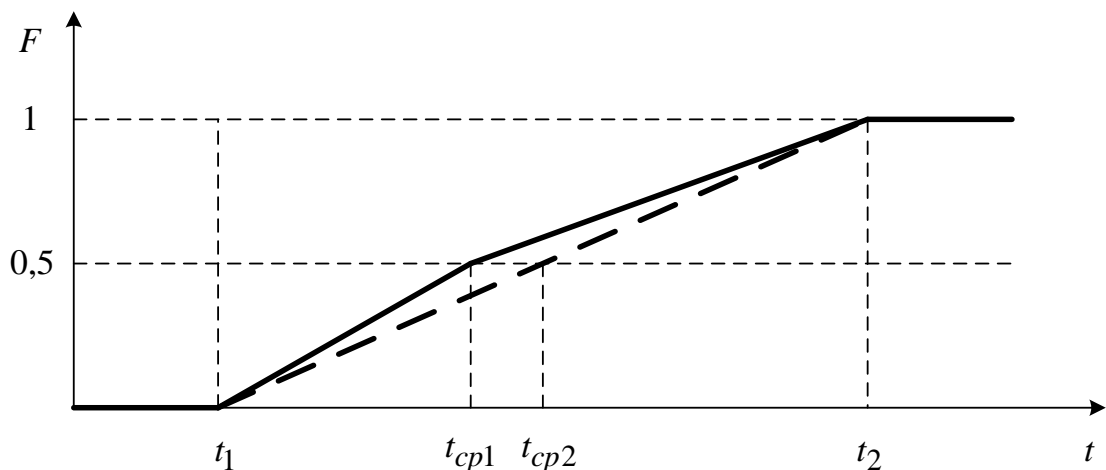


Рисунок 2.11 – Стандартна функція рівномірного розподілу і функція розподілу, яка може бути використана при моделюванні ТП ремонту рухомого складу

Статистична обробка інформації про частоту виконання технологічної операції може бути проведена на підставі даних, отриманих з журналів робіт або зі звітності цеху або структурного підрозділу про обсяги виконаних робіт. Експериментально відносну частоту виконання технологічної операції можна визначити за формулою:

$$V_k = \frac{N_k}{N}$$

де N_k - кількість деталей, оброблених на k -й технологічній позиції;

N - загальна кількість об'єктів, яке могло надійти на розглянуту позицію.

Побудова імітаційної моделі технологічного процесу в термінах обраної мови імітаційного моделювання

Огляд системи імітаційного моделювання GPSS World

Після отримання всіх необхідних для моделювання даних виконується побудова моделі в обраній системі імітаційного моделювання. У дипломній роботі для опису ТП ремонту рухомого складу запропоновано використовувати дискретно-подієвий підхід.

Серед систем ІМ, що реалізують роботу з дискретно-подійними моделями, незрівнянним лідером є система GPSS (General Purpose Simulation System загальноцільова система імітаційного моделювання), розроблена в 1961 році Джеффри Гордоном.

Існує безліч версій даної системи, найбільш актуальною з яких є GPSS World, що розроблена в 1993 році.

Система ІМ GPSS складається з декількох взаємодіючих один з одним модулів, зображених на рисунку 2.6.

Мова ІМ GPSS побудована за принципом об'єктно-орієнтованої мови і носить декларативний характер. Основними складовими є динамічні та статичні об'єкти.

У GPSS динамічні об'єкти називаються транзактами. Фізичний сенс, приписаний транзакту, визначається розробником моделі і може відрізнятися не тільки в різних моделях, але й в межах однієї моделі. Це можуть бути локомотиви, колісні пари або, скажімо, втулки в залежності від ступеня деталізації моделі.

З точки зору GPSS транзакт – це структура даних, що містить такі поля:

- ім'я або номер транзакта;

- час появи транзакта;
- поточне модельне час;
- номер блоку, в якому знаходиться транзакт;
- номер блоку, в який направляється транзакт;
- момент часу початку просування;
- пріоритет транзакта;
- користувацькі параметри транзакта.

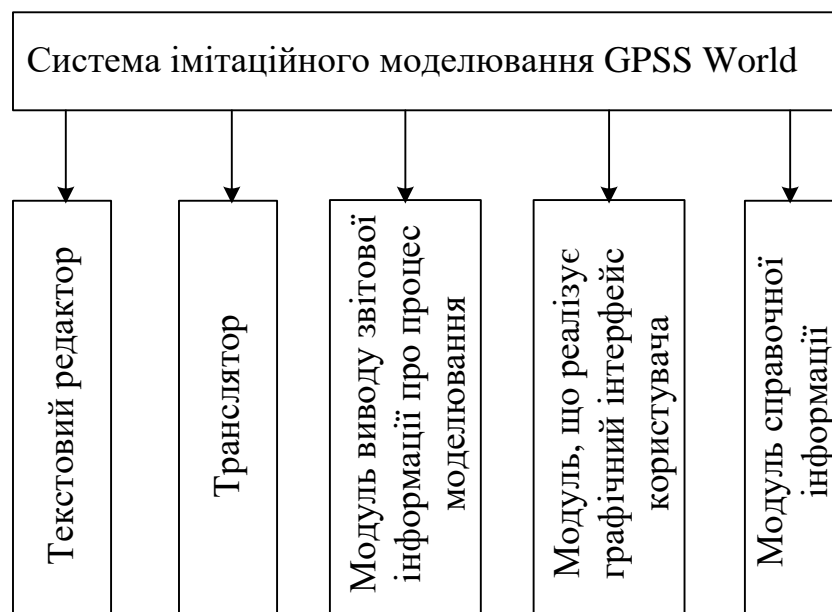


Рисунок 2.12 – Складові системи ІМ GPSS World [17]

Блоки мови GPSS є підпрограми, мають фіксований набір операндів. Звернення до блоків відбувається за допомогою пересування транзактов.

Обслуговуючі пристрої реальних систем в GPSS моделюються за допомогою об'єктів типу «ресурс», до яких відносяться одноканальні і багатоканальні пристрої, логічні ключі. Відповідно до ідеології об'єктно-орієнтованого програмування кожен об'єкт має свій набір властивостей і методів. У GPSS властивості об'єктів називаються стандартними числовими атрибутами (СЧА).

При моделюванні інтерпретатор автоматично обчислює наступні СЧА [19]:

- загальний час зайнятості пристрою;
- число транзактів, що займають пристрій;
- коефіцієнт використання пристрою;
- середній час зайнятості пристрою одним транзактом.

Значення цих статистичних характеристик можуть бути отримані при завершенні моделювання. У випадку затримки руху транзактів через недоступність необхідного ресурсу транзакти можуть утворювати черги. Розробник моделі самостійно визначає точки, в яких за допомогою відповідних підпрограм-реєстраторів буде зібрана статистика про черги.

При створенні моделі проводиться імітаційний експеримент, який максимально повторює умови реальної системи. У моделюванні ТП ремонту рухомого складу рекомендується використовувати два підходи.

Перший підхід передбачає моделювання ТП з фіксованим обсягом робіт і використовується для підтвердження адекватності створеної моделі. Наприклад, відділення бабітозаливки локомотивного депо обробляє 8 МОП щоденно. Для підтвердження адекватності моделі виконується 100 запусків, кожен із яких імітує обробку відділенням бабітозаливки 8 МОП.

Другий підхід реалізує імітацію роботи ділянки протягом визначеного періоду. Імітаційний експеримент максимально повторює планований графік робіт технологічного процесу. Наприклад, кожен запуск моделі може імітувати роботу протягом одного робочого дня, а 30 запусків - результат місячної роботи. Також рекомендується проводити серію імітаційних експериментів для зниження впливу випадкової похибки.

Отже, для моделювання технологічних процесів ремонту рухомого складу рекомендується використовувати систему дискретно-подієвого імітаційного моделювання GPSS World з необхідним потенціалом.

Побудова імітаційних моделей технологічних процесів ремонту рухомого складу в системі GPSS World є ключовим етапом в даній роботі. Використана система імітаційного моделювання GPSS World, яка включає в себе текстовий редактор для мови імітаційного моделювання GPSS та нижньорівневу мову програмування PLUS.

Моделювання з використанням PLUS-виразів може бути вбудовано практично в будь-яке місце GPSS-програми, в будь-який блок або процедуру виклику, що розширює можливості створюваних програм. Мова PLUS дозволяє програмно керувати розміщенням результатів, що великою мірою економить час, витрачений на процес моделювання та обробку результатів імітаційних експериментів.

Технологічне обладнання, інформація про його роботу та технологічні операції, результати яких впливають на роботу інших елементів системи, повинні бути адекватно описані в термінах мови GPSS. Цей підхід дозволяє забезпечити точність та ефективність моделювання технологічних процесів ремонту рухомого складу в системі GPSS World.

Технологічна позиція, що моделюється одноканальним обслуговуючим пристроєм, в загальному вигляді описується послідовністю чотирьох операторів. Приклад такого опису технологічної позиції виглядає наступним чином:

<i>mDevice1</i>	<i>TEST L</i>	<i>RN1, 1000, mDevice2</i>
	<i>SEIZE</i>	<i>Device 1</i>
	<i>ADVANCE</i>	<i>20</i>
	<i>RELEASE</i>	<i>Device1</i>

Перший рядок задає ймовірність використання ресурсу. Мітка «*mDevice1*» служить для направлення транзактів безпосередньо до зазначеного блоку, порушуючи лінійність ходу програми.

Блок TEST виконує порівняння двох величин, зазначених у першому і другому операнді блоку. Символ, наступний безпосередньо за словом «Тест» визначає умову, за яким буде виконуватися порівняння, і може приймати

значення «E», «L», «G», «LE», «GE», «NE». У даному прикладі символ «L» позначає знак «менше» (англ. - *less*). Відповідно, перевіряється виконання нерівності $x < 1000$, де x - значення, отримане від генератора випадкових чисел RN 1.

Випадкові числа в системі GPSS World є видаються генераторами випадкових чисел (ГВЧ), які позначаються символами «RN» і наступно. за ними цифрою, яка задає початкове зміщення випадкової послідовності. Кожен ГВЧ видає псевдовипадкову послідовність чисел. У загальному випадку можна використовувати будь-яку кількість генераторів, однак тільки для перших семи початкове зміщення може змінюватися спеціальним блоком *RMULT* в процесі виконання програмної моделі.

Якщо умова, що перевіряється виконується, то транзакт переходить до наступного по порядку блоку. При невиконанні умови, що перевіряється наведена в прикладі структура блоку *TEST* припускає перехід транзакта до блоку з міткою «*mDevice1*».

При зверненні до ГВЧ в тілі програми генератор видає цілі значення від 0 до 999 включно. Тому в даному випадку вираз « $x < 1000$ » означає стовідсоткову ймовірність виконання заданої умови і безумовний перехід транзакта до наступного блоку.

Якщо, наприклад, транзакт повинен увійти в блок з імовірністю 0,3, блок *TEST* повинен мати наступний вигляд:

mDevice1 TEST L RN1, 300, mDevice2

В цьому випадку тільки 30 % транзактів пройдуть до наступного блоку, а 70 % перейдуть до блоку «*mDevice2*».

Блок *SEIZE* є парним з блоком *RELEASE*. Кожному блоку *SEIZE* повинен відповідати свій блок *RELEASE*. Ця пара блоків моделює зайнятість пристрою і позначає відповідно технологічні операції «зайняти пристрій» і «звільнити пристрій». Операндом цих блоків є ім'я обробного пристрою.

Блок *ADVANCE* задає затримку, яка імітує виконання відповідної технологічної операції. Операнди блоку *ADVANCE* визначають тривалість

обслуговування транзакта. Для опису багатоканальних пристроїв, використання яких доцільно при моделюванні групи однакових одиниць технологічного устаткування, пара операторів *SEIZE-RELEASE* замінюється операторами *ENTER-LEAVE*. При цьому передбачена можливість заняття або звільнення транзактом довільної кількості обслуговуючих пристроїв. Загальна кількість пристроїв у групі визначається блоком *STORAGE*.

Для отримання статистичної інформації про черги до обслуговуючих пристроїв в модель додаються реєстратори черг, які задаються парою операторів *QUEUE-DEPART*, що імітують потрапляння в чергу і її покидання. Для опису систем з динамічною зміною параметрів в імітаційній моделі числові константи замінюються змінними або функціями, обумовленими розробником.

Після проведення імітаційного експерименту, програмний звіт про моделювання формується на основі отриманих результатів, в якому відображаються всі необхідні параметри роботи моделі. Однак для зручності при багаторазових запусках імітаційної моделі рекомендується використовувати функції запису в текстовий файл. Це дозволяє зберігати необхідні параметри в єдиному файлі у зручній формі для подальшого аналізу.

Запис у текстовий файл забезпечує зручний і структурований спосіб збереження інформації, і такий файл може використовуватися для детального аналізу результатів, порівняння різних експериментів або обміну даними між різними дослідниками. Крім того, цей підхід забезпечує переносимість імітаційних результатів для подальшого використання в інших програмах чи середовищах.

3 ПОБУДОВА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РЕМОНТНОГО ПРОЦЕСУ

3.1 Розробка імітаційної моделі технологічного ремонтного процесу

Технологічний процес ремонту тягового рухомого складу на локомотиворемонтному заводі спрямований на відновлення експлуатаційних характеристик, повного або часткового відновлення ресурсу основних вузлів і агрегатів, а також на заміну та ремонт зношених та несправних деталей. Цей процес також передбачає часткову заміну трубопроводів, кабелів, проводів і обладнання, що вийшло з ладу.

Поточний посилений ремонт локомотива в основних рисах аналогічний поточному ремонту третього обсягу. Відмінність полягає у тому, що при поточному посиленому ремонті не проводяться роботи з ремонту автозчеплень, колісних пар, двигунів електричних машин та окремих інших елементів. Зазначені елементи обов'язково замінюються, а після заводського ремонту встановлюються на локомотив.

В результаті аналізу мережевого графіка технологічних процесів ТП ремонту локомотива, складеного в локомотиворемонтному заводі, була побудована укрупнена структурно-алгоритмічна модель, представлена на рисунку 3.1.

Після заїзду локомотива в цех розпочинається процес підготовки до підняття кузова. Однією з перших операцій є виставлення локомотива проти електродомкратів, що використовуються для підняття кузова. Після цього розпочинаються роботи з демонтажу пневматичного обладнання та приладів безпеки. Демонтовані елементи доставляються до відповідних цехів для оцінки їх технічного стану та можливого проведення ремонту чи заміни.

Підготовка локомотива до підняття кузова включає від'єднання міжсекційних проводів і повітропроводних рукавів, що дозволяє вільно підняти

окремі секції. Готову до підняття секцію переміщують під другу пару електродомкратів.

Для підняття секції на одному з тягових електродвигунів секції збирають електричну схему і подають на неї постійну напругу 250 В. Це створює необхідні умови для підняття кузова локомотива за допомогою електродомкратів.

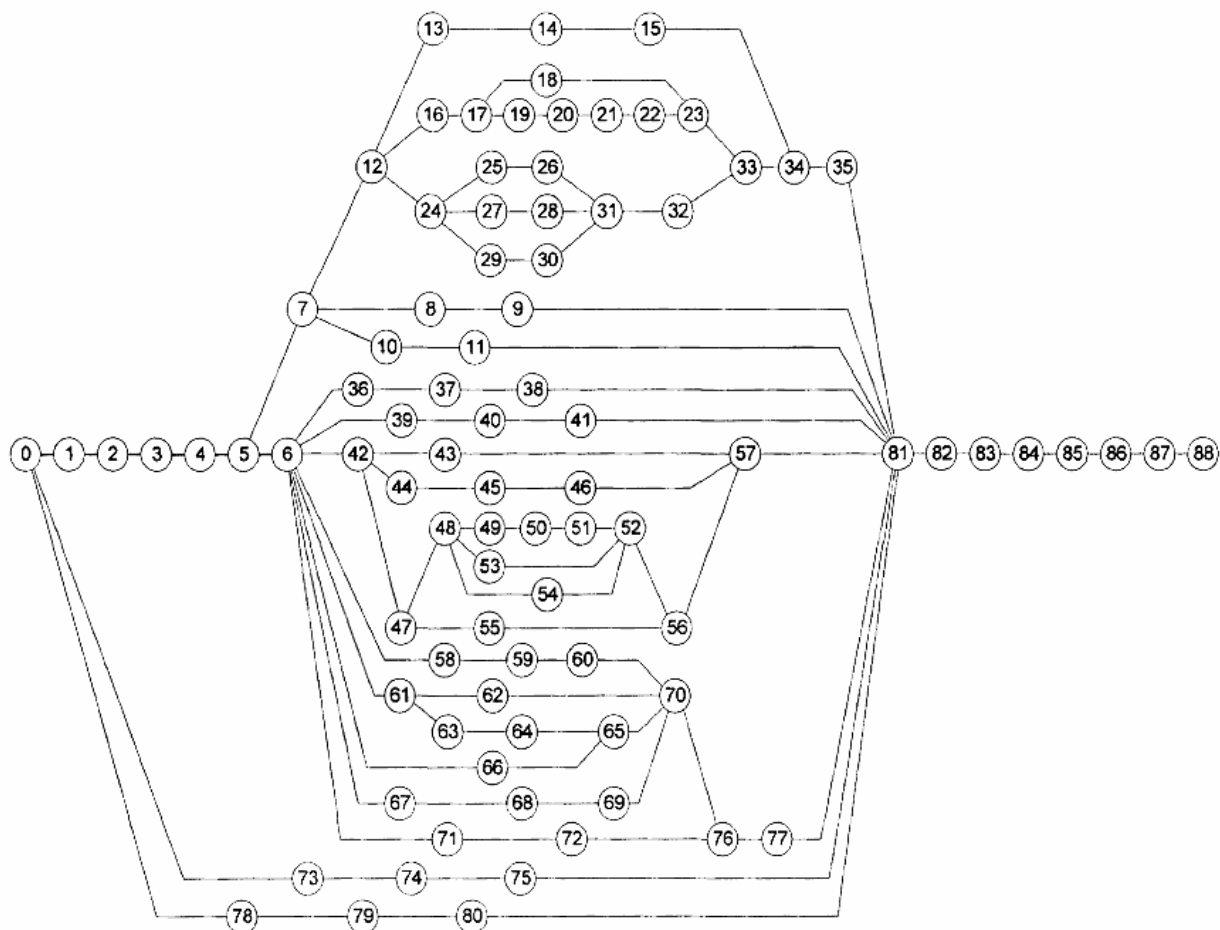


Рисунок 3.1 – Структурно-алгоритмічна модель

Перед підйомом кузова виконується від'єднання візків локомотива. Для цього від'єднують дроти тягових електродвигунів від силової мережі кузова локомотива, вентиляційні патрубки від тягових двигунів, кожухи шкворней від шкворневих балок візків та інш. Дана структурно-алгоритмічна модель відповідає за поопераційний перелік укрупнених робіт, представлений у таблиці 3.1.

Перед підйомом кузова виконується від'єднання візків, після чого консолі домкратів висуваються і встановлюються під наддомкратні опори на рамі кузова. До цього моменту всі роботи в кузові і на даху повинні бути припинені.

Таблиця 3.1 – Перелік укрупнених технологічних операцій ремонту локомотива (фрагмент)

№	Найменування робіт
1	2
0	Заїзд в цех
1	Підготовка локомотива до підйому кузова
2	Викочування секції
3	Від'єднання візків
4	Підйом секції
5	Викочування візків
6	Опускання секції
7	Демонтаж бічних опор
8	Мийка пружин
9	Випробування пружин
10	Мийка кришок масляних ванн бічних опор
11	Ремонт кришок масляних ванн бічних опор
12	Розбирання візків
13	Мийка поздовжніх регульованих тяг і поперечин важільної гальмової передачі
14	Перевірка гальмівних тяг і поперечиною важільної гальмової передачі
15	Ремонт гальмівних тяг і поперечок важільної гальмової передачі
16	Мийка рами візка
17	Розбирання рами візка
18	Випробування листових ресор

19	Дефектоскопія зварного з'єднання шкворневого бруса
20	Переміщення рами візка на позицію лазерної перевірки геометрії

Після викатки всіх візків кузова локомотива розпочинається процес демонтажу залишкового обладнання. Це включає такі операції, як:

- демонтаж дахів. Відбувається від'єднання та зняття дахів локомотива для подальшого огляду, ремонту чи заміни.
- Демонтаж повітряних резервуарів. Від'єднання та видалення повітряних резервуарів для їхнього подальшого технічного обстеження та обробки.
- Демонтаж автозчепного пристрою. Знімання автозчепного пристрою для перевірки та обслуговування.
- Демонтаж акумуляторних батарей. Вилучення акумуляторних батарей для перевірки стану та можливого обслуговування.
- Демонтаж електроапаратів. Зняття електроапаратів з локомотива для їхнього подальшого обстеження та ремонту.

Демонтоване обладнання направляється до відповідних відділень для виявлення та усунення можливих дефектів. Цей процес включає в себе візуальний огляд, різні види дефектоскопії та випробування. Усунення дефектів зазвичай відбувається шляхом ремонту або заміни обладнання чи його частин.

Готове до експлуатації обладнання повертається на локомотив у зворотному порядку, де проводиться його монтаж. Візки, після викочування, направляються на позицію розбирання в цеху поточного ремонту, де проводиться їхнє миття та розглядання. Різні компоненти візка направляються на відповідні позиції для ремонту в інших відділеннях цеху. Розподіл механічного обладнання по відділеннях заготівельного цеху показано в таблиці 3.2.

Після монтажу всього обладнання виконується підкатка зібраних візків під тепловоз, з'єднання секцій і тепловоз переганяється на оглядову канаву, де виконується монтаж пісочних труб, регулювання гальмової системи, запресовування кульової зв'язки, регулювання опор кузова, висоти автозчепних пристроїв та інші роботи.

Готовий тепловоз переганяється в цех БПР, де відбувається його випробування на діагностичних комплексах.

Таблиця 3.2 – Відділення ремонту вузлів механічної частини тепловоза

Найменування елемента	Відділення цеху
Поздовжні регульовані тяги і поперечини гальмівної передачі	Зварювальне, токарно-слюсарне, ковальське
Кожухи зубчастої передачі	Відділення по ремонту кожухів
Бічні опори	Зварювальне, токарно-слюсарне, ковальське
Люлечне підвішування	Стрижневе відділення
Кульовий зв'язок	Зварювальне, токарно-слюсарне
Гідравлічний гаситель коливань	Відділення по ремонту гідравлічних гасителів коливань

Побудова імітаційної моделі технологічного процесу поточного ремонту тепловозів вимагає урахування великого обсягу робіт і складнощі внутрішніх структурних зв'язків. Зазначається, що доцільно використовувати модель з низьким рівнем деталізації, достатньою для отримання адекватної оцінки витрат електричної енергії на розглянутий технологічний процес.

У моделі обліковуються лише ті технологічні операції, які безпосередньо споживають електроенергію або впливають на режими роботи електрообладнання. Зазначається, що через те, що відносно мала частина технологічного обладнання споживає електроенергію, опис технологічного процесу поточного ремонту тепловоза на високому рівні деталізації виявляється недоцільним.

Для опису технологічного процесу прийнятий середній рівень деталізації, розділяючи імітаційну модель на 15 блоків, відповідно до існуючої організації праці в локомотивному депо. Технологічні операції, що увійшли в кожний з п'ятнадцяти блоків моделі, і структурні зв'язки між блоками представлені на рисунку 3.2.

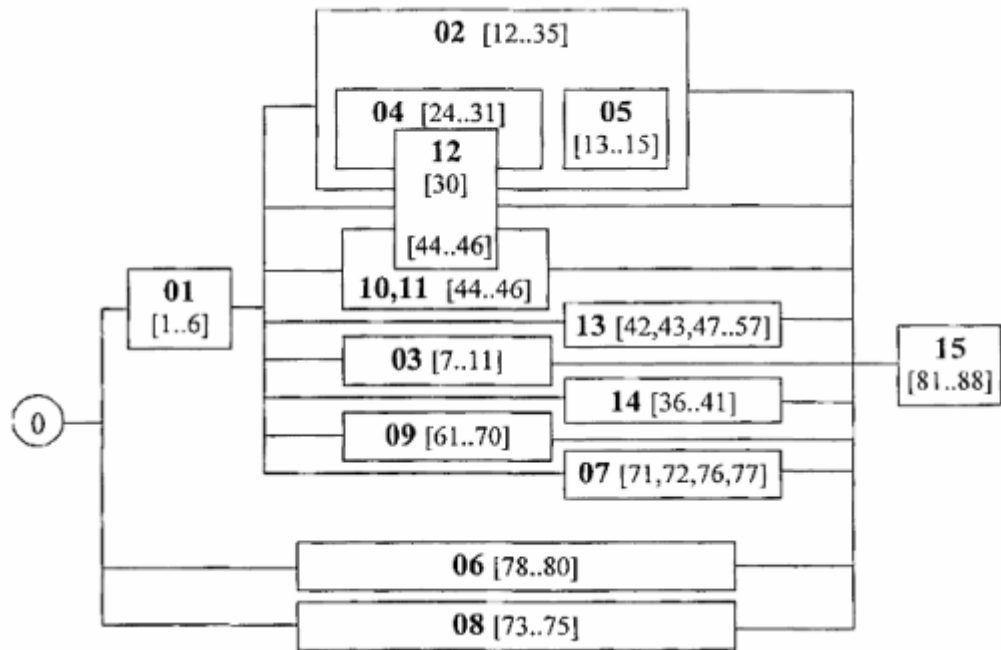


Рисунок 3.2 – Розбиття імітаційної моделі на частини

Блок 1 описує попередню підготовку локомотива до розбирання, викочування візків.

Блоки 2 і 3 описують ремонт механічної частини локомотива. При цьому в блоці 2 описаний розбір, ремонт і складання візка, а в блоці 3 – ремонт гідравлічних гасителів коливань, бічних опор або люлечне підвішування. В середині блоку 2 виділено 2 підблока – номер 4 і 5. Блок номер 4 описує мийку і ремонт кожухів зубчастої передачі, мийку та заміну колісних пар, мийку тягових електродвигунів. Процес заміни тягових електродвигунів (технологічна операція № 30) описаний в блоці 12. Блок номер 5 описує ремонт гальмівної передачі.

Блок 13 описує демонтаж, ремонт та монтаж дахів, пантографів, дахове обладнання.

Блоки 10, 11 і 12 описують демонтаж, випробування і ремонт допоміжних машин. Зокрема блок 10 описує ремонт і випробування мотор-компресора, що складається з компресора та електродвигуна. Блок 11 описує випробування і ремонт мотор-вентилятора, що складається з електродвигуна і відцентрового вентилятора, а в блоці 12 крім випробування тягових електродвигунів описаний процес випробування перетворювачів.

Блок 14 описує ремонт гальмівних циліндрів і противорозвантажного пристрою, що виконується в заготівельному цеху.

Блок 9 описує демонтаж, ремонт або заміну і монтаж автозчепів і фрикційних апаратів, а також ремонт дверей, блокувань і щитів високовольтної камери, вентиляційних каналів кузова, стінок кузова, обладнання кабін, санвузлів, патрубків тягових електродвигунів, колієочищувачів, ручного гальма, основ допоміжних машин, шкворневих вузлів, підвідних проводів допоміжних машин, клемових рейок, н/в і в/в кондуктів, панелі управління.

Блок 7 описує демонтаж, ремонт, монтаж та випробування електроапаратів локомотива.

Блоки 6 і 8, виконання яких починається безпосередньо після постановки локомотива в цех середнього ремонту, описують демонтаж, ремонт та монтаж відповідно пневматичного устаткування та приладів безпеки, контрольно-вимірювальних приладів.

Алгоритм розрахунку загальної витрати електричної енергії на технологічний процес поточного ремонту тепловозів виглядає наступним чином:

- Внесення інформації у програму Excel:
- Найменування електроспоживача.
- Кількість одиниць.
- Приналежність до цеху або відділення.
- Номінальна потужність.
- Коефіцієнт використання навантаження.
- Коефіцієнт використання потужності.

- Розрахунок частки електричної енергії:
 - Використання отриманих даних для розрахунку частки електричної енергії, спожитої устаткуванням під час технологічного процесу.
- Внесення даних із моделювання:
 - Дані про час моделювання.
 - Коефіцієнти використання обслуговуючих пристроїв.
- Розрахунок часу роботи кожної технологічної операції:
 - Використання отриманих даних для розрахунку часу роботи кожної технологічної операції.
- Відбір технологічного обладнання:
 - Вибір технологічного обладнання зі списку, згрупованого по цехам і відділенням.
- Розрахунок часу та спожитої електроенергії:
 - Розрахунок часу роботи кожної одиниці технологічного обладнання та спожитої ним електричної енергії.
- Підсумовування обсягів:
 - Підсумовування обсягів спожитої електроенергії для всього технологічного обладнання та окремих цехів.
- Загальна витрата електричної енергії:
 - Визначення загальної витрати електричної енергії на технологічний процес поточного ремонту тепловозів.
- Підтвердження адекватності імітаційної моделі:
 - Використання даних про електроспоживання на енергоємних ділянках для підтвердження адекватності імітаційної моделі.

Цей алгоритм застосовується для визначення загальної витрати електричної енергії на технологічний процес поточного посиленого ремонту тепловозів та витрат енергії окремих цехів в рамках виконання розглядуваного технологічного процесу.

Частка електричної енергії, спожитої цими ділянками, склала 63 %. Співвідношення обсягів електроенергії, спожитої розглянутими ділянками та іншим обладнанням, наведено на рисунку 3.3.

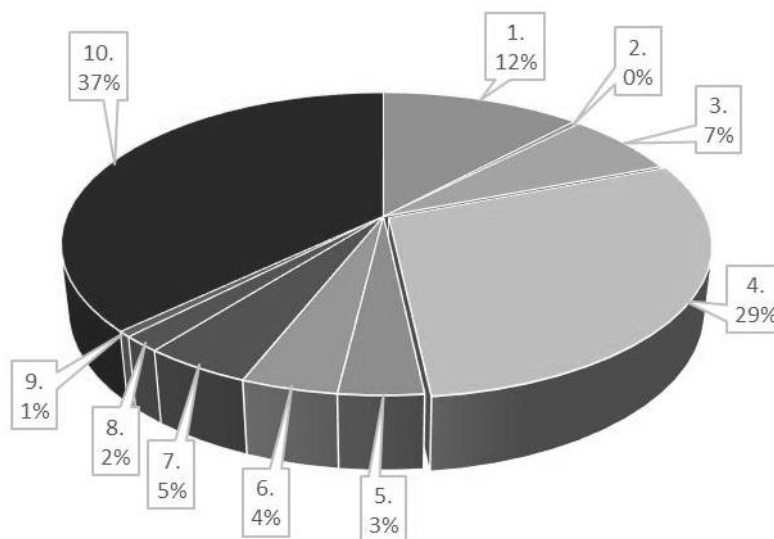


Рисунок 3.3 – Співвідношення часток електроенергії, спожитої модельованими ділянками:

1. Випробувальна станція – 11,9 %;
2. Відділення по ремонту струмоприймачів – 0,4 %;
3. Відділення по ремонту кожухів зубчастої передачі – 6,8 %;
4. Цех середнього ремонту - 29,2 %;
5. Акумуляторне відділення - 3,6 %;
6. Зварювальне відділення - 4,1 %;
7. Відділення по ремонту гідравлічних гасителів коливань - 4,6 %;
8. Стрижневе відділення - 1,7 %;
9. Автоматний цех - 0,6 %;
10. Ділянки без обліку електроспоживання - 37,1 %.

По кожній ділянці отримана вибірка відгуків системи, що представляє собою сукупність значень витрати електричної енергії за періоди часу виконання зроблених робіт в обсязі поточного ремонту тепловоза.

Обсяги вибірок залежать від наявної інформації про електроспоживання і від особливостей технологічного процесу аналізованої ділянки.

Для підтвердження адекватності створеної імітаційної моделі здійснимо 100 імітаційних експериментів. Для кожної отриманої реалізації технологічного процесу з запропонованого методу необхідно визначити витрату електричної енергії на аналізовані ділянки технологічного процесу ремонту локомотиву. У кожній з реалізацій вироблено моделювання обсягу робіт, відповідного ремонту одного тепловоза.

За результатами проведених імітаційних експериментів отримують вибірки відгуків моделі для кожної розглянутої ділянки. Для підтвердження адекватності перевіряється статистична гіпотеза про однорідність вибірок відгуків досліджуваної системи та імітаційної моделі.

Обчислені значення параметрів порівнюваних вибірок наведено в таблиці 4.3 і показують відносну близькість розподілів значень в порівнюваних вибірках.

Перевірка гіпотези $H_0: F(x) = G(x)$, де $F(x)$ - функція розподілу значень вибірки відгуків системи, а $G(x)$ - функція розподілу значень вибірки відгуків моделі, перевіряється за допомогою непараметричного критерію однорідності типу ω^2 Лемана-Розенблатта.

Обчислення розрахункового значення A -статистики для критерію типу з ω^2 Лемана-Розенблатта виконувалося за алгоритмом, представленим на рисунку 4.4. Обсяги вибірок відгуків системи представлені в таблиці 4.3, а обсяг вибірок відгуків моделі дорівнює 100.

Розрахункові значення A -статистики для розглянутих вибірок представлені в таблиці 4.3 і опинилися нижче критичного значення, що становить 0,461 при рівні значимості 0,05.

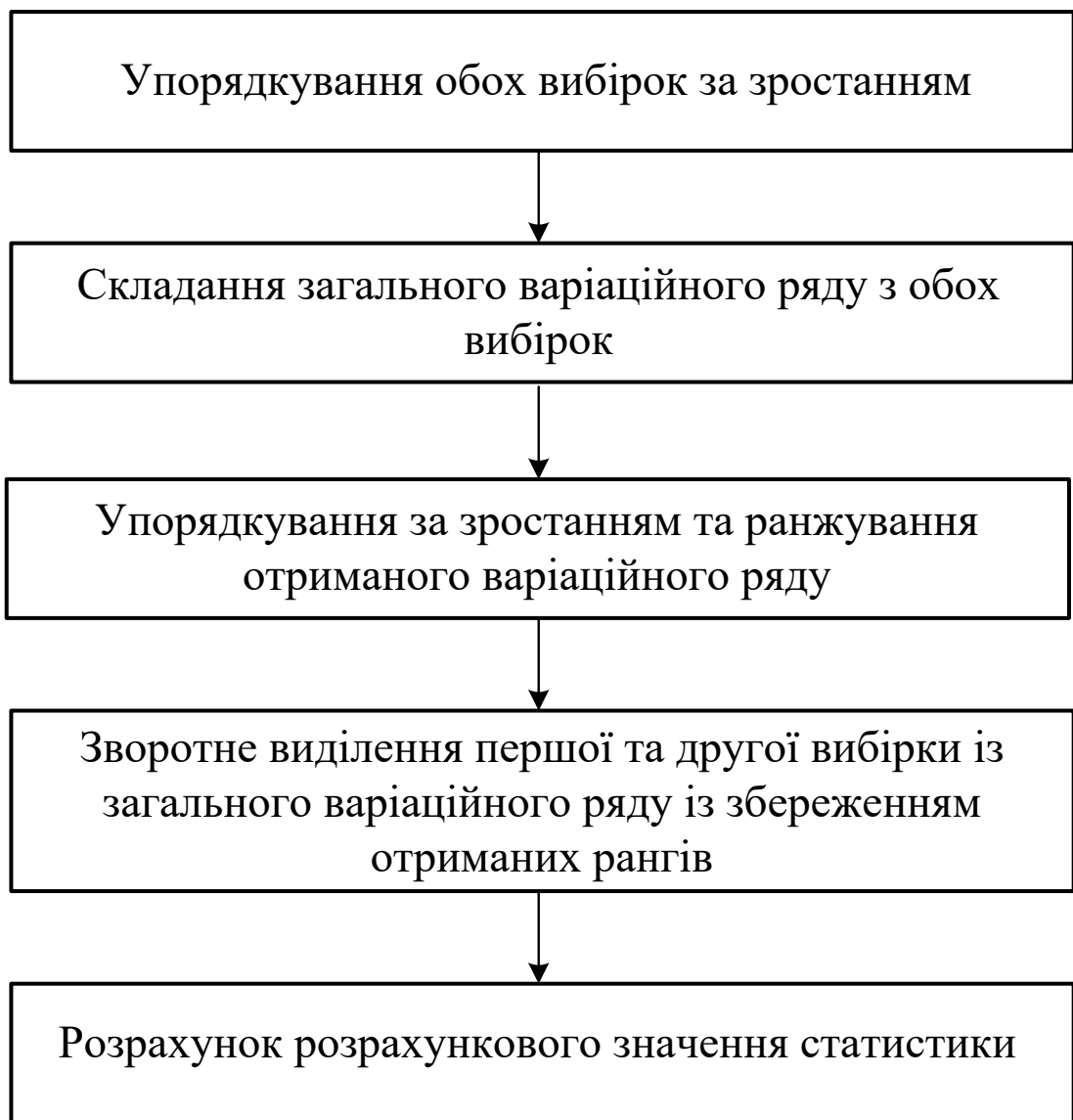


Рисунок 3.4 – Алгоритм обчислення розрахункового значення A-статистики

Отже, гіпотеза про однорідність всіх пар розглянутих вибірок не спростовується, і на рівні значущості 0,05 підтверджується адекватність створеної імітаційної моделі.

Налагодження моделі необхідно проводити на базі даних електроспоживання локомотивного ремонтного депо за певний рік. На підставі наведених потужностей з загальної витрати електричної енергії по депо обчислювати її кількість, що припадає на технологічний процес поточного ремонту локомотивів, яке склало для тепловозів 253177,7 кВт-год.

Таблиця 3.3 – Параметри вибірок відгуків системи і моделі

Розглядувана ділянка	Система			Модель		Розрахункове значення критерію однорідності
	Обсяг вибірки	Вибіркове середнє, кВт/год	Виправлена вибіркова дисперсія (кВт/год) ²	Вибіркове середнє, кВт/год	Виправлена вибіркова дисперсія (кВт/год) ²	
1. Випробувальна станція	47	1531,67	405,84	1525,51	341,38	0,379
2. Відділення по електричного обладнання	52	47,25	64,85	45,45	75,39	0,152
3. Відділення але ремонту кожухів зубчастої передачі	58	888,48	3203,65	875,99	3060,90	0,191
4. Цех поточного ремонту	26	3763,14	4470,20	3743,40	3800,90	0,186
5. Акумуляторне відділення	41	468,73	2106,83	460,44	1831,48	0,121
6. Зварювальне відділення	35	536,51	1847,08	529,63	1385,06	0,094
7. Відділення по ремонту гідравлічних гасителів коливань	32	445,86	75,19	443,03	50,77	0,381
8. Відділення по ремонту стрижнів	36	231,13	650,15	223,44	891,75	0,263
9. Автоматний цех	39	77,48	122,14	79,99	96,80	0,199

Витрата електричної енергії на розглянутий технологічний процес, визначений згідно з представленим методом, склала 248810,6 кВт-год. Таким чином, похибка визначення витрати електричної енергії на досліджуваний технологічний процес за розробленим методом складає 1,72 %, що також служить підтвердженням адекватності створеної моделі.

3.1 Оцінка витрат електроенергії на технологічний ремонтний процес

Використання розглядуваної імітаційної моделі технологічного процесу ремонту тепловоза ТЕМ проведена для залізничного цеха.

Промодельована робота цехів, що брали участь у ремонті протягом 2019 року і з використанням отриманих результатів виконано оцінку витрат електричної енергії на ТП ремонту тепловоза.

За базовий 2021 рік загальна витрата електричної енергії у депо склала 4747567 кВт·год. На підставі використання наведених потужностей виділена частка електричної енергії, яка припадає на розглядуваний ТП. В результаті отримано, що за 2021-й рік на здійснення ТП ремонту тепловозів витрачено 253177,7 кВт·год.

У магістерській роботі проведений розрахунок витрати електричної енергії на ТП ремонту тепловозів протягом 2020 року за допомогою діючої по мережі залізниць методики.

Визначити витрату електричної енергії на розглянутий ТП протягом розрахункового 2020 року за діючою методикою можна на підставі формули:

$$W_{cp}^{20} = W_{cp}^{19} \left(d^{y.n.} + d^{зм} \frac{P_{пр.зм}^{20}}{P_{пр.зм}^{19}} \frac{V_{cp}^{20}}{V_{cp}^{19}} \right)$$

де W_{cp}^{19} - кількість електричної енергії, спожите технологічним обладнанням локомотивного депо при виконанні технологічного процесу ремонту тепловозів за 2019 рік;

$d^{y.n.}$, $d^{зм}$ - частка умовно-постійної і змінної складових витрати електричної енергії, що припадає на технологічний процес середнього ремонту тепловозів;

$P_{пр.зм}^{19}$, $P_{пр.зм}^{20}$ - наведена потужність задіяного при ремонті технологічного обладнання, режим роботи якого, згідно з чинною методикою, залежить від обсягів виконаних робіт, відповідно за 2021 та 2022 роки;

V_{cp}^{19} , V_{cp}^{20} - обсяги виконаних робіт по ремонту тепловозів склали 9 і 12 локомотива, відповідно за розрахунковий 2021 і планований 2022 роки.

Результати розрахунку витрати електричної енергії на розглянутий технологічний процес, отримані на підставі розрахунку за чинною методикою і на підставі розробленого методу з використанням імітаційного моделювання, і відхилення їхніх оцінок наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку витрати електричної енергії

Параметр	Діюча методика	Розроблений метод
Фактичне значення розходу електричної енергії на ТП ремонту за 2020 рік, кВт·год	275624,7	
Розрахункове значення розходу електричної енергії на ТП ремонту за 2020, кВт·год	314060,8	281542,1
Абсолютне відхилення розрахункової оцінки, кВт·год	38436,1	5917,4
Відносне відхилення розрахункової оцінки, %	13,95	2,15

Застосування імітаційної моделі технологічного процесу заливки бабітом вкладишів МОП тягових електродвигунів проведемо на прикладі відділення бабітозаливки цеха.

За базовий місяць, на підставі якого виконано розрахунок електроспоживання на наступні місяці, загальна кількість електричної енергії, спожитої відділенням бабітозаливки, склала 11595,23 кВт·год. Виділена на підставі наведених потужностей частка витрат електричної енергії, яка припадає на технологічне обладнання, становить 0,88. Таким чином, кількість електричної енергії, що припадає на технологічний процес заливки бабітом вкладишів МОП, за базовий період складає:

$$W_{\text{баз}} = 11595,23 \cdot 0,88 = 10202,64 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

У дипломній роботі виконана апріорна оцінка витрат електричної енергії на технологічний процес (ТП) заливки бабітом вкладишів МОП протягом трьох наступних місяців на підставі результатів статистичних даних з побудованої імітаційної моделі.

Було проведено порівняння витрат електричної енергії на ці ж місяці за допомогою діючої по мережі залізниць методики згідно з формулою:

$$W^{\text{план}} = k_{\text{сез}} \cdot W^{\text{пред}} \left(d^{\text{у.н.}} \frac{L^{\text{план}}}{L^{\text{пред}}} + d^{\text{перем}} \frac{V^{\text{план}}}{V^{\text{пред}}} \right)$$

де $k_{\text{сез}}$ - зміна коефіцієнта сезонності, значення якого розраховується за середньостатистичними значеннями;

$W^{\text{пред}}$ - кількість електричної енергії, спожита досліджуваною ділянкою за попередній період;

$d^{\text{у.н.}}$ - частка електрообладнання, що не відноситься до технологічного процесу, режим роботи якої приймається умовно-постійною;

$d^{\text{перем}}$ - частка електрообладнання, що відноситься до технологічного процесу, режим роботи якого безпосередньо залежить від обсягів роботи візкового відділення;

$L^{\text{план}}$, $L^{\text{пред}}$ - кількість днів в планованому і попередньому періодах;

$V^{\text{план}}$, $V^{\text{пред}}$ - обсяг робіт візкового відділення в планованому і попередньому періодах.

Розрахунок на кожен місяць виконувався на підставі факту витрат електроенергії за попередній місяць з урахуванням зміни коефіцієнта сезонності.

Витрати електричної енергії на розглянутий технологічний процес, отримані на підставі аналізу (за формулою 3.5) і на підставі розробленого методу з використанням результатів імітаційного моделювання, наведені в таблиці 3.1, а відхилення оцінок – у таблиці 3.6.

В результаті аналізу результатів, відображених в таблиці 3.6 видно, що використання методу апріорної оцінки витрат електричної енергії дозволило суттєво підвищити точність розрахунків для технологічного процесу заливки бабітом вкладишів МОП за рахунок врахування особливостей досліджуваного технологічного процесу.

Таблиця 3.5 – Витрати електричної енергії на технологічний процес

Розрахунковий місяць	Витрати електричної енергії, кВт·год		
	Фактично	Діюча методика	Розроблений метод
Квітень	7240,84	5921,054	6890,93
Травень	6928,13	5709,88	7112,16
Червень	7502,84	6047,512	7662,88

Таблиця 3.6 – Відхилення оцінок порівнюваних методик

Розрахунковий місяць	Абсолютне відхилення, кВт год		Відносне відхилення, %	
	діюча методика	розроблений метод	діюча методика	розроблений метод
Квітень	1319,79	349,91	18,23	4,83
Травень	1218,25	-184,03	17,58	-2,66
Червень	1455,33	-160,04	19,40	-2,13
Загальне значення за 3 місяці	3993,36	5,84	18,43	0,03

Як видно з таблиці 3.6 використання імітаційного моделювання більш точно відображує витрати електричної енергії на технологічні процеси ремонту деталей рухомого складу є найбільш близькими до фактичних витрат.

В результаті проведених розрахунків інтегральний економічний ефект від впровадження визначення необхідного обсягу електричної енергії на технологічний процес ремонту тепловозів за розрахунковий період становить 362,2 тис. грн. Таким чином, проект є ефективним. Розрахунковий термін окупності складає 21 місяць (1,75 року).

3.2 Охорона праці та безпека життєдіяльності

Вимоги безпеки праці під час виконання робіт при ремонті рухомого складу. Під час виконання ремонтних робіт необхідно дотримуватись вимог з охорони праці відповідно до НАОП 5.1.11-1.18 «Правила по охроне труда при техническом облуживании и текущем ремонте тягового подвижного состава и грузопододъёмних кранов на железнодорожном ходу» та пожежної безпеки згідно із Законом України «Про пожежну безпеку», ГОСТ 12.1.004 ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования», НАПБ 03.004-2002 «Норми оснащення об'єктів і рухомого складу залізничного транспорту пожежною технікою та інвентарем», НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні», інструкціями з відповідними вимогами до техніки безпеки на конкретних ділянках цехів.

Також при виконанні робіт застосовують обладнання для механічної обробки металів, а саме різні верстати, різальні інструменти.

Стенди й механізовані пристосування для ремонту обладнання, що споживають при роботі електричний струм, повинні мати надійне захисне заземлення з опором заземлення 40 Ом. Опір ізоляції стендів повинна бути не менше 0.51 Ом.

Роботи, що виконують на обладнанні

Зварювальні роботи проводять зварювальним апаратом з необхідним устаткуванням. Зварювальні роботи виконують відповідно до Інструктивних вказівок по зварювальних роботах при ремонті тепловозів, електровозів та моторвагонного рухомого складу. При визначенні механічних характеристик використовують допоміжні засоби, важелі та інше.

Пристрої електропостачання використовують для ремонту та ревізії

струмоприймачів, що представляє собою небезпеку для життя та здоров'я працівників.

Обладнання для механічної обробки металів, а саме різні верстати, різальні інструменти використовують при виконанні відповідних робіт.

Аналіз шкідливих та небезпечних факторів

Конкретні небезпечні і шкідливі виробничі чинники встановлюються за результатами атестації умов праці.

До шкідливих факторів відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку», ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації», ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», які впливають на здоров'я людини відносять:

- виробничий пил, який утворюється в результаті механічної обробки твердих тіл, завантажувально-вивантажувальних робіт, транспортування пиловидних матеріалів.

- забруднення повітря парами масляних і паливних аерозолів, в механічних відділеннях, повітря забруднюється окисом вуглецю, аерозолем окислів заліза і змащувально-охолоджуючої рідини;

- інший, не менш шкідливий фактор - виробничі шуми. Вони впливають на нервову систему, а через неї на інші органи;

- значний вплив на здоров'я людини має виробниче випромінювання. Сильне випромінювання спостерігається на зварювальних ділянках, а також, при проведенні зварювальних робіт на рухомому складі;

- метеорологічні умови також сильно впливають на здоров'я і працездатність людини. Лише при наявності теплового балансу між організмом і оточуючим середовищем, мікроклімат сприймається людиною як прийнятний.

Порушення теплообміну веде до перегріву або до переохолодження організму, що в свою чергу, може негативно вплинути на продуктивність праці.

Потрібно враховувати, що крім безпосереднього переохолодження працівників, що працюють на відкритому повітрі причинами порушення теплового балансу можуть бути рухомий склад, який заходить в приміщення, а також зони біля вхідних дверей при їх відчиненні.

Перераховані фактори негативно впливають на здоров'я працюючих. Наприклад, одночасно з забрудненням повітря в організм людини поступає велика кількість шкідливих речовин, частина з яких не видаляється з повітрям яке видихається. Гази і пари, що вдихаються з повітрям розчиняються в легеневій рідині. Поступово відбувається накопичення цих речовин і зростає їх несприятливий вплив на організм людини.

При експлуатації і ремонті електричного обладнання людина може опинитися в сфері дії електромагнітного поля або в безпосередньому дотику з провідниками, що знаходяться під напругою. В результаті проходження струму через людину може виникнути порушення його життєдіяльних функцій.

До організаційних заходів, що забезпечують безпеку роботи в електроустановках, відносяться оформлення роботи, допуск до роботи, нагляд під час роботи, оформлення перерви в роботі, перевід на інше робоче місце.

При виконанні ремонтно-зварювальних робіт на працюючих можуть впливати шкідливі і небезпечні виробничі фактори:

- ультразвукове й інфрачервоне випромінювання зварювальної дуги;
- електромагнітні поля;
- ультразвук;
- статичне навантаження на руки.

При зварюванні, напилюванні, пайки в зону подиху працюючих можуть надходити зварювальні аерозолі, що містять у складі тверді фази, окисли різних металів (хрому, нікелю, міді, алюмінію, заліза), їхні окисли й інші з'єднання, а також токсичні гази (окис азоту, вуглецю, фтористий водень), при пайці - аерозоль флюсів і припоїв, що містить свинець, цинк, олово.

Кількість і склад зварювальних аерозолів, їхня токсичність залежить від хімічного складу зварювальних матеріалів і металів, що зварюються, ведучи

технологічний процес. Вплив на організм шкідливих речовин, що виділяються, може з'явитися причиною гострих і хронічних захворювань і отруєнь.

Інтенсивність випромінювання зварювальної дуги в оптичному діапазоні і його спектрі залежать від потужності дуги, застосовуваних матеріалів, захисних і плазмоутворюючих газів. При відсутності захисту можливі поразки органів зору й опіки шкірних покривів. Негативний вплив на здоров'я може зробити інфрачервоне випромінювання попереднє підігрітих виробів.

Неправильна експлуатація електроустаткування може призвести до поразки електричним струмом. Застосування відкритого газового полум'я, відкритих дуг, наявність бризів, іскор і викидів розплавленого металу, шлаку створюють не тільки можливість опіків, але і підвищують небезпека виникнення пожеж. Небезпеку створюють використання при зварюванні палих газів і кисню, а також експлуатація судин працюючих під тиском не рівному атмосферному тискові.

Небезпека ураження електричним струмом загострюється тим, що, по-перше, струм не має зовнішніх ознак і, як правило, людина без спеціальних приладів не може завчасно виявити небезпеку, яка їй загрожує; по-друге, дія струму на людину у більшості випадків приводить до серйозних порушень найбільш важливих життєдіяльних систем, таких як центральна нервова, серцево-судинна і дихальна, що збільшує важкість ураження; по-третє, змінний струм здатний викликати інтенсивні судороги м'язів, які приводять до невідпускаючого ефекту, при якому людина самотійно не може звільнитися від дії струму; по-четверте, дія струму викликає у людини різку реакцію відьоргування, а у ряді випадків і втрату свідомості, що може привести до додаткових травм.

Електричний струм, проходячи через тіло людини, може викликати біологічну, теплову, механічну і хімічну дію. Біологічна дія полягає в здатності електричного струму роздразнювати і збуджувати живі тканини організму, тепла – в здатності викликати опіки тіла, механічна – приводити до розриву тканин, а хімічна – до електролізу крові.

Дія електричного струму на організм людини може бути причиною електротравми. Умовно електротравми поділяють на місцеві і загальні. При місцевих електротравмах виникає місцеве пошкодження організму, яке виявляється в появі електричних опіків, електричних знаків, в металізації шкіри, механічних пошкодженнях і електрофтальмії (запалення зовнішніх оболонок ока). Загальні електротравми, або електричні удари, приводять до ураження всього організму, яке виражається в порушенні чи повному припиненні діяльності найбільш життєвоважливих органів і систем – легенів (дихання), серця (кровообіг).

Вологість і температура повітря, наявність заземлених металічних конструкцій, струмопровідний пил та інші фактори навколишнього середовища викликають додатковий вплив на умови електробезпеки. При підвищенні вологості і температури складаються найбільш благоприємні умови, при яких забезпечується найкращий контакт зі струмоведучими частинами. Наявність заземлених металічних конструкцій створює підвищену небезпеку ураження внаслідок того, що людина практично постійно зв'язана з одним полюсом (землею) електроустановки. Струмопровідний пил також покращує умови для електричного контакту людини як зі струмоведучими частинами, так і з землею.

Опромінення при зварюванні відбувається в результаті видимих світлових та ультрафіолетових та інфрачервоних променів. Видимі світлові та інфрачервоні промені послаблюють зір, а ультрафіолетові промені негативно діють на зовнішні частини очей та шкіряні покриви.

Міри безпеки при організації роботи в ремонтно-ревізійних цехах

Організація виробництва робіт в ремонтній-ревізійних цехах проводять згідно вимог Правил, Інструкцій, вказівок з питань охорони праці. Безпека виробництва робіт в ремонтно-ревізійних цехах забезпечується за рахунок правильної організації, оформлення робіт і виконання організаційно-технічних заходів. Правильність організації робіт полягає у своєчасному і грамотному оформленні заявки на виконання робіт з вказівкою необхідних і достатніх

заходів безпеки для виробництва робіт, правильного підбору працівників для виконання дорученої ним роботи і забезпечення їх всіма необхідними захисними засобами і монтажними пристосуваннями. Наступними важливими етапами в забезпеченні безпеки працюючих є правильне оформлення робіт (нарядом або нарядом-допуском, розпорядженням або переліком робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації), виконання підготовки робочих місць, проведення цільового інструктажу бригаді перед початком виробництва робіт, забезпеченні допуску до роботи і нагляду під час роботи.

Крім того проводиться ввідний інструктаж з питань пожежної безпеки згідно розробленої і затвердженої програми, що включає основні вимоги по забезпеченню дотримання вимоги Закону України «Про пожежну безпеку», знайомлять працівників також з інструкцією підприємства по пожежній безпеці і про порядок забезпечення протипожежного режиму в підрозділах і на робочих місцях дистанції електропостачання.

Контроль за дотриманням вимог з охорони праці працівниками проводиться згідно затвердженої системи оперативного контролю, яка складається з трьох ступенів. Перший ступінь оперативного контролю проводиться щодня на робочому місці керівником робіт або уповноваженим трудового колективу з охорони праці і включає:

- перевірку підготовки робочого місця, наявність, достатність і справність інструменту, захисних засобів, монтажних пристосувань і дотримання термінів їх випробувань і відповідності вимогам Правил, наявність технологічних карт на виробництво робіт, посвідчень про перевірку знань;

- наявність і стан спецодягу;
- виконання вимог правил і інструкцій при виробництві робіт;
- дотримання правил внутрішнього трудового розпорядку;
- дотримання правил безпеки при роботі з шкідливими і пожеже-небезпечними речовинами і матеріалами;
- справність вентиляції приточної та витяжної.

Другий ступінь оперативного контролю за станом охорони праці

проводиться начальником підрозділу, старшим електромеханіком або електромеханіком і включає перевірку:

- наявність наряду (наряду-допуску) або розпорядження на роботу, що проводиться;
- достатності заходів безпеки працюючих у відповідності категорії робіт і можливості безпечного її виконання;
- правильності виконання технічних заходів, що забезпечують безпеку тих, що працюють і, особливо, достатність, і місце установки заземлень, огорожі місця робіт і т.п.;
- організації нагляду за тими, що працюють;
- наявність технологічних карт і правильності проведення роботи відповідно до неї;
- відповідності складу бригади, вказаному в наряді, достатність кваліфікації осіб для виконуваної роботи;
- наявність у членів бригади посвідчень про перевірку знань і термінів їх дії.

Третій ступінь оперативного контролю за станом охорони праці проводиться керівниками і інженерно-технічними працівниками шляхом проведення раптових перевірок працюючих бригад і комплексними комісійними перевірками стану охорони праці в кожному підрозділі в ремонтно-ревізійних цехах, згідно затвердженого графіка. При проведенні раптових перевірок працюючих бригад перевіряється:

- достатність заходів безпеки, відповідності категорії роботи і можливості її безпечного виконання;
- правильність виконання технічних заходів, що забезпечують безпеку тих, що працюють;
- організацію нагляду за тими, що працюють;
- наявність достатності, справності і придатності захисних засобів, сигнального приладдя, монтажного і інших пристосувань;
- наявність технологічної карти і правильність проведення роботи відповідно до неї;
- відповідність складу бригади, вказаному в наряді, достатність

кваліфікації осіб для виконання роботи;

- наявність у членів бригади посвідчень про перевірку знань і терміни їх дії.

Виконання вимог по безпечній організації і виробництву робіт в пристроях електропостачання, забезпеченні контролю за дотриманням всіма працівниками ремонтно-ревізійного цеху вимог з охорони праці, забезпечує безпеку працівникам ремонтно-ревізійного цеху.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

Працівник зобов'язаний:

- у всіх випадках виявлення обривів проводів живлення, несправності заземлення і інших пошкоджень електроустаткування, появи запаху гару негайно відключити живлення і повідомити про аварійну ситуацію головному фахівцеві з електронного устаткування;

- при виявленні людини, що потрапила під напругу, негайно звільнити його від дії струму шляхом відключення електроживлення і надати потерпілому першу (долікарську) допомогу;

- у будь-яких випадках збоївши в роботі технічного устаткування або програмного забезпечення негайно викликати головного фахівця з електронного устаткування;

- при спалахуванні устаткування відключити живлення і прийняти заходи по гасінню вогнища пожежі за допомогою углекислотного вогнегасника, викликати пожежну команду і повідомити про подію керівникові робіт.

У разі відключення електроживлення припинити роботу і доповісти керівникові. Не намагатися самостійно з'ясувати і усунути причину. Пам'ятати, що напруга може також несподівано з'явитися.

При загорянні або пожежі необхідно пам'ятати, що гасити електроустановки слід углекислотними вогнегасниками щоб уникнути поразки електричним струмом.

На території, виробничих та службових приміщень забороняється:

- накопичувати горючі відходи і розташовувати сміттєприймальники та контейнери на відстані менше 20 м від споруд та будівель III, IV ступенем вогнестійкості;

- залишати неприбраним скошені трави, опавше листя;
- залишати після роботи відкритими двері, вікна, пройми в шахтах та люки у виробничих та іншого призначення приміщеннях. Ключі від приміщень повинні знаходитись у визначених місцях;
- влаштовувати з горючих будівельних матеріалів конторки, кладові, антресолі, настили, майданчики та перегородки і ін.

Дороги, проїзди та під'їзди до пожежних джерел води, будівель та споруд повинні мати тверде покриття, бути постійно вільними та утримуватися у справному стані, а в нічний час освітлюватись.

Сточні канали, лотки повинні постійно очищуватись від сміття, пролитих рідин та закриватися плитами з негорючих матеріалів.

Всі види опалення та вентиляцій повинні бути в строгій відповідності з діючими будівельними нормами та правилами.

Встановлення тимчасових печей, як правило, не допускається.

Електричні мережі та електрообладнання, яке використовується в депо, повинно відповідати вимогам діючих ПТЕ та ПТБ при експлуатації електроустановок споживачів.

Біля входу у виробниче приміщення повинен бути напис зі вказанням класу по вибуховій та пожежній небезпеці.

В усіх приміщеннях, які після закінчення роботи закриваються та не контролюються, енергосистеми повністю обезструмлюються.

Користування електронагрівальними приладами у виробничих, службових та іншого призначення приміщеннях допускається тільки у спеціально відведених та обладнаних місцях, з письмового дозволу керівника підприємства.

Вогневі роботи у вагонах електросекцій, локомотивах допускається проводити тільки після видалення утеплювача підлоги, стін на відстані (в радіусі) не менше 2 м від місця нагріву металу та виключення попадання іскор розжареного металу на горючі речовини або після надійного захисту їх від займання металевими екранами.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі розглядається проблема більш точної оцінки витрат електричної енергії під час технічного ремонту тягового рухомого складу. Залізничний транспорт є великим споживачем енергії, щорічно використовуючи близько п'яти відсотків виробленої країною електроенергії. Одним з ключових напрямків в роботі з транспортом є підвищення продуктивності та рентабельності транспортних систем. Виявлення випадків недоцільного використання електроенергії відкриває перспективи для підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів.

Робота доводить, що однією з ключових умов для ефективного використання електричної енергії є дотримання питомих норм витрат на одиницю продукції, які наразі відсутні для більшості структурних підрозділів залізничного транспорту. Питомі норми, отримані на основі фактичних даних про споживану електроенергію, недостатньо точно враховують плановані зміни в організації виробництва.

Досліджено існуючі методи визначення розходу електричної енергії на ремонт рухомого складу, які не враховують дійсний розхід електроенергії. Застосування методів імітаційного моделювання для оцінки витрат електричної енергії на ремонт рухомого складу дозволить більш точно планувати витрати в структурних підрозділах Укрзалізниці та підвищити ефективність використання електричної енергії. Зазначений метод також дозволяє апріорно визначити витрати електричної енергії на технологічні процеси при ремонті рухомого складу, оцінювати ефективність нових технологій та виявляти ділянки технологічних процесів із підвищеними втратами електричної енергії. Такий аналіз може допомогти визначити ефективність управляючих впливів на зниження енергоємності основних технологічних процесів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Поплавский А.Н. Стационарная электроэнергетика железнодорожного узла / А.Н. Поплавский, Б.Д. Краснов, В.В. Недачин. М.: Транспорт, 1986. 279 с.
2. Поплавский А.Н. Электроэнергетика предприятий железнодорожного транспорта / А.Н. Поплавский. М.: Транспорт, 1981. 264 с.
3. Арутюнян А.А. Основы энергосбережения / А.А. Арутюнян. М.: Энергосервис, 2007. 600 с.
4. Колганов А.Р. Имитационное моделирование динамических систем в САПР: учеб. пособие / А.Р. Колганов, Е.Р. Пантелеев. Иваново: Иван. энерг. ин-т, 1990. 88 с.
5. Лещинский Е. Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте. М.: Транспорт, 1977. 176 с.
6. Томашевский В.Н. Имитационное моделирование в среде GPSS / В.Н. Томашевский, В.Г. Жданова. М.: Бестселлер, 2003. 416 с.
7. Находкин В. М. Технология ремонта тягового подвижного состава/В. М. Находкин, Р. Г. Черепашенец. М.: Транспорт, 1998. 461 с.
8. Дёповской ремонт электровозов переменного тока / Под ред. А. Т. Головатого. М.: Транспорт, 1976. 440 с.
9. Маліновський А.А. Основи електроенергетики та електропостачання: Підручник [Текст] / А.А. Маліновський, Б.К. Хохулін. — 2-ге вид., перероб. та доп. вид. — Львів : Видавництво Національного університету Львівська політехніка, 2009. — 436 с.
10. Регулювання напруги в розподільних електричних мережах з відновлюваними джерелами енергії [текст]: Монографія / О.С. Яндульський, Г.О. Труніна, А.Б.Нестерко - К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021.- 191 с.
11. S.Arpu11, V.Artemchuk, M.Babyak, V.Vasilyev, H.Hetman
S.Marikutsa Analysis of the electric energy consumption components for mine

train traction / MATEC Web of Conferences 294, 01001 (2019) EOT-2019
(<https://doi.org/10.1051/matecconf/201929401001>)

12. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем / В.Э. Воротницкий, Ю.С. Железко, В.Н. Казанцев и др.: Под ред. В.Н. Казанцева. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 268 с.
13. Автоматичне регулювання в електричних системах: підручник / О. С. Яндульський, І. П. Заболотний, В. П. Кобазєв ; Держ. вищ. навч. закл.: Нац. техн. ун-т України "КПІ", Донец. нац. техн. ун-т. - Донецьк : Ноулідж, Донец. від-ня, 2010. - 190 с.
14. ГКД 341.004.00194 «Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 6-750 кВ» Введ. - Х.: Видавництво «ІНДУСТРІЯ» 2011.- 345с.
15. Правила улаштування електроустановок: 2017. – Офіц. вид. Міненерговугілля України. 2017. – 617 с.
16. ГКД 34.20.507 «Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила» Введ 2003 -К.:Вид. Об'єднання енергетичних підприємств «галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики» - 597с.
17. Ефективне керування режимами систем забезпечення споживачів електричною енергією/В. А. Попов, В. В. Ткаченко, О. С. Ярмолюк: Національний Техн. Університет України «КПІ ім. І. Сікорського», 163 с.
18. «Вимоги до окремих видів пристроїв» ГОСТ 12.2.007.3-75 (2001) «ССБТ. Электротехнические устройства на напряжение свыше 1000 В. Требования безопасности».
19. ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT) Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 32 с.
20. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015 Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств. Київ : Мінрегіонбуд України, 2015. 45 с.